



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ANDRÉ LUIS NOCÊRA MANSOUR

**ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL PARA
BACIAS URBANAS A PARTIR DA ANÁLISE DO HISTÓRICO
DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

ANDRÉ LUIS NOCÊRA MANSOUR

**ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL PARA
BACIAS URBANAS A PARTIR DA ANÁLISE DO HISTÓRICO
DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina para o título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Hemerson Donizete Pinheiro.

Londrina
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

M289e Mansour, André Luís Nocêra.

Estimativa do escoamento superficial para bacias urbanas a partir da análise do histórico de uso e ocupação do solo / André Luís Nocêra Mansour. - Londrina, 2019.
178 f.

Orientador: Hemerson Donizete Pinheiro.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

Inclui bibliografia.

1. Uso e ocupação do solo - Tese. 2. Urbanização - Tese. 3. Inundações Urbanas - Tese. 4. Escoamento Superficial - Tese. I. Pinheiro, Hemerson Donizete. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

CDU 62

ANDRÉ LUIS NOCÊRA MANSOUR

**ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL PARA BACIAS
URBANAS A PARTIR DA ANÁLISE DO HISTÓRICO DE USO E
OCUPAÇÃO DO SOLO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina para o título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Hemerson Donizete
Pinheiro
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof.^a Dr.^a Deize Dias Lopes
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Cristiano Poletto
Universidade Federal do Rio Grande do Sul –
UFRGS

Londrina, 08 de agosto de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me concedido saúde, sabedoria e resiliência para iniciar e concluir este trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Hemerson Dozinete Pinheiro, pela atenção, presteza e dedicação em conduzir esta dissertação da melhor maneira possível.

Aos professores da banca, pelo tempo disponibilizado para participar e auxiliar com sugestões e colocações fundamentais para a evolução deste trabalho.

Aos meus colegas de mestrado, em especial ao Lucas Aramayo Pereira, Luana Cristina Romero Palma e Luis Fernando Sequinel, pelo companheirismo e apoio em todos os momentos.

À minha querida esposa, Amanda Marques Terciotti Mansour, pelo seu carinho, incentivo e compreensão demonstrados durante todo o período que cursei o mestrado.

Aos meus pais, Aníbal Mansour e Silvana Lima Nocêra Mansour, que me incentivaram, desde os primeiros anos de vida, ao hábito da leitura e busca pelo conhecimento.

Aos amigos da Hidraluz Engenharia, especialmente aos Engenheiros Edson Nishioka e Ricardo Matoba, por todos os ensinamentos, tanto profissionais, quanto pessoais.

E a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão desta pesquisa.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo”. (Gandhi)

MANSOUR, André Luís Nocêra. **Estimativa do escoamento superficial para bacias urbanas a partir da análise do histórico de uso e ocupação do solo.** 2019. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

RESUMO

O crescimento da população urbana, em detrimento da população rural, observado nas últimas décadas, acarretou em um intenso e desordenado processo de urbanização em diversas cidades brasileiras. Este processo, de modo geral, amplia a área impermeabilizada, resultando em maiores volumes de escoamento superficial e, conseqüentemente, redução do tempo de concentração das bacias hidrográficas. Desta forma, este trabalho se propõe a obter, a partir da análise de imagens de satélites, informações sobre a evolução do uso e ocupação do solo, entre os anos de 1985 a 2015, das bacias hidrográficas inseridas no perímetro urbano do Município de Londrina/PR, para a implementação de modelos hidrológicos capazes de fornecer hidrogramas de escoamento superficial das referidas bacias. As imagens de satélite utilizadas neste trabalho são oriundas da série de satélites LANDSAT e foram obtidas, gratuitamente, no catálogo eletrônico do INPE. Através do *software* SPRING 5.2.2, realizou-se o recorte das bacias hidrográficas e, posteriormente, a classificação supervisionada por regiões, utilizando o algoritmo classificador *Bhattacharya*, a fim de obter a área ocupada por quatro temas pré-definidos: solo exposto, vegetação rasteira, vegetação densa e urbanização. Na seqüência, os valores de CN foram obtidos através de média ponderada, com base nas tabelas de CN do SCS para bacias urbanas e suburbanas. Logo após, obtiveram-se as curvas IDF para o município, a partir da equação analítica de intensidade pluviométrica desenvolvida por Fendrich (2011) e, finalmente, puderam-se traçar os hietogramas, utilizando o Método dos Blocos Alternados, e os hidrogramas de escoamento superficial, pelo Método do Hidrograma Unitário Sintético Curvilíneo do SCS e Convolução. As bacias hidrográficas, de modo geral, apresentaram baixa propensão às inundações, de acordo com sua caracterização morfológica. Os resultados obtidos após a análise das imagens de satélite demonstraram que todas as bacias sofreram um processo de urbanização e, conseqüentemente, aumento do CN médio no decorrer dos anos. Além disso, houve decréscimo do tempo de concentração, calculado através da fórmula de George Ribeiro (1961). A vazão de pico e o tempo de pico foram, respectivamente, aumentando e diminuindo com o decorrer dos anos, conforme ilustrado nos hidrogramas de escoamento superficial. Ademais, desenvolveram-se os hidrogramas de cheia para as bacias hidrográficas em sua condição de saturação da urbanização que, por sua vez, foi obtida através de correlação com a população de saturação, determinada pelo Método do Crescimento Logístico. Portanto, verificou-se que o modelo de urbanização tradicional observado nas bacias hidrográficas pode gerar conseqüências negativas aos sistemas de recursos hídricos, tanto à bacia em questão, quanto para as bacias hidrográficas localizadas a jusante.

Palavras-chave: Uso e ocupação do solo. Urbanização. Inundações urbanas. Escoamento superficial. Sensoriamento remoto.

MANSOUR, André Luís Nocêra. **Surface runoff estimation for urban basins from the analysis of the history of land use and occupation**. 2019. 180 p. Dissertation (Master's Degree in Civil Engineering) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

ABSTRACT

The growth of the urban population, to the detriment of the rural population, observed in the last decades, resulted in an intense and disorderly process of urbanization in several Brazilian cities. This process, in general, enlarges the waterproofed area, resulting in larger volumes of surface runoff and, consequently, reduction of the concentration time of the watersheds. In this way, this study proposes to obtain, from the satellite image analysis, information about the evolution of land use and occupation, between 1985 and 2015, of the watershed inserted in the urban perimeter of Londrina / PR, for the implementation of hydrological models capable of providing hydrographs of runoff from the referred basins. The satellite images used in this work come from the LANDSAT satellite series and were obtained, free of charge, from the INPE electronic catalog. Through the software SPRING 5.2.2, it was possible to perform the watershed cut-out and, later, the supervised classification by regions, using the Bhattacharya classifier algorithm, in order to obtain the area occupied by four pre-defined themes: exposed soil, vegetation, dense vegetation and urbanization. Following, the CN values were obtained through a weighted average, based on SCS CN tables for urban and suburban basins. Then, the IDF curves for the municipality were obtained from the analytical rainfall equation developed by Fendrich (2011), and finally, the hyetograms could be drawn using the Alternate Blocks Method and the hydrographs of by the SCS and Convolution Curvilinear Synthetic Unitary Hydrographic Method. The watershed, in general, presented low propensity to flood, according to their morphological characterization. The results obtained after the analysis of the satellite images showed that all the basins underwent a process of urbanization and, consequently, an increase of the average CN over the years. In addition, there was a decrease in concentration time, calculated using the formula of George Ribeiro (1961). The peak flow and the peak time were, respectively, increasing and decreasing over the years, as shown in the runoff hydrographs. In addition, hydrographs were developed for the hydrographic basins in their saturation condition of the urbanization, which in turn was obtained by correlation with the saturation population, determined by the Logistic Growth Model. Therefore, it was verified that the traditional model of urbanization observed in the watershed can generate negative consequences for the water resources systems, both for the basin in question and for the watershed located downstream.

Palavras-chave: Land use and occupation. Urbanization. Urban floods. Surface runoff. Remote sensing.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Fórmulas desenvolvidas para determinação do tempo de concentração em bacias hidrográficas.....	33
Quadro 2	– Grupo de solos e características do solo	43
Quadro 3	– Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas na condição II de umidade antecedente do solo	44
Quadro 4	– Período de operação, câmera e resolução espacial de cada satélite da série LANDSAT.....	54
Quadro 5	– Imagens utilizadas	65
Quadro 6	– Legenda padrão para caracterização e determinação de cada tipo de ocupação do solo analisada	67
Quadro 7	– Ponderação de CN por tipo de utilização e cobertura do solo	69
Quadro 8	– Propensão a inundações de cada bacia hidrográfica, de acordo com a caracterização morfométrica	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Representação de um hidrograma de uma chuva típica e suas partes componentes.....	49
Figura 2 –	Fluxograma Geral com as principais atividades que foram desenvolvidas	58
Figura 3 –	Localização Geográfica da Área de Estudo	59
Figura 4 –	Bacias Hidrográficas da área de estudo	62
Figura 5 –	Mapas temáticos de uso e cobertura do solo da BHRJ para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.....	84
Figura 6 –	Mapas temáticos de uso e cobertura do solo da BHRLd para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.....	85
Figura 7 –	Mapas temáticos de uso e cobertura do solo da BHRLm para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.....	86
Figura 8 –	Mapas temáticos de uso e cobertura do solo da BHRCb para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.....	87
Figura 9 –	Mapas temáticos de uso e cobertura do solo da BHRCf para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015.....	88
Figura 10 –	Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRJ para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 com Tempos de Retorno (Tr) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos.....	96
Figura 11 –	Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRLd para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 com Tempos de Retorno (Tr) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos.....	97
Figura 12 –	Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRLm para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 com Tempos de Retorno (Tr) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos.....	98
Figura 13 –	Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRCb para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 com Tempos de Retorno (Tr) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos.....	99
Figura 14 –	Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRCf para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 com Tempos de Retorno (Tr) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos.....	100

Figura 15 –	Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRJ para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e para a condição de saturação (SAT), com Tempos de Retorno (Tr) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos	104
Figura 16 –	Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRLd para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e para a condição de saturação (SAT), com Tempos de Retorno (Tr) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos	105
Figura 17 –	Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRLm para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e para a condição de saturação (SAT), com Tempos de Retorno (Tr) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos	106
Figura 18 –	Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRCb para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e para a condição de saturação (SAT), com Tempos de Retorno (Tr) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos	107
Figura 19 –	Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRCf para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e para a condição de saturação (SAT), com Tempos de Retorno (Tr) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos	108

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Precipitação média mensal e anual da estação 2351003 (latitude 23° 18' e longitude 51° 09'), instalada em Londrina/PR, com dados obtidos entre os anos de 1976 e 2017	60
Gráfico 2	– Curvas de IDF para o Município de Londrina/PR, obtidas através da Equação para chuvas intensas, desenvolvida por Fendrich (2011)	70
Gráfico 3	– Variação temporal do uso e ocupação do solo da BHRJ	80
Gráfico 4	– Variação temporal do uso e ocupação do solo da BHRLd	80
Gráfico 5	– Variação temporal do uso e ocupação do solo da BHRLm	81
Gráfico 6	– Variação temporal do uso e ocupação do solo da BHRCb	81
Gráfico 7	– Variação temporal do uso e ocupação do solo da BHRCf	82
Gráfico 8	– Variação temporal dos valores de CN Médio das bacias hidrográficas	90
Gráfico 9	– Projeção de crescimento populacional urbano do município de Londrina/PR	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Intensidades pluviométricas para diversos Tempos de Retorno (Tr) e tempos de duração (td), obtidas através da equação para chuvas intensas, desenvolvida por Fendrich (2011)70
Tabela 2	– Correlações para obtenção do hidrograma unitário curvilíneo adimensional do Método SCS.....73
Tabela 3	– Dados morfométricos das bacias hidrográficas.....76
Tabela 4	– Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas.....77
Tabela 5	– Tempo de concentração, em minutos, de cada bacia hidrográfica e ano estudado.....78
Tabela 6	– Variação percentual do tempo de concentração, tomado os dados isoladamente para cada intervalo de anos78
Tabela 7	– Variação temporal dos valores de CN Médio das bacias hidrográficas.....89
Tabela 8	– Intensidade e alturas de precipitação para os diferentes cenários e anos estudados91
Tabela 9	– Vazões de pico dos hidrogramas de cheia da BHRJ para cada ano e tempo de retorno adotado92
Tabela 10	– Vazões de pico dos hidrogramas de cheia da BHRLd para cada ano e tempo de retorno adotado93
Tabela 11	– Vazões de pico dos hidrogramas de cheia da BHRLm para cada ano e tempo de retorno adotado93
Tabela 12	– Vazões de pico dos hidrogramas de cheia da BHRCb para cada ano e tempo de retorno adotado94
Tabela 13	– Vazões de pico dos hidrogramas de cheia da BHRCf para cada ano e tempo de retorno adotado94
Tabela 14	– População residente na área urbana do município de Londrina/PR101
Tabela 15	– Valores de Saturação da Urbanização e do CN Médio de cada bacia hidrográfica, obtidos para a população de saturação102
Tabela 16	– Tempos de concentração, em minutos, de cada bacia hidrográfica estudada, para a situação de saturação da urbanização.....102

Tabela 17 – Vazão de Pico, em m ³ /s, na condição de saturação das bacias hidrográficas, para tempos de retorno (Tr) de 5, 10, 25, 50 e 100 anos	103
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMC	Condições de umidade do solo (Método do SCS)
BHRCb	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cambé
BHRCf	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal
BHRJ	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jacutinga
BHRLd	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lindóia
BHRLm	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Limoeiro
BHRTB	Bacia Hidrográfica do Ribeirão Três Bocas
BHT	Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi
CBERS	Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CN	Curva Número
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
i	Intensidade pluviométrica
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade – Duração – Frequência
ITCG	Instituto de Terras, Cartografia e Geociências
LANDSAT	<i>Land Remote Sensing Satellite</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SPRING	Curva Número
SRTM	Missão Topográfica Radar <i>Shuttle</i>
t_c	Tempo de concentração da bacia hidrográfica
t_d	Tempo de duração da chuva
T_r	Tempo de retorno da chuva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	OBJETIVO GERAL	25
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
3.1	BACIA HIDROGRÁFICA.....	26
3.1.1	Caracterização Geomorfológica	27
3.1.2	Tempo de Concentração	31
3.2	PRECIPITAÇÃO PLUVIAL	34
3.3	INFILTRAÇÃO.....	38
3.4	ESCOAMENTO SUPERFICIAL	39
3.5	MODELOS HIDROLÓGICOS	41
3.5.1	Método do Soil Conservation Service (SCS)	42
3.5.2	Hidrograma.....	48
3.6	SENSORIAMENTO REMOTO	52
3.6.1	Satélites.....	53
3.6.2	Análise e Classificação de Imagens	54
4	MATERIAIS E MÉTODOS	57
4.1	ÁREA DE ESTUDO.....	59
4.1.1	Caracterização das Bacias Hidrográficas	62
4.2	OBTENÇÃO E ANÁLISE DE IMAGENS DE SATÉLITE	64
4.3	VALOR DA CURVA NÚMERO (CN)	67
4.4	CHUVA DE PROJETO.....	69
4.5	CONVERSÃO DOS HIETOGRAMAS EM HIDROGRAMAS	71
4.6	ANÁLISE DOS ESCOAMENTOS PREVISTOS PARA AS BACIAS HIDROGRÁFICAS E CONCEPÇÃO DE CENÁRIOS	74
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
5.1	CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	76
5.2	CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DE SOLO.....	79

5.3	OBTENÇÃO DO COEFICIENTE CN.....	89
5.4	HIETOGRAMAS E HIDROGRAMAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	90
5.5	CENÁRIOS FUTUROS	101
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	109
	REFERÊNCIAS.....	111
	APÊNDICES.....	117
	APÊNDICE A – Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRJ, com $Tr= 5$ anos	118
	APÊNDICE B - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRJ, com $Tr = 10$ anos	118
	APÊNDICE C - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRJ, com $Tr = 25$ anos	119
	APÊNDICE D - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRJ, com $Tr = 50$ anos	119
	APÊNDICE E - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRJ, com $Tr = 100$ anos	120
	APÊNDICE F - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRJ, com $Tr = 5$ anos	120
	APÊNDICE G - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRJ, com $Tr = 10$ anos	121
	APÊNDICE H - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRJ, com $Tr = 25$ anos	121
	APÊNDICE I - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRJ, com $Tr = 50$ anos	122
	APÊNDICE J - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRJ, com $Tr = 100$ anos	122
	APÊNDICE K - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRJ, com $Tr = 5$ anos	123
	APÊNDICE L - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRJ, com $Tr = 10$ anos	123

APÊNDICE M - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRJ, com $Tr = 25$ anos	124
APÊNDICE N - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRJ, com $Tr = 50$ anos	124
APÊNDICE O - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRJ, com $Tr = 100$ anos	125
APÊNDICE P - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRJ, com $Tr = 5$ anos	125
APÊNDICE Q - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRJ, com $Tr = 10$ anos	126
APÊNDICE R - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRJ, com $Tr = 25$ anos	126
APÊNDICE S - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRJ, com $Tr = 50$ anos	127
APÊNDICE T - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRJ, com $Tr = 100$ anos	127
APÊNDICE U - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRJ, com $Tr = 5$ anos.....	128
APÊNDICE V - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRJ, com $Tr = 10$ anos.....	128
APÊNDICE W - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRJ, com $Tr = 25$ anos.....	129
APÊNDICE X - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRJ, com $Tr = 50$ anos.....	129
APÊNDICE Y - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRJ, com $Tr = 100$ anos.....	130
APÊNDICE Z - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLd, com $Tr = 5$ anos	130
APÊNDICE AA - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLd, com $Tr = 10$ anos	131
APÊNDICE BB - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLd, com $Tr = 25$ anos	131
APÊNDICE CC - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLd, com $Tr = 50$ anos	132

APÊNDICE DD - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLd, com $Tr = 100$ anos	132
APÊNDICE EE - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLd, com $Tr = 5$ anos	133
APÊNDICE FF - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLd, com $Tr = 10$ anos	133
APÊNDICE GG - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLd, com $Tr = 25$ anos	134
APÊNDICE HH - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLd, com $Tr = 50$ anos	134
APÊNDICE II - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLd, com $Tr = 100$ anos	135
APÊNDICE JJ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLd, com $Tr = 5$ anos	135
APÊNDICE KK - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLd, com $Tr = 10$ anos	136
APÊNDICE LL - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLd, com $Tr = 25$ anos	136
APÊNDICE MM - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLd, com $Tr = 50$ anos	137
APÊNDICE NN - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLd, com $Tr = 100$ anos	137
APÊNDICE OO - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLd, com $Tr = 5$ anos	138
APÊNDICE PP - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLd, com $Tr = 10$ anos	138
APÊNDICE QQ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLd, com $Tr = 25$ anos	139
APÊNDICE RR - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLd, com $Tr = 50$ anos	139
APÊNDICE SS - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLd, com $Tr = 100$ anos	140
APÊNDICE TT - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLd, com $Tr = 5$ anos	140

APÊNDICE UU - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLd, com $Tr = 10$ anos.....	141
APÊNDICE VV - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLd, com $Tr = 25$ anos.....	141
APÊNDICE WW - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLd, com $Tr = 50$ anos.....	142
APÊNDICE XX - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLd, com $Tr = 100$ anos.....	142
APÊNDICE YY - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLm, com $Tr = 5$ anos	143
APÊNDICE ZZ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLm, com $Tr = 10$ anos	143
APÊNDICE AAA - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLm, com $Tr = 25$ anos	144
APÊNDICE BBB - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLm, com $Tr = 50$ anos	144
APÊNDICE CCC - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLm, com $Tr = 100$ anos	145
APÊNDICE DDD - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLm, com $Tr = 5$ anos	145
APÊNDICE EEE - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLm, com $Tr = 10$ anos	146
APÊNDICE FFF - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLm, com $Tr = 25$ anos	146
APÊNDICE GGG - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLm, com $Tr = 50$ anos	147
APÊNDICE HHH - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLm, com $Tr = 100$ anos	147
APÊNDICE III - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLm, com $Tr = 5$ anos	148
APÊNDICE JJJ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLm, com $Tr = 10$ anos	148
APÊNDICE KKK - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLm, com $Tr = 25$ anos	149

APÊNDICE LLL - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLm, com $Tr = 50$ anos	149
APÊNDICE MMM - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLm, com $Tr = 100$ anos	150
APÊNDICE NNN - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLm, com $Tr = 5$ anos	150
APÊNDICE OOO - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLm, com $Tr = 10$ anos	151
APÊNDICE PPP - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLm, com $Tr = 25$ anos	151
APÊNDICE QQQ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLm, com $Tr = 50$ anos	152
APÊNDICE RRR - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLm, com $Tr = 100$ anos	152
APÊNDICE SSS - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLm, com $Tr = 5$ anos.....	153
APÊNDICE TTT - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLm, com $Tr = 10$ anos.....	153
APÊNDICE UUU - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLm, com $Tr = 25$ anos.....	154
APÊNDICE VVV - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLm, com $Tr = 50$ anos.....	154
APÊNDICE WWW - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLm, com $Tr = 100$ anos	155
APÊNDICE XXX - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCb, com $Tr = 5$ anos	155
APÊNDICE YYY - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCb, com $Tr = 10$ anos	156
APÊNDICE ZZZ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCb, com $Tr = 25$ anos	156
APÊNDICE AAAA - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCb, com $Tr = 50$ anos.....	157
APÊNDICE BBBB - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCb, com $Tr = 100$ anos.....	157

APÊNDICE CCCC - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCb, com $Tr = 5$ anos	158
APÊNDICE DDDD - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCb, com $Tr = 10$ anos.....	158
APÊNDICE EEEE - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCb, com $Tr = 25$ anos.....	159
APÊNDICE FFFF - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCb, com $Tr = 50$ anos	159
APÊNDICE GGGG - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCb, com $Tr = 100$ anos.....	160
APÊNDICE HHHH - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCb, com $Tr = 5$ anos	160
APÊNDICE IIII - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCb, com $Tr = 10$ anos	161
APÊNDICE JJJJ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCb, com $Tr = 25$ anos	161
APÊNDICE KKKK - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCb, com $Tr = 50$ anos.....	162
APÊNDICE LLLL - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCb, com $Tr = 100$ anos	162
APÊNDICE MMMM - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCb, com $Tr = 5$ anos	163
APÊNDICE NNNN - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCb, com $Tr = 10$ anos.....	163
APÊNDICE OOOO - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCb, com $Tr = 25$ anos.....	164
APÊNDICE PPPP - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCb, com $Tr = 50$ anos.....	164
APÊNDICE QQQQ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCb, com $Tr = 100$ anos.....	165
APÊNDICE RRRR - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCb, com $Tr = 5$ anos.....	165
APÊNDICE SSSS - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCb, com $Tr = 10$ anos.....	166

APÊNDICE TTTT - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCb, com $Tr = 25$ anos	166
APÊNDICE UUUU - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCb, com $Tr = 50$ anos.....	167
APÊNDICE VVVV - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCb, com $Tr = 100$ anos.....	167
APÊNDICE WWWW - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCf, com $Tr = 5$ anos	168
APÊNDICE XXXX - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCf, com $Tr = 10$ anos	168
APÊNDICE YYYY - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCf, com $Tr = 25$ anos	169
APÊNDICE ZZZZ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCf, com $Tr = 50$ anos	169
APÊNDICE AAAAA - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCf, com $Tr = 100$ anos.....	170
APÊNDICE BBBBB - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCf, com $Tr = 5$ anos	170
APÊNDICE CCCCC - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCf, com $Tr = 10$ anos	171
APÊNDICE DDDDD - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCf, com $Tr = 25$ anos	171
APÊNDICE EEEEE - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCf, com $Tr = 50$ anos	172
APÊNDICE FFFFF - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCf, com $Tr = 100$ anos.....	172
APÊNDICE GGGGG - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCf, com $Tr = 5$ anos	173
APÊNDICE HHHHH - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCf, com $Tr = 10$ anos	173
APÊNDICE IIIII - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCf, com $Tr = 25$ anos	174
APÊNDICE JJJJJ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCf, com $Tr = 50$ anos	174

APÊNDICE KKKKK - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCf, com $Tr = 100$ anos.....	175
APÊNDICE LLLLL - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCf, com $Tr = 5$ anos	175
APÊNDICE MMMMM - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCf, com $Tr = 10$ anos.....	176
APÊNDICE NNNNN - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCf, com $Tr = 25$ anos	176
APÊNDICE OOOOO - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCf, com $Tr = 50$ anos	177
APÊNDICE PPPPP - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCf, com $Tr = 100$ anos.....	177
APÊNDICE QQQQQ - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCf, com $Tr = 5$ anos.....	178
APÊNDICE RRRRR - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCf, com $Tr = 10$ anos.....	178
APÊNDICE SSSSS - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCf, com $Tr = 25$ anos.....	179
APÊNDICE TTTTT - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCf, com $Tr = 50$ anos.....	179
APÊNDICE UUUUU - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCf, com $Tr = 100$ anos.....	180

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, considerado um país em desenvolvimento, possui taxa de crescimento populacional positiva, com o número de pessoas residentes na área urbana bastante superior aos da área rural. Em 1960, o número de pessoas vivendo na área rural era de 38.987.526 habitantes, enquanto os da área urbana eram de 32.004.817 habitantes, isto é, 54,9% da população brasileira residia na área rural (IBGE, 2010). Entretanto, no decorrer de 50 anos a situação inverteu-se de maneira drástica. No último censo realizado, em 2010, a população urbana alcançou 160.925.792 habitantes, enquanto a rural era de apenas 29.830.007, correspondendo a 15,6% da população total do país (IBGE, 2010).

O município de Londrina/PR, similar ao padrão brasileiro, apresenta uma taxa de crescimento absoluta da população urbana de 8.322,76 habitantes por ano, contra um decréscimo de 885,16 habitantes por ano da população residente na área rural, ao considerar um período de 50 anos, entre 1960 e 2010 (IBGE, 2010).

O crescimento da população residente no meio urbano acarreta na expansão da mancha urbana e no adensamento populacional, trazendo consequências negativas aos sistemas de recursos hídricos, tendo em vista que tal movimento ocorre, muitas vezes, de forma desordenada.

De acordo com Tucci (2001), de modo geral, a impermeabilização de uma determinada região em virtude de obras de engenharia resulta em maior volume de escoamento superficial com menor intervalo de tempo, apresentando como consequência direta a redução do tempo de concentração, que aumenta o risco de inundações no meio urbano.

Além disso, muitas áreas urbanas tornaram-se expostas às inundações em virtude da excessiva impermeabilização do solo, devido à ausência de sistemas adequados de drenagem e de regras mais rígidas para o uso e ocupação do solo e, em razão das ocupações irregulares das margens dos corpos hídricos que ocorrem, muitas vezes, por conta das condições sociais da população de baixa renda.

O município de Londrina/PR, por exemplo, tem apresentado, anualmente, principalmente entre os meses de dezembro e fevereiro, problemas de inundações decorrentes do grande volume de água direcionado às galerias de águas pluviais e, conseqüentemente, aos cursos d'água naturais e artificiais, como é o caso do sistema de lagos e canais que formam o Lago Igapó (CHANG, 2016), que

frequentemente transborda, causando danos ambientais, sociais e prejuízos financeiros ao município e à população.

Desta forma, para interromper o cenário atual de aumento da vazão acima da capacidade dos canais inseridos no meio urbano, não bastam apenas medidas estruturais, mas deve-se buscar a alteração de convenções políticas e sociais, como o planejamento do uso do solo, que influencia diretamente na geração de escoamento superficial (SARTORI; LOMBARDI NETO; GENOVEZ, 2005).

A partir de modelos hidrológicos é possível simular diferentes cenários e obter dados que possam auxiliar pesquisadores e legisladores no planejamento e formulação de leis que considerem, de forma adequada, os impactos do crescimento da urbanização sobre o sistema de drenagem dos municípios. Os modelos hidrológicos, de forma geral, permitem a determinação, de modo indireto, das parcelas de precipitação que irão infiltrar no solo ou escoar superficialmente. Em quais os resultados obtidos estão intimamente relacionados à ocupação, classe hidrológica e condições de umidade do solo.

Este trabalho se propõe a obter, a partir da análise de imagens de satélites, informações sobre o uso e ocupação do solo do Município de Londrina/PR e implementá-las em modelos hidrológicos capazes de fornecer hidrogramas de escoamento superficial das bacias urbanas inseridas na área de estudo. Para tanto, será utilizado o método desenvolvido por Chang (2016), o qual avaliou a evolução da malha urbana da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cambé aliada à simulação de crescimento populacional da região.

O modelo hidrológico a ser utilizado será o proposto pelo *Soil Conservation Service* (SCS), desenvolvido na década de 50, que possibilita a transformação de precipitação em vazão. Chang (2016) aplicou o método para determinação dos valores de CN, utilizado no modelo do SCS, a partir de dados da evolução da malha urbana. Assim, pretende-se obter os valores de escoamento superficial para cada uma das cinco bacias hidrográficas estudadas, a partir da alimentação do modelo com os dados obtidos pela análise histórica das imagens de satélite, que identificam a expansão da malha urbana e as previsões de desenvolvimento para a região, fornecendo subsídios para a revisão do Plano de Saneamento Urbano do município, no tocante à drenagem urbana.

2 OBJETIVO GERAL

Determinar hidrogramas de escoamento superficial, com base no Método do SCS, a partir da utilização de imagens de satélites para bacias hidrográficas inseridas em área urbana.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar as bacias hidrográficas inseridas na área urbana de Londrina/PR e obter informações acerca da classe hidrológica do solo de cada uma delas, a partir de consulta em literatura específica;
- Analisar e quantificar as mudanças do uso e cobertura do solo das bacias hidrográficas, através de análise de imagens de satélite;
- Obter a evolução do coeficiente CN de cada bacia hidrográfica, para cada ano, do período estudado;
- Simular cenários com diferentes chuvas de projeto, a partir da equação de Intensidade, Duração e Frequência (IDF) de Londrina/PR (FENDRICH, 2011);
- Obter os hidrogramas de escoamento superficial para cada bacia hidrográfica, variando os tempos de retorno e tempo de duração da chuva, aliado ao CN médio obtido a partir das imagens dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2015;
- Obter os hidrogramas de escoamento superficial previstos para o cenário hipotético das bacias hidrográficas na condição de saturação da urbanização, estimada a partir da população de saturação do município.
- Sistematizar tais estudos, a partir do exemplo do Município de Londrina/PR, para aplicação em bacias hidrográficas urbanas em geral.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

De acordo com Finkler (2013), uma bacia hidrográfica é uma área de captação natural de água, delimitada por divisores topográficos e formada por um conjunto de superfícies vertentes, constituídas pela superfície do solo, e uma rede de drenagem, composta pelos cursos d'água que escoam até o ponto de saída – exutório. Este está situado na parte mais baixa do trecho do curso d'água principal.

Collischonn e Dornelles (2015) propõem que uma bacia hidrográfica seja imaginada como um sistema que transforma chuva em vazão, que envolve parâmetros que podem modificar o volume de água escoado superficialmente, uma vez que parte da chuva é infiltrada no solo ou pode retornar a atmosfera por evapotranspiração.

Banson e Ajabe (2018) consideram que uma bacia hidrográfica pode ser entendida como uma poderosa unidade de estudo e gerenciamento de recursos, como o solo e a água, que integra aspectos ecológicos, geográficos, geológicos e culturais da região, para mitigação do impacto de desastres naturais, visando o alcance do desenvolvimento sustentável.

O estudo da bacia hidrográfica é essencial no âmbito da engenharia hidráulica, pois as condições de uso e ocupação do solo, bem como a preservação dos recursos hídricos a montante, se refletem nas situações a jusante (CHANG, 2016).

Devido à importância das bacias hidrográficas, elas foram definidas como uma unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), por meio da Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Ademais, com o intuito de estabelecer uma base de dados referenciada por bacias hidrográficas, bem como para orientar, fundamentar e executar a PNRH, a Resolução nº 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 2003) dividiu o Brasil em várias regiões hidrográficas. Desta forma, no espaço interno de cada uma destas regiões existem características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares. O município de Londrina/PR, por exemplo, está localizado sobre a Região Hidrográfica do Paraná.

A bacia hidrográfica pode ser caracterizada fisiologicamente ou morfológicamente, para tanto são necessárias informações como área, comprimento, declividade e cobertura do solo da bacia, tais dados podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas ou imagens de satélite (TUCCI, 2001). Neste contexto, vale ressaltar que o advento do SIG (Sistema de Informações Geográficas) contribuiu amplamente para a obtenção das informações citadas, possibilitando o surgimento de diversos estudos envolvendo bacias hidrográficas (BANSON; AJABE, 2018).

3.1.1 Caracterização Geomorfológica

A geomorfologia trata das formas superficiais do relevo, abrangendo desde a sua fisionomia atual até o seu processo geológico e histórico de formação e transformação. Deste modo, uma análise geomorfológica de uma bacia hidrográfica deverá estabelecer uma relação entre as suas características fisiográficas e o comportamento da dinâmica hidrográfica da mesma (RODRIGUES *et al.*, 2016).

Conforme Banson e Ajabe (2018), os métodos morfológicos, apesar de sua simplicidade, têm sido utilizados amplamente para caracterização de terrenos, determinação de superfícies de erosão, análises de relações entre área-altura e avaliação de bacias de drenagem.

Segundo Kabite e Gessesse (2018), a morfometria aborda a mensuração e análise matemática das configurações superficiais, forma e dimensão do planeta. Assim, uma análise morfológica de uma dada bacia hidrográfica fornece informações acerca do seu comportamento hidrológico, bem como a descrição de sua topografia e geologia.

A importância da definição dos processos hidrológicos de uma bacia hidrográfica é evidente, pois eles controlam fortemente a distribuição espaço-temporal dos recursos hídricos (isto é, águas superficiais e subterrâneas) e, conseqüentemente, potenciais desenvolvimentos relacionados com recursos hídricos na bacia (KABITE; GESSESSE, 2018).

Em locais desprovidos de informações é possível estimar as variáveis hidrológicas de uma bacia hidrográfica através de relações indiretas, conforme afirma Tucci (2001). Isto demonstra que existe certa correspondência entre as características morfológicas da bacia hidrográfica e o regime hidrológico, como a

relação entre a captação de água e sua extensão e forma, ou a capacidade de infiltração de água no solo com o seu relevo e densidade de drenagem.

De acordo com Banson e Ajabe (2018), a caracterização morfológica de uma dada bacia hidrográfica fornece uma prévia de seu comportamento, uma vez que a resposta da bacia, frente a diferentes processos hidrológicos, varia em função de seus parâmetros fisiográficos, hidrológicos e geomorfológicos.

Os dados de geomorfologia de uma bacia hidrográfica podem ser obtidos por meio de diversas formas, variando desde cartas topográficas até modelos digitais de elevação (MDE), sendo estes os mais utilizados nas pesquisas atuais. Segundo Lins *et al.* (2006), o MDE consiste numa matriz com um valor de elevação em cada célula (*pixel*), que é utilizado para obtenção da declividade e curvatura do terreno, orientação de vertentes, direção do fluxo d'água, delimitação de bacias hidrográficas, entre outros. Entretanto, vale ressaltar que em áreas de topografia plana, talwegues e divisores de água, existe uma maior dificuldade na modelagem, resultando em um MDE inconsistente (MARION; SANTOS; HENDGES, 2015).

De acordo com Kabite e Gessesse (2018), a análise morfométrica de bacias hidrográficas é uma das aplicações típicas do MDE, tanto que eles utilizaram os dados SRTM em seu estudo, no qual puderam determinar parâmetros morfométricos de drenagem e caracterizar geomorfologicamente a bacia hidrográfica do Rio *Dhidhessa*, localizada na Etiópia. Os pesquisadores concluíram que o método adotado no estudo apresentou ótimo custo-benefício na caracterização da bacia, uma vez que tal localidade possuía poucas pesquisas relacionadas ao assunto e, em consequência, escassez de dados.

Marion, Santos e Hendges (2015) fizeram uma avaliação das informações disponíveis gratuitamente de MDE para uma região do município de Francisco Beltrão/PR. Para tanto, compararam dados obtidos de duas cartas topográficas fornecidas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), com escalas de 1:25.000 e 1:50.000; dados oriundos de interferometria resultantes da missão SRTM com resolução espacial de 90 metros; e MDE's do projeto Topodata (Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil), cuja resolução espacial é de 30m. O resultado do trabalho mostrou que o perfil mais próximo dos valores obtidos por aerofotogrametria, que são os valores de referência, foram os dados Topodata, pois permitem uma leitura mais fiel do relevo, tanto em morfologia, quanto em diferença altimétrica.

A Missão Topográfica Radar *Shuttle* (SRTM, em inglês) foi uma missão espacial levada a bordo do ônibus espacial Endeavour entre os dias 11 e 22 de fevereiro de 2000. Neste período, ele orbitou a Terra 176 vezes, coletando dados de, aproximadamente, 80% da superfície terrestre entre as coordenadas geográficas 60° de latitude norte e 56° de latitude sul. Os dados de elevação foram processados a partir de sinais de radar bruto de Banda-C, espaçados em intervalos de 1 segundo de arco, cerca de 30 metros para o território dos Estados Unidos e de 3 segundos de arco, aproximadamente 90 metros, para o restante do globo terrestre (USGS, 2015).

Embasado nos dados SRTM da Banca-C, citados acima, desenvolveu-se, no Brasil, o projeto Topodata, possibilitado através da interpolação, por krigagem, de 3 segundos de arco para 1 segundo de arco, disponibilizando, desta forma, variáveis de declividade, orientação de vertente, curvatura vertical e horizontal, entre outras variáveis para todo o país (VALERIANO, 2008).

