

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Marilia Ferreira Tamiosso

**METODOLOGIA PARA CONSIDERAÇÃO DE TENDÊNCIAS
CLIMÁTICAS EM CURVAS IDF DE PRECIPITAÇÃO**

Santa Maria, RS
2019

Marilia Ferreira Tamiosso

**METODOLOGIA PARA CONSIDERAÇÃO DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS EM
CURVAS IDF DE PRECIPITAÇÃO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Engenharia Civil**.

Orientadora: Jussara Cabral Cruz

Santa Maria, RS
2019

Tamiosso, Marília Ferreira
Metodologia para consideração de tendências climáticas
em curvas idf de precipitação / Marília Ferreira
Tamiosso.- 2019.
178 p.; 30 cm

Orientadora: Jussara Cabral Cruz
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, RS, 2019

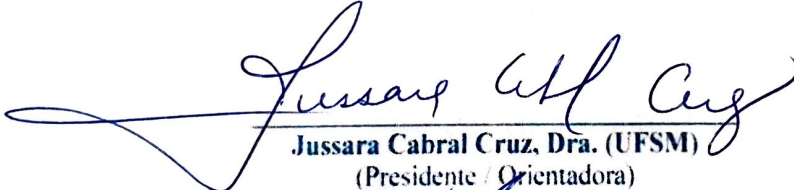
1. Tendências climáticas 2. Chuvas extremas 3.
Drenagem urbana I. Cabral Cruz, Jussara II. Título.

Marília Ferreira Tamiosso

**METODOLOGIA PARA CONSIDERAÇÃO DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS EM
CURVAS IDF DE PRECIPITAÇÃO**

tese apresentada ao Curso de Pós-graduação
em Engenharia Civil, da Universidade Federal
de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito
parcial para obtenção do título de **Doutor em
Engenharia Civil**.

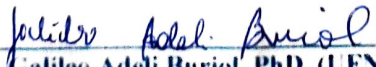
Aprovado em 16 de agosto de 2019:


Jussara Cabral Cruz, Dra. (UFSM)
(Presidente / Orientadora)


André Luiz Lopes da Silveira, PhD. (UFRGS)


Vladimir Caramori Borges de Souza, Dr. (UFAL) – videoconferência


Francisco de Assis de Souza Filho, Dr. (UFC) – videoconferência


Galileo Adeli Buriol, PhD. (UFN)

Santa Maria, RS
2019

AGRADECIMENTOS

Ao meu esposo Maurício pelo incentivo, apoio em minhas decisões e cumplicidade.

Aos meus pais Valtair e Vera pelo carinho e compreensão, e à minha irmã Camila, pelas conversas e companhia nas horas de estudo.

À professora Jussara Cabral Cruz, minha orientadora, pela confiança em mim depositada, por acreditar em minha capacidade, por sua amizade, ensinamentos e oportunidades desde que ingressei no grupo de pesquisa.

À Universidade Federal do Pampa e aos professores envolvidos, por todo incentivo ao longo desta caminhada, assim como pelo ano cedido de afastamento das minhas atividades para dedicação ao doutorado, período este, fundamental para o desenvolvimento da presente tese. Aos colegas da sala 316, pela amizade e tempo que compartilhamos.

Aos meus familiares e amigos, pelas horas de descontração, amizade e palavras de apoio, em especial à Camila, Marcus, Antônio Manoel, Ana Paula, Guilherme, Thais, Sérgio e afilhados Maria Lúcia, Vicente e Liz Rafaella.

À ANA, INMET, CPRM e CEEE-GT, por ceder dados pluviográficos para este estudo.

Minha gratidão a todos!

RESUMO

METODOLOGIA PARA CONSIDERAÇÃO DE TENDÊNCIAS CLIMÁTICAS EM CURVAS IDF DE PRECIPITAÇÃO

AUTORA: Marília Ferreira Tamiosso
ORIENTADORA: Jussara Cabral Cruz

Muitos estudos mostram que as chuvas intensas tem modificado seu comportamento nos últimos anos, função das alterações climáticas. Este fato traz consequências como o aumento da ocorrência de eventos de enxurradas, alagamentos e demais eventos críticos nas áreas urbanas. Nesta pesquisa tem-se o intuito de contribuir na análise de tendência de eventos extremos e como estes podem ser considerados nos projetos hidráulicos buscando a redução da ocorrência de desastres urbanos devido a subdimensionamentos. Para tal, foram criadas séries sintéticas de precipitações máximas anuais com duração de 1 hora e diferentes magnitudes de tendência. A partir delas, foi analisado qual o tamanho necessário de séries observadas para a detecção de tendências e qual o impacto das tendências nos projetos hidráulicos. Também foram testadas duas metodologias para atualização das relações IDF em caso de detecção de tendência nas séries de precipitações máximas anuais. A primeira análise mostrou que para detecção de magnitudes de tendência (com significância $\alpha=0,1$) iguais a 0,05mm/ano é necessário uma série com cerca de 98 anos de dados observados, enquanto magnitudes de 0,40mm/ano necessitam de uma série de cerca de 27 anos. Os resultados mostraram o quão incerta é a detecção das tendências, quanto menor for o tamanho da série. Em relação aos impactos das tendências em projetos hidráulicos, foi possível observar que para algumas situações específicas com magnitudes amenas, o incremento de vazão para situação futura é bastante pequeno, podendo até ser desprezado, enquanto nos demais casos, o incremento da vazão em situações futuras é volumoso e oferece grande risco se a tubulação passar a trabalhar subdimensionada ao longo dos anos. As metodologias para consideração das tendências obtiveram desempenho aceitável para séries com tamanho a partir de 50 anos de dados observados, desde que para períodos de retorno com até 100 anos e vida útil da obra de até 50 anos. Para séries de tamanho menor que 50 anos, as metodologias apresentaram erros extremamente grandes devido à pouca representatividade das séries curtas, sendo a magnitude detectada no início da série diferente da detectada no fim da vida útil da estrutura. Percebe-se como a limitação de dados pluviográficos em nosso país nos remete a uma situação de grande incerteza em relação às tendências de precipitações máximas, onde a maioria das séries possuem tamanhos com cerca de 10 a 20 anos de dados observados.

Palavras-chave: Tendências climáticas. Chuvas extremas. Drenagem urbana.

ABSTRACT

METHODOLOGY FOR CONSIDERATION OF CLIMATIC TRENDS IN IDF CURVES OF PRECIPITATION

AUTHOR: Marilia Ferreira Tamiosso

ADVISOR: Jussara Cabral Cruz

Many studies show that extreme rainfall have changed their behavior in recent years, caused by climate change. This fact has consequences such as increased occurrence of flood and other critical events in urban areas. This study aims to contribute to the analysis of extreme events trends and how these can be considered in the hydraulic projects, seeking to reduce the occurrence of urban disasters due to undersizing. For this, synthetic series of annual maximum rainfall with duration of 1 hour and different magnitudes of trend were created. It was analyzed the required size of observed series for the detection of trends and the impact of trends in hydraulic projects. Two methodologies were also tested to update the IDF curves in case of trend detection in the annual maximum rainfall series. The first analysis showed that is required a serie with about 98 years of observed data to detect trend magnitudes (with $\alpha = 0,1$ of significance) equal to 0,05mm/year, while a serie data about 27 years is required to detect magnitudes of 0,40mm/ano. The results showed how uncertain is the trend detection, the smaller the series size. In relation to the trends impacts in hydraulic projects, it was possible to observe that for some specific situations with mild magnitudes, the flow increment for future situation is quite small, and may even be neglected, while in other cases, the future flow increase situations poses great risk if the pipeline works undersized over the years. The methodologies for considering the trends obtained acceptable performance for series with size from 50 years of observed data, for return periods with up to 100 years and lifetime up to 50 years. For smaller series, the methodologies presented extremely large errors due to the low representativeness of the short series, being the magnitude detected at the beginning of the series different from that detected at the end of the lifetime of the structure. It is noticed that the rainfall data limitation in our country brings us to a situation of great uncertainty regarding the trends of maximum rainfall series, where most series have sizes with about 10 to 20 years of observed data.

Keywords: Climate trends. Extreme rainfall. Urban drainage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1: Exemplo de curvas de relação IDF e PDF	27
Figura 3.2: Evolução do período de retorno em função do tempo em um contexto de mudança climática	37
Figura 3.3: Fluxograma do procedimento proposto por Notaro et.al. (2015) para atualização das curvas pdf em caso de tendência climática.....	39
Figura 3.4: Curvas PDF para diferentes períodos de retorno para condições climáticas atuais e projeções climáticas para 2050 e 2100.....	43
Figura 4.1: Localização das estações pluviográficas com dados fornecidos pelas instituições responsáveis	47
Figura 5.1: Fluxograma das atividades componentes da metodologia.....	51
Figura 5.2: Fluxograma das atividades realizadas na Etapa 3.....	55
Figura 6.1: Regressão linear da série de precipitações máximas anuais com duração de 1h da estação Porto Alegre	62
Figura 6.2: Análise de tendência da série de precipitações máximas anuais com duração de 1h da estação Porto Alegre pelos testes de Spearman e Mann-Kendall.....	62
Figura 6.3: Ajuste das distribuições de probabilidades	64
Figura 6.4: Distribuição de probabilidades da série amostral x série sintética	65
Figura 6.5: Tamanho da série a partir do qual é detectado tendência versus coeficiente angular da regressão linear.....	66
Figura 6.6: Intervalo de confiança para a relação entre $N \times b$ e ajuste de equação de potência.....	70
Figura 6.7 Parâmetros da distribuição GEV ajustados aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,01mm/ano.....	71
Figura 6.8: Parâmetros da distribuição GEV ajustados aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,05mm/ano.....	71
Figura 6.9: Parâmetros da distribuição GEV ajustados aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,10mm/ano.....	72
Figura 6.10: Parâmetros da distribuição GEV ajustados aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,20mm/ano.....	72
Figura 6.11: Parâmetros da distribuição GEV ajustados aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,30mm/ano.....	73
Figura 6.12: Parâmetros da distribuição GEV ajustados aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,40mm/ano.....	73
Figura 6.13: Média das estimativas de precipitação máxima com duração de 1h (mm) para diferentes tamanhos de séries.....	75
Figura 6.14: Média das estimativas da vazão de projeto (mm) para diferentes tamanhos de séries	76
Figura 6.15: Média das estimativas do diâmetro de tubulação (m) para diferentes tamanhos de séries.....	77
Figura 6.16: Aplicação dos testes de tendência nas séries com diferentes tamanhos	81
Figura 6.17: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com diferentes tamanhos	82
Figura 6.18: Módulo do erro da metodologia 1 aplicada para diferentes períodos de retorno (TR) e vida útil da obra (VU)	91
Figura 6.19: Módulo do erro da metodologia 2 aplicada para diferentes períodos de retorno (TR) e vida útil da obra (VU)	94
Figura 6.20: Fluxograma com roteiro de atualização das curvas IDF para considerar tendência climática	103
Figura A 1: Tamanho da série a partir do qual é detectado tendência versus coeficiente angular da regressão linear.....	123

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1: Estações pluviográficas com dados fornecidos pelas instituições responsáveis e período de observação.....	48
Quadro 6.1: Aplicabilidade da metodologia 1 e metodologia 2, considerando erro médio de até 15%	107
Quadro 6.2: Aplicabilidade do intervalo de aceitação	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 6.1: Série de precipitações máximas anuais com duração de 1h observada na estação Porto Alegre (mm)	61
Tabela 6.2: Teste de aderência das distribuições de probabilidades ajustadas à série	63
Tabela 6.3: Características estatísticas da série amostral x série sintética	65
Tabela 6.4: Intervalo de confiança para a relação entre N x b	68
Tabela 6.5: Relação N x b calculados pela equação de potência	69
Tabela 6.12: Aplicação dos testes de tendência para séries com magnitude de 0,01mm/ano	78
Tabela 6.13: Aplicação dos testes de tendência para séries com magnitude de 0,05mm/ano	78
Tabela 6.14: Aplicação dos testes de tendência para séries com magnitude de 0,10mm/ano	79
Tabela 6.15: Aplicação dos testes de tendência para séries com magnitude de 0,20mm/ano	79
Tabela 6.16: Aplicação dos testes de tendência para séries com magnitude de 0,30mm/ano	80
Tabela 6.17: Aplicação dos testes de tendência para séries com magnitude de 0,40mm/ano	80
Tabela 6.18: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com 0,01mm/ano	83
Tabela 6.19: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com 0,05mm/ano	83
Tabela 6.20: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com 0,10mm/ano	84
Tabela 6.21: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com 0,20mm/ano	84
Tabela 6.22: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com 0,30mm/ano	85
Tabela 6.23: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com 0,40mm/ano	85
Tabela 6.24: Incremento da vazão de projeto (%) ao longo da vida útil de obras de pequeno porte	86
Tabela 6.25: Incremento do diâmetro comercial (m) ao longo da vida útil de obras de pequeno porte	87
Tabela 6.28: Número de séries aptas à aplicação das metodologias e média das magnitudes	89
Tabela 6.39: Porcentagem das séries com assimetria fraca a moderada	98
Tabela 6.40: Porcentagem das séries onde precipitação futura verdadeira está contida dentro do intervalo de aceitação, para vida útil da obra igual 30 anos	98
Tabela 6.41: Porcentagem das séries onde precipitação futura verdadeira está contida dentro do intervalo de aceitação, para vida útil da obra igual 50 anos	99
Tabela 6.42: Porcentagem das séries onde precipitação futura verdadeira está contida dentro do intervalo de aceitação, para vida útil da obra igual 100 anos	99
Tabela 6.43: Média do módulo do erro (mm) da estimava da precipitação máxima anual com 1h de duração atualizada para situação futura utilizando a metodologia 1 e utilizando a metodologia 2	102
Tabela B 1: Ajuste da distribuição GEV aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,01mm/ano	127
Tabela B 2: Ajuste da distribuição GEV aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,05mm/ano	128
Tabela B 3: Ajuste da distribuição GEV aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência igual a 0,10mm/ano	129
Tabela B 4: Ajuste da distribuição GEV aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência igual a 0,20mm/ano	130
Tabela B 5: Ajuste da distribuição GEV aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência igual a 0,30mm/ano	131
Tabela B 6: Ajuste da distribuição GEV aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência igual a 0,40mm/ano	132

Tabela C 1: Média e demais estatísticas da precipitação máxima com duração de 1h (mm) para séries com magnitude de 0,01mm/ano	134
Tabela C 2: Média e demais estatísticas da precipitação máxima com duração de 1h (mm) para séries com magnitude de 0,05mm/ano	135
Tabela C 3: Média e demais estatísticas da precipitação máxima com duração de 1h (mm) para séries com magnitude de 0,10mm/ano	136
Tabela C 4: Média e demais estatísticas da precipitação máxima com duração de 1h (mm) para séries com magnitude de 0,20mm/ano	137
Tabela C 5: Média e demais estatísticas da precipitação máxima com duração de 1h (mm) para séries com magnitude de 0,30mm/ano	138
Tabela C 6: Média e demais estatísticas da precipitação máxima com duração de 1h (mm) para séries com magnitude de 0,40mm/ano	139
Tabela D 1: Média e demais estatísticas da vazão de projeto (m ³ /s) para séries com magnitude de 0,01mm/ano	142
Tabela D 2: Média e demais estatísticas da vazão de projeto (m ³ /s) para séries com magnitude de 0,05mm/ano	143
Tabela D 3: Média e demais estatísticas da vazão de projeto (m ³ /s) para séries com magnitude de 0,10mm/ano	144
Tabela D 4: Média e demais estatísticas da vazão de projeto (m ³ /s) para séries com magnitude de 0,20mm/ano	145
Tabela D 5: Média e demais estatísticas da vazão de projeto (m ³ /s) para séries com magnitude de 0,30mm/ano	146
Tabela D 6: Média e demais estatísticas da vazão de projeto (m ³ /s) para séries com magnitude de 0,40mm/ano	147
Tabela E 1: Média e demais estatísticas do diâmetro de tubulação (m) para séries com magnitude de 0,01mm/ano	150
Tabela E 2: Média e demais estatísticas do diâmetro de tubulação (m) para séries com magnitude de 0,05mm/ano	151
Tabela E 3: Média e demais estatísticas do diâmetro de tubulação (m) para séries com magnitude de 0,10mm/ano	152
Tabela E 4: Média e demais estatísticas do diâmetro de tubulação (m) para séries com magnitude de 0,20mm/ano	153
Tabela E 5: Média e demais estatísticas do diâmetro de tubulação (m) para séries com magnitude de 0,30mm/ano	154
Tabela E 6: Média e demais estatísticas do diâmetro de tubulação (m) para séries com magnitude de 0,40mm/ano	155
Tabela F 1: Avaliação do módulo do erro da metodologia 1 aplicada para TR igual a 5 anos	158
Tabela F 2: Avaliação do módulo do erro da metodologia 1 aplicada para TR igual a 10 anos	159
Tabela F 3: Avaliação do módulo do erro da metodologia 1 aplicada para TR igual a 25 anos	160
Tabela F 4: Avaliação do módulo do erro da metodologia 1 aplicada para TR igual a 50 anos	161
Tabela F 5: Avaliação do módulo do erro da metodologia 1 aplicada para TR igual a 100 anos	162
Tabela F 6: Desempenho da metodologia 1 para TR = 5 anos	163
Tabela F 7: Desempenho da metodologia 1 para TR = 10 anos	164
Tabela F 8: Desempenho da metodologia 1 para TR = 25 anos	165
Tabela F 9: Desempenho da metodologia 1 para TR = 50 anos	166
Tabela F 10: Desempenho da metodologia 1 para TR = 100 anos	167
Tabela G 1: Avaliação do módulo do erro da metodologia 2 aplicada para TR igual a 5 anos	170
Tabela G 2: Avaliação do módulo do erro da metodologia 2 aplicada para TR igual a 10 anos	170

Tabela G 3: Avaliação do módulo do erro da metodologia 2 aplicada para TR igual a 25 anos	171
Tabela G 4: Avaliação do módulo do erro da metodologia 2 aplicada para TR igual a 50 anos	171
Tabela G 5: Avaliação do módulo do erro da metodologia 2 aplicada para TR igual a 100 anos	172
Tabela G 6: Desempenho da metodologia 2 para TR = 5 anos	173
Tabela G 7: Desempenho da metodologia 2 para TR = 10 anos	174
Tabela G 8: Desempenho da metodologia 2 para TR = 25 anos	175
Tabela G 9: Desempenho da metodologia 2 para TR = 50 anos	176
Tabela G 10: Desempenho da metodologia 2 para TR = 100 anos	177

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	22
2.1	OBJETIVO GERAL	22
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.1	ESTIMATIVA DE CHUVAS INTENSAS NOS PROJETOS HIDRÁULICOS	23
3.2	MUDANÇAS CLIMÁTICAS	28
3.3	ESTUDOS DE TENDÊNCIAS DE CHUVAS	32
3.4	ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS PARA CONSIDERAR AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS DAS CHUVAS INTENSAS EM PROJETOS HIDRÁULICOS	34
3.4.1	Metodologia proposta por Mailhot e Duchesne (2010):.....	37
3.4.2	Metodologia proposta por Notaro et.al. (2015):	38
3.4.3	Metodologia utilizada por Liuzzo e Freni (2015):	42
3.5	SÉRIES SINTÉTICAS DE PRECIPITAÇÃO	43
4	ÁREA DE ESTUDO E OBTENÇÃO DE DADOS.....	47
5	METODOLOGIA	51
5.1	ETAPA 1 – SÉRIES SINTÉTICAS	52
5.2	ETAPA 2 – ANÁLISE DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS	53
5.2.1	Análise do tamanho da série de precipitações máximas para detecção de tendências.....	53
5.2.2	Impacto da tendência climática em projetos hidráulicos	53
5.3	ETAPA 3 – TESTE DAS METODOLOGIAS	54
5.3.1	Metodologia 1 - Mailhot e Duchesne (2010) / Liuzzo e Freni (2015)	56
5.3.2	Metodologia 2 – proposta de adaptações.....	57
5.3.3	Avaliação do desempenho das metodologias.....	59
5.4	ETAPA 4 – ROTEIRO PARA ATUALIZAÇÃO DAS CURVAS IDF/PDF CASO DETECTADO TENDENCIA CLIMÁTICA	60
6	RESULTADOS	61
6.1	ETAPA 1 – SÉRIES SINTÉTICAS	61
6.1.1	Ajuste da distribuição de probabilidades à série observada	61
6.1.2	Geração das séries sintéticas	64
6.2	ETAPA 2 - ANÁLISE DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS	66
6.2.1	Tamanho mínimo da série de precipitações máximas para detecção de tendências.....	66

6.2.2	Impacto da tendência climática nos projetos hidráulicos	70
6.3	ETAPA 3 – TESTE DAS METODOLOGIAS	88
6.3.1	Metodologia 1	90
6.3.2	Metodologia 2	94
6.3.3	Discussão sobre o desempenho das metodologias	100
6.4	ETAPA 4 – PROPOSTA DE METODOLOGIA COM ROTEIRO PARA ATUALIZAÇÃO DAS CURVAS IDF CASO DETECTADA TENDENCIA CLIMÁTICA.....	103
6.4.1	Roteiro.....	103
6.4.2	Aplicabilidade da metodologia	107
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
	APÊNDICE A – TAMANHO DA SÉRIE A PARTIR DO QUAL É DETECTADO TENDÊNCIA VERSUS COEFICIENTE ANGULAR DA REGRESSÃO LINEAR ..	121
	APÊNDICE B – AJUSTE DA DISTRIBUIÇÃO GEV AOS DIFERENTES TAMANHOS DE SÉRIES	125
	APÊNDICE C – PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PARA DIFERENTES TAMANHOS DE SÉRIE E PERÍODOS DE RETORNO	133
	APÊNDICE D – VAZÕES MÁXIMAS DE PROJETO PARA DIFERENTES TAMANHOS DE SÉRIE E PERÍODOS DE RETORNO	141
	APÊNDICE E – DIÂMETROS DE TUBULAÇÕES NECESSÁRIOS PARA CONDUZR AS VAZÕES DE PROJETO.....	149
	APÊNDICE F – RESULTADOS DO DESEMPENHO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA 1	157
	APÊNDICE G – RESULTADOS DO DESEMPENHO DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIA 2	169

1 INTRODUÇÃO

A análise das intensidades das precipitações e sua frequência é fundamental para projetos de engenharia, para a gestão do uso do solo e dos recursos hídricos. As precipitações de grandes intensidades são as responsáveis pelos alagamentos, os quais são mais significativos em áreas urbanas com bacias hidrográficas de pequenas áreas. Isto ocorre devido à combinação dos fatores: pequenas bacias – quanto menor a bacia, maior é o efeito das chuvas mais intensas; áreas com maior impermeabilização do solo implicando em maior volume a ser escoado pela superfície; e processo de crescimento urbano acelerado e desordenado, levando a cidades sem infraestrutura apropriada.

Agravando esta situação, IPCC (2014) e PBMC(2013) mostraram que se mantido o padrão de emissão de gases causadores do efeito estufa, o aumento da temperatura implicará no aumento da ocorrência de tempestades no Brasil e em outras regiões do mundo, e por consequência, o aumento do risco de enchentes até o ano de 2100. Molion (2007) salienta que o aumento da temperatura percebido recentemente é consequência da crescente urbanização em grandes cidades, sendo que as temperaturas maiores nestes locais acabam mudando o microclima da região. É consenso, portanto, que nas regiões urbanizadas, a tendência da temperatura é aumentar. Como consequência disso, o regime local de chuvas pode ser alterado.

Em diversos locais do país, muitos autores discutidos no item 3.3 já estudaram as tendências das precipitações, chegando a respostas positivas ou negativas. Entretanto, a maioria dos estudos utilizam dados de precipitação acumulada, em intervalos diários, mensais ou anuais. São poucos os estudos com dados discretizados em intervalos de tempo menores que um dia, função da escassez destes. Sabe-se que a rede pluviográfica brasileira apresenta grande quantidade de falhas além da abrangência de pequeno número de estações. Nos últimos anos, houve uma ampliação desta rede de monitoramento, mas por ser recente essa ampliação, as séries observadas ainda são curtas e não possibilitam uma análise adequada da variabilidade temporal e caracterização das intensidades das chuvas, sendo justamente estas precipitações de curta duração responsáveis pelos alagamentos de pequenas bacias urbanizadas.

Considerando esta situação e ainda que as séries pluviográficas observadas são curtas e/ou com grande ocorrência de falhas, e que seu conhecimento é fundamental para o adequado dimensionamento de projetos hidráulicos urbanos, surgem alguns questionamentos como: *Qual o tamanho da série necessário para detectar tendência? Qual a influência das*

tendências climáticas em projetos hidráulicos? Qual a necessidade de revisar os projetos quando detectado tendência nas séries de precipitação e como fazê-lo?

Ainda neste contexto, se houver a necessidade de revisar os projetos hidráulicos para considerar as tendências, é importante analisar qual metodologia mais adequada. Existem metodologias ainda em aperfeiçoamento para tal objetivo na bibliografia, desde modelos mais complexos a simplificados, sendo estes últimos interessantes no ponto de vista de facilitar a aplicabilidade do mesmo, pois necessitam de menor quantidade de dados observados e variáveis a serem definidas.

Diante deste cenário de incertezas e na busca por respostas, a presente pesquisa visa contribuir na análise de tendência de eventos extremos e como estes podem ser considerados nos projetos hidráulicos, estudando o desempenho de metodologias e verificando quão adequadas são as mesmas para aplicação na realidade brasileira de séries curtas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver metodologia para considerar as tendências climáticas positivas das chuvas intensas nos projetos de obras hidráulicas urbanas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos tem-se:

- Avaliar impacto de possíveis alterações das precipitações em projetos hidráulicos.
- Comparar e propor métodos para considerar a tendência climática na construção das curvas de relação Intensidade x Duração x Frequência (IDF).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo está organizado da seguinte maneira: inicialmente discorre-se sobre as metodologias usuais de determinação de chuvas intensas e por consequência da vazão de projeto em estruturas hidráulicas (considerando que o comportamento da chuva é estacionário). Na sequência, é discutido sobre as mudanças climáticas, e em próximo item, sobre análises para detecção de tendências em dados de precipitação. Uma vez detectado que os dados não são estacionários, é necessário portanto considerar este fato e adaptar as metodologias de determinação de chuvas máximas / vazões de projeto para tal, tema discutido no item posterior. Por fim, tem-se ainda uma revisão sobre séries sintéticas de precipitação, por se tratar de ferramenta utilizada no desenvolvimento da presente tese.

3.1 ESTIMATIVA DE CHUVAS INTENSAS NOS PROJETOS HIDRÁULICOS

A precipitação é um dos principais parâmetros meteorológicos em bacias hidrográficas, uma vez que é fundamental para calcular as vazões em projetos de engenharia e gerenciamento dos recursos hídricos. Nesse sentido, seu conhecimento e estimativa de valores futuros são importantes, buscando tornar a previsão mais correta possível e os projetos mais seguros. Segundo Almeida et. al. (2011), dentre os parâmetros meteorológicos, a precipitação é a que apresenta a maior variabilidade temporal e espacial sendo, portanto, o de maior dificuldade de determinação.

A previsão de eventos futuros tem o intuito de diminuição de risco na tomada de decisão, onde se deve levar em consideração o erro associado à estimativa. Quanto menor o erro (e risco associado), maior o custo da solução; sendo, portanto, importante um balanço entre o custo e o benefício.

Existem dois modos de descrever e fazer previsões de variáveis do ciclo hidrológico: (i) usar equações para descrever os processos físicos; (ii) considerar que os processos são controlados por leis probabilísticas, ou seja, modelos estocásticos (TUCCI, 2005). Segundo Alves et.al. (2007), muitos estudos na literatura meteorológica têm mostrado que o uso das técnicas estatísticas como métodos de prognóstico apresentaram resultados com um melhor desempenho do que os advindos da modelagem com base em processos físicos.

Existem variados modelos estocásticos para calibração e previsão de variáveis hidrológicas, como Médias Móveis Simples (MMS), Alisamento Exponencial Simples (AES), Auto Regressivo (AR), Médias Móveis (MA), Auto Regressivo de Médias Móveis (ARMA),

Auto Regressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA / Box-Jenkins), Auto Regressivo Integrado de Médias Móveis com Variáveis Exógenas (ARIMAX), entre outros. A análise de séries temporais utilizando estes modelos consiste em procurar alguma relação de dependência temporal entre os dados, identificando o mecanismo gerador da série com o objetivo de extrair periodicidades relevantes nas observações; descrever o seu comportamento e fazer previsões (BAYER, CASTRO E BAYER, 2012).

No entanto, uma limitação destes modelos é que não permitem uma previsão determinística com grande antecedência. Como no presente estudo se analisará séries de eventos extremos, os quais possuem ocorrência aleatória e independência temporal, além da necessidade de uma previsão de longo período para dimensionamentos hidráulicos, os modelos estocásticos citados não são os mais indicados. Também não foram encontradas literaturas que os apliquem a este tipo de dados.

Clarke (2009) discorre sobre os modelos estatísticos e suas aplicações, indicando que a análise recomendada para séries de valores extremos e suas previsões é o ajuste de uma distribuição de probabilidades que represente adequadamente os dados.

O conhecimento da frequência de ocorrência de eventos extremos possui grande importância no dimensionamento de estruturas hidráulicas, principalmente em grandes obras que exijam um alto período de retorno, sendo que o risco assumido é inversamente proporcional ao período de retorno adotado no projeto. Neste contexto, lembra-se dos conceitos de probabilidade de excedência (P) e período de retorno (TR). Collischonn e Dornelles (2013) definem, no caso de eventos máximos, o primeiro como probabilidade que o evento venha a ser igualado ou superado em um ano qualquer; enquanto TR é o intervalo médio de tempo, em anos, que decorre entre duas ocorrências subsequentes de um evento de mesma magnitude ou maior. Sendo $TR=1/P$.

A análise da probabilidade de ocorrência de eventos é importante para conhecer a projeção do que ocorrerá no futuro em termos de realizações desta variável com base em observações históricas já ocorridas. Isto remete ao conceito de estacionariedade, onde caso não ocorreram modificações substanciais no processo natural analisado, pode-se aceitar que, em termos probabilísticos, o que ocorreu no passado deverá ocorrer no futuro (LANNA, 2009). Para um cenário de mudanças climáticas, onde não ocorre estacionariedade, as metodologias devem ser revistas e analisadas as aplicabilidades, fato a ser discutido na presente tese.

Segundo Lanna (2009), outro conceito importante é a diferença entre probabilidade e frequência, sendo que probabilidade se refere a eventos não conhecidos, enquanto a

frequência, a eventos observados (distribuição empírica). No caso de eventos raros, com grandes períodos de retorno, a distribuição empírica não contempla eventos nesta faixa de valores. Para o conhecimento da probabilidade de eventos raros, portanto, ajusta-se uma função (distribuição de probabilidades) à distribuição empírica, e extrapola-se a mesma para a probabilidade desejada.

No caso de séries de valores máximos, a distribuição de frequências empírica, também chamada de “posição de plotagem”, é determinada por meio de uma fórmula que especifica a frequência com que um, entre n valores ordenados de modo decrescente, será igualado ou superado. Existem várias equações de posição de plotagem, sendo que estas assim como suas indicações de uso podem ser encontradas em diversas bibliografias, como Naghettini e Pinto (2007), Lanna (2009) e Collischonn e Dornelles (2013).

A frequência de ocorrência de eventos extremos de máximos tende a apresentar forte assimetria positiva, ou seja, longa cauda na direção dos maiores valores. Nesse sentido, existem várias distribuições teóricas de probabilidade assintóticas para análise de eventos máximos. Estas, geralmente são caracterizadas por 2 parâmetros, mas podem chegar até 5 nas distribuições mais complexas, sendo que a prática hidrológica não indica a utilização de mais de 3 parâmetros (LANNA, 2009). Cita-se algumas frequentemente utilizadas como Generalizada de Pareto (3 parâmetros), Generalizada de Eventos Extremos (GEV – 3p), Generalizada Logística (3p), Gama (2p), Assintótica de Extremos Tipo I (Gumbel – 2p), Exponencial (2p), entre outras.

O ajuste de uma distribuição teórica à uma distribuição empírica é a determinação dos valores adequados dos parâmetros de forma que a primeira se torne a mais idêntica possível à segunda. O ajuste pode ser feito por tentativas (manualmente) ou por meio de algum método, como método dos momentos, método dos momentos-L, método dos mínimos quadrados, método da máxima verossimilhança, método dos momentos ponderados pela probabilidade. A descrição de cada metodologia de ajuste pode ser consultada em Naghettini e Pinto (2007).

Beskow et.al.(2015) e Junqueira Junior, Mello e Alves (2015) avaliaram o desempenho de distribuições de probabilidade na modelagem de chuvas máximas diárias, para o sul do Brasil e Alto Rio Grande (MG), respectivamente. Beskow et.al.(2015) analisaram as distribuições GEV, Kappa, Gumbel e Log-normal, obtendo melhor desempenho da distribuição Kappa, seguida pela GEV, realizando ajuste pelo método dos momentos-L. Junqueira Junior, Mello e Alves (2015) avaliaram as distribuições GEV e Gumbel, onde cada uma apresentou melhor desempenho em regiões diferentes. Também foram avaliados os

métodos de ajuste dos momentos, momentos-L e máxima verossimilhança, encontrando melhor resultado com o método dos momentos-L.

Quadros, Queiroz e Vilas Boas (2011) ajustaram as distribuições de Gumbel e GEV às chuvas extremas de pluviógrafos em Cascavel (PR), encontrando valores menores de precipitação para grandes períodos de retorno para distribuição de Gumbel.

Back (2009) utilizou a distribuição de Gumbel-Chow para determinação das curvas IDF com base em dados de pluviógrafo em Urussanga (SC). Ylmaz e Perera (2014), Ali, Mishra e Pai (2014) e Liuzzo e Freni (2015) ajustaram a distribuição GEV com método dos momentos-L a dados de chuvas máximas para estimativas futuras de chuvas com diferentes períodos de retorno na Austrália, Índia, e Itália, respectivamente.

Embora muitos estudos utilizem as distribuições Gumbel e GEV para representar os dados extremos, é importante testar as diversas distribuições existentes, assim como os métodos de ajuste (ou de estimativa dos parâmetros), buscando encontrar a distribuição de probabilidades e parâmetros que melhor representem os dados do local que se quer analisar, assim como buscando reduzir o erro das estimativas futuras.

O estudo e a determinação das chuvas intensas é de fundamental importância nos projetos hidráulicos, pois na maioria das metodologias, as vazões máximas de projeto são obtidas indiretamente por modelos de transformação chuva-vazão (ZAHED FILHO e MARCELLINI, 2015). As precipitações máximas costumam ser caracterizadas através das relações Intensidade – duração – frequência (IDF), as quais são obtidas por meio da análise de dados observados.

O desenvolvimento das relações IDF baseia-se na seleção das maiores chuvas de uma duração escolhida em cada ano da série de dados. Com base nesta série de tamanho “n” (número de anos) é ajustada uma distribuição de probabilidades que melhor represente as frequências da série observada. O procedimento é repetido para diferentes durações de chuva (5 minutos, 10 minutos, 1 hora, 12 horas...) e os resultados são resumidos em forma de um gráfico ou equação, com relação das três variáveis: Intensidade, duração e frequência de excedência - ou período de retorno. As chuvas intensas também podem ser relacionadas pelas variáveis Precipitação – Duração – Frequência, caracterizando as relações PDF.

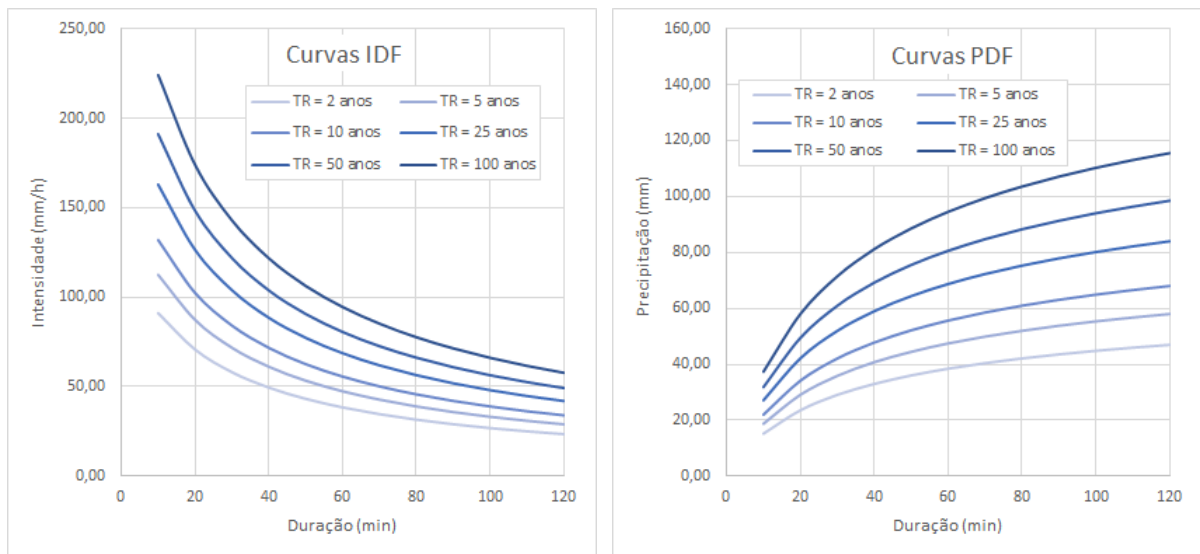
A Figura 3.1 apresenta um exemplo de curvas IDF e curvas PDF. Além da forma gráfica, as relações IDF/PDF também podem ser expressas na forma de uma equação, sendo a mais comum adotada para representar as curvas IDF expressa por (BERTONI e TUCCI, 2009):

$$i = \frac{a \cdot TR^b}{(t + c)^d} \quad (3.1)$$

Em que: i = intensidade (mm/h); TR = tempo de retorno (anos); t = duração da chuva (min); a, b, c e d são parâmetros determinados para cada local com base nos dados observados.

Outra equação bastante utilizada em outros países para as relações PDF, é a forma de potência, conforme descrito no item 3.4.2.

Figura 3.1: Exemplo de curvas de relação IDF e PDF



Fonte: Elaboração própria

Com base nas relações IDF/PDF, é possível calcular as vazões máximas de projeto, por métodos que representam os processos de transformação da precipitação em vazão. Estes podem ser simplificados, como o método Racional ou métodos de Hidrograma Unitário (HU), amplamente descritos na literatura, ou ainda utilizar modelos mais completos que consideram maior número de variáveis do ciclo hidrológico.

O método Racional constitui o mais simplificado deles, pois engloba todos os processos em apenas um coeficiente (TUCCI, 2009). Porto (2015) comenta que o método racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de projeto para bacias pequenas, geralmente até 2 km². Como as bacias urbanas geralmente são pequenas, o método é frequentemente utilizado para dimensionamento das estruturas de microdrenagem, visto sua simplicidade de aplicação.

3.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Ao longo dos últimos anos foram observadas mudanças no clima, e em 1988, a Organização Mundial das Nações Unidas para o Meio Ambiente (United Nations Environment Programme – Unep) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) criaram o IPCC – “*Intergovernmental Panel on Climate Change*” – com objetivo de realizar avaliações sobre as mudanças climáticas e seus impactos potenciais.

Segundo o último relatório do IPCC publicado em 2014, desde a década de 1950, a temperatura da atmosfera e do oceano tem aumentado, as quantidades de neve e gelo diminuíram, o nível do mar subiu, e a precipitação tem aumentado no Hemisfério Norte, fornecendo evidências de mudanças no ciclo global da água. De acordo com este estudo, as causas deste panorama são as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa - dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) - que aumentaram devido ao crescimento econômico e populacional. Entre os impactos causados pelas mudanças climáticas estão as alterações dos sistemas hidrológicos, diminuição da ocorrência de temperaturas mínimas enquanto as máximas têm aumentado, além do aumento da ocorrência de chuvas intensas em determinadas regiões (IPCC, 2014). Este último implica em maiores riscos de inundações nas bacias hidrográficas.

Na projeção das mudanças climáticas até o ano de 2100, IPCC (2014) prevê que a temperatura irá aumentar, sendo provável que ondas de calor ocorram com maior frequência e duração, eventos extremos de precipitação se tornarão mais intensos e frequentes em determinadas regiões (cheias ou secas). O oceano continuará a aquecer-se, acidificar-se, e seu nível médio a subir. O estudo afirma que mesmo que as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa sejam interrompidas, os impactos associados às mudanças climáticas continuarão durante muitos séculos.

Considerando as chuvas intensas, Fu et.al. (2013) analisaram a variabilidade temporal das precipitações extremas com durações de 1 a 30 dias encontrando tendência positiva no sul e noroeste da China, interior da Mongólia e Planalto Tibetano. Ylmaz e Perera (2014) detectaram tendência positiva para chuvas intensas com duração de 1h, 30min e para durações menores em Melbourne, Austrália. Liuzzo e Freni (2015) encontraram tendências negativas no noroeste e positivas no nordeste da região da Sicília, Itália, para chuvas máximas horárias. Na Malásia, Syafrina, Zalina e Juneng (2015) identificaram tendência crescente das precipitações extremas a partir de 1975, principalmente dos eventos de curta duração.

Em relação às mudanças climáticas no Brasil, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas – PBMC, em seu último relatório, afirma que a precipitação apresentou tendências negativas no norte e oeste da Amazônia, e positivas no sul da Amazônia, Centro-Oeste e Sul do Brasil (PBMC, 2013). Houve também aumento de noites quentes e diminuição de noites frias, aumento do nível do mar e sua temperatura, e o aumento da frequência e intensidade de ciclones extratropicais em algumas áreas do litoral Sul e Sudeste. No estudo de projeção futura são esperadas mudanças no clima conforme a região do País, afetando os ecossistemas aquáticos e terrestres (PBMC, 2013).

Marengo (2008) e Marengo et.al. (2010) mostram que as projeções de mudanças climáticas sugerem que na Amazônia e Nordeste a chuva tende a reduzir, enquanto no sul do país aumentará as chuvas extremas, assim como na costa noroeste do Peru-Ecuador e norte da Argentina. Em consonância com as projeções do IPCC, Marengo e Bernasconi (2015) afirmam que até 2100 ocorrerá aumento do ressecamento da região Nordeste brasileira, com reduções de chuva, aumento de temperatura, déficits hídricos e secas mais longas, sendo este cenário futuro também projetado por Lacerda et.al.(2016).

Demais estudos também corroboram este cenário. Sanches (2013) detectou aumento da ocorrência de chuvas máximas diárias nos meses de novembro, janeiro e março no município de Alegrete, RS. Uliana et.al. (2015) identificaram tendência positiva nas precipitações mensais e anuais a partir da década de 70 em Alegre, ES. Mendes (2013) analisou dados de pluviógrafos e percebeu diminuição da frequência de chuvas muito fracas a moderadas (0,1 a 4 mm/h) e aumento de chuvas fortes e muito fortes (4 a 50 mm/h) em São Paulo, SP; enquanto Santos Neto (2014) encontrou tendência negativa de chuvas horárias com volumes de 0,2 a 10 mm em Porto Velho, RO.

Para o estado do Rio Grande do Sul, Berlatto e Cordeiro (2017) constataram redução da amplitude térmica, aumento da precipitação anual e aumento de precipitações diárias intensas nas últimas décadas, comentando ainda que estas variabilidades estão associadas às anomalias de temperatura da superfície do mar do Pacífico equatorial (fenômenos El Niño e La Niña) e do Atlântico Sul, assim como da Oscilação Decadal do Pacífico.

Frente a este cenário, o Ministério do Meio Ambiente desenvolveu o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima. Este documento visa disseminar informações sobre as mudanças climáticas; promover a coordenação e cooperação entre órgãos públicos por meio de processos participativos com a sociedade; e identificar e propor medidas para promover a adaptação e a redução do risco associado à mudança do clima (MMA, 2016).

Embora o avanço científico dos últimos anos tenha possibilitado um melhor entendimento do sistema climático, existem grandes incertezas nas projeções de clima reportadas pelo IPCC, principalmente em escala regional. Nesse sentido, Santos et.al. (2015) analisaram as incertezas das projeções de precipitação na América do Sul reportadas pelo IPCC, encontrando boa confiabilidade dos modelos nessa região. Sabóia (2016) avaliou o impacto dos possíveis cenários de mudanças climáticas em sistemas de drenagem urbana em Fortaleza-CE utilizando dados de precipitações oriundos de seis modelos de circulação global. As projeções dos modelos apresentaram grande variabilidade entre si, demonstrando como o estudo da previsão climática ainda é impreciso. Além das incertezas, outro grande desafio enfrentado pelo IPCC e pesquisadores da área é acompanhar o crescimento exponencial da literatura sobre mudanças climáticas e como efetivar as soluções estudadas (MINX et.al., 2017).

De forma sucinta, os estudos citados indicam que o aquecimento global que temos enfrentado é decorrente da ação humana. O aumento de concentração de CO₂ emitido pelas atividades humanas interfere no equilíbrio natural do clima, tornando a atmosfera instável. Na busca para reestabelecer o equilíbrio, acontecem os fenômenos como aumento na taxa de degelo dos polos, aumento de chuvas, aumento da ocorrência de eventos extremos e da temperatura geral da terra.

No entanto, contrariamente a esta teoria liderada pelo IPCC, existem estudos realizados pelo Painel Internacional Não Governamental sobre Mudanças Climáticas – *Nongovernmental International Panel on Climate Change* – NIPCC (IDSO, CARTER e SINGER, 2013), além de outros autores como Leroux (2003), McLean (2007), Maruyama (2009) e Molion (2005), indicando que a influência da ação humana é insignificante. Estes estudos mostram que as mudanças climáticas são naturais e cíclicas, com períodos em que o planeta esfria e outros em que se aquece. Há evidências de que o clima já esteve mais quente que o atual entre aproximadamente os anos 800 a 1200 dC, chamado de “Período Quente Medieval”, época de colonização da Groelândia (Terra Verde), que hoje está coberta de gelo. Assim, em aproximadamente 1200-1350 até 1800-1900 ocorreu a “Pequena Idade do Gelo”, onde partes do Atlântico Norte congelaram (MIRANDA e ARAÚJO, 2014; IDSO, CARTER e SINGER, 2013). Portanto, os estudos ligados a esta teoria acreditam que a maior probabilidade é que a temperatura média da Terra volte a esfriar nos próximos anos.

Molion (2008) afirma que os equipamentos climatológicos começaram a ser instalados a cerca de 150 anos atrás, no final do período mais frio que o atual, e portanto, as séries

climatológicas que temos observadas não possuem a representatividade temporal necessária para analisar as mudanças climáticas.

A teoria defende que o aumento da concentração de CO₂ nos últimos anos é natural, sendo cerca de 97% provenientes dos oceanos, vegetação e solo, cabendo ao ser humano menos de 3%. Os oceanos, responsáveis pela ocupação de 71% da superfície terrestre, são os principais reguladores de CO₂ na terra, sendo que as principais alterações no clima em escala global se dão principalmente pela energia solar emitida e pela regulação dos mares.

Molion (2007) salienta que o aumento da temperatura percebido nos últimos anos é consequência da crescente urbanização, o que o autor chama de “efeito ilha de calor”, ocorrentes em grandes cidades. Nestes locais as temperaturas são maiores, mudando apenas o microclima, mas não chegam a repercutir em escala global, pois a quantidade de CO₂ emitida é muito pequena comparada à carga emitida naturalmente pelos solos, mares, vegetais e animais.

No processo de formação das nuvens, a condensação ocorre em torno de partículas como poeira, fumaça e sais, que estão em suspensão na atmosfera e são denominadas de núcleos de condensação de nuvens (NCN). Dessa forma, ocorre o aumento das gotas nas nuvens, até atingirem tamanhos e pesos suficientes para precipitar em forma de chuva (COLLISCHON; DORNELLES, 2013). A concentração dos NCN é importante pois interfere na ocorrência de chuvas e conseqüentemente no ciclo hidrológico do local. Silva Dias et al. (2002) e Silva Dias, Cohen e Gandú (2005) afirmam que quando em ambientes não poluídos, existe um número pequeno de NCN na atmosfera, e o vapor d'água disponível se deposita em poucas gotas que crescem rapidamente até atingir um tamanho que permite sua queda como chuva, na mesma região em que foram formadas. Caso a atmosfera esteja poluída, com um número grande de NCN, as gotas geradas crescem pouco e devagar, pois a disputa pelo vapor de água disponível aumenta. Essas nuvens formadas muitas vezes não precipitam, tendem a ficar em suspensão no ar e serem levadas pelos ventos a outros locais. Assim, as modificações antropogênicas no uso do solo podem causar mudanças no clima, seja em escala local até regional.

O fato do homem não ser o responsável pela variação do clima não justifica a degradação do meio ambiente que o mesmo tem realizado. Considerando o aumento populacional, é inevitável a adoção de políticas de conservação ambiental e mudanças nos hábitos para haver sustentabilidade, independente do aquecimento ou resfriamento global (MOLION 2008).

Existem inúmeros estudos confrontando as duas teorias, discutindo se a ação do homem é ou não a causa das mudanças climáticas, como Jankó, Papp Vancsó e Moricz (2017); Casagrande, Silva Júnior e Mendonça (2011); Cook et.al. (2013); Silva e Paula (2009), Toniolo e Carneiro (2010), entre outros.

Cook et.al. (2013) analisaram a evolução do consenso científico sobre o aquecimento global antropogênico na literatura científica revisada por pares, onde uma porcentagem maior que 90% dos artigos endossam a posição de consenso de que os seres humanos estão causando o aquecimento global, sendo que essa porcentagem tem aumentado ao longo do tempo.

Ainda há muitas divergências entre as previsões de mudanças do clima. Independente da causa, é consenso que elas estão ocorrendo e que afetarão a vida do homem no que se refere a habitação, saúde, agricultura, ecossistemas, entre outros fatores. Portanto é importante ter conhecimento do comportamento dos eventos a fim de se estar preparado para quaisquer mudanças.

3.3 ESTUDOS DE TENDÊNCIAS DE CHUVAS

Uma série temporal é um conjunto de observações ordenadas no tempo. Segundo Naghettini e Pinto (2007) as séries hidrológicas podem apresentar uma tendência, ou um 'salto', ou uma periodicidade ao longo do tempo, como resultado de variações naturais do clima ou alterações induzidas pela ação do homem. Nesse caso, as séries hidrológicas seriam ditas não estacionárias ao longo do tempo, e do contrário, uma série estacionária é aquela que não se altera ao longo do tempo.