A caracterização morfométrica quantitativa de bacias é considerada o principal método para análise das propriedades e gerenciamento das bacias hidrográficas, uma vez que ele permite o entendimento das relações entre diversos aspectos das mesmas, além de permitir a realização de um comparativo entre diferentes bacias de drenagem, originadas de vários regimes geológicos e climáticos (PINGALE *et al.*, 2012).

O fator de forma (K_f) indica a influência da forma da bacia hidrográfica na capacidade de retenção de água, tal parâmetro é obtido através da relação entre a área da bacia e o comprimento do curso d'água principal, conforme indicado na Equação 1. Valores de K_f superiores a 1,0 indicam que a bacia hidrográfica possui alta propensão a inundações, em contrapartida, valores inferiores a 0,5 demonstram baixa propensão a inundações (CHRISTOFOLETTI, 1981).

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

K_f : fator de forma (adimensional);

A: área da bacia (km²);

L: comprimento do talvegue (km);

O coeficiente de compacidade (K_c) relaciona a forma da bacia hidrográfica com um círculo, que resulta num valor adimensional, obtido através da relação entre o perímetro e a área, conforme se observa na Equação 2. O resultado de K_c classifica a propensão a inundações entre alta ($1,00 < K_c < 1,25$), média ($1,25 < K_c < 1,50$) e baixa ($K_c > 1,50$) (CHRISTOFOLETTI, 1981).

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{A^{1/2}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

K_c : coeficiente de compacidade (adimensional);

P: perímetro da bacia (km);

A: área da bacia (km²);

Outro índice importante na caracterização morfológica da bacia hidrográfica é o índice de circularidade (I_c), obtido através da Equação 3, que relaciona a área com o perímetro. Caso o valor resultante seja inferior a 0,51, significa que a bacia é mais circular, em consequência terá maior retenção de água e possuirá alta propensão a inundações, caso contrário, se o valor for superior a 0,51, tem-se uma bacia mais alongada, com baixa suscetibilidade a inundações (CHRISTOFOLETTI, 1981).

$$I_c = \frac{12,57 \cdot A}{P^2} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

I_c : índice de circularidade (adimensional);

A: área da bacia (km²);

P: perímetro da bacia (km);

Finalmente, tem-se a Densidade de Drenagem (D_d), expressa através da Equação 4, que relaciona o comprimento total dos rios com a área da bacia. Quanto maior a densidade de drenagem, maior será a velocidade com que a água atinge o rio, incrementando os efeitos de enchentes à jusante da bacia.

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

D_d : densidade de drenagem (Km.Km^{-2});

L_t : comprimento total dos cursos d'água (km);

A: área da bacia (km^2);

Bacias com um $D_d < 0,5 \text{ km.Km}^{-2}$ tem um sistema drenagem pobre. Bacias com drenagem regular exibem $0,5 \leq D_d < 1,5 \text{ km.Km}^{-2}$. Bacias com drenagem boa possuem $1,5 \leq D_d < 2,5 \text{ km.Km}^{-2}$. Bacias com drenagem muito boa apresentam $2,5 \leq D_d < 3,5 \text{ km.Km}^{-2}$ e bacias excepcionalmente bem drenadas são consideradas aquelas com $D_d \geq 3,5 \text{ km.Km}^{-2}$ (CHRISTOFOLETTI, 1981).

3.1.2 Tempo de Concentração

De acordo com Tomaz (2011), o tempo de concentração é o tempo necessário para que toda a bacia hidrográfica estudada esteja contribuindo para o escoamento superficial no seu exutório, tendo como principais variáveis o recobrimento vegetal e a distribuição da precipitação sobre a bacia.

Além disso, a declividade da bacia hidrográfica influencia fortemente na determinação do tempo de concentração, pois com baixa declividade, a velocidade de escoamento tende a ser menor, o que contribui para a ocorrência de infiltração quando comparado a outras bacias com solos de mesmas características, porém com declividades maiores (RODRIGUES *et al.*, 2016; WILKEN, 1978).

Ao considerar bacias urbanizadas, o tempo de concentração pode ser obtido a partir da soma do tempo de entrada, que corresponde ao tempo que uma gota d'água leva para atingir a extremidade de montante do conduto, a partir do ponto mais afastado da bacia e o tempo de percurso, isto é, o tempo gasto para que a mesma gota percorra todo o conduto desde a extremidade de montante até o ponto de concentração (WILKEN, 1978).

Para Rodrigues *et al.* (2016), a determinação do tempo de concentração da bacia hidrográfica em estudo deve ser a mais rigorosa possível, tendo em vista que se trata de uma variável fundamental para a compreensão do escoamento produzido na referida bacia.

O cálculo do tempo de concentração pode ser obtido por meio de métodos estritamente empíricos ou métodos semiempíricos. Os métodos estritamente

empíricos baseiam-se em volumosos dados estatísticos, buscando estabelecer uma relação entre o tempo de concentração e as características fisiográficas das bacias, já os métodos semiempíricos incluem ainda alguns parâmetros relacionados às características ocupacionais, permitindo uma análise diferenciada de cenários (MATA-LIMA; CARVALHO; GONÇALVES, 2007).

Diversas fórmulas para determinação do tempo de concentração foram desenvolvidas ao longo dos anos. Conforme Silveira (2005), elas foram elaboradas devido às necessidades práticas da engenharia, por isso a maioria possui um caráter altamente empírico e são essencialmente equações de regressão, obtidas com preceitos estatísticos precários, ademais, as variáveis mais frequentes em tais fórmulas são relativas ao tamanho da bacia, declividade e rugosidade.

Bohnen, Schuch e Bastos (2017) realizaram um estudo na bacia hidrográfica do Rio Vadik, que possui área de 5,27 Km² e perímetro igual a 11,65 Km, visando determinar a variação dos valores obtidos de tempo de concentração utilizando três diferentes métodos de cálculo, sendo eles: o do *Soil Conservation Service* (SCS), a da *Federal Aviation Administration* (FAA) e o de Kirpich. Os resultados apresentaram variações consideráveis de acordo com a fórmula utilizada. Os métodos do SCS e da FAA foram os que mais se aproximaram entre si, enquanto o de Kirpich foi o que mais diferiu, o que pode ser explicado devido à presença de variáveis relacionadas ao uso e ocupação do solo nos dois primeiros métodos.

Quadro 1 observam-se algumas fórmulas desenvolvidas para determinação do tempo de concentração, bem como as recomendações de utilização e o significado de cada termo presente nas equações.

Silveira (2005) comparou 23 fórmulas de tempo de concentração e verificou que, dentre elas, a fórmula proposta por George Ribeiro (1961), representada pela Equação 5, quando aplicada em áreas urbanas, apresentou um erro médio de 4% e um erro-padrão de 26%, valores considerados baixos quando comparados com outras metodologias. Vale ressaltar que a referida fórmula foi desenvolvida, originalmente, para aplicação em áreas rurais, contudo, os resultados do estudo mostraram que ela teve desempenho superior ao comparar-se com outras fórmulas desenvolvidas genuinamente para áreas urbanas.

Quadro 1 - Fórmulas desenvolvidas para determinação do tempo de concentração em bacias hidrográficas

FÓRMULA / EQUAÇÃO	PARÂMETROS	REGRAS DE UTILIZAÇÃO
Kirpich: $t_c = 0,019 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385}$	t_c = tempo de concentração (min); L= comprimento do talvegue (m); S= declividade do talvegue ($m \cdot m^{-1}$).	Utilizada em pequenas bacias ($0,5 \text{ km}^2$) com terrenos de declividade entre 3 e 10%.
Califórnia Culverts Practice: $t_c = 57 \cdot L^{1,155} \cdot H^{-0,385}$	t_c = tempo de concentração (min); L= comprimento do talvegue (km); H= diferença de cotas entre a saída da bacia e o ponto mais alto do talvegue (m).	Aplicada, geralmente, em bacias rurais para áreas maiores que 1 km^2 .
Federal Aviation Agency dos EUA: $t_c = 0,37 \cdot (1,1 - C) \cdot L^{0,5} \cdot S^{-0,333}$	t_c = tempo de concentração (min); C=coeficiente de escoamento do método racional; L= comprimento do talvegue (m); S= declividade média ($m \cdot m^{-1}$).	Válida para pequenas bacias onde o escoamento superficial sobre o solo predomina.
Schaake $t_c = 0,67 \cdot L^{0,24} \cdot S^{-0,16} \cdot \alpha^{-0,26}$	t_c = tempo de concentração (min) L= comprimento (m) S= declividade média ($m \cdot m^{-1}$) α = porcentagem impermeável (%)	Utilizada em bacias urbanas com área inferior a 70 ha.

Fonte: Tomaz (2011)

Grande parte das fórmulas existentes para a determinação do tempo de concentração foi elaborada para bacias rurais, portanto, maiores estudos ainda deverão ser realizados visando o incremento de fórmulas para bacias urbanas, bem como para bacias hidrográficas inseridas no território brasileiro, uma vez que a maioria delas foram desenvolvidas e aplicadas em outros países, cujas características de solo e de uso e ocupação são distintas das brasileiras.

$$t_c = \frac{16 * L_t}{(1,05 - 0,20 * p) * (100 * S_m)^{0,04}}$$

Equação 5

Onde:

t_c : tempo de concentração (minutos);

L_t : comprimento do talvegue (km);

S_m : declividade média da bacia ($m.m^{-1}$);

p : fração da área da bacia coberta por vegetação (adimensional);

3.2 PRECIPITAÇÃO PLUVIAL

A água está distribuída no planeta Terra em seus três estados físicos, sendo que a maior parte se encontra nos oceanos, na forma líquida. A transição entre os estados físicos e a movimentação da água pode ser explicada pelo ciclo hidrológico, que compreende as seguintes etapas: precipitação, escoamento superficial e subterrâneo, infiltração, evaporação e transpiração (PINTO *et al.*, 1976).

Segundo Finkler (2013), o ciclo hidrológico é um processo natural, dentro do qual a água sofre transformações físicas, transitando entre o meio terrestre, aquático e atmosférico.

De acordo com Collischonn e Dornelles (2015), a disponibilidade de água pode ser prejudicada em virtude das interferências humanas no ciclo hidrológico, como a ocorrência de vapor atmosférico, que pode ser alterada pela presença de reservatórios, pela modificação da cobertura vegetal ou por alterações climáticas causadas por gases do efeito estufa.

Ademais, o controle do uso e ocupação do solo é fundamental para a ocorrência natural de água. Ações antrópicas, como o desmatamento e urbanização, acarretam em alterações no ciclo hidrológico da água, pois reduzem a evapotranspiração e infiltração. Conseqüentemente, aumenta-se o escoamento superficial durante eventos chuvosos, ampliando a ocorrência de cheias e causando arraste de sedimentos e assoreamento de lagos e rios (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

De acordo com Pinto *et al.* (1976), a precipitação compreende toda a água oriunda da atmosfera que atinge a superfície terrestre, podendo ocorrer de diversas formas, tais como: chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. Dentre estas, como objeto de estudo da área de drenagem urbana, a forma mais importante é a chuva.

De acordo com Tucci (2001), tem-se basicamente três tipos de chuva: chuvas frontais ou ciclônicas, chuvas convectivas ou de verão e chuvas orográficas.

As chuvas frontais são formadas a partir do encontro entre massas de ar frias e quentes, uma vez que estas últimas se elevam em razão da baixa densidade, encontrando condições de temperatura e pressão menores que facilita a condensação da umidade existente. Estas chuvas atingem grandes áreas, apresentam baixa intensidade e grande duração, por isso são as responsáveis por inundações em grandes bacias hidrográficas (TUCCI, 2001).

As chuvas convectivas originam-se de um processo de convecção de ar úmido, que se forma em uma região restrita, em função de um gradiente de temperatura vertical. Atingem áreas restritas e são caracterizadas por terem grandes intensidades em um curto tempo de duração, sendo as responsáveis por inundações em pequenas bacias urbanas, como as que são objeto de estudo deste trabalho (TUCCI, 2001).

As chuvas orográficas são muito frequentes e incidem sobre regiões montanhosas, em virtude do deslocamento vertical de ventos úmidos. Podem ter de pequena a grande intensidade, pois o mecanismo de produção pode estar associado a outros tipos de chuva (TUCCI, 2001).

Para o estudo mais aprofundado do efeito das precipitações, faz-se necessário a quantificação do volume precipitado, o qual comumente é obtido através de dois aparelhos: o pluviômetro e o pluviógrafo. O primeiro mede a altura total de água precipitada por dia ou por chuva, já o segundo é mais sofisticado e consegue registrar a intensidade da chuva, isto é, a variação da chuva dentro de um intervalo de tempo (PINTO *et al.*, 1976).

Vale ressaltar que, de acordo com Damé *et al.* (2010), os dados de precipitação diária, obtidos através de pluviômetros, são mais facilmente encontrados do que os de pluviógrafos, uma vez que a maioria das cidades brasileiras possui maior quantidade de pluviômetros.

Deste modo, a partir de estudos estatísticos da distribuição de frequência de chuvas com mesma duração e diferentes alturas, pode-se obter uma equação para uma determinada região que relaciona Intensidade, Duração e Frequência (IDF). Adotando tal conceito, observa-se que quanto menor a duração da chuva, maior a chance de que ela tenha sido muito intensa, e que quanto mais frequente uma chuva, maior será a probabilidade de sua ocorrência (FENDRICH, 2011).

Fendrich (2011) ajustou a Equação 6 para o município de Londrina/PR, baseando-se em dados históricos observados entre 1975 e 1985, que permite obter a intensidade pluviométrica ao entrar com as seguintes variáveis: tempo de retorno (T_r), em anos, e tempo de duração (t_d), em minutos.

$$i = \frac{1636,44 * T_r^{0,148}}{(t_d + 17)^{0,858}}, \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

i = intensidade pluviométrica (mm.h^{-1});

T_r = tempo de retorno (anos);

t_d = tempo de duração (minutos).

Outro importante método que permite determinar a intensidade pluviométrica é a desagregação das máximas precipitações diárias, que relaciona a chuva máxima de 1 dia de cada ano, observada em pluviômetros, com a chuva de 24 horas, observada em pluviógrafos, e desta para tempos de duração menores a partir de coeficientes de desagregação disponibilizados pela literatura específica, os quais podem influenciar diretamente no resultado dependendo do coeficiente adotado. Na sequência, com o auxílio de distribuições de probabilidades, determina-se a frequência associada a essas precipitações e, finalmente, calculam-se os valores de precipitação para os períodos de retorno adotados.

Teodoro *et al.* (2014) realizaram um estudo visando determinar a influência da utilização de diferentes coeficientes de desagregação na elaboração das equações IDF para o município de Aquidauana/MS. Para tanto, utilizaram três diferentes famílias de coeficientes de desagregação, são eles: CETESB (1986), Silveira (2000) e Back, Oliveira e Henn (2012). Os resultados demonstraram que os valores propostos pelos dois últimos apresentaram 1,59% e 4,53%, respectivamente, de erro padrão de estimativa em relação aos valores de CETESB (1986), os quais são os mais utilizados em estudos realizados no Brasil.

Damé *et al.* (2010) realizaram um estudo comparando a chuva de projeto de Pelotas/RS, obtida através de uma equação pré-estabelecida por Goulart, Maestrini e Neibel (1992) para o município e, pela desagregação da precipitação diária através dos coeficientes desenvolvidos por CETESB (1986). Os resultados indicam que o escoamento superficial tende a ser superior ao adotar o segundo método, já que os

valores de vazão de pico apresentaram diferença de -12,6; -4,4; 21,8; 38,7; 54,3 e 58,2%, para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos, respectivamente, quando foi utilizada a relação IDF gerada pelo método da desagregação de precipitação diária em relação à equação analítica.

Chang (2016) comparou a intensidade de chuva do município de Londrina/PR, obtida pela equação de Fendrich (2011), com a determinada pela desagregação das chuvas máximas diárias. Os resultados demonstraram que pode haver diferença de até 28% na intensidade da chuva para um mesmo tempo de retorno e tempo de duração.

Além das variações no escoamento superficial, também existe uma grande variação na distribuição temporal das chuvas durante sua ocorrência. Deste modo, diversos modelos de distribuição foram desenvolvidos e são utilizados para geração de hietogramas, que representam, graficamente, a precipitação durante um determinado período de tempo, mostrando no eixo das ordenadas, as intensidades ou alturas de precipitação, e no eixo das abscissas os intervalos de tempo. Entre os modelos de distribuição mais utilizados, pode-se citar o Método dos Blocos Alternados e o Método de Huff.

Abreu (2013) realizou um estudo na bacia do Córrego do Gregório em São Carlos/SP, visando analisar os prejuízos decorrentes de inundações urbanas sob duas formas de distribuição temporal de chuva: Método dos Blocos Alternados, com pico de vazão na metade da duração da chuva, e Método de Huff, com pico no 1º Quartil. Os resultados indicaram que os prejuízos financeiros causados pela chuva, ao considerar o Método dos Blocos Alternados, foram cerca de 6,9 vezes superiores quando comparados aos encontrados pelo Método de Huff 1º Quartil.

Os resultados obtidos por Abreu (2013) podem ser esclarecidos por Brandão, Rodrigues e Costa (2001), ao explicarem que uma chuva com pico de intensidade concentrado no final do evento deverá originar um escoamento superficial maior ao comparar com outra cuja intensidade máxima se concentre no início. Tal diferença ocorre em virtude das perdas iniciais, pois se o pico da precipitação ocorrer no final do evento, todo o volume da chuva será transformado em escoamento superficial, tendo em vista que as perdas iniciais já foram satisfeitas nas primeiras chuvas. Em contrapartida, com o pico ocorrendo no início do evento, parte desta precipitação irá compor as perdas iniciais, provocando uma vazão menor quando comparado à primeira situação.

3.3 INFILTRAÇÃO

De acordo com Collischonn e Dornelles (2015), a infiltração da água no solo ocorre devido à ação da gravidade ao possibilitar que o líquido caminhe pelos vazios do solo, por percolação, até atingir uma camada pouco permeável. Este fenômeno é importante para o crescimento dos vegetais, recarga dos aquíferos, armazenamento da água que mantém o fluxo dos rios no período de estiagem e, no âmbito da drenagem urbana, a redução do escoamento superficial, das cheias e da erosão do solo.

Segundo Tucci (2001), a infiltração trata-se, basicamente, do processo de passagem de água da superfície para o interior do solo e, para tanto, tem como principais variáveis a quantidade de água disponível para infiltrar, a natureza e estado do solo e as quantidades de água e ar presentes na sua camada interna. Durante a ocorrência da precipitação, as camadas superiores do solo se umedecem de cima para baixo, alternando gradativamente o perfil de umidade, entretanto, uma vez cessado o aporte superficial de água, a umidade no interior do solo irá se redistribuir, evoluindo para um perfil de umidade inverso, com menores teores de umidade na superfície e maiores nas camadas mais profundas.

Conforme Kemerich *et al.* (2014), diversas variáveis influenciam na quantificação do processo de infiltração, dentre elas pode-se citar a classe hidrológica do solo, as propriedades físicas e o seu manejo inadequado. Desta forma, alterações em qualquer uma destas características pode acarretar em mudanças nos volumes infiltrados.

Wilken (1978) informa que a maioria dos solos possui capacidade de infiltração extremamente variável, sendo o seu valor resultado da interação entre diversos fatores, tais como: espessura da camada saturada, umidade e macroestrutura do solo, compactação devido à chuva ou à urbanização, infiltração de materiais finos e cobertura vegetal, sendo esta uma das variáveis mais importantes. Pois, segundo o autor, uma superfície de argila nua, por exemplo, pode ser compactada por sucessivas precipitações, contudo, quando protegida por vegetação, pode ter notável capacidade de infiltração.

Além disso, de acordo com Wilken (1978), mesmo os solos permeáveis que estejam contidos em áreas dentro de quadras habitadas, ruas ou estradas possuem baixa capacidade de infiltração em virtude da compactação do solo.

Tendo em vista que o solo se origina da decomposição de rochas e sedimentos, sua característica e composição podem ser alteradas, devido às influências naturais e ações antrópicas. Como exemplo, pode-se citar a compactação do solo, um dos efeitos da urbanização, que altera suas características físicas, tornando o solo menos permeável e, conseqüentemente, aumentando o escoamento superficial (KEMERICH *et al.*, 2014).

3.4 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

A água, ao atingir a superfície terrestre através da precipitação, possui basicamente dois destinos, ela poderá infiltrar-se no solo ou escoar superficialmente. Quando o volume de água escoado superficialmente excede a capacidade das galerias e calhas de drenagem ocorrem problemas de alagamentos urbanos, trazendo prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

De acordo com Te Chow, Maidment e Mays (1994), a concentração de água na superfície tem início quando a intensidade da chuva é superior ao potencial de infiltração do solo. Neste momento, o solo encontra-se saturado. Desta forma, à medida que a chuva continua, a zona saturada se estende profundamente no solo e começa o escoamento superficial da água.

Segundo Paulino (2014), o escoamento superficial divide-se em escoamento de base (ou subterrâneo) e escoamento superficial direto. O primeiro ocorre quando a água atinge a superfície e infiltra-se no solo, umedecendo-o e abastecendo o aquífero freático. Já o segundo irá existir quando o solo se tornar saturado, fazendo com que a água escoe pela superfície, sendo este o fator mais importante a se considerar no dimensionamento de obras hidráulicas e outras medidas para contenção de inundações.

Outros autores, como Porto, Zahed Filho e Marcellini (1999), citam ainda a existência do escoamento subsuperficial, também chamado hipodérmico, que seria o fluxo que se dá logo abaixo da superfície, na altura das raízes da cobertura vegetal. Entretanto, existe certa dificuldade na sua determinação, uma vez que qualquer depressão no relevo transforma o escoamento subsuperficial em superficial.

O escoamento superficial inicia-se um tempo após o início da precipitação. Este intervalo corresponde à interceptação da água pelos vegetais, saturação do solo, acumulação nas depressões do terreno e formação de uma lâmina d'água

mínima, sendo que, quando a água começa a escoar pelo solo, inicia-se o escoamento superficial (PORTO; ZAHED FILHO; MARCELLINI, 1999).

O comportamento do escoamento superficial tem sofrido alterações significativas em decorrência do processo de urbanização, isto é, com o aumento da área impermeável e do desmatamento, aumentam-se os picos de vazão nos hidrogramas. Além disso, o aumento do escoamento superficial causa erosão no solo e assoreamento em canais e galerias, diminuindo sua capacidade de vazão (LONDRINA, 2009).

Diversos trabalhos têm sido realizados com o intuito de relacionar o escoamento superficial com a urbanização, entre eles pode-se citar o de Nunes, Fiori e Firpo (2011), que observaram um acréscimo do coeficiente de escoamento superficial à medida que a área foi sendo urbanizada na Bacia Hidrográfica do Rio Atuba, em Curitiba/PR, pois verificaram um aumento de 9,2% no coeficiente de escoamento superficial entre os anos de 1962 e 2000, intervalo no qual a área impermeável aumentou, de 4,5% para 30%, em decorrência do processo de urbanização.

Pereira *et al.* (2013) analisaram o quanto é necessário reduzir a impermeabilização de uma bacia hidrográfica para que os custos das propostas de intervenção no plano de drenagem urbana sejam reduzidos de forma significativa. Para tanto, os autores tomaram como base a Bacia Hidrográfica do Ribeirão dos Bagres, inserida na área urbana do município de Franca/SP. O estudo concluiu que existe uma relação direta entre a redução da impermeabilização do solo e o custo de implantação das medidas de controle do sistema de drenagem urbana. Foi observado um decréscimo de 12% no custo da adequação do canal e implantação de reservatórios de retenção, ao reduzir em 20%, a área impermeável em relação à saturação da bacia e, uma diminuição de 25% nos custos, ao reduzir tal área impermeável em 50%.

No que concerne aos volumes do escoamento superficial em áreas urbanas é essencial que se faça a distinção entre enchente, inundação e alagamento.

Tominaga, Santoro e Amaral (2009) relatam que existe uma diferenciação básica entre enchente e inundação, sendo a primeira caracterizada pelo alcance do nível máximo da calha do rio, ou seja, tal fenômeno ocorre principalmente em áreas ribeirinhas quando o rio ocupa o seu leito maior, enquanto a segunda acontece

quando o escoamento possui tal magnitude que excede a capacidade da calha fluvial, causando a extrapolação do canal.

De acordo com Tucci (2001), as inundações ocorrem em virtude do aumento da frequência e magnitude das enchentes, devido à ocupação do solo com superfícies impermeáveis e redes de condutos de escoamento. Sendo a urbanização o principal ator na impermeabilização das bacias hidrográficas.

Além dos dois fenômenos citados, têm-se também os alagamentos, que ocorrem pontualmente e são causados por obstruções ao escoamento nos condutos e canais ou em virtude de projetos de drenagem inadequados (TUCCI, 2001).

3.5 MODELOS HIDROLÓGICOS

Conforme Tucci (2001), os modelos hidrológicos são utilizados para estudar, prever as consequências e sugerir medidas preventivas das modificações materializadas pelas obras de engenharia, como a urbanização ou alteração do curso de um rio.

Para Paulino (2014), é fundamental que se defina um método de transformação, da precipitação em deflúvio superficial, para simular o comportamento da bacia hidrográfica diante de eventos chuvosos e buscar soluções para as inundações, através da quantificação das vazões de cheia resultantes do excesso de chuva sobre a bacia.

Tucci (2001) cita vários métodos para determinação da precipitação efetiva (parcela da precipitação total que gera o escoamento superficial) e, conseqüentemente, do escoamento superficial. Ele fez um estudo no qual compara os valores obtidos de precipitação efetiva, através do Método dos Índices Φ e W , onde ambos adotam um fator constante para a separação do escoamento, e o Método do SCS. Ao observar os resultados, percebe-se que existe uma diferença significativa entre a precipitação efetiva obtida por meio de índices e a obtida através do Método SCS.

A diferença verificada no estudo realizado por Tucci (2001) ocorreu em virtude de que os métodos embasados em índices são realizados para determinadas bacias e adotados para outras similares, já o Método SCS é mais completo e particular a cada bacia, já que considera a classe hidrológica, a ocupação e as condições de umidade antecedente do solo do local estudado (LONDRINA, 2009).

Garotti e Barbassa (2010) fizeram uma comparação entre os coeficientes de escoamento superficial (C) dentro de seis bacias hidrográficas com áreas que variam entre 0,257 km² e 0,522 km² inseridas no município de Ribeirão Preto/SP, buscando verificar a sensibilidade do Método Racional à área impermeabilizada, que foi obtida através de três diferentes procedimentos. Os resultados apontaram que quanto maior o nível de detalhamento do local estudado maior o resultado do escoamento superficial. Desta forma, concluíram que a simples utilização de valores de “C”, obtidos a partir de tabelas de características gerais de urbanização, deve ser utilizada com ressalvas, pois esta prática pode subestimar o valor do escoamento superficial.

A utilização do Método Racional para a determinação do escoamento superficial de bacias hidrográficas, conforme feito por Garotti e Barbassa (2010), torna-se limitada para bacias com áreas superiores a 2 km² em virtude da dificuldade no levantamento in loco de vários lotes, aliado à maior possibilidade de erro que ocorre estatisticamente ao trabalhar com uma amostra reduzida em relação à população.

3.5.1 Método do Soil Conservation Service (SCS)

O Método do SCS foi desenvolvido na década de 1950, pelo *United States Department of Agriculture Soil Conservation Service* (USDA SCS), atual *National Resources Conservation Service* (NRCS). Ele compreende o uso do Método do Hidrograma Unitário Triangular aliado à aplicação do coeficiente CN (Curva Número), sendo muito utilizado para estimar o escoamento superficial direto a partir de eventos de precipitação (PAULINO, 2014).

A utilização deste método depende da seleção da variável CN, a qual leva em consideração a classe hidrológica do solo, a cobertura vegetal, o uso da terra e o teor de umidade do solo anterior à chuva (LIU; LI, 2008). O valor de CN pode ser obtido diretamente através de tabelas, elaboradas por diversos autores, que relacionam o coeficiente a um tipo de ocupação do solo, além disso, ele está contido no intervalo de 1 a 100, variando desde uma cobertura muito permeável (limite inferior) até uma cobertura completamente impermeável (limite superior).

O Quadro 2 relaciona o tipo de solo com suas respectivas características. O Quadro 3 demonstra o valor numérico de CN para cada tipo de cobertura do terreno, em bacias urbanas e suburbanas, na condição II de umidade antecedente de solo.

Quadro 2 – Grupo de solos e características do solo

GRUPO DE SOLO	CARACTERÍSTICAS DO SOLO
A	<p>Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1% (PORTO, 1979, 1995).</p> <p>Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila (TUCCI <i>et al.</i>, 1993).</p>
B	<p>Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir para 20% graças a maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não podendo haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas apresenta camada mais densificada que a camada superficial (PORTO, 1979, 1995).</p> <p>Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média (Tucci <i>et al.</i>, 1993).</p>
C	<p>Solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até a profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade (PORTO, 1979, 1995).</p> <p>Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo (TUCCI <i>et al.</i>, 1993).</p>
D	<p>Solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos como do Grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados (PORTO, 1979, 1995).</p> <p>Solos contendo argila expansiva e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (TUCCI <i>et al.</i>, 1993).</p>

Fonte: Porto e Setzer (1979); Porto (1995); Tucci *et al.* (1993 *apud* TOMAZ, 2011)

Quadro 3 – Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas na condição II de umidade antecedente do solo

UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO		GRUPO DE SOLOS			
		A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo		72	81	88	91
com conservação do solo		62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios em boas condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosque ou zonas com cobertura ruim		45	66	77	83
Florestas: cobertura boa		25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições					
Com relva em mais de 75% da área		39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área		49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
Lotes de (m ²)	% média impermeável				
< 500	65	77	85	90	82
1.000	38	61	75	83	87
1.300	30	57	72	81	86
2.000	25	54	70	80	85
4.000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamento e estradas					
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: Tucci (2001)

A metodologia original, elaborada pelo USDA, reuniu os solos em quatro grandes grupos hidrológicos, baseando-se na premissa de que os perfis de solo, com características similares, deverão apresentar comportamento parecido durante chuvas de grande duração e intensidade consideráveis. Tais grupos são representados pelas letras: A, B, C e D, que classificam os solos de acordo com sua

capacidade de infiltração e produção de escoamento, sendo que o acréscimo de escoamento superficial é crescente de A até D.

Entretanto, segundo Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005), diversos autores preocupam-se em adequar a classificação hidrológica do solo, originalmente concebida pelos Estados Unidos, para a realidade brasileira. Desta forma, diversos trabalhos foram desenvolvidos, como Setzer e Porto (1979), Lombardi Neto *et al.* (1989) e Kutner, Conte e Nitta (2001), sendo que a de Lombardi Neto *et al.* (1989) é a mais prática.

Desta forma, após a determinação do CN e obtenção das alturas de precipitação no decorrer do tempo, por meio da Equação 6, pode-se encontrar a chuva excedente ou chuva efetiva (Q), aplicando os valores alcançados nas Equações 7 e 8.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad \text{Equação 7}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

Q: chuva excedente ou chuva efetiva (mm);

P: precipitação (mm);

I_a : abstração inicial (mm);

S: potencial máximo de retenção após começar o escoamento (mm);

CN: coeficiente curva número (adimensional);

A abstração inicial (I_a) corresponde à parcela de água evaporada e infiltrada no solo, bem como a água retida nas depressões da superfície ou interceptada pela vegetação, antes que comece o escoamento superficial (TOMAZ, 2011). O *Soil Conservation Service* nos Estados Unidos determinou, empiricamente, que tal valor corresponde a 20% do potencial máximo de retenção após o início do escoamento. Esta porcentagem foi definida após a realização de diversos estudos em pequenas bacias experimentais.

Liu e Li (2008) realizaram um estudo em uma bacia chinesa de 830 ha, localizada no *Loess Plateau*, denominada *Wangdonggou*, buscando encontrar a

relação entre os valores de escoamento medidos em uma estação hidrológica, localizada na saída da bacia hidrográfica, e os valores de escoamento calculados a partir do Método do SCS. Os resultados mostraram que este último é válido e bastante confiável, pois a precisão encontrada é superior a 75%, demonstrando que a integração de sensoriamento remoto, modelagem SIG e SCS, formam uma poderosa ferramenta de simulação do escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas.

Shadeed e Almasri (2010) realizaram um estudo na Cisjordânia, Palestina (região semiárida), com objetivo de encontrar o CN para o local, bem como informações acerca do escoamento superficial, utilizando um SIG. Tal estudo teve grande importância, pois forneceu informações básicas para os gerentes avaliarem os volumes de geração de escoamento da região e, portanto, apoia o processo de tomada de decisão para o desenvolvimento futuro de recursos hídricos e estruturas hidrológicas na área.

A metodologia do SCS divide a umidade antecedente do solo em três classes distintas, classes I, II e III, em ordem crescente de umidade. Para o presente estudo adotou-se a Condição de Umidade II (solo umedecido). Em casos em que seja desejável a obtenção do coeficiente CN para outras classes de umidade do solo, basta fazer a conversão do valor encontrado através das Equações 9 e 10, apresentadas por Te Chow, Maidment e Mays (1994).

$$CN(I) = \frac{4,2 * CN(II)}{10 - 0,058 * CN(II)} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

CN (I): Coeficiente CN para o solo na classe de umidade I;

CN (II): Coeficiente CN para o solo na classe de umidade II;

$$CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0,13 * CN(II)} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

CN (III): Coeficiente CN para o solo na classe de umidade III;

CN (II): Coeficiente CN para o solo na classe de umidade II;

Entretanto, apesar de todas as vantagens do Método do SCS, alguns estudos mostram que tal metodologia não aborda adequadamente o efeito da umidade do solo e das chuvas antecedentes ao início do escoamento, limitando a sua acurácia, principalmente na condição de umidade do solo III (AMC III) (BESKOW *et al.*, 2009; JIAO *et al.*, 2015). Isto provavelmente ocorreu, pois, os três níveis de AMC (I, II e III) descritos no Método do SCS interrompem uma relação contínua entre o AMC e o CN, provocando saltos repentinos não razoáveis no CN e na quantidade de escoamento, afetando a acurácia do método (JIAO *et al.*, 2015).

Jiao *et al.* (2015) realizaram um estudo no qual definiram as condições médias de umidade antecedente do solo de acordo com a precipitação diária antecedente, definiram o potencial de abstração inicial (I_a) e empregaram uma função exponencial para estimar o esgotamento das águas da bacia hidrográfica. Assim, o Método do SCS melhorado foi estabelecido, incorporando uma equação contínua para AMC com precipitação diária como variável independente e abstração inicial como variável dependente no quadro do método SCS para melhorar a precisão da previsão do escoamento.

Beskow *et al.* (2009) aplicaram um SIG buscando fazer uma comparação entre os métodos CN-SCS e CN-MMS (desenvolvido por MISHRA *et al.*, 2003), com base na linguagem de programação do SIG PCRaster e em uma base de dados reduzida, de forma distribuída e dinâmica, com o intuito de estimar as lâminas de escoamento superficial geradas na bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela no município de Nazareno/MG, com área aproximada de 477 ha, com domínio de latossolos, os quais ocupam cerca de 70% da bacia e apresentam alta capacidade de recarga de aquíferos. Os dados de precipitação e escoamento foram obtidos por uma estação climatológica automática e um linígrafo automático, localizados na bacia hidrográfica.

De acordo com Beskow *et al.* (2009), o modelo CN-SCS apresentou erros elevados, variando de 2.727,2% a 3.748,79% superior ao valor observado, em eventos que tiveram valores consideráveis de precipitação pluvial antecedente (condição AMC III, ou seja, solo úmido), acarretando em um maior valor de escoamento superficial. Já o modelo CN-MMS gerou resultados próximos ao observado, principalmente em condições de maior umidade do solo. Portanto, os resultados mostraram que o método CN-MMS apresentou melhor desempenho quando comparado ao CN-SCS. Vale ressaltar que, para ambos os modelos,

ocorreu a tendência de superestimativa dos valores de escoamento superficial em relação ao observado.

Como o trabalho de Beskow *et al.* (2009) foi realizado em uma bacia hidrográfica constituída inteiramente por áreas permeáveis, coberta por pastagens, milho, café e mata, a capacidade de armazenamento do solo torna-se um parâmetro muito sensível, tendo em vista que uma pequena diferença neste valor pode resultar em grandes diferenças no valor do escoamento superficial, justamente conforme mostrou os resultados para a condição AMC III. Entretanto, espera-se que em bacias urbanas tal erro não tenha tamanha magnitude, já que a dependência da classe hidrológica do solo e sua capacidade de armazenamento diminuem à medida que a área impermeabilizada aumenta, até chegar ao ponto demonstrado por Nunes, Fiori e Firpo (2011), os quais observaram que em áreas densamente urbanizadas, com 85% de áreas impermeáveis, a classe hidrológica do solo interfere minimamente na taxa de escoamento superficial, pois nestas situações, praticamente, não existe infiltração.