A identificação de alterações em uma série de dados meteorológicos é importante para estudos de engenharia que as utilizam, pois tanto as simulações como as aplicações de teorias de probabilidade são realizadas com a hipótese de que as séries históricas não apresentem tendências, sendo que sua dificuldade de detecção está na grande variabilidade natural dos dados meteorológicos (BACK, 2001).

Para a análise de tendências, dentre os principais tipos de testes estão a regressão linear, média móvel, teste de Mann-Kendall, teste de Mann-Kendall sazonal, teste de Pettitt e teste de Spearman.

Em muitas regiões do país, diversos autores já estudaram as precipitações, chegando a tendências positivas ou negativas, por meio destes testes matemáticos e estatísticos. Alexandre, Baptista e Naghettini (2010), Costa et.al. (2015) e Rosin, Amorim e Morais

(2015), analisaram a tendência de chuvas mensais e anuais por meio do teste de Mann-Kendall, sendo que o primeiro estudo também utilizou o teste de Spearman para mesmo fim, enquanto Uliana et.al (2015) aplicou o teste de Pettitt.

Sanches (2013) também aplicou o teste de Mann-Kendall para análise de tendência em dados de chuvas máximas diárias, enquanto Mendes (2013) e Santos Neto (2014) analisaram a tendência em chuvas horárias por meio de regressão linear.

Poucos são os estudos realizados no país com dados discretizados em intervalos menores que um dia, de estações pluviográficas que investigam as tendências ou vão além analisando também se há mudança da tendência detectada. Isto ocorre devido à baixa disponibilidade de dados e pouca representatividade das séries, geralmente curtas e com grande número de falhas.

Em relação aos estudos de tendência realizados em chuvas intensas nos demais países, a grande maioria utiliza o teste de Mann-Kendall para análise de tendências, sejam para dados de máximos diários, como Fu et.al. (2013), Ali, Mishra e Pai (2014), Sharma e Babel (2014), quanto para máximos de menores durações, como Ylmaz e Perera (2014), Liuzzo e Freni (2015) e Syafrina, Zalina e Juneng (2015). Sharma e Babel (2014) e Syafrina, Zalina e Juneng (2015) também analisaram a tendência com regressão linear e Ylmaz e Perera (2014) também aplicaram o teste de Spearman.

Totaro, Gioia e Iacobellis (2019) analisaram o desempenho de métodos de detecção de tendência e mostraram que a potência do teste de Mann-Kendall é muito baixa para tendências fracas, como por exemplo, 0,2 mm/ano ou 0,3 mm/ano em precipitações diárias máximas anuais. O estudo evidenciou também que a potência do teste reduz significativamente quanto menor for o tamanho da amostra, sendo que para uma série com tamanho de 30 dados, a potência do teste é muito baixa.

Németh, Hubnerová e Zempléni (2019) mostraram que amostras com tamanho a partir de 30-40 anos de dados são suficientes para detecção de tendência quando a mesma ocorre apenas no parâmetro de posição da distribuição de probabilidades ou nos parâmetros de posição e escala.

Nesse sentido, White (2018) também ressalta que em séries temporais curtas os testes para detecção de tendência não oferecem resultados confiáveis. O autor ainda destaca que em situações em que são detectadas tendências, a espera por uma série longa pode resultar em ações tardias, e portanto o princípio da precaução pode ser mais apropriado, exigindo que ações de gerenciamento sejam tomadas mesmo com base nas séries curtas.

3.4 ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS PARA CONSIDERAR AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS DAS CHUVAS INTENSAS EM PROJETOS HIDRÁULICOS

A concepção de projetos hidráulicos baseia-se numa análise estatística das séries históricas de chuvas intensas. Uma vez detectadas tendências nestes eventos ao longo do tempo, é fundamental o desenvolvimento de metodologias que considerem este fato. O dimensionamento equivocado de estruturas como rede de macrodrenagem, reservatórios de detenção/retenção, vertedouros de barragens, entre outros, pode levar a eventos desastrosos. Mesmo na rede de microdrenagem, o subdimensionamento fará com que a região passe por alagamentos constantes.

A análise estatística convencional das chuvas intensas é a relação IDF (intensidade x duração x frequência – ou PDF: precipitação x duração x frequência) obtida pelo ajuste de uma distribuição de probabilidade de extremos aos dados observados. Esta análise sugere que os dados sejam estacionários, ou seja, não há tendência climática.

Segundo Mailhot e Duchesne (2010) quando não há estacionariedade na ocorrência das chuvas intensas, significa que o tempo médio que separa dois eventos similares irá mudar ao longo do tempo, ou seja, o período de retorno do projeto não será mais constante. Estas não-estacionariedades podem assumir muitas formas como, por exemplo:

- (1) Mudança na distribuição como um todo - o valor médio aumenta enquanto a variabilidade permanece inalterada;
- (2) Mudança na variabilidade enquanto o valor médio permanece inalterado;
- (3) Mudanças na média e na variabilidade ao longo do tempo; entre outros casos.

Mailhot e Duchesne (2010) afirmam que a forma mais simples corresponde ao caso 1, onde toda a distribuição é deslocada ao longo do tempo e o parâmetro de localização da distribuição é dependente do tempo. A maioria dos estudos que analisam mudanças climáticas na precipitação mostra a dependência temporal de algumas variáveis, mas nenhuma declaração é feita sobre como a forma geral da distribuição é modificada com o tempo. É de alguma forma implicitamente assumido que a variabilidade, e outros parâmetros, permanecem inalterados com o tempo (MAILHOT E DUCHESNE, 2010).

A definição de novos critérios para concepção de projetos hidráulicos deve incluir medidas para manter os sistemas hidráulicos em funcionamento aceitável numa perspectiva de longo prazo. Mailhot e Duchesne (2010) destacam que definir esse nível de serviço é um desafio, em um contexto onde as incertezas sobre as mudanças projetadas nas chuvas intensas são importantes.

Willems et.al. (2012) realizaram uma revisão crítica dos métodos para avaliar os impactos das mudanças climáticas na precipitação em escala de captação urbana. Segundo os autores, a maioria dos dados simulados de precipitação para projeto de drenagem urbana são provenientes de modelos globais de circulação ou modelos climáticos regionais, onde os dados de precipitação são procedentes de radares/satélites. Para utilização dos dados, é necessário adaptar a escala, temporal e espacial para durações e áreas menores. Esta redução de escala chama-se “*downscaling*” e acaba por aumentar a incerteza associada à estimativa.

Agilan e Umamahesh (2016) estudaram um método para desenvolver a curva IDF de precipitação não estacionária, usando simulações de 24 Modelos Climáticos Globais e “*downscaling*”, modelando a tendência presente na série observada de precipitação extrema usando covariáveis. Os autores afirmam que esta é uma opção de metodologia apropriada para projetar a infraestrutura da cidade de Hyderabad, Índia, sob condições de mudanças climáticas.

Ramos (2010) atualizou as curvas IDF de Recife, Brasil, utilizando a distribuição de Gumbel e constatando que as intensidades atuais chegam a ser 41% maiores que as calculadas com equações mais antigas. Esta diferença pode ser devido ao pequeno tamanho de série observada antiga e possíveis mudanças da precipitação devido ao efeito estufa. Com base em desagregação espacial e temporal (“*downscaling*”) de projeções de modelos de circulação global, a autora analisou curvas IDF obtidas com base em 36 cenários futuros de mudanças climáticas, indicando a vulnerabilidade do sistema de drenagem urbana e a necessidade de medidas mitigatórias para reduzir os efeitos das mudanças climáticas, tanto já existentes quanto das mudanças que virão.

Agilan e Umamahesh (2015) também modelaram as chuvas intensas na cidade de Hyderabad, Índia, com a distribuição Generalizada de Pareto utilizando séries parciais, e a frequência modelada com distribuição de Poisson não homogênea, sendo a tendência incorporada como covariável no parâmetro de escala da distribuição Generalizada de Pareto e no parâmetro de taxa da distribuição de Poisson. Para modelar a não estacionariedade foram utilizados como covariáveis quatro processos físicos: urbanização, El Niño-Oscilação Sul (ENOS), mudanças de temperatura locais e aquecimento global; assim como a combinação destes. Os resultados indicaram que a não-estacionariedade nas chuvas intensas diárias da cidade analisada está associada principalmente a processos globais, como ENOS e aquecimento global, enquanto a não-estacionariedade nas chuvas intensas de pequenas durações está principalmente associada a processos como urbanização e mudanças locais de temperatura. Semelhante a este estudo, Gregersen et.al. (2013) testaram um modelo estatístico

para considerar as mudanças climáticas nos eventos extremos de precipitação na Dinamarca, incorporando variáveis explicativas. As variáveis com influências significativas foram o padrão do Atlântico Leste, a precipitação média no verão e a temperatura média no verão.

Agilan e Umamahesh (2017) ainda analisaram as curvas IDF não estacionárias construídas com base em séries de máximos anuais (com distribuição Generalizada de Eventos Extremos - GEV) comparadas com as construídas com base em séries parciais (com distribuição Generalizada de Pareto). A tendência foi introduzida no parâmetro de escala na distribuição de Pareto, e no parâmetro de localização da distribuição GEV. Os resultados mostraram maiores valores de precipitação para o modelo utilizando séries parciais para curtas durações e pequenos períodos de retorno; enquanto para as séries de máximos anuais os maiores valores foram encontrados para durações e períodos de retorno maiores.

Silva (2013) analisou a tendência climática na cidade de Uberlândia – MG com ênfase na precipitação e nos impactos desta na cidade. Foram calculados índices e tendências de dados diários, mensais e anuais. Os desastres de inundações ocorridos na cidade foram comparados aos eventos de precipitação, sendo que eles já têm afetado toda população. Foram encontradas tendências positivas das precipitações e diminuição dos dias com chuva, evidenciando a necessidade de implantação de medidas corretivas de drenagem urbana.

A quantidade de estudos sobre os impactos das alterações climáticas tem aumentado fortemente. Apesar disto, estudos que consideram os impactos climáticos na drenagem urbana ainda são limitados, em parte porque eles requerem foco específico em escalas de pequenas bacias urbanas e extremos de precipitação de curta duração, normalmente menores de 1 dia (WILLEMS ET.AL., 2012).

Como na presente tese se visa contribuir com as estratégias metodológicas, buscaram-se estudos realizados recentemente que contemplem esta questão, mas com foco na utilização de dados observados em estações pluviométricas/pluviográficas (dados pontuais), visando maior confiabilidade dos dados e aplicação dos métodos. Além disso, embora uma redução de variáveis traga menor confiabilidade aos modelos, buscou-se testar metodologias simplificadas, que considerem apenas a própria precipitação, facilitando sua aplicabilidade e obtenção dos dados, assim como buscando testar o quão confiáveis podem ser os resultados destas metodologias. Na sequência são descritas sucintamente algumas das metodologias encontradas na literatura para considerar as tendências nos projetos hidráulicos com essas premissas, as quais alguns conceitos nortearão a presente tese.

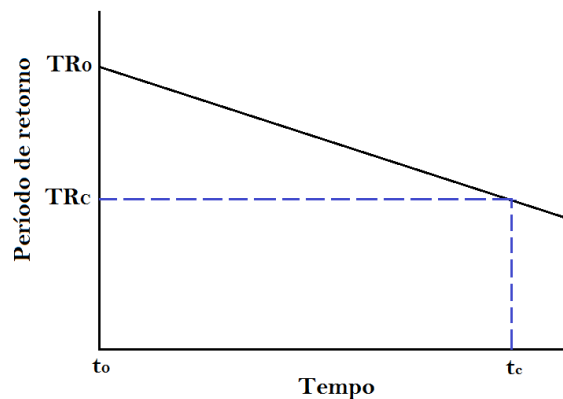
3.4.1 Metodologia proposta por Mailhot e Duchesne (2010):

Os autores propõem um procedimento para revisão dos critérios de concepção das infraestruturas de drenagem urbana, tendo como base as seguintes considerações:

A) Determina-se o tempo de vida útil da obra.

B) Determina-se o Período de Retorno (TR_0) para esta obra correspondente ao ano de concepção do projeto (t_0). Considerando que há tendência positiva da precipitação, a probabilidade de exceder a capacidade, definida pelos critérios de projeto, evoluirá com o tempo, e portanto, o período de retorno adotado no projeto irá diminuir até o final de sua vida útil (Figura 3.2).

Figura 3.2: Evolução do período de retorno em função do tempo em um contexto de mudança climática



Fonte: Adaptado de Mailhot e Duchesne (2010)

Em que: t_c = ano de referência; TR_c = período de retorno associado ao ano de referência; TR_0 = período de retorno no ano t_0 .

C) Ajusta-se uma distribuição de probabilidades (geralmente GEV ou Gumbel) à série de máximos anuais disponíveis no momento correspondente ao ano de concepção do projeto. Tem-se então os parâmetros ajustados da distribuição. Por exemplo, utilizando GEV, tem-se definidos ξ_0 = parâmetro de localização da função, α = parâmetro de escala, e κ = parâmetro de forma (quando $\kappa = 0$, tem-se a distribuição de Gumbel).

D) Analisa-se a ocorrência de tendência significativa da série de precipitações máximas anuais. Caso positiva, determina-se sua magnitude, considerando-a linear (“b” = magnitude em mm/ano). Assumindo que exista tendência positiva da precipitação na estação analisada e que a não-estacionariedade siga o Caso 1: nessa situação, considera-se que apenas

o parâmetro de localização da distribuição de probabilidades (ξ) tenha crescimento linear, na mesma taxa da tendência, e os demais parâmetros mantêm-se constantes. Pode-se então dizer que em uma situação não-estacionária, o parâmetro de localização da distribuição de probabilidades será:

$$\xi(t) = \xi_0 + \xi_1(t) , \quad (3.2)$$

sendo:

$$\xi_1(t) = b (t - t_0) \quad (3.3)$$

Substituindo-se estas equações na equação da distribuição de probabilidades, tem-se a distribuição de probabilidades para a situação não-estacionária.

A partir destas considerações é possível estimar o período de retorno e precipitação de projeto correspondente que a estrutura irá atender ao final de sua vida útil. Se for necessário ter uma capacidade de TR igual a 100 anos, por exemplo, no final de sua vida útil, então seu TR_0 (concepção de projeto) deve ser superior a 100 anos.

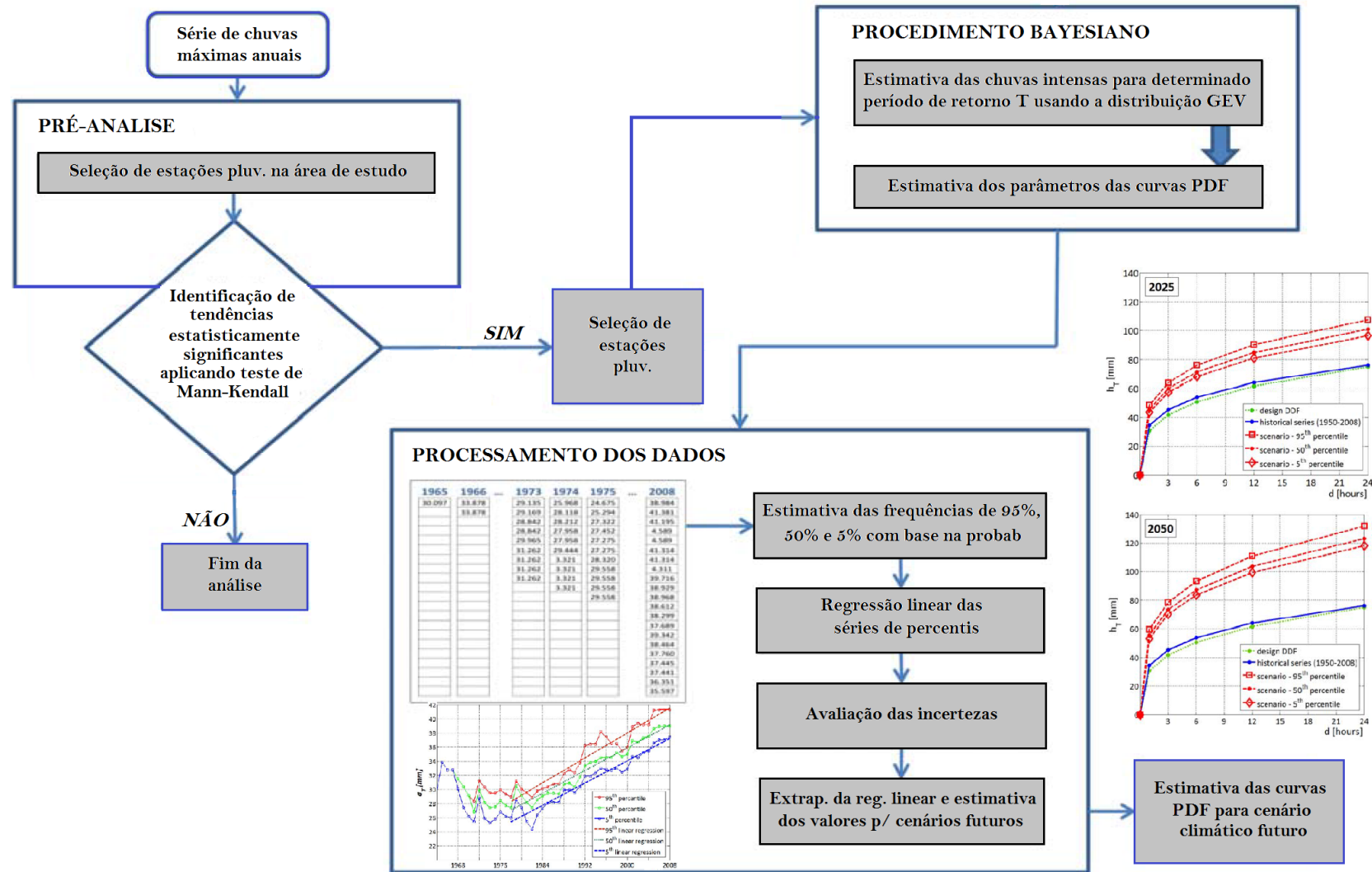
Considerando que a relação entre o período de retorno e o tempo de vida útil (Figura 3.2) pode ser simplificada aproximando-a a uma reta, pode-se estimar o TR_0 que deve ser adotado na fase de concepção de projeto para que o mesmo atinja o TR desejado ao final da vida útil.

Os autores afirmam ainda que se a vida útil da estrutura é pequena comparada ao período de mudança climática, o TR a ser adotado deverá ser muito próximo de um projeto sem mudança climática. O impacto maior em termos de concepção ocorrerá para estruturas com longa vida útil, que estarão submetidas a um novo clima no final de sua vida útil. Além disso, para um nível de desempenho satisfatório deve ser levado em consideração fatores como manutenção, limpeza e envelhecimento da rede.

3.4.2 Metodologia proposta por Notaro et.al. (2015):

Notaro et.al. (2015) propuseram um procedimento para atualizar os parâmetros das curvas PDF e avaliar a incerteza associada à estimativa de projetos de drenagem, caso verificada tendência na série de máximas anuais. Um fluxograma do procedimento proposto está apresentado na Figura 3.3.

Figura 3.3: Fluxograma do procedimento proposto por Notaro et.al. (2015) para atualização das curvas pdf em caso de tendência climática



A primeira etapa do procedimento consiste em verificar a presença de tendência das séries de precipitações máximas anuais para diferentes durações na área de estudo, aplicando o teste de Mann-Kendall. O teste de Mann-Kendall não fornece a magnitude, e portanto, esta é estimada pela equação de Sen (1968), aprimorada por Hirsch et.al. (1982) apud Notaro et.al.(2015):

$$b = \frac{x_i - x_j}{i - j} \quad j < i \quad (3.4)$$

Sendo x_i e x_j as precipitações máximas da série estudada, enquanto i e j representam o ano em que ocorre a observação de ordem i ou j . Para a magnitude da série adota-se a mediana dos valores de “ b ” encontrados.

Se não identificadas tendências significativas (nível de significância igual a 0,1), não há necessidade de atualização das curvas PDF, e sua confecção se dá por métodos tradicionais. Caso detectadas tendências, é necessário atualizar as curvas PDF, aplicando o procedimento proposto pelos autores conforme segue.

A equação que descreve as relações PDF para determinado período de retorno (TR) utilizada pelos autores possui uma forma de potência:

$$p(d)_{TR} = a_{TR} \cdot d^{n_{TR}} \quad (3.5)$$

Em que a_{TR} e n_{TR} são os parâmetros da equação a serem ajustados e $p(d)_{TR}$ é a precipitação associada à determinada duração de chuva “ d ” para o TR em análise.

Considerando a propriedade de invariância de escala, ao multiplicar a duração d por uma constante λ , traduz-se num aumento de escala da função igual a λ^n :

$$p_{\lambda d} = \lambda^n \cdot p_d \quad (3.6)$$

Esta propriedade também implica que os quantis (distribuição de probabilidades) e momentos brutos de qualquer ordem são invariantes em escala, isto é:

$$E[p_{\lambda d}^r] = \lambda^n \cdot E[p_d^r] \quad (3.7)$$

Em que r representa a ordem do momento¹. Adotando a propriedade de invariância de escala, $p(d)_{TR}$ pode ser expresso como:

$$p(d)_{TR} = E[P_d^1] \cdot w_{TR} \cdot d^{n_{TR}} \quad (3.8)$$

Sendo que $E[P_d^1]$ representa a média da série de precipitações máximas anuais para duração de referência; w_{TR} é o quantil referente ao TR da chuva máxima anual normalizada

¹ Na expressão genérica de esperança (ou valor esperado), o n -ésimo momento (momento de ordem n) de uma variável aleatória x é dado por $E[x^n]$. Os momentos são importantes para caracterizar distribuições de probabilidade. Os momentos mais importantes são os quatro primeiros, onde os primeiro, segundo, terceiro e quarto momentos caracterizam a tendência central, dispersão, assimetria e curtose, respectivamente, de uma distribuição de probabilidades (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

pela média para qualquer duração (chamado também de fator de crescimento). O produto de $E[P_d^1] \cdot w_{TR}$ representa o parâmetro a_{TR} da equação (3.5).

A estimativa da precipitação P relacionada a cada TR pode ser obtida ajustando uma distribuição de probabilidades para cada série de duração d , tais como GEV, Gumbel ou outra (NOTARO et.al., 2015).

A proposta da metodologia é estimar o parâmetro a_{TR} de vários sub-conjuntos de dados contínuos com diferentes anos finais e comprimentos. A partir de um mínimo de 15 anos, o comprimento de cada sub-conjunto de dados é aumentado em um, até considerar a série inteira, com todos anos de dados. O parâmetro n_{TR} é estimado para a série completa de dados observados e é mantido constante para todas simulações.

Como saída do procedimento bayesiano, são obtidas várias séries do parâmetro a_{TR} , uma para cada ano final dos sub-conjuntos de dados processados. Em cada série são avaliadas as frequências de 95%, 50% e 5% do parâmetro a_{TR} com uma função cumulativa.

Para definir uma lei matemática da variabilidade de a_{TR} no tempo, são realizadas as regressões lineares de suas séries de percentis. As leis de regressão do percentil 95% e 5% representam as faixas de incerteza superior e inferior associadas à avaliação do parâmetro a_{TR} no tempo. Portanto, a largura dessas faixas fornece uma quantificação da incerteza inerente à avaliação do a_{TR} .

Por fim, assume-se a hipótese de uma tendência linear, supondo que as mudanças de chuvas detectadas pela análise de tendência prosseguirão no futuro com o mesmo padrão. Assim, as regressões previamente definidas são usadas para extrapolar os valores do parâmetro a_{TR} para projeções futuras. A disponibilidade de bandas de incerteza, associadas à projeção de tendências, dá ao profissional uma medida de confiabilidade de estimativa de tendência.

Notaro et.al. (2015) realizaram um estudo de caso para aplicar a metodologia proposta, utilizando séries de precipitações máximas com 1, 3, 6, 12, e 24h de duração do período de 1950-2008, de estação localizada na cidade de Paceco, sul da Itália. A metodologia proposta foi aplicada para dois cenários: 2025 e 2050, e o resultado utilizado para simular uma rede de drenagem urbana. Os resultados mostraram que o futuro aumento da precipitação na área de estudo afetaria o sistema de drenagem analisado, que poderá enfrentar episódios mais frequentes de sobrecarga.

3.4.3 Metodologia utilizada por Liuzzo e Freni (2015):

A metodologia aplicada pelos autores é indicada para atualização das curvas PDF para cenários futuros, considerando que houve tendência nos dados de precipitações máximas anuais, conforme segue:

a) Determinaram-se as curvas PDF para as condições climáticas atuais para períodos de retorno de 5, 10 e 20 anos (chamadas de cenário “sem tendência”), a partir do ajuste da distribuição de probabilidades GEV aos dados e utilizando as mesmas equações descritas por Notaro et.al. (2015), equações (3.4) e (3.7).

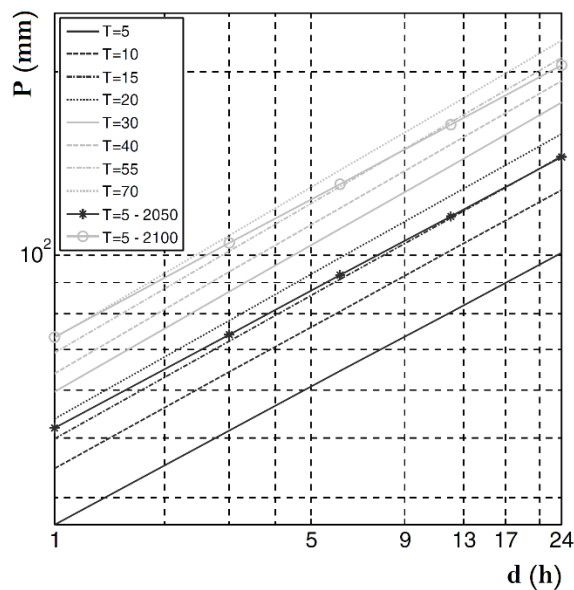
b) Modificou-se o parâmetro a_{TR} das curvas PDF de acordo com a mudança esperada. A partir das curvas PDF nas condições climáticas atuais, foram geradas as projeções climáticas para anos futuros, 2050 e 2100.

Adotou-se a abordagem de análogos temporais, utilizando a variação linear da precipitação dos últimos anos, detectada por uma análise de tendências (com significância de 0,10) e assumiu-se que o clima futuro será caracterizado pela mesma variação, extrapolando esta tendência.

Para estimar o $p(d)_{TR}$ usando a eq. (3.4) nos cenários, os aumentos ou diminuições da variável $E[P_d^1]$ em 2050 e 2100 foram quantificados a partir da magnitude da tendência determinada para série de duração de 1h, adotada devido às bacias urbanas serem de pequena área, e portanto a duração crítica de projeto geralmente pequena, próximo de 1h ou menor. Assim, a magnitude foi multiplicada pelo número de anos em cada cenário, a partir do ano corrente, e então o aumento ou diminuição foi adicionado à média da precipitação máxima anual. Uma vez que o parâmetro $E[P_d^1]$ foi calculado nos dois cenários de mudança climática utilizando o procedimento descrito, os valores de $P(d)_{TR}$ foram calculados usando a Eq. (3.4).

Como resultado da aplicação da metodologia, a Figura 3.4 mostra, num gráfico logarítmico, as curvas PDF para diferentes períodos de retorno (de 5 a 70 anos) para uma estação analisada sob condições climáticas atuais e duas curvas PDF representando as projeções climáticas para TR=5 anos em 2050 e 2100. Pode-se observar que a curva PDF para TR=5 anos no cenário 2050 e 2100 é quase coincidente com a curva PDF para TR = 15 anos e 55 anos, respectivamente, na condição climática atual.

Figura 3.4: Curvas PDF para diferentes períodos de retorno para condições climáticas atuais e projeções climáticas para 2050 e 2100



Fonte: Liuzzo e Freni (2015)

3.5 SÉRIES SINTÉTICAS DE PRECIPITAÇÃO

As séries sintéticas são sequências de números aleatórios gerados a partir de uma série histórica de dados reais observados e que apresentam comportamento estatístico semelhante (WILKS, 1999; OLIVEIRA, 2014; HERMANN, 1975). Esta técnica é utilizada como ferramenta para realizar preenchimento de falhas em séries, prolongar séries curtas e realizar previsões futuras, ou ainda criar diferentes cenários hipotéticos.

Hermann (1975) comenta que geralmente os modelos geradores de séries sintéticas de precipitações (com intervalos de tempo menores que anual) constam de duas partes: i) um mecanismo que indica se o intervalo é seco ou chuvoso; ii) e outro que indica, se chuvoso, qual volume precipitado no intervalo de tempo.

Para a primeira etapa, a maior parte dos estudos utiliza a Cadeia de Markov, sendo sua ordem definida a que melhor se adapte aos dados observados (ALODAH e SEIDOU, 2018). Na segunda etapa, o volume precipitado de chuva geralmente é determinado pelo método de Monte Carlo. Este consiste na geração aleatória de uma probabilidade associada à ocorrência de um determinado evento, aplicada a uma distribuição de probabilidades já ajustada aos dados observados (OLIVEIRA, 2003). A distribuição de probabilidades pode ser teórica ou empírica, sendo que esta última não permite extrapolações, limitando os valores gerados ao

máximo observado na série histórica, e portanto, para geração de valores extremos, utilizam-se as distribuições teóricas (paramétricas) (NASCIMENTO e KELMAN, 1995; ORIANI, et.al., 2018).

São muitos os estudos que utilizam séries sintéticas no meio acadêmico, principalmente na modelagem de variáveis climáticas. Em específico para geração de séries sintéticas de precipitação, seguem alguns trabalhos na sequência, que utilizaram a ferramenta para diversos fins.

Oriani et al. (2018) testaram duas metodologias de geração de séries sintéticas de precipitações diárias e compararam com uma série observada de 150 anos, utilizando os primeiros 30 anos para calibração. A primeira utiliza cadeia de Markov de 1ª ordem e distribuição de probabilidades log-normal, enquanto a segunda técnica faz uso de amostragem direta, com densidade não paramétrica, reproduzindo os mesmos padrões de dados observados. Como resultado, ambas as séries representaram bem os volumes de chuva diários, sendo que a segunda técnica possui resultados limitados ao tamanho e valores da série observada, não sendo adequada para representar valores extremos. Os autores ressaltam que, com ambas as técnicas, o limite de incerteza é muito amplo nessas distribuições quanto menor for a série utilizada para calibração.

Detzel (2009) criou um modelo para geração de séries sintéticas de precipitações diárias, no qual as ocorrências das precipitações são determinadas através de um processo estocástico markoviano de primeira ordem (ocorrências estão condicionadas ao dia corrente e ao imediatamente anterior) e dois estados (seco ou chuvoso). As quantidades acumuladas foram calculadas segundo a distribuição probabilística exponencial mista de três parâmetros. Os resultados obtidos pela validação do modelo foram considerados muito bons para regiões úmidas do Brasil e não tão bons para regiões mais áridas. Também não representou bem os valores extremos.

Oliveira (2003), Baena (2004) e Oliveira (2014) desenvolveram e aprimoraram um modelo climático incluindo a geração de séries sintéticas de precipitação diária, onde a ocorrência ou não de precipitação é determinada com Cadeia de Markov de 1ª ordem, e o volume precipitado é estimado a partir da distribuição de probabilidades de Pearson tipo III.

Garbrecht e Zhang (2014) desenvolveram um método para geração de séries diárias de precipitação para previsões com até 12 meses de antecedência. A ocorrência de dias secos ou chuvosos foi determinada com as cadeias de markov de dois estados e primeira ordem, e o volume precipitado com amostragem aleatória de uma distribuição exponencial mista.

Brisson et.al. (2015) criaram séries diárias de precipitação sintéticas por diferentes métodos, incluindo por meio de cadeias de markov para determinar os dias com chuva (com 2 estados, dias sem ou com chuva; e com 3 estados, dias sem chuva, com chuva, e com chuva intensa para quantis maiores que 95%), e distribuição gama e generalizada de pareto para determinação dos volumes.

A maioria dos estudos apresentou foco em representar o comportamento das precipitações como um todo para realizar previsões a curto/longo prazo, testar metodologias, gerar quantitativos para gerenciamento agrícola, ou outro fim. Não são encontrados estudos aplicados de séries sintéticas especificamente com foco em previsão de eventos extremos. Nesse sentido, Oriani et.al. (2018) comenta que o tamanho da série de dados de treinamento (calibração) deve abranger um período mais longo do que aquele simulado para representar o futuro, de forma a representar os eventos de tempo de recorrência longos. Como as séries observadas geralmente não são longas o suficiente para cálculo de grandes períodos de retorno, mesmo em países com rede hidrometeorológica mais antiga, a aplicação de séries sintéticas para previsão de eventos extremos traz muitas incertezas nas estimativas.

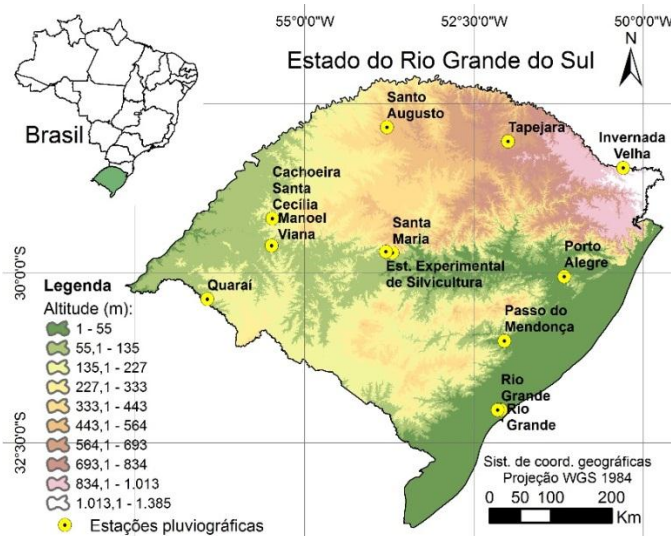
4 ÁREA DE ESTUDO E OBTENÇÃO DE DADOS

A ideia inicial da pesquisa foi estudar o comportamento das precipitações do estado do Rio Grande do Sul. Para tanto, foram buscados dados de estações pluviográficas disponíveis no estado junto à Agência Nacional de Águas – ANA, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Serviço Geológico do Brasil – CPRM, Companhia Estadual de Geração e Transmissão de Energia Elétrica – CEEE-GT, Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO, e publicações em periódicos.

Após uma análise preliminar dos dados obtidos, foram selecionadas as estações que apresentam maior período com dados observados, apresentadas no Quadro 4.1, com suas localizações ilustradas na Figura 4.1.

Com base na análise dos dados fornecidos pela ANA (não publicados) e em ANA (2007), percebe-se que no nosso país as estações pluviográficas começaram a serem implantadas mais tarde que as pluviométricas e em menor quantidade, sendo a rede ampliada e modernizada com estações automáticas a partir dos anos de 1999/2000 e mais adiante em 2006/2007. Dentre o total das estações pluviográficas, salienta-se que a maioria são recentes, e as séries das estações que já estavam em funcionamento apresentam grande quantidade de falhas.

Figura 4.1: Localização das estações pluviográficas com dados fornecidos pelas instituições responsáveis



Fonte: Elaboração Própria

Quadro 4.1: Estações pluviográficas com dados fornecidos pelas instituições responsáveis e período de observação

Cód. Est.	Nome da estação	Município	Respons.	Oper.	Alt (m)	Fonte / período com dados
2850006	Invernada Velha	Bom Jesus	ANA	CPRM	850	ANA / intervalos variados (<1 dia): 1981 a 1990 e 1999 a 2015
2852046	Tapejara	Tapejara	ANA	CPRM	672	ANA / intervalos variados (<1 dia): 1981 a 1989 e 1998 a 2012
2955002	Cachoeira Santa Cecília	Itaqui	ANA	CPRM	100	ANA / intervalos variados (<1 dia): 1978 a 1989 e 1999 a 2014
2955008	Manoel Viana	Manoel Viana	ANA	CPRM	80	ANA / intervalos variados (<1 dia): 1976 a 1993 e 1999 a 2014
3152011	Passo do Mendonça	Cristal	ANA	CPRM	40	ANA / intervalos variados (<1 dia): 1978 a 1989 e 1998 a 2012; CPRM (2013) / máximas anuais (5,10, 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 480, 840 e 1440min): 1994 a 2011
A801	Porto Alegre	Porto Alegre	INMET		47	INMET / intervalos horários: 2000 a 2016; CPRM (2015) / máximas anuais (5,10, 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 480, 840 e 1440min): 1975 a 2014
A802	Rio Grande	Rio Grande	INMET		2	INMET / intervalos horários: 2001 a 2016
-			FEPAGRO		15	Bazzano, Eltz e Cassol (2010) / máximas anuais (10, 20, 30, 60, 120, 240, 480, 720,1440, 2880min): 1957 a 1981
A803	Santa Maria	Santa Maria	INMET		95	INMET / intervalos horários: 2001 a 2016
-	Est. Experimental de Silvicultura		FEPAGRO		153	Eltz, Reichert e Cassol (1992) / máximas anuais (10, 20, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 720,1440, 2880min): 1963 a 1989
A805	Santo Augusto	Santo Augusto	INMET		550	INMET / intervalos horários: 2001 a 2016
-	Quaraí	Quaraí	FEPAGRO		100	Bazzano, Eltz e Cassol (2007) / máximas anuais (10, 20, 30, 60, 120, 240, 480, 720,1440, 2880min): 1966 a 2003

Fonte: Elaboração própria

Os períodos com dados apresentados no Quadro 4.1 apresentam muitas falhas, exceto nas séries obtidas de estações automáticas, a partir dos anos 1999/2000, assim como as séries de bibliografia, onde já foi realizado um estudo de preenchimento de falhas. Estas falhas inviabilizam a utilização de muitos anos das séries, e por consequência, resultam em séries curtas, não possibilitando uma análise de variabilidade temporal adequada. Nesse sentido, o mínimo recomendado são 30 anos de dados para considerar uma série longa, segundo a Organização Mundial de Meteorologia.

Além disso, sendo a atividade principal da presente tese testar metodologias, é essencial a existência de séries longas e sem falhas, onde seja possível separar a série em dois períodos, para no primeiro executar a metodologia e com o segundo realizar a verificação da mesma. Como alternativa para superar as limitações citadas, foram geradas séries sintéticas de precipitações.

Analisando o período e falhas dos dados pluviográficos obtidos (Quadro 4.1), adotou-se a estação de Porto Alegre para treinar o modelo por se tratar da série mais longa com dados disponíveis, resultando em uma série de 41 anos de dados, referente ao período 1975 a 2015. O restante dos dados pluviográficos obtidos referente às demais estações não foram utilizados na tese.

5 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em quatro etapas, da seguinte maneira:

Etapa 1 – Criação de séries sintéticas.

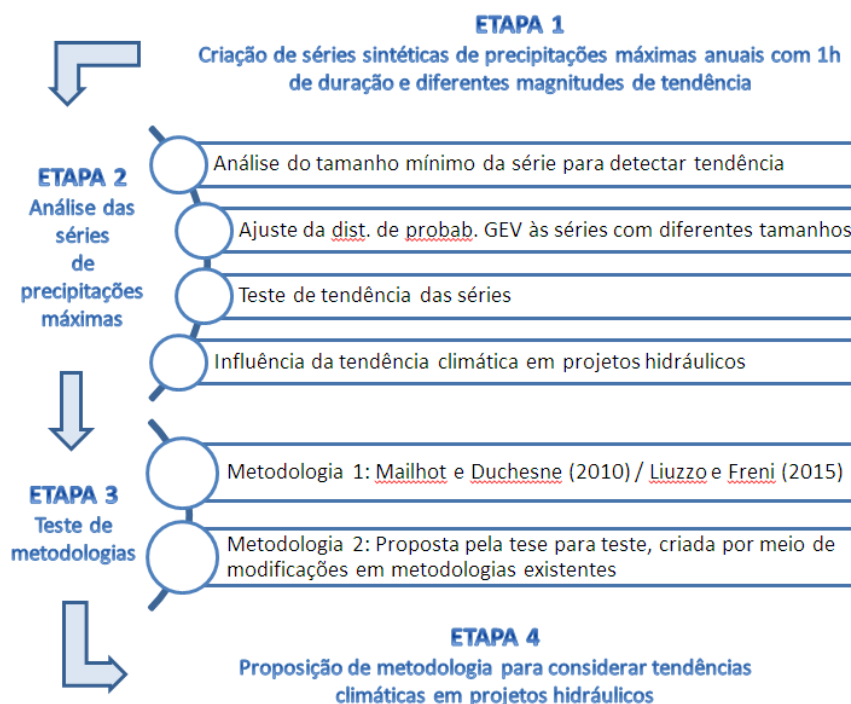
Etapa 2 – Análise das séries sintéticas. Nesta etapa, serão aplicados testes estatísticos às séries sintéticas, buscando responder alguns questionamentos como: Qual o tamanho da série necessário para detectar tendência? Qual a influência das tendências climáticas em projetos hidráulicos? Qual a necessidade de revisar os projetos quando detectada tendência nas séries de precipitação?

Etapa 3 – Teste de metodologias para considerar as tendências climáticas em projetos hidráulicos. Será analisado o desempenho de metodologias já existentes assim como uma adaptação proposta, para séries com diferentes tamanhos.

Etapa 4 – Proposição de aplicação de metodologia para considerar tendências climáticas em projetos hidráulicos. Onde a partir da metodologia com melhor desempenho, será proposta uma forma de aplicação da mesma a demais casos.

A Figura 5.1 ilustra resumidamente a metodologia a ser aplicada para atingir o objetivo proposto, onde cada atividade é descrita com maiores detalhes na sequência.

Figura 5.1: Fluxograma das atividades componentes da metodologia



5.1 ETAPA 1 – SÉRIES SINTÉTICAS

Como este estudo analisa o efeito das alterações climáticas das chuvas intensas nas curvas IDF e conseqüentemente em projetos hidráulicos, foram construídas e utilizadas apenas séries de precipitações máximas anuais com duração de 1h, pelas seguintes razões:

- Considerando a propriedade de invariância de escala das curvas IDF/PDF, a resposta da metodologia aplicada a uma série de determinada duração, terá a mesma resposta para as séries de demais durações, resguardadas as proporções;

- A análise destina-se a fornecer informação útil para a concepção de sistemas de drenagem urbana, que normalmente requer o conhecimento de precipitação extrema para um dado período de retorno relativo a durações de 1 h ou menor (minutos), sendo as bacias urbanas de drenagem geralmente pequenas e com curto intervalo de tempo de concentração.

Em uma série de precipitações máximas anuais, não existem dias com ausência de precipitação, e portanto, para sua construção é necessário apenas determinar o volume precipitado em cada intervalo, seguindo as seguintes atividades:

A) Ajuste de uma distribuição de probabilidades que melhor represente o comportamento da série de precipitações máximas observadas com duração de 1h que se quer simular.

B) Geração de números aleatórios com base na distribuição já ajustada aos dados observados.

Para esta última atividade, foi utilizado o método da transformação inversa, ou método da inversão. Neste método, para gerar uma variável aleatória com distribuição específica, é necessária a geração de uma variável aleatória uniformemente distribuída no intervalo entre os valores 0 e 1, e inverter a função densidade de probabilidade acumulada, substituindo o valor gerado na função resultante. Ou seja, entra-se na equação da distribuição com o valor aleatório de probabilidade, e obtém-se a precipitação. Maiores detalhes podem ser consultados em Wilks (2006), Kaviski (2006) e Naghettini e Pinto (2007).

Para testar as metodologias estudadas, as séries devem apresentar tendência, pois quando estacionárias, não há necessidade de considerar estas alterações climáticas no projeto. Assim, ao criar as séries, imprimiu-se diferentes tendências positivas, desde muito sutis a alterações mais bruscas, todas considerando que o valor médio aumenta enquanto a variabilidade permanece inalterada (o parâmetro de localização da distribuição possui crescimento linear, e os demais se mantêm constantes).

5.2 ETAPA 2 – ANÁLISE DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS

5.2.1 Análise do tamanho da série de precipitações máximas para detecção de tendências

A partir das 6.000 séries sintéticas geradas com diferentes tendências e todas com tamanho de 500 anos de dados, foram aplicados três testes estatísticos para detecção de tendência: regressão linear, Spearman e Mann-Kendall. Para tanto, foi programada uma rotina em planilha eletrônica para aplicação dos testes em todas as séries, onde a partir de um tamanho mínimo da série dos primeiros 10 anos de dados, foram aplicados os três testes, adicionando o próximo ano com dado, e refazendo a aplicação dos testes, repetindo esta operação até que um dos três testes (qualquer um deles) acuse a não estacionariedade, com significância $\alpha=0,1$; condição de parada do algoritmo.

5.2.2 Impacto da tendência climática em projetos hidráulicos

Utilizando as séries sintéticas de precipitação máxima com 1h de duração e diferentes magnitudes de tendência, foram realizadas as seguintes análises:

1) Ajuste da distribuição de probabilidade GEV pelo método dos momentos-L, com distribuição empírica de Weibull;

2) Estimativa da precipitação máxima com 1h de duração e período de retorno (TR) de 5, 10, 25, 50 e 100 anos;

3) Aplicação dos testes de Spearman, Mann-Kendall e regressão linear para detecção da tendência. Considerando que as séries são de valores máximos anuais, as mesmas não apresentam sazonalidade nem autocorrelação, critérios necessários para aplicação dos testes. A descrição dos testes de Mann-Kendall, Spearman e a regressão linear podem ser consultadas em bibliografias como Naghettini e Pinto (2007), Manly (2009) e outros livros de estatística.

4) Cálculo da magnitude da tendência de duas formas: i) pelo coeficiente angular da regressão linear; e ii) pela mediana dos valores calculados com a equação 3.4 proposta por Hirsch (1982) apud Liuzzo e Freni (2015).

5) Análise do impacto da tendência em projetos hidráulicos. Para tal, foram calculadas as vazões máximas de projeto utilizando o método Racional, amplamente descrito na literatura, constituindo o modelo chuva-vazão mais simplificado, pois engloba todos os

processos em apenas um coeficiente (TUCCI, 2009). Porto (2015) comenta que o método racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de projeto para bacias pequenas, geralmente até 2 km². Como as bacias urbanas geralmente são pequenas, o método é frequentemente utilizado para dimensionamento das estruturas de microdrenagem, visto sua simplicidade de aplicação. Foi calculada a vazão para uma bacia urbana fictícia com área de 1 km², coeficiente de escoamento superficial C de 0,85 (área densamente urbanizada) e tempo de concentração fictício de 1h, visto ser esta a duração em análise na tese. Com a vazão máxima foi possível calcular um diâmetro para condução da mesma, utilizando a equação de Manning e considerando uma declividade fictícia de 0,01m/m e um coeficiente de Manning de 0,014, referente à tubulação de concreto. As vazões de projeto e seus respectivos diâmetros foram analisados para diferentes TRs, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, para contemplar projetos usuais de microdrenagem, assim como outras obras hidráulicas.

Embora o método racional seja indicado para bacias pequenas, com baixos tempos de concentração, utilizou-se a bacia fictícia de 1 km² com um tempo de concentração de 1h, incompatível em uma realidade com a área da bacia, sendo que para áreas de 1 km², o tempo de concentração geralmente atinge poucos minutos. No entanto, as séries disponíveis para criação das séries sintéticas tinham a duração mínima de 1h e, além disso, o objetivo da análise é transformar o acréscimo de precipitação em vazão e diâmetro para melhor visualizar essa quantificação em um projeto.

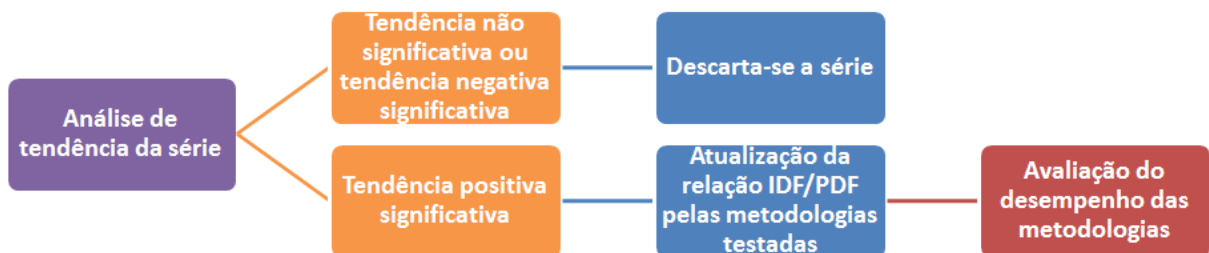
Os passos 1 a 5 acima descritos foram repetidos aplicando em uma mesma série para diferentes tamanhos, de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 80, 100, 110, 115, 120, 130, 150, 200, 300, 400 e 500 anos de dados, para cada uma das 6.000 séries sintéticas. Para tal, foram programadas duas rotinas, sendo uma delas para o ajuste da distribuição, cálculo das precipitações máximas, vazões máximas e diâmetros de tubulações para sua condução, e outra rotina para aplicar os testes de tendência.

5.3 ETAPA 3 – TESTE DAS METODOLOGIAS

Dentre os estudos já realizados que visam considerar as mudanças climáticas nos projetos hidráulicos, algumas metodologias propostas estão descritas no item 3.4. Foram testadas duas delas com as séries sintéticas, da forma proposta pelos autores Mailhot e Duchesne (2010) e Liuzzo e Freni (2015). Na sequência foi testada também uma metodologia criada a partir do que foi proposto por Notaro et.al. (2015), por meio de algumas modificações sugeridas.

Os testes foram realizados considerando que o tamanho de série que se tem no momento atual varia de 10 a 50 anos de dados e que a obra hidráulica a ser projetada terá de 30 a 100 anos de vida útil, abrangendo assim a situação atual de nosso país em relação aos dados observados para obras de pequeno/médio porte. Esta etapa foi desenvolvida por meio das atividades conforme ilustra a Figura 5.2 e descritas na sequência.

Figura 5.2: Fluxograma das atividades realizadas na Etapa 3.