3.5.2 Hidrograma

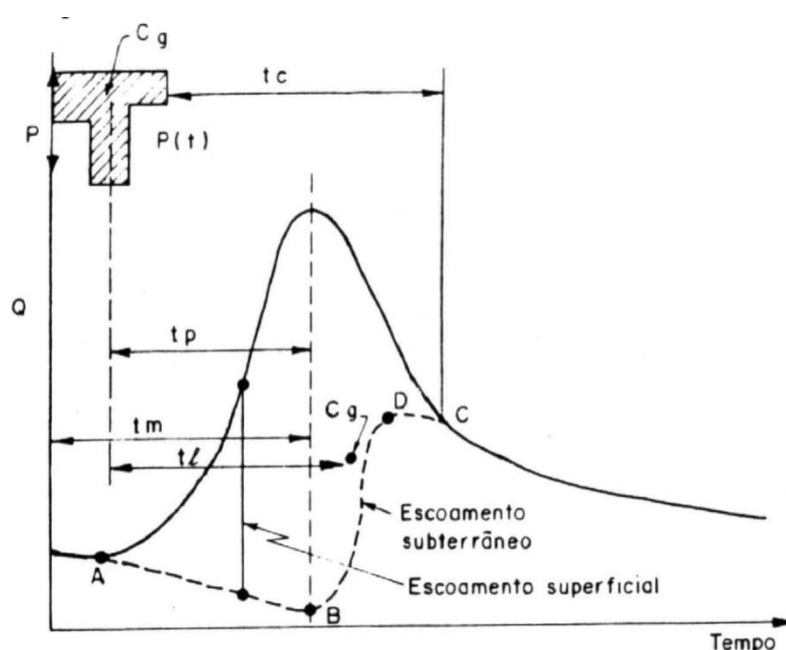
Sabe-se que a totalidade da chuva efetiva gerada numa bacia hidrográfica não chega imediatamente ao exutório, uma vez que a água irá percorrer um caminho com declividades e características de ocupação do solo variadas, o que irá influenciar na velocidade do escoamento e na resposta da referida bacia à entrada de chuva. Assim, pode-se dizer que a bacia hidrográfica irá transformar um pulso de chuva de curta duração em uma entrada quase imediata e uma saída distribuída ao longo do tempo, portanto, ao representar tais informações em um gráfico dá-se origem ao hidrograma.

Collischonn e Dornelles (2015) consideram que o hidrograma corresponde a medições realizadas na saída da bacia hidrográfica, pois, logo após o início da precipitação, observa-se o aumento gradativo da vazão, refletindo a chegada da água que começou a escoar no ponto mais próximo ao exutório, até atingir um valor máximo, denominado vazão de pico, e iniciar-se a recessão e alcançar o ponto que cessa o escoamento superficial da bacia.

O hidrograma típico de uma chuva simples consiste, basicamente, das seguintes etapas: ramo ascendente, crista e ramo descendente, conforme pode ser observado na Figura 1.

O ramo ascendente ou curva de ascensão, que corresponde ao ponto de início da ocorrência da precipitação até o pico do hidrograma, é representado na Figura 1 pelo coeficiente " t_m " (tempo de ascensão). Tal etapa pode variar conforme a duração e uniformidade da chuva no tempo e espaço, e da extensão, condições iniciais e disposição das áreas da bacia de drenagem. Já o ramo descendente corresponde à retirada da água armazenada no leito do curso d'água durante o período de cheia (WILKEN, 1978).

Figura 1 – Representação de um hidrograma de uma chuva típica e suas partes componentes



Fonte: Porto, Zahed Filho e Marcellini (1999)

Um hidrograma típico, produzido por uma chuva intensa, normalmente apresenta uma curva com um pico único, entretanto, hidrogramas com vários picos podem ocorrer se houver variações abruptas na intensidade das chuvas, uma sequência de chuvas intensas ou uma recessão anormal do escoamento superficial (PORTO; ZAHED FILHO; MARCELLINI, 1999).

Segundo Collischonn e Dornelles (2015), a resposta de uma bacia a um evento de chuva varia conforme as características físicas da bacia e do evento,

como a duração e intensidade da chuva. Contudo, para simplificar a análise utiliza-se, geralmente, a teoria do Hidrograma Unitário, que admite existir uma relação linear entre a chuva efetiva e a vazão.

O hidrograma unitário é definido abaixo por Porto, Zahed Filho e Marcellini, (1999, p.9):

O Hidrograma Unitário (HU) é um hidrograma de escoamento superficial direto, onde a área sob esta curva corresponde a um volume unitário de escoamento superficial direto, resultante de uma chuva efetiva com intensidade e duração unitárias.

Segundo Tomaz (2011), o hidrograma unitário reflete todas as características de uma dada bacia hidrográfica, como forma, declividade, detenção, infiltração, rede de drenagem, capacidade de escoamento do canal, entre outros.

Em locais sem dados fluviométricos pode-se utilizar métodos de cálculo que permitam determinar os principais elementos do hidrograma, a partir de dados morfológicos da bacia hidrográfica. Embora os elementos principais não definam a forma curvilínea do hidrograma, é possível atenuar tal dificuldade, mediante a construção de um hidrograma unitário na forma triangular, denominado hidrograma sintético triangular (FENDRICH, 2008).

De acordo com Tucci (2001), as características físicas da bacia hidrográfica estão intimamente relacionadas ao formato do hidrograma. Fatores como relevo, forma, distribuição, duração e intensidade da precipitação não são influenciados pela urbanização, diferentemente da cobertura e classe do solo.

A cobertura vegetal tende a retardar o pico de vazão, devido à maior influência da evapotranspiração e do maior coeficiente de infiltração, quando comparado às bacias urbanas. E a classe hidrológica do solo, bem como seu estado de umidade que antecede a precipitação, tem influência direta no seu coeficiente de infiltração (TUCCI, 2001).

O hidrograma unitário sintético, obtido a partir do Método do SCS, é bastante sensível aos valores do tempo de concentração (t_c), curva número (CN) e da distribuição temporal da chuva de projeto (PAULINO, 2014). Portanto, faz-se necessário que estes parâmetros sejam determinados através de métodos adequados a fim de reduzir possíveis erros entre os valores calculados e os reais. Um estudo realizado por Porto (1995 *apud* PAULINO, 2014. p. 42), por exemplo,

considerando uma bacia urbana de 10 km² de área de drenagem, demonstrou uma variação de 62% na vazão de pico ao alterar o valor de CN de 90 para 85 e o tempo de concentração de 0,8h para 1h.

No Método do SCS, para a obtenção dos hidrogramas unitários sintéticos curvilíneos, é necessária a determinação do tempo de pico (t_p) e vazão de pico (Q_p), os quais podem ser obtidos ao utilizar equações que relacionam os parâmetros de um hidrograma, como as Equações 11 a 14. Logo após, deve-se correlacionar tais valores com constantes, elaboradas e disponibilizadas por diversos autores, que relacionam a vazão com a vazão de pico e o tempo com o tempo de pico.

$$t_p = 0,6 \cdot t_c \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

t_p : tempo de pico (min);

t_c : tempo de concentração (min);

$$D = 0,133 \cdot t_c \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

D: duração da chuva unitária (min);

t_c : tempo de concentração (min);

$$t_a = t_p + \frac{D}{2} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

t_a : tempo de ascensão que vai do início da chuva até a vazão de pico do hidrograma (minutos);

t_p : tempo de pico (horas);

D: duração da chuva unitária (horas);

$$Q_p = \frac{2,08 \cdot A}{t_a} \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

Q_p : vazão de pico (m³.s⁻¹);

A: área da bacia (Km²);

t_a : tempo de ascensão que vai do início da chuva até a vazão de pico do hidrograma (horas);

3.6 SENSORIAMENTO REMOTO

A humanidade utiliza dados geográficos obtidos pelos antigos cartógrafos desde seus tempos mais remotos, porém, antigamente tais dados eram utilizados apenas por navegadores e demais profissionais. A partir dos anos de 1970, com a evolução da tecnologia da informação e do sensoriamento remoto, tornou-se possível obter, armazenar e representar informações geográficas em ambiente computacional, surgindo, desta forma, a expressão *Geographic Information System* (GIS), conhecida no Brasil como Sistema de Informação Geográfica (SIG). Todavia, apenas a partir da década de 1990 esta tecnologia saiu do meio acadêmico e alcançou o mercado, devido ao fácil acesso aos computadores pessoais e aos avanços proporcionados pela microinformática. Atualmente, o SIG faz parte do ambiente WEB e é utilizado por grandes corporações que fornecem informações sobre qualquer parte do planeta, através de aplicações que misturam imagens de satélite, modelos 3D e GPS (ROSA, 2013).

De acordo com Paulino (2014), as imagens de satélites, obtidas por sensoriamento remoto, permitem a realização de um levantamento e monitoramento do uso e ocupação dos solos de uma grande área, sendo necessária apenas uma conferência por amostragem.

Rosa (2013) conceitua o sensoriamento remoto como um conjunto de atividades que visam à caracterização das propriedades físico-químicas de alvos naturais, através da detecção, registro e análise do fluxo de energia radiante por eles refletido e/ou emitido. As principais aplicações do sensoriamento remoto são ligadas a gestão municipal, meio ambiente, planejamento estratégico de negócios, agronegócio, concessionárias e redes.

De acordo com Chang (2016), a utilização de imagens de satélites geoprocessadas, aliado ao Método do SCS, permite fazer uma estimativa precisa da cobertura do solo de uma bacia hidrográfica, deste modo, pode-se analisar o comportamento hidrológico de uma determinada área. Ademais, segundo Santos e Lollo (2016), a utilização de metodologia apoiada em técnicas de tratamento digital

de dados permite uma análise mais rápida e com custo reduzido ao comparar com outros métodos.

3.6.1 Satélites

Um satélite, no que diz respeito ao sensoriamento remoto, pode ser definido como um equipamento artificial colocado em órbita à volta de um planeta, ou até mesmo de um satélite natural. Mesmo tendo funções semelhantes, tais satélites podem ser divididos em categorias, dependendo do objetivo de sua criação. Dentro desta concepção, podem-se citar os satélites militares, os científicos, os de comunicação, os meteorológicos e os de recursos naturais, ou de observação da Terra (MOREIRA, 2007).

Os satélites artificiais de observação da Terra possuem um sensor remoto capaz de produzir imagens da superfície terrestre em várias bandas simultâneas. Este sensor, geralmente, é equipado com filtros e chips CCD (dispositivo eletrônico composto de milhares de detectores dispostos em uma matriz) sensíveis às radiações infravermelha, vermelha e verde. Para observar as imagens geradas pelo satélite em um computador, aplica-se a cor básica azul para representar o registro da banda verde, a cor verde para a banda vermelha e a cor vermelha para a banda infravermelha, gerando uma imagem do tipo falsa-cor (STEFFEN/INPE, 2018).

Os custos do desenvolvimento e lançamento de satélites de sensoriamento remoto tornam-se muitas vezes um limitante para os países em desenvolvimento, deixando-os submissos à utilização de imagens provenientes de satélites de outras nações. Para driblar este cenário, em 1988, o Brasil e a China assinaram um acordo de parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a *China Academy of Space Technology* (CAST) para o desenvolvimento do programa CBERS, que visava à construção de dois satélites avançados de sensoriamento remoto, os quais seriam o CBERS 1 e 2. Atualmente, além dos dois satélites citados, já foram lançados outros 3, sendo o último denominado CBERS-4, e já se tem a previsão para um quinto satélite, CBERS 04A, com data do lançamento prevista para o dia 1 de setembro de 2019, que assim como o CBERS 3 e 4, possuirá cargas úteis ópticas operando no espectro visível com resoluções na faixa de 2 a 60 metros, porém com melhorias para acomodar uma câmera que possui qualidade superior na resolução geométrica e espectral (INPE, 2018).

Paralelamente ao programa CBERS, amplamente utilizado no Brasil, para controle de desmatamento e queimadas na Amazônia, monitoramento de recursos hídricos, crescimento urbano e outras aplicações, têm-se os satélites da série LANDSAT (INPE, 2018), que foram desenvolvidos através do programa *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), uma iniciativa da NASA na metade da década de 60, sendo dedicado, exclusivamente, à observação dos recursos naturais terrestres.

Quadro 4 – Período de operação, câmera e resolução espacial de cada satélite da série LANDSAT

SATÉLITE	CÂMERA	RESOLUÇÃO ESPACIAL	PERÍODO DE OPERAÇÃO
Landsat-1	RBV e MSS	80m	1972 - 1978
Landsat-2	MSS	80m	1975 - 1982
Landsat-3	MSS	80m	1978 - 1983
Landsat-4	MSS e TM	30m	1982 - 1993
Landsat-5	MSS e TM	30m	1984 - 2013
Landsat-6	ETM	15 - 30m	1993
Landsat-7	ETM +	15 - 30m	1999 - hoje
Landsat-8	OLI e TIRS	15 - 30m	2013 - hoje

Fonte: INPE (2018)

O primeiro satélite de sensoriamento remoto do mundo e do programa foi o EARTH-1, rebatizado posteriormente como LANDSAT-1, lançado em 1972, que possuía câmeras RBV e MSS. No total, a série lançou 8 satélites, todos com câmeras que possibilitam a geração de imagens multiespectrais, sendo que apenas o LANDSAT-6 não entrou em operação, devido a uma falha ocorrida no seu lançamento. O Quadro 4 demonstra as câmeras e período de operação de cada satélite da série.

3.6.2 Análise e Classificação de Imagens

Após a obtenção das imagens pelos satélites artificiais e recepção das mesmas pelas antenas localizadas na superfície terrestre, procede-se à etapa de análise, através de programas apropriados, também denominados algoritmos de classificação ou simplesmente classificadores, que, por meio de algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais deverão fazer a categorização

dos valores dos níveis de cinza, obtendo-se assim, mapas temáticos que podem ser utilizados nas áreas de geologia, vegetação, uso do solo, relevo, agricultura, rede de drenagem, inundações, entre outras (SAUSEN/INPE, 2018).

As formas de classificação de imagens podem ser divididas em dois grupos: classificação não-supervisionada e classificação supervisionada. Na primeira forma, cada *pixel* da imagem é associado a uma classe, sem que o usuário tenha conhecimento prévio do número ou da identificação das classes presentes na área imageada. Já a classificação supervisionada, na forma mais ampla, trata-se do procedimento que necessita de conhecimento prévio da área para produção do treinamento do algoritmo, para que o mesmo possa reconhecer os diferentes intervalos do comprimento de onda e assim definir as fronteiras de classe (MOREIRA, 2007).

De acordo com Soares, Santos e Silva (2013), as duas formas de classificação, tanto a supervisionada como a não supervisionada, possuem sua importância dependendo do critério estabelecido e da escala utilizada. Entretanto, em estudos que demandam alto grau de detalhamento e possuem áreas de análise pequenas, o reconhecimento das classes se torna mais acurado numa classificação supervisionada.

A classificação supervisionada de imagens é realizada pelo analista ao selecionar amostras de treinamento que melhor representem a classe de informação de seu interesse, sendo que a agregação de tais informações espectrais pode ser feita *pixel a pixel* ou por regiões. Na classificação *pixel a pixel*, a técnica de classificação utiliza a informação espectral de cada *pixel* isolado para encontrar regiões homogêneas, traçando assim uma probabilidade de um determinado *pixel* analisado pertencer ou não a uma determinada classe. Já na classificação por regiões, leva-se em consideração o contexto espacial, ao invés de considerar as características espectrais de um determinado *pixel* no processo de decisão, desta forma, um agrupamento de *pixels* é selecionado e usado como unidade de classificação (MOREIRA, 2007).

Em um estudo realizado por Disperati, Servello e Oliveira Filho (2008), no qual compararam a interpretação visual de uma imagem colorida normal com diferentes classificadores, disponíveis no *software* SPRING 4.2, foi verificado que a classificação por regiões pelo algoritmo *Bhattacharya* foi a que mais se aproximou

da interpretação visual, enquanto que os classificadores *Isoseg* e *Maxver* apresentaram inúmeras falhas visíveis em alguma das classes mapeadas.

Cândido, Silva e Paranhos Filho (2015) realizaram um estudo na Bacia Hidrográfica do Rio São Lourenço, na região sudeste de Mato Grosso (MT), visando testar diversas técnicas de classificação supervisionada e não supervisionada em imagens aéreas digitais de alta resolução espacial, obtidas por veículo aéreo não tripulado (VANT), empregando dois *softwares*, SPRING e ARCGIS. Os resultados obtidos mostraram que a classificação supervisionada por regiões, através do *software* SPRING, utilizando segmentação de 20 e similaridade de área igual a 200, foi a que mais se aproximou da classificação por fotointerpretação.

O processo denominado segmentação analisa as características de descontinuidade e similaridade dos tons de cinza de uma imagem, especialmente quando ocorrem mudanças bruscas nestes valores. Ademais, valores espectrais, atributos espaciais e de contexto também são considerados (GONZALES; WINTZ, 1987 *apud* CANDIDO; SILVA; PARANHOS FILHO, 2015, p. 150).

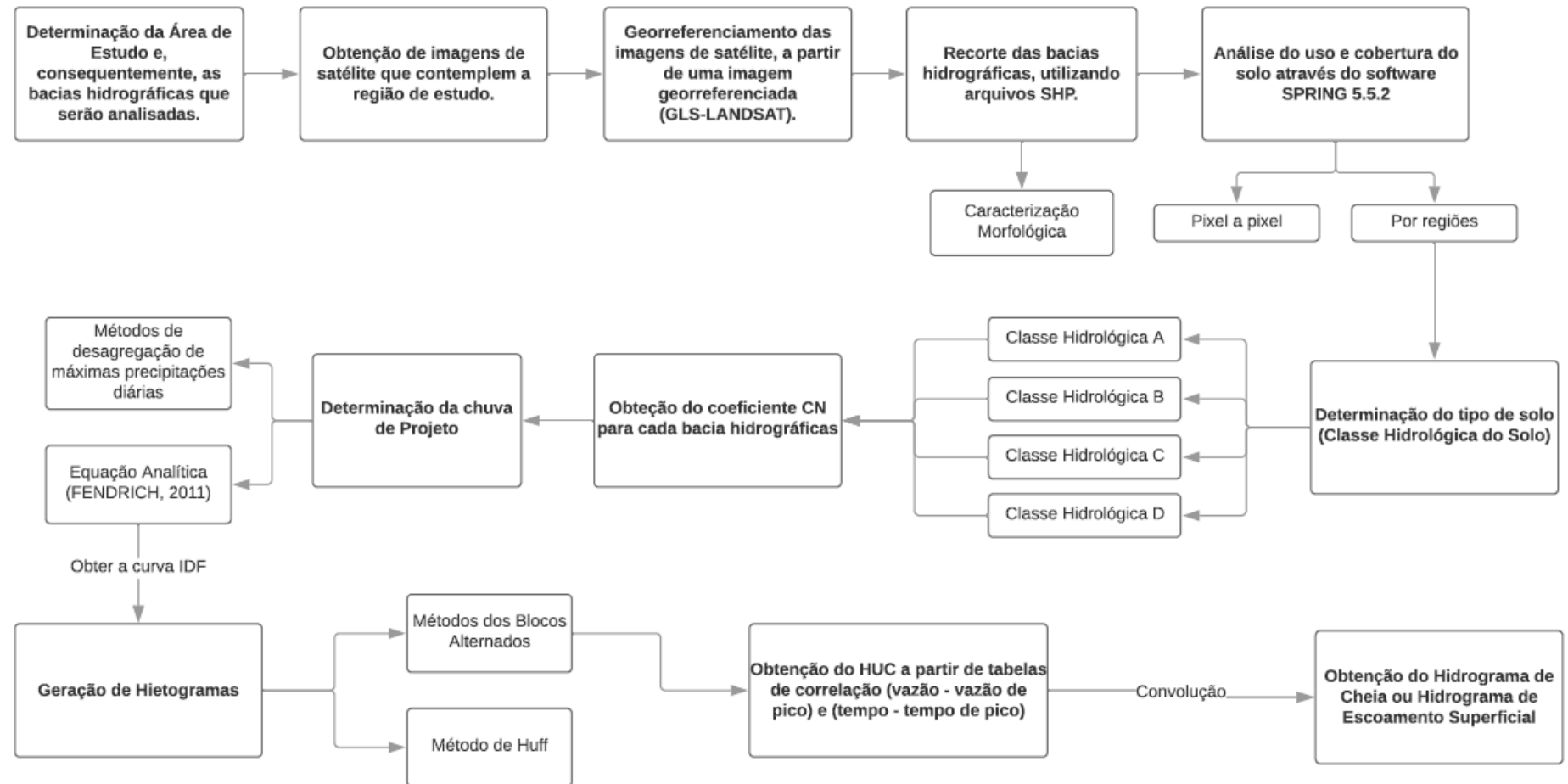
4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo irá descrever o método adotado para o desenvolvimento do estudo proposto. As fases serão divididas em subcapítulos sequenciais com descrição detalhada de cada uma, informando os métodos utilizados para atingir tal finalidade. A Figura 2 mostra um fluxograma com as principais atividades que foram desenvolvidas para atingir o objetivo deste trabalho.

Primeiramente, apresentou-se a área de estudo, compreendida pelas bacias hidrográficas inseridas no perímetro urbano do município de Londrina/PR, com exceção da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Três Bocas (BHRTB), que apesar de estar situada dentro do referido perímetro, não apresenta sinais de urbanização. Na sequência, foi realizada a etapa de seleção das imagens de satélite da região que, utilizando um *software* específico, teve suas superfícies analisadas de acordo com o uso e cobertura do solo, a partir do estabelecimento de chaves pré-definidas. Em seguida, a partir de dados consultados na literatura, identificaram-se as classes hidrológicas dos solos em cada bacia, resultando na obtenção do valor de CN.

Finalmente, foram descritos os métodos para gerar os cenários para o comportamento hidrológico das bacias, a partir da conversão dos hietogramas de projeto em hidrogramas, para os tempos de retorno usuais da drenagem urbana, visando avaliar a variação do escoamento superficial com a evolução da malha urbana do município até atingir a condição de saturação de cada bacia hidrográfica, estimada pela população de saturação do município.

Figura 2 – Fluxograma Geral com as principais atividades que foram desenvolvidas

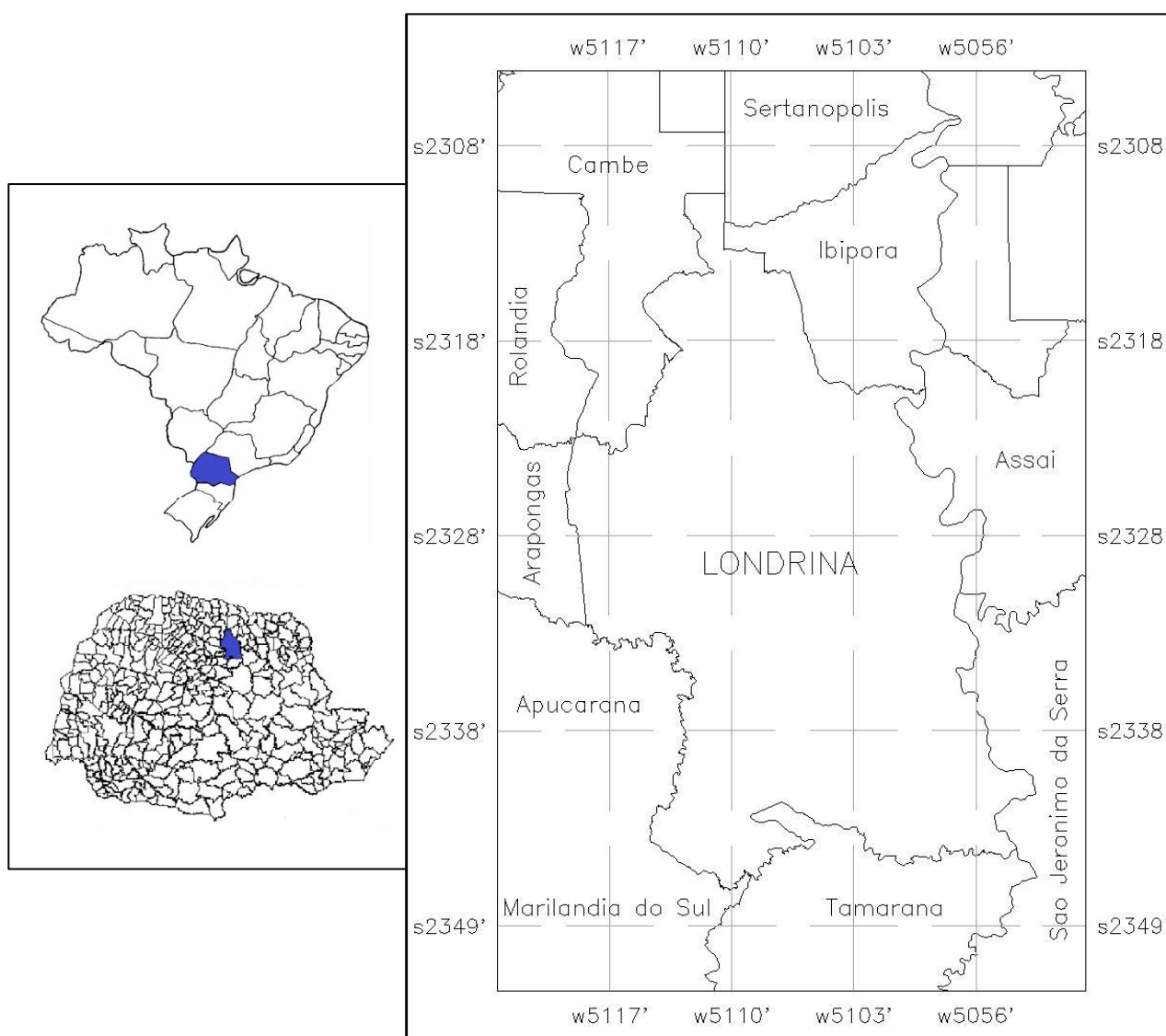


Fonte: o próprio autor

4.1 ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Londrina, situada no norte do Estado do Paraná (Figura 3), surgiu em 1929 como um posto avançado da Companhia de Terras Norte do Paraná, uma subsidiária da firma inglesa Paraná Plantations Ltda. Entretanto, somente tornou-se município através do Decreto Estadual nº 2.519, promulgado pelo interventor Manoel Ribas, em 10 de dezembro de 1934 (LONDRINA, 2018). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o município abrange uma área aproximada de 1.653 km², constituído por 8 distritos: Londrina, Guaravera, Irerê, Lerroville, Maravilha, Paiquerê, São Luís e Warta.

Figura 3 – Localização Geográfica da Área de Estudo



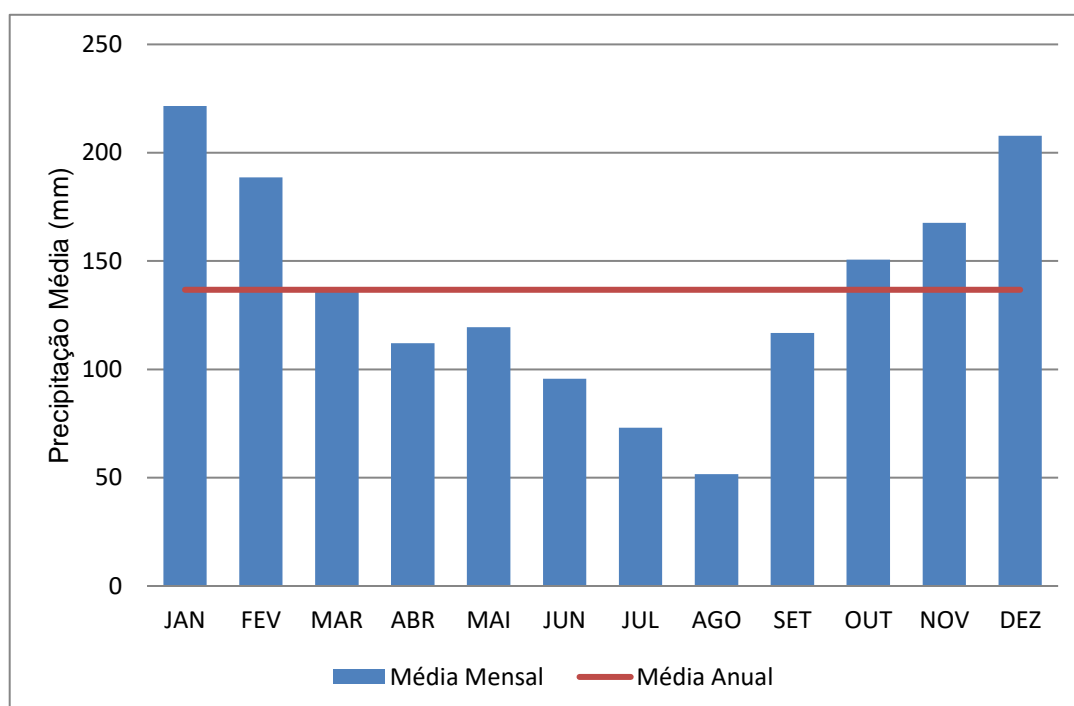
Fonte: o próprio autor

O município está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi (BHT), localizada entre as coordenadas geográficas 22° 47' 22" e 25° 36' 25" de latitude sul, e 49° 36' 00" e 51° 27' 36" de longitude oeste. A BHT possui área de 24.712 km², correspondente a 13% da área total do estado do Paraná e compõe uma das bacias hidrográficas da Região Hidrológica do Paraná (PINESE, 2002).

Segundo Pinese (2002), o Rio Tibagi possui sua nascente situada na região de Ponta Grossa, no Paraná, e flui em direção ao norte deste estado atravessando 41 municípios e, após percorrer 531 km, deságua no rio Paranapanema, na divisa entre os estados do Paraná e de São Paulo.

De acordo com o IAPAR (2018), o clima de Londrina/PR é classificado como subtropical úmido (Cfa – Método de Köppen) com temperatura média anual do ar de 21,1°C, umidade relativa média de 70,5% e precipitação anual de 1.641mm, com uma média anual de 122 dias de chuva. Os dados históricos do município foram obtidos entre os anos de 1976 a 2017. O Gráfico 1 apresenta a precipitação média mensal e anual do município, mostrando que ocorrem chuvas em todas as estações, porém com menor volume no período de inverno.

Gráfico 1 – Precipitação média mensal e anual da estação 2351003 (latitude 23° 18' e longitude 51° 09'), instalada em Londrina/PR, com dados obtidos entre os anos de 1976 e 2017



Fonte: Adaptado de IAPAR (2018)

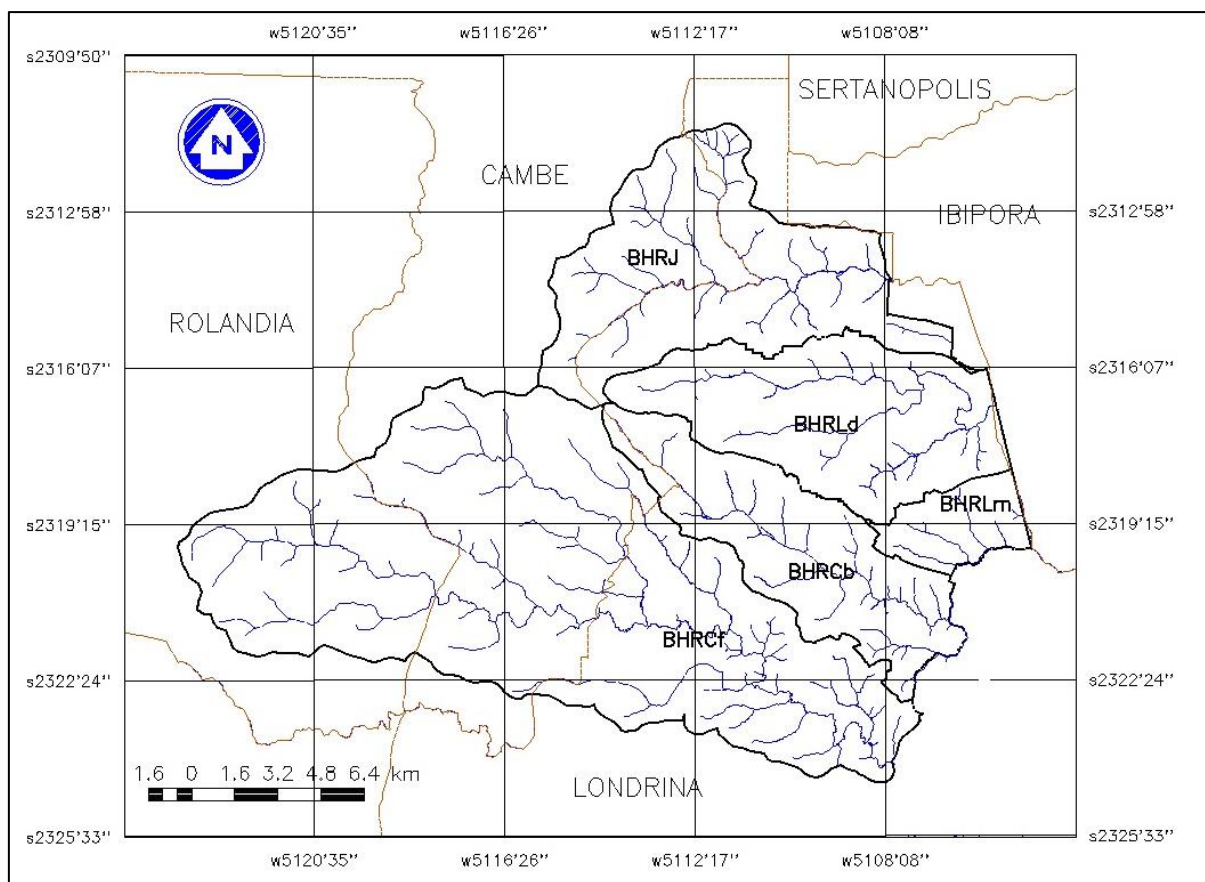
O município possui altitudes que variam desde 350 metros a 860 metros acima do nível do mar, sendo que as áreas mais baixas se encontram próximas à calha do Rio Tibagi, já os pontos mais altos estão situados ao sul do território municipal. Quanto à inclinação do terreno, sabe-se que as áreas mais planas se localizam ao norte, com declividades máximas de 10%, já as regiões centro e sul, possuem terreno mais acidentado com declividades variando entre 15% e 30% (LONDRINA, 2018).

Conforme Cavalcante *et al.* (2007), a geologia da região de Londrina/PR é caracterizada por extensos derrames de basalto da Formação Serra Geral e o solo sobrejacente à rocha é de origem residual. Desta forma, o perfil geotécnico característico é constituído por um horizonte superficial evoluído (horizonte B), apresentando fortes características de solo laterítico, com cerca de 10 metros de espessura, provocados pelo processo de lixiviação, que origina solos bem drenados, com elevado volume de vazios e baixa massa específica aparente, em consequência da estrutura macroporosa e microporosa, características dos solos lateríticos.

Segundo Rocha *et al.* (1991), a mineralogia das argilas dos solos presentes no campus da Universidade Estadual de Londrina (UEL), adotados como referência para o município de Londrina/PR, apresentam caulinita, gibsitita e vermiculita em sua composição, com predomínio do primeiro mineral. Ademais, também se encontrou óxido de ferro sob a forma de hematita como importante constituinte de fração de argila destes solos.

Este estudo analisará as cinco bacias hidrográficas inseridas no perímetro urbano do município de Londrina/PR, mas que também adentram sobre outros municípios, como Rolândia e Cambé, conforme indicadas na Figura 4, quais sejam: Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal (BHRCf), Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cambé (BHRCb), Bacia Hidrográfica do Ribeirão Limoeiro (BHRLm), Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lindóia (BHRLd) e Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jacutinga (BHRJ).

Figura 4 – Bacias Hidrográficas da área de estudo



- Corpos Hídricos
- Divisores de Águas (Bacias Hidrográficas)
- Delimitação dos Municípios

Fonte: o próprio autor

4.1.1 Caracterização das Bacias Hidrográficas

Os dados morfométricos das bacias hidrográficas em estudo, como área, perímetro, declividade e altitude foram determinados através do *software* SPRING 5.5.2. A área e o perímetro foram obtidos a partir da análise das imagens de satélite da série LANDSAT em conjunto com os arquivos SHP (*shapefiles*), disponibilizados pelo SIGLON (2018). Já a declividade e a altitude foram obtidas através do Modelo Digital de Elevação (MDE), disponibilizado pelo projeto Topodata, oriundo da missão SRTM, com resolução espacial de 30 metros.

Outras informações acerca do comportamento da bacia hidrográfica, frente aos eventos hidrológicos, também foram obtidas através da análise dos dados morfológicos, como por exemplo, a obtenção do fator de forma (K_f), coeficiente de

compacidade (K_c), índice de circularidade (I_c) e densidade de drenagem (D_d). Tais índices auxiliam na avaliação da suscetibilidade da bacia hidrográfica à ocorrência de inundações e são calculados segundo a Equação 1, Equação 2, Equação 3 e Equação 4, respectivamente.

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

K_f : fator de forma (adimensional);

A: área da bacia (km^2);

L: comprimento do talvegue (km);

$$K_c = 0,28 \cdot \frac{P}{A^{1/2}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

K_c : coeficiente de compacidade (adimensional);

P: perímetro da bacia (km);

A: área da bacia (km^2);

$$I_c = \frac{12,57 \cdot A}{P^2} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

I_c : índice de circularidade (adimensional);

A: área da bacia (km^2);

P: perímetro da bacia (km);

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

D_d : densidade de drenagem (Km.Km^{-2});

L_t : comprimento total dos cursos d'água (km);

A: área da bacia (km^2);

4.2 OBTENÇÃO E ANÁLISE DE IMAGENS DE SATÉLITE

A fim de verificar a influência da cobertura do solo no escoamento superficial, foram analisadas quatro imagens de satélites da área de estudo, obtidas em tempos diferentes, com um intervalo de 10 anos entre elas, sendo a primeira referente ao ano de 1985 e as demais referentes a 1995, 2005 e 2015. Tais imagens são disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), oriundas do satélite LANDSAT e estão listadas no Quadro 5.

Vale ressaltar que no processo de obtenção das imagens, selecionou-se, sempre que possível, uma imagem sem cobertura de nuvens em nenhum dos quadrantes, de modo a permitir uma melhor identificação da superfície do solo.

Os satélites da série LANDSAT apresentam uma série de vantagens na realização de estudos temporais, quando comparados às imagens fornecidas de outras missões espaciais, tendo em vista que tais satélites permanecem constantemente imageando a superfície terrestre, não necessitando de programação prévia, ademais as imagens obtidas são armazenadas, o que permite a recuperação de dados antigos (INPE, 2018). Além disso, ao comparar especificamente com a missão CBERS, o LANDSAT possui um banco de dados mais abrangente ao fornecer imagens desde o ano de 1972.