1º) A cada uma das 6.000 séries foram aplicados os testes de tendência de Mann-Kendall, Spearman, regressão linear e calculadas suas magnitudes pelo coeficiente angular da reta e pela equação de Hirsch. Estes passos foram repetidos para a mesma série considerando que ela tivesse o tamanho de 50, 30, 20, 15 e 10 anos de dados.

2º) As séries que apresentaram tendência significante positiva (crescente) com nível de significância $\alpha = 0,10$, em pelo menos um dos três testes, foram selecionadas para aplicação das próximas etapas metodológicas. As tendências negativas mesmo significantes não foram consideradas, pois entende-se que, ao atualizar projeto para uma situação futura, subdimensiona-se para o cenário atual. Além disso, em nenhuma das séries criadas no presente estudo existe de fato tendência negativa em longo prazo; estas ocorreram devido à análise ser apenas de pequeno tamanho da série e portanto, não representativo. As demais séries que apresentaram tendência insignificante também foram descartadas do estudo, uma vez que não há necessidade de atualização das suas relações IDF, pois o cálculo pelas metodologias habituais continua válido.

3º) Para as séries que apresentaram tendência significativa nas precipitações, a forma habitual de obtenção das curvas IDF deixam de ter validade e surge a necessidade de atualizá-las, de forma a considerar esta mudança de comportamento nos anos futuros em projetos hidráulicos. Dessa forma, a relação IDF/PDF foi atualizada aplicando as metodologias testadas, apenas para as precipitações máximas com duração de 1h. Assim, para cada período de retorno, foi calculada a precipitação de projeto com duração de 1h (IDF/PDF atual), e esta

foi atualizada com a metodologia em teste (IDF/PDF futura) considerando uma vida útil de projeto de 30, 50 e 100 anos. Foram então simulados os seguintes cenários:

- Série atual com 10 anos de dados atualizada para os próximos 30 anos
- Série atual com 15 anos de dados atualizada para os próximos 30 anos
- Série atual com 20 anos de dados atualizada para os próximos 30 anos
- Série atual com 30 anos de dados atualizada para os próximos 30 anos
- Série atual com 50 anos de dados atualizada para os próximos 30 anos
- Série atual com 10 anos de dados atualizada para os próximos 50 anos
- Série atual com 15 anos de dados atualizada para os próximos 50 anos
- Série atual com 20 anos de dados atualizada para os próximos 50 anos
- Série atual com 30 anos de dados atualizada para os próximos 50 anos
- Série atual com 50 anos de dados atualizada para os próximos 50 anos
- Série atual com 10 anos de dados atualizada para os próximos 100 anos
- Série atual com 15 anos de dados atualizada para os próximos 100 anos
- Série atual com 20 anos de dados atualizada para os próximos 100 anos
- Série atual com 30 anos de dados atualizada para os próximos 100 anos
- Série atual com 50 anos de dados atualizada para os próximos 100 anos

A descrição de cada metodologia aplicada e a avaliação do desempenho estão descritos na sequência.

5.3.1 Metodologia 1 - Mailhot e Duchesne (2010) / Liuzzo e Freni (2015)

Esta metodologia é proposta por Mailhot e Duchesne (2010), descrita no item 3.4.1, e abrange as atividades descritas na sequência.

A) Tem-se a distribuição de probabilidades já ajustada às séries de precipitações máximas anuais com 1h de duração, atividade realizada no item 5.2.2. Têm-se então definidos os parâmetros da distribuição.

B) Considerando a magnitude também calculada no item 5.2.2, que esta seja linear, e que a não estacionariedade ocorra como um todo (o valor médio aumenta enquanto a variabilidade permanece inalterada), considera-se que o parâmetro de localização da distribuição de probabilidades (ξ) tenha crescimento linear, na mesma taxa da tendência. Segundo Mailhot e Duchesne (2010), em uma situação não estacionária a equação 3.2 deve ser considerada. Onde: ξ_0 = valor quando $t = t_0$ [$\xi_1(t) = 0$ quando $t = t_0$]. A partir da

distribuição GEV, expressando sua função cumulativa no tempo t , F_t , como função da função cumulativa no tempo t_0 , F_0 , para o quantil x , obtemos:

$$F_t = e^{-[(-\ln F_0)^k + \frac{k}{\alpha} \xi_1(t)]^{1/k}} \quad (5.1)$$

Os autores não especificam como calcular a magnitude, então as simulações foram realizadas duas vezes, uma considerando a magnitude da tendência calculada pelo coeficiente angular da regressão linear, e outra para magnitude calculada pela equação 3.4, utilizada por Liuzzo e Freni (2015) e Notaro et.al. (2015).

C) A aplicação da distribuição de probabilidades de situação não-estacionária para cada série foi testada para os períodos futuros de 30, 50 e 100 anos. A projeção futura é importante no sentido da vida útil da obra, pois embora seja dimensionada para períodos de retorno pequenos, a não manutenção/substituição das estruturas, fará com que esta se torne subdimensionada com o passar dos anos, e deverá lidar com os eventos futuros em um cenário de mudança climática.

Os autores sugerem ao final de sua aplicação corrigir o TR para a situação atual. No entanto, como o objetivo é avaliar a metodologia, foi executada apenas a determinação da precipitação para situação futura. Assim foi possível obter a relação IDF/PDF futura, ou seja, a precipitação máxima anual com duração de 1h para diferentes períodos de retorno para cada cenário futuro.

A metodologia aplicada por Liuzzo e Freni (2015), descrita no item 3.4.3 também adota a magnitude calculada como linear para realizar as projeções futuras e atualizar a relação IDF/PDF, de forma que o resultado de sua aplicação será o mesmo resultado da metodologia de Mailhot e Duchesne (2010).

5.3.2 Metodologia 2 – proposta de adaptações

Este método foi proposto utilizando como base alguns conceitos da metodologia de Notaro et.al.(2015), descrita no item 3.4.2, porém com algumas modificações visando melhorar o desempenho da metodologia, abrangendo as seguintes atividades:

A) Aplicar a distribuição de probabilidades mais adequada aos dados, utilizando as séries com apenas os 10 primeiros anos de dados, para cada duração. No caso do teste em questão, foi aplicada a distribuição GEV e apenas para as séries de máximas anuais com 1h de duração, pelos motivos já abordados. Obtêm-se então as precipitações máximas para diferentes TRs.

B) Repetir o item A) utilizando 11 anos de dados, após repetir com 12 anos de dados, e assim sucessivamente, até a série atingir o tamanho total de dados observados. Dessa forma, uma série com total de 15 anos observados, por exemplo, gerará uma série com 6 estimativas de precipitação máxima para determinado TR e duração. Já uma série com 50 anos de dados observados, gerará uma série de 41 estimativas.

C) Com as atividades anteriores, teremos uma série com os valores estimados de precipitação máxima com 1h de duração para cada TR variando ao longo do tempo. A esta série, ajusta-se uma regressão linear e extrapola-se os valores para projeções futuras, função da vida útil da obra (aqui testados para 30, 50 e 100 anos).

Uma das modificações em relação à metodologia proposta por Notaro et.al. (2015) é o cálculo da magnitude da tendência pelo coeficiente angular da regressão linear, enquanto os autores propõem a equação de Hirsch (Equação 3.4). Outra etapa modificada, é que em Notaro et.al.(2015) são calculadas as precipitações com frequência de 5%, 50% e 95%, e estas são projetadas para o futuro, onde os limites de 5% e 95% são considerados como “faixa de incerteza”. Sabemos que a precipitação com 5% de frequência corresponde a um TR = 20 anos, enquanto 50% e 95% correspondem a TR de 2 e 1 anos, respectivamente. Na presente tese, a metodologia foi calculada para TR de 5 a 100 anos, ou seja, precipitações com frequências de 20% a 1%. Esta mudança foi realizada pois a maioria dos projetos hidráulicos são dimensionados justamente para estes períodos de retorno, e não para precipitações com maior frequência. Dessa forma, a “faixa de incerteza” proposta por Notaro et.al. (2015) não foi calculada como proposto pelos autores. Para esta finalidade, criou-se um “intervalo de aceitação” calculado para cada TR testado, conforme descrito em sequência.

D) Buscando ter uma estimativa da amplitude do erro da projeção futura com a metodologia, adicionou-se um teste para verificar se a precipitação tida como “verdadeira” na situação futura está contida dentro de um intervalo estimado como “intervalo de aceitação”. Este foi construído para representar o intervalo onde existe 95% de chance do valor estimado estar contido, com base no intervalo de confiança de 95% (equação 5.2), no entanto, sem dividir o segundo termo da equação pelo termo $n^{0,5}$. Ao modificar desta forma a equação, amplia-se o intervalo e o número de valores abrangentes, resultando na equação 5.3:

$$IC = \text{média} \pm dp * Z_{95\%}/n^{0,5} \quad (5.2)$$

$$IA = \text{média} \pm dp * Z_{95\%} \quad (5.3)$$

Sendo:

IC = limite inferior ou limite superior do intervalo de confiança;

IA = limite inferior ou limite superior do intervalo de aceitação;

n = número de dados

média = média dos valores da série criada na atividade B;

dp = desvio padrão dos valores da série criada na atividade B;

$Z_{95\%} = 1,96$; variável reduzida da distribuição normal para 95% de confiança.

Foi então realizada a atividade D da seguinte forma: i) calcula-se o intervalo de aceitação com os dados da série criada na atividade B (série com estimativas de precipitação máxima para determinado TR); ii) projeta-se o intervalo para o futuro de mais 30, 50 e 100 anos (cenários de vida útil da obra analisados), considerando crescimento linear conforme coeficiente angular da regressão linear calculada na atividade C; iii) verificação se a “precipitação futura verdadeira” está contida dentro do intervalo de aceitação projetado para o futuro.

Sabe-se que a aplicação do intervalo de aceitação dessa forma calculado exige que a série de dados siga uma distribuição normal. O correto seria ajustar uma distribuição de probabilidades que melhor represente os dados, para então calcular o intervalo de aceitação com base nessa distribuição ajustada. Como na presente tese trabalhou-se com milhares de séries, não foram testadas diferentes distribuições a cada série. Para contornar, foram analisados os coeficientes de assimetria dos dados (3º momento), e caso a maioria das séries (mais de 50% delas) apresente assimetria fraca a moderada, assume-se a distribuição normal para todas elas. Nesse sentido, Milone (2004) diz que coeficientes de assimetria de -0,2 a 0,2 são considerados fracos, coeficientes de assimetria de -1,0 a 1,0 considerados moderados, enquanto menores que -1 e maiores que 1 são considerados fortes.

5.3.3 Avaliação do desempenho das metodologias

A avaliação do desempenho de cada metodologia foi realizada tomando como verdade a relação IDF/PDF calculada pelo ajuste da distribuição de probabilidades GEV (atividade já realizada no item 5.2.2) à série com o tamanho referente ao final da vida útil analisada. Por exemplo, para o cenário com série atual de 10 anos de dados atualizada para os próximos 30 anos, a relação IDF/PDF assumida como verdade será a precipitação máxima calculada pela distribuição GEV ajustada para a série com os seus 40 anos de dados (30 anos observados ao longo da vida útil da obra mais os 10 anos observados no tempo t_0).

Sabe-se que a distribuição de probabilidades não é aplicável à dados não estacionários. No entanto, utilizou-se ainda assim pois a aplicação tem o objetivo de fazer a validação das metodologias, no sentido de verificar situações já ocorridas, e não de utilizar para projetos futuros.

Para análise do desempenho das projeções pelas diferentes metodologias foram calculados os seguintes parâmetros:

- módulo do erro de cada série, após calculou-se sua média e desvio padrão;
- porcentagem de erro de cada série, após calculou-se sua média; e
- erro padrão.

5.4 ETAPA 4 – ROTEIRO PARA ATUALIZAÇÃO DAS CURVAS IDF/PDF CASO DETECTADO TENDENCIA CLIMÁTICA

Com base nos resultados encontrados na etapa 3, foi proposto um roteiro de aplicação para atualizar as relações IDF/PDF quando detectada tendência nas séries de precipitações máximas anuais.

6 RESULTADOS

6.1 ETAPA 1 – SÉRIES SINTÉTICAS

6.1.1 Ajuste da distribuição de probabilidades à série observada

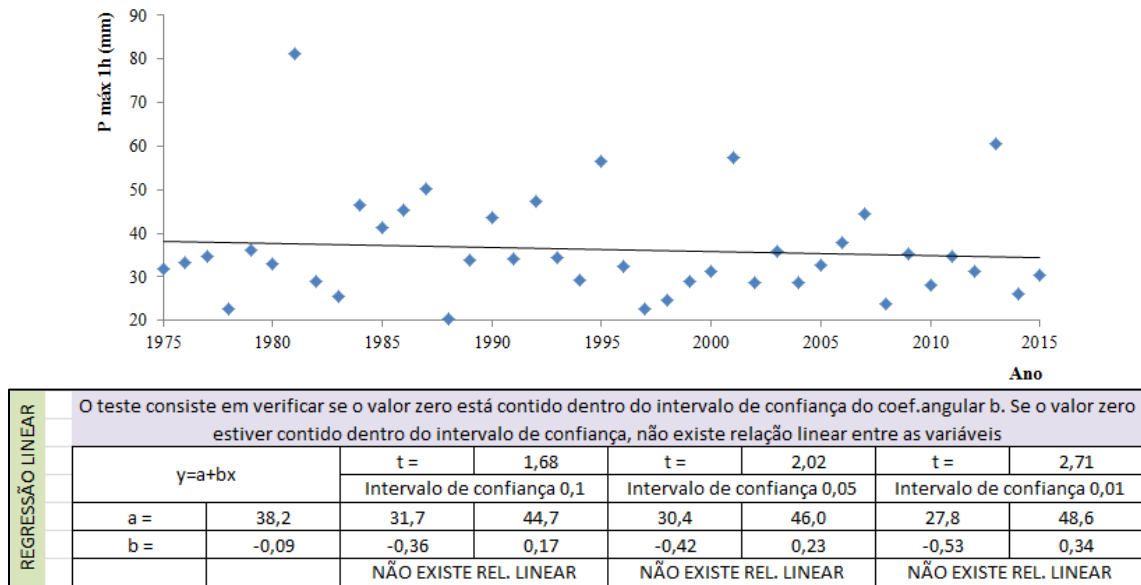
A série de precipitações máximas anuais com duração de 1h da estação Porto Alegre foi obtida junto ao INMET e CPRM, referente ao período 1975 a 2015 (41 anos de dados). No período com dados em comum, quando os valores máximos de precipitações para aquele ano eram diferentes, adotou-se o maior valor observado. A Tabela 6.1 apresenta a série observada e suas características estatísticas.

Tabela 6.1: Série de precipitações máximas anuais com duração de 1h observada na estação Porto Alegre (mm)

Ano	P máx 1h	Ano	P máx 1h	Ano	P máx 1h	Ano	P máx 1h
1975	31,8	1987	50,2	1999	28,9	2011	34,6
1976	33,4	1988	20,5	2000	31,4	2012	31,4
1977	34,7	1989	33,7	2001	57,3	2013	60,6
1978	22,6	1990	43,6	2002	28,8	2014	26,2
1979	36,0	1991	34,1	2003	35,8	2015	30,4
1980	33,0	1992	47,2	2004	28,8	Média	36,25
1981	81,2	1993	34,4	2005	32,7	Desv.Pad.	11,98
1982	28,9	1994	29,3	2006	37,8	Variância	143,43
1983	25,6	1995	56,6	2007	44,4	Coef.assim	1,72
1984	46,5	1996	32,4	2008	23,9		
1985	41,3	1997	22,7	2009	35,4		
1986	45,2	1998	24,7	2010	28,2		

Para verificar a existência de tendência na série foram realizados os testes de Regressão linear, Spearman e Mann-Kendall. Os testes foram aplicados em planilha eletrônica com programação desenvolvida de autoria própria para realizar as análises, e seus resultados podem ser conferidos na Figura 6.1 e Figura 6.2. Para os testes de Spearman e Mann-Kendall a série apresenta tendência quando o módulo dos valores de T ou $u(t)$ são maiores que os valores de Z da distribuição normal, para o nível de significância desejado. Pode-se então dizer que na série há ausência de tendência, ou seja, é estacionária, com significância de 1%, 5% e 10%, segundo resultado dos três testes aplicados.

Figura 6.1: Regressão linear da série de precipitações máximas anuais com duração de 1h da estação Porto Alegre



Fonte: Elaboração Própria

Figura 6.2: Análise de tendência da série de precipitações máximas anuais com duração de 1h da estação Porto Alegre pelos testes de Spearman e Mann-Kendall

TESTE DE SPEARMAN E MANN-KENDALL	Nível de signif	Z (dist normal)	Spearman	Mann-Kendall
	0,01 (0,995)	2,575	ESTACIONÁRIO	ESTACIONÁRIO
	0,05 (0,975)	1,96	ESTACIONÁRIO	ESTACIONÁRIO
	0,1 (0,95)	1,645	ESTACIONÁRIO	ESTACIONÁRIO
	Teste de Spearman		Teste de Mann-Kendall	
	rs = -0,12		tn = 382	
	E[rs] = 0		E[tn] = 410	
	Var [rs] = 0,03		Var [tn] = 1981,67	
	T = -0,731		u(t) = -0,629	
	Sinal de T ou u:			
	POSITIVO = tendência crescente			
	NEGATIVO = tendência decrescente			

Fonte: Elaboração Própria

Sabendo que a série é estacionária, pode-se ajustar uma distribuição de probabilidades. A frequência de ocorrência de eventos extremos de máximos tende a apresentar forte assimetria positiva, ou seja, longa cauda na direção dos maiores valores. Existem várias distribuições de probabilidade assintóticas para análise de eventos máximos, sendo que foram testadas as seguintes distribuições aos dados: Gumbel (2 parâmetros), Generalizada de Eventos Extremos – GEV (3 parâmetros) e Gama (2 parâmetros).

O ajuste das distribuições foi realizado por três métodos: momentos, momentos-L e máxima verossimilhança. A aderência das distribuições aos dados foi verificada com o teste de Kolmogorov-Smirnov, onde para amostras de tamanho superior a 40, o valor crítico da estatística de teste é $1,3581/N^{0,5}$ (N = tamanho da amostra), com nível de significância $\alpha = 0,05$. Os resultados da aplicação do teste nas distribuições ajustadas estão contidos na Tabela 6.2, considerando que as probabilidades amostrais foram calculadas com a equação de Grigorten.

Tabela 6.2: Teste de aderência das distribuições de probabilidades ajustadas à série

Método de ajuste		Distribuição de probabilidades testada		
		Gumbel	GEV	Gama
Momentos	ERM	0,13	0,11	0,16
	SE	1,58	1,19	2,11
Momentos-L	ERM	0,13	0,08	0,16
	SE	1,43	1,12	1,96
Máxima Verossimilhança	ERM	0,12	0,11	0,16
	SE	1,36	1,22	1,93
Erro residual máximo crítico com $\alpha=0,05$		0,21		

ERM = Erro residual máximo = módulo da probabilidade amostral menos a probabilidade calculada
SE = Somatório do erro

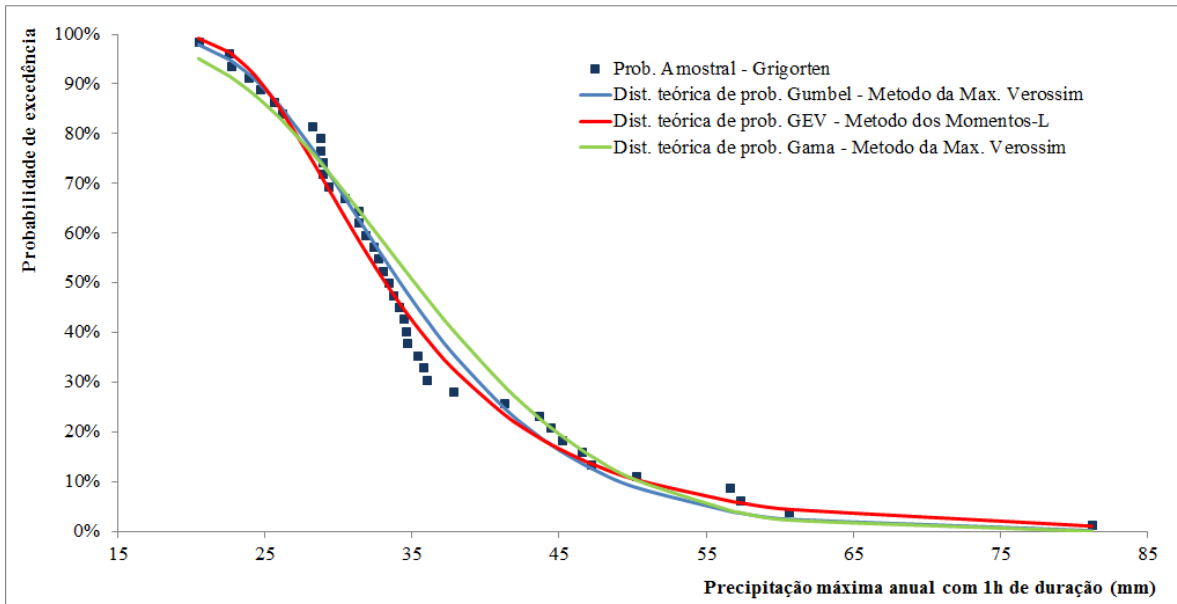
Analisando os erros, percebe-se que todas as distribuições foram bem ajustadas e obtiveram o erro residual máximo menor que o aceitável pelo teste para o nível de significância adotado. Entre as distribuições ajustadas, a GEV melhor representou os dados, com menor erro entre os valores calculados pela distribuição em relação aos valores observados, seguida pela distribuição de Gumbel, e por último, a Gama. Em relação aos métodos de ajuste, o método dos momentos-L resultou no melhor ajuste para a distribuição GEV, enquanto o método da máxima verossimilhança resultou no melhor ajuste para as distribuições Gumbel e Gama. A descrição dos métodos de ajuste pode ser consultada em Naghettini e Pinto (2007) e em demais livros de estatística. A Figura 6.3 ilustra o ajuste das distribuições à série observada. Estes resultados vão de encontro aos estudos descritos no item 3.1, que indicam a distribuição GEV para dados de eventos extremos, assim como os métodos de ajuste.

Dessa forma, assume-se a distribuição GEV como representativa dos dados observados, com os seguintes parâmetros ajustados pelo método dos momentos-L:

$$- \alpha \text{ (alfa – parâmetro de escala)} = 7,29$$

- β (beta – parâmetro de localização) = 30,45
- κ (parâmetro de forma) = -0,18

Figura 6.3: Ajuste das distribuições de probabilidades



Fonte: Elaboração Própria

6.1.2 Geração das séries sintéticas

Com os parâmetros da distribuição GEV para a estação Porto Alegre já estimados, resta a geração das séries com alturas de chuvas. O objetivo passa a ser a geração aleatória de valores que sigam a distribuição GEV para compor a série sintética, e para este fim, foi utilizado o método da transformação inversa. Na presente tese, toda a programação foi desenvolvida em planilha eletrônica, onde os geradores de números pseudo-aleatórios já estão implementados.

O modelo de geração de séries sintéticas é considerado apropriado quando é capaz de manter as características estatísticas das séries originais. A Figura 6.4 e a Tabela 6.3 ilustram as características estatísticas de uma série sintética gerada aleatoriamente, estacionária, com 60 anos de dados, apenas para exemplificação e verificação do modelo, comprovando que o mesmo gera séries sintéticas semelhantes à original observada, e portanto, pode ser considerado apropriado.

Figura 6.4: Distribuição de probabilidades da série amostral x série sintética

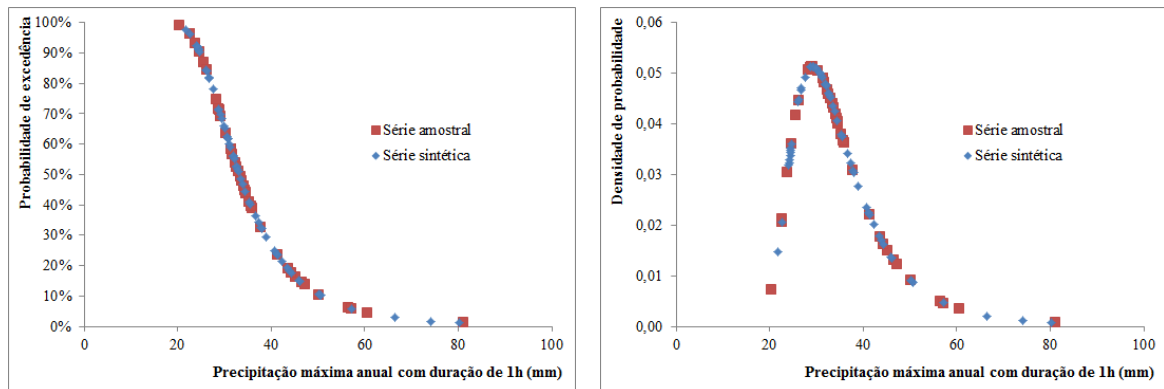


Tabela 6.3: Características estatísticas da série amostral x série sintética

	Série observada	Série sintética
Tamanho da série	41	60
Média	36,2	35,9
Desvio padrão	12,0	11,9
Variância	143,4	141,8
Coef. de assimetria	1,7	1,8

Conforme já discutido, para testar as metodologias estudadas foram adicionadas às séries diferentes magnitudes de tendências. Foram então criadas um total de 6.000 séries de precipitação máxima anual com 1h de duração e tamanho de 500 anos de dados, sendo elas:

- 1.000 séries com tendência de 0,01 mm/ano;
- 1.000 séries com tendência de 0,05 mm/ano;
- 1.000 séries com tendência de 0,10 mm/ano;
- 1.000 séries com tendência de 0,20 mm/ano;
- 1.000 séries com tendência de 0,30 mm/ano;
- 1.000 séries com tendência de 0,40 mm/ano;

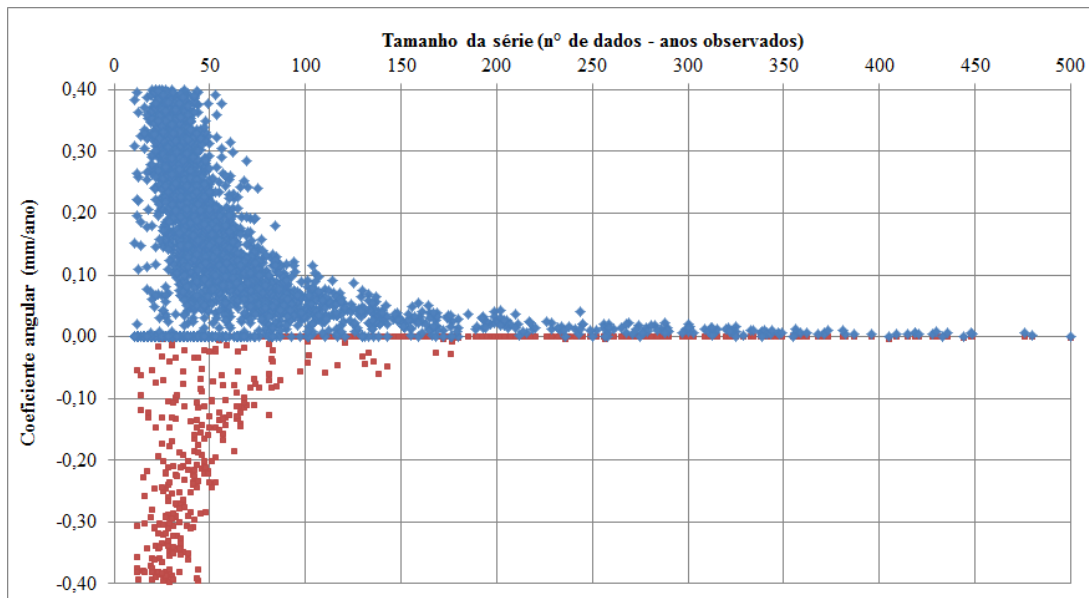
Os valores de tendência foram arbitrados de acordo com valores observados em estações pluviográficas reais, como por exemplo, Liuzzo e Freni (2015), que encontraram magnitudes de 0,08 a 0,40 mm/ano nas séries de precipitações máximas com duração de 1h.

6.2 ETAPA 2 - ANÁLISE DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS

6.2.1 Tamanho mínimo da série de precipitações máximas para detecção de tendências

O resultado da aplicação do algoritmo está ilustrado na Figura 6.5 e Figura A 1 do Apêndice A, onde cada ponto das figuras ilustram o ponto de parada (tamanho da série, magnitude da tendência) para cada uma das séries. O coeficiente angular da regressão linear foi considerado como magnitude da tendência (mm/ano). Os pontos em cor azul representam uma tendência positiva detectada, enquanto os pontos em cor vermelha indicam que foi detectada uma tendência negativa. Da Figura A 1(a) à Figura A 1(f) do Apêndice A, a segunda imagem ilustra uma ampliação da escala observada no eixo y da primeira figura, enquanto a Figura 6.5 apresenta todas as 6.000 séries no mesmo gráfico.

Figura 6.5: Tamanho da série a partir do qual é detectado tendência versus coeficiente angular da regressão linear



As séries sintéticas foram criadas apenas com tendências positivas e com magnitudes que variam de 0,01 mm/ano a 0,40 mm/ano. Ainda assim, ao analisar apenas trechos iniciais da série ocorrem magnitudes com módulos muito maiores, devido à série ser tão curta que ainda não possui tamanho suficiente para representar fielmente o comportamento ao longo do tempo. Também ocorrem magnitudes negativas, nas séries curtas pelo mesmo motivo já

comentado, e nas séries longas devido às magnitudes da tendência serem tão pequenas, que passam a ser praticamente insignificantes, mesmo em um horizonte de quase 500 anos.

Nota-se claramente que existe uma relação entre as duas variáveis, onde quanto menor a magnitude da tendência, maior deve ser o tamanho de série para sua detecção. Os resultados também ilustram o quão incerta é a detecção das tendências, quanto menor for o tamanho da série. Em outras palavras, ao analisar uma série real em relação à tendência, com tamanho limitado, existe grande chance da tendência detectada não ser representativa, principalmente se indicar altíssimos valores de magnitude. Outra possibilidade é ser detectada tendência negativa, quando na realidade existe uma tendência positiva, de pequena ou grande magnitude, devido à pequena representatividade do tamanho da série. Também não se pode afirmar que uma série curta não irá detectar tendências menores, pois existe esta possibilidade, mas também há uma grande chance do valor detectado não ser representativo.

Independente de tendências positivas ou negativas é possível observar que ambas apresentam a mesma relação de “tamanho da série x tendência”, ou seja, apresentam comportamento “espelhado”, mesmo módulo e apenas com sinal diferente no eixo y para um mesmo valor de x. Por este motivo, para analisar esta relação, descartou-se as séries com magnitudes negativas (1.005 séries), e o restante das séries (4.995 séries) foram utilizadas para calcular o intervalo de confiança e a relação entre as variáveis. Na Tabela 6.4 constam os valores de média, desvio padrão, número de séries ocorrentes para cada magnitude, e os intervalos de confiança, onde N = tamanho mínimo da série para iniciar a detectar tendência (eixo x); e b = magnitude da tendência (mm/ano), definido pelo coeficiente angular da regressão linear (eixo y).

A Figura 6.6 ilustra os intervalos de confiança calculados com 95% de significância e, além disso, ajustou-se uma equação de potência para representar a relação entre os dados, $b=80,629N^{-1,612}$ atingindo um coeficiente de determinação $R^2 = 0,836$. Na Tabela 6.5 constam os valores de relação N x b calculados com base na equação de potência ajustada, resultando valores similares aos valores médios de N da Tabela 6.4, indicando que o ajuste da equação é representativo. Estes resultados vão de encontro com os estudos de Totaro, Gioia e Iacobellis (2019), Németh, Hubnerová e Zempléni (2019) e White (2018), discutidos no item 3.3, mostrando que em séries temporais curtas a detecção de tendência não oferece respostas representativas.

As análises foram realizadas com todas as 4.995 séries com magnitude positiva, embora as tabelas e figura ilustrem apenas os resultados até tendências com 0,40 ou 0,60 mm/ano. Os dados para magnitudes acima destes valores não constam nas tabelas e figura

porque para estes valores já não há variação do tamanho da série necessário para sua detecção, a variável N tende a estabilizar.

Tabela 6.4: Intervalo de confiança para a relação entre N x b

(continua)

b (mm/ano)	Média de N (anos)	Desvio padrão de N	Contagem de N	Intervalo de confiança – valores de N					
				90% -	90% +	95% -	95% +	99% -	99% +
0,001	193	137	8	113	273	98	288	68	318
0,005	272	132	29	232	313	224	320	209	335
0,01	242	109	111	225	259	222	262	215	269
0,02	161	72	81	148	174	145	177	140	182
0,03	119	46	88	111	127	110	129	107	132
0,04	103	42	91	96	110	94	112	92	115
0,05	86	31	79	80	91	79	92	76	95
0,06	82	27	84	78	87	77	88	75	90
0,07	73	26	85	69	78	68	79	66	80
0,08	67	20	79	64	71	63	72	62	73
0,09	67	20	70	63	71	62	71	61	73
0,10	62	17	71	59	65	58	66	57	67
0,11	57	16	72	54	60	54	61	52	62
0,12	59	17	82	56	62	55	63	54	64
0,13	54	14	60	51	57	51	58	50	59
0,14	51	13	55	48	54	48	54	46	55
0,15	47	13	68	44	49	44	50	43	51
0,16	47	11	62	44	49	44	49	43	50
0,17	45	12	57	42	48	42	48	41	49
0,18	46	12	53	44	49	43	50	42	51
0,19	44	11	68	42	46	41	47	41	48
0,20	41	10	56	38	43	38	43	37	44
0,21	41	10	60	39	43	39	43	38	44
0,22	38	9	52	36	40	35	40	34	41
0,23	42	10	55	39	44	39	44	38	45
0,24	38	11	64	36	40	35	41	35	42
0,25	39	9	44	36	41	36	42	35	42
0,26	35	11	49	33	38	32	38	31	39
0,27	35	8	43	32	37	32	37	31	38
0,28	35	7	37	33	36	32	37	32	38
0,29	36	9	44	34	38	33	39	33	39
0,30	33	8	57	32	35	31	35	31	36
0,31	33	8	47	31	35	31	35	30	36
0,32	32	8	66	30	33	30	34	30	34
0,33	31	7	58	30	33	30	33	29	34
0,34	32	7	31	30	34	29	34	29	35
0,35	31	7	45	29	33	29	33	29	33

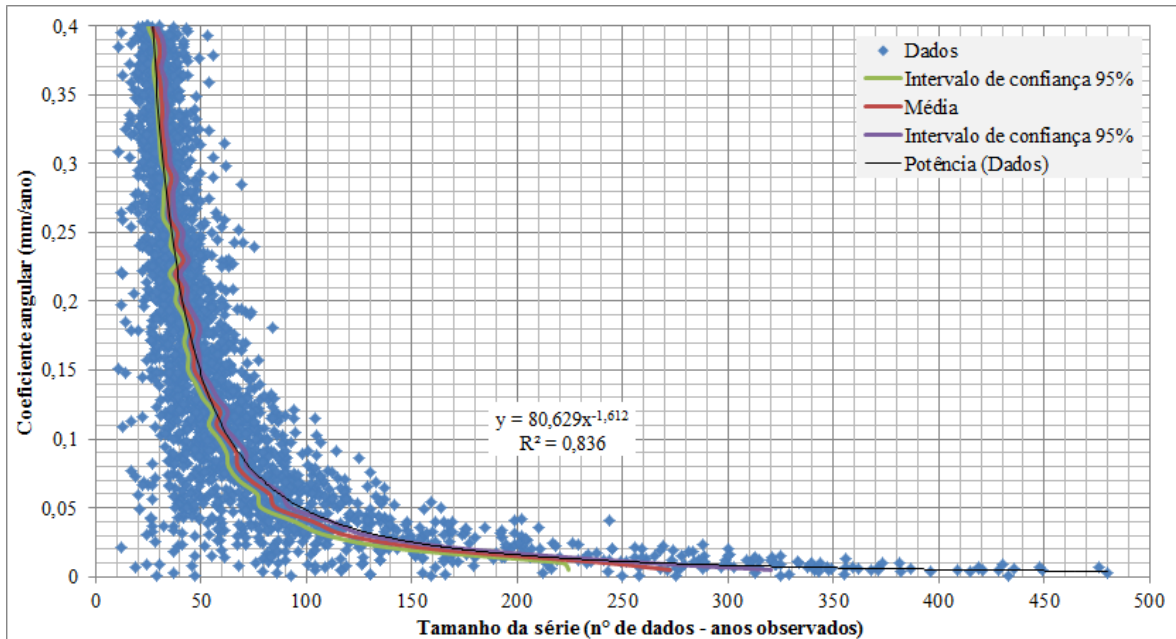
(conclusão)

b (mm/ano)	Média de N (anos)	Desvio padrão de N	Contagem de N	Intervalo de confiança – valores de N					
				90% -	90% +	95% -	95% +	99% -	99% +
0,36	31	8	35	28	33	28	33	27	34
0,37	29	6	42	28	31	27	31	27	32
0,38	30	8	47	29	32	28	33	28	33
0,39	30	7	41	28	32	27	32	27	33
0,40	27	7	39	25	29	25	29	24	30
0,41	30	8	39	28	32	27	32	26	33
0,42	28	7	30	26	30	26	31	25	31
0,43	28	6	23	26	31	26	31	25	32
0,44	26	8	35	24	29	24	29	23	30
0,45	23	5	34	22	25	22	25	21	26
0,46	25	5	41	24	27	24	27	24	27
0,47	25	8	28	23	28	23	28	22	29
0,48	25	6	26	23	27	23	27	22	28
0,49	26	6	32	24	28	24	28	23	28
0,50	23	6	32	22	25	21	25	21	26
0,51	25	6	22	23	27	23	27	22	28
0,52	25	6	26	23	27	23	27	22	28
0,53	24	7	24	21	26	21	27	20	28
0,54	22	6	32	21	24	20	24	20	25
0,55	23	6	27	21	25	21	25	20	26
0,56	23	5	27	21	24	21	25	20	25
0,57	23	7	31	21	25	21	26	20	26
0,58	24	5	25	22	26	22	26	21	27
0,59	23	5	22	21	25	21	25	20	26
0,60	23	5	20	21	24	21	25	20	25
...

Tabela 6.5: Relação N x b calculados pela equação de potência

Coefficiente angular – Magnitude (mm/ano)	Tamanho mínimo da série para detectar tendência (anos)
0,01	265
0,05	98
0,1	64
0,2	41
0,3	32
0,4	27
0,5	23
0,6	21
...	...

Figura 6.6: Intervalo de confiança para a relação entre $N \times b$ e ajuste de equação de potência



6.2.2 Impacto da tendência climática nos projetos hidráulicos

A análise inicial refere-se ao ajuste da distribuição GEV às séries com diferentes tamanhos pelo método dos momentos-L, onde a Figura 6.7 à Figura 6.12 e Tabela B 1 à Tabela B 6 do Apêndice B apresentam uma síntese dos valores ajustados, com a média, intervalo de confiança e desvio padrão, para as 1.000 séries simuladas para cada uma das 6 magnitudes de tendências testadas. A qualidade dos ajustes foi verificada com o teste de Kolmogorov-Smirnov, onde se o ajuste foi satisfatório com nível de significância $\alpha = 0,05$, conta-se como “OK”, enquanto se o ajuste não foi satisfatório, conta-se como “Não OK”. Os ajustes com resultados “Não OK” não foram descartados, pois ao se verificar um a um, todos ainda apresentavam ajuste satisfatório se considerado nível de significância $\alpha = 0,01$.

Figura 6.7 Parâmetros da distribuição GEV ajustados aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,01mm/ano

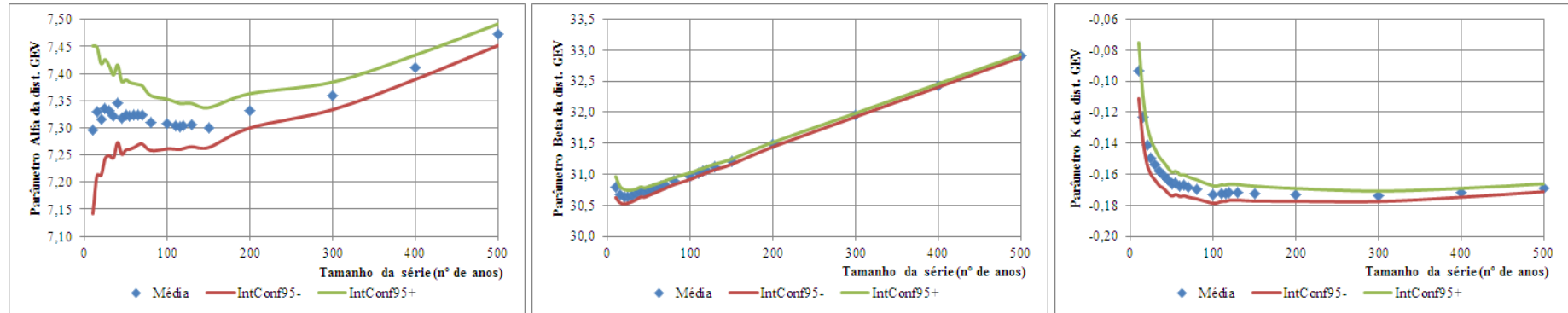


Figura 6.8: Parâmetros da distribuição GEV ajustados aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,05mm/ano

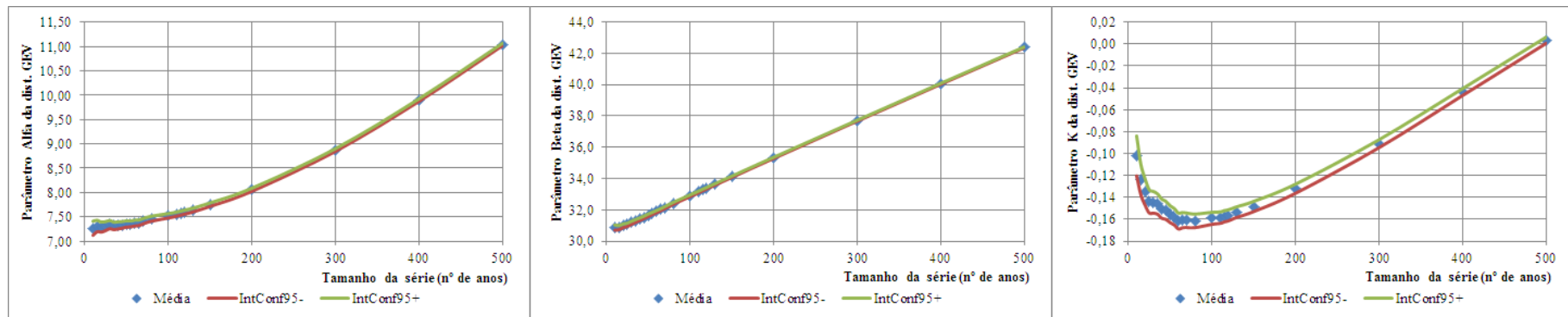


Figura 6.9: Parâmetros da distribuição GEV ajustados aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,10mm/ano

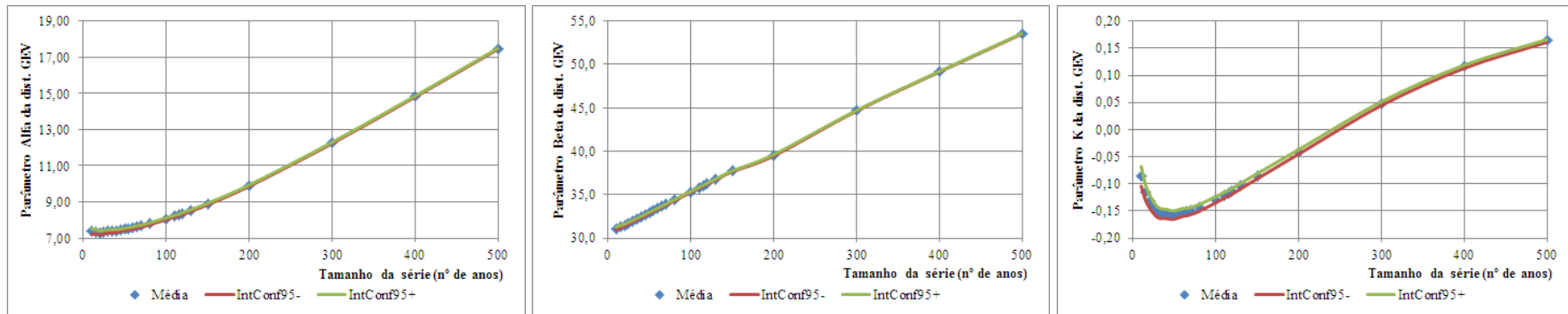


Figura 6.10: Parâmetros da distribuição GEV ajustados aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,20mm/ano

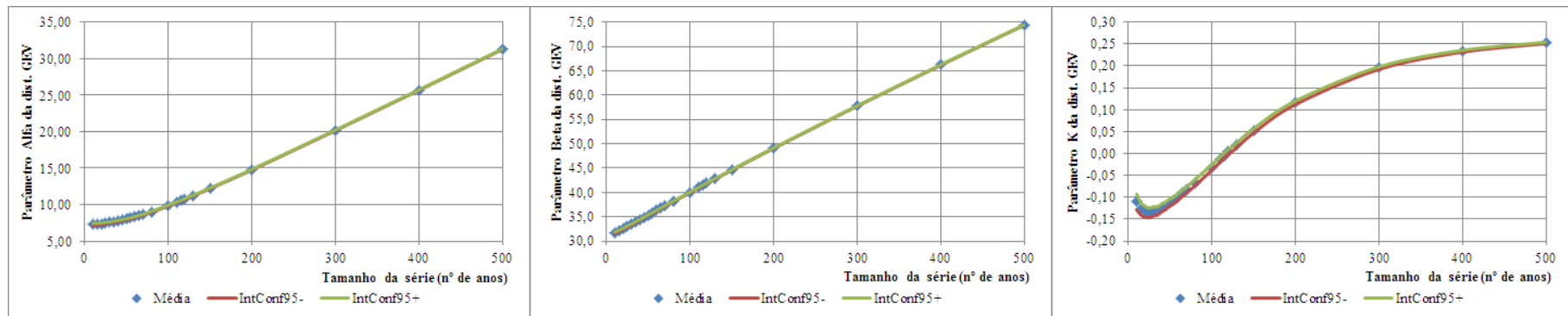


Figura 6.11: Parâmetros da distribuição GEV ajustados aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,30mm/ano

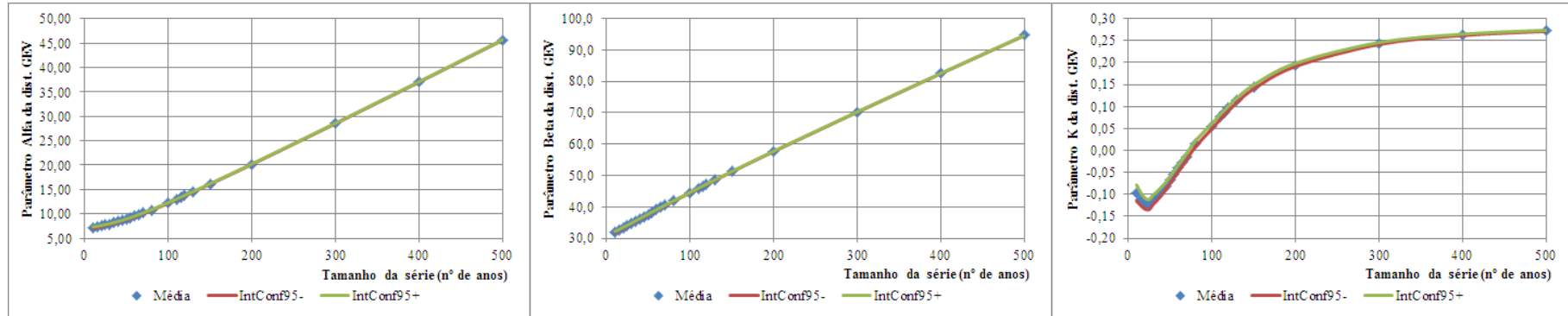
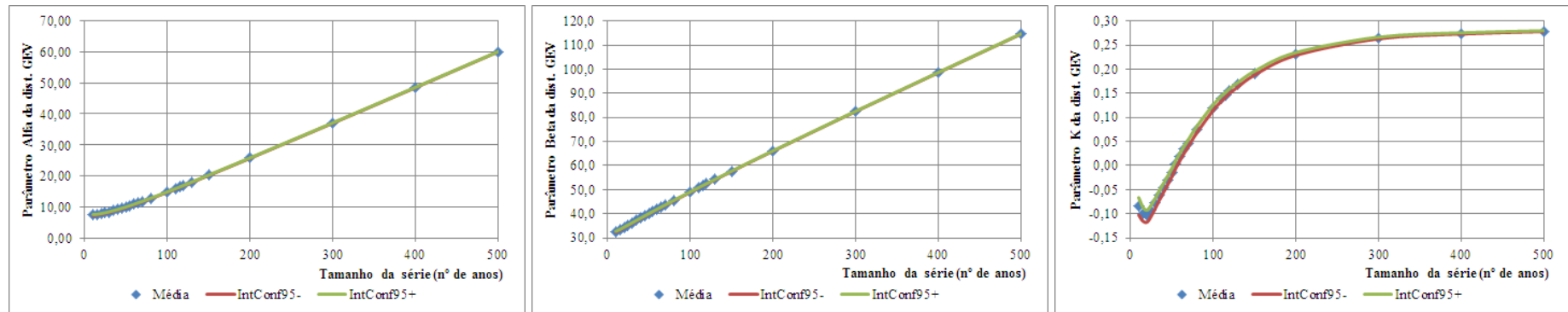


Figura 6.12: Parâmetros da distribuição GEV ajustados aos diferentes tamanhos de séries geradas com magnitude de tendência 0,40mm/ano



Algumas séries apresentaram valores de precipitações muito altas ou muito baixas, excedendo o limite da distribuição (*outlier*), e por este motivo o algoritmo detecta erro ao verificar o ajuste para este ponto, não contabilizando como ajuste “OK” ou “Não OK”. Segundo Naghettini e Pinto (2007) se identificado que um valor atípico é inconsistente, este deve ser excluído da amostra. Entretanto, se esta observação atípica resultar de causas naturais, tais como eventos extraordinários em relação ao conjunto dos outros pontos amostrais, a melhor decisão é manter os *outliers* na análise de frequência, para posteriormente buscar um modelo probabilístico que descreva este comportamento. Assim, as séries com *outliers* ou ajustes “Não OK” não foram descartadas, pois foram verificadas uma a uma e todos os demais valores das séries obtiveram ajuste satisfatório considerando nível de significância de até $\alpha = 0,01$. Observa-se que tais eventos extremos ocorreram em sua maioria em séries longas, onde quando maior o período observado, maior é a chance dos mesmos, assim como acontece na natureza. Este fato justifica o porquê em alguns tamanhos de série o somatório do nº de “OK” com “Não OK” não resulta em 1.000. Salienta-se que todas as estatísticas apresentadas referem-se às 1.000 séries.