As bandas informadas no Quadro 5 foram determinadas através das composições de falsa-cor (RGB), assim, possuem a capacidade de discriminar e realçar objetos nas imagens, uma vez que as originais se encontram em tonalidades de cinza. Esse tratamento consiste em selecionar três bandas espectrais e atribuir a cada uma delas, uma das cores luz (R=vermelho, G=verde e B=azul).

Deste modo, para os sensores TM do LANDSAT-5 definiu-se B3-Azul, B4-Verde e B5-Vermelho, enquanto que para o sensor OLI do LANDSAT-8, a composição realizada foi: B4-Azul, B5-Verde e B6-Vermelho.

Dentre as imagens fornecidas pela série LANDSAT, tem-se as imagens georreferenciadas de forma mais precisa pelo INPE, que estão disponíveis na página eletrônica do referido instituto, identificadas como GLS. Portanto, a imagem denominada GLS-LANDSAT, datada de 15/06/2006, da órbita/ponto 222/076 foi utilizada como referência para melhorar o georreferenciamento de todas as imagens apresentadas no Quadro 5, que possuíam apenas o georreferenciamento do satélite.

Quadro 5 – Imagens utilizadas

DATA	SATÉLITE	INSTRUMENTO	ÓRBITA	PONTO	BANDAS
23/07/1985	Landsat-5	MSS e TM	222	076	B3 - B4 - B5
23/10/1995	Landsat-5	MSS e TM	222	076	B3 - B4 - B5
09/04/2005	Landsat-5	MSS e TM	222	076	B3 - B4 - B5
11/08/2015	Landsat-8	OLI e TIRS	222	076	B4 - B5 - B6

Fonte: o próprio autor

Para a realização do georreferenciamento mais exato de uma imagem através do *software* SPRING 5.5.2, utiliza-se a metodologia contida no comando “registro”, através do qual se relaciona a imagem de referência GLS com as imagens obtidas do satélite. Para tanto, deverão ser identificados os pontos correspondentes entre as duas imagens, denominados pontos de controle, os quais foram, prioritariamente, selecionados nos cruzamentos de estradas, uma vez que estas intersecções não sofreram alterações de posicionamento com o decorrer dos anos.

Segundo Moreira (2007), a qualidade do registro da imagem depende da acuidade visual do operador, pois ele deverá determinar e inserir os pontos das duas imagens precisamente no mesmo local. A fim de quantificar a qualidade do registro realizado o *software* informa o erro, em *pixels*, dos pontos de controle após o posicionamento de seis ou mais pontos de controle pelo operador. Desta forma, buscando uma boa qualidade no processo de registro, fixou-se em 0,6 *pixels* o limite máximo para aceitação da imagem georreferenciada.

A execução do processo de registro ou georreferenciamento das imagens foi vital para a realização deste trabalho, uma vez que tal procedimento unifica o referencial de todas as imagens dos diferentes anos analisados, pois caso contrário, não haveria uma referência comum entre as imagens, impossibilitando ou gerando erros no recorte das bacias hidrográficas e na determinação das porcentagens de cada tipo de uso e cobertura do solo.

Após a realização do processo de georreferenciamento, delimitou-se o perímetro urbano do município e as bacias hidrográficas através de arquivos *shapefile* (SHP) obtidos na página eletrônica do Sistema de Informação Geográfica de Londrina (SIGLON, 2018), os quais puderam ser importados no *software* SPRING 5.5.2. Além disso, para validar a delimitação das bacias hidrográficas fornecidas pelos arquivos citados anteriormente, importou-se uma imagem SRTM (SF-22-Y-D) da região de Londrina/PR, obtida na página eletrônica da EMBRAPA (2017) que

identifica em preto os pontos mais baixos, os quais seriam os corpos hídricos e, em branco os pontos mais altos, que seriam os divisores de água. A seguir, as áreas de cada bacia hidrográfica foram recortadas para proceder à etapa de análise temporal do uso e cobertura do solo de cada uma delas.

Finalmente, as bacias hidrográficas foram segmentadas por regiões, utilizando um grau 10 de similaridade, com área de 30 *pixels*, assim puderam-se identificar diversas regiões da imagem. Logo após, realizou-se a classificação supervisionada por regiões, através do algoritmo classificador *Bhattacharya*, utilizando um limiar de aceitação de 99% (DISPERATI; SERVELLO; OLIVEIRA FILHO, 2008).

O limiar de aceitação indica a porcentagem de *pixels* da distribuição de probabilidade de uma classe que poderá ou não ser classificada como pertencente a esta classe. Um limite de 99%, por exemplo, engloba 99% dos *pixels*, sendo que 1% será ignorado (os de menor probabilidade), compensando a possibilidade de alguns *pixels* terem sido introduzidos no treinamento por engano nesta classe ou estarem no limite entre duas classes (INPE, 2018).

A qualidade da delimitação das áreas de cobertura do solo está diretamente relacionada ao conhecimento do operador sobre a área estudada, portanto, o auxílio de outros *softwares* que fornecem imagem com melhores resoluções, como o GOOGLE EARTH, e até mesmo visitas em campo foram fundamentais para a escolha mais acertada da cobertura do solo de alguns pontos duvidosos da região.

A partir das imagens obtidas para os diferentes anos, criou-se uma legenda para padronizar as classes de cobertura do solo. Desta forma, a interpretação das imagens foi realizada através da análise de tonalidades de cor, forma, tamanho, localização e textura, conforme pode ser observado no Quadro 6, que ilustra cada chave utilizada para a determinação da ocupação do solo.

Ao término do processo de classificação, todas as regiões estarão associadas a uma chave definida pelo algoritmo. Com isso, devem-se associar tais regiões às chaves (denominadas temas, no SPRING 5.5.2) definidas previamente no banco de dados, quais sejam: água, solo exposto, vegetação rasteira, vegetação densa e urbanização.

Quadro 6 – Legenda padrão para caracterização e determinação de cada tipo de ocupação do solo analisada

TIPO DE COBERTURA DO SOLO	DESCRIÇÃO DA COBERTURA DO SOLO	PADRÃO COR / TEXTURA	EXEMPLO COLORIDO
Água	Rios e Lagos	Cor: Azul escuro. Textura: Lisa.	
Solo Exposto	Áreas de preparo da terra para plantio ou para construção civil	Cor: Marrom claro. Textura: Lisa	
Vegetação Rasteira	Cobertura de gramas, plantações e arbustos.	Cor: Verde claro. Textura: Rugosa	
Vegetação Densa	Áreas que apresentam alta taxa de infiltração, como bosques e fundos de vale	Cor: Verde escuro. Textura: Rugosa	
Urbanização	Áreas de elevada impermeabilização do solo, como edificações, estradas ou qualquer tipo de construção.	Cor: Marrom avermelhado. Textura: Rugosa	

Fonte: o próprio autor

4.3 VALOR DA CURVA NÚMERO (CN)

De acordo com Liu e Li (2008), o valor de CN é obtido a partir da ocupação, classe hidrológica e condição de umidade anterior do solo, sendo que seu resultado reflete diretamente no potencial de escoamento do local.

A metodologia proposta pelo *Soil Conservation Service* (SCS) divide o solo em quatro grandes grupos hidrológicos, representados pelas letras A, B, C e D, que

variam, em ordem alfabética, de solos com alta capacidade de infiltração e baixo escoamento superficial (A) a solos com baixa capacidade de infiltração e alto escoamento superficial (D). Desta forma, tal metodologia baseia-se na premissa de que perfis de solo com características semelhantes deverão se comportar de forma similar em eventos de precipitação com intensidade e duração consideráveis. O Quadro 2, do capítulo 3.5.1, descreve as características dos solos que pertencem a cada grupo hidrológico.

Segundo Cavalcante *et al.* (2007), o solo do campus da UEL que, em nível de estudo pode ser adotado para todo o município, é bastante poroso e possui fortes características de solo laterítico. Ao realizar a determinação do tipo de solo, sem defloculante, observou-se que o estrato de solo de até 12 metros de profundidade é formado por 25% de argila e 60% de silte, classificando-o como um silte argiloso.

Portanto, ao analisar os resultados obtidos por Cavalcante *et al.* (2007), pode-se afirmar que a classe hidrológica do solo que melhor se adequa à região de Londrina/PR é o do Grupo C, conforme pode ser observado no Quadro 2.

Após a determinação da classe hidrológica e da cobertura do solo, deve-se obter o coeficiente CN através de consulta ao Quadro 3, do capítulo 3.5.1, que demonstra o valor numérico de CN para cada tipo de cobertura do terreno em bacias urbanas e suburbanas na condição II de umidade antecedente de solo.

Conforme observado, o Quadro 3 classifica, detalhadamente, cada tipo de cobertura do solo, contudo, no presente estudo as chaves utilizadas para análise das imagens de satélite agregam uma ou mais coberturas de solo contidas no referido quadro. Logo, foi necessário realizar uma média ponderada para obter o CN médio para cada área classificada. Desta forma, adotou-se o Quadro 7, desenvolvido por Chang (2016), para determinar a porcentagem considerada de cada tipo de cobertura do solo que engloba cada chave utilizada na classificação das imagens de satélite e o seu respectivo CN médio. Vale ressaltar que os valores de CN médio indicados no Quadro 7 são referentes à condição II de umidade antecedente do solo.

Quadro 7 – Ponderação de CN por tipo de utilização e cobertura do solo

UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO	PONDERAÇÃO	CN MÉDIO
Urbanizada	20%: Zonas Comerciais e Escritórios 60%: Lotes residenciais com área impermeável de 65% 10%: Vias asfaltadas com drenagem de água pluvial 10%: Parques de estacionamentos, telhados, viadutos, etc.	92
Vegetação Densa	25%: Bosques (cobertura ruim) 75% Florestas (cobertura boa)	72
Vegetação Rasteira	20%: Zonas cultivadas: sem conservação do solo 30%: Zonas cultivadas: com conservação do solo 30%: Pastagens ou terrenos em más condições 20%: Prado em boas condições	81
Solo Exposto	100%: Terrenos baldios em boas condições	74

Fonte: Chang (2016)

4.4 CHUVA DE PROJETO

O modelo escolhido para a determinação das intensidades pluviométricas de projeto foi a equação de chuvas intensas para o município de Londrina/PR, publicada em 2011, por Roberto Fendrich (Equação 6), obtida através de dados históricos, observados entre 1975 e 1985.

$$i = \frac{1636,44 * T_r^{0,148}}{(t_d + 17)^{0,858}}, \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

i = intensidade pluviométrica (mm.h⁻¹);

T_r = tempo de retorno (anos);

t_d = tempo de duração (minutos);

Na Tabela 1 pode-se visualizar as intensidades pluviométricas para diferentes tempos de retornos (T_r) e tempos de duração (t_d), obtidas a partir da aplicação destas variáveis na Equação 6.

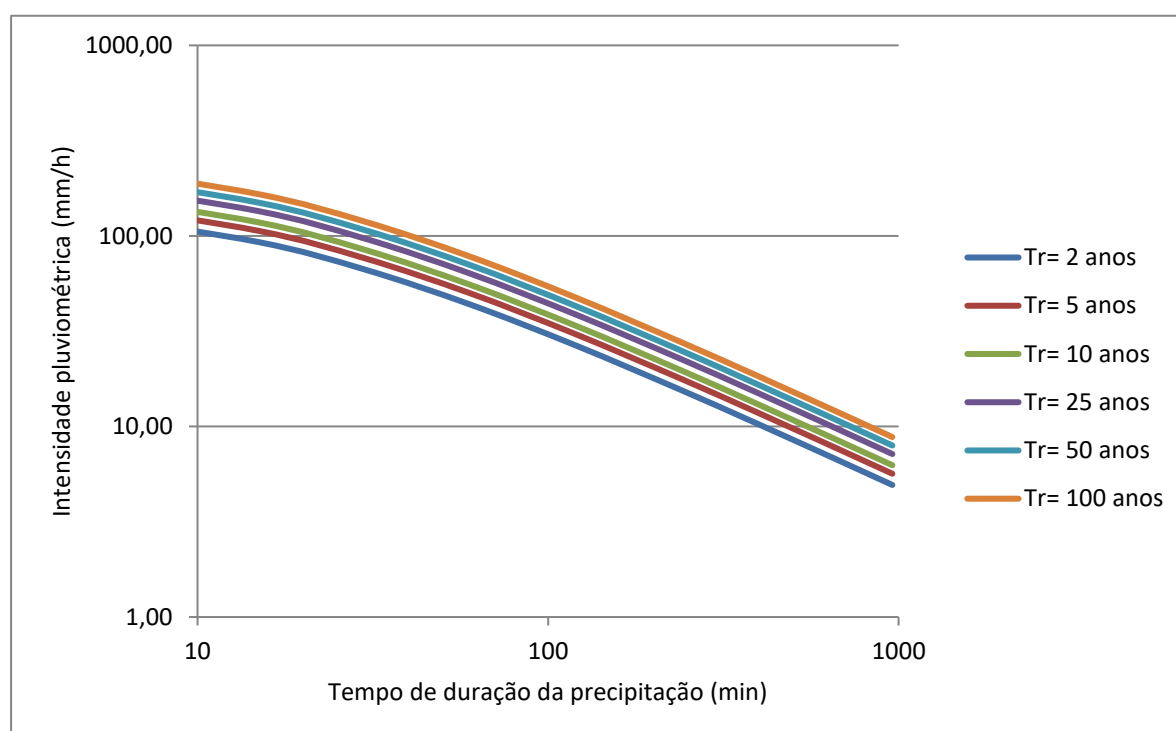
Tabela 1 – Intensidades pluviométricas para diversos Tempos de Retorno (T_r) e tempos de duração (t_d), obtidas através da equação para chuvas intensas, desenvolvida por Fendrich (2011)

Intensidade (mm/h)	T_r (anos)					
	2	5	10	25	50	100
t_d (minutos)						
5	127,84	146,40	162,22	185,78	205,85	228,09
15	92,69	106,15	117,62	134,70	149,26	165,38
30	66,65	76,33	84,57	96,86	107,32	118,92
60	43,64	49,97	55,37	63,41	70,26	77,86
120	26,62	30,48	33,77	38,68	42,86	47,49
360	11,17	12,79	14,17	16,23	17,98	19,93

Fonte: o próprio autor

A partir da Equação 6, puderam-se traçar as curvas de IDF para o município de Londrina/PR, conforme se observa no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Curvas de IDF para o Município de Londrina/PR, obtidas através da Equação para chuvas intensas, desenvolvida por Fendrich (2011)



Fonte: o próprio autor

4.5 CONVERSÃO DOS HIETOGRAMAS EM HIDROGRAMAS

Para geração dos hietogramas foi utilizada a distribuição temporal da chuva determinada pelo Método dos Blocos Alternados, com pico de vazão na metade da duração da chuva. Tal metodologia utiliza as relações IDF representadas pela Equação 6, fixando o valor do tempo de retorno adotado e variando o tempo de duração a partir de intervalos regulares de 10 minutos até a duração total da chuva, que neste caso será igual ao tempo de concentração da bacia contribuinte. Tais intensidades obtidas são transformadas em alturas de chuva após serem multiplicadas pelo seu respectivo tempo, resultando nos valores acumulados até o último intervalo.

Na sequência, deve-se desacumular as alturas de precipitação para obter a altura de cada intervalo de tempo e, finalmente, realizar a etapa que dá nome ao método, que se trata da alocação centralizada do pico e a alternância dos outros blocos de chuva, que são inseridos em ordem decrescente, sempre um à direita e outro à esquerda do bloco central.

Após a reordenação das alturas de precipitação no decorrer do tempo, tais valores serão acumulados novamente para que se possa correlacionar a precipitação acumulada com a chuva excedente ou chuva efetiva (Q), obtida através do Método do SCS, representado pela Equação 7 e Equação 8.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad \text{Equação 7}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

Q: chuva excedente ou chuva efetiva (mm);

P: precipitação (mm);

I_a: abstração inicial (mm);

S: potencial máximo de retenção após começar o escoamento (mm);

CN: coeficiente curva número (adimensional);

Para este trabalho, considerou-se que a abstração inicial corresponde a 20% do potencial máximo de retenção após o início do escoamento.

Para a obtenção dos hidrogramas unitários sintéticos curvilíneos, deve-se primeiramente determinar o tempo de concentração das bacias hidrográficas, que foi definido utilizando-se a Equação 5 (capítulo 3.1.2), desenvolvida por George Ribeiro (1961). Deste modo, a partir do tempo de concentração, pode-se determinar o tempo de pico e a vazão de pico, por meio das Equações 11 a 14. Logo após, correlacionou-se tais valores com as constantes elaboradas por McCuen (1998 *apud* TOMAZ, 2011), indicadas na Tabela 2.

$$t_p = 0,6 \cdot t_c \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

t_p : tempo de pico (min);

t_c : tempo de concentração (min);

$$D = 0,133 \cdot t_c \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

D: duração da chuva unitária (min);

t_c : tempo de concentração (min);

$$t_a = t_p + \frac{D}{2} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

t_a : tempo de ascensão que vai do início da chuva até a vazão de pico do hidrograma (minutos);

t_p : tempo de pico (horas);

D: duração da chuva unitária (horas);

$$Q_p = \frac{2,08 \cdot A}{t_a} \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

Q_p : vazão de pico ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

A: área da bacia (Km^2);

t_a : tempo de ascensão que vai do início da chuva até a vazão de pico do hidrograma (horas);

Após a obtenção do hidrograma unitário sintético curvilíneo para cada ano em cada bacia hidrográfica estudada, deve-se utilizar a interpolação linear para determinar as vazões do referido hidrograma em intervalos de tempo regulares de 10 minutos.

A partir dos valores de escoamento superficial e do hidrograma unitário sintético curvilíneo, ambos para intervalos regulares de 10 minutos, e aplicando os princípios da proporcionalidade das descargas e da superposição, processo denominado convolução (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015), finalmente obtém-se os dados do hidrograma de escoamento superficial ou hidrograma de cheia.

Tabela 2 – Correlações para obtenção do hidrograma unitário curvilíneo adimensional do Método SCS

t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p
0	0	1,1	0,99	2,4	0,147
0,1	0,03	1,2	0,93	2,6	0,107
0,2	0,1	1,3	0,86	2,8	0,077
0,3	0,19	1,4	0,78	3	0,055
0,4	0,31	1,5	0,68	3,2	0,04
0,5	0,47	1,6	0,56	3,4	0,029
0,6	0,66	1,7	0,46	3,6	0,021
0,7	0,82	1,8	0,39	3,8	0,015
0,8	0,93	1,9	0,33	4	0,011
0,9	0,99	2	0,28	4,5	0,005
1	1	2,2	0,207	5	0

Fonte: McCuen (1998 *apud* TOMAZ, 2011)

Os hietogramas e hidrogramas foram simulados para todos os anos estudados, considerando tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, com tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração da bacia em análise.

Muitos órgãos e entidades fixam os tempos de retorno (T_r) para diversos tipos de obra como critério de projeto. Desta forma, pode-se entender que o projetista ou órgão fiscalizador, ao escolher um tempo de retorno a ser adotado no projeto, estará decidindo qual grau de proteção contra enchentes será conferido para a população

que irá se utilizar do sistema projetado, isto é, trata-se de determinar o “risco hidrológico” aceitável.

De acordo com Tucci (2001), na seleção do tempo de retorno para estimativa da intensidade pluviométrica a ser empregada na elaboração de projetos de drenagem urbana, devem-se considerar os custos econômicos e as interferências no meio urbano, como relocação de populações, desapropriação de imóveis, interrupção de tráfego, prejuízo ao comércio local, entre outras perturbações que ocorrem durante o período de obras.

4.6 ANÁLISE DOS ESCOAMENTOS PREVISTOS PARA AS BACIAS HIDROGRÁFICAS E CONCEPÇÃO DE CENÁRIOS

A partir do Método de Crescimento Logístico, representado pelas Equações 15 e 16, obtiveram-se as projeções de população para os próximos anos, até atingir sua capacidade suporte (K).

Em seguida, estabeleceu-se uma correlação entre o crescimento da população e o aumento da urbanização, estimando, deste modo, a porcentagem de saturação da bacia hidrográfica referente à área urbanizada. Depois, através da correlação entre a porcentagem de urbanização e o coeficiente CN médio, determinou-se o CN médio de saturação de cada uma das bacias hidrográficas.

$$N = \frac{K}{1 + \left(\frac{K-N_0}{N_0}\right) * e^{-r t}} \quad \text{Equação 15}$$

$$K = \frac{2 * N_0 * N_1 * N_2 - N_1^2 * (N_0 + N_2)}{(N_0 * N_2) - N_1^2} \quad \text{Equação 16}$$

Onde:

N : número da população no ano “t”;

K : população de saturação;

N_0, N_1, N_2 : número da população nos anos t_0, t_1, t_2 ;

r : coeficiente obtido pela análise da regressão;

t : ano;

Após a obtenção dos valores de saturação da porcentagem de urbanização e do CN médio, aplicaram-se tais dados na Equação 5 para definir o tempo de concentração de cada bacia hidrográfica. A seguir, realizaram-se os passos descritos no capítulo 4.5, para obter os hidrogramas de escoamento superficial para as bacias hidrográficas em sua condição de saturação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

As bacias hidrográficas que compõe o presente estudo apresentam uma área de drenagem que varia de 13,80 Km² a 202,83 Km² e perímetro entre 18,21 km e 76,04 km. A Tabela 3 exhibe tais valores, além do comprimento do curso hídrico principal, comprimento total dos cursos d'água e altitudes máximas e mínimas. Os valores indicados foram obtidos por meio do *software* SPRING 5.5.2.

Tabela 3 – Dados morfométricos das bacias hidrográficas

DADOS MORFOMÉTRICOS					
PARÂMETROS	BHRJ	BHRLd	BHRLm	BHRCb	BHRCf
Área de Drenagem (Km ²)	78,04	62,99	13,80	51,75	202,83
Perímetro da Bacia (Km)	52,06	41,36	18,21	44,58	76,04
Comprimento do Curso Principal (Km)	14,32	18,02	6,98	16,44	36,87
Comprimento total dos cursos d'água (km)	70,98	53,45	14,22	39,81	156,75
Altitude Mínima (m)	463	452	456	427	424
Altitude Máxima (m)	660	626	588	611	760

Fonte: o próprio autor

A Tabela 3 indica que a BHRJ, a BHRLd e a BHRCb apresentam valores de área de drenagem e perímetro mais próximos, quando comparadas à BHRLm, que tem área de drenagem pequena, 13,80 km², e à BHRCf, que apresenta uma grande área de drenagem, 202,83 km². Aliás, percebe-se que no interior do espaço delimitado pela BHRCf encontram-se as maiores e menores altitudes, sendo de 424 metros (mínima) e 760 metros (máxima). Isto ocorre em virtude da sua extensa área de drenagem, que abrange 49,54% da área de estudo.

A partir dos dados morfológicos apresentados, calcularam-se o fator de forma (K_f), o coeficiente de compacidade (K_c), o índice de circularidade (I_c) e a densidade de drenagem (D_d) de cada bacia hidrográfica, utilizando as Equações 1 a 4, respectivamente. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA					
ÍNDICE	BHRJ	BHRLd	BHRLm	BHRCb	BHRCf
Fator de Forma (K_f)	0,381	0,194	0,283	0,191	0,149
Coefficiente de Compacidade (K_c)	5,893	5,211	4,902	6,197	5,339
Índice de Circularidade (I_c)	0,362	0,463	0,523	0,327	0,441
Densidade de Drenagem (D_d)	0,909	0,849	1,030	0,769	0,773

Fonte: o próprio autor

Além disso, como os índices para caracterização morfométrica refletem o grau de suscetibilidade a inundações das bacias hidrográficas, conforme os parâmetros delimitados no capítulo 3.1.1, desenvolveu-se o Quadro 8, que demonstra a propensão à inundação de cada bacia hidrográfica, tomando cada índice isoladamente.

Quadro 8 - Propensão a inundações de cada bacia hidrográfica, de acordo com a caracterização morfométrica

PROPENSÃO A INUNDAÇÕES				
Bacia Hidrográfica	K_f	K_c	I_c	D_d
BHRJ	baixa	baixa	alta	regular
BHRLd	baixa	baixa	alta	regular
BHRLm	baixa	baixa	baixa	regular
BHRCb	baixa	baixa	alta	regular
BHRCf	baixa	baixa	alta	regular

Fonte: o próprio autor

Deste modo, conclui-se que todas as bacias hidrográficas possuem sistemas de drenagem regulares, conforme determinado pelo índice " D_d " e, de modo geral, baixa propensão à ocorrência de inundações. O único índice que indica alta propensão às inundações, com exceção da BHRLm, é o Índice de Circularidade (I_c).

A respeito do tempo de concentração, obtido por meio da fórmula de George Ribeiro (1961), observou-se um decréscimo com o decorrer dos anos, para todas as bacias hidrográficas analisadas. A Tabela 5 expõe o tempo de concentração obtido para cada ano estudado.

Tabela 5 - Tempo de concentração, em minutos, de cada bacia hidrográfica e ano estudado

Tempo de Concentrações (em minutos)				
Bacia Hidrográfica	1985	1995	2005	2015
BHRJ	264,56	263,13	260,84	258,99
BHRLd	316,90	315,53	306,89	301,91
BHRLm	124,34	122,47	118,28	116,95
BHRCb	283,28	277,88	271,81	267,15
BHRCf	689,26	686,86	678,56	676,54

Fonte: o próprio autor

A partir dos dados demonstrados na Tabela 5, percebe-se que a BHRLm apresentou o maior decréscimo do tempo de concentração com variação total de -5,94%, ao relacionar os valores obtidos em 1985 com 2015, seguida da BHRCb, BHRLd, BHRJ e BHRCf que possuem, respectivamente, variações de -5,69%, -4,73%, -2,11% e -1,84%.

Embasado nos valores exibidos na Tabela 5, elaborou-se a Tabela 6, que indica a variação, em porcentagem, do tempo de concentração para cada intervalo de 10 anos, entre 1985 e 2015.

Tabela 6 - Variação percentual do tempo de concentração, tomado os dados isoladamente para cada intervalo de anos

VARIAÇÃO PERCENTUAL DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO			
Bacia Hidrográfica	1985 → 1995	1995 → 2005	2005 → 2015
BHRJ	-0,54%	-0,87%	-0,71%
BHRLd	-0,43%	-2,74%	-1,62%
BHRLm	-1,51%	-3,42%	-1,12%
BHRCb	-1,91%	-2,18%	-1,71%
BHRCf	-0,35%	-1,21%	-0,30%

Fonte: o próprio autor

Assim, percebe-se que a maior variação percentual ocorreu na BHRLm, entre os anos de 1995 e 2005, com um decréscimo de 3,42%. Enquanto a menor variação foi obtida na BHRCf, entre os anos de 1985 e 1995, com um decréscimo de 0,35%. A magnitude da variação se dá em função do crescimento da área urbanizada da

bacia hidrográfica, uma vez que o fator variável na fórmula de George Ribeiro (1961) é, justamente, a fração da bacia hidrográfica coberta por áreas permeáveis.

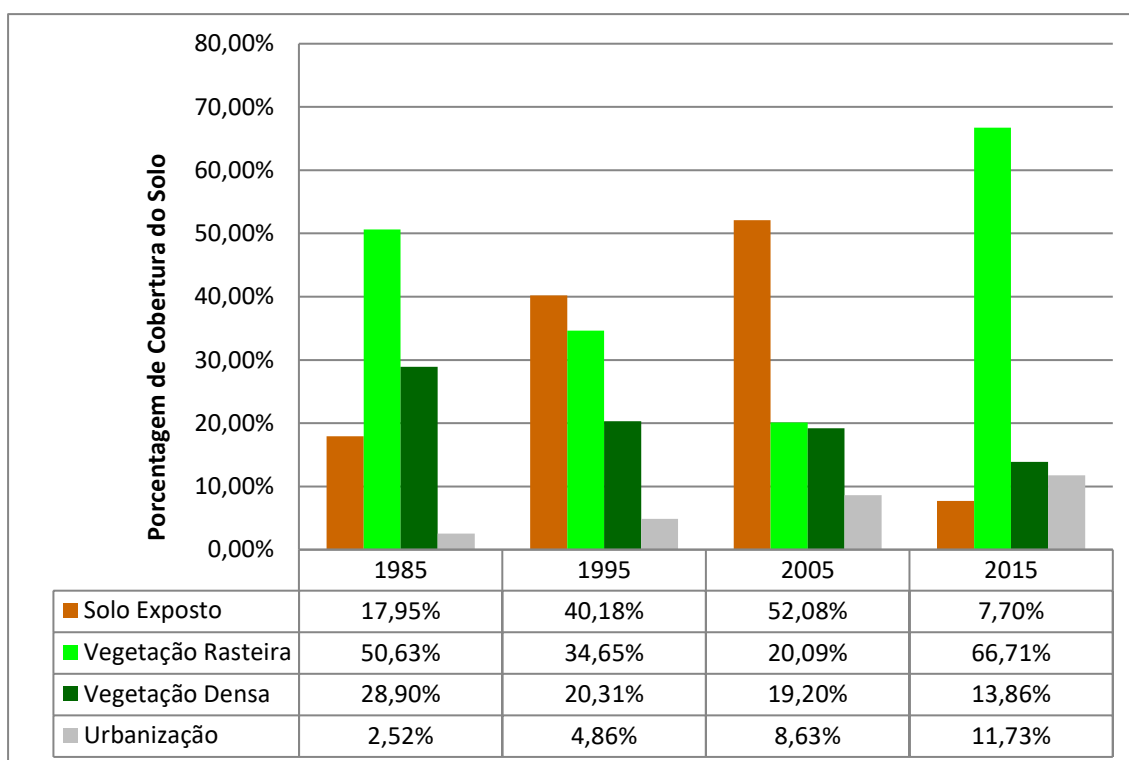
5.2 CLASSIFICAÇÃO DE USO E COBERTURA DE SOLO

A partir da análise das imagens obtidas pelos satélites da série LANDSAT, pôde-se quantificar a área para cada chave analisada, de acordo com o Quadro 6, do capítulo 4.2. Desta forma, obtiveram-se os resultados de variação temporal do uso do solo das bacias hidrográficas.

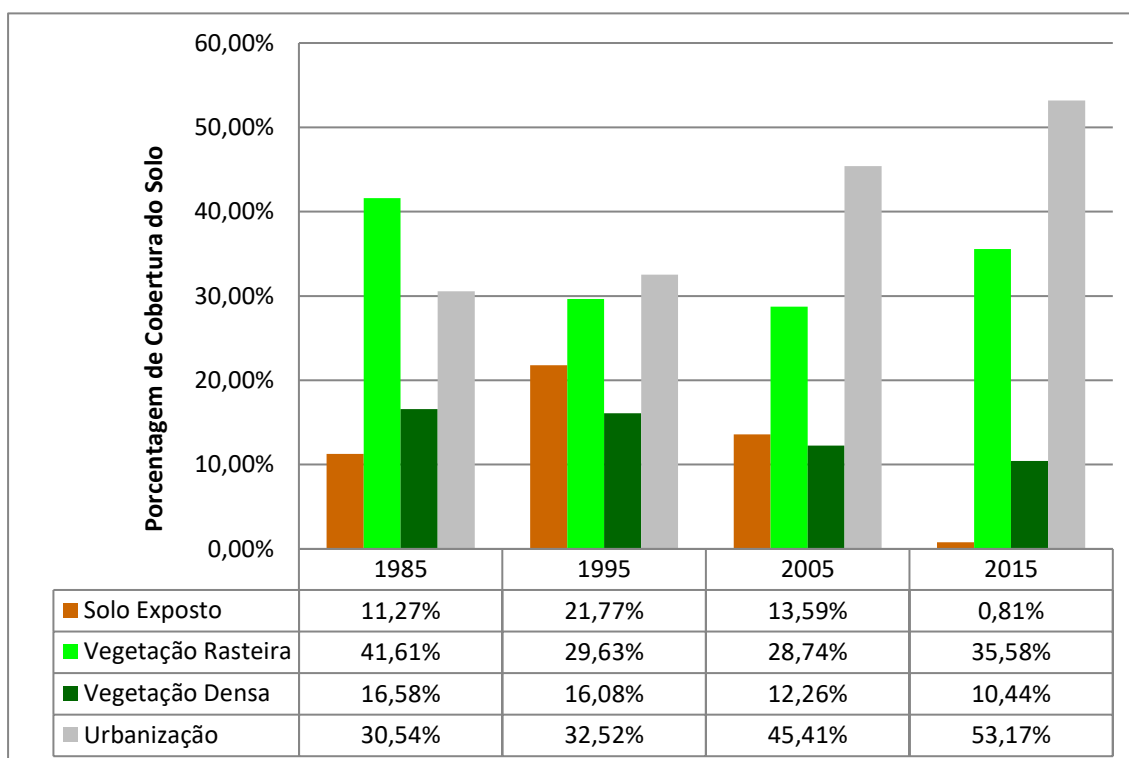
É importante destacar que as imagens, disponibilizadas gratuitamente pelo INPE, foram geradas através do sensor TM, para os anos de 1985, 1995 e 2005, e pelo sensor OLI, para o ano de 2015. Ambos os sensores fornecem uma resolução de 30 metros, isto é, são imagens de média resolução. Logo, utilizaram-se apenas cinco chaves (água, vegetação rasteira, vegetação densa, solo exposto e urbanização) para diferenciação do uso e cobertura do solo, devido à dificuldade em analisar áreas com características semelhantes.

De acordo com Zhou e Troy (2008 *apud* CANDIDO; SILVA; PARANHOS FILHO, 2015, p. 148), a utilização de imagens de média resolução em áreas mais heterogêneas, como as áreas urbanizadas, são insuficientes para mapeamento detalhado de cobertura do solo, pois nestas áreas existem elementos com dimensões físicas menores que a área de um *pixel* que, no caso do sensor TM e OLI do LANDSAT, são de 900 m².

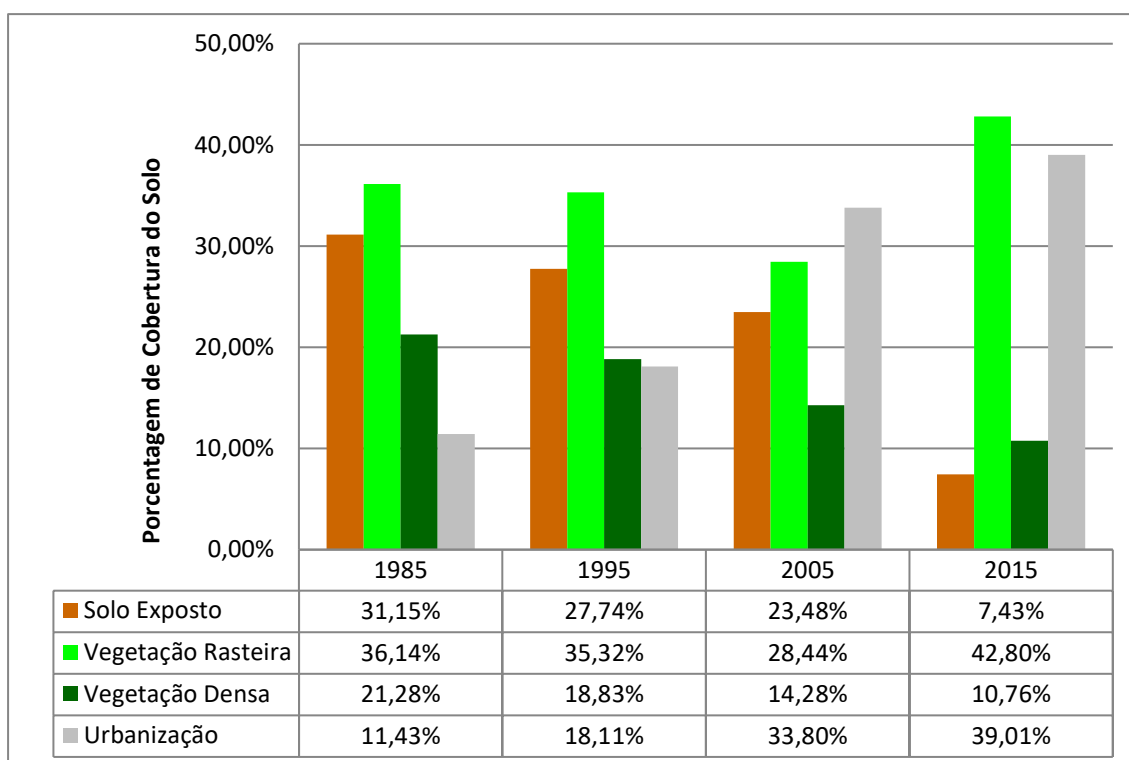
Os Gráficos 3 a 7, um para cada bacia hidrográfica, indicam a porcentagem do solo ocupada por cada chave analisada, no intervalo entre os anos de 1985 e 2015.

Gráfico 3 - Variação temporal do uso e ocupação do solo da BHRJ

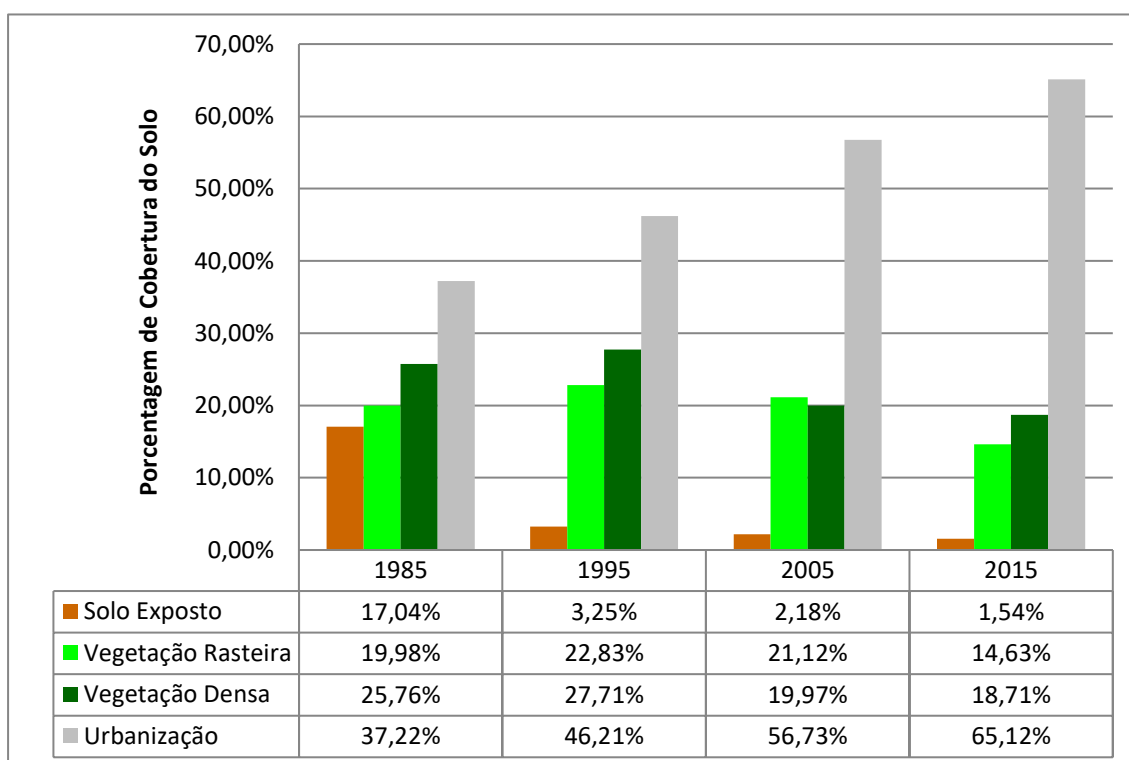
Fonte: o próprio autor

Gráfico 4 - Variação temporal do uso e ocupação do solo da BHR Ld

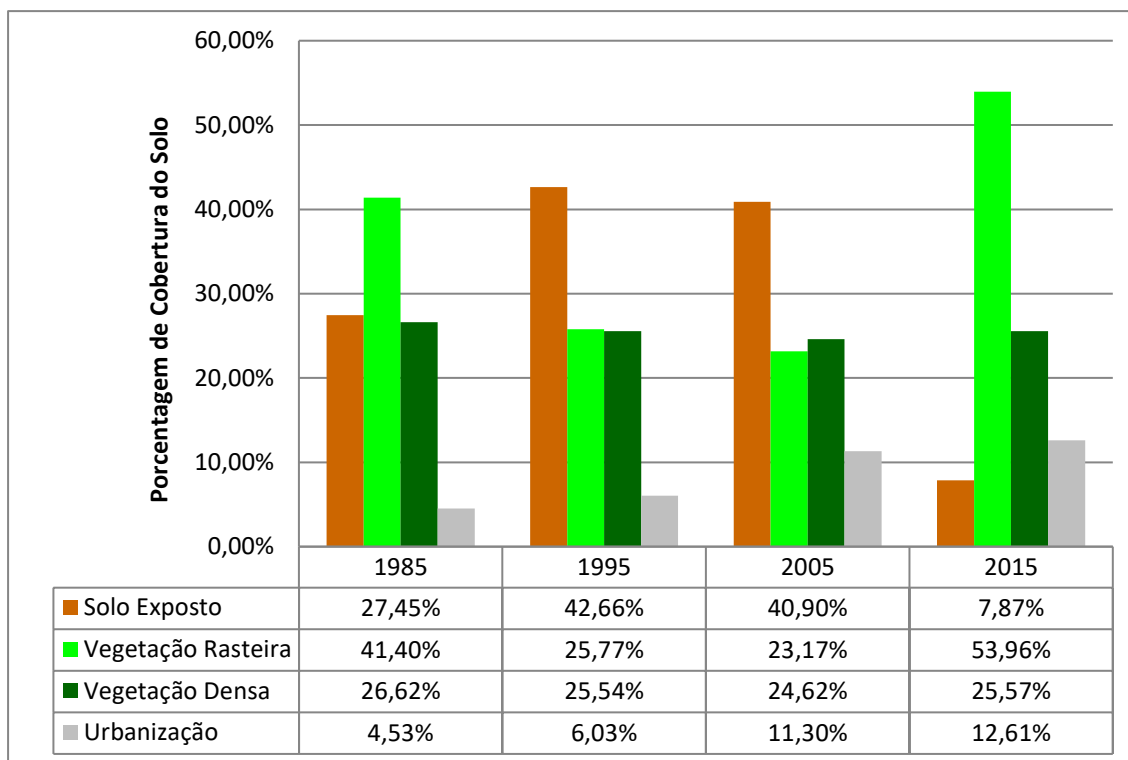
Fonte: o próprio autor

Gráfico 5 - Variação temporal do uso e ocupação do solo da BHRLm

Fonte: o próprio autor

Gráfico 6 - Variação temporal do uso e ocupação do solo da BHRCb

Fonte: o próprio autor

Gráfico 7 - Variação temporal do uso e ocupação do solo da BHRCf

Fonte: o próprio autor

Em todas as bacias hidrográficas verificou-se um aumento da área urbanizada com o passar dos anos. Dentre elas, torna-se evidente o acentuado processo de urbanização sofrido pela BHRCb e BHRLd que, em 2015, possuíam cerca de 56,73% e 45,41%, respectivamente, da sua área total tomada por áreas urbanizadas. No outro extremo, tem-se a BHRJ, que apesar de ter aumentado sua área urbanizada em 4,65 vezes, no período analisado, ainda possui apenas 11,73% da sua área tomada por urbanização.

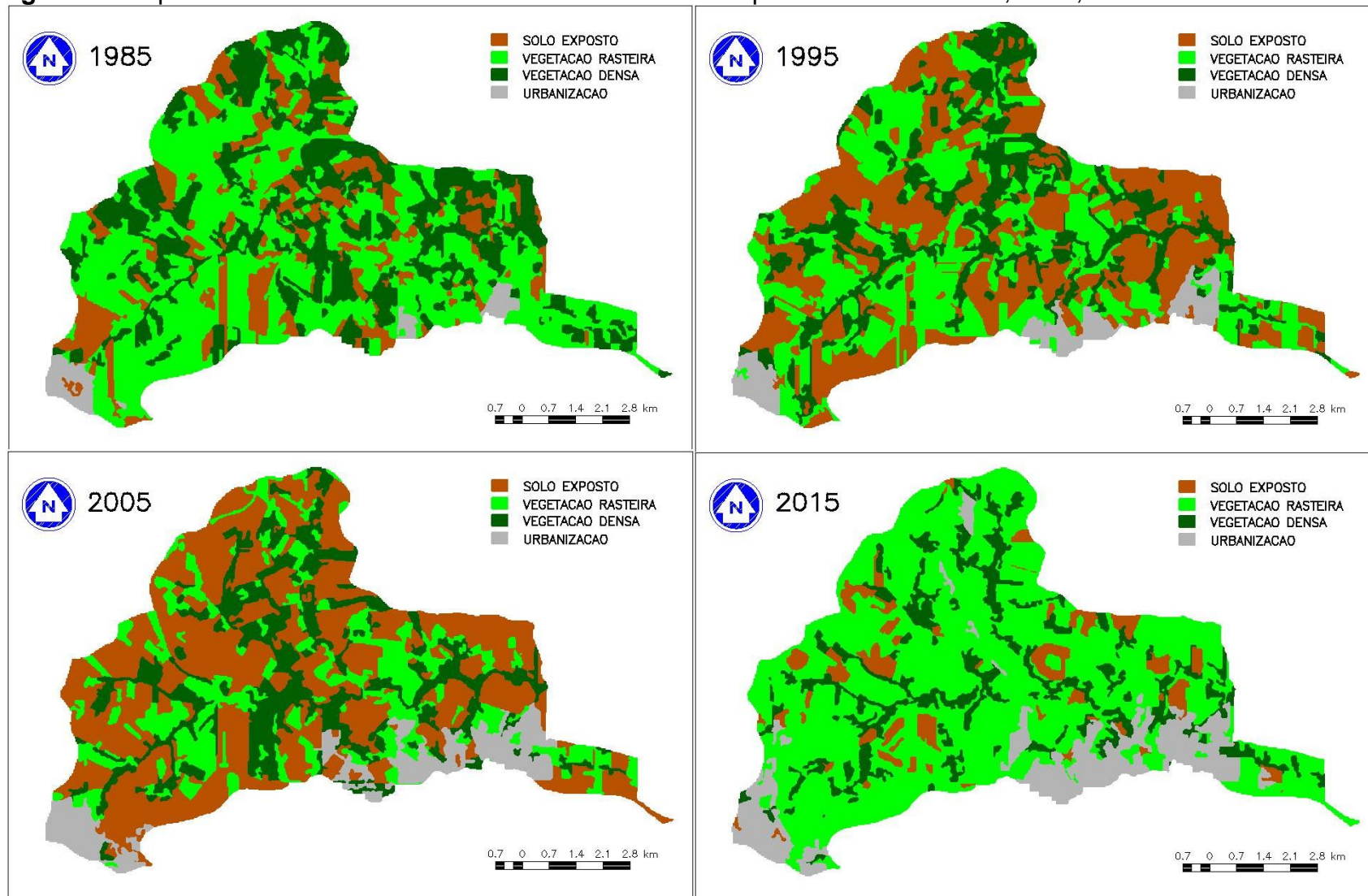
Além disso, no intervalo de 10 anos, algumas bacias hidrográficas apresentaram uma acentuada variação da área de solo exposto em relação à vegetação rasteira. Tais variações, provavelmente, se devem à rotação de culturas agrícolas, principalmente, porque elas ocorrem, de maneira mais brusca, em áreas pouco urbanizadas, como é o caso da BHRJ e da BHRCf, nas quais predomina-se a atividade agrícola.

As Figuras 5 a 9 mostram os mapas temáticos de uso e cobertura do solo de cada bacia hidrográfica, para cada ano estudado. Eles foram gerados a partir do *software* SPRING 5.5.2 e identificam as áreas ocupadas por água, solo exposto, vegetação rasteira, vegetação densa e urbanização.

A partir da análise visual dos referidos mapas temáticos verifica-se uma redução da área ocupada por vegetação densa, permanecendo apenas nos fundos de vale, próximos aos corpos hídricos, e em alguns pontos isolados. Nas bacias com maior urbanização, como a BHRLd, BHRLm e BHRCb, tais áreas foram tomadas, principalmente, por áreas urbanizadas. Já nas bacias onde se predominam as atividades agrícolas, como a BHRJ e BHRCf, as áreas foram sendo alteradas gradativamente para cobertura por vegetação rasteira ou solo exposto.

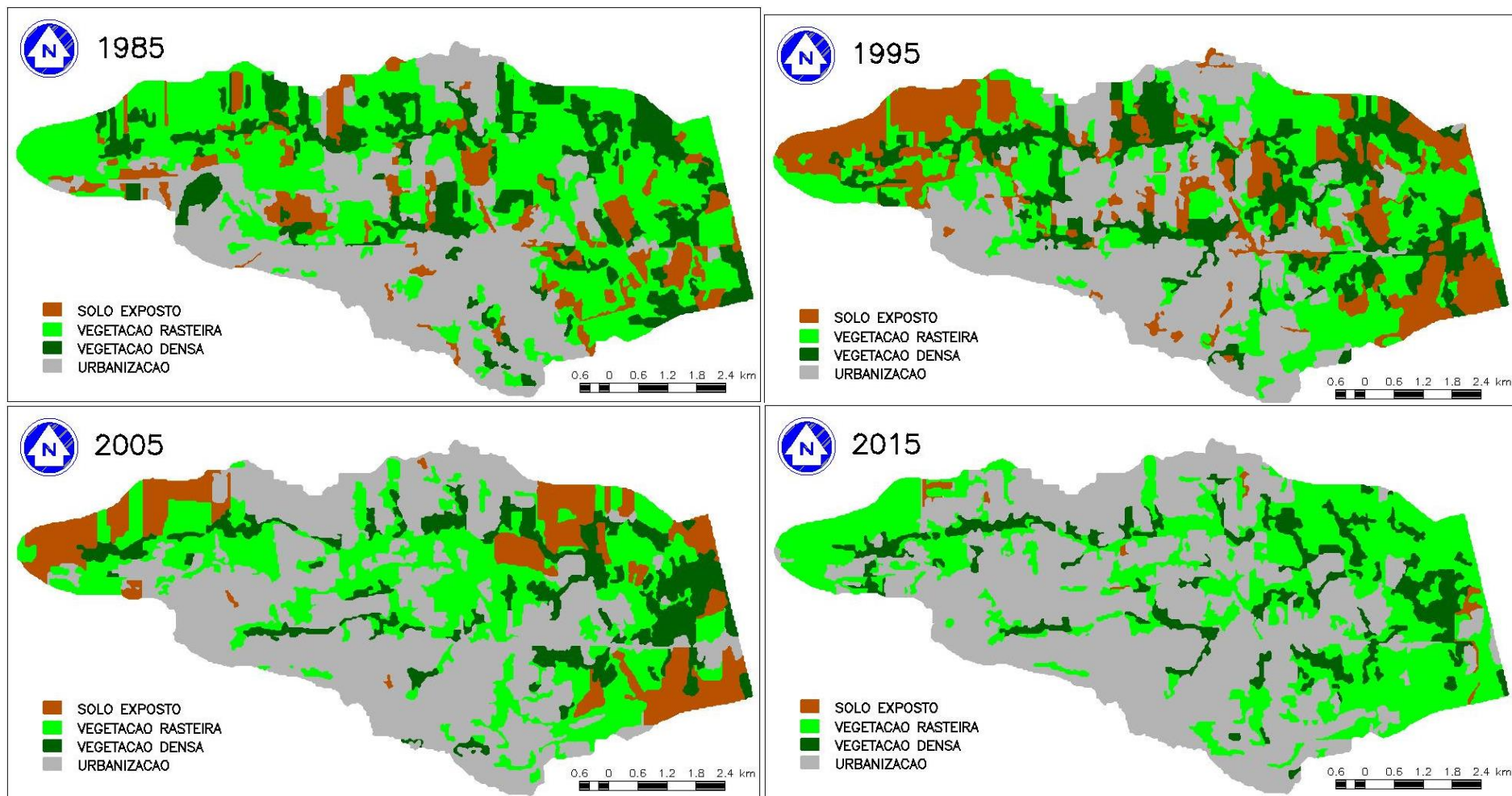
A BHRLd e BHRCb foram as bacias mais afetadas pelo processo de urbanização, ocorrido principalmente entre os anos de 1995 a 2015 em razão do aquecimento do setor imobiliário. A título de exemplo, citam-se os bairros situados no entorno da Av. Saul Elkind, na zona norte da BHRLd e o bairro Gleba Fazenda Palhano, na região centro-sul da BHRCb, uma vez que ambas as regiões apresentaram um acréscimo acentuado da área urbanizada neste período de tempo.

Figura 5 - Mapas temáticos de uso e cobertura do solo da BHRJ para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015



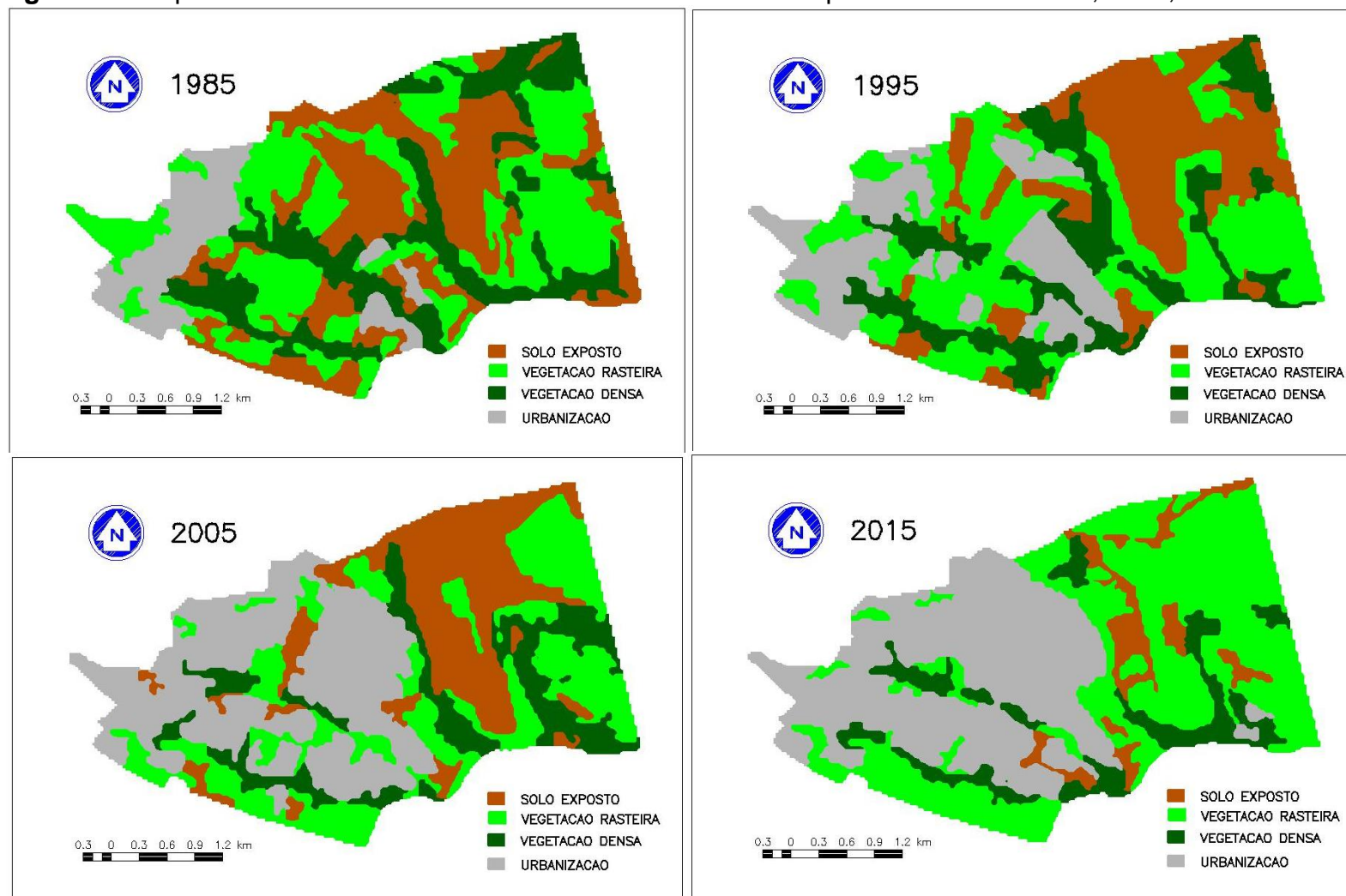
Fonte: o próprio autor

Figura 6 – Mapas temáticos de uso e cobertura do solo da BHRLd para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015



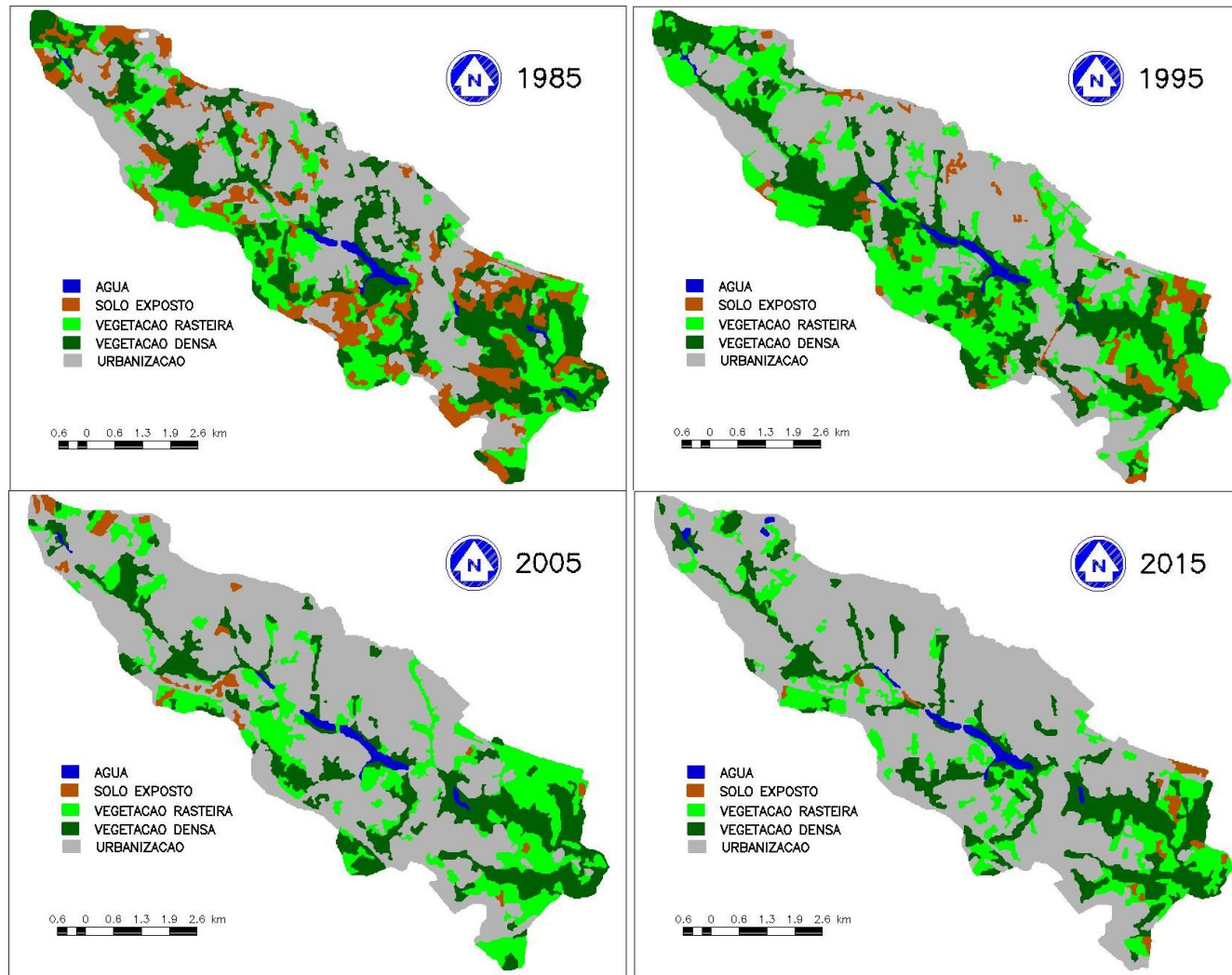
Fonte: o próprio autor

Figura 7 – Mapas temáticos de uso e cobertura do solo da BHRLm para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015



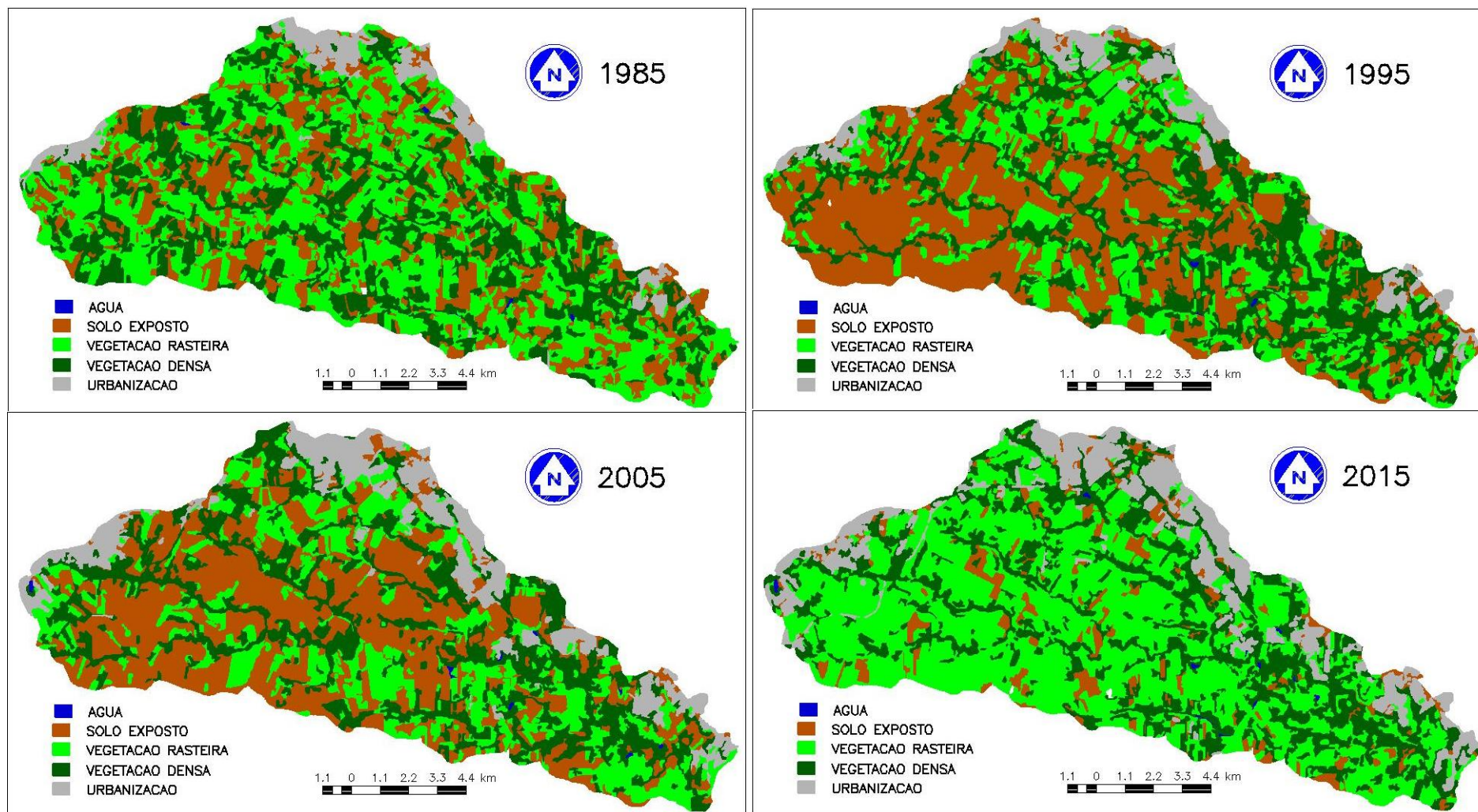
Fonte: o próprio autor

Figura 8 – Mapas temáticos de uso e cobertura do solo da BHRCb para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015



Fonte: o próprio autor

Figura 9 – Mapas temáticos de uso e cobertura do solo da BHRCf para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015



Fonte: o próprio autor

5.3 OBTENÇÃO DO COEFICIENTE CN

Após realizar o processo de ponderação do CN para cada tipo de utilização e cobertura do solo, adotando os parâmetros estabelecidos no Quadro 7, do capítulo 4.3, obteve-se o coeficiente CN médio de cada bacia hidrográfica, para cada ano estudado, conforme pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 – Variação temporal dos valores de CN Médio das bacias hidrográficas

Bacia Hidrográfica	1985	1995	2005	2015
BHRJ	77,42	76,89	76,57	80,50
BHRLd	82,08	81,61	83,94	85,85
BHRLm	78,16	79,36	81,79	83,80
BHRCb	81,58	83,36	85,29	86,37
BHRCf	77,18	76,38	77,16	79,53

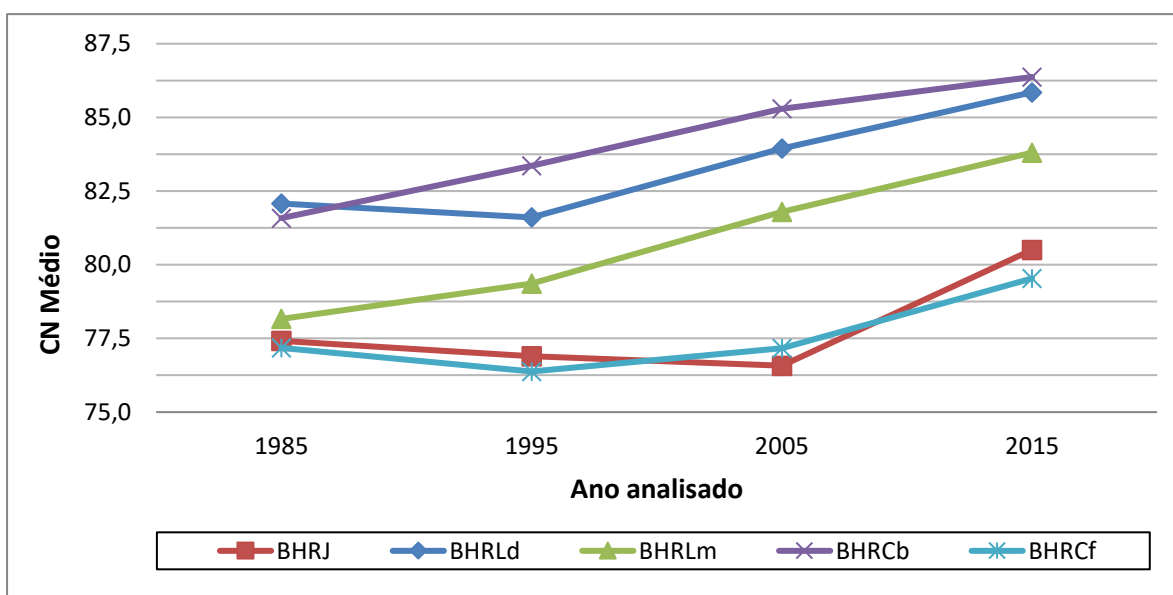
Fonte: o próprio autor

Os resultados indicados na Tabela 7 demonstram que o CN médio de todas as bacias hidrográficas apresentou crescimento, apesar de haver diminuição do coeficiente quando tomado algum intervalo de ano isolado. É o caso da BHRLd e da BHRCf, que no intervalo entre os anos de 1985 e 1995 apresentaram redução, provavelmente em virtude da variação acentuada da vegetação rasteira em comparação ao solo exposto.

O movimento ascendente do valor do CN médio das bacias hidrográficas ocorre, principalmente, em virtude do aumento da urbanização e consequente diminuição das áreas permeáveis.

Ao relacionar os valores de CN entre os anos de 1985 e 2015 com os valores de vazão de pico de cada ano, confirma-se a alta sensibilidade deste último fator, conforme apontado por PORTO (1995 *apud* PAULINO, 2014, p. 42). Como exemplo, pode-se citar a BHRLm, que ao sofrer um acréscimo de 7,2% do coeficiente CN em 30 anos, culminou em um aumento de 24,2% da vazão de pico do hidrograma de escoamento superficial, ao considerar um tempo de retorno (T_r) de 5 anos, conforme será demonstrado no capítulo 5.4.

A partir dos valores indicados na Tabela 7, pôde-se desenvolver o Gráfico 8, que exhibe a variação temporal do CN médio de todas as bacias hidrográficas estudadas.

Gráfico 8 – Variação temporal dos valores de CN Médio das bacias hidrográficas

Fonte: o próprio autor

5.4 HIETOGRAMAS E HIDROGRAMAS DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Os hietogramas foram gerados a partir do Método dos Blocos Alternados, enquanto os hidrogramas de escoamento superficial foram obtidos através do Método do hidrograma curvilíneo sintético do SCS, aliado à convolução para a determinação da vazão de cheia. Para simulação de diversos cenários, adotou-se o tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração encontrado pela fórmula de George Ribeiro (1961) e, quanto ao tempo de retorno (T_r), variou-se entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos.

A Tabela 8 mostra, para cada bacia hidrográfica, a intensidade e altura da precipitação em função do tempo de retorno adotado e o tempo de duração da chuva, neste caso, igual ao tempo de concentração. Nota-se que a intensidade da chuva é inversamente proporcional ao tempo de concentração, logo, à medida que as bacias hidrográficas foram sendo urbanizadas, diminuíram-se os tempos de concentração e houve acréscimo na intensidade da chuva para um mesmo tempo de retorno.

Tabela 8 – Intensidade e alturas de precipitação para os diferentes cenários e anos estudados

Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jacutinga (BHRJ)									
T_r (anos)	1985		1995		2005		2015		
	t_c (min)	264,56	t_c (min)	263,13	t_c (min)	260,84	t_c (min)	258,99	
	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	
5	16,43	72,44	16,50	72,37	16,62	72,24	16,71	72,14	
10	18,20	80,27	18,28	80,18	18,41	80,05	18,52	79,94	
25	20,85	91,93	20,94	91,83	21,09	91,67	21,21	91,55	
50	23,10	101,86	23,20	101,75	23,37	101,58	23,50	101,44	
100	25,60	112,86	25,71	112,74	25,89	112,55	26,04	112,39	
Bacia Hidrográfica do Ribeirão Lindóia (BHRLd)									
T_r (anos)	t_c (min)	316,90	t_c (min)	315,53	t_c (min)	306,89	t_c (min)	301,91	
	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	
5	14,19	74,96	14,24	74,90	14,57	74,52	14,76	74,29	
10	15,73	83,06	15,78	83,00	16,14	82,57	16,36	82,31	
25	18,01	95,13	18,07	95,05	18,49	94,56	18,73	94,27	
50	19,96	105,40	20,03	105,32	20,48	104,77	20,76	104,45	
100	22,11	116,79	22,19	116,70	22,70	116,09	23,00	115,74	
Bacia Hidrográfica do Ribeirão Limoeiro (BHRLm)									
T_r (anos)	t_c (min)	124,34	t_c (min)	122,47	t_c (min)	118,28	t_c (min)	116,95	
	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	
5	29,68	61,50	30,02	61,27	30,81	60,74	31,08	60,57	
10	32,88	68,15	33,26	67,89	34,14	67,31	34,43	67,12	
25	37,66	78,04	38,09	77,75	39,10	77,08	39,43	76,86	
50	41,73	86,47	42,21	86,15	43,33	85,41	43,69	85,17	
100	46,23	95,82	46,77	95,46	48,01	94,64	48,42	94,37	
Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cambé (BHRCb)									
T_r (anos)	t_c (min)	283,28	t_c (min)	277,88	t_c (min)	271,81	t_c (min)	267,15	
	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	
5	15,55	73,40	15,79	73,13	16,07	72,82	16,30	72,58	
10	17,23	81,33	17,50	81,03	17,81	80,69	18,06	80,42	
25	19,73	93,14	20,04	92,80	20,40	92,41	20,68	92,10	
50	21,86	103,20	22,20	102,82	22,60	102,39	22,92	102,05	
100	24,22	114,35	24,60	113,93	25,04	113,45	25,40	113,07	
Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cafezal (BHRCf)									
T_r (anos)	t_c (min)	689,26	t_c (min)	686,86	t_c (min)	678,56	t_c (min)	676,54	
	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	i (mm/h)	P (mm)	
5	7,46	85,74	7,49	85,69	7,56	85,52	7,58	85,48	
10	8,27	95,00	8,29	94,95	8,38	94,76	8,40	94,71	
25	9,47	108,80	9,50	108,73	9,60	108,52	9,62	108,47	
50	10,49	120,55	10,52	120,48	10,63	120,24	10,66	120,19	
100	11,63	133,57	11,66	133,50	11,78	133,23	11,81	133,17	

Fonte: o próprio autor

As Tabelas 9 a 13 demonstram a variação da vazão de pico em relação a cada tempo de retorno e ano da imagem analisada.

Tabela 9 – Vazões de pico dos hidrogramas de cheia da BHRJ para cada ano e tempo de retorno adotado

Tempo de Retorno (anos)	Vazão de Pico ($m^3.s^{-1}$)			
	1985	1995	2005	2015
5	170,74	168,72	168,66	191,15
10	199,64	197,47	196,96	221,79
25	244,21	241,84	241,37	269,25
50	282,77	280,28	279,96	310,24
100	326,99	324,38	324,34	356,90

Fonte: o próprio autor

A BHRJ, que possui predominância de atividade agrícola, apresentou pequeno decréscimo na vazão de pico entre os anos de 1985 a 2005. Isto pode ser explicado em virtude do aumento da cobertura de solo exposto em detrimento à vegetação rasteira, uma vez que o valor de CN para solo exposto é inferior à vegetação rasteira, conforme demonstrado no Quadro 7. Todavia, de 2005 para 2015, com o aumento de 3,11 pontos percentuais da área urbanizada e de 46,63 pontos percentuais da vegetação rasteira em relação ao solo exposto, houve um acréscimo expressivo da vazão de pico.

A BHRLd e BHRCf apresentaram comportamento similar à BHRJ, entre os anos de 1985 a 1995, com a redução da vazão de pico. Entretanto, a partir de 1995, com a crescente urbanização sofrida pelas bacias hidrográficas, ocorreu aumento da vazão de pico.

Tabela 10 – Vazões de pico dos hidrogramas de cheia da BHRLd para cada ano e tempo de retorno adotado

Tempo de Retorno (anos)	Vazão de Pico ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)			
	1985	1995	2005	2015
5	140,08	138,70	152,15	162,07
10	161,91	160,46	175,40	185,86
25	195,27	193,95	210,50	221,95
50	224,40	222,84	240,87	253,25
100	256,96	255,59	275,15	288,07

Fonte: o próprio autor

Tabela 11 – Vazões de pico dos hidrogramas de cheia da BHRLm para cada ano e tempo de retorno adotado

Tempo de Retorno (anos)	Vazão de Pico ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)			
	1985	1995	2005	2015
5	50,77	53,60	58,34	63,04
10	59,54	62,78	67,99	72,73
25	73,09	76,58	82,40	88,01
50	84,71	88,96	95,26	101,31
100	98,33	103,00	109,80	116,29

Fonte: o próprio autor

Os resultados obtidos para a BHRLm e BHRCb indicam que a vazão de pico aumentou em todos os intervalos de anos. Além disso, dentre todas as bacias hidrográficas analisadas, elas apresentaram a maior variação da vazão de pico, principalmente entre os anos de 1995 e 2005, com um acréscimo da vazão de pico de 8,84% para a BHRLm e de 7,46% para a BHRCb, ao considerar um tempo de retorno igual a 5 anos.