Além disso, ressalta-se que para o ajuste da distribuição de probabilidades deve inexistir tendência na série de dados. Ainda assim o ajuste foi realizado nas séries com tendência de forma a testar a aplicação da confecção convencional das relações IDF. A consideração das tendências será apresentada no item referente aos testes das metodologias.

A partir da distribuição ajustada foi possível estimar a precipitação máxima com 1h de duração para diferentes períodos de retorno, a vazão de projeto e o diâmetro comercial necessário para conduzir a mesma (considerando que existam diâmetros comerciais a cada 100mm). A média dos valores calculados para as 1.000 séries de cada magnitude encontram-se ilustrados na Figura 6.13 a Figura 6.15, enquanto as demais estatísticas como desvio padrão e intervalo de confiança constam no Apêndice C, Apêndice D e Apêndice E.

Em relação à análise da tendência pela aplicação dos testes de Spearman, Mann-kendall e regressão linear, a Tabela 6.6 à Tabela 6.11 e Figura 6.16 apresentam os resultados dos testes para as séries com diferentes tamanhos. E por fim, o cálculo da magnitude das tendências consta na Tabela 6.12 à Tabela 6.17 e Figura 6.17, calculada para todas as séries, independente da tendência ser significativa ou não.

Figura 6.13: Média das estimativas de precipitação máxima com duração de 1h (mm) para diferentes tamanhos de séries

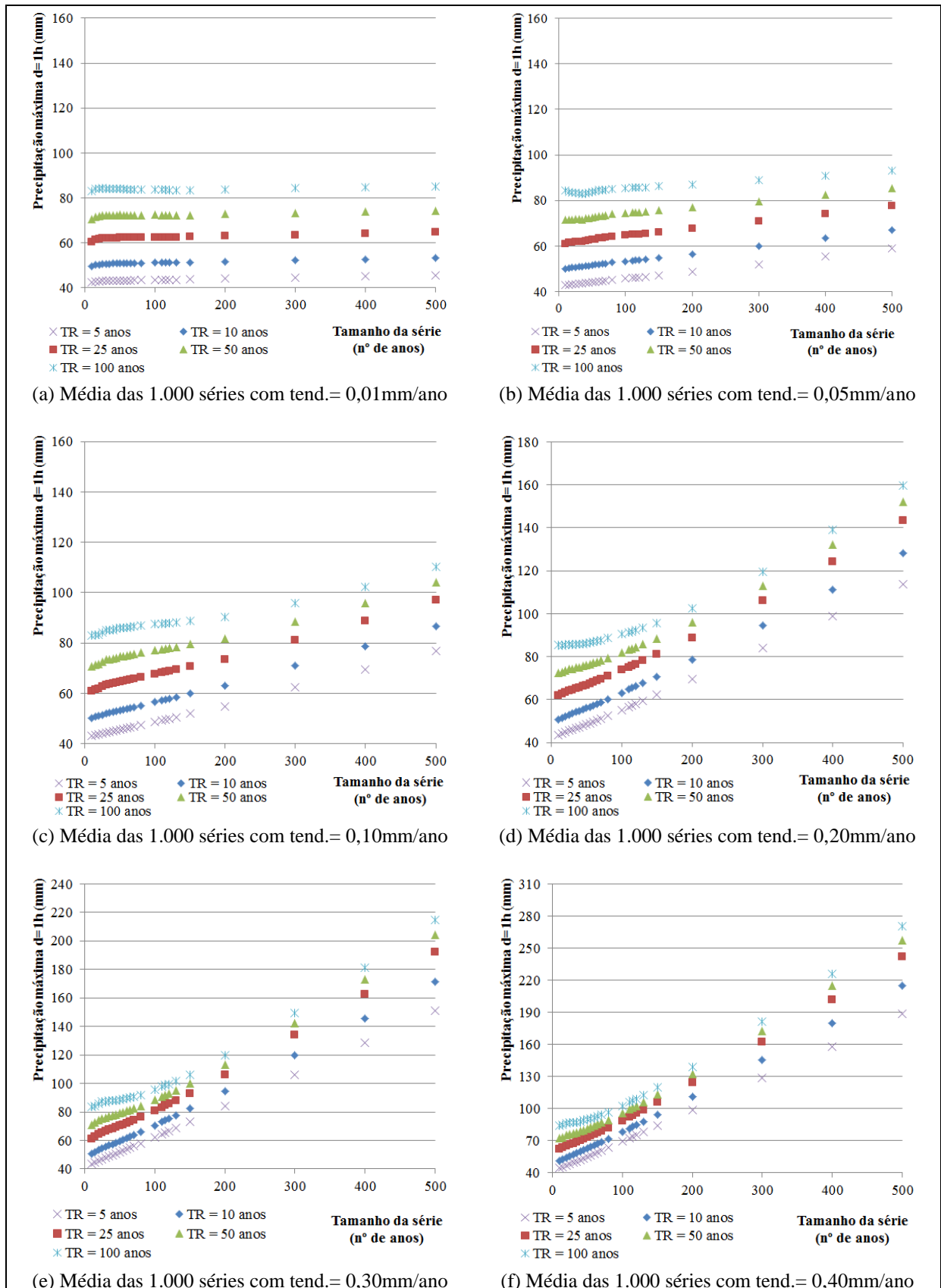


Figura 6.14: Média das estimativas da vazão de projeto (mm) para diferentes tamanhos de séries

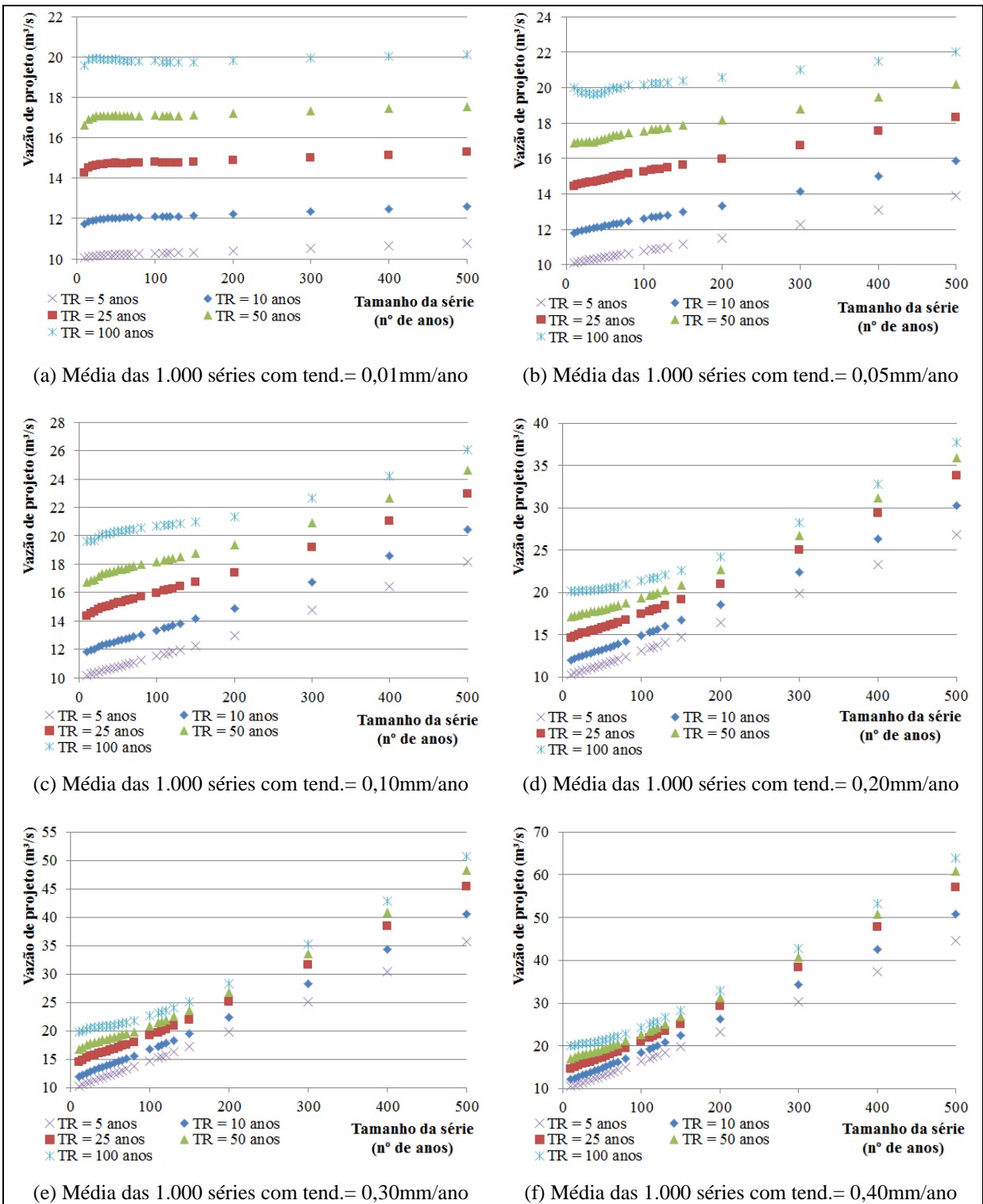


Figura 6.15: Média das estimativas do diâmetro de tubulação (m) para diferentes tamanhos de séries

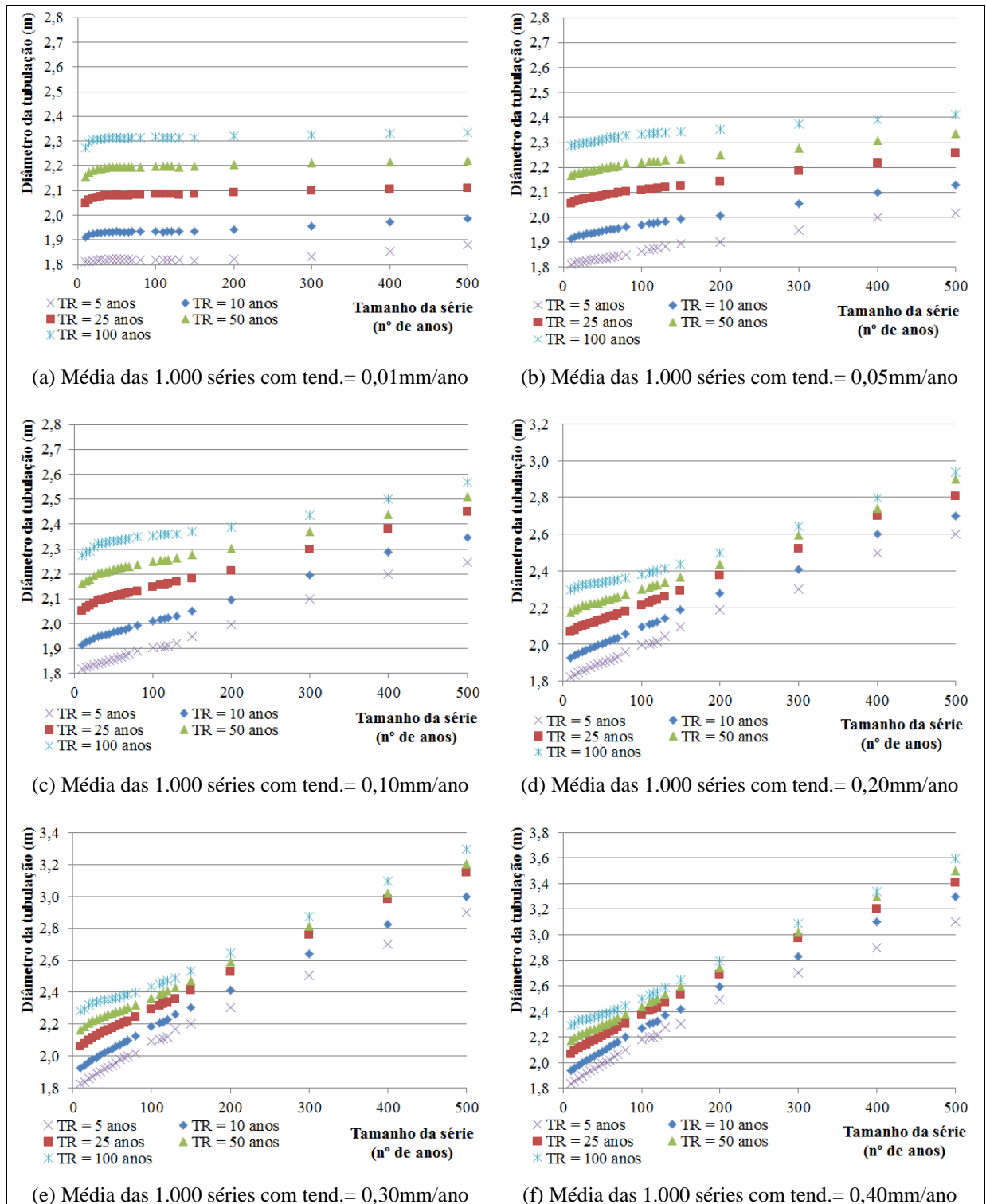


Tabela 6.6: Aplicação dos testes de tendência para séries com magnitude de 0,01mm/ano

Tamanho da série		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
Regressão linear sign.10%	Nº de séries não estacionárias	100	89	91	77	87	87	100	100	97	99	100	103	103	110	113	118	108	112	117	137	176	339	563	794
	Nº de séries estacionárias	900	911	909	923	913	913	900	900	903	901	900	897	897	890	887	882	892	888	883	863	824	661	437	206
Spearman sign.10%	Nº de séries não estacionárias	105	100	97	79	93	105	102	100	103	101	104	98	102	111	114	118	109	110	124	157	256	535	830	965
	Nº de séries estacionárias	895	900	903	921	907	895	898	900	897	899	896	902	898	889	886	882	891	890	876	843	744	465	170	35
Mann-Kendall sign.10%	Nº de séries não estacionárias	110	90	91	73	98	101	105	101	101	109	100	97	97	108	117	114	111	113	119	154	257	532	832	966
	Nº de séries estacionárias	890	910	909	927	902	899	895	899	899	891	900	903	903	892	883	886	889	887	881	846	743	468	168	34

Tabela 6.7: Aplicação dos testes de tendência para séries com magnitude de 0,05mm/ano

Tamanho da série		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
Regressão linear sign.10%	Nº de séries não estacionárias	87	101	112	97	98	106	108	114	134	151	167	177	199	251	354	418	439	478	546	689	931	1000	1000	1000
	Nº de séries estacionárias	913	899	888	903	902	894	892	886	866	849	833	823	801	749	646	582	561	522	454	311	69	0	0	0
Spearman sign.10%	Nº de séries não estacionárias	102	91	118	103	110	115	105	132	157	173	190	220	267	343	510	605	645	692	774	918	997	1000	1000	1000
	Nº de séries estacionárias	898	909	882	897	890	885	895	868	843	827	810	780	733	657	490	395	355	308	226	82	3	0	0	0
Mann-Kendall sign.10%	Nº de séries não estacionárias	102	86	104	99	112	112	105	127	159	174	193	213	280	346	508	610	655	689	773	915	997	1000	1000	1000
	Nº de séries estacionárias	898	914	896	901	888	888	895	873	841	826	807	787	720	654	492	390	345	311	227	85	3	0	0	0

Figura 6.16: Aplicação dos testes de tendência nas séries com diferentes tamanhos

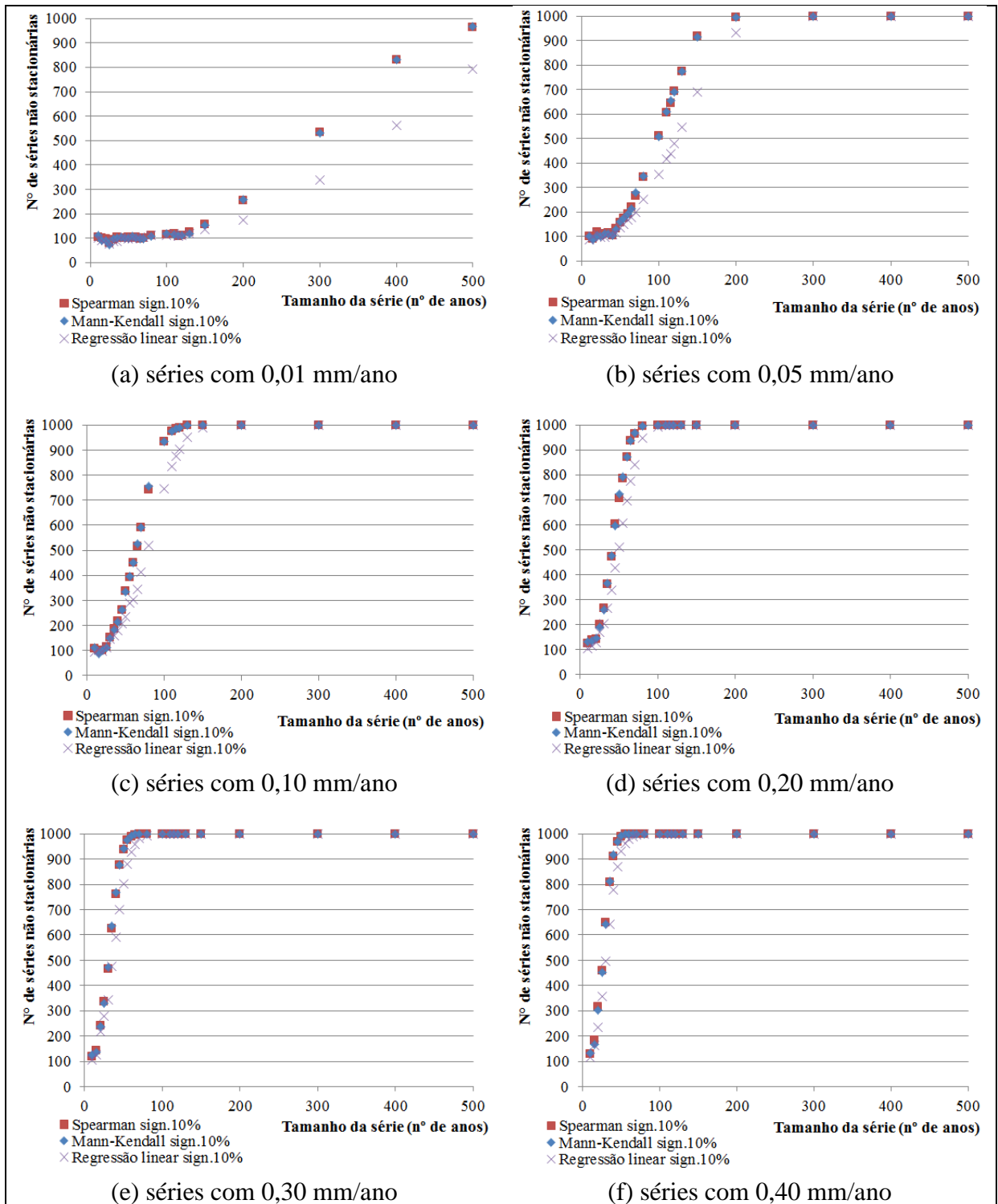


Figura 6.17: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com diferentes tamanhos

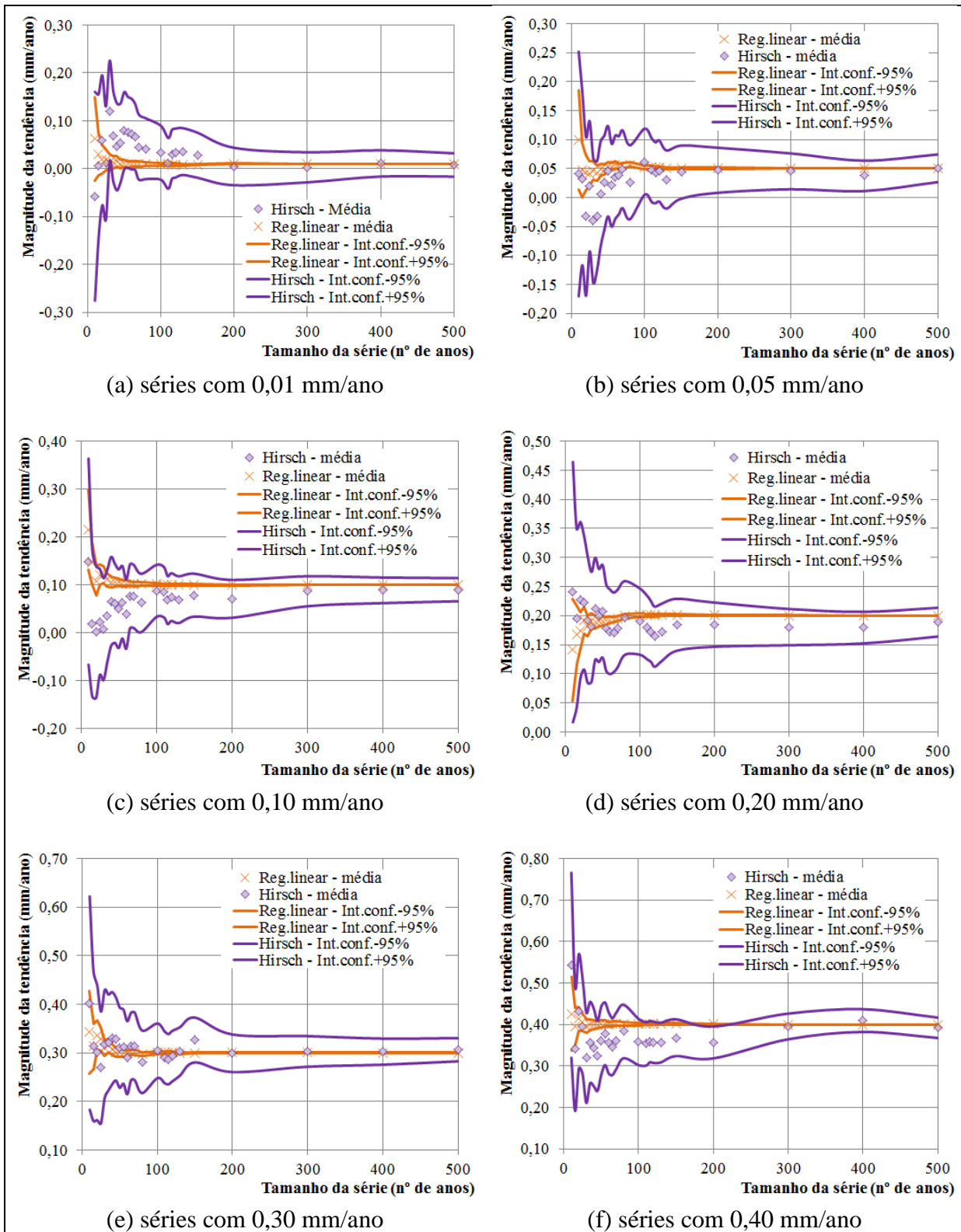


Tabela 6.12: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com 0,01mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
Coef. angular da regressão linear	Média	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	IntConf95-	-0,03	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	IntConf95+	0,15	0,08	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Desv.Pad.	1,41	0,72	0,49	0,34	0,26	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,08	0,08	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
Hirsch	Média	-0,06	0,01	0,06	0,01	0,12	0,07	0,05	0,05	0,08	0,08	0,07	0,07	0,04	0,04	0,03	0,01	0,03	0,03	0,04	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01
	IntConf95-	-0,28	-0,14	-0,08	-0,11	0,02	-0,03	-0,05	-0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,02	-0,02	-0,02	-0,04	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,03	-0,03	-0,02	-0,02
	IntConf95+	0,16	0,16	0,19	0,13	0,23	0,16	0,14	0,14	0,16	0,15	0,15	0,14	0,11	0,10	0,09	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08	0,04	0,03	0,04	0,03
	Desv.Pad.	3,52	2,43	2,19	1,91	1,70	1,52	1,47	1,33	1,30	1,20	1,19	1,11	1,10	1,02	0,91	0,85	0,83	0,83	0,79	0,76	0,63	0,51	0,44	0,39

Tabela 6.13: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com 0,05mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
Coef. angular da regressão linear	Média	0,10	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	IntConf95-	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	IntConf95+	0,19	0,09	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Desv.Pad.	1,39	0,75	0,49	0,34	0,26	0,21	0,17	0,14	0,13	0,11	0,10	0,08	0,07	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
Hirsch	Média	0,04	0,03	-0,03	0,02	-0,04	-0,03	0,01	0,03	0,05	0,02	0,04	0,04	0,05	0,03	0,06	0,05	0,04	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05
	IntConf95-	-0,17	-0,12	-0,17	-0,09	-0,15	-0,13	-0,08	-0,06	-0,03	-0,05	-0,04	-0,03	-0,02	-0,04	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03
	IntConf95+	0,25	0,18	0,10	0,13	0,07	0,06	0,10	0,11	0,12	0,09	0,11	0,11	0,12	0,09	0,12	0,10	0,10	0,10	0,08	0,09	0,09	0,08	0,06	0,07
	Desv.Pad.	3,41	2,41	2,21	1,81	1,73	1,52	1,46	1,31	1,26	1,15	1,16	1,09	1,08	1,03	0,92	0,88	0,85	0,85	0,81	0,74	0,63	0,50	0,42	0,39

Tabela 6.14: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com 0,10mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
Coef. angular da regressão linear	Média	0,21	0,15	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	IntConf95-	0,13	0,10	0,08	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	IntConf95+	0,30	0,19	0,14	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
	Desv.Pad.	1,34	0,72	0,49	0,35	0,27	0,22	0,18	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,08	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
Hirsch	Média	0,15	0,02	0,00	0,02	0,01	0,04	0,07	0,06	0,05	0,06	0,04	0,08	0,08	0,06	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,09	0,09	0,09
	IntConf95-	-0,07	-0,13	-0,14	-0,09	-0,10	-0,06	-0,03	-0,02	-0,03	-0,01	-0,03	0,01	0,01	0,00	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,06	0,06	0,07
	IntConf95+	0,36	0,17	0,14	0,13	0,11	0,13	0,16	0,14	0,13	0,14	0,11	0,14	0,14	0,12	0,14	0,14	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,12	0,11
	Desv.Pad.	3,47	2,47	2,22	1,79	1,72	1,55	1,50	1,33	1,33	1,22	1,17	1,08	1,06	0,98	0,88	0,85	0,81	0,81	0,79	0,72	0,64	0,50	0,43	0,39

Tabela 6.15: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com 0,20mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
Coef. angular da regressão linear	Média	0,14	0,17	0,17	0,19	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	IntConf95-	0,05	0,12	0,14	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	IntConf95+	0,23	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	Desv.Pad.	1,41	0,80	0,50	0,36	0,27	0,22	0,18	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
Hirsch	Média	0,24	0,20	0,23	0,22	0,19	0,18	0,21	0,20	0,21	0,18	0,17	0,17	0,18	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19
	IntConf95-	0,02	0,04	0,09	0,11	0,08	0,09	0,12	0,12	0,13	0,10	0,10	0,10	0,11	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,12	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16
	IntConf95+	0,46	0,35	0,36	0,34	0,30	0,28	0,30	0,28	0,29	0,25	0,24	0,24	0,24	0,26	0,25	0,23	0,22	0,22	0,22	0,23	0,22	0,21	0,21	0,21
	Desv.Pad.	3,61	2,49	2,18	1,85	1,75	1,53	1,42	1,29	1,29	1,20	1,17	1,10	1,08	1,02	0,92	0,88	0,84	0,83	0,79	0,72	0,61	0,50	0,44	0,40

Tabela 6.16: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com 0,30mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500	
Coef. angular da regressão linear	Média	0,34	0,31	0,34	0,33	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	IntConf95-	0,26	0,27	0,31	0,30	0,29	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,30	0,30	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	IntConf95+	0,43	0,36	0,37	0,35	0,33	0,33	0,32	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	Desv.Pad.	1,38	0,75	0,48	0,38	0,27	0,21	0,17	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
Hirsch	Média	0,40	0,31	0,30	0,27	0,32	0,32	0,33	0,33	0,31	0,31	0,29	0,31	0,31	0,28	0,30	0,29	0,29	0,29	0,30	0,33	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31
	IntConf95-	0,18	0,16	0,16	0,15	0,21	0,22	0,24	0,24	0,23	0,24	0,21	0,24	0,24	0,22	0,25	0,24	0,24	0,24	0,25	0,28	0,26	0,27	0,28	0,28	0,28
	IntConf95+	0,62	0,47	0,44	0,39	0,43	0,42	0,43	0,41	0,39	0,39	0,37	0,38	0,38	0,35	0,36	0,34	0,34	0,35	0,35	0,37	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33
	Desv.Pad.	3,54	2,49	2,24	1,86	1,79	1,59	1,53	1,38	1,33	1,23	1,21	1,12	1,12	1,04	0,91	0,86	0,83	0,84	0,80	0,74	0,62	0,51	0,43	0,39	0,39

Tabela 6.17: Magnitude da tendência (mm/ano) das séries com 0,40mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500	
Coef. angular da regressão linear	Média	0,43	0,39	0,41	0,41	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	IntConf95-	0,34	0,35	0,39	0,38	0,38	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,40	0,39	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	IntConf95+	0,52	0,44	0,44	0,43	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	Desv.Pad.	1,44	0,73	0,47	0,34	0,26	0,21	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
Hirsch	Média	0,54	0,34	0,43	0,40	0,32	0,36	0,34	0,32	0,36	0,38	0,36	0,35	0,36	0,38	0,36	0,35	0,36	0,36	0,36	0,37	0,36	0,40	0,41	0,39	
	IntConf95-	0,32	0,19	0,29	0,28	0,21	0,26	0,25	0,24	0,28	0,30	0,28	0,28	0,29	0,32	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,32	0,32	0,36	0,38	0,37	
	IntConf95+	0,77	0,49	0,57	0,51	0,43	0,45	0,44	0,41	0,44	0,45	0,43	0,42	0,43	0,45	0,41	0,41	0,41	0,41	0,40	0,41	0,40	0,43	0,44	0,42	
	Desv.Pad.	3,60	2,42	2,23	1,85	1,76	1,58	1,51	1,36	1,33	1,22	1,19	1,11	1,10	1,04	0,90	0,85	0,80	0,80	0,77	0,72	0,62	0,50	0,44	0,40	

Ao analisar as vazões de projeto de obras de pequeno porte, com períodos de retorno de 5 anos, usuais em redes de microdrenagem urbana por exemplo, considerando uma vida útil de 50 anos, a vazão de projeto aumenta 1,7% ou 3,9% para magnitudes amenas, de 0,01 ou 0,05 mm/ano, respectivamente, enquanto para magnitudes mais intensas, de 0,30 ou 0,4 mm/ano, o incremento de vazão é de 23,2 ou 30,3%, respectivamente. Este incremento de vazão não se mostrou significativo para magnitudes amenas, uma vez que ao dimensionar a tubulação, é possível conduzir a nova vazão mantendo o mesmo diâmetro. Os valores podem ser conferidos na Tabela 6.18 e Tabela 6.19 que apresentam o impacto de diferentes magnitudes da tendência de chuvas máximas, por meio do incremento de vazão de projeto e do diâmetro comercial, para TR e vida útil usuais em obras hidráulicas de pequeno porte.

Tabela 6.18: Incremento da vazão de projeto (%) ao longo da vida útil de obras de pequeno porte

Magnitude original (mm/ano)	TR 5 anos			TR 10 anos			TR 25 anos		
	Vida útil: 30 anos	Vida útil: 50 anos	Vida útil: 100 anos	Vida útil: 30 anos	Vida útil: 50 anos	Vida útil: 100 anos	Vida útil: 30 anos	Vida útil: 50 anos	Vida útil: 100 anos
0,01	1,5%	1,7%	2,2%	2,5%	2,7%	3,2%	3,1%	3,3%	3,5%
0,05	2,4%	3,9%	7,5%	2,6%	4,3%	7,5%	2,1%	3,8%	6,4%
0,10	4,6%	7,4%	14,7%	5,0%	7,6%	14,1%	5,0%	7,2%	12,2%
0,20	8,4%	14,0%	29,9%	7,9%	12,9%	27,4%	6,1%	10,0%	21,3%
0,30	14,0%	23,2%	47,5%	13,5%	21,8%	44,1%	11,7%	17,8%	35,9%
0,40	17,8%	30,3%	62,7%	16,6%	28,1%	58,5%	13,3%	22,4%	48,2%

Magnitude original (mm/ano)	TR 50 anos			TR 100 anos		
	Vida útil: 30 anos	Vida útil: 50 anos	Vida útil: 100 anos	Vida útil: 30 anos	Vida útil: 50 anos	Vida útil: 100 anos
0,01	2,8%	2,8%	2,8%	1,5%	1,2%	0,9%
0,05	0,7%	2,5%	4,4%	-1,5%	0,1%	1,2%
0,10	4,3%	6,0%	9,5%	2,7%	3,8%	5,6%
0,20	3,8%	6,4%	14,9%	0,5%	1,7%	6,9%
0,30	9,1%	13,3%	27,2%	5,4%	7,3%	16,9%
0,40	9,4%	16,3%	37,6%	4,3%	8,6%	25,2%

**Foi considerada a situação atual como a série com 10 anos de dados, e para fim da vida útil de 30 anos, a série com 40 anos de dados, vida útil de 50 anos a série com 60 anos de dados, e para vida útil de 100 anos a série com 110 anos de dados.*

Nas tabelas se constata que o impacto é muito pequeno ou praticamente nulo, mesmo com tendência significativa, para projetos deste porte nas seguintes situações:

- Se vida útil da obra for de 30 anos:
 - Para $TR \leq 50$ anos e Magnitude $\leq 0,05$ mm/ano
 - Para $TR \leq 25$ anos e Magnitude $\leq 0,10$ mm/ano;
 - Para $TR \leq 10$ anos e Magnitude $\leq 0,20$ mm/ano;

- Se vida útil da obra for de 50 anos:
 - Para $TR \leq 50$ anos e Magnitude $\leq 0,01$ mm/ano;
 - Para $TR \leq 25$ anos e Magnitude $\leq 0,05$ mm/ano;
 - Para $TR \leq 10$ anos e Magnitude $\leq 0,10$ mm/ano;
- Se vida útil da obra for de 100 anos:
 - Para $TR \leq 50$ anos e Magnitude $\leq 0,01$ mm/ano;
 - Para $TR \leq 10$ anos e Magnitude $\leq 0,05$ mm/ano.

Tabela 6.19: Incremento do diâmetro comercial (m) ao longo da vida útil de obras de pequeno porte

Magnitude (mm/ano)	TR 5 anos			TR 10 anos			TR 25 anos		
	Vida útil: 30 anos	Vida útil: 50 anos	Vida útil: 100 anos	Vida útil: 30 anos	Vida útil: 50 anos	Vida útil: 100 anos	Vida útil: 30 anos	Vida útil: 50 anos	Vida útil: 100 anos
0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
0,10	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
0,20	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
0,30	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,3
0,40	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,4

Magnitude (mm/ano)	TR 50 anos			TR 100 anos		
	Vida útil: 30 anos	Vida útil: 50 anos	Vida útil: 100 anos	Vida útil: 30 anos	Vida útil: 50 anos	Vida útil: 100 anos
0,01	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
0,05	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
0,10	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,20	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
0,30	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
0,40	0,1	0,2	0,3	0,1	0,1	0,3

**Foi considerada a situação atual como a série com 10 anos de dados, e para fim da vida útil de 30 anos, a série com 40 anos de dados, vida útil de 50 anos a série com 60 anos de dados, e para vida útil de 100 anos a série com 110 anos de dados.*

***Para esta tabela considerou-se que existem diâmetros comerciais a cada 100mm, arredondando o diâmetro médio atual e o futuro para o próximo diâmetro comercial acima.*

Observa-se que para períodos de retorno maiores, a distribuição de probabilidades acaba por superestimar a precipitação máxima de projeto devido às séries observadas curtas. Dessa forma, ao calcular a mesma precipitação com base em uma série observada maior, seu valor tende a diminuir devido à maior chance de abranger eventos críticos no período observado, e estes, portanto, terão maior frequência. Ainda, mesmo que o acréscimo de vazão tenha diminuído para TR maiores (100 anos por exemplo), como se tratam de grandes volumes, um pequeno acréscimo já acarreta na mudança do diâmetro das tubulações.

Para os casos não citados acima, o incremento da vazão em situações futuras passa a ser considerável, e as tubulações passarão a ficar subdimensionadas ao longo dos anos. Deve-se portanto estudar uma forma de considerar estas tendências no projeto de forma a evitar seu subdimensionamento. Este resultado ilustra o quão essencial é realizar a análise da tendência climática no momento de projetar as estruturas e aprimorar/desenvolver técnicas que considerem estas situações.

No entanto, ao analisar os testes para detecção de tendências, temos que em média, o tamanho necessário da série de dados é de 32 anos para começar a detectar uma magnitude de 0,3mm/ano, 41 anos para detectar 0,2mm/ano e 64 anos para detectar 0,1mm/ano (Tabela 6.5). Se analisarmos a Figura 6.16 e Tabela 6.6 à Tabela 6.11, e considerando o teste de Mann-Kendall, a tendência de 0,3mm/ano só será detectada em 100% das séries a partir de uma série com 70 anos de dados. Já as tendências de 0,2mm/ano e 0,1mm/ano são detectadas 100% em séries com tamanho a partir de 100 e 150 anos de dados, respectivamente.

Este panorama mostra a criticidade do cenário brasileiro e a incerteza associada nos dimensionamentos hidráulicos, onde por mais que se considerem as tendências climáticas, a escassez de dados observados e o tamanho das séries não permite confiança para situações futuras.

Em relação ao cálculo da magnitude (Figura 6.17 e Tabela 6.12 à Tabela 6.17), a determinação pelo coeficiente angular da regressão linear se mostrou com menor variância e amplitude de resultados, convergindo a resultados mais próximos das magnitudes impostas nas séries. O motivo deste resultado está na forma de cálculo das equações, onde a regressão linear busca minimizar o erro entre os valores da reta com os valores observados, enquanto que a equação de Hirsch corresponde à mediana das magnitudes entre cada ano. Ainda, as magnitudes impressas nas séries criadas foram justamente de forma a manter-se a variância e aumentar a média linearmente.

6.3 ETAPA 3 – TESTE DAS METODOLOGIAS

As séries que apresentaram tendência significativa positiva (crescente) com nível de significância $\alpha = 0,10$, em pelo menos um dos três testes, foram selecionadas para aplicação das metodologias testadas. A Tabela 6.20 apresenta o número de séries aptas à aplicação das metodologias, com magnitude calculada pela equação 3.4 e pelo coeficiente angular da regressão linear.

Tabela 6.20: Número de séries aptas à aplicação das metodologias e média das magnitudes

Magnitude original mm/ano	Tamanho da serie (anos)															
	10			15			20			30			50			
	N	R	H	N	R	H	N	R	H	N	R	H	N	R	H	
Equação 3.4 - Hirsch	0,01	79		3,23 <i>dp=2,49</i>	69		1,67 <i>dp=1,45</i>	68		1,37 <i>dp=1,13</i>	71		1,31 <i>dp=0,98</i>	69		1,08 <i>dp=0,66</i>
	0,05	82		2,58 <i>dp=1,97</i>	73		1,90 <i>dp=1,46</i>	83		1,59 <i>dp=1,50</i>	76		1,17 <i>dp=0,92</i>	109		0,93 <i>dp=0,70</i>
	0,10	86		2,73 <i>dp=2,24</i>	79		1,85 <i>dp=1,64</i>	81		1,89 <i>dp=1,43</i>	105		1,29 <i>dp=0,95</i>	200		1,06 <i>dp=0,79</i>
	0,20	90		2,90 <i>dp=2,48</i>	105		2,08 <i>dp=1,66</i>	114		1,68 <i>dp=1,22</i>	201		1,50 <i>dp=1,12</i>	427		1,12 <i>dp=0,79</i>
	0,30	99		3,05 <i>dp=2,24</i>	121		2,31 <i>dp=1,79</i>	176		2,11 <i>dp=1,45</i>	292		1,56 <i>dp=1,20</i>	569		1,18 <i>dp=0,86</i>
	0,40	113		2,83 <i>dp=1,96</i>	141		2,00 <i>dp=1,52</i>	221		1,92 <i>dp=1,51</i>	410		1,46 <i>dp=1,14</i>	602		1,21 <i>dp=0,87</i>
Coef. angular da reg. linear	0,01	82	2,31 <i>dp=1,05</i>	65	1,27 <i>dp=0,52</i>	73	0,85 <i>dp=0,41</i>	72	0,46 <i>dp=0,19</i>	81	0,22 <i>dp=0,09</i>					
	0,05	85	2,28 <i>dp=1,19</i>	74	1,23 <i>dp=0,56</i>	102	0,81 <i>dp=0,35</i>	104	0,45 <i>dp=0,25</i>	180	0,21 <i>dp=0,09</i>					
	0,10	100	2,23 <i>dp=1,09</i>	103	1,21 <i>dp=0,56</i>	108	0,80 <i>dp=0,32</i>	179	0,47 <i>dp=0,20</i>	358	0,22 <i>dp=0,08</i>					
	0,20	103	2,10 <i>dp=0,98</i>	128	1,23 <i>dp=0,52</i>	156	0,80 <i>dp=0,33</i>	289	0,45 <i>dp=0,18</i>	732	0,24 <i>dp=0,09</i>					
	0,30	121	2,26 <i>dp=1,10</i>	163	1,27 <i>dp=0,54</i>	288	0,83 <i>dp=0,32</i>	492	0,50 <i>dp=0,20</i>	952	0,31 <i>dp=0,11</i>					
	0,40	136	2,10 <i>dp=1,10</i>	210	1,23 <i>dp=0,55</i>	352	0,82 <i>dp=0,32</i>	688	0,51 <i>dp=0,20</i>	990	0,41 <i>dp=0,12</i>					

N = Número de séries aptas à aplicação das metodologias

R = Média das magnitudes detectadas e calculadas pelo coeficiente angular da regressão linear nas séries aptas à aplicação da metodologia (mm/ano)

H = Média das magnitudes detectadas e calculadas pela equação 3.4 nas séries aptas à aplicação da metodologia (mm/ano)

dp = Desvio padrão das magnitudes detectadas nas séries aptas à aplicação da metodologia (mm/ano)

6.3.1 Metodologia 1

O resultado da aplicação da metodologia 1 para diferentes períodos de retorno está ilustrado nos gráficos da Figura 6.18 e apresentado na Tabela F 1 a Tabela F 5 do Apêndice F. O desempenho da metodologia foi avaliado pela média e desvio padrão dos valores calculados do módulo do erro em cada série apta à aplicação da metodologia. A metodologia foi aplicada duas vezes, primeiramente calculando a magnitude pela equação de Hirsch (equação 3.4), e após reaplicada considerando como magnitude detectada da série o coeficiente angular da regressão linear.

As demais avaliações do desempenho da metodologia, como média da porcentagem do erro e erro padrão, constam no Apêndice F, na Tabela F 6 à Tabela F 10.

Analisando o desempenho da metodologia 1 quando calculada a magnitude da tendência pela equação de Hirsch, pode-se dizer que a mesma não deve ser aplicada para atualização das curvas IDF/PDF visando considerar a tendência climática, pois os erros das estimativas foram extremamente altos, para todos os cenários analisados. A menor média do módulo do erro foi de 27mm, variando até 324mm, valores bastante altos em se tratando de um volume de chuva precipitado em apenas uma hora; e analisando a média da porcentagem de erro, esta varia de 33% a 739% (apêndice F).

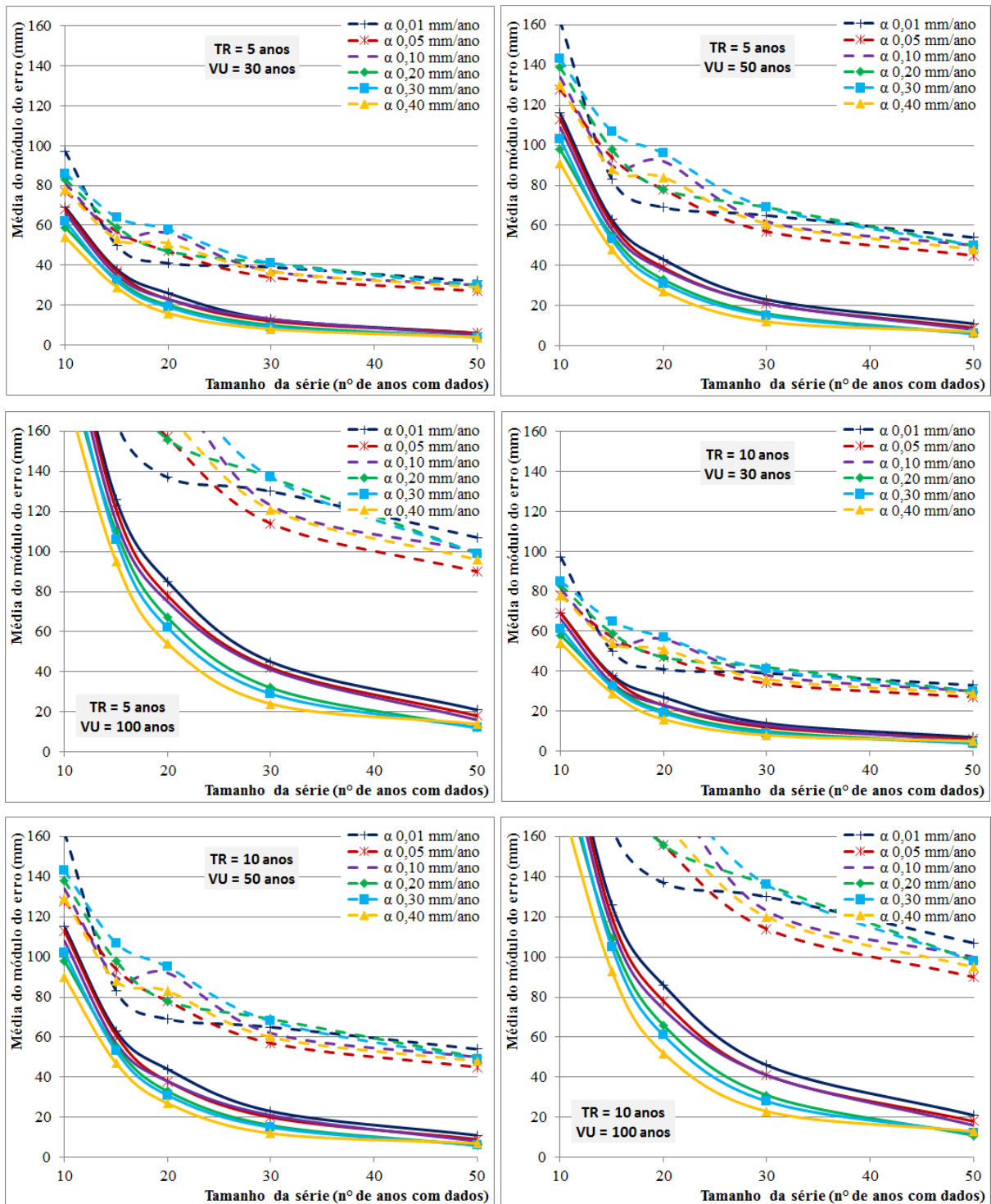
Nota-se que o desempenho da metodologia deve convergir a uma melhora, quanto maior for o tamanho da série. No entanto, não é possível afirmar a partir de qual tamanho de série a aplicação da metodologia passa a ser aceitável, pois não foram testadas séries com tamanhos maiores que 50 anos de dados.

Ao calcular a magnitude pelo coeficiente angular da regressão linear, o erro da estimativa diminuiu consideravelmente. Este resultado já era esperado, pois na análise realizada no item 6.2.2, a magnitude calculada pela equação de Hirsch se mostrou mais distante dos valores reais existentes na série, além de desvio padrão maior e consequentemente intervalo de confiança com maior amplitude.

Mesmo com esta melhora no desempenho da metodologia ao determinar a magnitude pelo coeficiente angular da regressão linear, os erros da estimativa ainda continuaram altos. A menor média do módulo do erro foi de 4mm, variando até 235mm, valores ainda altos para chuvas com uma hora de duração; e analisando a média da porcentagem de erro, esta varia de 6% a 525% (apêndice F).