Tabela 12 – Vazões de pico dos hidrogramas de cheia da BHRCb para cada ano e tempo de retorno adotado

Tempo de Retorno (anos)	Vazão de Pico ($m^3.s^{-1}$)			
	1985	1995	2005	2015
5	122,48	131,66	141,48	148,51
10	141,99	151,81	162,74	170,15
25	171,58	182,76	194,73	202,98
50	197,51	209,37	222,37	231,44
100	226,45	239,48	253,52	263,28

Fonte: o próprio autor

Tabela 13 – Vazões de pico dos hidrogramas de cheia da BHRCf para cada ano e tempo de retorno adotado

Tempo de Retorno (anos)	Vazão de Pico ($m^3.s^{-1}$)			
	1985	1995	2005	2015
5	222,83	218,73	225,78	241,44
10	259,09	254,70	262,52	279,47
25	314,69	309,90	318,87	337,40
50	363,18	358,13	368,03	387,87
100	417,76	412,63	423,52	444,69

Fonte: o próprio autor

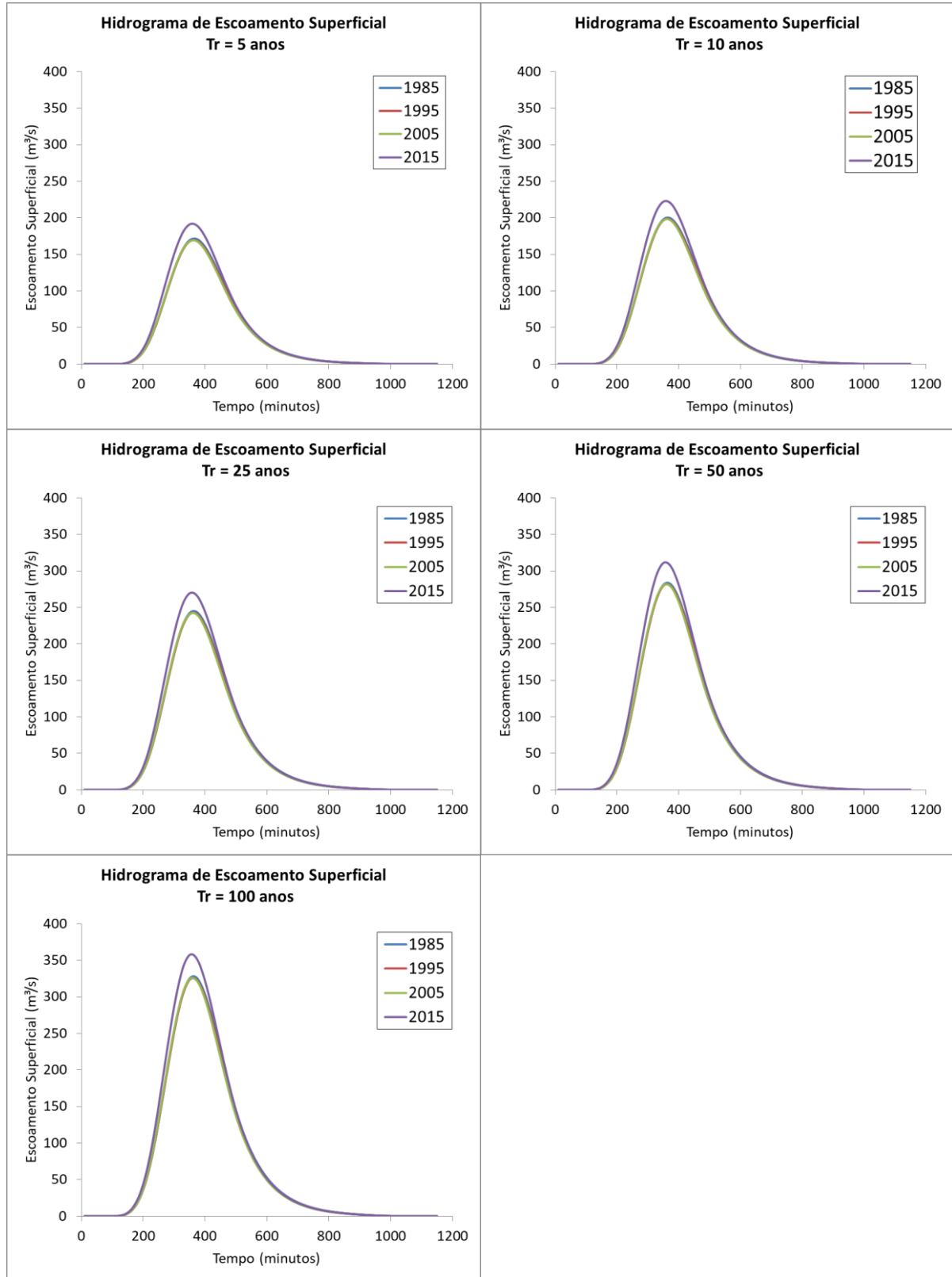
As Figuras 10 a 14 mostram os hidrogramas de escoamento superficial obtidos em função de cada tempo de retorno adotado. A variação do tempo de pico e vazão de pico confirma a tendência de que, com a crescente urbanização e consequente aumento da área impermeável, têm-se picos de vazão cada vez mais altos dentro de menores intervalos de tempo.

Além disso, com a redução do tempo de concentração no decorrer dos anos, a duração total do escoamento superficial foi reduzida, o que trará danos à bacia hidrográfica em questão, ou caso tal bacia possua condutos bem dimensionados para atender a esta situação, acarretará em problemas para as áreas a jusante.

Portanto, nota-se que a urbanização das bacias hidrográficas do município de Londrina/PR vai em direção contrária aos atuais estudos na área de drenagem, que buscam um amortecimento das vazões de cheia, através de medidas estruturais,

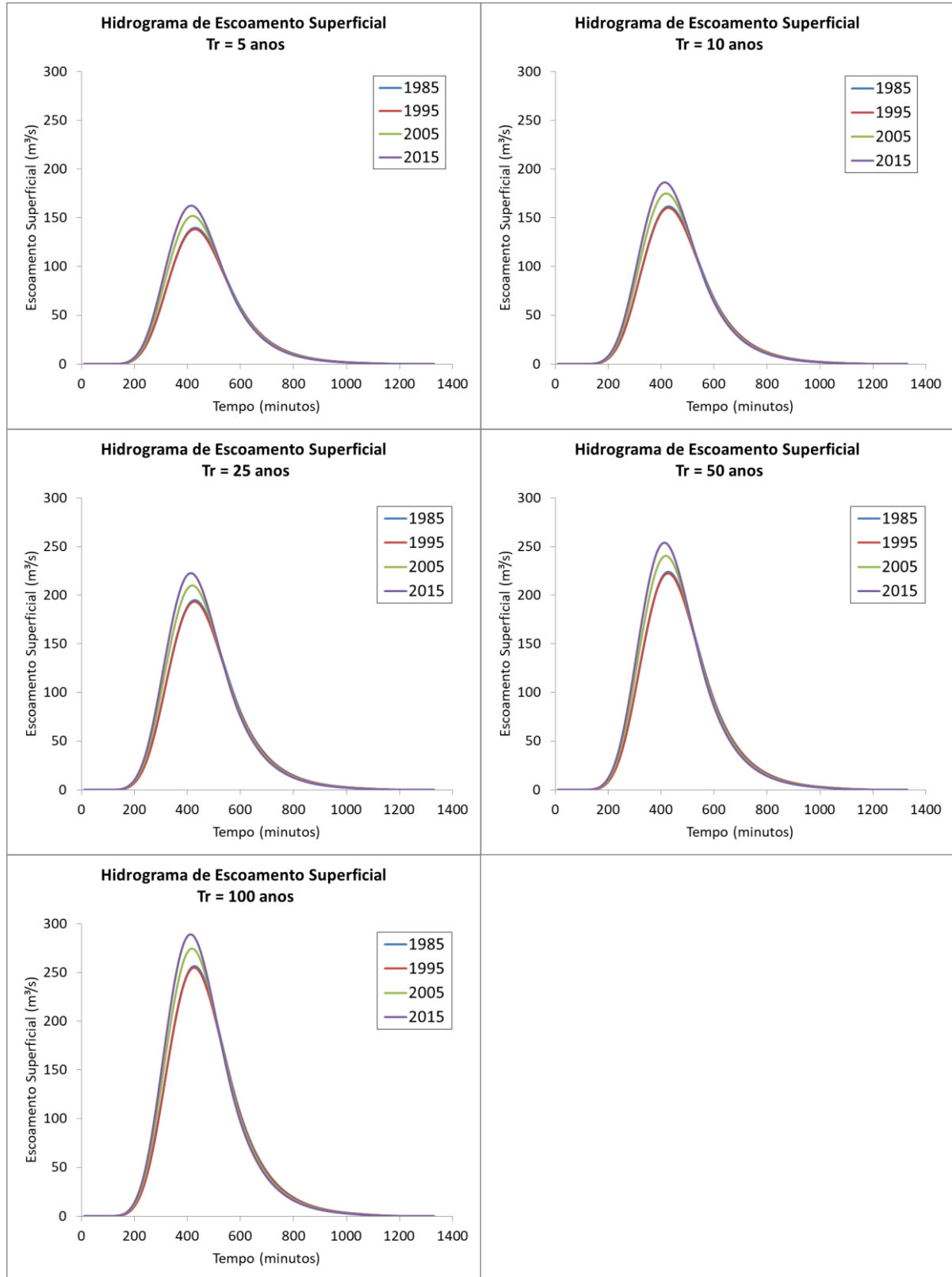
como reservatórios de retardo, e medidas não estruturais como ações de políticas públicas voltadas ao planejamento e gerenciamento do uso do solo.

Figura 10 – Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRJ para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 com Tempos de Retorno (T_r) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos



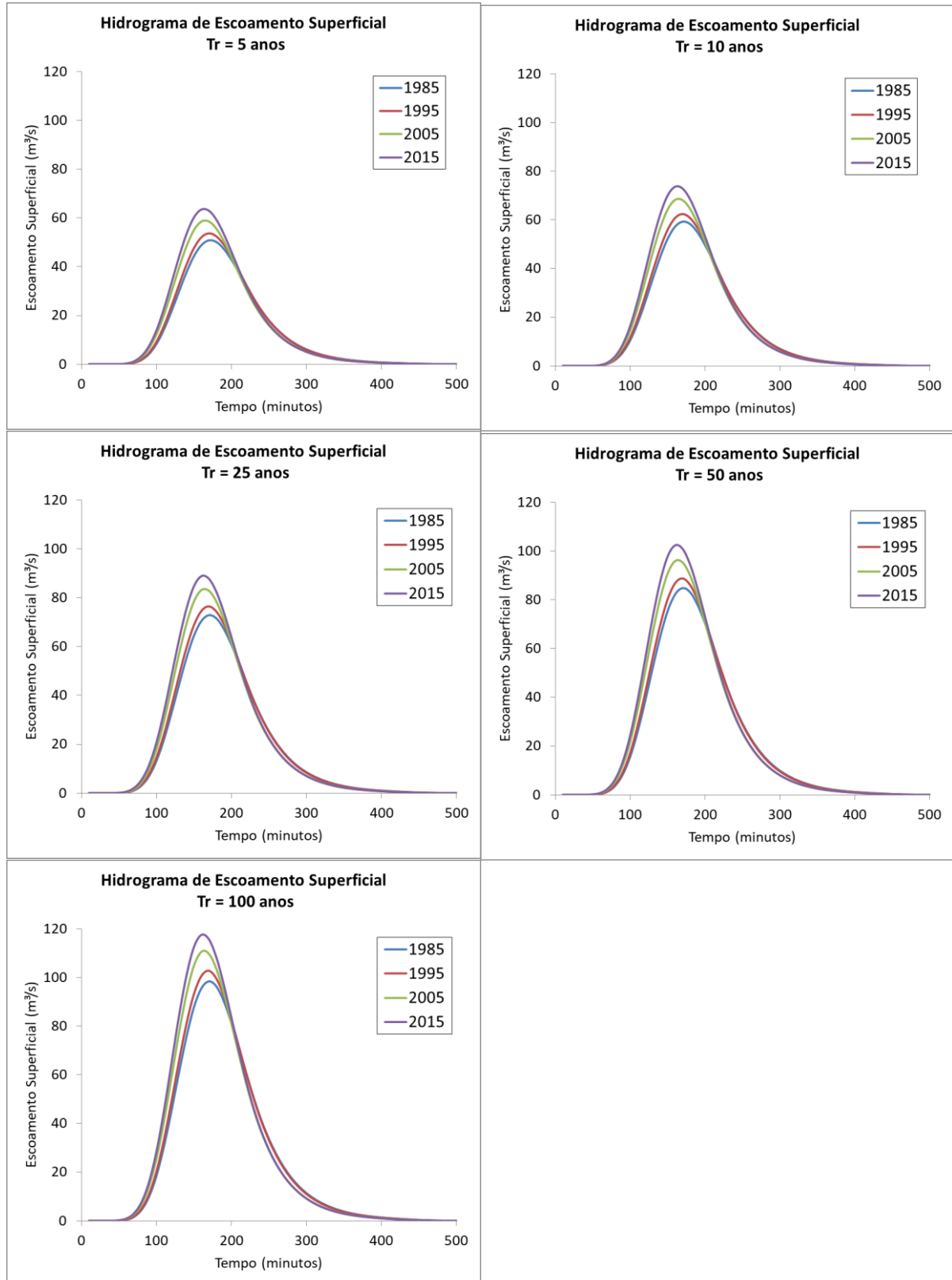
Fonte: o próprio autor

Figura 11 – Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRLd para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 com Tempos de Retorno (T_r) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos



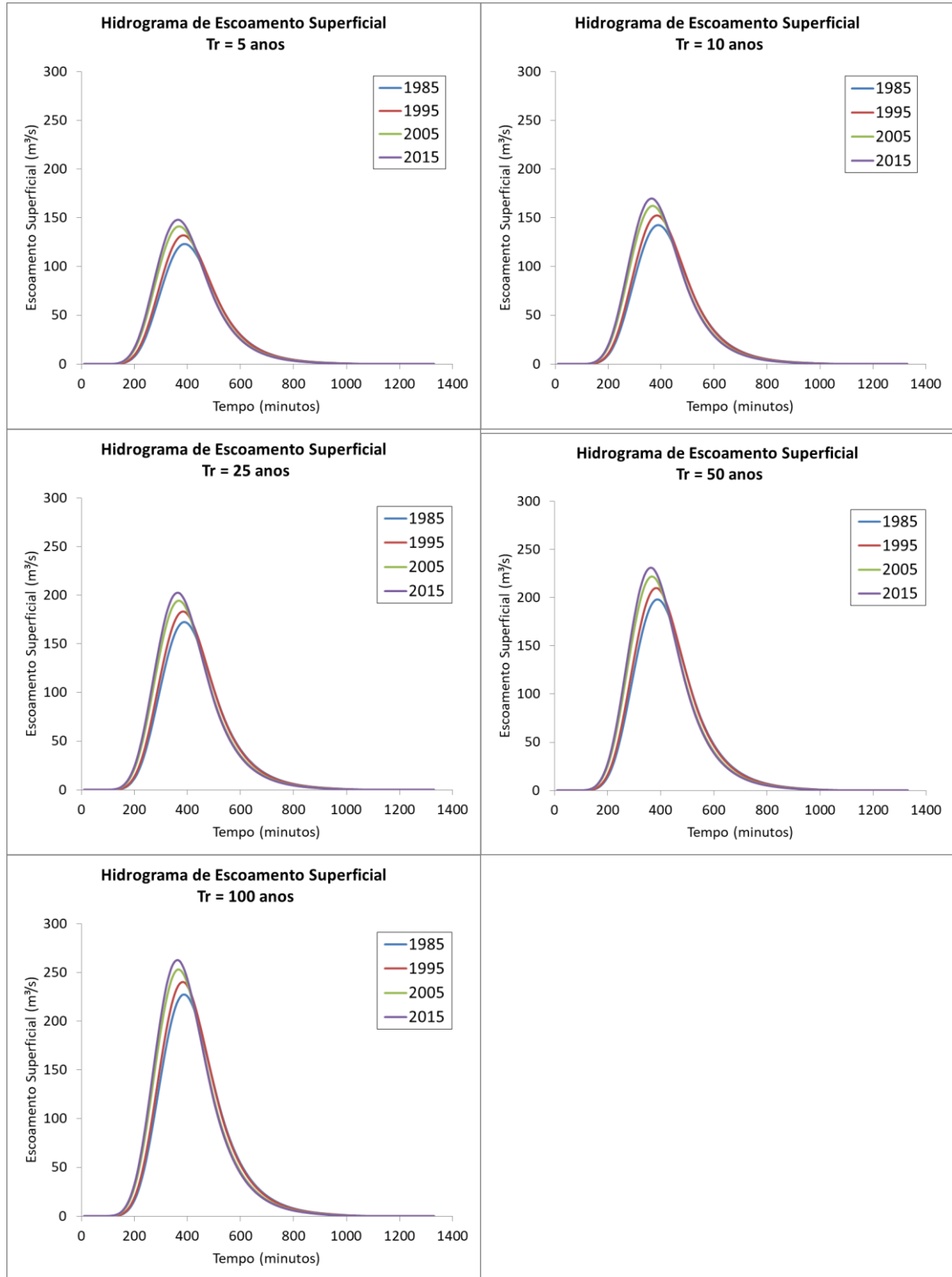
Fonte: o próprio autor

Figura 12 – Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRLm para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 com Tempos de Retorno (T_r) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos



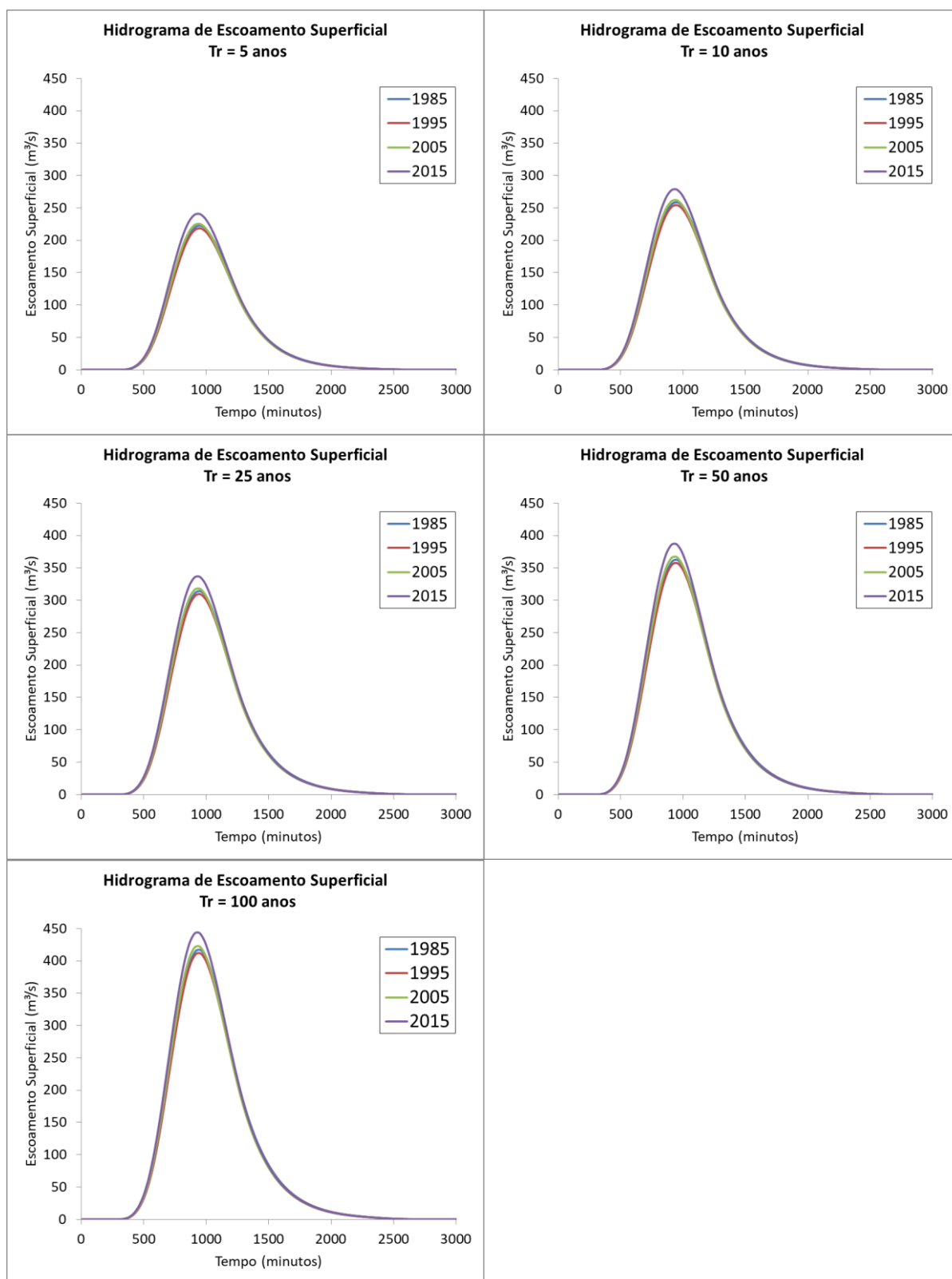
Fonte: o próprio autor

Figura 13 – Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRCb para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 com Tempos de Retorno (T_r) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos



Fonte: o próprio autor

Figura 14 – Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRCf para os anos de 1985, 1995, 2005 e 2015 com Tempos de Retorno (T_r) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos



Fonte: o próprio autor

5.5 CENÁRIOS FUTUROS

A partir dos dados populacionais fornecidos pelo IBGE (2010), demonstrados na Tabela 14, determinaram-se as projeções habitacionais da área urbana para os próximos anos, por meio do Método de Crescimento Logístico.

Tabela 14 – População residente na área urbana do município de Londrina/PR

Ano	População (habitantes)
1970	163.528
1980	266.940
1991	366.676
2000	433.369
2010	493.520

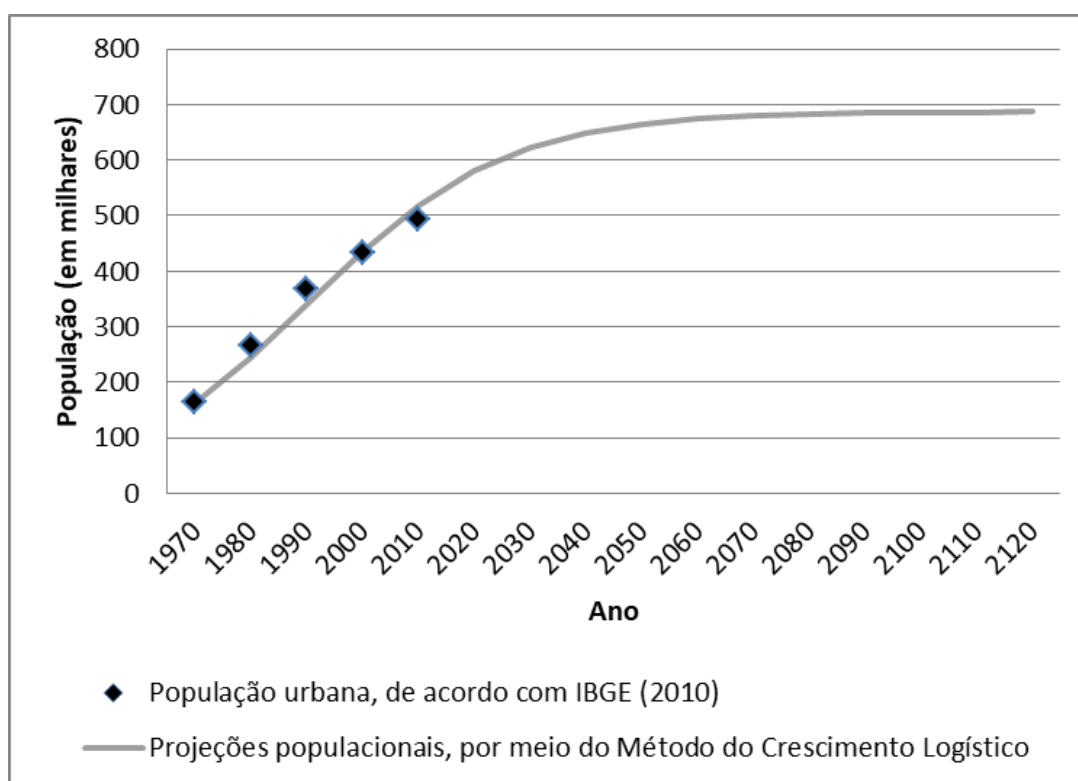
Fonte: o próprio autor

Primeiramente, obteve-se a população de saturação ou capacidade suporte, ao aplicar os valores populacionais da Tabela 14 à Equação 16, resultando em uma população suporte de 687.289 habitantes para a área urbana. Logo após, aplicaram-se os valores na Equação 15 para obter as projeções populacionais para cada ano, num intervalo de 10 em 10 anos. Embasado em tais valores, pôde-se traçar o Gráfico 9.

A partir da curva de crescimento populacional obtida para o município, determinaram-se os limites de saturação de cada bacia hidrográfica para a porcentagem ocupada pela urbanização e para o CN médio. Tais valores estão descritos na Tabela 15.

Ademais, embasado na porcentagem de saturação da área ocupada pela urbanização das bacias hidrográficas, calcularam-se os valores do tempo de concentração para a situação de saturação das mesmas. Os tempos de concentração obtidos para cada bacia hidrográfica estão indicados na Tabela 16.

Gráfico 9 – Projeção de crescimento populacional urbano do município de Londrina/PR



Fonte: o próprio autor

Tabela 15 – Valores de Saturação da Urbanização e do CN Médio de cada bacia hidrográfica, obtidos para a população de saturação

	BHRJ	BHRLd	BHRLm	BHRCb	BHRCf
Saturação da Urbanização (%)	18,96	62,68	45,52	73,48	14,61
Saturação do CN Médio	81,34	87,29	84,60	88,00	80,09

Fonte: o próprio autor

Tabela 16 – Tempos de concentração, em minutos, de cada bacia hidrográfica estudada, para a situação de saturação da urbanização

Bacia Hidrográfica	t_c (minutos)
BHRJ	254,77
BHRLd	296,02
BHRLm	115,33
BHRCb	262,67
BHRCf	673,46

Fonte: o próprio autor

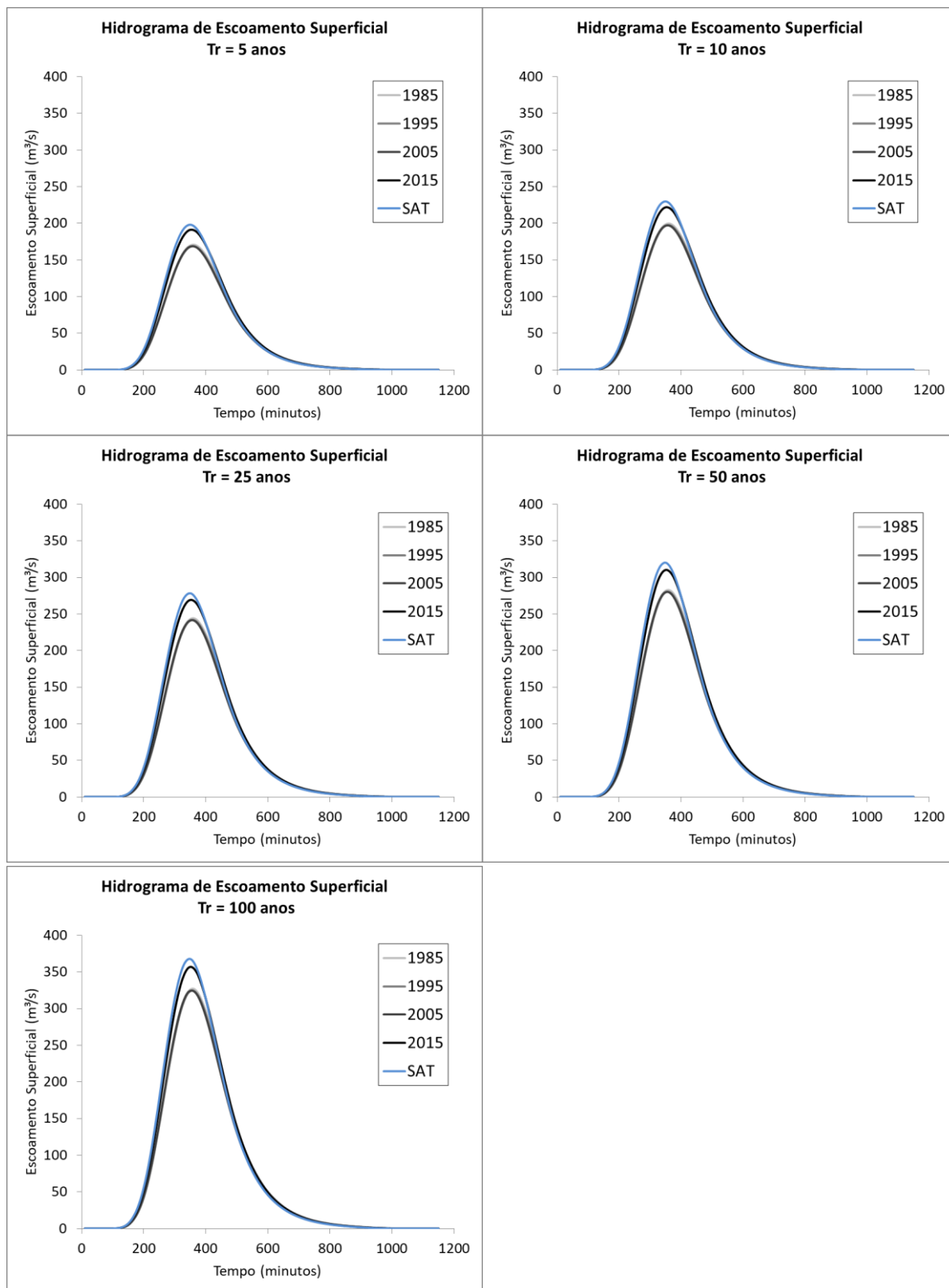
Ao realizar o mesmo procedimento descrito no capítulo 4.5, porém utilizando o CN médio da Tabela 15 e os valores de tempo de concentração indicados na Tabela 16, obtiveram-se as vazões de pico, indicadas na Tabela 17. Ao mesmo tempo, desenvolveram-se os hidrogramas de escoamento superficial, Figuras 15 a 19, a partir dos quais se verifica o escoamento superficial de cada bacia hidrográfica para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e para a condição de saturação (SAT).

Tabela 17 – Vazão de Pico, em m^3/s , na condição de saturação das bacias hidrográficas, para tempos de retorno (T_r) de 5, 10, 25, 50 e 100 anos

Tempo de Retorno (anos)	Vazão de Pico ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)				
	BHRJ	BHRLd	BHRLm	BHRCb	BHRCf
5	198,09	171,75	65,09	156,40	245,03
10	229,83	196,41	75,31	178,83	283,34
25	278,36	233,87	90,89	212,52	341,70
50	320,13	265,96	104,42	241,66	392,54
100	367,68	302,01	119,65	274,02	449,72

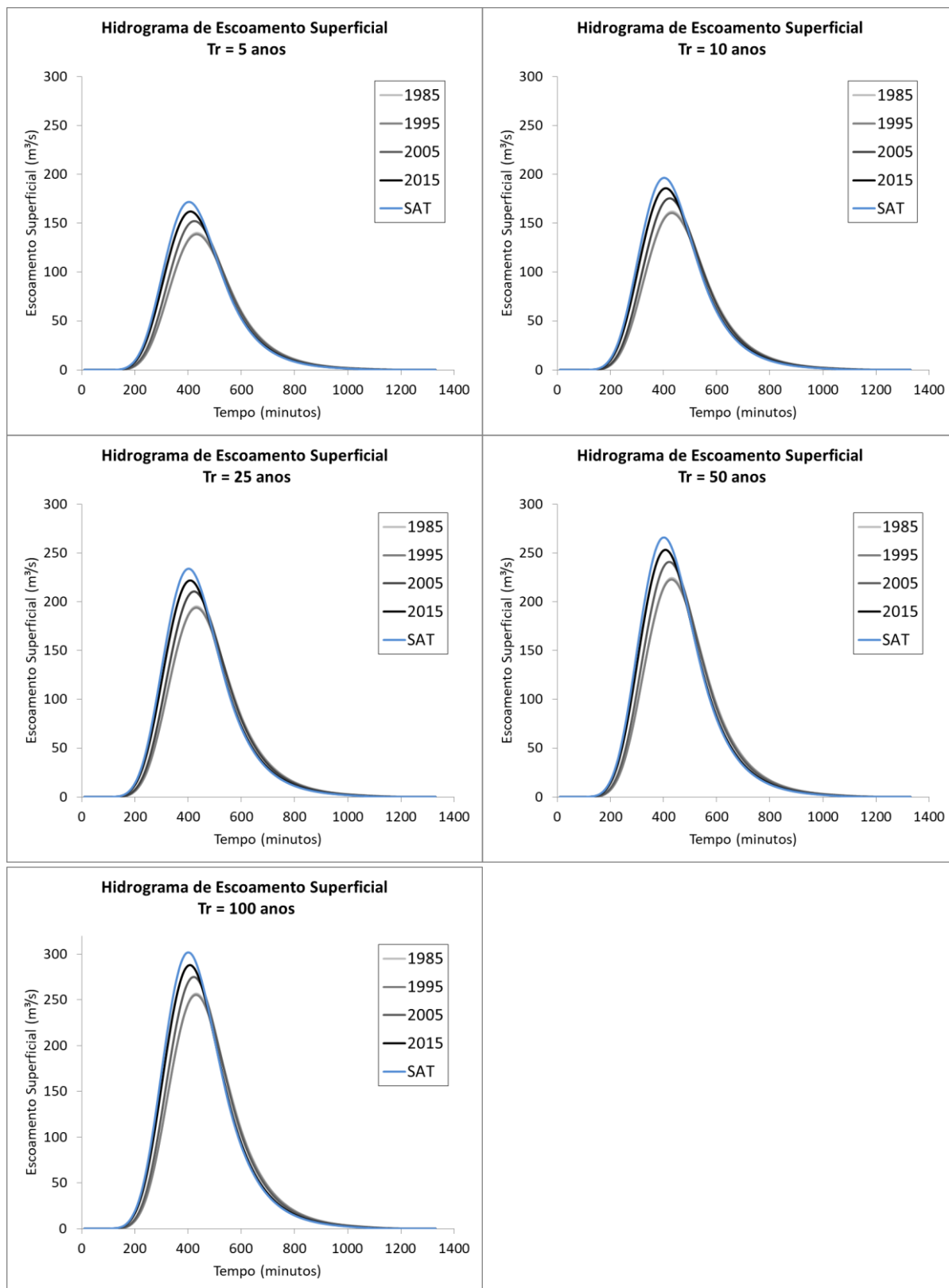
Fonte: o próprio autor

Figura 15 - Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRJ para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e para a condição de saturação (SAT), com Tempos de Retorno (T_r) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos



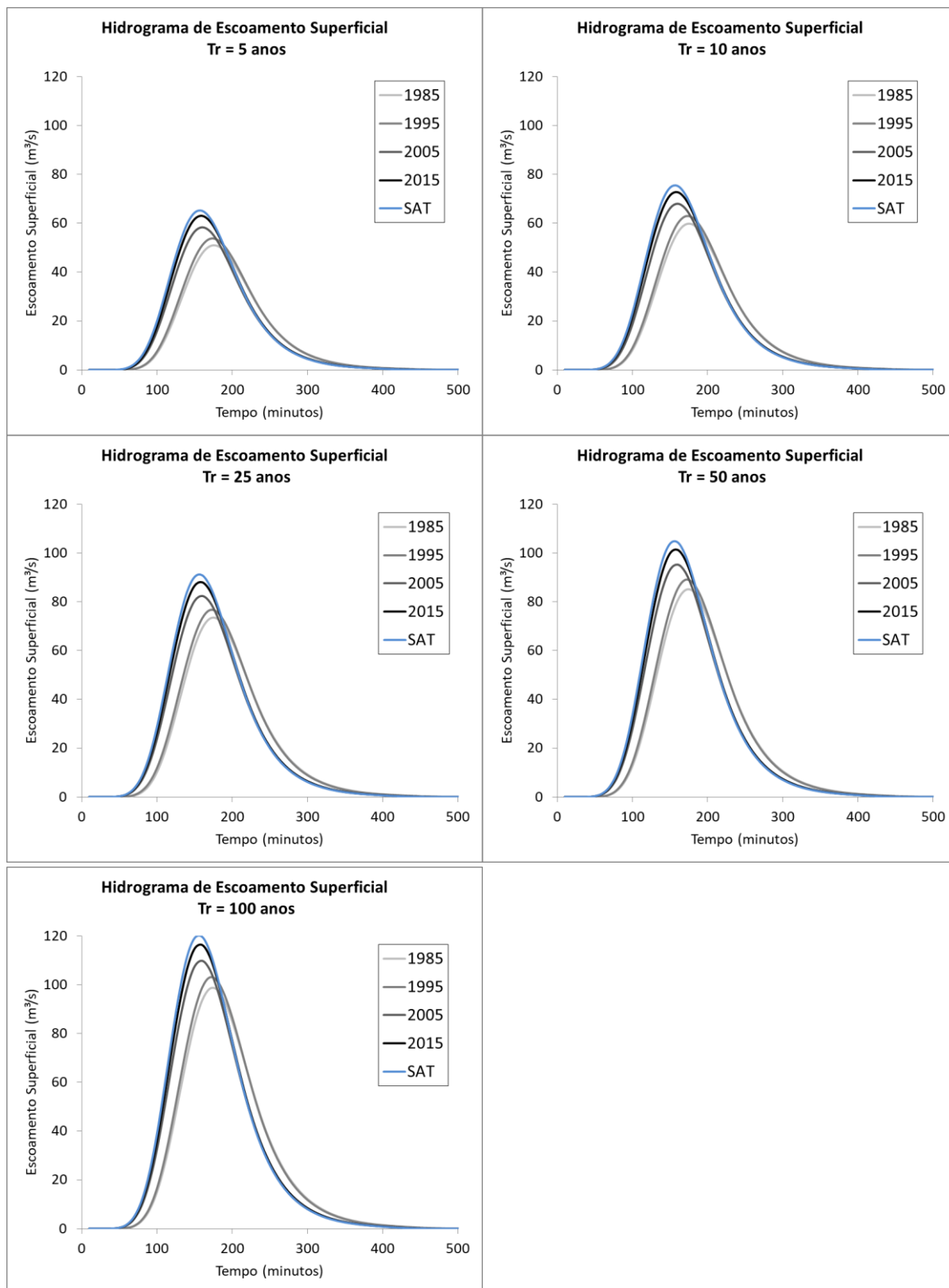
Fonte: o próprio autor

Figura 16 - Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRLd para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e para a condição de saturação (SAT), com Tempos de Retorno (T_r) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos