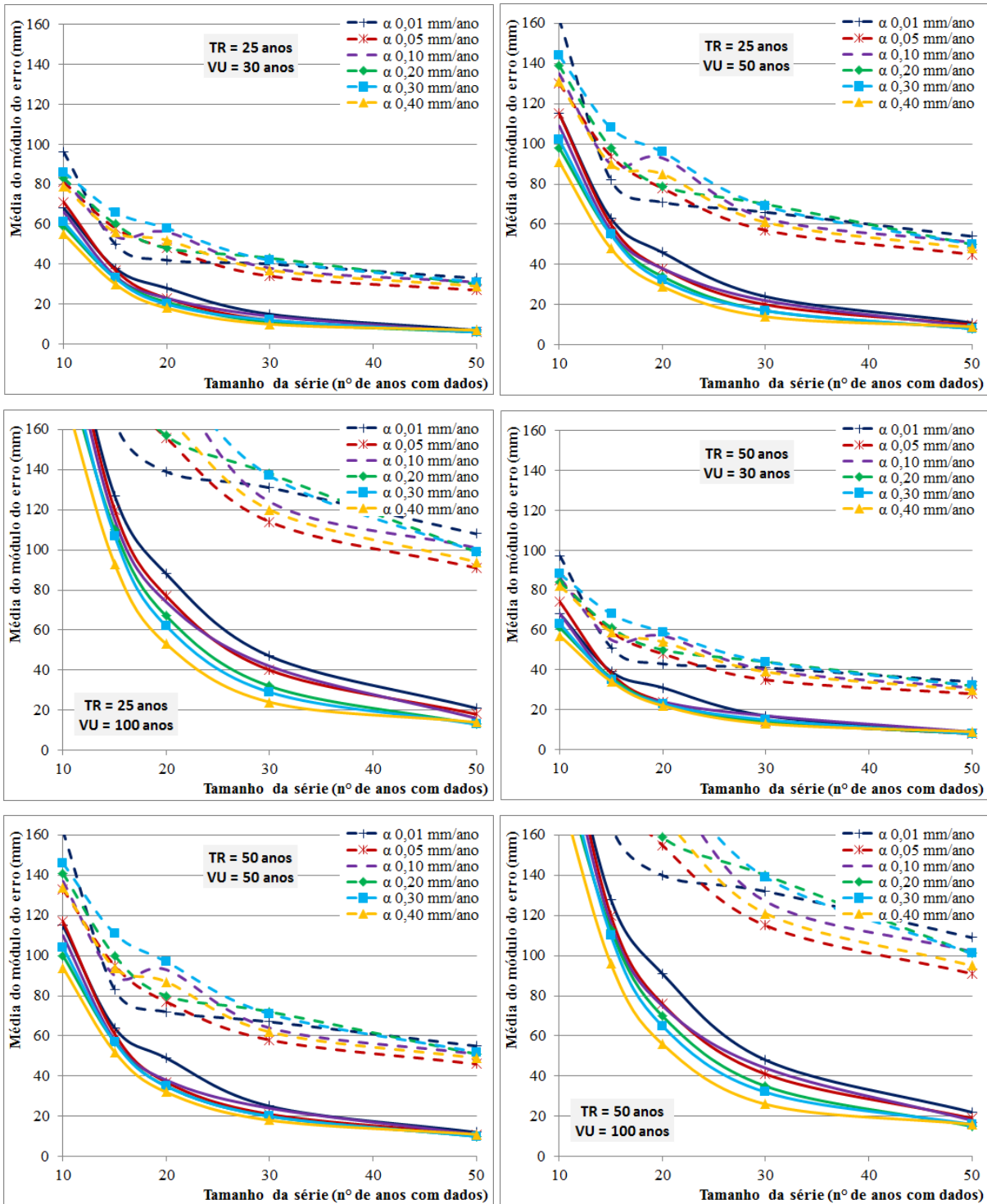
Figura 6.18: Módulo do erro da metodologia 1 aplicada para diferentes períodos de retorno (TR) e vida útil da obra (VU)

(continua)



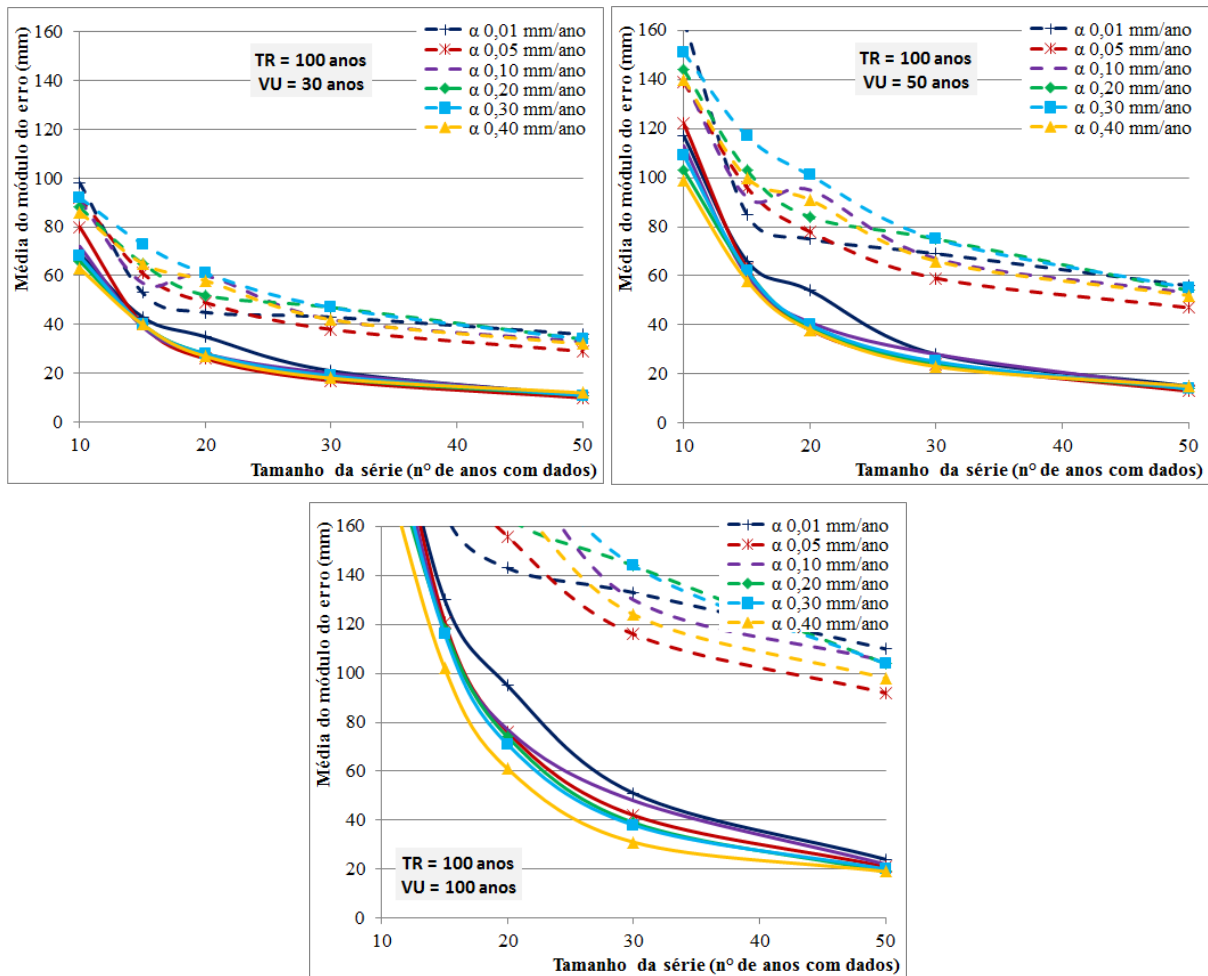
*As linhas tracejadas representam o resultado da metodologia quando calculada a magnitude da tendência pela equação 3.4; enquanto as linhas cheias representam a magnitude calculada pelo coeficiente angular da regressão linear

(continuação)



*As linhas tracejadas representam o resultado da metodologia quando calculada a magnitude da tendência pela equação 3.4; enquanto as linhas cheias representam a magnitude calculada pelo coeficiente angular da regressão linear

(conclusão)



*As linhas tracejadas representam o resultado da metodologia quando calculada a magnitude da tendência pela equação 3.4; enquanto as linhas cheias representam a magnitude calculada pelo coeficiente angular da regressão linear

Se considerarmos um erro aceitável até em torno de 15%, é possível dizer que a metodologia é aplicável quando se tem uma série observada com tamanho a partir de 50 anos de dados, vida útil da obra até 50 anos, e TR de 5 a 100 anos, quando calculada a magnitude pela regressão linear.

Nota-se também que a magnitude ser amena ou mais intensa não gerou interferência significativa no desempenho da metodologia, uma vez que as magnitudes detectadas nos tamanhos de séries analisados (10 a 50 anos) não são representativas da real magnitude existente na série. Este também é o principal motivo da metodologia não apresentar desempenho satisfatório. Ao aumentar o tamanho da série observada, espera-se melhorar o desempenho da metodologia, uma vez que quanto maior a série, melhor a representatividade da real magnitude existente.

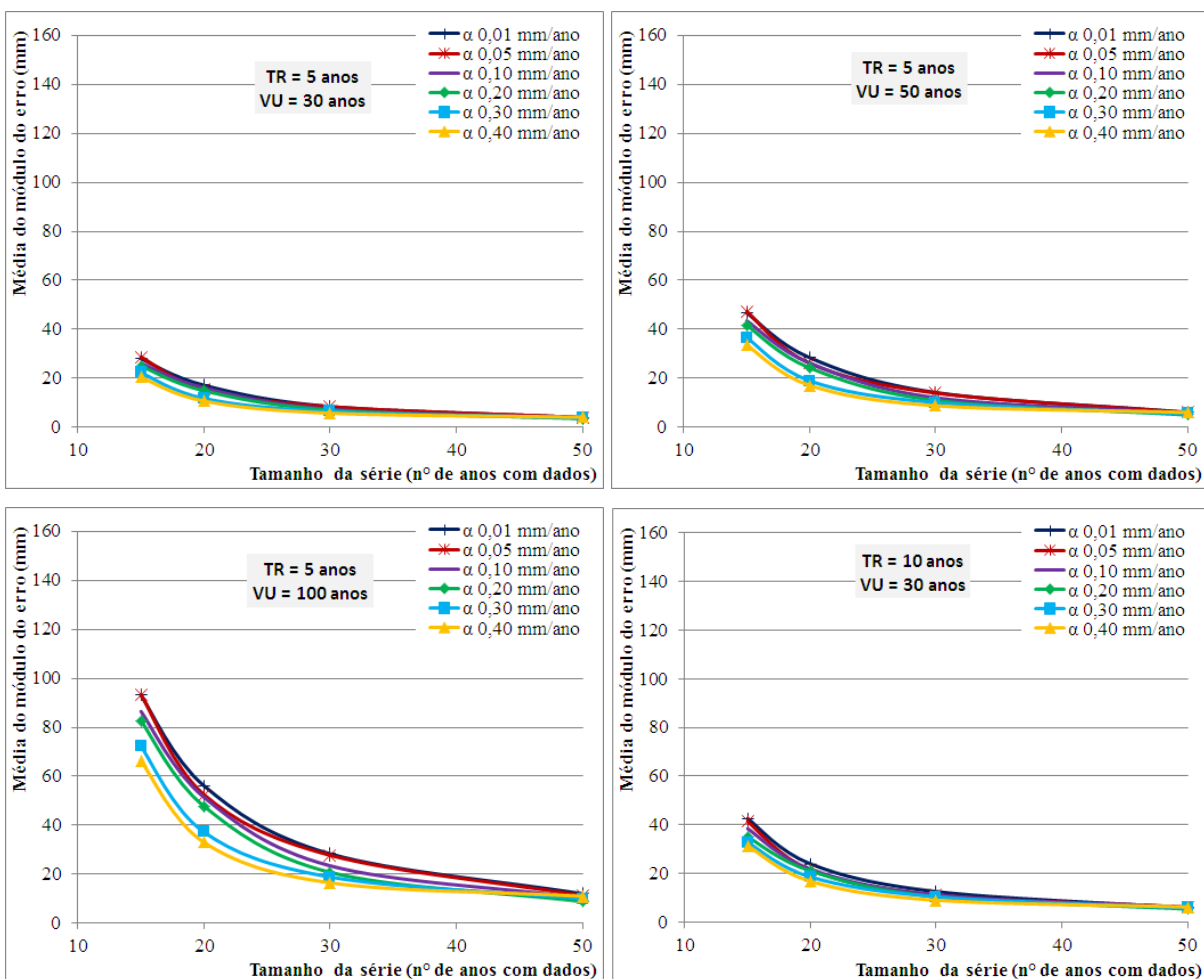
6.3.2 Metodologia 2

O resultado da aplicação da metodologia 2 para diferentes períodos de retorno está ilustrado nos gráficos da Figura 6.19 e apresentado na Tabela G 1 à Tabela G 5 do Apêndice G. O desempenho da metodologia foi avaliado pela média e desvio padrão dos valores calculados do módulo do erro em cada série apta à aplicação da metodologia. Visto os resultados da aplicação da metodologia 1, a metodologia 2 foi aplicada somente considerando como magnitude detectada o coeficiente angular da regressão linear.

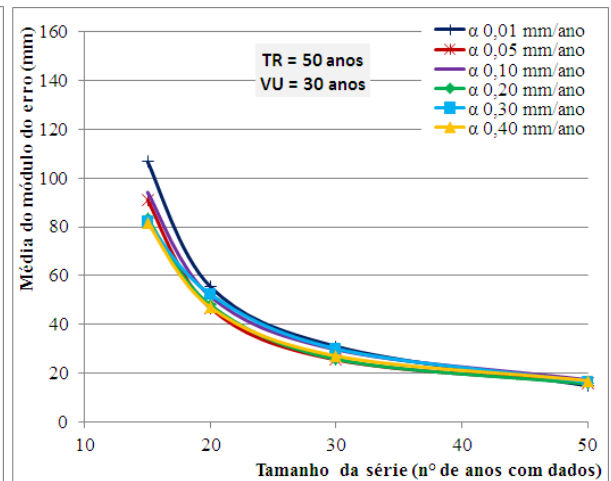
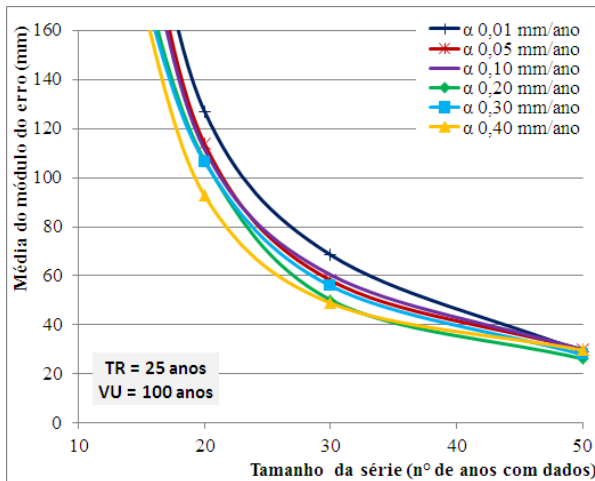
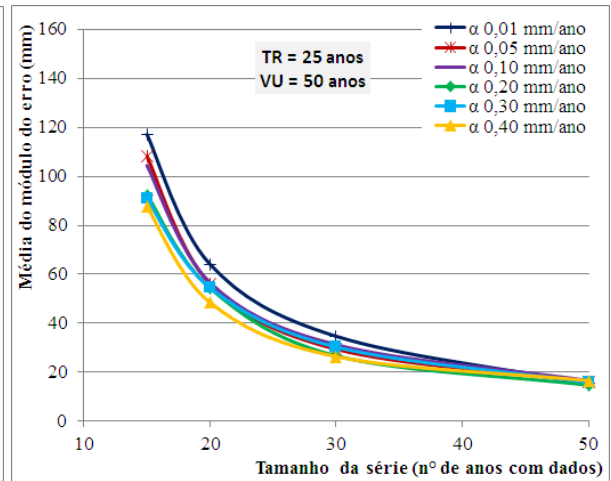
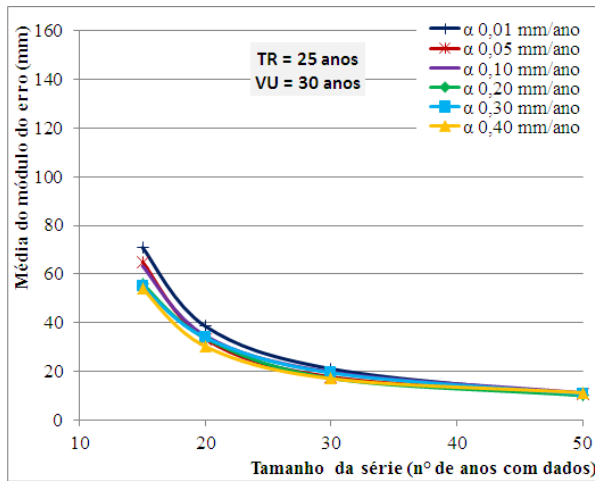
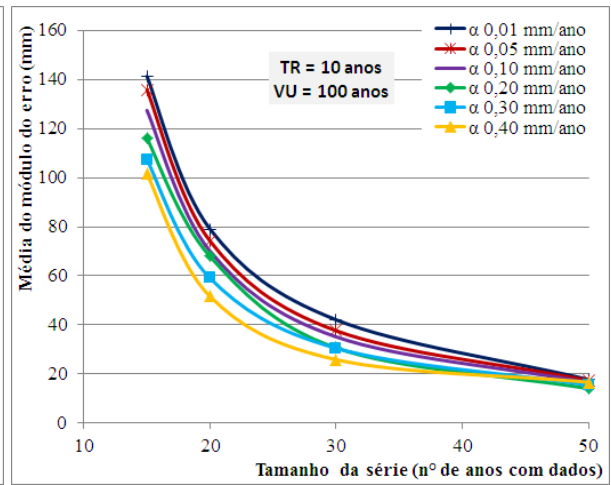
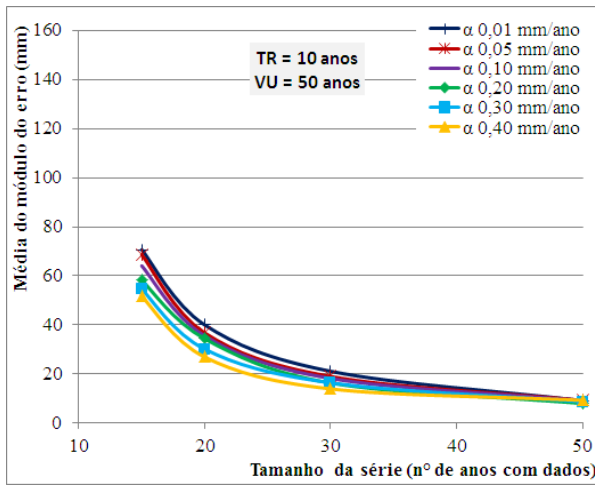
As demais avaliações do desempenho da metodologia, como média da porcentagem do erro e erro padrão, constam no Apêndice G, na Tabela G 6 à Tabela G 10.

Figura 6.19: Módulo do erro da metodologia 2 aplicada para diferentes períodos de retorno (TR) e vida útil da obra (VU)

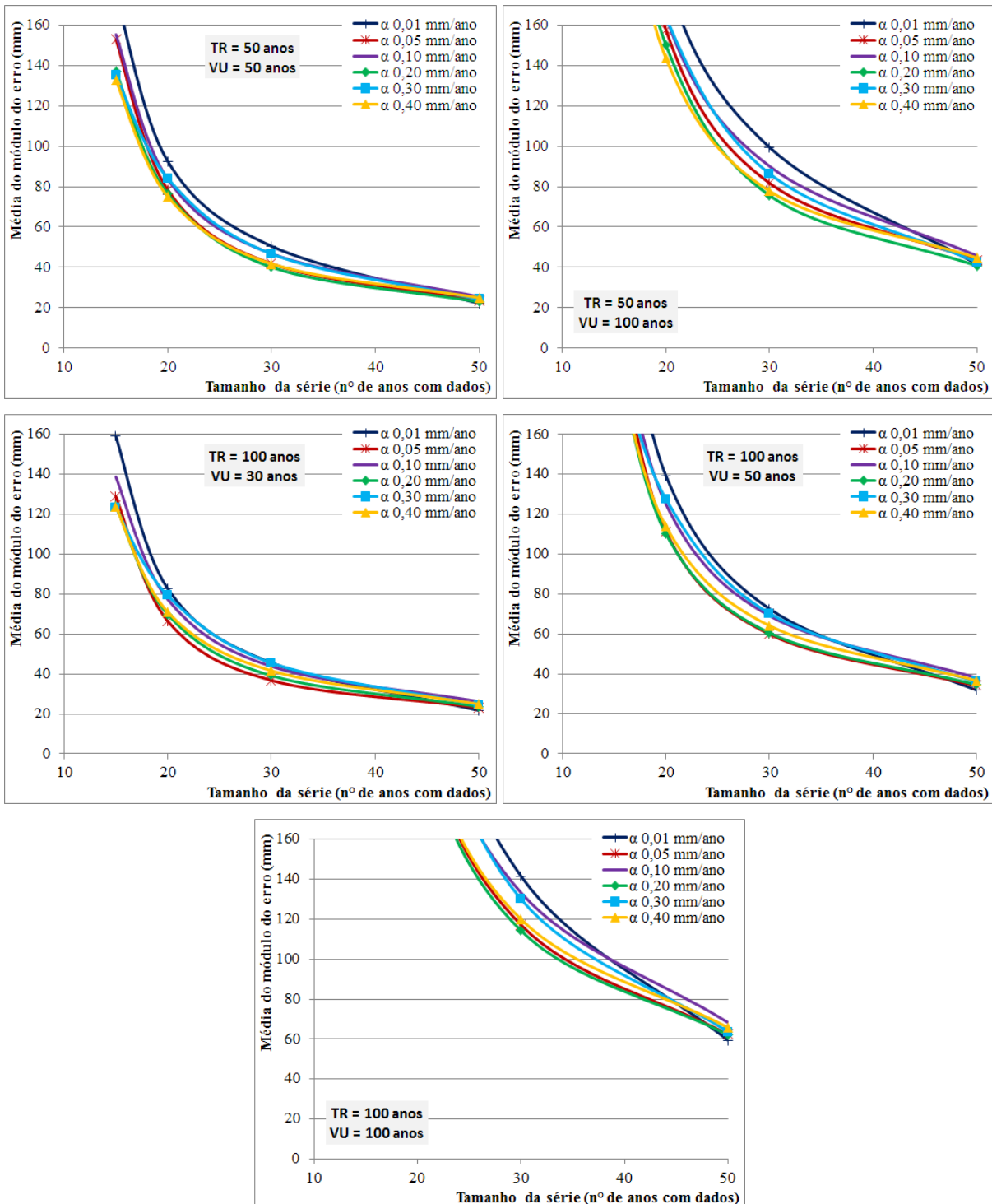
(continua)



(continuação)



(conclusão)



Analisando o desempenho da metodologia 2, os erros da estimativa ainda continuaram bastante altos. A menor média do módulo do erro foi de 3mm, variando até 517mm, valores extremamente elevados em se tratando de um volume de chuva precipitado em apenas uma hora; e analisando a média da porcentagem de erro, esta varia de 6% a 598% (apêndice G).

Para períodos de retorno baixos, como 5 anos, o desempenho da metodologia 2 apresentou pequena melhora em relação à metodologia 1, enquanto para períodos de retorno maiores, obteve pior desempenho da estimativa. Se considerarmos um erro aceitável até em torno de 15%, é possível dizer que a metodologia 2 é aplicável nas seguintes situações:

- Série observada com tamanho a partir de 30 anos, vida útil da obra até 30 anos e período de retorno até 5 anos;
- Série observada com tamanho a partir de 50 anos, vida útil da obra até 30 anos e período de retorno até 25 anos; e
- Série observada com tamanho a partir de 50 anos, vida útil da obra até 50 anos e período de retorno até 10 anos.

A magnitude ser amena ou mais intensa também não gerou interferência significativa no desempenho da metodologia, pelo mesmo motivo já discutido, pouca representatividade da real magnitude devido ao pequeno tamanho das séries.

Ao aumentar o tamanho da série observada, espera-se melhorar o desempenho da metodologia, uma vez que quanto maior a série, melhor a representatividade da real magnitude existente.

Em relação ao teste para verificar se a precipitação tida como verdadeira na situação futura está contida dentro do intervalo de aceitação, a Tabela 6.21 apresenta a porcentagem das séries com assimetria fraca a moderada. Nota-se que em todos cenários analisados mais da metade das séries possuem assimetria de fraca a moderada, e portanto assumiu-se o intervalo de aceitação calculado conforme descrito na metodologia (item 5.3.2), seguindo distribuição normal, para todas as séries. A Tabela 6.22 à Tabela 6.24 apresentam a porcentagem das séries onde precipitação futura verdadeira está contida dentro do intervalo de aceitação, para vida útil da obra igual a 30, 50 e 100 anos, respectivamente.

Analisando os resultados, pode-se dizer que a precipitação futura verdadeira está contida no intervalo de aceitação em cerca de 50% das séries ou mais, nas seguintes situações:

- Série observada com tamanho a partir de 30 anos, vida útil da obra até 30 anos e período de retorno até 10 anos; e
- Série observada com tamanho a partir de 50 anos, vida útil da obra até 50 anos e período de retorno até 100 anos;

Tabela 6.21: Porcentagem das séries com assimetria fraca a moderada

Magnitude original (mm/ano)	Tamanho da série (anos)																			
	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50
	TR = 5 anos				TR = 10 anos				TR = 25 anos				TR = 50 anos				TR = 100 anos			
0,01	78%	78%	90%	89%	69%	71%	82%	80%	74%	63%	69%	75%	72%	63%	64%	73%	71%	58%	71%	69%
0,05	76%	81%	85%	81%	76%	74%	80%	74%	78%	65%	72%	68%	74%	64%	72%	69%	76%	64%	71%	67%
0,10	69%	83%	84%	85%	66%	68%	71%	77%	63%	63%	65%	69%	69%	68%	61%	68%	71%	71%	60%	68%
0,20	77%	86%	88%	81%	70%	72%	74%	73%	70%	75%	70%	69%	75%	76%	71%	70%	79%	75%	72%	69%
0,30	72%	84%	87%	86%	67%	74%	76%	73%	69%	74%	73%	68%	72%	74%	75%	70%	72%	74%	76%	72%
0,40	75%	82%	85%	91%	68%	74%	73%	78%	62%	69%	72%	71%	69%	71%	74%	71%	72%	72%	75%	70%

Tabela 6.22: Porcentagem das séries onde precipitação futura verdadeira está contida dentro do intervalo de aceitação, para vida útil da obra igual 30 anos

Magnitude original (mm/ano)	Tamanho da série (anos)																			
	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50
	TR = 5 anos				TR = 10 anos				TR = 25 anos				TR = 50 anos				TR = 100 anos			
0,01	3%	7%	33%	88%	0%	12%	38%	84%	2%	15%	42%	83%	3%	22%	42%	83%	5%	18%	32%	81%
0,05	3%	11%	42%	83%	7%	12%	45%	81%	4%	10%	37%	79%	4%	14%	39%	76%	1%	18%	41%	76%
0,10	6%	9%	51%	82%	3%	15%	43%	80%	9%	18%	36%	77%	6%	17%	34%	76%	3%	17%	34%	75%
0,20	2%	10%	56%	69%	7%	13%	45%	71%	3%	12%	40%	73%	6%	10%	37%	74%	4%	8%	35%	77%
0,30	4%	24%	64%	63%	10%	21%	54%	64%	6%	16%	38%	69%	6%	16%	34%	73%	5%	15%	31%	74%
0,40	5%	26%	63%	56%	6%	22%	56%	55%	6%	14%	43%	59%	5%	11%	38%	64%	6%	12%	33%	68%

Tabela 6.23: Porcentagem das séries onde precipitação futura verdadeira está contida dentro do intervalo de aceitação, para vida útil da obra igual 50 anos

Magnitude original (mm/ano)	Tamanho da série (anos)																			
	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50
	TR = 5 anos				TR = 10 anos				TR = 25 anos				TR = 50 anos				TR = 100 anos			
0,01	0%	1%	8%	59%	2%	1%	17%	58%	5%	4%	15%	56%	2%	7%	17%	56%	3%	4%	18%	57%
0,05	1%	4%	13%	61%	3%	2%	13%	52%	1%	8%	13%	46%	3%	11%	12%	48%	0%	6%	13%	48%
0,10	4%	1%	17%	67%	1%	7%	17%	54%	7%	6%	16%	46%	2%	6%	18%	41%	2%	6%	19%	39%
0,20	1%	6%	28%	65%	3%	5%	21%	62%	2%	6%	23%	53%	2%	6%	16%	47%	2%	8%	13%	44%
0,30	2%	9%	36%	58%	2%	11%	28%	57%	1%	6%	20%	50%	2%	8%	16%	46%	1%	9%	15%	45%
0,40	4%	17%	42%	53%	3%	13%	34%	52%	4%	8%	23%	48%	4%	7%	19%	46%	4%	10%	17%	46%

Tabela 6.24: Porcentagem das séries onde precipitação futura verdadeira está contida dentro do intervalo de aceitação, para vida útil da obra igual 100 anos

Magnitude original (mm/ano)	Tamanho da série (anos)																			
	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50
	TR = 5 anos				TR = 10 anos				TR = 25 anos				TR = 50 anos				TR = 100 anos			
0,01	0%	1%	4%	20%	0%	0%	6%	19%	2%	3%	6%	16%	0%	4%	7%	17%	0%	1%	11%	19%
0,05	0%	2%	4%	23%	1%	1%	8%	19%	1%	5%	4%	17%	0%	5%	5%	17%	1%	4%	3%	15%
0,10	0%	1%	4%	27%	1%	2%	8%	22%	2%	3%	6%	18%	0%	4%	7%	16%	2%	3%	9%	18%
0,20	1%	4%	12%	41%	2%	2%	11%	31%	1%	1%	12%	23%	2%	2%	11%	21%	1%	3%	9%	19%
0,30	1%	4%	16%	41%	3%	3%	12%	35%	0%	4%	11%	27%	2%	3%	9%	23%	2%	3%	10%	21%
0,40	1%	5%	19%	43%	2%	5%	17%	37%	1%	4%	12%	26%	1%	4%	10%	23%	1%	3%	7%	21%

6.3.3 Discussão sobre o desempenho das metodologias

A comparação dos resultados, da aplicação da metodologia 1 (com magnitude calculada pelo coeficiente angular) com os resultados da aplicação da metodologia 2, consta na Tabela 6.25, onde os campos sombreados são os que apresentaram melhor desempenho. Nota-se que a metodologia 2 apresentou melhor desempenho para TR = 5 anos, enquanto para TR = 10 anos, a metodologia 1 se destacou na maior parte dos cenários, e partir de TR 25 anos ou maior, a metodologia 1 apresentou melhor desempenho (TR maiores que 25 não foram apresentados na tabela – consultar item 6.3.1 e 6.3.2).

No entanto, o cálculo do intervalo de aceitação calculado pela metodologia 2, traz ao projetista uma estimativa da amplitude da variação da precipitação máxima calculada e atualizada para situação futura. Esta análise, embora com baixo desempenho para obras com vida útil de 100 anos, traz resultados aceitáveis para obras com vida útil de 50 anos ou menores, desde que a série de dados observados seja de tamanho suficiente.

Percebe-se assim, que, mesmo com melhor desempenho geral da metodologia 1, e mesmo que se escolha aplicar a mesma, é possível complementá-la com a estimativa do intervalo de aceitação proposto na metodologia 2. Dessa forma, é permitido ao projetista dimensionar a estrutura hidráulica para a precipitação de cenário futuro assim como para as precipitações limites do intervalo de aceitação (superior e inferior), auxiliando quanto à tomada de decisão em relação à obra e aos riscos assumidos.

Em se tratando de séries curtas, as estimativas relacionadas aos TR maiores que o tamanho da série observada traz uma maior incerteza associada. Mesmo assim, é importante analisar as estimativas para TRs maiores, uma vez que na prática da elaboração de projetos, é frequente a carência de dados. Já em se tratando de projetos de microdrenagem, o TR frequentemente adotado é de 5 a 10 anos, e portanto, as estimativas mesmo com série pequena, permitem uma avaliação com maior confiança. Fato comprovado na análise do desempenho da aplicação das metodologias.

Em caso de detecção de tendência nas séries de precipitações máximas, um cuidado importante a ser tomado na atualização das relações IDF/PDF futuras, é a questão da vida útil das obras. Quando as relações IDF/PDF são atualizadas para o fim da vida útil da obra, a estrutura trabalhará superdimensionada ao longo de toda sua vida útil. Em compensação, se não atualizada, trabalhará todo tempo subdimensionada. Dessa forma, é necessário um estudo em relação aos demais fatores de um projeto, como custos, impactos, benefícios, métodos de

execução, buscando chegar a uma solução adequada em relação à vida útil e consequentemente ao tamanho da estrutura hidráulica.

Nesse sentido, pode-se, por exemplo, como sugestão, atualizar as relações IDF/PDF para metade da vida útil da obra, onde a estrutura trabalhará superdimensionada na metade inicial da sua vida útil, e subdimensionada na metade final. Ao final da vida útil, pode-se então utilizar técnicas compensatórias e de baixo impacto para ajudar a amenizar os efeitos de sobrecarga nas estruturas hidráulicas.

A tomada de decisão em relação à vida útil da obra também está associada ao risco que se vai assumir e as perdas em caso de falha da estrutura. Em uma estrutura onde não são toleradas falhas, a sugestão de atualização das precipitações futuras para metade da vida útil já não é adequada.

Tabela 6.25: Média do módulo do erro (mm) da estimativa da precipitação máxima anual com 1h de duração atualizada para situação futura utilizando a metodologia 1 e utilizando a metodologia 2

Magnitude original (mm/ano)	Tamanho de série (anos)																								
	15 20 30 50				15 20 30 50				15 20 30 50				15 20 30 50												
	TR = 5 anos								TR = 10 anos								TR = 25 anos								
	Metodologia 1				Metodologia 2				Metodologia 1				Metodologia 2				Metodologia 1				Metodologia 2				
Vida útil 30 anos	0,01	38	26	13	6	28	17	8	4	38	27	14	7	43	24	13	6	38	28	15	7	71	39	21	10
	0,05	37	23	12	6	29	15	8	4	37	23	12	6	41	21	11	6	37	23	12	6	65	33	18	11
	0,10	35	23	13	5	26	16	7	4	34	23	13	5	38	22	11	6	34	23	14	6	63	35	20	11
	0,20	33	20	10	4	25	15	7	3	33	20	10	4	35	21	10	5	33	21	11	6	56	34	17	10
	0,30	32	19	9	4	22	12	6	4	32	19	9	4	33	19	11	6	33	20	12	6	55	34	19	11
	0,40	29	16	8	4	20	11	6	4	29	16	8	5	31	17	9	6	30	18	10	7	54	30	17	11
Vida útil 50 anos	0,01	63	43	23	11	47	28	14	6	63	44	23	11	71	40	21	9	63	46	24	11	117	64	35	15
	0,05	61	39	21	9	47	26	14	6	61	38	20	9	69	37	19	9	60	38	20	10	108	56	29	16
	0,10	58	38	21	8	43	26	12	6	57	38	21	8	64	35	18	9	57	38	22	9	105	57	31	17
	0,20	55	33	16	6	42	24	11	5	55	33	16	6	58	34	16	8	55	34	17	8	93	54	27	15
	0,30	53	31	15	6	37	19	10	5	53	31	15	6	55	30	16	9	55	32	17	8	91	55	30	16
	0,40	48	27	12	7	34	17	9	6	47	27	12	7	52	27	14	9	48	29	14	9	88	48	26	17
Vida útil 100 anos	0,01	126	85	45	21	93	56	28	12	126	86	46	21	141	79	42	18	127	88	47	21	233	127	69	29
	0,05	121	78	42	18	93	52	28	11	120	78	41	18	136	74	38	17	120	77	40	18	215	114	58	30
	0,10	115	75	41	16	87	51	23	10	115	74	41	16	127	70	35	17	115	74	42	16	207	112	60	30
	0,20	110	67	32	12	83	48	21	9	109	66	31	11	116	68	31	14	110	67	32	13	184	107	50	26
	0,30	106	62	29	12	72	37	19	10	105	61	28	12	107	59	30	15	107	62	29	13	179	106	56	28
	0,40	95	54	24	14	66	33	16	11	93	52	23	13	102	52	26	17	93	53	24	14	172	93	49	30

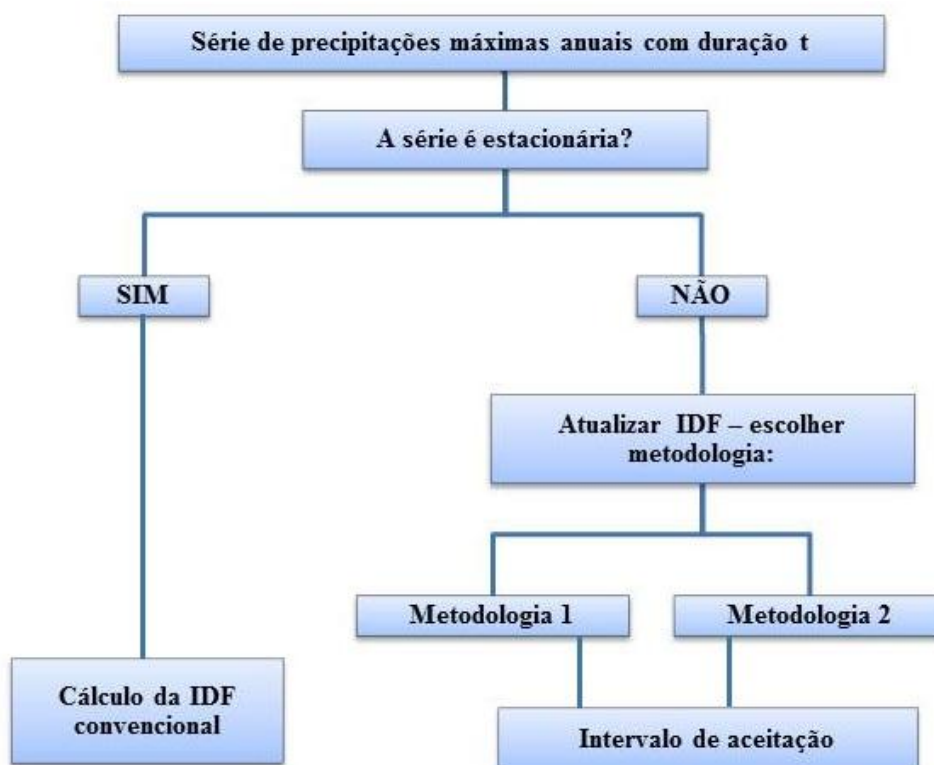
6.4 ETAPA 4 – PROPOSTA DE METODOLOGIA COM ROTEIRO PARA ATUALIZAÇÃO DAS CURVAS IDF CASO DETECTADA TENDENCIA CLIMÁTICA

Considerando o desempenho das metodologias testadas, segue um roteiro para aplicação de metodologia para atualização das relações IDF/PDF para considerar tendências climáticas nas séries de precipitações máximas anuais, com cálculo do intervalo de aceitação.

6.4.1 Roteiro

As etapas a serem seguidas estão sintetizadas na Figura 6.20.

Figura 6.20: Fluxograma com roteiro de atualização das curvas IDF para considerar tendência climática



- 1) Organizar as séries de alturas de chuvas máximas anuais por duração.
- 2) Verificar a presença de valores atípicos (outliers), independência e homogeneidade.
- 3) Avaliar a estacionariedade das séries. Sugere-se o teste de Mann-Kendall ou Spearman. Caso as séries sejam estacionárias (com a significância adotada pelo projetista), ou

não estacionárias com tendência negativa, não há necessidade de atualizar as curvas IDF/PDF para situação futura, e seu cálculo se dá de forma convencional. Caso detectada tendência significativa positiva, ajustar uma regressão linear e considerar a magnitude da tendência igual ao coeficiente angular da reta.

4) Adotar período de retorno (TR) e Vida útil (VU) da obra. O TR deverá ser escolhido função do risco de falha assumido, com diversas bibliografias consagradas indicando o TR adequado para cada tipo de obra. A VU a ser adotada será função do material/equipamentos utilizados na obra e manutenção ao longo da vida útil. No entanto, para fins de atualização da relação IDF/PDF, a VU adotada não necessita ser a mesma que ocorre na realidade, uma vez que se dimensionada para o final da VU, a estrutura trabalhará superdimensionada ao longo de toda sua utilização. Assim, cabe ao projetista adotar uma VU adequada, ponderando os custos, riscos de falha, manutenção, benefícios, e demais características da obra, sempre utilizando o bom senso. Segue-se então para a aplicação das metodologias, na próxima etapa.

5) Definir qual metodologia aplicar, podendo utilizar o Quadro 6.1 como orientação para escolha. Independente da metodologia adotada, o projetista pode também calcular o intervalo de aceitação, para auxiliar nas tomadas de decisão em relação ao dimensionamento da estrutura hidráulica, cujo Quadro 6.2 apresenta sua aplicabilidade. O item 6.4.1.1, 6.4.1.2 e 6.4.1.3 sintetizam o roteiro de aplicação de cada metodologia e do intervalo de aceitação.

6) Repetir as atividades acima (2 à 5), para cada série de diferentes durações que se quer analisar.

Para evitar que sejam realizadas repetidas atividades, é interessante definir o tempo de duração crítico de projeto para a precipitação previamente às análises das relações IDF. Assim pode-se aplicar a metodologia especificamente à série de precipitações com as durações desejadas e importantes para o projeto. Uma vez que detectada tendência nas precipitações, as relações IDF/PDF devem ser sempre atualizadas com novos dados recentes a cada projeto.

Ao adotar a metodologia 1 para a atualização das relações IDF e calcular o intervalo de aceitação, que é desenvolvido pela metodologia 2, podem ocorrer situações onde a precipitação máxima estimada para situação futura não esteja contida no intervalo de aceitação calculado. Nestes casos, o projetista deve escolher com bom senso qual valor será representativo para a relação IDF futura.

Para os casos que devem ser atualizadas as relações IDF mas as metodologias não apresentaram desempenho satisfatório, como exemplo, em séries observadas curtas, deve-se ponderar as tomadas de decisões em relações aos projetos. O projetista pode aplicar uma das

metodologias para realizar a estimativa da precipitação futura, embora sabendo que não é adequada, e tendo em vista o erro da estimativa. Contrapondo a isto, a não atualização das relações IDF pode fazer com que a estrutura trabalhe subdimensionada ao longo de toda sua vida útil.

6.4.1.1 Metodologia 1

- a) Estimar a distribuição empírica das intensidades de chuva para a série observada de duração t ;
- b) Definir as distribuições teóricas de probabilidades candidatas a modelagem das precipitações, calcular os parâmetros destas distribuições candidatas e verificar a aderência das distribuições teóricas à distribuição empírica. Adotar a distribuição teórica com melhor representatividade;
- c) Com os parâmetros da distribuição de probabilidades ajustada, calcular o parâmetro de localização para a situação futura (função da VU da obra):

$$\xi(t) = \xi_0 + b(t - t_0) \quad (6.1)$$

Sendo $\xi(t)$ = parâmetro de localização atualizado para situação futura; ξ_0 = parâmetro de localização para situação atual ajustado na atividade b); b = magnitude detectada na série, em mm/ano (atividade 3 – item 6.4.1); $(t-t_0)$ = vida útil da obra, em nº de anos.

Esta suposição é feita considerando que a magnitude seja linear e que a não estacionariedade ocorra de forma que o valor médio aumenta enquanto a variabilidade permanece inalterada. Dessa forma, considerando também que a magnitude calculada seja linear, estima-se que o parâmetro de localização da distribuição de probabilidades escolhida tenha crescimento linear, na mesma taxa da tendência.

- d) Calcular a precipitação para situação futura com a distribuição de probabilidades escolhida, utilizando o parâmetro calculado na atividade anterior c) e os demais parâmetros mantem-se os mesmos definidos na atividade b).

Maiores detalhes sobre a metodologia devem ser consultados em Mailhot e Duchesne (2010), Liuzzo e Freni (2015), assim como os itens 3.4.1 e 5.3.1 da presente tese.

6.4.1.2 Metodologia 2

a) Estimar a distribuição empírica da série observada utilizando apenas os 10 primeiros anos de dados;

b) Definir as distribuições teóricas de probabilidades candidatas, calcular os parâmetros destas distribuições e verificar a aderência das distribuições teóricas à distribuição empírica. Adotar a distribuição teórica com melhor representatividade;

c) Com a distribuição teórica de probabilidades, estimar a precipitação máxima anual associada ao período de retorno que se quer analisar;

d) Repetir os itens anteriores utilizando 11 anos de dados, após repetir com 12 anos de dados, e assim sucessivamente, até a série atingir o tamanho total de dados observados. Dessa forma, será gerada uma série de estimativas de precipitação máxima para determinado TR, com tamanho igual a $n-9$ (n = tamanho da série de dados observados).

e) A esta série gerada na atividade anterior, ajusta-se uma regressão linear e extrapola-se os valores para projeções futuras, função da vida útil da obra.

Maiores detalhes sobre a metodologia devem ser consultados no item 5.3.2 da presente tese.

6.4.1.3 Intervalo de Aceitação

a) Caso se tenha escolhido a metodologia 2 para aplicação, pode-se seguir para a próxima atividade (b). Caso se tenha escolhido a metodologia 1, então para o cálculo do intervalo de aceitação é necessário aplicar as etapas da metodologia 2 previamente às próximas atividades.

b) Estimar a distribuição empírica da série gerada na atividade d) do item 6.4.1.2 e ajustar uma distribuição teórica de probabilidade à distribuição empírica que melhor represente os dados.

c) Calcular o intervalo de aceitação utilizando a equação 5.3, onde a variável reduzida da distribuição normal deve ser substituída pela variável que representa a distribuição de probabilidades adotada, para o nível de confiança escolhido (geralmente 95%). Caso o projetista julgar aceitável/pertinente, ou caso a série observada seja fracamente assimétrica, pode-se assumir que a série de dados segue a distribuição normal para o cálculo deste intervalo de aceitação.

d) Projetar o intervalo para o futuro conforme vida útil adotada para obra, considerando o crescimento linear conforme a regressão da atividade e) do item 6.4.1.2.

6.4.2 Aplicabilidade da metodologia

O estudo apresentado no item 5.2.2 e 6.2.2 mostrou que, em alguns casos, o impacto da tendência climática nas séries de precipitações máximas foi muito pequeno ou praticamente nulo. Nestes casos, pode-se escolher não atualizar as relações IDF/PDF, uma vez que as alterações no projeto não serão significativas. No entanto, é importante salientar que este impacto foi analisado para uma situação específica de características pluviográficas e fisiográficas de uma bacia. São necessários estudos semelhantes em áreas com características diferentes para que estes resultados sejam válidos para outras situações. Na falta destes estudos, sugere-se sempre agir com prudência e atualizar as relações IDF/PDF para situações futuras de forma a considerar as tendências climáticas.

Em relação às situações em que as metodologias são aplicáveis, assim como definir qual delas escolher, pode-se utilizar o Quadro 6.1 que sintetiza os resultados da análise de desempenho das metodologias testadas. Já quanto à aplicabilidade do cálculo do intervalo de aceitação, o Quadro 6.2 apresenta marcado com “x” as situações onde há cerca de 50% ou mais de chance das precipitações futuras reais estarem incluídas no intervalo de aceitação.

Quadro 6.1: Aplicabilidade da metodologia 1 e metodologia 2, considerando erro médio de até 15%

TR (anos)	Tamanho de série (anos)											
	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50
	Vida útil = 30 anos				Vida útil = 50 anos				Vida útil = 100 anos			
5	-	-	2	1-2	-	-	-	1-2	-	-	-	-
10	-	-	-	1-2	-	-	-	1-2	-	-	-	-
25	-	-	-	1-2	-	-	-	1	-	-	-	-
50	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-
100	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-

*O número 1 indica que a metodologia 1 é aplicável para a situação, enquanto o número 2 indica que a metodologia 2 é aplicável para a situação. Onde consta 1-2, ambas as metodologias são indicadas, e o número em negrito indica a metodologia com melhor desempenho.

Quadro 6.2: Aplicabilidade do intervalo de aceitação

TR (anos)	Tamanho de série (anos)											
	15	20	30	50	15	20	30	50	15	20	30	50
	Vida útil = 30 anos				Vida útil = 50 anos				Vida útil = 100 anos			
5	-	-	x	x	-	-	-	x	-	-	-	-
10	-	-	x	x	-	-	-	x	-	-	-	-
25	-	-	-	x	-	-	-	x	-	-	-	-
50	-	-	-	x	-	-	-	x	-	-	-	-
100	-	-	-	x	-	-	-	x	-	-	-	-

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou responder alguns questionamentos como *Qual o tamanho da série necessário para detectar tendência? Qual a influência das tendências climáticas em projetos hidráulicos? Qual a necessidade de revisar os projetos quando detectado tendência nas séries de precipitação e como fazê-lo?* A resposta a estes questionamentos leva à principal questão deste trabalho: *A situação atual da rede pluviográfica de nosso país permite a detecção e análise do comportamento de precipitações máximas visando dimensionamento hidráulico adequado para contemplar situações futuras?*

A primeira análise mostrou que para detecção de magnitudes de tendência (com significância $\alpha=0,1$) iguais a 0,05mm/ano é necessário uma série com cerca de 98 anos de dados observados, enquanto magnitudes de 0,40mm/ano necessitam de uma série de cerca de 27 anos. Quanto maior a tendência real existente na série, menor será o tamanho necessário para sua detecção. Os resultados desta análise também mostraram o quão incerta é a detecção das tendências, quanto menor for o tamanho da série. Ao analisar a tendência de uma série com tamanho limitado, existe grande chance da tendência detectada não ser representativa, principalmente se indicar altíssimos valores de magnitude. Outra possibilidade é detectar tendência negativa, quando na realidade existe uma tendência positiva, de pequena ou grande magnitude, devido à pequena representatividade do tamanho da série.

Em relação aos impactos das tendências em projetos hidráulicos, foi possível observar que para algumas situações específicas com magnitudes amenas, o incremento de vazão para situação futura é bastante pequeno, podendo até ser desprezado, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Como a detecção de magnitudes amenas exigem séries longas observadas, e as séries curtas são pouco representativas da magnitude real existente, torna-se difícil dizer com segurança se as tendências devem ser desprezadas ou não. Caso a obra em questão apresente alto risco de falha com consequências graves, sugere-se sempre a consideração da tendência climática, buscando trabalhar a favor da segurança.

As metodologias analisadas para considerar a tendência climáticas nas precipitações máximas atualizam as relações IDF/PDF para uma situação futura, função da vida útil da obra. Neste sentido, a definição da vida útil é fundamental na aplicação das metodologias, e deve ser adotada com bom senso de forma a gerar uma estrutura hidráulica com custo/benefício adequado, analisando os períodos que a mesma trabalhará superdimensionada ou subdimensionada.

O desempenho das metodologias foram aceitáveis principalmente para séries com tamanho a partir de 50 anos de dados observados, desde que para períodos de retorno com até 100 anos e vida útil da obra de até 50 anos. Para os demais casos, as metodologias apresentaram erros extremamente grandes. Estes erros são causados principalmente devido à pouca representatividade das séries curtas, sendo a magnitude detectada no início da série diferente da detectada no fim da vida útil da estrutura.

Com estes resultados, percebe-se como a limitação de dados pluviográficos em nosso país nos remete a uma situação de grande incerteza em relação às tendências de precipitações máximas. A maioria das séries possuem tamanhos de 10 a 20 anos de dados observados, além da baixa distribuição espacial, indicando pouca representatividade das reais magnitudes existentes, além da ausência de metodologia adequada para consideração de tendências climáticas em chuvas extremas.

Embora os resultados da aplicação das metodologias para as demais situações que não constam no Quadro 6.1 não sejam satisfatórios, frente à escassez de dados e de metodologias adequadas, é critério do projetista aplicar ainda assim metodologias para considerar as tendências climáticas. Ao detectar a tendência na série de chuvas máximas e analisar as perdas em caso de falhas da estrutura hidráulica, é importante considerar a mesma, mesmo com grande erro de estimativa, frente à desconsiderar tal possibilidade.

Salienta-se ainda que os resultados apresentados são provenientes das análises da estação pluviográfica utilizada para criação das séries sintéticas, além de uma bacia hidrográfica com características fictícias. Ao mudar as características adotadas, o comportamento das análises realizadas pode ser diferente. É importante dar continuidade aos estudos de forma a analisar o comportamento das tendências climáticas para diferentes condições.

Nesse sentido, visto algumas limitações do presente trabalho, seguem algumas sugestões para continuidade da pesquisa:

a) No presente estudo foram analisadas séries com tendências apenas no valor médio, enquanto a variabilidade permanece inalterada; sugere-se assim analisar o comportamento das precipitações máximas frente à outros tipos de tendência.

b) As séries sintéticas foram aqui criadas a partir da estação pluviográfica de Porto Alegre/RS. Sugere-se assim realizar este estudo e analisar a aplicabilidade das metodologias para diferentes regiões do país, com características climáticas diferentes.

c) Foram analisadas as precipitações máximas anuais com duração de 1 hora, onde o teste das metodologias para diferentes durações de precipitações máximas anuais torna-se importante para validação das metodologias.

d) Sugere-se testar outras modificações nas metodologias aqui analisadas, buscando melhorar o desempenho e reduzir os erros das estimativas; ou ainda, pode-se buscar correlações das precipitações extremas à outras variáveis, como por exemplo, temperatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGILAN, V.; UMAMAHESH, N.V. Detection and attribution of non-stationarity in intensity and frequency of daily and 4-h extreme rainfall of Hyderabad, India. **Journal of Hydrology**. 530, p677-697. 2015. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.028>>
- AGILAN, V.; UMAMAHESH, N.V. Is the covariate based non-stationary rainfall IDF curve capable of encompassing future rainfall changes?. **Journal of Hydrology**. 541, p1441-1455. 2016. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.052>>
- AGILAN, V.; UMAMAHESH, N.V. Non-Stationary Rainfall Intensity-Duration-Frequency Relationship: a Comparison between Annual Maximum and Partial Duration Series. **Water Resources Management**. 31. p1825-1841. 2017. DOI 10.1007/s11269-017-1614-9.
- ALEXANDRE, G.R.; BAPTISTA, M.B.; NAGHETTINI, M. Estudo para Identificação de Tendências do Regime Pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a Partir de Métodos Estatísticos. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos** Volume 15 n.2, p115-126. Abr/Jun 2010.
- ALI, H.; MISHRA, V.; PAI, D.S. Observed and projected urban extreme rainfall events in India. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**. 119, 12,621–12,641, doi:10.1002/2014JD022264. 2014.
- ALMEIDA, A.Q.; RIBEIRO, A.; PAIVA, Y.G.; RASCON, N.J.L.; LIMA, E.P. Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 354–358, 2011.
- ALODAH, A.; SEIDOU, O. The adequacy of stochastically generated climate time series for water resources systems risk and performance assessment. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**. Springer Nature 2018. <https://doi.org/10.1007/s00477-018-1613-2>.
- ALVES, J.M.B.; COSTA, A.A.; SOMBRA, S.S.; CAMPOS, J.N.B.; SOUZA FILHO, F.A.; MARTINS, E.S.P.R.; SILVA, E.M.; SANTOS, A.C.S.; BARBOSA, H.A.; MELCIADES, W.L.B.; MONCUNNIL, D.F. Um estudo inter-comparativo de previsão sazonal estatística-dinâmica de precipitação no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 22(3), p354-372. 2007.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Evolução da Rede Hidrometeorológica Nacional**. v.1, n.1, Abr 2007.
- BACK, A.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.36, n.5, p. 717-726, 2001.
- BACK, A.J. Relações entre as precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.2, p.170-175. Campina Grande, PB. 2009.
- BAENA, L.G.N. **Modelo para geração de séries sintéticas de dados climáticos**. Tese (doutorado) – UFV/ Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Viçosa. 2004.

BAYER, D.M.; CASTRO, N.M.R.; BAYER, F.M. Modelagem e Previsão de Vazões Médias Mensais do rio Potiribu utilizando modelos de séries temporais. **RBRH Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 17 n.2 - Abr/Jun 2012, p229-239.

BAZZANO, M.G.P.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. Coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31 pp1205-1217. 2007.

BAZZANO, M.G.P.; ELTZ, F.L.F.; CASSOL, E.A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 34, núm. 1, pp. 235-244 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, Brasil. 2010.

BERLATO, M.A.; CORDEIRO, A.P.A. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. **Agrometeoros Revista da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, vol.25, n.2, p273-302. 2017.

BESKOW, S.; CALDEIRA, T.L.; MELLO, C.R.; FARIA, L.C.; GUEDES, H.A.S.; Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme Southern Brazil. **Journal of Hydrology: Regional Studies** 4. p123–133. 2015.

BRISSEON, E.; DEMUZERE, M; WILLEMS, P.;LIPZIG, N.P.M.V. Assessment of natural climate variability using a weather generator. **Climate Dynamics**. Vol 44, 1-2, p495-508. DOI 10.1007/s00382-014-2122-8. 2015.

CASAGRANDE, A; SILVA JÚNIOR, P.; MENDONÇA, F. Mudanças climáticas e aquecimento global: controvérsias, incertezas e a divulgação científica. **Revista Brasileira de Climatologia**. ISSN:2237-8642 Ano 7 – Vol. 8 – p30-44. Jan/Jun/2011.

CLARKE, R.T. Hidrologia Estatística. In: TUCCI, C.E.M. (Coord.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4a Ed. Porto Alegre, RS: Editora UFRGS/ABRH. 2009. Cap.17, p 659-702.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: ABRH. 2013.

COOK, J.; NUCCITELLI, D.; GREEN, S.A.; RICHARDSON, M.; WINKLER, B.; PAINTING, R.; WAY, R.; JACOBS, P.; SKUCE, A. Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. **Environmental Research Letters**, 8(2), 024024. 2013. doi:10.1088/1748-9326/8/2/024024

COSTA, C.E.A.; ARAÚJO JUNIOR, A.J.S.; VIEIRA, A.S.A.; MATOS, T.R.; SANDAJ, H.C.; CARVALHO, B.G.P.; SILVA, I.Q. **Estudo de tendência pluviométrica na bacia do rio Guamá no período de 30 anos**. 12º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa – SILUSBA. 2015.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Pluviométrico do Brasil – Equações Intensidade-Duração-Frequência**. Estação Pluviográfica: Cristal. 2013. 11p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Atlas Pluviométrico do Brasil – Equações Intensidade-Duração-Frequência**. Estação Pluviográfica: Porto Alegre. 2015. 14p.

DETZEL, D.H.M. **Geração de séries sintéticas de precipitação**. Dissertação (mestrado) – UFP / Programa de Pós-graduação em engenharia de recursos hídricos e ambiental. Curitiba. 2009.

ELTZ, F.L.F.; REICHERT, J.M.; CASSOL, E.A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 16:265-269, 1992.

FU, G.; YU, J.; YU, X.; OUYANG, R.; ZHANG, Y.; WANG, P.; LIU, W.; MIN, L. Temporal variation of extreme rainfall events in China, 1961–2009. **Journal of Hydrology**. 487 p.48–59. 2013.

GARBRECHT, J.D; ZHANG, J.X. Generating synthetic daily precipitation realizations for seasonal precipitation forecasts. Technical Note. **Journal of hydrologic engineering**. ASCE. Vol 19, n1. January 2014.

GREGERSEN, I.B.; MADSEN, H.; ROSBJERG, D.; ARNBJERG-NIELSEN, K. A spatial and nonstationary model for the frequency of extreme rainfall events. **Water Resources Research**. Vol49. p127-136. doi:10.1029/2012WR012570. 2013.

HERMANN, R.M. Geração de séries sintéticas de precipitações. **Revista DAE**. n103. p57-79. 1975.

IDSO, C.D.; CARTER, R.M.; SINGER, S.F. (Eds.) **Climate change reconsidered II: Physical science**. NIPCC – Nongovernmental International Panel on Climate Change. Chicago, IL: The Heartland Institute. 2013.

IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151p. 2014.

JANKÓ, F.; PAPP VANCSÓ, J.; MÓRICZ, N. Is climate change controversy good for science? IPCC and contrarian reports in the light of bibliometrics. **Scientometrics** (2017) 112: 1745. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2440-9>

JUNQUEIRA JUNIOR, J.A.; MELLO, C.R.; ALVES, G.J. Eventos extremos de precipitação no Alto Rio Grande, MG: Análise probabilística. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG. ISSN 1807-1929. v.19, n.4, p.301–308. 2015.

KAVISKI, E. **Solução de problemas de fenômenos de transporte pelo método de Monte Carlo**. 330f. Tese (Doutorado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Setor de Ciências Exatas e Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

LACERDA, F.F.; NOBRE, P.; SOBRAL, M.do C.M.; LOPES, G.M.B.; ASSAD, E.D. Tendência do clima do semiárido frente as perspectivas das mudanças climáticas globais; o caso de Araripina, Pernambuco. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, v. 31,

p. 132-141, 2016. Disponível em <http://dx.doi.org/10.11606/rdg.v31i0.114843>. Acesso em 05 jun 2018.

LANNA, A.E. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, C.E.M. (Coord.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4a Ed. Porto Alegre, RS: Editora UFRGS/ABRH. 2009. Cap.4, p 79-176.

LEROUX, M. Réchauffement global: une imposture scientifique!. **Revista Fusion**, nº 95, Março-Abril / 2003. Disponível em: http://www.resistir.info/climatologia/impostura_cientifica.html. Tradução de João Bricmont. Acesso em 10/02/2017.

LIUZZO, L.; FRENI, G. Analysis of Extreme Rainfall Trends in Sicily for the Evaluation of Depth-Duration-Frequency Curves in Climate Change Scenarios. **Journal of Hydrologic Engineering**. 20 (12): -1—1. 2015.

MAILHOT, A.; DUCHESNE, S. Design criteria of urban drainage infrastructures under climate change. **Journal of Water Resources Planning and Management**. 136(2): 201-208. 2010.

MANLY, B.F.J. **Statistics for Environmental Science and Management**. Chapman & Hall/CRC Applied Environmental Statistics. 2nd Ed. Wyoming, USA. ISBN-13:978-1-4200-6147-5. 2009.

MARENGO, J.A. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**. São Paulo, v22, n63, p.83-96, 2008. Disponível em <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200006>. Acesso em 05 jun 2018.

MARENGO, J.A.; AMBRIZZI, T.; DA ROCHA, R.P.; ALVES, L.M.; CUADRA, S.V.; VALVERDE, M.C.; TORRES, R.R.; SANTOS, D.C.; FERRAZ, S.E.T. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**. 35: p.1073-1097, 2010. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s00382-009-0721-6>. Acesso em 05 jun 2018.

MARENGO, J.A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**. March 2015, Volume 129, Issue 1–2, pp 103–115. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>. Acesso em 05 jun 2018.

MARUYAMA, S. **Aquecimento global?** São Paulo: Oficina de textos, 2009.

MCLEAN, J. **Fallacies About Global Warming**. Washington, D.C., Science and Public Policy Institute, September, 2007.

MENDES, D. **Análise estatística de uma série histórica de precipitação horária na cidade de São Paulo (1970-2009)**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.

MILONE, G. **Estatística Geral e Aplicada**. Ed. Thomson, São Paulo, 2004.

MIRANDA, L.A.; ARAUJO, R.S. Mudanças Climáticas: Análise de dois pontos de vista. **Perspectiva Online: Ciências humanas & sociais aplicadas**. Campos dos Goytacazes, 9(4),47-55. 2014.

MINX, J.C.; CALLAGHAN, M.; LAMB, W.F.; GARARD, J.; EDENHOFER, O. Learning about climate change solutions in the IPCC and beyond. **Environmental Science & Policy**. Volume 77 p252-259, 2017. ISSN 1462-9011. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.05.014>. Acesso em 05 jun 2008.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima: Sumário executivo**. 12p. ISBN: 978-85-7738-273-6. Brasília, 2016.

MOLION, L.C.B. Aquecimento global, el niños, manchas solares, vulcões e oscilação decadal do Pacífico. **Revista Climanálise**. Ano 03. Número 01. 5p. Agosto de 2005.

MOLION, L.C.B. **Desmistificando o Aquecimento Global**. Intergeo. 2007.

MOLION, L.C.B. Aquecimento Global: Uma visão crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**. 18p. ISSN: 1980-055X. Agosto de 2008.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

NASCIMENTO, C.E.S; KELMAN, J. Um modelo para geração estocástica de chuvas diárias. RBE- Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos. ABRH. vol 13, n2, dezembro 1995.

NÉMETH, L.; HUBNEROVÁ, Z.; ZEMPLÉNI, A. Regression estimator for the tail index. Disponível em arXiv:1907.09435v1. Jul 2019.

NOTARO, V.; LIUZZO, L.; FRENI, G.; LA LOGGIA, G. Uncertainty Analysis in the Evaluation of Extreme Rainfall Trends and Its Implications on Urban Drainage System Design. **Water**. 7, p6931–6945. doi:10.3390/w7126667. 2015.

OLIVEIRA, J.P.B. Séries sintéticas de precipitação para estimar a erosividade das chuvas. Tese (doutorado) – UFV / Programa de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola. Viçosa. 92p. 2014.

OLIVEIRA, V.P.S. **Modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação**. Tese (doutorado) – UFV/ Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. Viçosa. 156p. 2003.

ORIANI, F.; MEHROTRA, R.; MARIETHOZ, G.; STRAUBHAAR, J.; SHARMA, A.; RENARD, P. Simulating rainfall time-series: how to account for statistical variability at multiple scales? **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**. <https://doi.org/10.1007/s00477-017-1414-z>. Vol32, n2, p321-340. 2018.

PBMC. **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Sumário Executivo GT1. Rio de Janeiro, Brasil. 24p. ISBN:978-85-285-0208-4. 2013.

PORTO, R.L.P. Escoamento superficial direto. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.P.; BARROS, M.T. (Coord.). **Drenagem Urbana**. Reimpressão da 1ª Ed. Porto Alegre, RS: Editora ABRH. 2015. Cap.4, p 107-166.

QUADROS, L.E.; QUEIROZ, M.M.F.; VILAS BOAS, M.A. Distribuição de frequência e temporal de chuvas intensas. **Acta Scientiarum. Agronomy**. Maringá, v.33, n.3, p401-410. 2011.

RAMOS, A.M. **Influência das mudanças climáticas devido ao efeito estufa na drenagem urbana de uma grande cidade**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco. 2010.

ROSIN, C.; AMORIM, R.S.S.; MORAIS, T.S.T. Análise de tendências hidrológicas na bacia do rio das Mortes. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Versão On-line ISSN 2318-0331. RBRH vol. 20 no.4 Porto Alegre, p. 991 – 998. out./dez. 2015.

SABÓIA, M.A.M. **Estratégia robusta para a gestão de drenagem urbana em cenário de mudança do clima**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos. Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 2016.

SANCHES, F.O. **Os areais do sudoeste do Rio Grande do Sul: estudo sobre as chuvas do século XX e um possível cenário para o século XXI**. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. UFRGS. Porto Alegre. 2013.

SANTOS, T.S.dos; MENDES, D., CASTRO, A.A.de; SILVA, A.R. Incertezas das projeções de mudanças climáticas: análise preliminar. **Ciência e Natura**. UFSM, volume 37, n Especial 1, 2015. Disponível <http://dx.doi.org/10.5902/2179460X16217>. Acesso em 05 jun 2018.

SANTOS NETO, L.A. **Variabilidade da Precipitação Horária em Porto Velho-RO e suas Tendências Anuais e Sazonais**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Fundação Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho. 2014.

SEN, P.K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. **Journal of the American Statistical Association**. v63, n324. p.1379-1389. 1968.

SHARMA, D.; BABEL, M.S. Trends in extreme rainfall and temperature indices in the western Thailand. **International Journal of Climatology**. 34: 2p393–2407. 2014.

SILVA, E.M. **A cidade e o clima: impactos das precipitações concentradas e as tendências climáticas em Uberlândia-MG**. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação em Geografia. Universidade Federal de Uberlândia. 346f. 2013.

SILVA DIAS, M.A.F. et al. Cloud and rain processes in a biosphere-atmosphere interaction context in the Amazon Region. **Journal of Geophysical Research**, v.107, n.D20, p.8072, 2002.

SILVA DIAS, M.A.F.; COHEN, J.C.P.; GANDÚ, A.W. Interações entre nuvens, chuvas e a biosfera na Amazônia. **Acta Amazônica**, v.35, n.2, p.215-222, 2005.

SILVA, R.W.C.; PAULA, B.L. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terræ Didactica**. 5(1):42-49. 2009.

SYAFRINA, A.H.; ZALINA, M.D.; JUNENG, L. Historical trend of hourly extreme rainfall in Peninsular Malaysia. **Theoretical and Applied Climatology**. 120: p259–285. 2015.

TONIOLO, J.C.; CARNEIRO, C.D.R. Processos geológicos de fixação do carbono na terra e aquecimento global. **Terræ Didactica**. 6(1):31-56. 2010.

TOTARO, V.; GIOIA, A.; IACOBELLIS, V. Power of parametric and non-parametric test for trend detection in annual maximum series. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**. <https://doi.org/10.5194/hess-2019-363>, in review, 2019.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. 2ª Ed. Porto Alegre: ABRH Editora da UFRGS. Porto Alegre. 2005.

TUCCI, C.E.M. Vazão máxima e hidrograma de projeto. In: TUCCI, C.E.M. (Coord.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4a Ed. Porto Alegre, RS: Editora UFRGS/ABRH. 2009. Cap.14, p 527-572.

ULIANA, E.M.; SILVA, D.D.; ULIANA, E.M.; RODRIGUES, B.S.; CORRÊDO, L.P. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Revista Ambiente e Água**, Vol. 10 n.1 Taubaté – Jan./Mar. 2015.

WHITE, E.R. Minimum time required to detect population trends: the need for long-term monitoring programs. **PeerJ Preprints** 6: e3168v4. Disponível em <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.3168v4>. 2018.

WILLEMS P.; ARNBJERG-NIELSEN K.; OLSSON J.; NGUYEN V.T.V. Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: methods and shortcomings. **Atmospheric Research**. v.103, p.106-118. 2012.

WILKS, D.S. Interannual variability and extreme-value characteristics of several stochastic daily precipitation models. **Agricultural and Forest Meteorology**, 93, p.153-169. 1999.

WILKS, D.S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. 2nd. ed. San Diego: Academic Press, 2006.

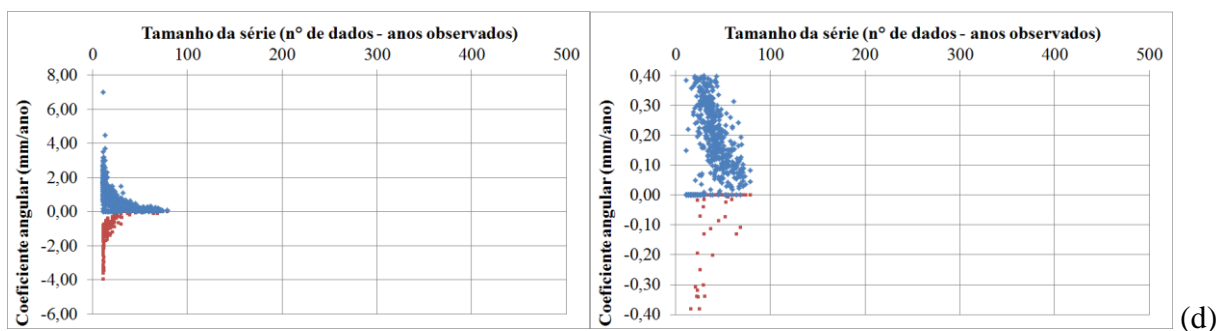
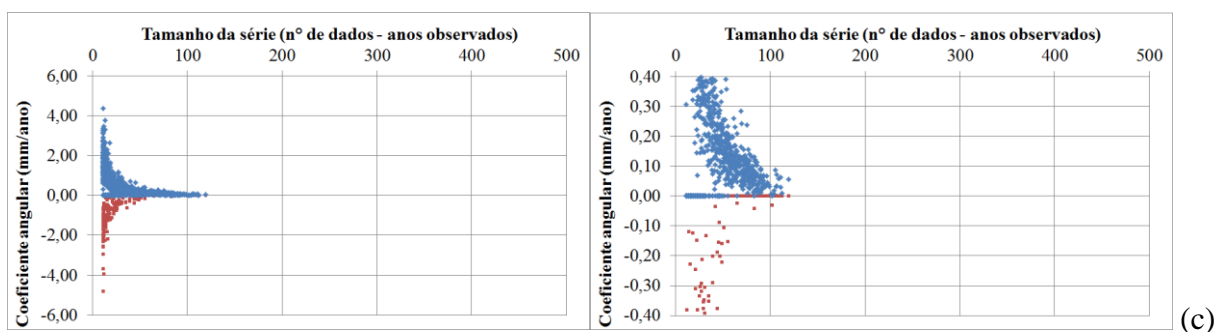
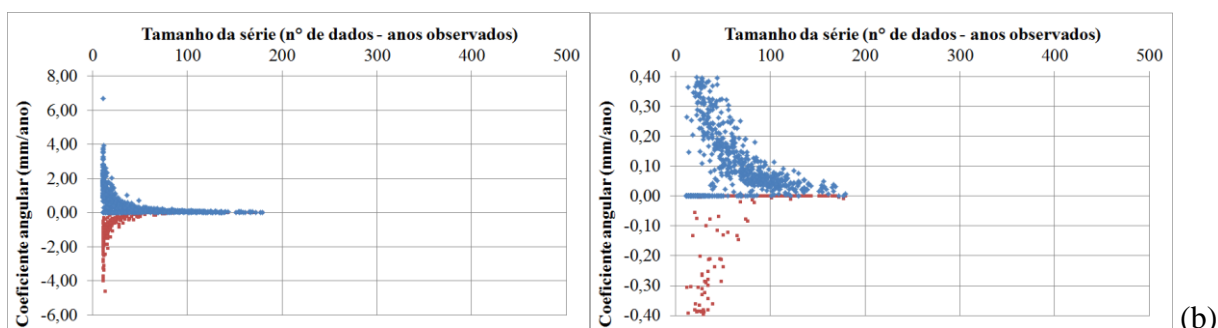
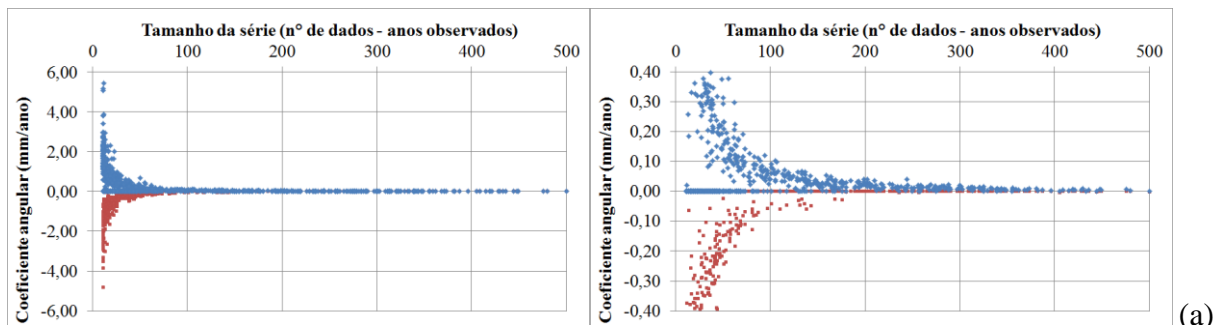
YLMAZ; A.G.; PERERA, B.J.C. Extreme Rainfall Nonstationarity Investigation and Intensity–Frequency–Duration Relationship. **Journal of Hydrologic Engineering**. 19(6): 1160-1172. 2014.

ZAHED FILHO, K.; MARCELLINI, S.S. Precipitações máximas. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.P.; BARROS, M.T. (Coord.). **Drenagem Urbana**. Reimpressão da 1a Ed. Porto Alegre, RS: Editora ABRH. 2015. Cap.2, p 37-76.

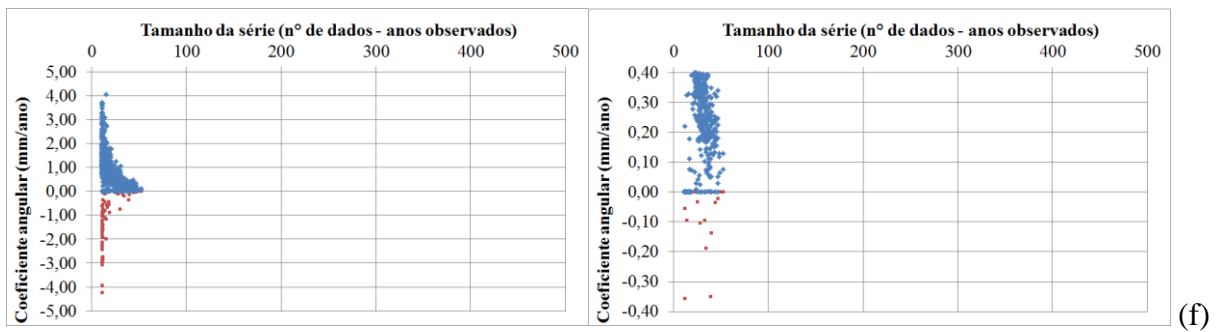
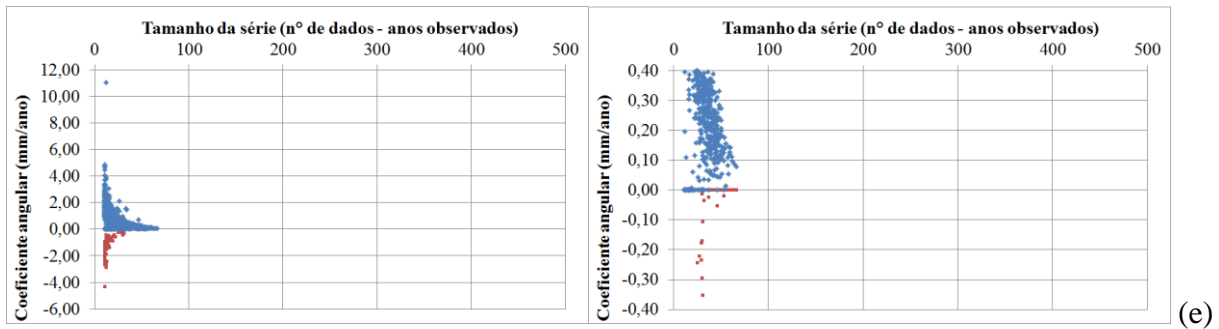
**APÊNDICE A – TAMANHO DA SÉRIE A PARTIR DO QUAL É DETECTADO
TENDÊNCIA VERSUS COEFICIENTE ANGULAR DA REGRESSÃO LINEAR**

Figura A 1: Tamanho da série a partir do qual é detectado tendência versus coeficiente angular da regressão linear

(continua)



(conclusão)



- (a) Aplicação do algoritmo para as 1.000 séries criadas com tendência de 0,01 mm/ano;
(b) Aplicação do algoritmo para as 1.000 séries criadas com tendência de 0,05 mm/ano;
(c) Aplicação do algoritmo para as 1.000 séries criadas com tendência de 0,10 mm/ano;
(d) Aplicação do algoritmo para as 1.000 séries criadas com tendência de 0,20 mm/ano;
(e) Aplicação do algoritmo para as 1.000 séries criadas com tendência de 0,30 mm/ano;
(f) Aplicação do algoritmo para as 1.000 séries criadas com tendência de 0,40 mm/ano;

**APÊNDICE B – AJUSTE DA DISTRIBUIÇÃO GEV AOS DIFERENTES
TAMANHOS DE SÉRIES**

**APÊNDICE C – PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PARA DIFERENTES TAMANHOS
DE SÉRIE E PERÍODOS DE RETORNO**

Tabela C 1: Média e demais estatísticas da precipitação máxima com duração de 1h (mm) para séries com magnitude de 0,01mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	42,6	42,8	42,9	43,0	43,1	43,1	43,2	43,2	43,2	43,3	43,3	43,3	43,4	43,4	43,5	43,5	43,6	43,6	43,6	43,7	44,0	44,6	45,1	45,7
	IntConf95-	42,3	42,6	42,7	42,8	42,9	42,9	43,0	43,0	43,1	43,1	43,1	43,2	43,2	43,2	43,4	43,4	43,5	43,5	43,5	43,6	44,0	44,5	45,1	45,6
	IntConf95+	42,9	43,1	43,2	43,2	43,3	43,3	43,4	43,4	43,4	43,4	43,4	43,4	43,5	43,5	43,6	43,6	43,7	43,7	43,7	43,8	44,1	44,6	45,2	45,7
	Desv.Pad.	5,5	4,4	3,8	3,5	3,3	3,0	2,9	2,7	2,5	2,4	2,4	2,3	2,2	2,1	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8
TR = 10 anos	Média	49,6	50,2	50,4	50,6	50,7	50,7	50,9	50,8	50,9	50,9	51,0	51,0	51,0	51,0	51,2	51,2	51,2	51,2	51,3	51,3	51,7	52,3	52,8	53,4
	IntConf95-	49,1	49,8	50,0	50,3	50,4	50,4	50,6	50,6	50,7	50,7	50,7	50,8	50,8	50,8	51,0	51,0	51,0	51,1	51,1	51,2	51,6	52,2	52,7	53,3
	IntConf95+	50,1	50,6	50,7	50,9	51,0	51,0	51,1	51,1	51,2	51,1	51,2	51,2	51,2	51,2	51,3	51,4	51,4	51,4	51,4	51,5	51,8	52,4	52,9	53,5
	Desv.Pad.	8,1	6,7	5,9	5,5	5,1	4,7	4,5	4,2	4,0	3,9	3,7	3,5	3,4	3,2	2,9	2,7	2,7	2,6	2,5	2,3	2,0	1,6	1,4	1,2
TR = 25 anos	Média	60,4	61,4	61,7	62,0	62,1	62,1	62,3	62,3	62,4	62,3	62,4	62,4	62,4	62,4	62,6	62,5	62,5	62,5	62,6	62,6	63,0	63,6	64,1	64,7
	IntConf95-	59,5	60,6	61,0	61,4	61,5	61,6	61,8	61,8	61,9	61,9	61,9	61,9	62,0	62,0	62,2	62,2	62,2	62,2	62,3	62,4	62,8	63,4	64,0	64,5
	IntConf95+	61,3	62,1	62,4	62,7	62,7	62,7	62,8	62,7	62,8	62,8	62,8	62,8	62,8	62,8	62,9	62,8	62,8	62,8	62,8	62,9	63,3	63,8	64,3	64,8
	Desv.Pad.	14,3	12,5	10,9	10,2	9,4	8,8	8,3	7,8	7,5	7,2	6,9	6,6	6,4	6,0	5,4	5,1	5,0	4,9	4,7	4,4	3,8	3,1	2,6	2,3
TR = 50 anos	Média	70,4	71,6	71,9	72,3	72,3	72,3	72,4	72,4	72,5	72,3	72,4	72,3	72,3	72,3	72,5	72,4	72,4	72,3	72,3	72,4	72,8	73,4	73,8	74,3
	IntConf95-	69,0	70,4	70,9	71,3	71,3	71,4	71,6	71,6	71,8	71,6	71,7	71,7	71,7	71,7	72,0	71,9	71,9	71,9	71,9	72,0	72,4	73,1	73,6	74,1
	IntConf95+	71,8	72,8	73,0	73,3	73,2	73,1	73,2	73,1	73,2	73,0	73,0	73,0	73,0	72,9	73,0	72,9	72,9	72,8	72,8	72,8	73,2	73,7	74,1	74,6
	Desv.Pad.	22,4	19,7	17,2	16,0	14,7	13,7	12,8	12,1	11,7	11,2	10,7	10,3	10,0	9,3	8,4	7,9	7,8	7,6	7,3	6,9	5,9	4,8	4,1	3,6
TR = 100 anos	Média	82,9	84,0	84,2	84,5	84,2	84,1	84,1	84,1	84,2	83,9	83,9	83,8	83,8	83,7	83,9	83,6	83,6	83,5	83,5	83,5	83,9	84,4	84,8	85,2
	IntConf95-	80,7	82,1	82,6	82,9	82,8	82,8	82,9	82,9	83,1	82,9	82,9	82,8	82,9	82,8	83,1	82,9	82,9	82,8	82,8	82,9	83,3	84,0	84,4	84,8
	IntConf95+	85,1	85,9	85,9	86,0	85,6	85,4	85,3	85,2	85,3	85,0	84,9	84,7	84,7	84,5	84,6	84,4	84,3	84,2	84,2	84,2	84,4	84,8	85,2	85,5
	Desv.Pad.	35,2	30,7	26,6	24,6	22,4	20,9	19,3	18,2	17,8	17,0	16,1	15,6	15,0	14,0	12,6	11,9	11,7	11,5	11,1	10,4	8,9	7,2	6,1	5,4
TR = 1.000 anos	Média	159,2	153,3	149,7	147,6	144,5	142,9	141,2	140,5	140,6	139,1	138,3	137,5	137,2	136,3	136,1	135,0	134,8	134,3	134,0	133,7	133,3	133,2	132,6	132,2
	IntConf95-	149,4	145,6	143,3	141,9	139,6	138,4	137,1	136,7	136,8	135,5	135,0	134,3	134,1	133,5	133,6	132,6	132,5	132,1	131,8	131,7	131,6	131,8	131,5	131,2
	IntConf95+	169,0	161,0	156,0	153,2	149,5	147,4	145,2	144,2	144,4	142,7	141,7	140,8	140,4	139,2	138,7	137,3	137,1	136,6	136,2	135,8	135,1	134,5	133,8	133,2
	Desv.Pad.	158,3	124,5	102,7	90,8	79,8	73,0	64,9	60,5	61,7	57,8	53,8	52,2	50,2	46,1	41,1	38,1	37,8	36,9	35,5	33,0	27,7	22,2	18,5	16,6

Tabela C 2: Média e demais estatísticas da precipitação máxima com duração de 1h (mm) para séries com magnitude de 0,05mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	42,8	43,0	43,2	43,3	43,5	43,6	43,8	43,9	44,1	44,2	44,4	44,6	44,8	45,1	45,7	46,0	46,1	46,3	46,5	47,2	48,7	52,0	55,4	58,9
	IntConf95-	42,4	42,7	42,9	43,1	43,3	43,4	43,6	43,8	44,0	44,1	44,3	44,4	44,6	45,0	45,6	45,9	46,0	46,2	46,4	47,1	48,6	51,9	55,4	58,9
	IntConf95+	43,1	43,3	43,4	43,5	43,7	43,8	43,9	44,1	44,3	44,4	44,6	44,7	44,9	45,2	45,8	46,1	46,2	46,4	46,6	47,2	48,8	52,0	55,5	59,0
	Desv.Pad.	5,3	4,5	3,9	3,5	3,2	3,0	2,8	2,7	2,5	2,4	2,3	2,2	2,2	2,0	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8
TR = 10 anos	Média	49,9	50,3	50,5	50,7	50,9	51,0	51,2	51,4	51,6	51,8	52,1	52,2	52,4	52,8	53,3	53,7	53,8	54,0	54,2	54,9	56,5	59,9	63,5	67,2
	IntConf95-	49,4	49,9	50,2	50,4	50,6	50,7	51,0	51,1	51,4	51,6	51,8	51,9	52,2	52,6	53,2	53,5	53,6	53,8	54,1	54,8	56,4	59,8	63,4	67,1
	IntConf95+	50,4	50,7	50,9	51,1	51,2	51,3	51,5	51,6	51,9	52,0	52,3	52,4	52,6	53,0	53,5	53,8	54,0	54,1	54,4	55,0	56,6	60,0	63,6	67,3
	Desv.Pad.	8,1	6,8	5,9	5,3	4,9	4,6	4,3	4,1	3,9	3,7	3,6	3,5	3,4	3,2	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4
TR = 25 anos	Média	61,0	61,4	61,6	61,8	62,0	62,0	62,3	62,5	62,8	63,0	63,4	63,4	63,7	64,1	64,6	64,9	65,1	65,2	65,5	66,1	67,6	70,8	74,2	77,6
	IntConf95-	60,1	60,6	60,9	61,2	61,5	61,5	61,8	62,0	62,3	62,6	62,9	63,0	63,3	63,8	64,3	64,6	64,8	64,9	65,2	65,8	67,4	70,6	74,0	77,5
	IntConf95+	62,0	62,2	62,3	62,4	62,6	62,5	62,8	62,9	63,2	63,4	63,8	63,8	64,1	64,5	64,9	65,3	65,4	65,5	65,8	66,4	67,8	71,0	74,4	77,8
	Desv.Pad.	14,8	12,6	10,9	9,7	8,9	8,4	7,9	7,5	7,2	6,9	6,8	6,5	6,4	6,0	5,2	5,0	4,9	4,8	4,6	4,3	3,7	3,2	2,8	2,6
TR = 50 anos	Média	71,5	71,5	71,6	71,7	71,8	71,7	72,0	72,2	72,5	72,8	73,3	73,2	73,5	74,0	74,3	74,6	74,8	74,9	75,1	75,6	76,9	79,6	82,4	85,4
	IntConf95-	70,0	70,3	70,5	70,8	70,9	70,9	71,3	71,4	71,8	72,1	72,6	72,6	72,9	73,4	73,8	74,2	74,3	74,4	74,6	75,2	76,5	79,3	82,2	85,2
	IntConf95+	72,9	72,8	72,6	72,7	72,6	72,5	72,8	72,9	73,2	73,4	73,9	73,9	74,1	74,5	74,8	75,1	75,2	75,3	75,5	76,0	77,2	79,9	82,7	85,6
	Desv.Pad.	23,4	19,8	17,1	15,1	13,9	13,1	12,4	11,7	11,2	10,9	10,7	10,2	10,0	9,4	8,1	7,7	7,6	7,4	7,1	6,7	5,8	4,9	4,3	3,8
TR = 100 anos	Média	84,6	83,8	83,4	83,3	83,2	82,9	83,3	83,3	83,7	84,0	84,6	84,5	84,7	85,2	85,3	85,6	85,7	85,8	85,8	86,3	87,1	89,0	90,9	93,1
	IntConf95-	82,3	81,9	81,8	81,9	81,9	81,7	82,1	82,2	82,7	83,0	83,6	83,5	83,8	84,3	84,6	84,9	85,0	85,1	85,2	85,7	86,6	88,5	90,6	92,8
	IntConf95+	86,9	85,7	85,0	84,8	84,5	84,2	84,4	84,4	84,8	85,1	85,7	85,5	85,7	86,1	86,1	86,3	86,4	86,5	86,5	86,9	87,6	89,4	91,3	93,4
	Desv.Pad.	37,0	30,8	26,4	23,1	21,4	19,9	18,8	17,7	16,9	16,7	16,3	15,6	15,1	14,2	12,3	11,7	11,4	11,1	10,7	10,0	8,7	7,1	6,0	5,2
TR = 1.000 anos	Média	164,6	151,8	146,0	142,1	139,8	137,6	137,5	136,4	136,6	137,3	138,4	137,3	136,9	136,8	134,8	134,6	134,2	133,9	133,1	132,5	130,0	125,5	121,6	118,9
	IntConf95-	154,4	143,9	139,6	136,8	134,9	133,2	133,4	132,6	133,0	133,6	134,9	133,9	133,7	133,8	132,3	132,2	131,9	131,8	131,0	130,5	128,4	124,3	120,7	118,2
	IntConf95+	174,7	159,7	152,4	147,5	144,7	142,0	141,5	140,2	140,2	141,0	142,0	140,7	140,1	139,8	137,3	136,9	136,5	136,1	135,2	134,4	131,6	126,7	122,5	119,7
	Desv.Pad.	164,0	127,5	103,7	86,2	79,5	71,3	65,7	60,9	58,4	59,7	57,4	54,6	51,7	48,0	40,0	37,6	36,5	35,3	33,5	31,1	25,9	19,4	15,1	12,0

Tabela C 3: Média e demais estatísticas da precipitação máxima com duração de 1h (mm) para séries com magnitude de 0,10mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	43,0	43,4	43,6	44,1	44,4	44,7	45,0	45,3	45,6	45,9	46,2	46,5	46,8	47,4	48,7	49,3	49,6	50,0	50,6	52,0	54,9	62,4	69,6	76,8
	IntConf95-	42,7	43,2	43,4	43,8	44,2	44,5	44,8	45,1	45,4	45,7	46,0	46,4	46,6	47,3	48,6	49,2	49,5	49,9	50,5	51,9	54,8	62,4	69,6	76,8
	IntConf95+	43,4	43,7	43,9	44,3	44,6	44,9	45,1	45,4	45,8	46,0	46,3	46,6	46,9	47,6	48,8	49,4	49,7	50,1	50,7	52,0	55,0	62,5	69,7	76,9
	Desv.Pad.	5,5	4,5	4,0	3,6	3,3	3,0	2,8	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5	1,1	0,9	0,8
TR = 10 anos	Média	50,1	50,7	51,0	51,5	52,0	52,3	52,6	52,9	53,3	53,5	53,9	54,2	54,5	55,2	56,5	57,1	57,4	57,8	58,5	59,9	63,0	70,9	78,6	86,5
	IntConf95-	49,5	50,2	50,6	51,2	51,7	52,0	52,3	52,7	53,0	53,3	53,6	54,0	54,3	55,0	56,3	57,0	57,3	57,6	58,3	59,7	62,8	70,8	78,5	86,4
	IntConf95+	50,6	51,1	51,3	51,8	52,3	52,6	52,8	53,2	53,5	53,8	54,1	54,4	54,7	55,4	56,7	57,3	57,6	58,0	58,6	60,0	63,1	71,0	78,7	86,6
	Desv.Pad.	8,4	6,8	6,0	5,5	5,0	4,6	4,2	4,0	3,8	3,7	3,5	3,4	3,3	3,1	2,9	2,8	2,7	2,6	2,6	2,4	2,2	1,8	1,5	1,4
TR = 25 anos	Média	60,8	61,6	61,9	62,6	63,3	63,6	63,9	64,3	64,6	64,9	65,2	65,5	65,8	66,5	67,7	68,2	68,5	68,9	69,5	70,7	73,6	81,2	88,9	97,2
	IntConf95-	59,9	60,8	61,2	62,0	62,8	63,1	63,4	63,8	64,2	64,5	64,8	65,1	65,4	66,1	67,3	67,9	68,2	68,6	69,2	70,4	73,4	81,0	88,8	97,0
	IntConf95+	61,7	62,3	62,6	63,3	63,9	64,1	64,3	64,7	65,1	65,3	65,6	65,9	66,2	66,8	68,0	68,5	68,8	69,2	69,7	71,0	73,8	81,4	89,1	97,3
	Desv.Pad.	14,8	12,1	10,8	9,9	9,0	8,3	7,8	7,4	6,9	6,8	6,5	6,3	6,1	5,8	5,3	5,1	5,0	4,9	4,7	4,4	3,8	3,2	2,7	2,4
TR = 50 anos	Média	70,8	71,4	71,7	72,6	73,4	73,6	73,8	74,2	74,6	74,7	75,0	75,3	75,6	76,1	77,0	77,5	77,7	78,0	78,5	79,5	81,9	88,6	96,0	104,1
	IntConf95-	69,3	70,2	70,7	71,6	72,5	72,8	73,0	73,5	73,9	74,1	74,4	74,7	75,0	75,6	76,5	77,0	77,2	77,5	78,0	79,1	81,5	88,3	95,7	103,9
	IntConf95+	72,2	72,6	72,8	73,5	74,2	74,4	74,5	74,9	75,2	75,4	75,6	75,9	76,1	76,7	77,5	78,0	78,2	78,5	78,9	79,9	82,2	88,9	96,2	104,3
	Desv.Pad.	23,0	18,7	16,8	15,4	14,1	12,9	12,1	11,5	10,8	10,5	10,1	9,8	9,4	8,9	8,1	7,7	7,6	7,4	7,2	6,7	5,6	4,6	3,9	3,3
TR = 100 anos	Média	83,0	83,2	83,3	84,2	85,1	85,2	85,3	85,7	86,0	86,0	86,2	86,4	86,6	87,0	87,4	87,7	87,8	88,0	88,2	88,9	90,4	95,8	102,4	110,3
	IntConf95-	80,8	81,4	81,7	82,8	83,8	84,0	84,1	84,6	85,0	85,0	85,2	85,5	85,7	86,1	86,7	87,0	87,1	87,3	87,6	88,3	89,9	95,4	102,1	110,0
	IntConf95+	85,2	84,9	84,9	85,7	86,5	86,4	86,4	86,7	87,0	87,0	87,1	87,3	87,5	87,8	88,2	88,4	88,5	88,7	88,9	89,5	90,9	96,2	102,7	110,6
	Desv.Pad.	35,4	28,4	25,8	23,6	21,7	19,7	18,4	17,4	16,3	15,8	15,2	14,7	14,1	13,3	11,9	11,4	11,2	10,9	10,5	9,8	7,9	6,2	5,1	4,3
TR = 1.000 anos	Média	155,1	146,5	143,6	143,3	143,7	141,7	140,5	140,3	139,6	138,4	137,7	137,3	136,7	135,3	132,0	130,7	130,1	129,6	128,1	125,9	121,5	118,4	120,6	126,5
	IntConf95-	146,2	140,0	137,3	137,7	138,7	137,3	136,5	136,5	136,1	135,1	134,6	134,3	133,9	132,7	129,8	128,6	128,1	127,6	126,3	124,2	120,2	117,5	120,0	126,0
	IntConf95+	163,9	153,1	149,9	148,9	148,7	146,1	144,5	144,0	143,0	141,7	140,8	140,3	139,6	137,9	134,2	132,8	132,1	131,5	130,0	127,6	122,7	119,2	121,2	127,0
	Desv.Pad.	142,9	105,4	101,8	89,9	81,0	70,8	64,7	61,1	56,1	53,0	50,6	48,4	46,2	42,1	35,7	33,7	32,9	31,7	30,0	27,4	20,1	13,5	9,9	7,7

Tabela C 4: Média e demais estatísticas da precipitação máxima com duração de 1h (mm) para séries com magnitude de 0,20mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	43,6	44,2	44,8	45,5	46,0	46,7	47,2	47,8	48,5	49,1	49,7	50,4	51,0	52,4	55,2	56,6	57,3	58,0	59,5	62,3	69,5	84,1	98,8	113,6
	IntConf95-	43,2	44,0	44,6	45,3	45,8	46,5	47,1	47,7	48,3	48,9	49,6	50,2	50,9	52,3	55,1	56,5	57,2	57,9	59,4	62,2	69,4	84,0	98,7	113,5
	IntConf95+	43,9	44,5	45,1	45,7	46,2	46,8	47,4	48,0	48,6	49,2	49,8	50,5	51,2	52,5	55,3	56,7	57,4	58,1	59,6	62,4	69,6	84,1	98,8	113,6
	Desv.Pad.	5,6	4,5	3,9	3,4	3,1	2,9	2,7	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,2	1,1	0,9	0,8
TR = 10 anos	Média	50,8	51,6	52,2	53,0	53,5	54,2	54,8	55,4	56,0	56,7	57,3	58,0	58,7	60,2	63,2	64,7	65,4	66,1	67,7	70,7	78,5	94,6	111,2	128,2
	IntConf95-	50,3	51,2	51,9	52,7	53,2	53,9	54,5	55,1	55,8	56,4	57,1	57,8	58,5	60,0	63,0	64,5	65,2	66,0	67,5	70,6	78,4	94,5	111,1	128,2
	IntConf95+	51,3	52,0	52,6	53,3	53,8	54,5	55,0	55,6	56,3	56,9	57,5	58,2	58,9	60,4	63,4	64,8	65,6	66,3	67,9	70,9	78,6	94,7	111,3	128,3
	Desv.Pad.	8,3	6,8	5,9	5,2	4,8	4,5	4,2	3,9	3,9	3,7	3,5	3,4	3,3	3,2	2,9	2,8	2,7	2,7	2,5	2,3	2,1	1,8	1,5	1,3
TR = 25 anos	Média	61,9	62,7	63,4	64,2	64,5	65,3	65,7	66,3	66,8	67,5	68,1	68,7	69,4	70,9	73,7	75,1	75,8	76,5	78,1	81,0	88,9	105,9	124,2	143,2
	IntConf95-	61,0	62,0	62,7	63,6	64,0	64,7	65,2	65,8	66,4	67,0	67,7	68,3	69,0	70,5	73,4	74,8	75,5	76,2	77,8	80,7	88,6	105,8	124,0	143,1
	IntConf95+	62,8	63,5	64,1	64,8	65,1	65,8	66,2	66,7	67,3	67,9	68,5	69,1	69,8	71,2	74,1	75,4	76,1	76,8	78,4	81,3	89,1	106,1	124,4	143,4
	Desv.Pad.	14,7	12,1	10,7	9,6	8,9	8,3	7,8	7,3	7,1	6,8	6,6	6,4	6,3	6,0	5,5	5,3	5,1	5,0	4,7	4,3	3,7	3,0	2,5	2,2
TR = 50 anos	Média	72,4	72,8	73,4	74,1	74,2	74,9	75,1	75,5	75,9	76,5	77,0	77,5	78,1	79,4	81,9	83,1	83,7	84,4	85,8	88,4	95,9	113,1	132,2	152,3
	IntConf95-	70,9	71,7	72,4	73,2	73,4	74,1	74,4	74,8	75,3	75,9	76,4	76,9	77,5	78,9	81,4	82,6	83,2	83,9	85,4	88,0	95,6	112,9	131,9	152,1
	IntConf95+	73,8	74,0	74,5	75,0	75,1	75,7	75,9	76,3	76,6	77,2	77,6	78,1	78,7	80,0	82,5	83,6	84,2	84,8	86,2	88,8	96,3	113,4	132,4	152,4
	Desv.Pad.	23,1	19,1	17,0	15,1	13,9	13,0	12,2	11,5	11,0	10,6	10,3	9,9	9,6	9,2	8,3	7,9	7,7	7,4	7,0	6,3	5,3	4,1	3,4	2,9
TR = 100 anos	Média	85,5	85,1	85,3	85,7	85,5	85,9	85,8	86,0	86,1	86,6	86,9	87,2	87,7	88,7	90,5	91,4	91,8	92,3	93,5	95,6	102,5	119,4	138,9	159,8
	IntConf95-	83,2	83,3	83,7	84,3	84,2	84,7	84,7	84,9	85,1	85,6	85,9	86,3	86,8	87,8	89,8	90,7	91,1	91,6	92,9	95,1	102,0	119,1	138,6	159,5
	IntConf95+	87,7	87,0	87,0	87,2	86,8	87,2	87,0	87,1	87,2	87,6	87,8	88,1	88,5	89,5	91,2	92,1	92,4	92,9	94,1	96,2	102,9	119,7	139,1	160,0
	Desv.Pad.	36,3	29,9	26,4	23,3	21,4	19,9	18,6	17,4	16,6	15,9	15,4	14,7	14,2	13,5	11,9	11,2	10,9	10,5	9,8	8,7	7,1	5,3	4,3	3,7
TR = 1.000 anos	Média	166,7	154,2	148,8	144,8	140,9	138,7	135,9	133,7	131,5	130,8	129,5	128,1	127,2	125,6	122,6	121,1	120,5	120,0	119,7	118,8	121,3	135,2	154,8	177,1
	IntConf95-	156,3	146,1	142,1	139,3	135,9	134,3	131,8	130,0	128,1	127,6	126,4	125,2	124,5	123,2	120,7	119,4	118,8	118,4	118,3	117,6	120,4	134,6	154,3	176,7
	IntConf95+	177,1	162,3	155,5	150,4	145,9	143,0	139,9	137,3	134,9	134,0	132,6	130,9	129,9	128,0	124,6	122,9	122,2	121,6	121,2	120,0	122,2	135,8	155,2	177,4
	Desv.Pad.	167,7	131,3	108,1	89,9	80,1	70,3	65,7	59,4	54,7	52,0	49,7	46,0	42,9	38,6	31,8	28,7	27,5	26,0	23,5	19,5	14,4	9,4	7,2	6,0