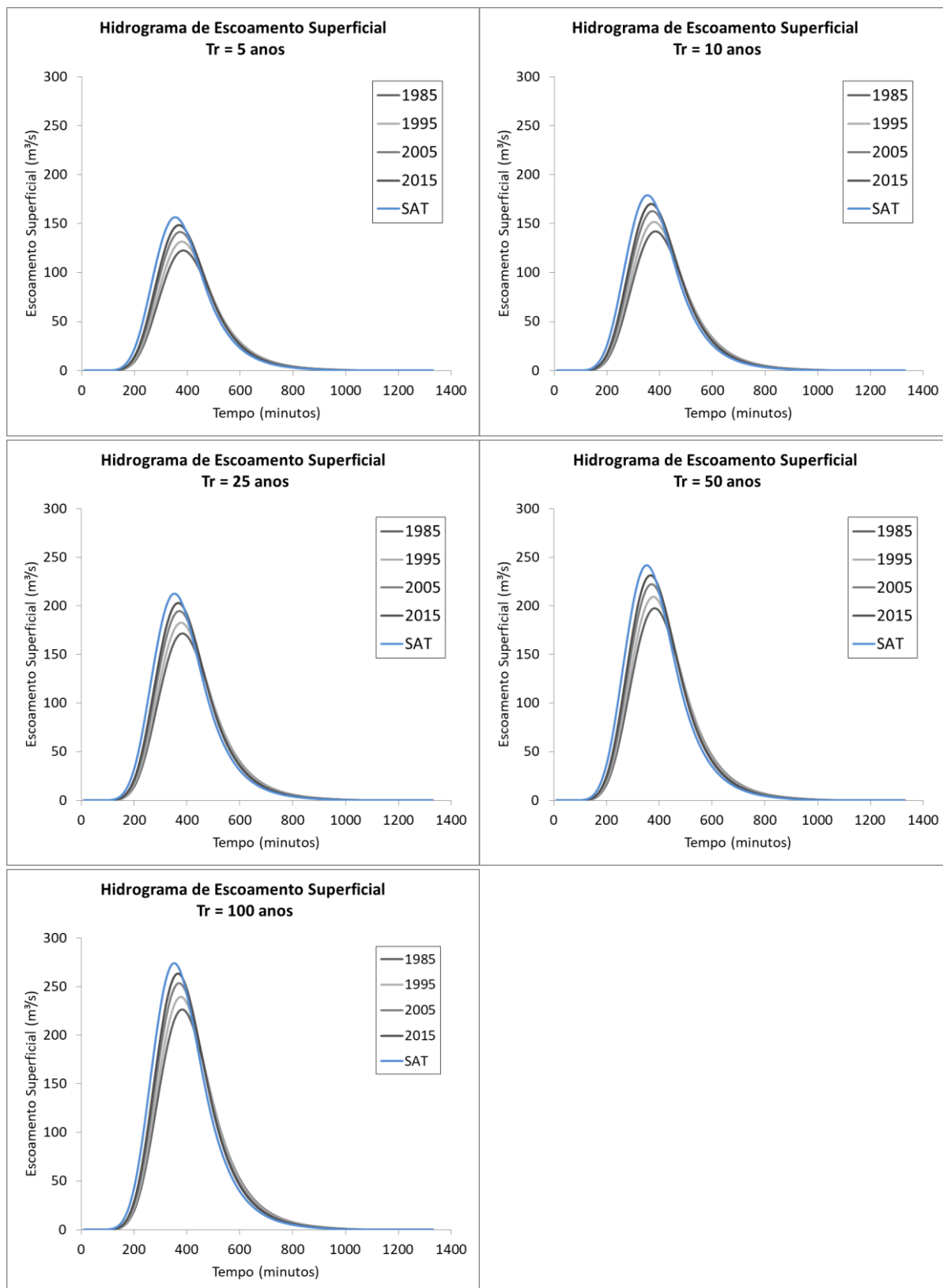
Fonte: o próprio autor

Figura 17 - Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRLm para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e para a condição de saturação (SAT), com Tempos de Retorno (T_r) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos



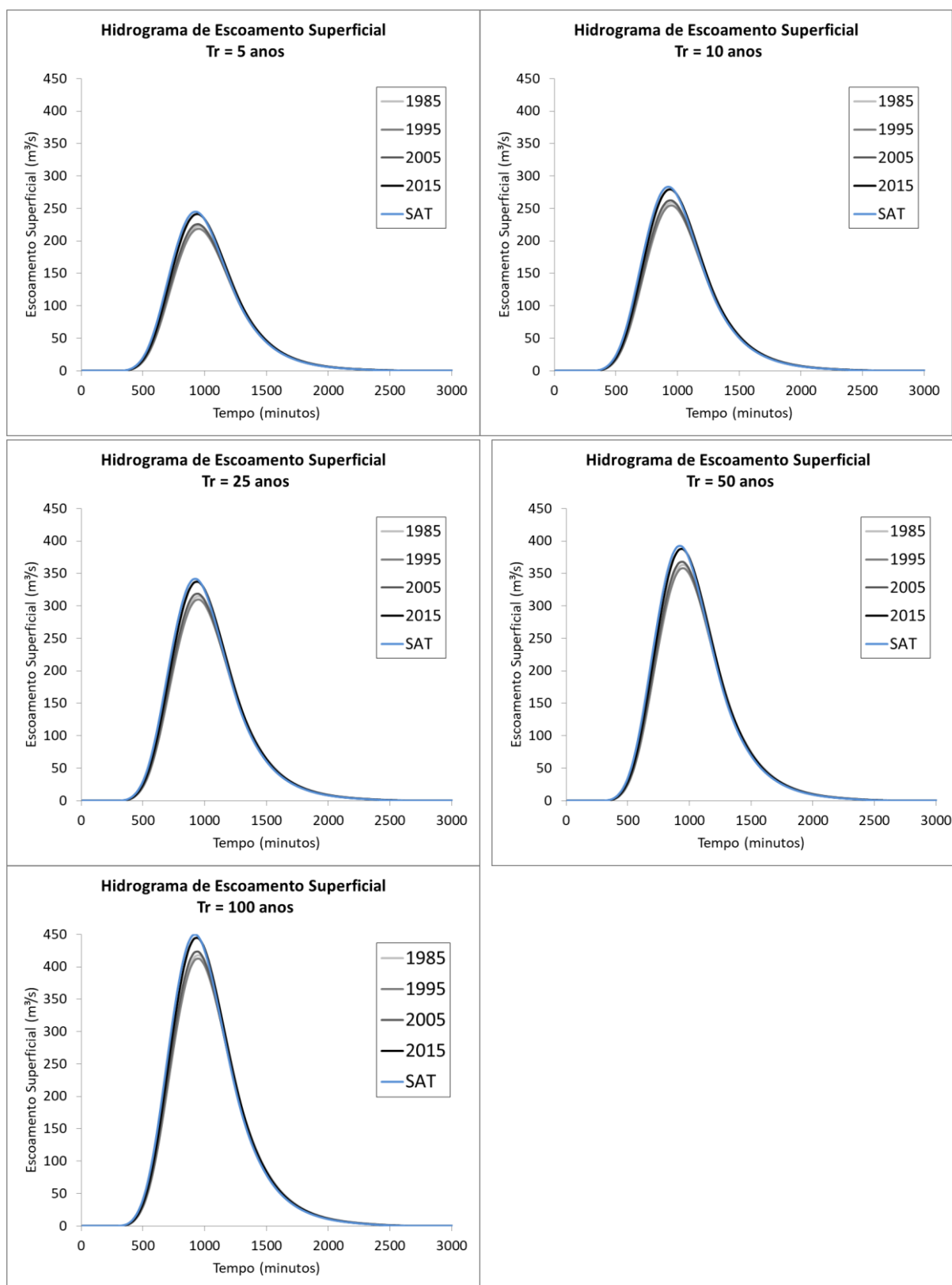
Fonte: o próprio autor

Figura 18 - Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRCb para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e para a condição de saturação (SAT), com Tempos de Retorno (T_r) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos



Fonte: o próprio autor

Figura 19 - Hidrogramas de Escoamento Superficial da BHRCf para os anos de 1985, 1995, 2005, 2015 e para a condição de saturação (SAT), com Tempos de Retorno (T_r) variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos



Fonte: o próprio autor

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As bacias hidrográficas analisadas possuem áreas de drenagem variando de 13,8 Km² a 202,83 Km². Por meio da caracterização morfológica, conclui-se que elas possuem capacidade de drenagem regular, com valores de “ D_d ” contidos no intervalo entre 0,769 e 1,030. Além disso, apresentam baixa propensão à ocorrência de inundações ao avaliar os outros parâmetros encontrados, exceto para índice de circularidade, que indicou alta propensão a inundações para a BHRJ, BHRLd, BHRCb e BHRCf.

Observou-se um decréscimo do valor do tempo de concentração, conforme se aumentava a área urbanizada da bacia hidrográfica. A variação deste fator foi de -2,11%, -4,73%, - 5,94%, -5,69% e -1,84% para a BHRJ, BHRLd, BHRLm, BHRCb e BHRCf, respectivamente, ao considerar um intervalo de tempo de 30 anos, entre 1985 a 2015.

A utilização de imagens de satélites gratuitas da série LANDSAT, e posterior análise da superfície do solo através do *software* SPRING 5.5.2, permitiu obter a variação da ocupação do solo no intervalo de tempo estudado. Dentre as bacias hidrográficas analisadas, pode-se citar a BHRLd e BHRCb, que atingiram, em 2015, a maior porcentagem de área coberta por urbanização, 53,17% e 65,12% respectivamente.

O coeficiente CN médio, obtido por meio do Método do SCS, apresentou crescimento, ao comparar os valores obtidos para 1985 e 2015. Entretanto, para algumas bacias, tal coeficiente não apresentou crescimento constante no intervalo de cada 10 anos. É o caso da BHRJ, BHRLd e BHRCf, que entre 1985 e 1995, teve redução, em virtude da acentuada variação da cobertura de solo ocupada por vegetação rasteira em relação ao solo exposto.

Além disso, verificou-se alta sensibilidade da vazão de pico, em relação ao coeficiente CN. A título de exemplo, cita-se a BHRLm, que apresentou um acréscimo de 7,2% do coeficiente CN, num intervalo de 30 anos, entre 1985 e 2015, acarretando em um aumento de 24,2% da vazão de pico, ao adotar um tempo de retorno de 5 anos.

Observou-se uma taxa média de crescimento positiva da vazão de pico no decorrer dos anos, uma vez que os hidrogramas de escoamento superficial, mostrados nas Figuras 10 a 14, apresentaram valores superiores de vazão de pico

dentro de menores intervalos de tempo à medida que a bacia hidrográfica foi sendo urbanizada.

Para as condições de saturação, verificou-se aumento da vazão de pico em todas as bacias hidrográficas, indicando que o crescimento da urbanização continuará ocasionando o aumento do escoamento superficial. Vale ressaltar que os valores de saturação foram obtidos de acordo com o Método de Crescimento Logístico e, posteriormente, correlacionados para urbanização e CN médio. Entretanto, caso ocorra uma urbanização mais intensa em determinado local, que ultrapasse a situação de saturação obtida pelo método, espera-se uma vazão de pico ainda maior do que a observada nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. G. **Análise da influência da distribuição temporal das chuvas intensas e de cenários de uso e ocupação do solo na quantificação dos prejuízos econômicos diretos provocados pelas inundações urbanas**. 2013. 164 p. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.
- BACK, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 391–398, 2012.
- BANSON, R. D.; AJABE, G. S. Determination of geomorphological characteristics of Karpri-Kalu watershed using GIS techniques. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 1, p. 1940-1944, 2018.
- BESKOW, S.; MELLO, C. R.; COELHO, G.; SILVA, A. M.; VIOLA, M. R. Estimativa do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica com base em modelagem dinâmica e distribuída. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v. 33, n. 1, p. 169-78, jan./fev. 2009.
- BONEN, H. H.; SCHUCH, F. S.; BASTOS, M. A. Determinando o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica considerando seu uso e ocupação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA E EXPOSICARTA, 27., EXPOSICARTA, 26., 2017, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, SBC, 2017, p. 991-995.
- BRANDÃO, C.; RODRIGUES, R.; COSTA, J. P. **Análise de fenômenos extremos: precipitações intensas em Portugal Continental**. Lisboa: Direcção dos Serviços de Recursos Hídricos, 2001.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F., 9 de janeiro de 1997, Seção 1, p. 470.
- BRASIL. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Ministério do Meio Ambiente – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, D.F., 17 de dezembro de 2003.
- CÂNDIDO, A. K. A. A.; SILVA, N. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Imagens de alta resolução espacial de veículos aéreos não tripulados (VANT) no planejamento do uso e ocupação do solo. **Anuário do Instituto de Geociências**, UFRJ, v. 38, n. 1, p. 147-156, 2015.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2005. 302 p.

CAVALCANTE, E. H.; DANZIGER, F. A. B.; GIACHETI, H. L.; SOUZA, A.; KORMANN, A. C. M.; BELINCANTA, A.; PINTO, C. S.; BRANCO, C. J. M. C.; CARVALHO, D.; FERREIRA, C. V.; MARINHO, F. A. M.; CINTRA, J. C. A.; DOURADO, K. C. A.; MORAES, L. S.; ALBUQUERQUE FILHO, L. H.; ALMEIDA, M. S. S.; GUTIERREZ, N. H. M.; ALBUQUERQUE, P. J. R.; CHAMEKI, P. R.; CUNHA, R. P.; TEIXEIRA, R. S.; MENEZES, S. M. Campos Experimentais Brasileiros. **Geotecnia**, Lisboa, v. 111, p. 99-205, 2007.

CHANG, M. M. **Análise Temporal do Uso e Cobertura do Solo e a Relação com Inundações Urbanas na Bacia do Ribeirão Cambé – Londrina/PR**. 2016. 118 p. Dissertação (Mestrado em Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Londrina, 2016.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Bluncher, 1981.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: Associação Brasileiras de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**. São Paulo: DAEE/CETESB, 1986. 466p.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S.; ROSSKOFF, J. L. C. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 14, n. 1, p-45-54, 2010.

DISPERATI, A. A.; SERVELLO, E.; OLIVEIRA FILHO, P. C. Um exercício didático de classificação digital de imagens. **Ciência e Natura**, v. 30, n. 1, p. 99-109, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Downloads do SRTM - PR**. 2017. Disponível em: <<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/pr/pr.htm>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

FENDRICH, R. **Canais de Drenagem em Pequenas Bacias Hidrográficas**. Curitiba: Roberto Fendrich, 2008. 121 p.

FENDRICH, R. **Chuvas intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. 3 ed. Curitiba: Roberto Fendrich, 2011. 89 p.

FINKLER, R. **Planejamento, manejo e gestão de bacias hidrográficas**. Unidade 1, Apostila Didática. Projeto água e gestão. Itapiu Binacional, ANA, 2013.

GAROTTI, L. M.; BARBASSA, A. P. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 19-28, jan./mar. 2010.

GOULART, J. P.; MAESTRINI, A. P.; NEIBEL, A. L. Relação intensidade-duração-frequência de chuvas em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 7, n. 1, p. 543-552, 1992.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Médias Históricas**. 2018. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Londrina.htm>. Acesso em: 19 abr. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Demográfico**. 2010 - Brasil. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **CBERS**. 2018. Disponível em: <<http://www.cbbers.inpe.br>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Divisão de Processamento de Imagens. **Tutorial de Geoprocessamento**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 09 ago. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **LANDSAT**. 2018. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>>. Acesso em: 29 ago. 2018.

JIAO, P.; XU, D.; WANG, S.; YU, Y.; HAN, S. Improved SCS-CN Method Based on Storage and Depletion of Antecedent Daily Precipitation. **Water Resources Management**, v. 29 n. 13, p. 4753–4765, out. 2015.

KABITE, G.; GESSESSE, B. Hydro-geomorphological characterization of Dhidhessa River Basin, Ethiopia. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 6, n. 2, p. 175–183, 2018.

KEMERICH, P. D. C.; MARTINS, S. R.; KOBIYAMA, M.; FLORES, C. E. B.; BORBA, W. F.; FERNADES, G. A.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R. Infiltração e Escoamento Superficial Sob Diferentes Usos e Ocupação em uma Bacia Hidrográfica. **Anuário do Instituto de Geociências**, UFRJ, v. 37, n. 2, p. 75-88, 2014.

KUTNER, A. S.; CONTE, A. E.; NITTA, T. Análise Geológica e Caracterização dos Solos para avaliação do coeficiente de escoamento superficial na bacia do Alto Tietê. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 14., 2001, Aracajú. **Anais...** Aracajú, ABRH, 2001.

LIU, X.; LI, J. Application of SCS Model in Estimation of Runoff from Small Watershed in Loess Plateau of China. **Chinese Geographical Science**, v. 18, n. 3, p. 235-241, set. 2008.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; GALETI, P. A.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J. B. Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços. **Simpósio sobre terraceamento agrícola**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 99-124.

LONDRINA. Plano Municipal de Saneamento Básico de Londrina - PR. Corresponde ao Produto 2 – Relatório de Diagnóstico da situação do saneamento e de seus impactos nas condições de vida da população, conforme contrato nº. DGLC-0145/2008. **Prefeitura do Município de Londrina**, Londrina, PR, 2009. 476p.

LONDRINA. Prefeitura Municipal. **Dados Geográficos**. Disponível em: <http://www1.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=40&Itemid=58>. Acesso em: 12 set. 2018.

LONDRINA. Prefeitura Municipal. **História da Cidade**. Disponível em: <http://www.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=3&Itemid=5>. Acesso em: 14 jun. 2018.

MARION, F. A.; SANTOS, E. B.; HENDGES, E. R. Análise de modelos digitais de elevação para modelagem do relevo no município de Francisco Beltrão – PR. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 50-60, 2015.

MATA-LIMA, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 3, p. 525-536, jul./set. 2007.

MISHRA, S.; SINGH, V. P.; SANSALONE, J.; ARAVAMUTHAN, V. A modified SCS-CN method: Characterization and testing. **Water Resources Management**, v. 17, n. 1, p. 37-68, 2003.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2007. 320 p.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P.; FIRPO, G. Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do Rio Atuba: Curitiba e região metropolitana – Paraná/Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 64-65, p. 27-39, 2011.

PAULINO, P. F. **Estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros do método SCS na determinação de hidrogramas de cheia em bacias urbanas**. 2014. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

PEREIRA, M. C. S.; LUCCI, R. M.; AMARO, C. A.; SIMIONATO, L. Y.; YAZAKI, L. F. O. L.; PORTO, M. F. A.; NATALE, O. Influência do controle da impermeabilização no custo do sistema de drenagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves, ABRH, 2013

PINESE, J. P. P. Síntese Geológica da Bacia do Rio Tibagi. In: MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O. A.; PIMENTA, J. A. (Org.). **A Bacia do Rio Tibagi**. Londrina, 2002. 595 p.

PINGALE, S. M.; CHANDRA, H.; SHARMA, H. C.; MISHRA, S. Sangita Morphometric analysis of Maun watershed in Tehri-Garhwal district of Uttarakhand using GIS. **International Journal of Geomatics and Geosciences**, v. 3, n. 2, p. 373-387, 2012.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Blucher, 1976.

PORTO, R. L.; ZAHED FILHO, K.; MARCELLINI, S. S. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. Escola Politécnica da USP, 1999.

ROCHA, G. C.; BARROS, O. N. F.; GUIMARÃES, M. F. Distribuição espacial e características dos solos do campus da Universidade Estadual de Londrina, PR. **Semina Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 25-37, 1991.

RODRIGUES, R. S. S.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L.; VIEIRA, A. S. A.; PESSOA, F. C. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço, Pará, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 3, p. 143-150, 2016.

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia / Laboratório de Geoprocessamento, 2013. 142 p.

SANTOS, F. M.; LOLLO, J. A. Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 663-675, out./dez. 2016.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.

SAUSEN, T. M. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Disponível em: <<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 08 nov. 2018.

SETZER, J.; PORTO, R. L. L. Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico DAEE**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 81-104, 1979.

SHADEED, S.; ALMASRI, M. Application of GIS-based SCS-CN method in West Bank catchments, Palestine. **Water Science and Engineering**, v. 3, Issue 1, p. 1-13, 2010.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 1, p. 5-23, 2005.

SILVEIRA, A. L. L. Equação para coeficientes de desagregação de chuva. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 4, p. 143-147, 2000.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA DE LONDRINA (SIGLON).

Downloads. 2018. Disponível em:

<http://www.londrina.pr.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=20114&Itemid=1988>. Acesso em: 20 abr. 2018.

SOARES, D. O.; SANTOS, A. C.; SILVA, E. B. Análise das classificações supervisionada e não supervisionada com o uso de imagens Landsat 5 TM e RapidEye, e suas contribuições para o mapeamento do uso e cobertura do solo no Parque Nacional das Emas. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 4, n. 2, p. 110-115, 2016.

STEFFEN, C. A. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Disponível em: <<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em: 08 nov. 2018.

TE CHOW, V.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Hidrologia Aplicada**. Santafé de Bogotá: Nomos, 1994. 584 p.

TEODORO, P. E.; NEIVOCK, M. P.; MARQUES, J. R. F.; FLORES, A. M. F.; RODRIGUES, C. C. B. Influência de diferentes coeficientes de desagregação na determinação de equações IDF para Aquidauana/MS. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, UFG, v. 9, n. 2, p. 1-9, 2014.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2011. 592 p.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196 p.

TUCCI, C. E. M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 943 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4).

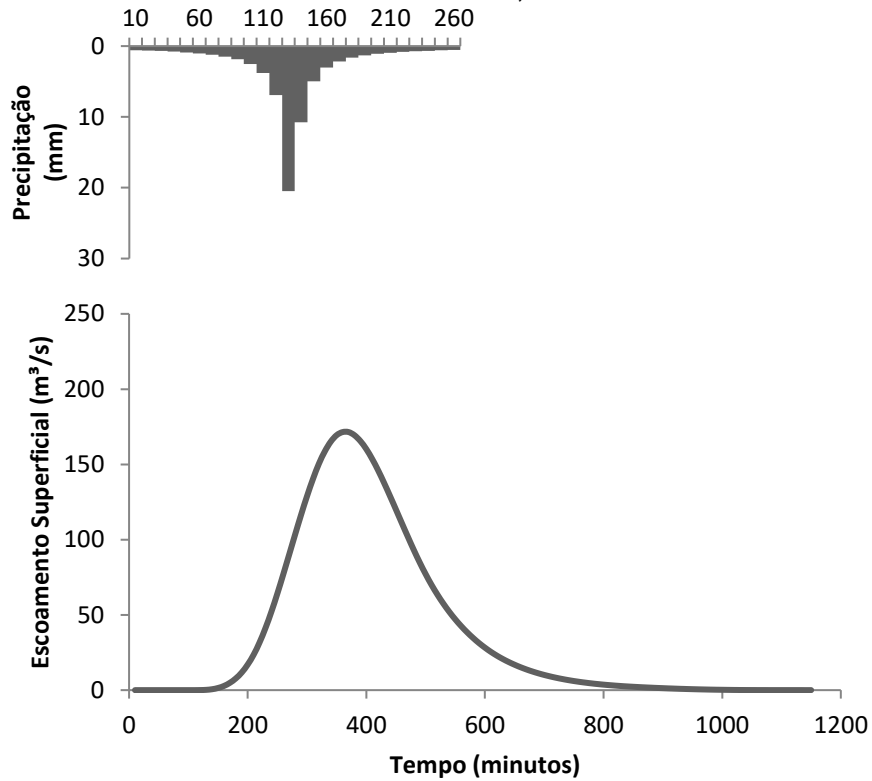
U. S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**. 2015. Disponível em: <<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM/>>. Acesso em: 24 maio 2018.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008.

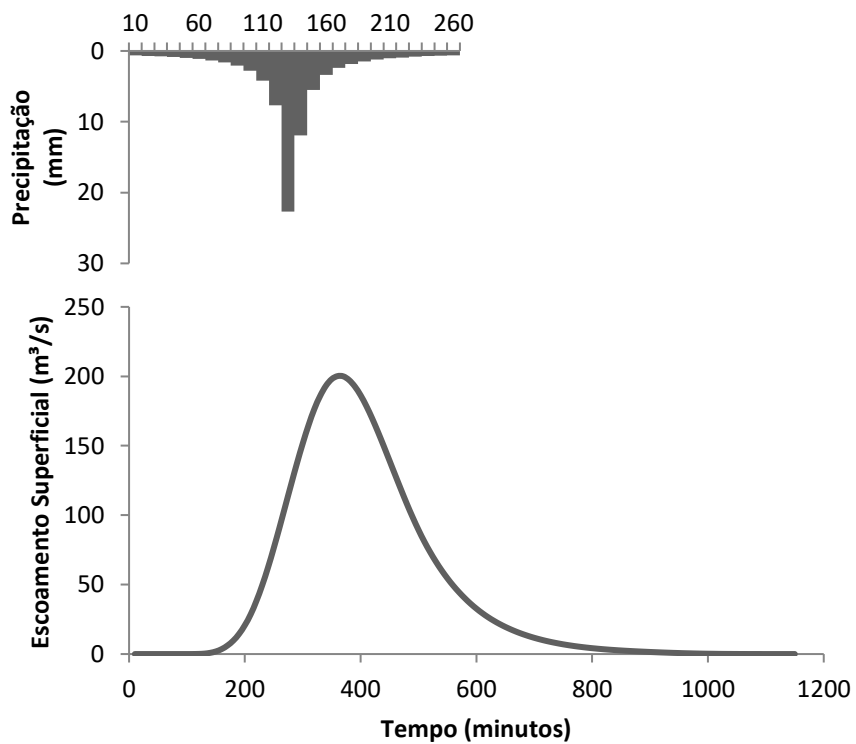
WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978. 478 p.

APÊNDICES

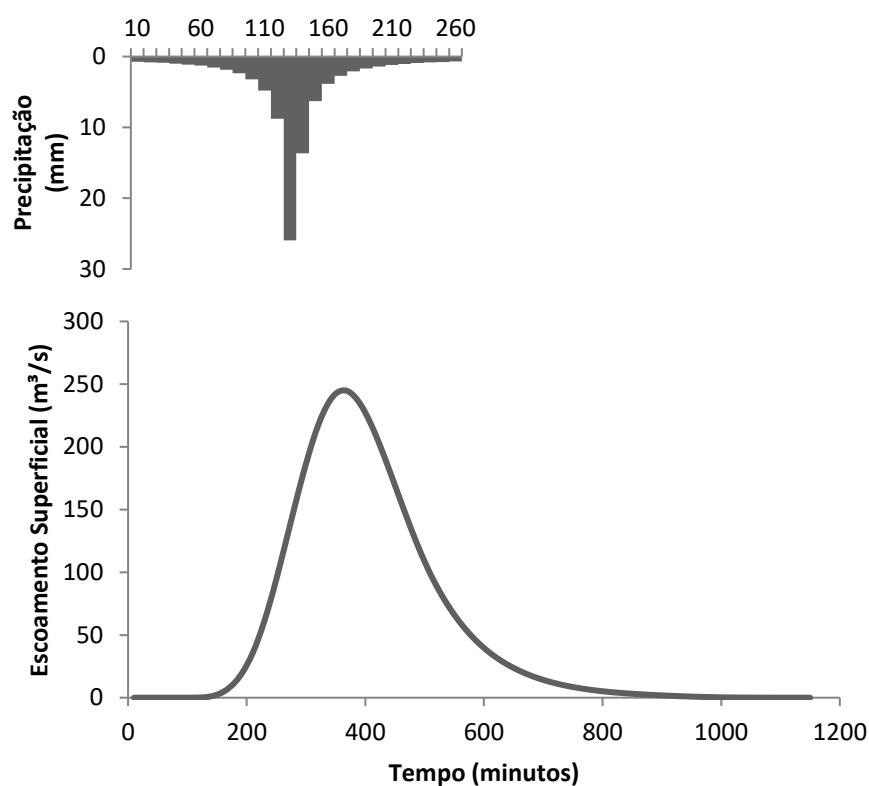
APÊNDICE A – Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRJ, com $T_r = 5$ anos



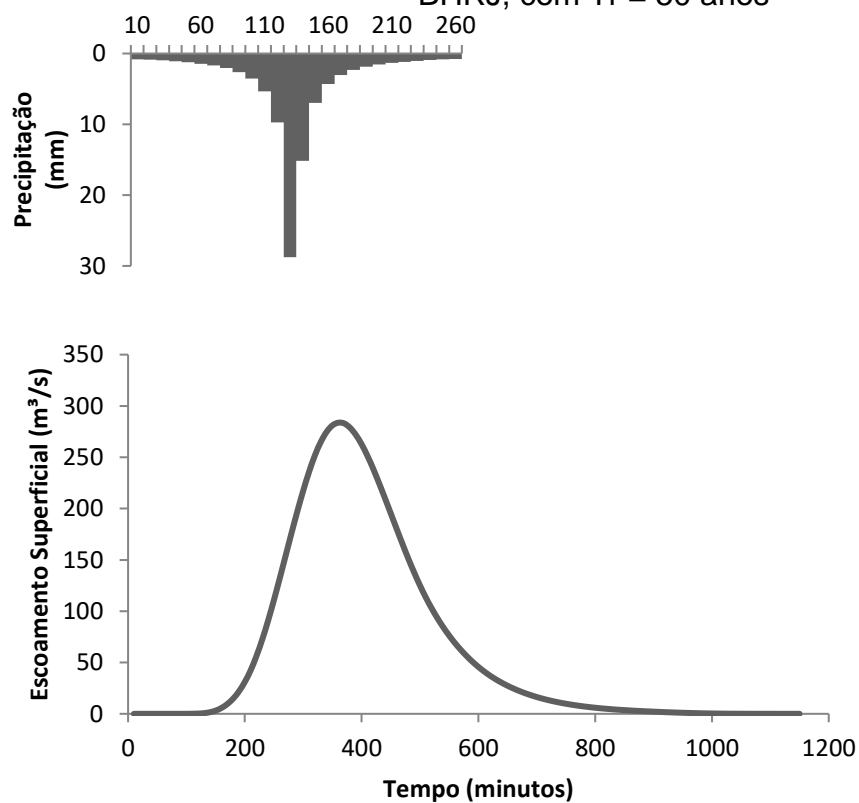
APÊNDICE B - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRJ, com $T_r = 10$ anos



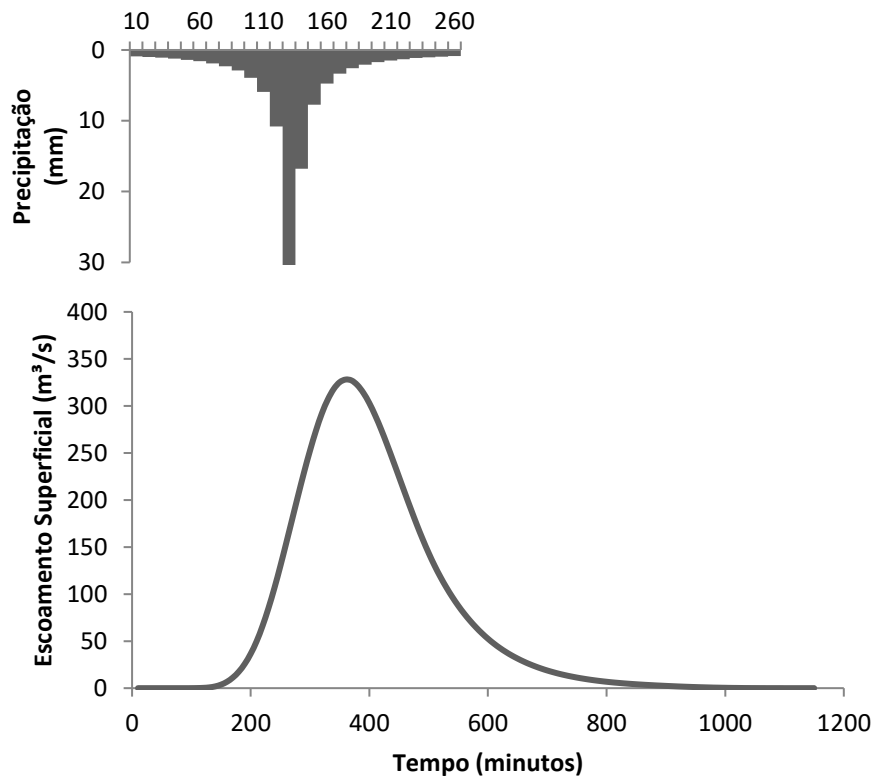
APÊNDICE C - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRJ,
com $T_r = 25$ anos



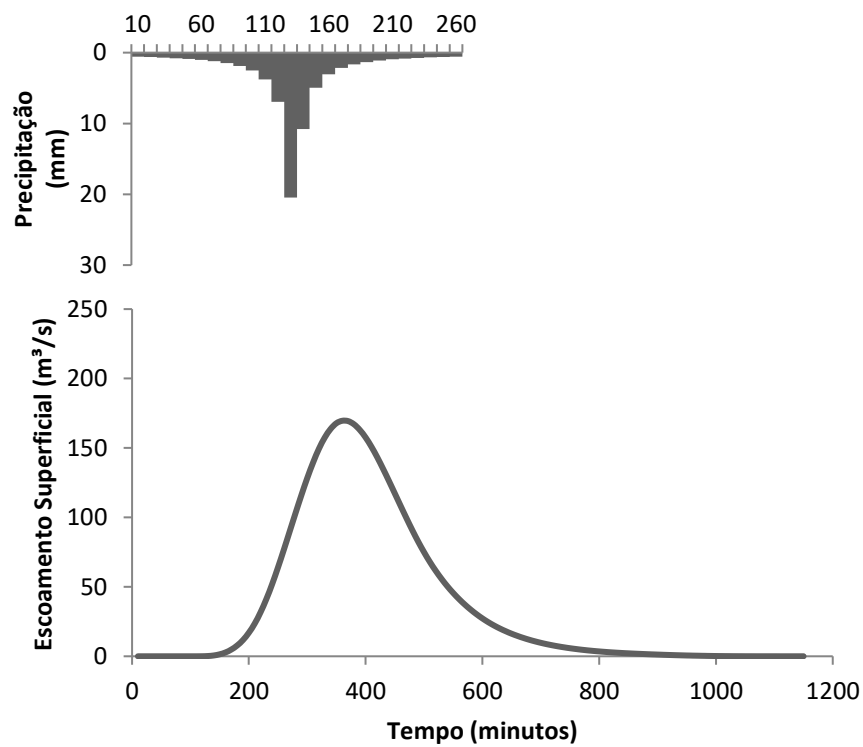
APÊNDICE D - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a
BHRJ, com $T_r = 50$ anos



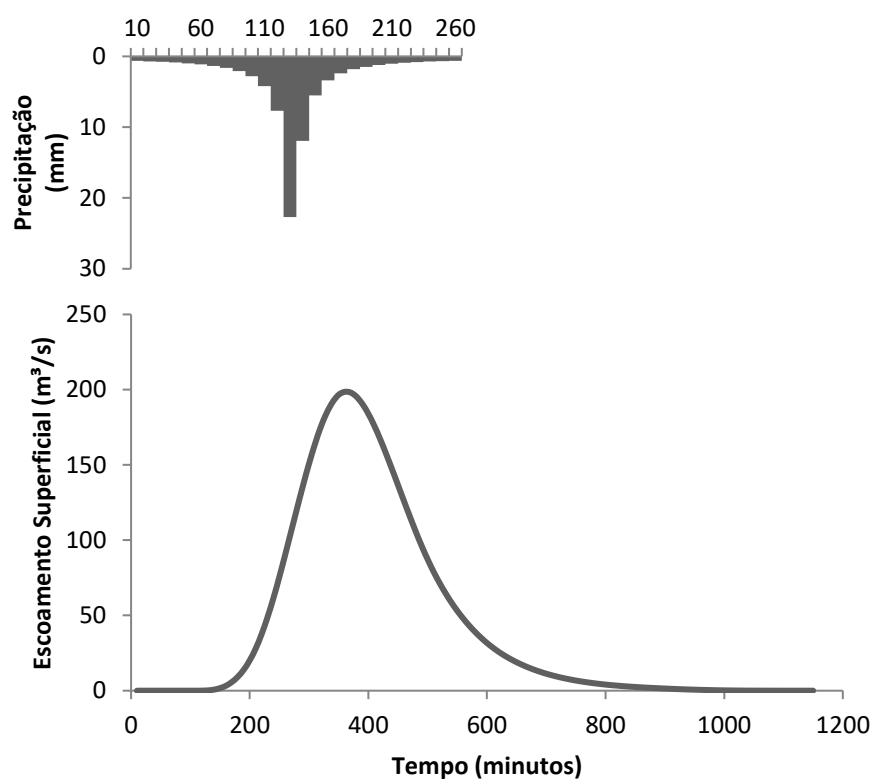
APÊNDICE E - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRJ,
com $Tr = 100$ anos