Tabela C 5: Média e demais estatísticas da precipitação máxima com duração de 1h (mm) para séries com magnitude de 0,30mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	43,7	44,7	45,9	46,8	47,8	48,8	49,8	50,7	51,8	52,8	53,8	54,8	55,9	57,9	62,2	64,4	65,5	66,6	68,7	73,1	84,0	106,2	128,5	150,9
	IntConf95-	43,3	44,4	45,6	46,6	47,6	48,6	49,6	50,6	51,6	52,6	53,6	54,7	55,8	57,8	62,1	64,3	65,4	66,4	68,6	73,0	83,9	106,1	128,4	150,9
	IntConf95+	44,0	45,0	46,1	47,1	48,0	49,0	49,9	50,9	51,9	52,9	53,9	55,0	56,0	58,1	62,4	64,5	65,6	66,7	68,8	73,1	84,1	106,2	128,5	151,0
	Desv.Pad.	5,5	4,5	3,9	3,4	3,2	2,9	2,7	2,6	2,5	2,3	2,3	2,2	2,1	2,0	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1	0,9	0,8
TR = 10 anos	Média	50,6	51,8	53,3	54,4	55,3	56,5	57,5	58,5	59,5	60,6	61,6	62,8	63,9	66,0	70,7	73,0	74,1	75,3	77,6	82,4	94,6	119,8	145,5	171,5
	IntConf95-	50,1	51,4	52,9	54,1	55,0	56,2	57,2	58,2	59,3	60,3	61,4	62,5	63,7	65,8	70,5	72,8	74,0	75,1	77,5	82,2	94,5	119,7	145,4	171,4
	IntConf95+	51,1	52,3	53,6	54,8	55,6	56,8	57,7	58,7	59,8	60,8	61,9	63,0	64,1	66,2	70,8	73,1	74,3	75,5	77,8	82,5	94,7	119,9	145,6	171,6
	Desv.Pad.	8,0	6,8	5,9	5,4	5,0	4,6	4,4	4,1	4,0	3,8	3,8	3,6	3,5	3,3	3,1	2,9	2,8	2,8	2,7	2,5	2,2	1,8	1,4	1,2
TR = 25 anos	Média	61,3	62,6	64,3	65,6	66,4	67,5	68,4	69,3	70,2	71,2	72,2	73,3	74,3	76,2	81,0	83,3	84,5	85,6	88,0	92,9	106,0	133,8	162,7	192,2
	IntConf95-	60,4	61,8	63,6	65,0	65,8	67,0	67,9	68,8	69,8	70,7	71,8	72,9	73,9	75,9	80,6	82,9	84,1	85,3	87,7	92,6	105,8	133,6	162,6	192,1
	IntConf95+	62,2	63,4	65,0	66,3	67,0	68,1	68,9	69,8	70,7	71,6	72,7	73,7	74,7	76,6	81,3	83,6	84,8	85,9	88,3	93,2	106,3	134,0	162,8	192,3
	Desv.Pad.	14,0	12,2	10,7	10,1	9,4	8,8	8,3	7,7	7,4	7,2	7,1	6,8	6,6	6,2	5,6	5,2	5,2	5,1	4,8	4,5	3,9	3,0	2,4	2,1
TR = 50 anos	Média	71,2	72,3	74,1	75,6	76,0	77,0	77,7	78,3	79,0	79,8	80,6	81,6	82,5	84,0	88,5	90,6	91,7	92,8	95,1	99,9	113,3	142,3	173,0	204,4
	IntConf95-	69,9	71,2	73,1	74,6	75,1	76,1	76,9	77,5	78,3	79,1	80,0	80,9	81,8	83,4	88,0	90,1	91,3	92,4	94,6	99,5	113,0	142,1	172,8	204,3
	IntConf95+	72,6	73,5	75,2	76,6	76,9	77,9	78,5	79,0	79,7	80,5	81,3	82,2	83,1	84,6	89,0	91,1	92,2	93,3	95,5	100,3	113,6	142,6	173,2	204,6
	Desv.Pad.	21,8	19,2	16,8	16,1	14,8	13,9	13,0	12,1	11,4	11,1	10,9	10,4	10,0	9,2	8,2	7,6	7,4	7,3	6,8	6,3	5,4	4,0	3,2	2,8
TR = 100 anos	Média	83,5	84,1	85,8	87,2	87,0	87,8	88,0	88,2	88,6	89,0	89,6	90,3	90,9	91,9	95,8	97,6	98,7	99,7	101,7	106,3	119,6	149,5	181,5	214,5
	IntConf95-	81,4	82,2	84,2	85,6	85,6	86,4	86,8	87,1	87,5	88,0	88,6	89,3	90,0	91,0	95,1	97,0	98,1	99,1	101,1	105,8	119,2	149,2	181,2	214,3
	IntConf95+	85,6	86,0	87,4	88,7	88,4	89,1	89,3	89,3	89,6	90,0	90,6	91,2	91,8	92,7	96,5	98,3	99,3	100,3	102,3	106,8	120,1	149,8	181,7	214,7
	Desv.Pad.	34,3	30,1	26,1	25,2	22,7	21,3	19,8	18,1	17,0	16,5	16,0	15,1	14,4	13,1	11,3	10,4	10,2	10,0	9,1	8,3	7,0	5,0	4,0	3,6
TR = 1.000 anos	Média	158,0	149,4	146,7	146,4	140,7	138,4	135,1	131,4	128,8	126,8	125,3	124,0	122,7	119,8	119,8	119,8	120,2	120,5	121,1	124,1	135,8	166,2	200,7	236,9
	IntConf95-	148,4	141,4	140,3	140,0	135,3	133,4	130,8	127,7	125,4	123,7	122,4	121,3	120,2	117,7	118,2	118,4	118,8	119,1	120,0	123,1	135,0	165,7	200,3	236,6
	IntConf95+	167,5	157,4	153,1	152,7	146,2	143,3	139,5	135,2	132,2	130,0	128,2	126,7	125,1	121,9	121,4	121,3	121,6	121,8	122,3	125,1	136,6	166,7	201,1	237,3
	Desv.Pad.	154,3	128,5	103,1	102,2	87,2	79,2	70,6	61,1	55,0	51,2	47,4	43,4	39,6	34,0	26,4	23,3	22,4	21,5	18,9	16,4	12,7	8,3	6,5	5,8

Tabela C 6: Média e demais estatísticas da precipitação máxima com duração de 1h (mm) para séries com magnitude de 0,40mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	44,4	45,6	47,0	48,3	49,5	50,9	52,3	53,7	55,1	56,5	57,8	59,3	60,7	63,6	69,3	72,2	73,7	75,2	78,1	84,0	98,7	128,4	158,3	188,3
	IntConf95-	44,1	45,3	46,8	48,1	49,3	50,7	52,1	53,5	54,9	56,3	57,7	59,1	60,6	63,4	69,2	72,1	73,6	75,1	78,0	83,9	98,6	128,3	158,2	188,3
	IntConf95+	44,7	45,9	47,2	48,5	49,7	51,1	52,5	53,8	55,2	56,6	58,0	59,4	60,8	63,7	69,4	72,3	73,8	75,3	78,2	84,1	98,8	128,4	158,4	188,4
	Desv.Pad.	5,4	4,4	3,9	3,5	3,2	3,0	2,8	2,6	2,6	2,5	2,4	2,3	2,2	2,0	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4	1,1	1,0	0,8
TR = 10 anos	Média	51,4	52,8	54,4	55,8	57,1	58,5	59,9	61,4	62,9	64,4	65,8	67,4	68,9	72,0	78,3	81,5	83,1	84,7	88,1	94,6	111,3	145,3	180,1	215,1
	IntConf95-	50,9	52,4	54,1	55,4	56,7	58,2	59,7	61,1	62,6	64,1	65,6	67,2	68,7	71,8	78,1	81,3	83,0	84,6	87,9	94,5	111,2	145,2	180,0	215,0
	IntConf95+	51,9	53,2	54,8	56,1	57,4	58,8	60,2	61,6	63,2	64,6	66,1	67,6	69,2	72,2	78,5	81,7	83,3	84,9	88,2	94,8	111,4	145,5	180,2	215,2
	Desv.Pad.	8,1	6,9	6,2	5,6	5,1	4,7	4,5	4,2	4,2	4,0	3,9	3,7	3,6	3,3	3,0	2,9	2,8	2,8	2,7	2,6	2,2	1,7	1,4	1,2
TR = 25 anos	Média	62,2	63,6	65,4	66,7	67,7	69,0	70,4	71,8	73,3	74,7	76,1	77,6	79,2	82,3	88,7	92,1	93,8	95,5	99,1	106,2	124,4	162,5	202,0	241,8
	IntConf95-	61,2	62,8	64,7	66,0	67,1	68,5	69,9	71,3	72,8	74,2	75,6	77,2	78,8	81,9	88,4	91,8	93,5	95,2	98,8	105,9	124,2	162,3	201,9	241,7
	IntConf95+	63,1	64,4	66,2	67,3	68,3	69,6	70,9	72,3	73,7	75,1	76,5	78,1	79,6	82,7	89,1	92,4	94,1	95,8	99,4	106,5	124,6	162,7	202,2	241,9
	Desv.Pad.	14,7	12,9	11,6	10,5	9,6	8,8	8,3	7,8	7,6	7,3	7,0	6,8	6,5	6,0	5,5	5,2	5,0	4,9	4,7	4,4	3,6	2,9	2,4	2,0
TR = 50 anos	Média	72,1	73,4	75,2	76,1	76,8	77,7	78,9	80,1	81,4	82,6	83,9	85,3	86,8	89,6	95,9	99,2	100,9	102,6	106,3	113,6	132,5	172,8	214,9	257,6
	IntConf95-	70,7	72,1	74,0	75,1	75,8	76,9	78,1	79,3	80,7	81,9	83,2	84,7	86,2	89,1	95,4	98,8	100,5	102,2	105,9	113,2	132,2	172,5	214,8	257,4
	IntConf95+	73,6	74,7	76,3	77,1	77,7	78,6	79,7	80,8	82,1	83,3	84,5	85,9	87,4	90,2	96,4	99,7	101,4	103,1	106,7	113,9	132,8	173,0	215,1	257,7
	Desv.Pad.	23,3	20,5	18,4	16,6	15,0	13,6	12,7	11,8	11,5	10,9	10,4	10,0	9,5	8,8	7,8	7,3	7,1	6,9	6,6	6,0	4,8	3,8	3,2	2,7
TR = 100 anos	Média	84,5	85,1	86,6	87,0	87,0	87,4	88,1	89,0	90,0	90,8	91,8	93,0	94,3	96,8	102,6	105,8	107,4	109,1	112,7	120,0	139,3	181,2	225,6	270,4
	IntConf95-	82,2	83,1	84,8	85,4	85,6	86,1	87,0	87,9	89,0	89,9	90,9	92,1	93,5	96,0	101,9	105,1	106,9	108,5	112,2	119,5	138,9	180,9	225,3	270,2
	IntConf95+	86,8	87,1	88,4	88,5	88,4	88,6	89,3	90,0	91,0	91,8	92,7	93,9	95,1	97,5	103,2	106,4	108,0	109,7	113,3	120,5	139,7	181,5	225,8	270,6
	Desv.Pad.	36,9	32,2	28,7	25,5	22,9	20,3	18,8	17,3	16,5	15,6	14,7	14,0	13,3	12,1	10,5	9,8	9,4	9,1	8,7	7,8	6,1	4,8	4,0	3,4
TR = 1.000 anos	Média	159,6	149,7	145,9	140,3	134,6	129,6	127,0	124,8	123,5	121,7	120,6	120,2	120,1	119,9	122,3	124,4	125,7	126,9	130,1	136,7	155,7	200,4	249,2	298,8
	IntConf95-	149,4	141,1	138,6	134,3	129,6	125,4	123,3	121,6	120,5	119,0	118,2	118,0	118,1	118,2	120,9	123,2	124,5	125,8	129,1	135,8	155,0	199,9	248,8	298,5
	IntConf95+	169,7	158,3	153,2	146,2	139,7	133,8	130,7	128,1	126,4	124,3	123,0	122,4	122,2	121,6	123,7	125,7	126,9	128,0	131,2	137,5	156,3	200,9	249,6	299,2
	Desv.Pad.	163,5	138,9	117,8	96,0	82,0	67,7	59,8	52,4	47,2	42,6	38,8	35,5	32,9	28,2	22,5	20,1	19,0	17,9	16,6	14,3	10,4	7,8	6,4	5,5

**APÊNDICE D – VAZÕES MÁXIMAS DE PROJETO PARA DIFERENTES
TAMANHOS DE SÉRIE E PERÍODOS DE RETORNO**

Tabela D 1: Média e demais estatísticas da vazão de projeto (m³/s) para séries com magnitude de 0,01mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500		
TR = 5 anos	Média	10,1	10,1	10,1	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,4	10,5	10,7	10,8	
	IntConf95-	10,0	10,1	10,1	10,1	10,1	10,1	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,4	10,5	10,6	10,8	
	IntConf95+	10,1	10,2	10,2	10,2	10,2	10,2	10,3	10,2	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,4	10,4	10,5	10,7	10,8	
	Desv.Pad.	1,3	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	
TR = 10 anos	Média	11,7	11,9	11,9	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,2	12,4	12,5	12,6	
	IntConf95-	11,6	11,8	11,8	11,9	11,9	11,9	12,0	11,9	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,2	12,3	12,5	12,6	
	IntConf95+	11,8	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,2	12,2	12,4	12,5	12,6	
	Desv.Pad.	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	
TR = 25 anos	Média	14,3	14,5	14,6	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,9	15,0	15,2	15,3	
	IntConf95-	14,1	14,3	14,4	14,5	14,5	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,8	15,0	15,1	15,2	
	IntConf95+	14,5	14,7	14,7	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,9	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,9	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,9	14,9	15,1	15,2	15,3	
	Desv.Pad.	3,4	2,9	2,6	2,4	2,2	2,1	2,0	1,8	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,7	0,6	0,6	
TR = 50 anos	Média	16,6	16,9	17,0	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1	17,2	17,3	17,4	17,6	
	IntConf95-	16,3	16,6	16,7	16,8	16,9	16,9	16,9	16,9	17,0	16,9	16,9	16,9	17,0	16,9	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,1	17,3	17,4	17,5	
	IntConf95+	17,0	17,2	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3	17,2	17,2	17,2	17,3	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6
	Desv.Pad.	5,3	4,7	4,1	3,8	3,5	3,2	3,0	2,9	2,8	2,7	2,5	2,4	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,4	1,1	1,0	0,9	0,9	
TR = 100 anos	Média	19,6	19,9	19,9	20,0	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,7	19,7	19,7	19,8	19,9	20,0	20,1	
	IntConf95-	19,1	19,4	19,5	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,7	19,8	19,9	20,0	
	IntConf95+	20,1	20,3	20,3	20,3	20,2	20,2	20,2	20,1	20,2	20,1	20,1	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	19,9	19,9	19,9	19,9	19,9	20,0	20,0	20,1	20,2	
	Desv.Pad.	8,3	7,3	6,3	5,8	5,3	4,9	4,6	4,3	4,2	4,0	3,8	3,7	3,6	3,3	3,0	2,8	2,8	2,7	2,6	2,5	2,1	1,7	1,4	1,3	1,3	
TR = 1,000 anos	Média	37,6	36,2	35,4	34,9	34,2	33,8	33,4	33,2	33,2	32,9	32,7	32,5	32,4	32,2	32,2	31,9	31,9	31,7	31,7	31,6	31,5	31,5	31,3	31,2	31,2	
	IntConf95-	35,3	34,4	33,9	33,5	33,0	32,7	32,4	32,3	32,3	32,0	31,9	31,7	31,7	31,5	31,6	31,3	31,3	31,2	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,1	31,0	
	IntConf95+	39,9	38,0	36,9	36,2	35,3	34,8	34,3	34,1	34,1	33,7	33,5	33,3	33,2	32,9	32,8	32,5	32,4	32,3	32,2	32,1	31,9	31,8	31,6	31,5	31,5	
	Desv.Pad.	37,4	29,4	24,3	21,5	18,9	17,2	15,3	14,3	14,6	13,7	12,7	12,3	11,9	10,9	9,7	9,0	8,9	8,7	8,4	7,8	6,6	5,3	4,4	3,9	3,9	

Tabela D 2: Média e demais estatísticas da vazão de projeto (m³/s) para séries com magnitude de 0,05mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	10,1	10,2	10,2	10,2	10,3	10,3	10,3	10,4	10,4	10,5	10,5	10,5	10,6	10,7	10,8	10,9	10,9	10,9	11,0	11,1	11,5	12,3	13,1	13,9
	IntConf95-	10,0	10,1	10,1	10,2	10,2	10,3	10,3	10,3	10,4	10,4	10,5	10,5	10,5	10,6	10,8	10,8	10,9	10,9	11,0	11,1	11,5	12,3	13,1	13,9
	IntConf95+	10,2	10,2	10,3	10,3	10,3	10,3	10,4	10,4	10,5	10,5	10,5	10,6	10,6	10,7	10,8	10,9	10,9	11,0	11,0	11,2	11,5	12,3	13,1	13,9
	Desv.Pad.	1,3	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
TR = 10 anos	Média	11,8	11,9	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,2	12,2	12,3	12,3	12,4	12,5	12,6	12,7	12,7	12,8	12,8	13,0	13,3	14,2	15,0	15,9
	IntConf95-	11,7	11,8	11,9	11,9	12,0	12,0	12,0	12,1	12,1	12,2	12,2	12,3	12,3	12,4	12,6	12,6	12,7	12,7	12,8	12,9	13,3	14,1	15,0	15,9
	IntConf95+	11,9	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1	12,2	12,2	12,3	12,3	12,4	12,4	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,8	12,9	13,0	13,4	14,2	15,0	15,9
	Desv.Pad.	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3
TR = 25 anos	Média	14,4	14,5	14,6	14,6	14,7	14,7	14,7	14,8	14,8	14,9	15,0	15,0	15,0	15,2	15,3	15,3	15,4	15,4	15,5	15,6	16,0	16,7	17,5	18,3
	IntConf95-	14,2	14,3	14,4	14,5	14,5	14,5	14,6	14,7	14,7	14,8	14,9	14,9	15,0	15,1	15,2	15,3	15,3	15,3	15,4	15,6	15,9	16,7	17,5	18,3
	IntConf95+	14,6	14,7	14,7	14,8	14,8	14,8	14,8	14,9	14,9	15,0	15,1	15,1	15,1	15,2	15,3	15,4	15,4	15,5	15,5	15,7	16,0	16,8	17,6	18,4
	Desv.Pad.	3,5	3,0	2,6	2,3	2,1	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
TR = 50 anos	Média	16,9	16,9	16,9	16,9	17,0	16,9	17,0	17,0	17,1	17,2	17,3	17,3	17,4	17,5	17,6	17,6	17,7	17,7	17,7	17,9	18,2	18,8	19,5	20,2
	IntConf95-	16,6	16,6	16,7	16,7	16,8	16,7	16,8	16,9	17,0	17,0	17,2	17,2	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,6	17,6	17,8	18,1	18,7	19,4	20,1
	IntConf95+	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,1	17,2	17,2	17,3	17,4	17,5	17,5	17,5	17,6	17,7	17,8	17,8	17,8	17,8	18,0	18,3	18,9	19,5	20,2
	Desv.Pad.	5,5	4,7	4,0	3,6	3,3	3,1	2,9	2,8	2,6	2,6	2,5	2,4	2,4	2,2	1,9	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,4	1,2	1,0	0,9
TR = 100 anos	Média	20,0	19,8	19,7	19,7	19,7	19,6	19,7	19,7	19,8	19,9	20,0	20,0	20,0	20,1	20,2	20,2	20,2	20,3	20,3	20,4	20,6	21,0	21,5	22,0
	IntConf95-	19,4	19,3	19,3	19,4	19,3	19,3	19,4	19,4	19,5	19,6	19,8	19,7	19,8	19,9	20,0	20,1	20,1	20,1	20,1	20,2	20,5	20,9	21,4	21,9
	IntConf95+	20,5	20,2	20,1	20,0	20,0	19,9	20,0	19,9	20,0	20,1	20,2	20,2	20,2	20,3	20,3	20,4	20,4	20,4	20,4	20,5	20,7	21,1	21,6	22,1
	Desv.Pad.	8,7	7,3	6,2	5,5	5,1	4,7	4,4	4,2	4,0	4,0	3,9	3,7	3,6	3,4	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,0	1,7	1,4	1,2
TR = 1.000 anos	Média	38,9	35,9	34,5	33,6	33,0	32,5	32,5	32,2	32,3	32,4	32,7	32,4	32,4	32,3	31,9	31,8	31,7	31,7	31,5	31,3	30,7	29,7	28,7	28,1
	IntConf95-	36,5	34,0	33,0	32,3	31,9	31,5	31,5	31,3	31,4	31,6	31,9	31,6	31,6	31,6	31,3	31,2	31,2	31,1	31,0	30,8	30,3	29,4	28,5	27,9
	IntConf95+	41,3	37,7	36,0	34,9	34,2	33,6	33,4	33,1	33,1	33,3	33,6	33,2	33,1	33,0	32,4	32,3	32,2	32,2	31,9	31,8	31,1	29,9	29,0	28,3
	Desv.Pad.	38,8	30,1	24,5	20,4	18,8	16,8	15,5	14,4	13,8	14,1	13,6	12,9	12,2	11,4	9,5	8,9	8,6	8,3	7,9	7,4	6,1	4,6	3,6	2,8

Tabela D 3: Média e demais estatísticas da vazão de projeto (m³/s) para séries com magnitude de 0,10mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	10,2	10,3	10,3	10,4	10,5	10,6	10,6	10,7	10,8	10,8	10,9	11,0	11,1	11,2	11,5	11,7	11,7	11,8	12,0	12,3	13,0	14,8	16,5	18,2
	IntConf95-	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5	10,5	10,6	10,7	10,7	10,8	10,9	11,0	11,0	11,2	11,5	11,6	11,7	11,8	11,9	12,3	12,9	14,7	16,4	18,1
	IntConf95+	10,2	10,3	10,4	10,5	10,5	10,6	10,7	10,7	10,8	10,9	10,9	11,0	11,1	11,2	11,5	11,7	11,8	11,8	12,0	12,3	13,0	14,8	16,5	18,2
	Desv.Pad.	1,3	1,1	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,2	0,2
TR = 10 anos	Média	11,8	12,0	12,0	12,2	12,3	12,4	12,4	12,5	12,6	12,7	12,7	12,8	12,9	13,0	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	14,1	14,9	16,8	18,6	20,4
	IntConf95-	11,7	11,9	12,0	12,1	12,2	12,3	12,4	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,8	13,0	13,3	13,5	13,5	13,6	13,8	14,1	14,8	16,7	18,6	20,4
	IntConf95+	12,0	12,1	12,1	12,2	12,4	12,4	12,5	12,6	12,6	12,7	12,8	12,9	12,9	13,1	13,4	13,5	13,6	13,7	13,9	14,2	14,9	16,8	18,6	20,5
	Desv.Pad.	2,0	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3
TR = 25 anos	Média	14,4	14,5	14,6	14,8	15,0	15,0	15,1	15,2	15,3	15,3	15,4	15,5	15,6	15,7	16,0	16,1	16,2	16,3	16,4	16,7	17,4	19,2	21,0	23,0
	IntConf95-	14,2	14,4	14,5	14,7	14,8	14,9	15,0	15,1	15,2	15,2	15,3	15,4	15,5	15,6	15,9	16,0	16,1	16,2	16,3	16,6	17,3	19,1	21,0	22,9
	IntConf95+	14,6	14,7	14,8	14,9	15,1	15,2	15,2	15,3	15,4	15,4	15,5	15,6	15,6	15,8	16,1	16,2	16,3	16,3	16,5	16,8	17,5	19,2	21,1	23,0
	Desv.Pad.	3,5	2,9	2,6	2,3	2,1	2,0	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,6	0,6
TR = 50 anos	Média	16,7	16,9	16,9	17,1	17,3	17,4	17,4	17,5	17,6	17,7	17,7	17,8	17,9	18,0	18,2	18,3	18,4	18,4	18,5	18,8	19,3	20,9	22,7	24,6
	IntConf95-	16,4	16,6	16,7	16,9	17,1	17,2	17,3	17,4	17,5	17,5	17,6	17,7	17,7	17,9	18,1	18,2	18,3	18,3	18,4	18,7	19,3	20,9	22,6	24,6
	IntConf95+	17,1	17,1	17,2	17,4	17,5	17,6	17,6	17,7	17,8	17,8	17,9	17,9	18,0	18,1	18,3	18,4	18,5	18,5	18,6	18,9	19,4	21,0	22,7	24,7
	Desv.Pad.	5,4	4,4	4,0	3,6	3,3	3,1	2,9	2,7	2,5	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	1,9	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,3	1,1	0,9	0,8
TR = 100 anos	Média	19,6	19,7	19,7	19,9	20,1	20,1	20,1	20,2	20,3	20,3	20,4	20,4	20,5	20,5	20,7	20,7	20,7	20,8	20,9	21,0	21,4	22,6	24,2	26,1
	IntConf95-	19,1	19,2	19,3	19,6	19,8	19,8	19,9	20,0	20,1	20,1	20,1	20,2	20,3	20,4	20,5	20,5	20,6	20,6	20,7	20,9	21,3	22,5	24,1	26,0
	IntConf95+	20,1	20,1	20,1	20,2	20,4	20,4	20,4	20,5	20,6	20,6	20,6	20,6	20,7	20,7	20,8	20,9	20,9	21,0	21,0	21,1	21,5	22,7	24,3	26,1
	Desv.Pad.	8,4	6,7	6,1	5,6	5,1	4,7	4,3	4,1	3,9	3,7	3,6	3,5	3,3	3,1	2,8	2,7	2,6	2,6	2,5	2,3	1,9	1,5	1,2	1,0
TR = 1,000 anos	Média	36,6	34,6	33,9	33,9	34,0	33,5	33,2	33,1	33,0	32,7	32,5	32,5	32,3	32,0	31,2	30,9	30,7	30,6	30,3	29,8	28,7	28,0	28,5	29,9
	IntConf95-	34,6	33,1	32,4	32,5	32,8	32,4	32,3	32,2	32,2	31,9	31,8	31,7	31,6	31,3	30,7	30,4	30,3	30,2	29,8	29,4	28,4	27,8	28,4	29,8
	IntConf95+	38,7	36,2	35,4	35,2	35,1	34,5	34,2	34,0	33,8	33,5	33,3	33,2	33,0	32,6	31,7	31,4	31,2	31,1	30,7	30,2	29,0	28,2	28,7	30,0
	Desv.Pad.	33,8	24,9	24,0	21,3	19,1	16,7	15,3	14,4	13,3	12,5	11,9	11,4	10,9	9,9	8,4	8,0	7,8	7,5	7,1	6,5	4,7	3,2	2,3	1,8

Tabela D 4: Média e demais estatísticas da vazão de projeto (m³/s) para séries com magnitude de 0,20mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	10,3	10,5	10,6	10,8	10,9	11,0	11,2	11,3	11,5	11,6	11,7	11,9	12,1	12,4	13,0	13,4	13,5	13,7	14,1	14,7	16,4	19,9	23,3	26,8
	IntConf95-	10,2	10,4	10,5	10,7	10,8	11,0	11,1	11,3	11,4	11,6	11,7	11,9	12,0	12,4	13,0	13,4	13,5	13,7	14,0	14,7	16,4	19,8	23,3	26,8
	IntConf95+	10,4	10,5	10,7	10,8	10,9	11,1	11,2	11,3	11,5	11,6	11,8	11,9	12,1	12,4	13,1	13,4	13,6	13,7	14,1	14,7	16,4	19,9	23,3	26,8
	Desv.Pad.	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
TR = 10 anos	Média	12,0	12,2	12,3	12,5	12,6	12,8	12,9	13,1	13,2	13,4	13,5	13,7	13,9	14,2	14,9	15,3	15,5	15,6	16,0	16,7	18,5	22,4	26,3	30,3
	IntConf95-	11,9	12,1	12,3	12,5	12,6	12,7	12,9	13,0	13,2	13,3	13,5	13,7	13,8	14,2	14,9	15,2	15,4	15,6	16,0	16,7	18,5	22,3	26,3	30,3
	IntConf95+	12,1	12,3	12,4	12,6	12,7	12,9	13,0	13,1	13,3	13,4	13,6	13,8	13,9	14,3	15,0	15,3	15,5	15,7	16,0	16,7	18,6	22,4	26,3	30,3
	Desv.Pad.	2,0	1,6	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4
TR = 25 anos	Média	14,6	14,8	15,0	15,2	15,2	15,4	15,5	15,7	15,8	15,9	16,1	16,2	16,4	16,7	17,4	17,7	17,9	18,1	18,4	19,1	21,0	25,0	29,3	33,8
	IntConf95-	14,4	14,6	14,8	15,0	15,1	15,3	15,4	15,6	15,7	15,8	16,0	16,1	16,3	16,7	17,3	17,7	17,8	18,0	18,4	19,1	20,9	25,0	29,3	33,8
	IntConf95+	14,8	15,0	15,1	15,3	15,4	15,5	15,6	15,8	15,9	16,0	16,2	16,3	16,5	16,8	17,5	17,8	18,0	18,2	18,5	19,2	21,1	25,1	29,4	33,9
	Desv.Pad.	3,5	2,9	2,5	2,3	2,1	2,0	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5
TR = 50 anos	Média	17,1	17,2	17,3	17,5	17,5	17,7	17,8	17,9	17,9	18,1	18,2	18,3	18,5	18,8	19,4	19,6	19,8	19,9	20,3	20,9	22,7	26,7	31,2	36,0
	IntConf95-	16,8	16,9	17,1	17,3	17,3	17,5	17,6	17,7	17,8	17,9	18,0	18,2	18,3	18,6	19,2	19,5	19,7	19,8	20,2	20,8	22,6	26,7	31,2	35,9
	IntConf95+	17,4	17,5	17,6	17,7	17,7	17,9	17,9	18,0	18,1	18,2	18,3	18,5	18,6	18,9	19,5	19,8	19,9	20,0	20,4	21,0	22,7	26,8	31,3	36,0
	Desv.Pad.	5,5	4,5	4,0	3,6	3,3	3,1	2,9	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,3	2,2	2,0	1,9	1,8	1,8	1,6	1,5	1,3	1,0	0,8	0,7
TR = 100 anos	Média	20,2	20,1	20,2	20,3	20,2	20,3	20,3	20,3	20,4	20,5	20,5	20,6	20,7	20,9	21,4	21,6	21,7	21,8	22,1	22,6	24,2	28,2	32,8	37,8
	IntConf95-	19,7	19,7	19,8	19,9	19,9	20,0	20,0	20,1	20,1	20,2	20,3	20,4	20,5	20,8	21,2	21,4	21,5	21,7	22,0	22,5	24,1	28,1	32,8	37,7
	IntConf95+	20,7	20,6	20,6	20,6	20,5	20,6	20,6	20,6	20,6	20,7	20,8	20,8	20,9	21,1	21,6	21,8	21,8	22,0	22,2	22,7	24,3	28,3	32,9	37,8
	Desv.Pad.	8,6	7,1	6,2	5,5	5,1	4,7	4,4	4,1	3,9	3,8	3,6	3,5	3,4	3,2	2,8	2,6	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,3	1,0	0,9
TR = 1.000 anos	Média	39,4	36,4	35,2	34,2	33,3	32,8	32,1	31,6	31,1	30,9	30,6	30,3	30,1	29,7	29,0	28,6	28,5	28,4	28,3	28,1	28,7	31,9	36,6	41,8
	IntConf95-	36,9	34,5	33,6	32,9	32,1	31,7	31,1	30,7	30,3	30,1	29,9	29,6	29,4	29,1	28,5	28,2	28,1	28,0	27,9	27,8	28,4	31,8	36,5	41,8
	IntConf95+	41,8	38,4	36,7	35,5	34,5	33,8	33,1	32,5	31,9	31,7	31,3	30,9	30,7	30,2	29,4	29,0	28,9	28,7	28,6	28,4	28,9	32,1	36,7	41,9
	Desv.Pad.	39,6	31,0	25,5	21,2	18,9	16,6	15,5	14,0	12,9	12,3	11,7	10,9	10,1	9,1	7,5	6,8	6,5	6,2	5,6	4,6	3,4	2,2	1,7	1,4

Tabela D 5: Média e demais estatísticas da vazão de projeto (m³/s) para séries com magnitude de 0,30mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	10,3	10,6	10,8	11,1	11,3	11,5	11,8	12,0	12,2	12,5	12,7	13,0	13,2	13,7	14,7	15,2	15,5	15,7	16,2	17,3	19,9	25,1	30,4	35,7
	IntConf95-	10,2	10,5	10,8	11,0	11,2	11,5	11,7	12,0	12,2	12,4	12,7	12,9	13,2	13,7	14,7	15,2	15,4	15,7	16,2	17,2	19,8	25,1	30,3	35,6
	IntConf95+	10,4	10,6	10,9	11,1	11,3	11,6	11,8	12,0	12,3	12,5	12,7	13,0	13,2	13,7	14,7	15,2	15,5	15,8	16,3	17,3	19,9	25,1	30,4	35,7
	Desv.Pad.	1,3	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2
TR = 10 anos	Média	12,0	12,2	12,6	12,9	13,1	13,3	13,6	13,8	14,1	14,3	14,6	14,8	15,1	15,6	16,7	17,2	17,5	17,8	18,3	19,5	22,4	28,3	34,4	40,5
	IntConf95-	11,8	12,1	12,5	12,8	13,0	13,3	13,5	13,8	14,0	14,3	14,5	14,8	15,0	15,5	16,7	17,2	17,5	17,8	18,3	19,4	22,3	28,3	34,4	40,5
	IntConf95+	12,1	12,3	12,7	12,9	13,1	13,4	13,6	13,9	14,1	14,4	14,6	14,9	15,1	15,6	16,7	17,3	17,6	17,8	18,4	19,5	22,4	28,3	34,4	40,5
	Desv.Pad.	1,3	1,1	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
TR = 25 anos	Média	14,5	14,8	15,2	15,5	15,7	16,0	16,2	16,4	16,6	16,8	17,1	17,3	17,6	18,0	19,1	19,7	20,0	20,2	20,8	22,0	25,1	31,6	38,4	45,4
	IntConf95-	14,3	14,6	15,0	15,4	15,6	15,8	16,0	16,3	16,5	16,7	17,0	17,2	17,5	17,9	19,1	19,6	19,9	20,2	20,7	21,9	25,0	31,6	38,4	45,4
	IntConf95+	14,7	15,0	15,4	15,7	15,8	16,1	16,3	16,5	16,7	16,9	17,2	17,4	17,7	18,1	19,2	19,8	20,0	20,3	20,9	22,0	25,1	31,7	38,5	45,4
	Desv.Pad.	3,3	2,9	2,5	2,4	2,2	2,1	2,0	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	0,9	0,7	0,6
TR = 50 anos	Média	16,8	17,1	17,5	17,9	18,0	18,2	18,4	18,5	18,7	18,9	19,1	19,3	19,5	19,8	20,9	21,4	21,7	21,9	22,5	23,6	26,8	33,6	40,9	48,3
	IntConf95-	16,5	16,8	17,3	17,6	17,7	18,0	18,2	18,3	18,5	18,7	18,9	19,1	19,3	19,7	20,8	21,3	21,6	21,8	22,4	23,5	26,7	33,6	40,8	48,3
	IntConf95+	17,1	17,4	17,8	18,1	18,2	18,4	18,5	18,7	18,8	19,0	19,2	19,4	19,6	20,0	21,0	21,5	21,8	22,0	22,6	23,7	26,8	33,7	40,9	48,4
	Desv.Pad.	5,2	4,5	4,0	3,8	3,5	3,3	3,1	2,8	2,7	2,6	2,6	2,5	2,4	2,2	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	0,9	0,7	0,7
TR = 100 anos	Média	19,7	19,9	20,3	20,6	20,6	20,7	20,8	20,8	20,9	21,0	21,2	21,3	21,5	21,7	22,6	23,1	23,3	23,6	24,0	25,1	28,3	35,3	42,9	50,7
	IntConf95-	19,2	19,4	19,9	20,2	20,2	20,4	20,5	20,6	20,7	20,8	20,9	21,1	21,3	21,5	22,5	22,9	23,2	23,4	23,9	25,0	28,2	35,2	42,8	50,6
	IntConf95+	20,2	20,3	20,6	21,0	20,9	21,1	21,1	21,1	21,2	21,3	21,4	21,6	21,7	21,9	22,8	23,2	23,5	23,7	24,2	25,2	28,4	35,4	42,9	50,7
	Desv.Pad.	8,1	7,1	6,2	5,9	5,4	5,0	4,7	4,3	4,0	3,9	3,8	3,6	3,4	3,1	2,7	2,5	2,4	2,4	2,2	2,0	1,6	1,2	0,9	0,8
TR = 1,000 anos	Média	37,3	35,3	34,7	34,6	33,3	32,7	31,9	31,1	30,4	30,0	29,6	29,3	29,0	28,3	28,3	28,3	28,4	28,5	28,6	29,3	32,1	39,3	47,4	56,0
	IntConf95-	35,1	33,4	33,2	33,1	32,0	31,5	30,9	30,2	29,6	29,2	28,9	28,7	28,4	27,8	27,9	28,0	28,1	28,2	28,3	29,1	31,9	39,2	47,3	55,9
	IntConf95+	39,6	37,2	36,2	36,1	34,5	33,9	33,0	32,0	31,2	30,7	30,3	29,9	29,6	28,8	28,7	28,7	28,7	28,8	28,9	29,6	32,3	39,4	47,5	56,1
	Desv.Pad.	36,5	30,4	24,4	24,2	20,6	18,7	16,7	14,4	13,0	12,1	11,2	10,3	9,3	8,0	6,2	5,5	5,3	5,1	4,5	3,9	3,0	2,0	1,5	1,4

Tabela D 6: Média e demais estatísticas da vazão de projeto (m³/s) para séries com magnitude de 0,40mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	10,5	10,8	11,1	11,4	11,7	12,0	12,4	12,7	13,0	13,3	13,7	14,0	14,3	15,0	16,4	17,1	17,4	17,8	18,5	19,8	23,3	30,3	37,4	44,5
	IntConf95-	10,4	10,7	11,0	11,4	11,7	12,0	12,3	12,6	13,0	13,3	13,6	14,0	14,3	15,0	16,4	17,0	17,4	17,7	18,4	19,8	23,3	30,3	37,4	44,5
	IntConf95+	10,6	10,8	11,2	11,5	11,8	12,1	12,4	12,7	13,0	13,4	13,7	14,0	14,4	15,1	16,4	17,1	17,4	17,8	18,5	19,9	23,3	30,4	37,4	44,5
	Desv.Pad.	1,3	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2
TR = 10 anos	Média	12,2	12,5	12,9	13,2	13,5	13,8	14,2	14,5	14,9	15,2	15,6	15,9	16,3	17,0	18,5	19,3	19,6	20,0	20,8	22,4	26,3	34,3	42,6	50,8
	IntConf95-	12,0	12,4	12,8	13,1	13,4	13,8	14,1	14,4	14,8	15,2	15,5	15,9	16,2	17,0	18,5	19,2	19,6	20,0	20,8	22,3	26,3	34,3	42,5	50,8
	IntConf95+	12,3	12,6	13,0	13,3	13,6	13,9	14,2	14,6	14,9	15,3	15,6	16,0	16,3	17,1	18,6	19,3	19,7	20,1	20,8	22,4	26,3	34,4	42,6	50,8
	Desv.Pad.	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3
TR = 25 anos	Média	14,7	15,0	15,5	15,8	16,0	16,3	16,6	17,0	17,3	17,6	18,0	18,3	18,7	19,4	21,0	21,8	22,2	22,6	23,4	25,1	29,4	38,4	47,7	57,1
	IntConf95-	14,5	14,9	15,3	15,6	15,9	16,2	16,5	16,8	17,2	17,5	17,9	18,2	18,6	19,4	20,9	21,7	22,1	22,5	23,3	25,0	29,3	38,4	47,7	57,1
	IntConf95+	14,9	15,2	15,6	15,9	16,1	16,4	16,8	17,1	17,4	17,8	18,1	18,4	18,8	19,5	21,0	21,8	22,2	22,6	23,5	25,2	29,4	38,4	47,8	57,2
	Desv.Pad.	3,5	3,0	2,7	2,5	2,3	2,1	2,0	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,0	0,9	0,7	0,6	0,5
TR = 50 anos	Média	17,0	17,3	17,8	18,0	18,1	18,4	18,6	18,9	19,2	19,5	19,8	20,2	20,5	21,2	22,7	23,4	23,9	24,3	25,1	26,8	31,3	40,8	50,8	60,9
	IntConf95-	16,7	17,0	17,5	17,7	17,9	18,2	18,5	18,8	19,1	19,4	19,7	20,0	20,4	21,1	22,5	23,3	23,7	24,2	25,0	26,7	31,2	40,8	50,7	60,8
	IntConf95+	17,4	17,6	18,0	18,2	18,4	18,6	18,8	19,1	19,4	19,7	20,0	20,3	20,6	21,3	22,8	23,5	24,0	24,4	25,2	26,9	31,4	40,9	50,8	60,9
	Desv.Pad.	5,5	4,8	4,4	3,9	3,5	3,2	3,0	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,1	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6	1,4	1,1	0,9	0,7	0,6
TR = 100 anos	Média	20,0	20,1	20,5	20,5	20,6	20,6	20,8	21,0	21,3	21,5	21,7	22,0	22,3	22,9	24,2	25,0	25,4	25,8	26,6	28,4	32,9	42,8	53,3	63,9
	IntConf95-	19,4	19,6	20,0	20,2	20,2	20,3	20,5	20,8	21,0	21,2	21,5	21,8	22,1	22,7	24,1	24,8	25,2	25,6	26,5	28,2	32,8	42,8	53,2	63,8
	IntConf95+	20,5	20,6	20,9	20,9	20,9	20,9	21,1	21,3	21,5	21,7	21,9	22,2	22,5	23,0	24,4	25,1	25,5	25,9	26,8	28,5	33,0	42,9	53,4	63,9
	Desv.Pad.	8,7	7,6	6,8	6,0	5,4	4,8	4,4	4,1	3,9	3,7	3,5	3,3	3,1	2,9	2,5	2,3	2,2	2,2	2,0	1,8	1,4	1,1	0,9	0,8
TR = 1.000 anos	Média	37,7	35,4	34,5	33,1	31,8	30,6	30,0	29,5	29,2	28,8	28,5	28,4	28,4	28,3	28,9	29,4	29,7	30,0	30,8	32,3	36,8	47,3	58,9	70,6
	IntConf95-	35,3	33,3	32,8	31,7	30,6	29,6	29,1	28,7	28,5	28,1	27,9	27,9	27,9	27,9	28,6	29,1	29,4	29,7	30,5	32,1	36,6	47,2	58,8	70,5
	IntConf95+	40,1	37,4	36,2	34,6	33,0	31,6	30,9	30,3	29,9	29,4	29,1	28,9	28,9	28,7	29,2	29,7	30,0	30,3	31,0	32,5	36,9	47,5	59,0	70,7
	Desv.Pad.	38,6	32,8	27,8	22,7	19,4	16,0	14,1	12,4	11,2	10,1	9,2	8,4	7,8	6,7	5,3	4,8	4,5	4,2	3,9	3,4	2,5	1,8	1,5	1,3

**APÊNDICE E – DIÂMETROS DE TUBULAÇÕES NECESSÁRIOS PARA CONDUZIR
AS VAZÕES DE PROJETO**

Tabela E 1: Média e demais estatísticas do diâmetro de tubulação (m) para séries com magnitude de 0,01mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500	
TR = 5 anos	Média	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	
	IntConf95-	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9
	IntConf95+	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9
	Desv.Pad.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TR = 10 anos	Média	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0
	IntConf95-	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0
	IntConf95+	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0
	Desv.Pad.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TR = 25 anos	Média	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
	IntConf95-	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
	IntConf95+	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
	Desv.Pad.	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
TR = 50 anos	Média	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
	IntConf95-	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
	IntConf95+	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
	Desv.Pad.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
TR = 100 anos	Média	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
	IntConf95-	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
	IntConf95+	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
	Desv.Pad.	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
TR = 1,000 anos	Média	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
	IntConf95-	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
	IntConf95+	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7
	Desv.Pad.	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1

Tabela E 2: Média e demais estatísticas do diâmetro de tubulação (m) para séries com magnitude de 0,05mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0
	IntConf95-	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0
	IntConf95+	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0
	Desv.Pad.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TR = 10 anos	Média	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1
	IntConf95-	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1
	IntConf95+	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1
	Desv.Pad.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TR = 25 anos	Média	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3
	IntConf95-	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3
	IntConf95+	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3
	Desv.Pad.	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
TR = 50 anos	Média	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3
	IntConf95-	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3
	IntConf95+	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3
	Desv.Pad.	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
TR = 100 anos	Média	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4
	IntConf95-	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4
	IntConf95+	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4
	Desv.Pad.	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
TR = 1.000 anos	Média	2,8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6
	IntConf95-	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6
	IntConf95+	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7	2,6
	Desv.Pad.	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1

Tabela E 4: Média e demais estatísticas do diâmetro de tubulação (m) para séries com magnitude de 0,20mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500	
TR = 5 anos	Média	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6	
	IntConf95-	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6
	IntConf95+	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,6
	Desv.Pad.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TR = 10 anos	Média	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	
	IntConf95-	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	
	IntConf95+	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	
	Desv.Pad.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TR = 25 anos	Média	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8
	IntConf95-	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8
	IntConf95+	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8
	Desv.Pad.	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
TR = 50 anos	Média	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,6	2,7	2,9	
	IntConf95-	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,6	2,7	2,9	
	IntConf95+	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,6	2,7	2,9	
	Desv.Pad.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
TR = 100 anos	Média	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	
	IntConf95-	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	
	IntConf95+	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	
	Desv.Pad.	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
TR = 1.000 anos	Média	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	
	IntConf95-	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,8	2,9	3,1	
	IntConf95+	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1
	Desv.Pad.	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabela E 5: Média e demais estatísticas do diâmetro de tubulação (m) para séries com magnitude de 0,30mm/ano

Tamanho da serie		10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	100	110	115	120	130	150	200	300	400	500
TR = 5 anos	Média	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,5	2,7	2,9
	IntConf95-	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,5	2,7	2,9
	IntConf95+	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3	2,5	2,7	2,9
	Desv.Pad.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TR = 10 anos	Média	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,6	2,8	3,0
	IntConf95-	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,6	2,8	3,0
	IntConf95+	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,4	2,6	2,8	3,0
	Desv.Pad.	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TR = 25 anos	Média	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,8	3,0	3,2
	IntConf95-	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,8	3,0	3,1
	IntConf95+	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,5	2,8	3,0	3,2
	Desv.Pad.	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
TR = 50 anos	Média	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,2
	IntConf95-	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,2
	IntConf95+	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,2
	Desv.Pad.	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
TR = 100 anos	Média	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,9	3,1	3,3
	IntConf95-	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,9	3,1	3,3
	IntConf95+	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,9	3,1	3,3
	Desv.Pad.	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
TR = 1,000 anos	Média	2,7	2,7	2,7	2,8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8	3,0	3,2	3,4
	IntConf95-	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8	3,0	3,2	3,4
	IntConf95+	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	3,0	3,2	3,4
	Desv.Pad.	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0

**APÊNDICE F – RESULTADOS DO DESEMPENHO DA APLICAÇÃO DA
METODOLOGIA 1**

Tabela F 1: Avaliação do módulo do erro da metodologia 1 aplicada para TR igual a 5 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho da série (anos)										
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	
		Média do módulo do erro (mm)					Desvio padrão (mm)					
Vida útil = 30 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	97	50	41	39	32	77	44	35	30	20
		0,05	77	57	47	34	27	60	45	46	28	21
		0,10	81	55	56	37	30	68	50	44	29	24
		0,20	83	59	47	41	30	76	50	36	34	24
		0,30	86	64	58	41	30	69	54	44	35	25
		0,40	78	53	51	37	29	59	45	45	33	25
	Magn. reg. linear	0,01	69	38	26	13	6	34	17	13	6	3
		0,05	68	37	23	12	6	38	18	12	8	3
		0,10	66	35	23	13	5	35	19	11	7	3
		0,20	59	33	20	10	4	32	17	11	6	3
		0,30	62	32	19	9	4	36	18	11	7	3
		0,40	54	29	16	8	4	35	18	11	6	3
Vida útil = 50 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	162	83	69	65	54	127	73	57	49	33
		0,05	128	94	78	57	45	100	75	76	47	35
		0,10	134	90	92	62	50	113	83	73	48	39
		0,20	139	98	78	69	50	126	83	60	56	39
		0,30	143	107	96	69	50	113	90	72	59	42
		0,40	130	88	84	61	48	98	76	74	55	42
	Magn. reg. linear	0,01	116	63	43	23	11	55	28	22	10	5
		0,05	113	61	39	21	9	62	30	19	13	5
		0,10	109	58	38	21	8	57	30	18	11	5
		0,20	98	55	33	16	6	51	27	18	10	5
		0,30	103	53	31	15	6	57	29	17	11	5
		0,40	91	48	27	12	7	58	29	17	10	5
Vida útil = 100 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	323	166	137	130	107	252	145	114	99	66
		0,05	255	187	157	114	90	198	149	151	93	70
		0,10	267	180	184	123	100	225	165	145	96	79
		0,20	277	196	156	137	99	249	165	121	112	79
		0,30	286	212	191	137	99	225	179	144	117	84
		0,40	258	175	167	121	96	194	150	148	110	83
	Magn. reg. linear	0,01	231	126	85	45	21	108	54	42	20	10
		0,05	226	121	78	42	18	122	58	37	26	10
		0,10	217	115	75	41	16	112	58	34	21	9
		0,20	196	110	67	32	12	100	53	34	18	9
		0,30	205	106	62	29	12	112	56	33	20	9
		0,40	182	95	54	24	14	113	57	33	19	10

Tabela F 2: Avaliação do módulo do erro da metodologia 1 aplicada para TR igual a 10 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho da série (anos)										
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	
		Média do módulo do erro (mm)					Desvio padrão (mm)					
Vida útil = 30 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	97	50	41	39	33	78	44	35	30	20
		0,05	78	57	47	34	27	61	46	46	29	21
		0,10	81	54	56	38	30	67	50	44	29	24
		0,20	83	59	47	42	30	76	51	36	34	24
		0,30	85	65	57	41	30	69	54	44	35	25
		0,40	78	54	51	36	29	59	46	45	33	25
	Magn. reg. linear	0,01	69	38	27	14	7	36	19	14	8	4
		0,05	69	37	23	12	6	41	20	13	9	4
		0,10	66	34	23	13	5	38	21	13	8	3
		0,20	58	33	20	10	4	34	18	12	7	3
		0,30	61	32	19	9	4	38	20	12	7	3
		0,40	54	29	16	8	5	38	20	12	6	4
Vida útil = 50 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	162	83	69	65	54	128	72	57	49	33
		0,05	128	94	78	57	45	100	76	77	47	35
		0,10	134	90	92	62	50	113	83	73	48	39
		0,20	138	98	78	69	50	126	84	61	56	40
		0,30	143	107	95	68	49	114	90	73	59	42
		0,40	129	88	83	60	48	98	76	75	55	41
	Magn. reg. linear	0,01	115	63	44	23	11	57	29	23	11	6
		0,05	113	61	38	20	9	65	32	20	14	6
		0,10	108	57	38	21	8	60	32	20	12	5
		0,20	98	55	33	16	6	54	29	19	11	5
		0,30	102	53	31	15	6	60	31	19	11	5
		0,40	90	47	27	12	7	60	31	19	10	6
Vida útil = 100 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	323	166	137	130	107	253	145	114	99	66
		0,05	255	187	156	114	90	199	150	152	94	70
		0,10	267	180	184	123	100	225	165	145	96	79
		0,20	277	195	156	136	98	249	166	121	112	79
		0,30	284	212	190	136	98	226	179	144	117	84
		0,40	257	174	166	120	95	194	150	148	109	82
	Magn. reg. linear	0,01	231	126	86	46	21	111	56	44	21	11
		0,05	226	120	78	41	18	125	60	39	27	11
		0,10	217	115	74	41	16	115	60	36	22	10
		0,20	195	109	66	31	11	103	56	36	20	9
		0,30	204	105	61	28	12	115	59	35	21	9
		0,40	179	93	52	23	13	116	59	35	19	10

Tabela F 3: Avaliação do módulo do erro da metodologia 1 aplicada para TR igual a 25 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho da série (anos)										
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	
		Média do módulo do erro (mm)					Desvio padrão (mm)					
Vida útil = 30 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	96	50	42	40	33	79	44	35	30	20
		0,05	81	58	48	34	27	61	46	47	30	21
		0,10	83	54	56	38	31	67	51	44	29	24
		0,20	83	60	48	43	30	76	51	36	34	24
		0,30	86	66	58	42	31	70	54	44	35	26
		0,40	79	56	52	37	29	60	46	46	33	25
	Magn. reg. linear	0,01	68	38	28	15	7	41	23	17	9	5
		0,05	71	37	23	12	6	47	22	15	11	5
		0,10	66	34	23	14	6	42	25	17	10	4
		0,20	59	33	21	11	6	38	21	15	8	4
		0,30	61	33	20	12	6	42	23	15	9	4
		0,40	55	30	18	10	7	43	23	14	8	5
Vida útil = 50 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	162	82	71	66	54	129	72	57	49	34
		0,05	130	94	78	57	45	101	77	77	48	36
		0,10	135	90	93	63	51	113	83	73	48	39
		0,20	139	98	79	70	50	125	84	61	57	40
		0,30	144	108	96	69	50	115	91	73	59	42
		0,40	131	90	85	61	48	99	77	76	55	42
	Magn. reg. linear	0,01	115	63	46	24	11	62	33	26	14	7
		0,05	115	60	38	20	10	70	35	23	17	8
		0,10	109	57	38	22	9	65	36	24	15	7
		0,20	98	55	34	17	8	59	33	22	13	6
		0,30	102	55	32	17	8	65	35	22	13	6
		0,40	91	48	29	14	9	66	36	22	12	7
Vida útil = 100 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	322	165	139	131	108	255	145	114	98	66
		0,05	257	186	156	114	91	199	151	153	95	71
		0,10	269	180	185	124	101	225	166	145	96	79
		0,20	278	196	157	138	99	249	166	121	112	79
		0,30	285	213	191	137	99	226	179	145	118	84
		0,40	258	175	166	120	94	194	152	149	109	82
	Magn. reg. linear	0,01	230	127	88	47	21	116	60	47	24	13
		0,05	227	120	77	40	18	131	63	42	30	13
		0,10	218	115	74	42	16	121	65	41	25	11
		0,20	196	110	67	32	13	108	60	39	22	11
		0,30	204	107	62	29	13	120	63	39	24	10
		0,40	180	93	53	24	14	122	64	38	21	11

Tabela F 4: Avaliação do módulo do erro da metodologia 1 aplicada para TR igual a 50 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho da série (anos)										
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	
		Média do módulo do erro (mm)					Desvio padrão (mm)					
Vida útil = 30 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	97	51	43	41	34	80	44	35	30	20
		0,05	85	59	48	35	28	62	47	47	30	22
		0,10	86	55	57	40	31	67	52	44	29	24
		0,20	84	61	50	44	32	76	52	37	34	25
		0,30	88	68	59	44	32	71	54	44	35	26
		0,40	82	59	54	39	30	61	48	47	34	26
	Magn. reg. linear	0,01	68	39	31	17	8	46	27	21	11	6
		0,05	74	38	24	14	8	54	26	17	13	7
		0,10	68	35	24	17	9	48	29	20	12	6
		0,20	61	36	23	14	8	44	25	18	11	6
		0,30	63	35	23	15	8	47	27	18	11	6
		0,40	57	34	22	13	9	49	27	17	11	7
Vida útil = 50 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	162	83	72	67	55	131	71	57	49	34
		0,05	133	95	77	58	46	101	78	78	49	36
		0,10	137	90	93	64	51	113	84	73	48	40
		0,20	141	100	80	72	51	125	85	62	57	41
		0,30	146	111	97	71	52	116	91	73	59	43
		0,40	134	94	87	62	49	100	79	77	56	43
	Magn. reg. linear	0,01	115	64	49	25	12	67	39	31	17	9
		0,05	117	61	37	21	11	77	39	27	20	10
		0,10	110	58	38	24	11	72	41	29	18	8
		0,20	100	57	35	20	10	65	38	26	15	8
		0,30	104	57	35	20	10	71	40	27	16	8
		0,40	94	52	32	18	11	73	41	25	14	9
Vida útil = 100 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	323	166	140	132	109	256	146	115	98	66
		0,05	260	186	155	115	91	199	153	155	96	72
		0,10	271	181	186	127	102	225	167	145	96	79
		0,20	281	199	159	140	101	248	167	121	112	80
		0,30	289	217	193	139	101	227	179	145	118	85
		0,40	261	179	168	121	95	195	154	150	110	83
	Magn. reg. linear	0,01	231	128	91	48	22	121	66	52	28	16
		0,05	230	120	76	41	19	137	67	46	35	15
		0,10	220	116	75	44	18	128	71	47	28	13
		0,20	198	113	70	35	15	115	66	44	25	13
		0,30	207	110	65	32	16	126	68	44	27	12
		0,40	183	96	56	26	16	129	70	43	23	13

Tabela F 5: Avaliação do módulo do erro da metodologia 1 aplicada para TR igual a 100 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho da série (anos)										
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	
		Média do módulo do erro (mm)					Desvio padrão (mm)					
Vida útil = 30 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	98	53	45	43	36	83	45	37	31	21
		0,05	92	61	49	38	29	66	48	48	32	23
		0,10	91	57	60	42	33	68	54	45	31	24
		0,20	88	65	52	47	34	77	54	40	36	26
		0,30	92	73	61	47	34	74	55	46	36	27
		0,40	86	65	58	42	32	65	52	49	35	27
	Magn. reg. linear	0,01	69	43	35	21	11	54	33	26	15	8
		0,05	80	40	26	17	10	64	30	20	19	9
		0,10	72	39	28	20	11	57	35	25	16	8
		0,20	66	40	28	18	11	52	31	24	14	8
		0,30	68	40	28	19	11	54	33	23	15	9
		0,40	63	40	27	18	12	58	33	23	14	9
Vida útil = 50 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	164	85	75	69	56	133	71	58	50	35
		0,05	139	96	78	59	47	105	79	79	51	37
		0,10	140	92	95	67	53	114	86	74	49	40
		0,20	144	103	84	75	54	125	87	64	59	42
		0,30	151	117	101	75	55	118	93	75	59	44
		0,40	140	100	91	66	52	103	83	80	57	44
	Magn. reg. linear	0,01	117	66	54	28	15	76	46	38	22	12
		0,05	122	63	38	24	13	87	45	32	25	12
		0,10	113	60	41	28	14	82	48	35	21	11
		0,20	103	62	39	24	14	75	44	32	19	11
		0,30	109	62	40	25	14	79	48	33	20	11
		0,40	99	58	38	23	15	84	49	32	19	12
Vida útil = 100 anos	Magn. Eq. 3.3	0,01	324	167	143	133	110	259	146	116	99	67
		0,05	266	188	156	116	92	200	154	156	98	73
		0,10	277	183	189	130	105	225	169	145	96	79
		0,20	286	204	164	144	104	247	168	123	114	81
		0,30	295	224	198	144	104	228	180	146	119	85
		0,40	268	186	173	124	98	196	157	152	111	84
	Magn. reg. linear	0,01	232	130	95	51	24	130	74	60	34	20
		0,05	235	121	76	42	21	147	72	52	42	19
		0,10	223	118	77	48	22	139	80	55	33	16
		0,20	203	118	74	39	19	124	75	51	30	16
		0,30	213	116	71	38	20	136	76	52	32	16
		0,40	189	102	61	31	19	140	79	50	28	16

Tabela F 6: Desempenho da metodologia 1 para TR = 5 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho de série (anos)															
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	
		Média do Módulo do erro (mm)					Média da porc. de Erro					Erro padrão (mm)					
Vida útil 30 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	97	50	41	39	32	222%	117%	95%	90%	75%	124	66	54	49	38
		0,05	77	57	47	34	27	176%	128%	105%	77%	60%	98	72	66	44	34
		0,10	81	55	56	37	30	179%	120%	121%	80%	64%	105	74	71	47	38
		0,20	83	59	47	41	30	175%	125%	98%	83%	57%	112	77	59	53	38
		0,30	86	64	58	41	30	170%	126%	111%	77%	52%	110	84	72	54	39
		0,40	78	53	51	37	29	150%	99%	92%	63%	45%	98	70	67	49	38
	Magnit. Reg. linear	0,01	69	38	26	13	6	156%	88%	59%	31%	15%	77	42	29	15	7
		0,05	68	37	23	12	6	154%	82%	52%	27%	12%	78	41	26	15	6
		0,10	66	35	23	13	5	145%	76%	50%	27%	10%	74	39	26	14	6
		0,20	59	33	20	10	4	124%	68%	42%	19%	7%	67	37	23	11	5
		0,30	62	32	19	9	4	123%	63%	37%	17%	7%	71	37	22	11	5
		0,40	54	29	16	8	4	103%	53%	30%	13%	7%	65	34	20	10	6
Vida útil 50 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	162	83	69	65	54	374%	192%	160%	149%	123%	205	110	89	81	63
		0,05	128	94	78	57	45	287%	209%	173%	127%	99%	162	120	109	74	57
		0,10	134	90	92	62	50	287%	195%	196%	130%	103%	175	122	117	78	64
		0,20	139	98	78	69	50	277%	196%	154%	131%	90%	187	129	99	89	63
		0,30	143	107	96	69	50	265%	194%	171%	118%	80%	182	139	120	90	65
		0,40	130	88	84	61	48	224%	148%	138%	95%	69%	162	116	112	82	64
	Magnit. Reg. linear	0,01	116	63	43	23	11	264%	146%	99%	51%	24%	128	69	48	25	12
		0,05	113	61	39	21	9	251%	135%	86%	46%	20%	129	68	43	24	10
		0,10	109	58	38	21	8	232%	124%	81%	44%	16%	123	65	42	23	9
		0,20	98	55	33	16	6	197%	109%	65%	31%	11%	111	61	38	19	8
		0,30	103	53	31	15	6	190%	97%	56%	26%	10%	118	61	36	18	8
		0,40	91	48	27	12	7	156%	80%	45%	19%	10%	107	56	32	16	9
Vida útil 100 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	323	166	137	130	107	739%	381%	315%	298%	245%	408	220	178	163	126
		0,05	255	187	157	114	90	553%	404%	336%	245%	191%	322	238	217	147	114
		0,10	267	180	184	123	100	542%	365%	370%	243%	193%	348	243	234	156	127
		0,20	277	196	156	137	99	490%	342%	270%	230%	159%	372	256	197	176	126
		0,30	286	212	191	137	99	442%	324%	286%	199%	136%	363	277	239	180	130
		0,40	258	175	167	121	96	357%	238%	223%	155%	115%	322	230	223	163	127
	Magnit. Reg. linear	0,01	231	126	85	45	21	525%	289%	194%	103%	49%	255	137	95	50	23
		0,05	226	121	78	42	18	484%	259%	168%	89%	39%	256	134	86	49	21
		0,10	217	115	75	41	16	438%	233%	149%	81%	30%	244	129	82	46	18
		0,20	196	110	67	32	12	346%	191%	115%	53%	18%	220	122	75	37	14
		0,30	205	106	62	29	12	317%	162%	94%	42%	16%	234	120	70	36	15
		0,40	182	95	54	24	14	251%	128%	72%	31%	16%	214	110	64	30	17

Tabela F 7: Desempenho da metodologia 1 para TR = 10 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho de série (anos)																																										
		10					15					20					30					50																						
		Média do Módulo do erro (mm)															Média da porc. de Erro															Erro padrão (mm)												
Vida útil 30 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	97	50	41	39	33	187%	99%	81%	77%	64%	124	66	54	49	38																											
		0,05	78	57	47	34	27	153%	109%	90%	66%	52%	99	73	66	45	34																											
		0,10	81	54	56	38	30	154%	103%	104%	70%	55%	105	74	71	47	38																											
		0,20	83	59	47	42	30	150%	108%	85%	73%	50%	112	78	59	53	38																											
		0,30	85	65	57	41	30	147%	110%	96%	67%	45%	110	84	72	54	39																											
		0,40	78	54	51	36	29	131%	88%	81%	55%	40%	98	70	68	49	38																											
	Magnit. Reg. linear	0,01	69	38	27	14	7	130%	74%	51%	26%	13%	77	42	30	16	7																											
		0,05	69	37	23	12	6	133%	70%	43%	23%	11%	80	41	26	15	7																											
		0,10	66	34	23	13	5	124%	64%	42%	24%	9%	76	40	26	15	6																											
		0,20	58	33	20	10	4	106%	58%	36%	17%	7%	67	37	23	12	5																											
		0,30	61	32	19	9	4	105%	54%	31%	15%	6%	72	38	22	12	5																											
		0,40	54	29	16	8	5	89%	46%	26%	12%	7%	66	35	20	10	6																											
Vida útil 50 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	162	83	69	65	54	316%	162%	137%	128%	105%	206	110	90	82	63																											
		0,05	128	94	78	57	45	246%	179%	147%	108%	84%	162	120	109	74	57																											
		0,10	134	90	92	62	50	246%	167%	169%	113%	89%	175	122	117	78	64																											
		0,20	138	98	78	69	50	240%	170%	134%	115%	78%	186	129	99	89	63																											
		0,30	143	107	95	68	49	230%	171%	149%	103%	70%	182	139	120	90	65																											
		0,40	129	88	83	60	48	198%	131%	122%	84%	61%	162	116	112	81	63																											
	Magnit. Reg. linear	0,01	115	63	44	23	11	222%	123%	85%	44%	21%	129	69	49	25	12																											
		0,05	113	61	38	20	9	213%	114%	72%	38%	17%	130	68	43	25	11																											
		0,10	108	57	38	21	8	198%	106%	69%	38%	14%	124	66	42	24	10																											
		0,20	98	55	33	16	6	169%	94%	56%	26%	10%	111	62	38	19	8																											
		0,30	102	53	31	15	6	164%	85%	48%	22%	9%	118	62	36	19	8																											
		0,40	90	47	27	12	7	137%	70%	39%	17%	9%	108	56	33	16	9																											
Vida útil 100 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	323	166	137	130	107	627%	323%	268%	254%	208%	409	220	178	163	126																											
		0,05	255	187	156	114	90	474%	345%	287%	210%	164%	323	239	217	147	114																											
		0,10	267	180	184	123	100	470%	317%	322%	212%	168%	349	243	234	156	127																											
		0,20	277	195	156	136	98	430%	300%	237%	202%	139%	372	256	197	176	126																											
		0,30	284	212	190	136	98	388%	285%	252%	176%	119%	362	276	238	180	129																											
		0,40	257	174	166	120	95	315%	210%	196%	136%	100%	321	229	222	162	125																											
	Magnit. Reg. linear	0,01	231	126	86	46	21	443%	245%	166%	88%	41%	256	138	96	50	24																											
		0,05	226	120	78	41	18	413%	221%	142%	75%	33%	258	134	87	49	21																											
		0,10	217	115	74	41	16	379%	201%	129%	70%	26%	245	129	83	47	18																											
		0,20	195	109	66	31	11	302%	167%	100%	46%	16%	221	122	75	37	15																											
		0,30	204	105	61	28	12	278%	142%	81%	36%	14%	233	120	70	35	15																											
		0,40	179	93	52	23	13	220%	112%	62%	26%	13%	213	110	63	29	16																											

Tabela F 8: Desempenho da metodologia 1 para TR = 25 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho de série (anos)															
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	
		Média do Módulo do erro (mm)					Média da porc. de Erro					Erro padrão (mm)					
Vida útil 30 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	96	50	42	40	33	151%	82%	66%	64%	54%	124	66	54	50	39
		0,05	81	58	48	34	27	131%	91%	75%	55%	43%	101	74	66	45	35
		0,10	83	54	56	38	31	130%	85%	88%	59%	47%	106	74	71	48	39
		0,20	83	60	48	43	30	127%	92%	73%	63%	43%	112	79	60	54	39
		0,30	86	66	58	42	31	125%	95%	83%	58%	40%	111	85	72	55	40
		0,40	79	56	52	37	29	114%	79%	72%	49%	35%	99	73	69	50	39
	Magnit. Reg. linear	0,01	68	38	28	15	7	103%	61%	43%	23%	11%	79	44	33	18	9
		0,05	71	37	23	12	6	112%	57%	35%	19%	10%	85	43	27	16	8
		0,10	66	34	23	14	6	103%	52%	35%	22%	10%	79	42	28	17	8
		0,20	59	33	21	11	6	89%	50%	31%	17%	8%	70	40	26	14	7
		0,30	61	33	20	12	6	89%	47%	29%	16%	8%	74	40	25	15	7
		0,40	55	30	18	10	7	78%	43%	25%	13%	8%	69	38	23	13	8
Vida útil 50 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	162	82	71	66	54	258%	132%	113%	106%	87%	206	109	91	82	64
		0,05	130	94	78	57	45	206%	147%	120%	89%	70%	164	121	109	74	58
		0,10	135	90	93	63	51	205%	139%	142%	95%	76%	175	122	117	79	64
		0,20	139	98	79	70	50	204%	145%	116%	101%	68%	187	129	99	90	64
		0,30	144	108	96	69	50	198%	150%	129%	90%	62%	184	141	120	91	66
		0,40	131	90	85	61	48	175%	118%	109%	75%	54%	164	118	114	82	64
	Magnit. Reg. linear	0,01	115	63	46	24	11	179%	101%	72%	37%	17%	131	71	53	27	13
		0,05	115	60	38	20	10	175%	93%	58%	31%	15%	134	70	44	26	12
		0,10	109	57	38	22	9	164%	87%	57%	33%	14%	126	68	44	26	11
		0,20	98	55	34	17	8	144%	80%	48%	24%	11%	114	64	40	21	10
		0,30	102	55	32	17	8	140%	75%	43%	22%	10%	121	65	39	21	10
		0,40	91	48	29	14	9	121%	63%	37%	18%	10%	112	60	36	19	11
Vida útil 100 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	322	165	139	131	108	512%	264%	222%	209%	171%	410	220	179	163	126
		0,05	257	186	156	114	91	396%	286%	237%	175%	137%	324	239	218	148	115
		0,10	269	180	185	124	101	399%	268%	275%	181%	145%	350	244	234	157	128
		0,20	278	196	157	138	99	374%	262%	208%	177%	122%	372	257	198	177	127
		0,30	285	213	191	137	99	341%	253%	223%	156%	107%	364	278	239	180	130
		0,40	258	175	166	120	94	281%	188%	175%	122%	89%	322	231	223	162	125
	Magnit. Reg. linear	0,01	230	127	88	47	21	359%	202%	138%	74%	34%	258	140	100	52	25
		0,05	227	120	77	40	18	342%	181%	117%	61%	28%	262	135	87	51	22
		0,10	218	115	74	42	16	320%	169%	109%	61%	23%	249	132	85	49	20
		0,20	196	110	67	32	13	261%	147%	88%	41%	16%	224	125	78	39	17
		0,30	204	107	62	29	13	244%	127%	73%	34%	14%	237	124	73	38	17
		0,40	180	93	53	24	14	196%	101%	56%	24%	13%	217	113	65	31	18

Tabela F 9: Desempenho da metodologia 1 para TR = 50 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho de série (anos)																																										
		10					15					20					30					50																						
		Média do Módulo do erro (mm)															Média da porc. de Erro															Erro padrão (mm)												
Vida útil 30 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	97	51	43	41	34	131%	72%	58%	57%	48%	126	67	55	51	40	0,01	68	39	31	17	8	88%	55%	40%	23%	11%	82	48	37	21	10											
		0,05	85	59	48	35	28	120%	81%	66%	49%	38%	105	75	67	46	35	0,05	74	38	24	14	8	101%	51%	32%	18%	11%	91	45	29	19	10											
		0,10	86	55	57	40	31	118%	75%	79%	54%	42%	108	75	72	49	39	0,10	68	35	24	17	9	93%	47%	33%	22%	11%	83	45	32	20	10											
		0,20	84	61	50	44	32	115%	84%	67%	59%	40%	113	80	62	56	40	0,20	61	36	23	14	8	81%	47%	30%	18%	10%	75	43	29	18	10											
		0,30	88	68	59	44	32	114%	88%	76%	55%	38%	113	87	74	56	41	0,30	63	35	23	15	8	81%	45%	29%	18%	10%	79	44	29	18	10											
		0,40	82	59	54	39	30	107%	75%	68%	47%	34%	102	76	71	51	40	0,40	57	34	22	13	9	73%	43%	27%	16%	10%	75	43	28	17	11											
	Magnit. Reg. linear	0,01	162	83	72	67	55	224%	115%	100%	94%	76%	208	109	92	83	65	0,01	115	64	49	25	12	154%	88%	65%	34%	16%	133	75	57	30	15											
		0,05	133	95	77	58	46	184%	129%	104%	78%	62%	167	122	110	76	58	0,05	117	61	37	21	11	154%	82%	50%	28%	14%	140	72	46	29	14											
		0,10	137	90	93	64	51	182%	122%	127%	85%	68%	177	123	118	80	65	0,10	110	58	38	24	11	145%	77%	51%	31%	14%	131	71	48	30	14											
		0,20	141	100	80	72	51	184%	132%	106%	94%	64%	188	131	101	92	65	0,20	100	57	35	20	10	130%	74%	45%	25%	12%	119	68	44	25	13											
		0,30	146	111	97	71	52	181%	140%	119%	85%	59%	186	144	122	92	67	0,30	104	57	35	20	10	128%	71%	42%	24%	12%	126	70	44	26	13											
		0,40	134	94	87	62	49	165%	112%	104%	71%	52%	167	123	116	84	65	0,40	94	52	32	18	11	114%	62%	38%	20%	12%	119	66	41	23	14											
Vida útil 50 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	323	166	140	132	109	443%	229%	195%	183%	150%	411	220	181	164	127	0,01	231	128	91	48	22	309%	176%	123%	66%	30%	260	143	104	56	27											
		0,05	260	186	155	115	91	349%	250%	207%	154%	121%	327	240	219	149	116	0,05	230	120	76	41	19	300%	158%	101%	53%	25%	268	137	89	53	24											
		0,10	271	181	186	127	102	358%	240%	248%	164%	132%	352	246	235	159	129	0,10	220	116	75	44	18	286%	151%	98%	57%	23%	254	136	89	52	23											
		0,20	281	199	159	140	101	344%	242%	194%	165%	114%	374	259	200	179	129	0,20	198	113	70	35	15	240%	137%	83%	41%	17%	229	131	82	43	20											
		0,30	289	217	193	139	101	318%	238%	209%	148%	102%	367	281	242	183	132	0,30	207	110	65	32	16	228%	121%	71%	34%	16%	242	129	79	42	20											
		0,40	261	179	168	121	95	265%	180%	166%	115%	84%	325	235	225	163	126	0,40	183	96	56	26	16	186%	97%	56%	25%	14%	224	119	70	35	20											
	Magnit. Reg. linear	0,01	231	128	91	48	22	309%	176%	123%	66%	30%	260	143	104	56	27	0,01	231	128	91	48	22	309%	176%	123%	66%	30%	260	143	104	56	27											
		0,05	230	120	76	41	19	300%	158%	101%	53%	25%	268	137	89	53	24	0,05	230	120	76	41	19	300%	158%	101%	53%	25%	268	137	89	53	24											
		0,10	220	116	75	44	18	286%	151%	98%	57%	23%	254	136	89	52	23	0,10	220	116	75	44	18	286%	151%	98%	57%	23%	254	136	89	52	23											
		0,20	198	113	70	35	15	240%	137%	83%	41%	17%	229	131	82	43	20	0,20	198	113	70	35	15	240%	137%	83%	41%	17%	229	131	82	43	20											
		0,30	207	110	65	32	16	228%	121%	71%	34%	16%	242	129	79	42	20	0,30	207	110	65	32	16	228%	121%	71%	34%	16%	242	129	79	42	20											
		0,40	183	96	56	26	16	186%	97%	56%	25%	14%	224	119	70	35	20	0,40	183	96	56	26	16	186%	97%	56%	25%	14%	224	119	70	35	20											

Tabela F 10: Desempenho da metodologia 1 para TR = 100 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho de série (anos)															
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	
		Média do Módulo do erro (mm)					Média da porc. de Erro					Erro padrão (mm)					
Vida útil 30 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	98	53	45	43	36	115%	66%	52%	52%	44%	128	69	58	53	41
		0,05	92	61	49	38	29	112%	73%	60%	45%	34%	113	77	69	49	37
		0,10	91	57	60	42	33	108%	69%	72%	50%	39%	113	78	75	52	41
		0,20	88	65	52	47	34	106%	80%	63%	56%	39%	116	84	66	59	43
		0,30	92	73	61	47	34	106%	84%	71%	54%	38%	118	91	77	59	44
		0,40	86	65	58	42	32	102%	75%	67%	47%	33%	108	83	76	54	42
	Magnit. Reg. linear	0,01	69	43	35	21	11	77%	51%	39%	23%	12%	87	54	44	26	14
		0,05	80	40	26	17	10	95%	47%	31%	18%	12%	102	50	33	25	14
		0,10	72	39	28	20	11	86%	44%	32%	23%	13%	92	52	38	25	14
		0,20	66	40	28	18	11	77%	46%	32%	21%	12%	83	50	36	23	14
		0,30	68	40	28	19	11	77%	45%	31%	21%	12%	87	52	36	24	14
		0,40	63	40	27	18	12	72%	46%	30%	19%	12%	85	52	35	23	15
Vida útil 50 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	164	85	75	69	56	196%	102%	90%	84%	68%	210	110	95	85	66
		0,05	139	96	78	59	47	166%	115%	92%	70%	55%	173	124	111	78	60
		0,10	140	92	95	67	53	164%	109%	114%	78%	63%	181	126	120	83	66
		0,20	144	103	84	75	54	170%	123%	99%	89%	61%	190	135	105	95	68
		0,30	151	117	101	75	55	169%	134%	112%	82%	58%	191	149	125	95	70
		0,40	140	100	91	66	52	159%	111%	102%	70%	51%	173	130	121	87	68
	Magnit. Reg. linear	0,01	117	66	54	28	15	134%	79%	61%	33%	17%	139	81	65	35	19
		0,05	122	63	38	24	13	138%	73%	45%	27%	15%	149	77	49	34	18
		0,10	113	60	41	28	14	130%	70%	47%	32%	16%	139	77	54	35	18
		0,20	103	62	39	24	14	120%	71%	44%	28%	15%	128	76	50	31	17
		0,30	109	62	40	25	14	121%	70%	44%	27%	15%	135	78	52	32	18
		0,40	99	58	38	23	15	112%	64%	42%	24%	14%	130	75	50	29	19
Vida útil 100 anos	Magnit. Eq. 3.3 Hirsch	0,01	324	167	143	133	110	386%	201%	173%	161%	132%	413	221	184	166	128
		0,05	266	188	156	116	92	313%	221%	182%	137%	108%	332	242	220	152	117
		0,10	277	183	189	130	105	326%	218%	226%	151%	122%	356	249	238	162	131
		0,20	286	204	164	144	104	321%	229%	183%	157%	109%	377	264	205	183	132
		0,30	295	224	198	144	104	302%	229%	201%	144%	99%	372	287	246	186	135
		0,40	268	186	173	124	98	256%	177%	162%	112%	82%	332	242	230	166	129
	Magnit. Reg. linear	0,01	232	130	95	51	24	268%	156%	111%	61%	28%	265	150	112	61	31
		0,05	235	121	76	42	21	267%	139%	88%	48%	24%	277	141	92	59	28
		0,10	223	118	77	48	22	260%	138%	90%	55%	25%	262	142	95	58	27
		0,20	203	118	74	39	19	226%	132%	82%	43%	20%	238	139	90	49	25
		0,30	213	116	71	38	20	218%	120%	73%	37%	18%	253	139	88	49	25
		0,40	189	102	61	31	19	181%	97%	57%	28%	16%	235	129	79	41	25

**APÊNDICE G – RESULTADOS DO DESEMPENHO DA APLICAÇÃO DA
METODOLOGIA 2**

Tabela G 1: Avaliação do módulo do erro da metodologia 2 aplicada para TR igual a 5 anos

Magnitude original (mm/ano)		Tamanho da série (anos)																								
		10					15					20					30					50				
		Média do módulo do erro (mm)					Desvio padrão (mm)																			
Vida útil = 30 anos	0,01	28	17	8	4	16	12	6	4	28	17	8	4	16	12	6	4	28	17	8	4	16	12	6	4	
	0,05	29	15	8	4	19	11	6	3	29	15	8	4	19	11	6	3	29	15	8	4	19	11	6	3	
	0,10	26	16	7	4	22	12	5	3	26	16	7	4	22	12	5	3	26	16	7	4	22	12	5	3	
	0,20	25	15	7	3	17	10	5	3	25	15	7	3	17	10	5	3	25	15	7	3	17	10	5	3	
	0,30	22	12	6	4	17	9	5	3	22	12	6	4	17	9	5	3	22	12	6	4	17	9	5	3	
	0,40	20	11	6	4	15	8	4	3	20	11	6	4	15	8	4	3	20	11	6	4	15	8	4	3	
Vida útil = 50 anos	0,01	47	28	14	6	24	18	8	5	47	28	14	6	24	18	8	5	47	28	14	6	24	18	8	5	
	0,05	47	26	14	6	31	17	10	5	47	26	14	6	31	17	10	5	47	26	14	6	31	17	10	5	
	0,10	43	26	12	6	36	19	8	4	43	26	12	6	36	19	8	4	43	26	12	6	36	19	8	4	
	0,20	42	24	11	5	27	16	8	4	42	24	11	5	27	16	8	4	42	24	11	5	27	16	8	4	
	0,30	37	19	10	5	28	15	8	4	37	19	10	5	28	15	8	4	37	19	10	5	28	15	8	4	
	0,40	34	17	9	6	25	13	6	5	34	17	9	6	25	13	6	5	34	17	9	6	25	13	6	5	
Vida útil = 100 anos	0,01	93	56	28	12	47	36	16	9	93	56	28	12	47	36	16	9	93	56	28	12	47	36	16	9	
	0,05	93	52	28	11	60	33	18	9	93	52	28	11	60	33	18	9	93	52	28	11	60	33	18	9	
	0,10	87	51	23	10	71	35	15	8	87	51	23	10	71	35	15	8	87	51	23	10	71	35	15	8	
	0,20	83	48	21	9	53	31	16	7	83	48	21	9	53	31	16	7	83	48	21	9	53	31	16	7	
	0,30	72	37	19	10	54	28	16	8	72	37	19	10	54	28	16	8	72	37	19	10	54	28	16	8	
	0,40	66	33	16	11	47	25	12	8	66	33	16	11	47	25	12	8	66	33	16	11	47	25	12	8	

Tabela G 2: Avaliação do módulo do erro da metodologia 2 aplicada para TR igual a 10 anos

Magnitude original (mm/ano)		Tamanho da série (anos)																								
		10					15					20					30					50				
		Média do módulo do erro (mm)					Desvio padrão (mm)																			
Vida útil = 30 anos	0,01	43	24	13	6	28	20	10	5	43	24	13	6	28	20	10	5	43	24	13	6	28	20	10	5	
	0,05	41	21	11	6	32	17	9	5	41	21	11	6	32	17	9	5	41	21	11	6	32	17	9	5	
	0,10	38	22	11	6	37	21	9	5	38	22	11	6	37	21	9	5	38	22	11	6	37	21	9	5	
	0,20	35	21	10	5	28	15	8	4	35	21	10	5	28	15	8	4	35	21	10	5	28	15	8	4	
	0,30	33	19	11	6	28	16	9	5	33	19	11	6	28	16	9	5	33	19	11	6	28	16	9	5	
	0,40	31	17	9	6	26	14	7	5	31	17	9	6	26	14	7	5	31	17	9	6	26	14	7	5	
Vida útil = 50 anos	0,01	71	40	21	9	46	32	15	8	71	40	21	9	46	32	15	8	71	40	21	9	46	32	15	8	
	0,05	69	37	19	9	53	27	14	7	69	37	19	9	53	27	14	7	69	37	19	9	53	27	14	7	
	0,10	64	35	18	9	60	33	14	7	64	35	18	9	60	33	14	7	64	35	18	9	60	33	14	7	
	0,20	58	34	16	8	46	24	13	6	58	34	16	8	46	24	13	6	58	34	16	8	46	24	13	6	
	0,30	55	30	16	9	45	26	14	7	55	30	16	9	45	26	14	7	55	30	16	9	45	26	14	7	
	0,40	52	27	14	9	43	22	11	7	52	27	14	9	43	22	11	7	52	27	14	9	43	22	11	7	
Vida útil = 100 anos	0,01	141	79	42	18	90	63	28	14	141	79	42	18	90	63	28	14	141	79	42	18	90	63	28	14	
	0,05	136	74	38	17	103	53	27	14	136	74	38	17	103	53	27	14	136	74	38	17	103	53	27	14	
	0,10	127	70	35	17	117	61	26	12	127	70	35	17	117	61	26	12	127	70	35	17	117	61	26	12	
	0,20	116	68	31	14	91	47	24	11	116	68	31	14	91	47	24	11	116	68	31	14	91	47	24	11	
	0,30	107	59	30	15	88	49	26	12	107	59	30	15	88	49	26	12	107	59	30	15	88	49	26	12	
	0,40	102	52	26	17	83	43	20	12	102	52	26	17	83	43	20	12	102	52	26	17	83	43	20	12	

Tabela G 3: Avaliação do módulo do erro da metodologia 2 aplicada para TR igual a 25 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho da série (anos)									
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50
		Média do módulo do erro (mm)					Desvio padrão (mm)				
Vida útil = 30 anos	0,01	71	39	21	10	61	38	18	8		
	0,05	65	33	18	11	59	30	14	9		
	0,10	63	35	20	11	68	39	16	9		
	0,20	56	34	17	10	56	26	15	8		
	0,30	55	34	19	11	52	32	17	9		
	0,40	54	30	17	11	54	28	15	8		
Vida útil = 50 anos	0,01	117	64	35	15	99	61	28	12		
	0,05	108	56	29	16	97	48	23	13		
	0,10	105	57	31	17	110	60	26	13		
	0,20	93	54	27	15	91	41	24	12		
	0,30	91	55	30	16	86	52	26	13		
	0,40	88	48	26	17	88	45	22	12		
Vida útil = 100 anos	0,01	233	127	69	29	197	118	52	22		
	0,05	215	114	58	30	192	93	45	24		
	0,10	207	112	60	30	217	115	49	23		
	0,20	184	107	50	26	178	81	44	21		
	0,30	179	106	56	28	168	101	49	22		
	0,40	172	93	49	30	172	87	42	22		

Tabela G 4: Avaliação do módulo do erro da metodologia 2 aplicada para TR igual a 50 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho da série (anos)									
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50
		Média do módulo do erro (mm)					Desvio padrão (mm)				
Vida útil = 30 anos	0,01	107	55	31	15	96	59	27	11		
	0,05	91	47	26	16	89	44	21	14		
	0,10	94	51	30	17	102	60	25	14		
	0,20	83	48	26	16	90	40	24	13		
	0,30	82	52	30	16	82	53	27	14		
	0,40	82	47	27	17	87	46	24	13		
Vida útil = 50 anos	0,01	176	92	50	22	157	94	41	17		
	0,05	153	78	42	24	147	72	33	20		
	0,10	155	84	47	25	166	93	39	20		
	0,20	137	76	40	23	146	64	36	19		
	0,30	135	84	47	24	136	86	41	21		
	0,40	133	75	42	25	143	75	37	19		
Vida útil = 100 anos	0,01	349	184	99	42	313	180	77	32		
	0,05	305	158	82	43	290	139	66	38		
	0,10	306	164	90	46	328	179	75	37		
	0,20	273	150	76	41	286	125	67	34		
	0,30	267	164	86	43	266	165	76	37		
	0,40	262	144	78	45	277	144	68	34		

Tabela G 5: Avaliação do módulo do erro da metodologia 2 aplicada para TR igual a 100 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho da série (anos)									
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50
		Média do módulo do erro (mm)					Desvio padrão (mm)				
Vida útil = 30 anos	0,01	159	83	46	22	148	86	39	17		
	0,05	129	67	37	23	131	65	32	21		
	0,10	139	77	44	26	154	92	38	22		
	0,20	124	70	39	24	147	60	36	20		
	0,30	123	79	46	24	128	85	41	23		
	0,40	124	71	42	25	137	75	38	20		
Vida útil = 50 anos	0,01	261	139	73	32	242	136	61	25		
	0,05	217	111	60	34	217	105	49	32		
	0,10	226	125	69	38	253	144	59	32		
	0,20	203	110	60	35	238	96	54	29		
	0,30	204	127	70	36	212	136	63	33		
	0,40	201	114	64	37	225	121	58	30		
Vida útil = 100 anos	0,01	517	278	141	59	479	261	116	47		
	0,05	434	222	117	62	431	204	96	57		
	0,10	444	245	133	68	502	276	114	57		
	0,20	404	216	114	62	465	187	101	53		
	0,30	403	249	130	64	415	260	117	60		
	0,40	399	219	120	66	438	234	108	55		

Tabela G 6: Desempenho da metodologia 2 para TR = 5 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho de série (anos)												
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50			
		Média do Módulo do erro (mm)					Média da porc. de Erro					Erro padrão (mm)		
Vida útil 30 anos	0,01		28	17	8	4	65%	39%	19%	9%	32	21	10	5
	0,05		29	15	8	4	65%	34%	19%	9%	35	19	10	5
	0,10		26	16	7	4	57%	35%	16%	8%	34	20	9	5
	0,20		25	15	7	3	52%	30%	14%	7%	30	18	9	4
	0,30		22	12	6	4	43%	23%	12%	6%	28	15	8	5
	0,40		20	11	6	4	38%	19%	10%	6%	25	13	7	5
Vida útil 50 anos	0,01		47	28	14	6	108%	65%	32%	14%	53	34	16	8
	0,05		47	26	14	6	105%	57%	31%	13%	57	31	17	8
	0,10		43	26	12	6	93%	56%	25%	12%	57	32	15	7
	0,20		42	24	11	5	82%	47%	21%	9%	50	29	14	6
	0,30		37	19	10	5	67%	34%	17%	9%	46	24	13	7
	0,40		34	17	9	6	56%	28%	14%	9%	42	21	11	8
Vida útil 100 anos	0,01		93	56	28	12	213%	128%	65%	27%	104	66	32	15
	0,05		93	52	28	11	201%	113%	59%	24%	111	62	33	14
	0,10		87	51	23	10	174%	103%	46%	20%	112	62	28	13
	0,20		83	48	21	9	144%	82%	35%	14%	98	57	26	11
	0,30		72	37	19	10	110%	56%	27%	14%	90	47	25	13
	0,40		66	33	16	11	90%	44%	21%	13%	81	41	20	14

Tabela G 7: Desempenho da metodologia 2 para TR = 10 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho de série (anos)													
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50				
		Média do Módulo do erro (mm)					Média da porc. de Erro					Erro padrão (mm)			
Vida útil 30 anos	0,01		43	24	13	6	83%	46%	24%	12%		51	31	16	8
	0,05		41	21	11	6	79%	40%	21%	12%		52	27	14	8
	0,10		38	22	11	6	72%	41%	21%	11%		53	30	14	8
	0,20		35	21	10	5	62%	37%	18%	9%		45	26	13	7
	0,30		33	19	11	6	55%	31%	17%	9%		43	25	14	7
	0,40		31	17	9	6	51%	27%	14%	9%		41	22	12	8
Vida útil 50 anos	0,01		71	40	21	9	137%	77%	41%	18%		84	51	26	12
	0,05		69	37	19	9	130%	69%	36%	17%		86	46	24	12
	0,10		64	35	18	9	119%	65%	33%	16%		88	48	23	11
	0,20		58	34	16	8	99%	58%	27%	13%		74	42	21	10
	0,30		55	30	16	9	87%	47%	25%	12%		71	40	21	11
	0,40		52	27	14	9	77%	39%	19%	12%		67	35	18	12
Vida útil 100 anos	0,01		141	79	42	18	274%	153%	82%	34%		167	101	50	22
	0,05		136	74	38	17	249%	136%	69%	31%		170	91	46	22
	0,10		127	70	35	17	223%	122%	60%	28%		173	93	44	21
	0,20		116	68	31	14	177%	103%	45%	20%		147	82	39	18
	0,30		107	59	30	15	145%	78%	39%	19%		138	77	40	19
	0,40		102	52	26	17	123%	61%	29%	18%		131	67	33	21

Tabela G 8: Desempenho da metodologia 2 para TR = 25 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho de série (anos)													
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	10	15	20	30
		Média do Módulo do erro (mm)					Média da porc. de Erro					Erro padrão (mm)			
Vida útil 30 anos	0,01		71	39	21	10	111%	58%	33%	16%		93	54	28	13
	0,05		65	33	18	11	100%	51%	28%	17%		87	44	23	14
	0,10		63	35	20	11	96%	53%	31%	17%		92	52	26	14
	0,20		56	34	17	10	82%	49%	25%	14%		79	42	23	13
	0,30		55	34	19	11	78%	47%	27%	14%		75	47	26	14
	0,40		54	30	17	11	75%	41%	22%	14%		76	41	23	14
Vida útil 50 anos	0,01		117	64	35	15	182%	99%	54%	24%		153	88	44	19
	0,05		108	56	29	16	167%	86%	45%	24%		145	74	37	21
	0,10		105	57	31	17	159%	86%	47%	24%		152	82	40	21
	0,20		93	54	27	15	132%	77%	38%	20%		129	68	36	19
	0,30		91	55	30	16	124%	72%	39%	19%		125	76	40	20
	0,40		88	48	26	17	113%	61%	32%	19%		124	66	35	21
Vida útil 100 anos	0,01		233	127	69	29	367%	198%	108%	46%		305	173	86	36
	0,05		215	114	58	30	323%	172%	88%	45%		287	147	73	38
	0,10		207	112	60	30	303%	164%	88%	42%		299	160	78	38
	0,20		184	107	50	26	243%	140%	64%	32%		256	134	67	34
	0,30		179	106	56	28	212%	124%	63%	30%		245	147	74	36
	0,40		172	93	49	30	185%	98%	49%	28%		243	127	64	37

Tabela G 9: Desempenho da metodologia 2 para TR = 50 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho de série (anos)					Tamanho de série (anos)					Tamanho de série (anos)				
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50	10	15	20	30	50
		Média do Módulo do erro (mm)					Média da porc. de Erro					Erro padrão (mm)				
Vida útil 30 anos	0,01		107	55	31	15		142%	70%	41%	20%		143	80	41	19
	0,05		91	47	26	16		120%	61%	34%	21%		127	64	33	21
	0,10		94	51	30	17		122%	68%	40%	22%		138	79	39	22
	0,20		83	48	26	16		106%	62%	33%	19%		122	62	35	20
	0,30		82	52	30	16		102%	64%	37%	19%		116	74	40	22
	0,40		82	47	27	17		101%	57%	32%	19%		119	66	36	22
Vida útil 50 anos	0,01		176	92	50	22		232%	121%	67%	30%		235	131	65	28
	0,05		153	78	42	24		202%	103%	56%	31%		211	106	53	31
	0,10		155	84	47	25		204%	110%	62%	33%		227	125	61	33
	0,20		137	76	40	23		171%	95%	50%	28%		200	99	54	29
	0,30		135	84	47	24		166%	100%	55%	27%		192	120	62	32
	0,40		133	75	42	25		155%	87%	46%	26%		194	106	56	32
Vida útil 100 anos	0,01		349	184	99	42		470%	245%	136%	56%		467	257	126	53
	0,05		305	158	82	43		397%	207%	108%	56%		419	210	105	57
	0,10		306	164	90	46		396%	213%	116%	57%		447	242	117	59
	0,20		273	150	76	41		326%	178%	88%	46%		395	195	101	53
	0,30		267	164	86	43		294%	176%	91%	43%		376	232	115	56
	0,40		262	144	78	45		262%	141%	73%	40%		381	203	103	56

Tabela G 10: Desempenho da metodologia 2 para TR = 100 anos

	Magnitude original (mm/ano)	Tamanho de série (anos)														
		10	15	20	30	50	10	15	20	30	50					
		Média do Módulo do erro (mm)					Média da porc. de Erro					Erro padrão (mm)				
Vida útil 30 anos	0,01		159	83	46	22		180%	89%	51%	25%		216	119	60	27
	0,05		129	67	37	23		144%	76%	43%	27%		183	93	48	31
	0,10		139	77	44	26		153%	88%	51%	30%		207	120	58	34
	0,20		124	70	39	24		137%	78%	44%	26%		192	92	53	31
	0,30		123	79	46	24		134%	85%	50%	26%		178	116	61	33
	0,40		124	71	42	25		136%	78%	45%	26%		184	103	56	32
Vida útil 50 anos	0,01		261	139	73	32		293%	155%	83%	37%		354	194	95	40
	0,05		217	111	60	34		246%	127%	69%	39%		306	153	77	46
	0,10		226	125	69	38		255%	143%	79%	43%		339	190	91	50
	0,20		203	110	60	35		224%	121%	68%	38%		312	146	81	45
	0,30		204	127	70	36		226%	137%	75%	37%		294	186	94	49
	0,40		201	114	64	37		216%	121%	66%	35%		301	166	86	47
Vida útil 100 anos	0,01		517	278	141	59		598%	317%	168%	69%		702	380	183	76
	0,05		434	222	117	62		489%	255%	136%	70%		610	301	151	85
	0,10		444	245	133	68		509%	285%	152%	76%		668	368	175	89
	0,20		404	216	114	62		438%	234%	123%	65%		614	285	152	82
	0,30		403	249	130	64		413%	250%	128%	60%		578	360	175	87
	0,40		399	219	120	66		376%	203%	107%	55%		591	320	162	85