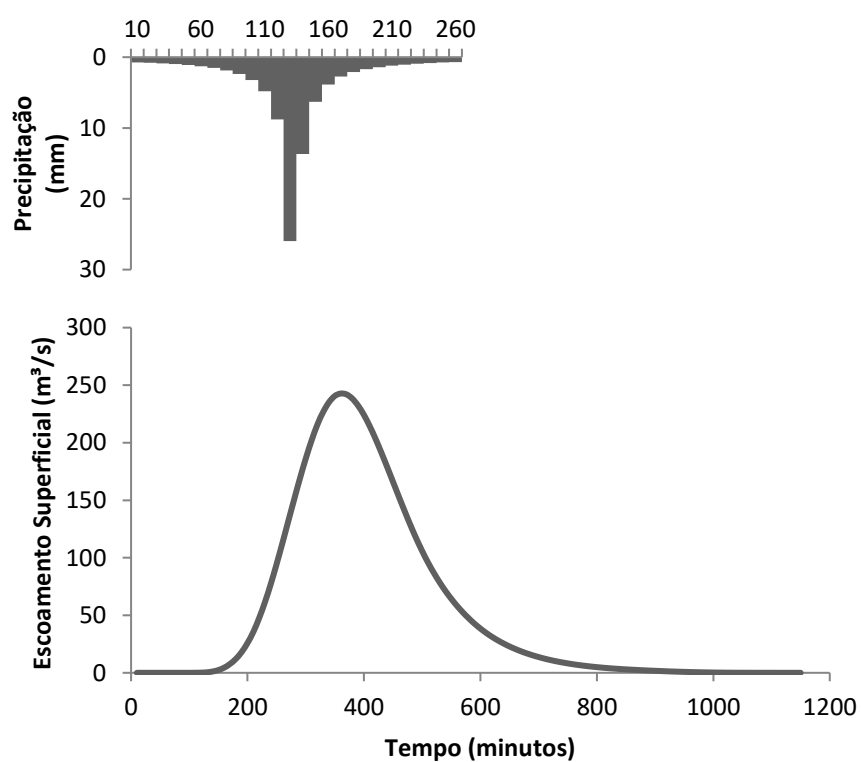
APÊNDICE F - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRJ,
com $Tr = 5$ anos



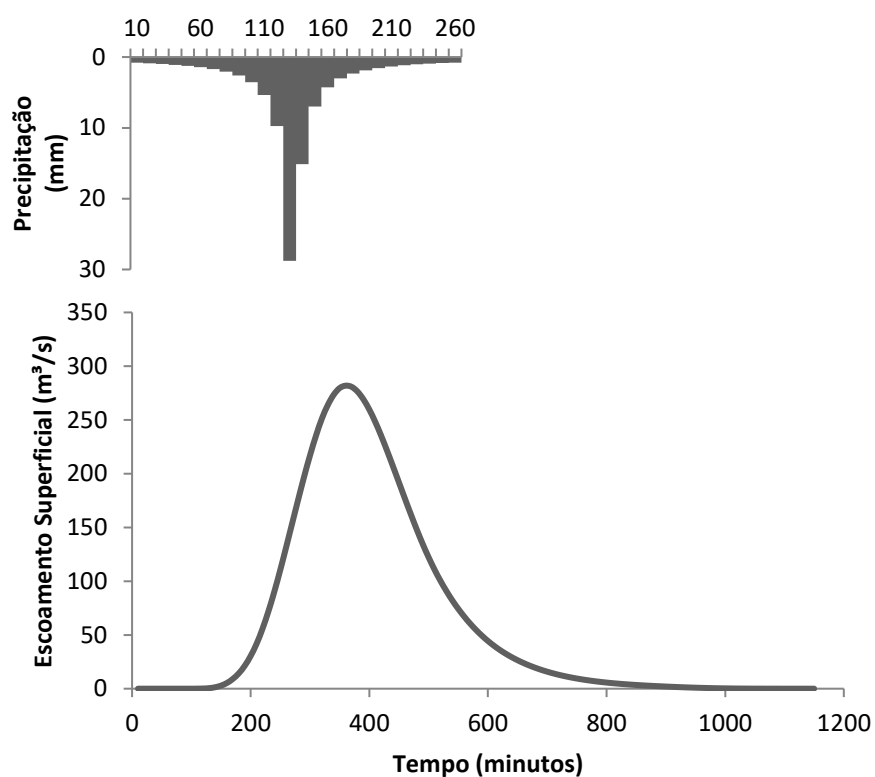
APÊNDICE G - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRJ, com $Tr = 10$ anos



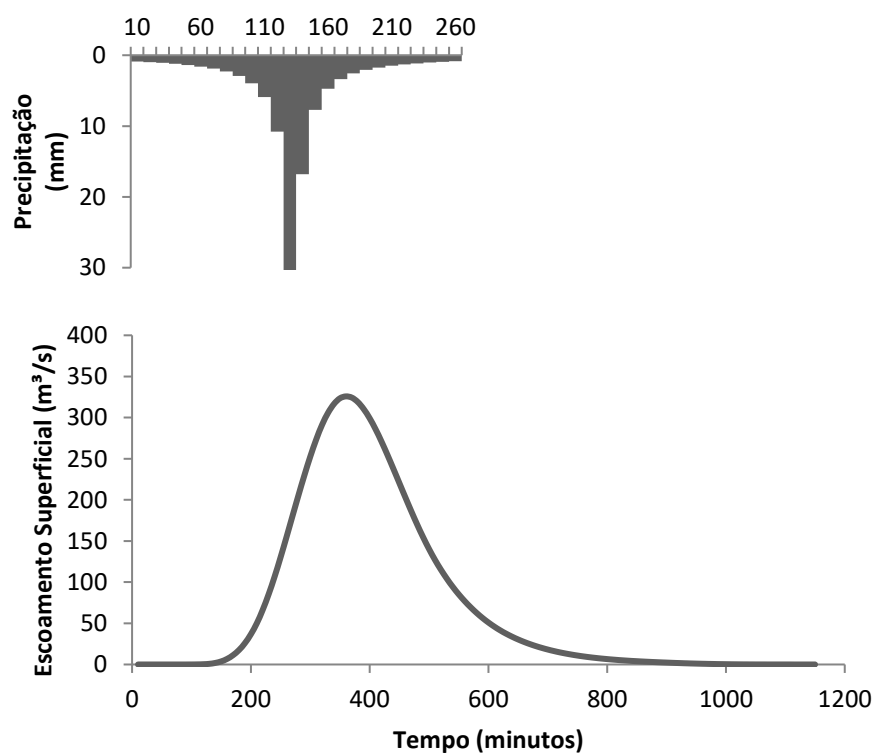
APÊNDICE H - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRJ, com $Tr = 25$ anos



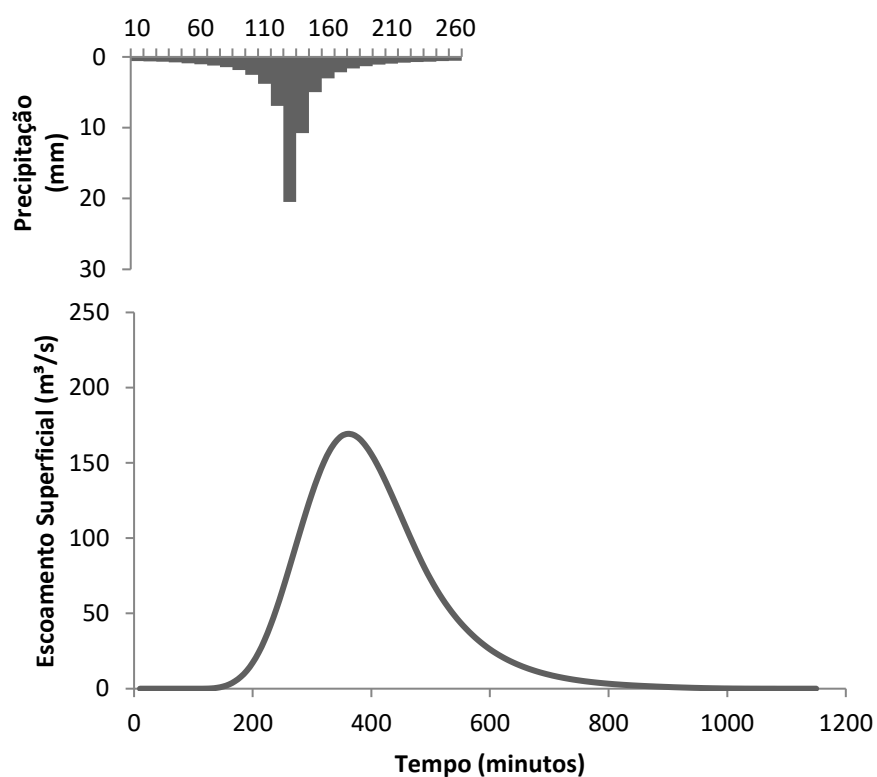
APÊNDICE I - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRJ,
com $T_r = 50$ anos



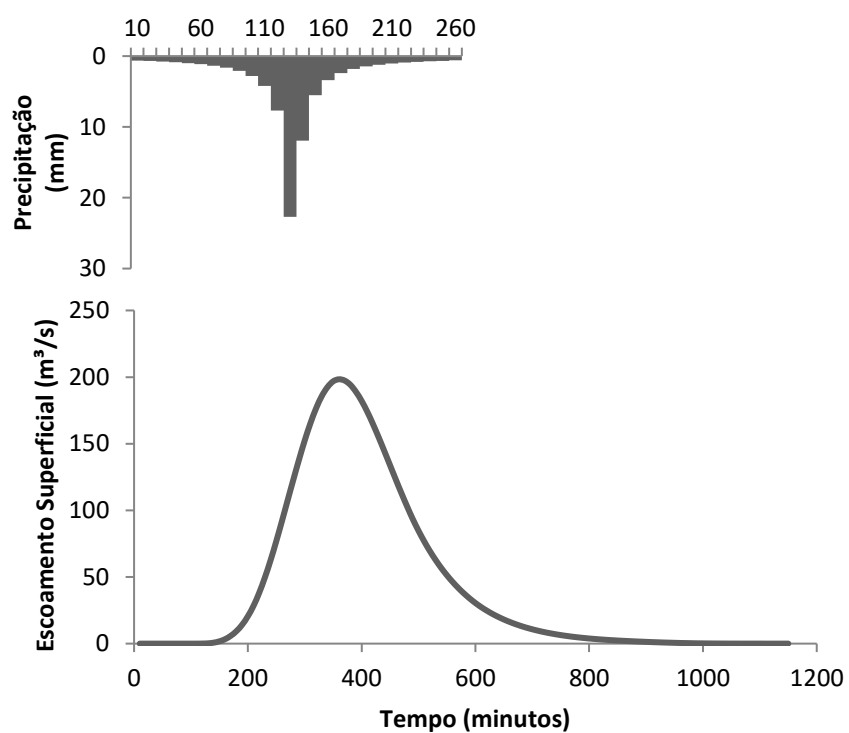
APÊNDICE J - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRJ,
com $T_r = 100$ anos



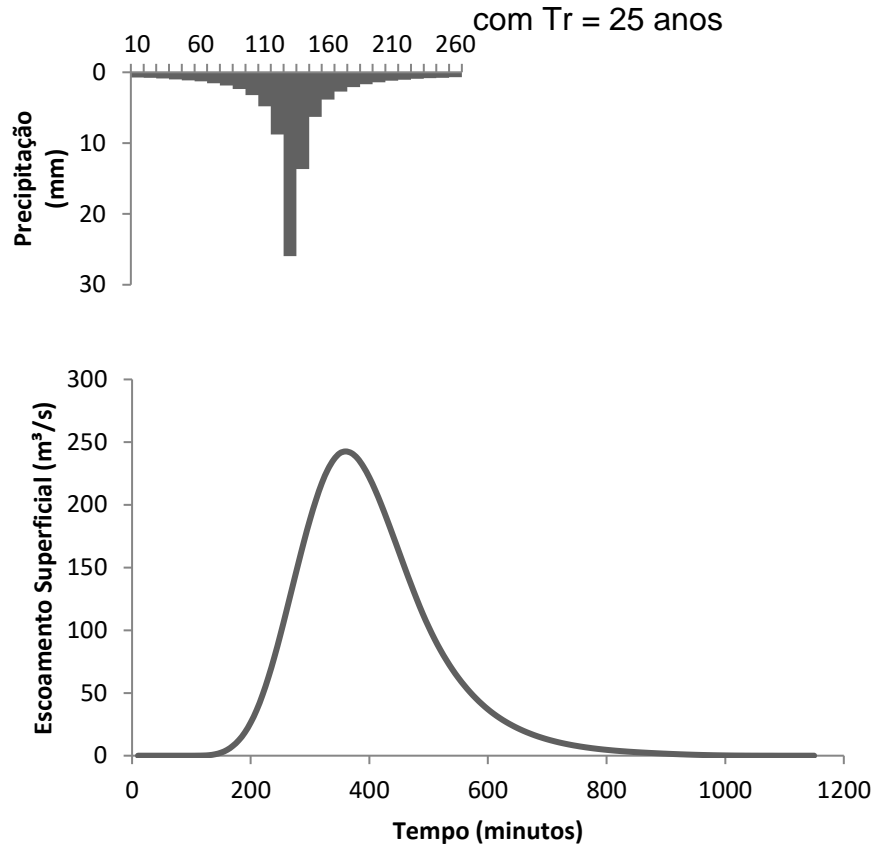
APÊNDICE K - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRJ,
com $Tr = 5$ anos



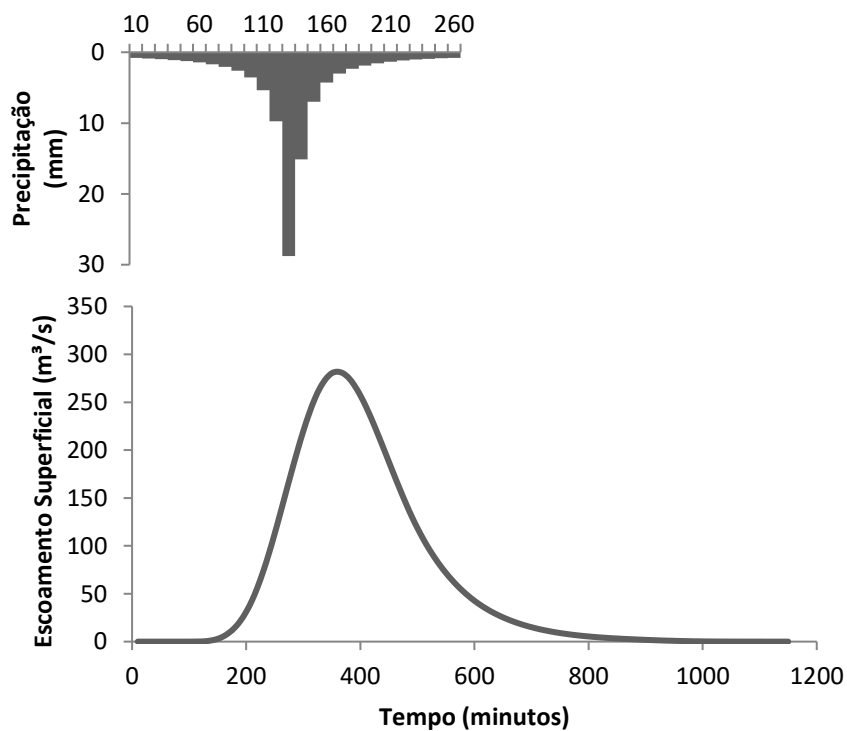
APÊNDICE L - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRJ,
com $Tr = 10$ anos



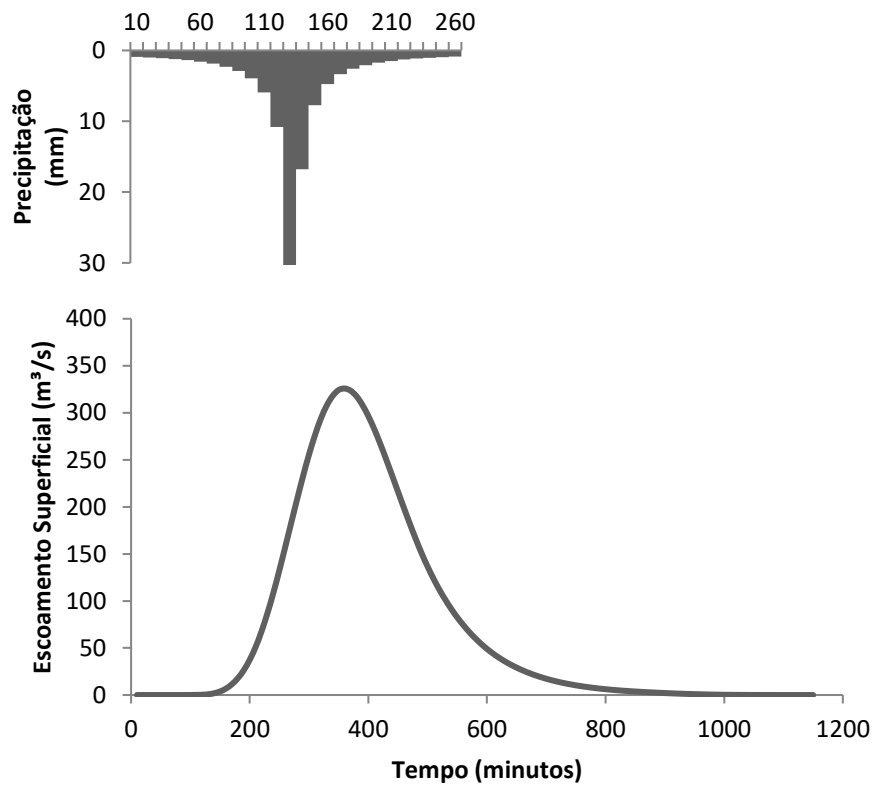
APÊNDICE M - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRJ,
com $Tr = 25$ anos



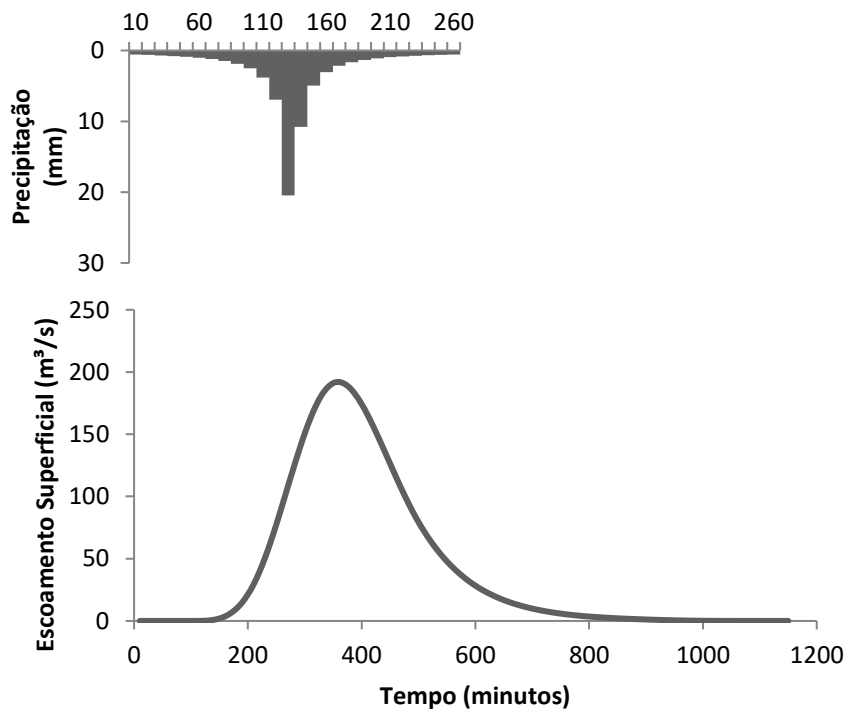
APÊNDICE N - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRJ,
com $Tr = 50$ anos



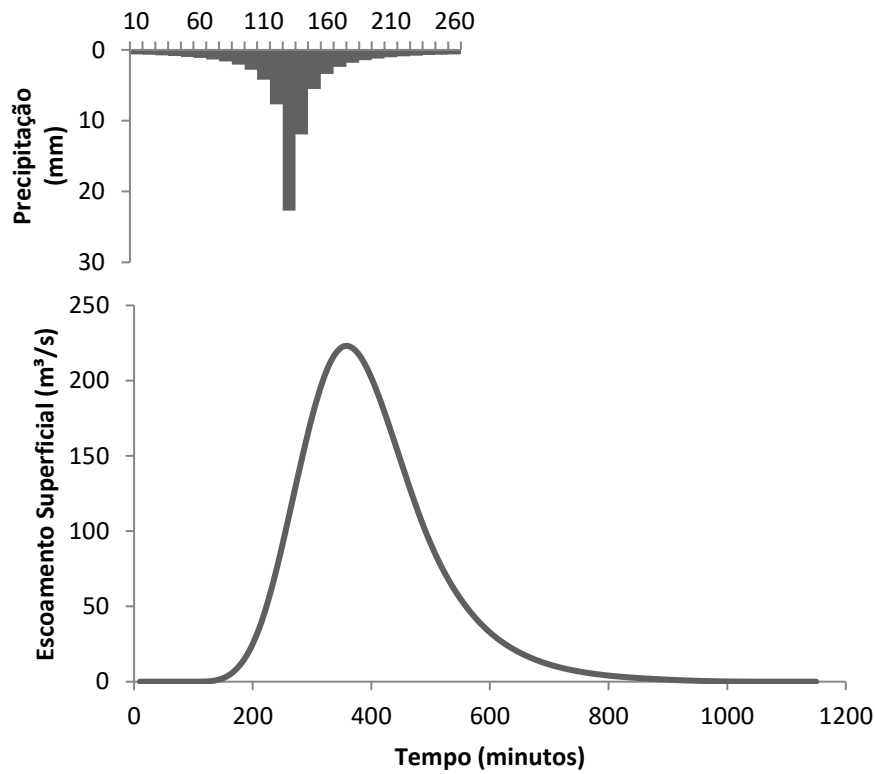
APÊNDICE O - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRJ,
com $Tr = 100$ anos



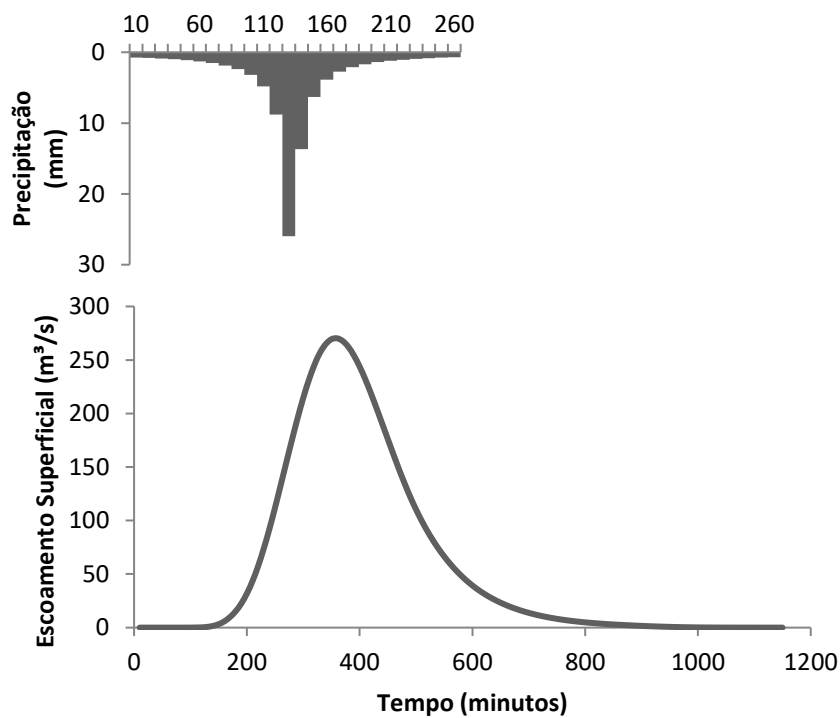
APÊNDICE P - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRJ,
com $Tr = 5$ anos



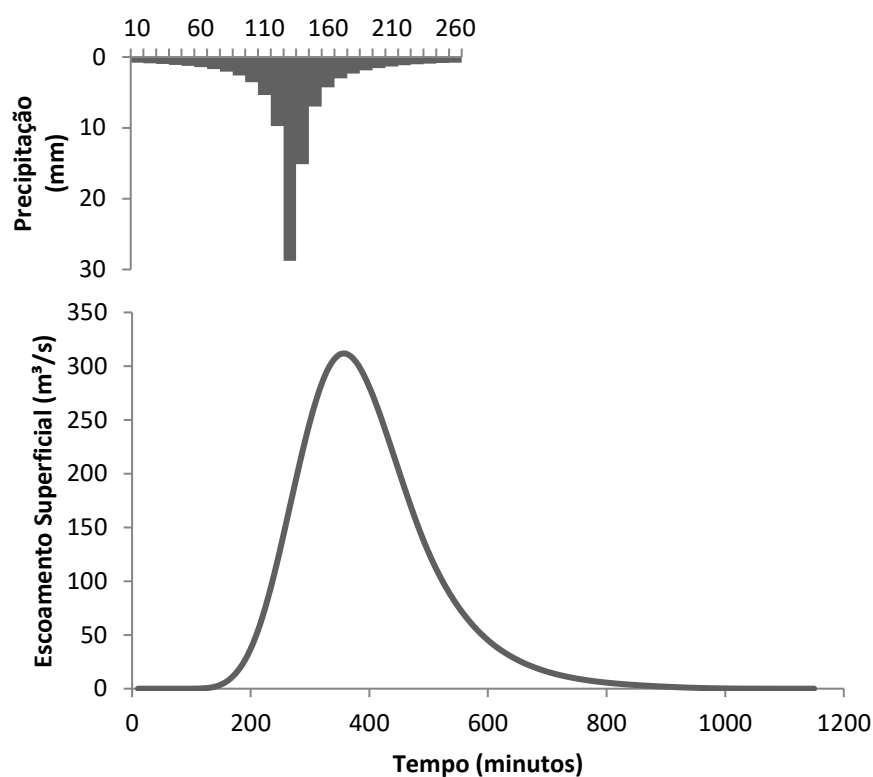
APÊNDICE Q - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRJ,
com $Tr = 10$ anos



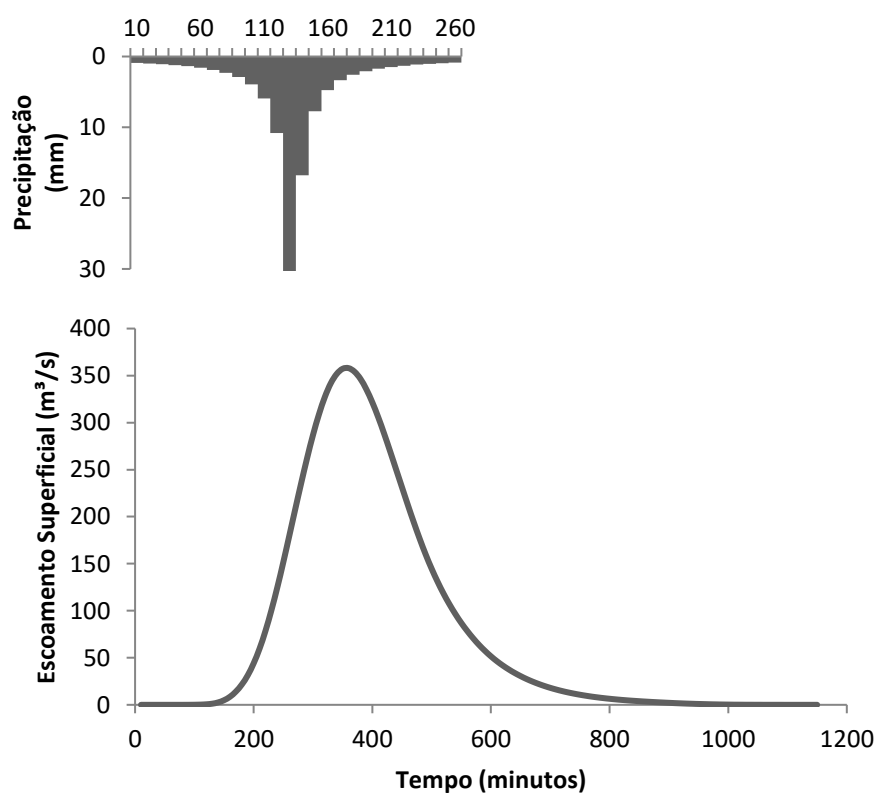
APÊNDICE R - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRJ,
com $Tr = 25$ anos



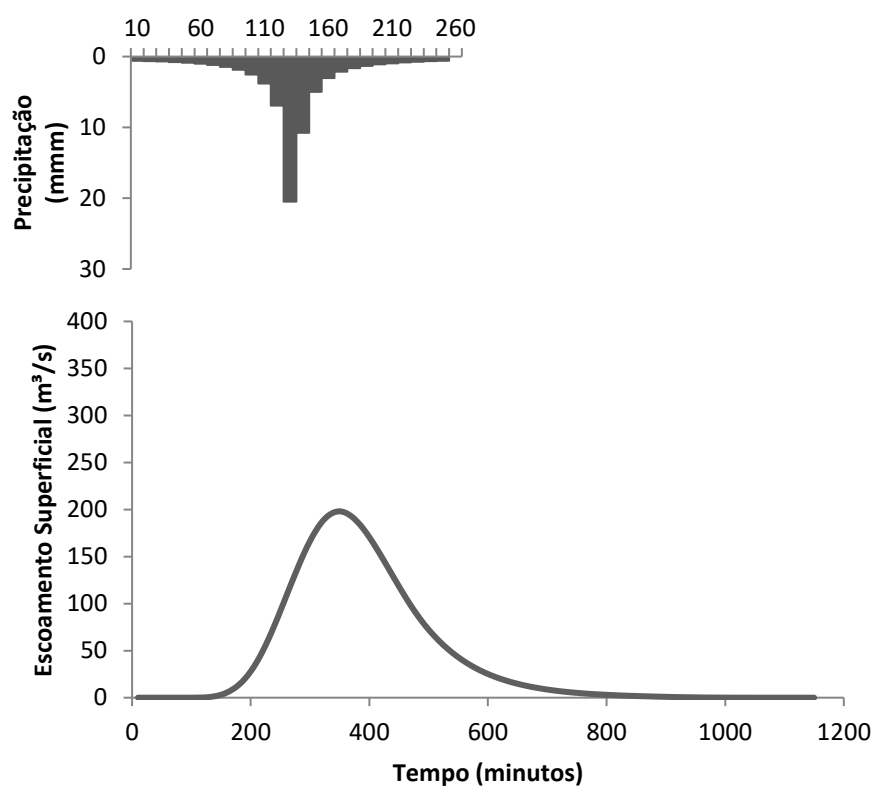
APÊNDICE S - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRJ,
com $Tr = 50$ anos



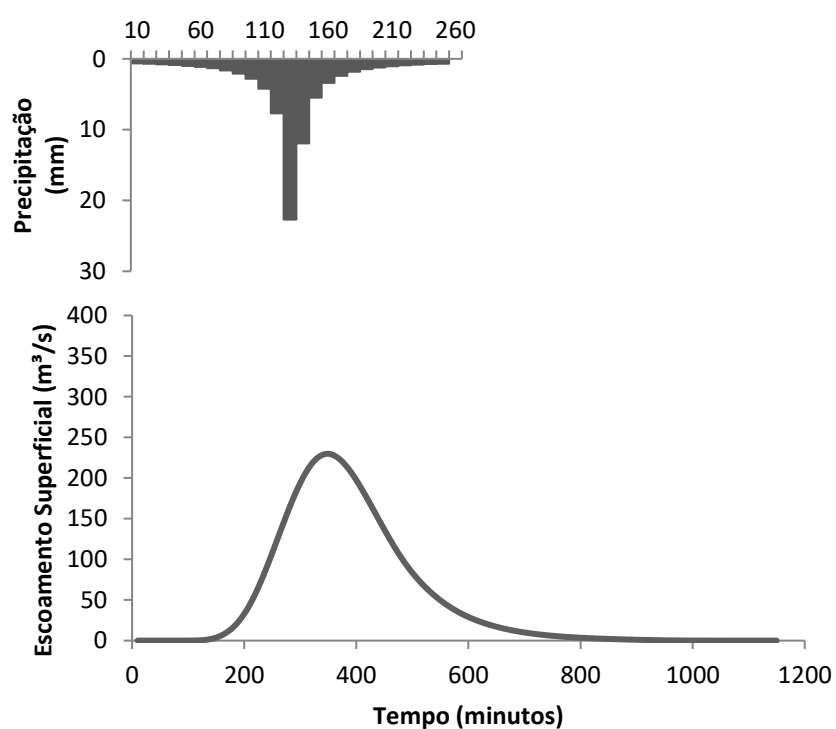
APÊNDICE T - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a
BHRJ, com $Tr = 100$ anos



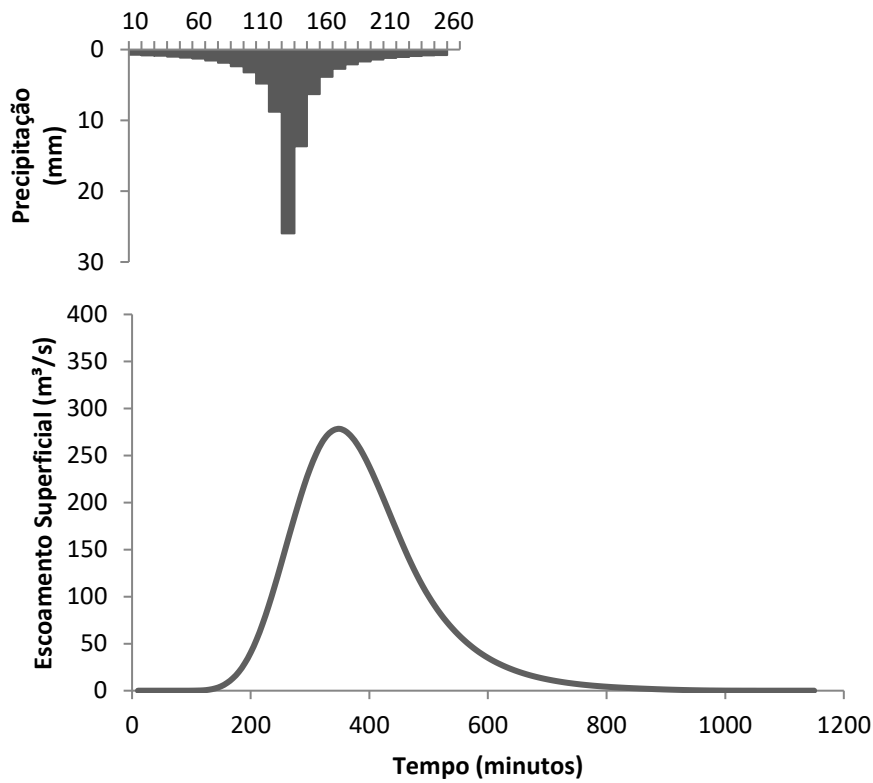
APÊNDICE U - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRJ, com $T_r = 5$ anos



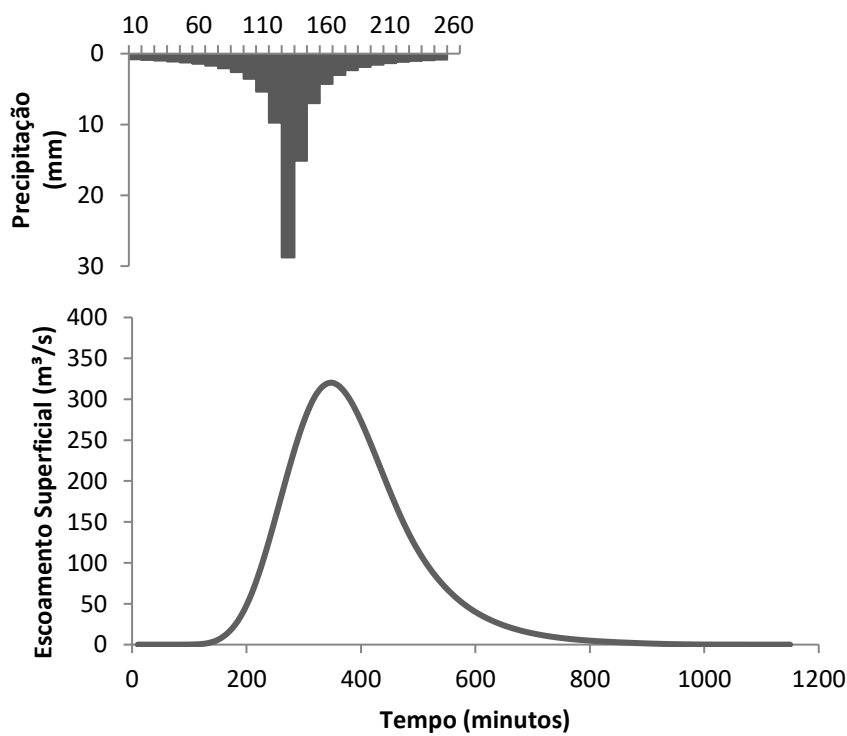
APÊNDICE V - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRJ, com $T_r = 10$ anos



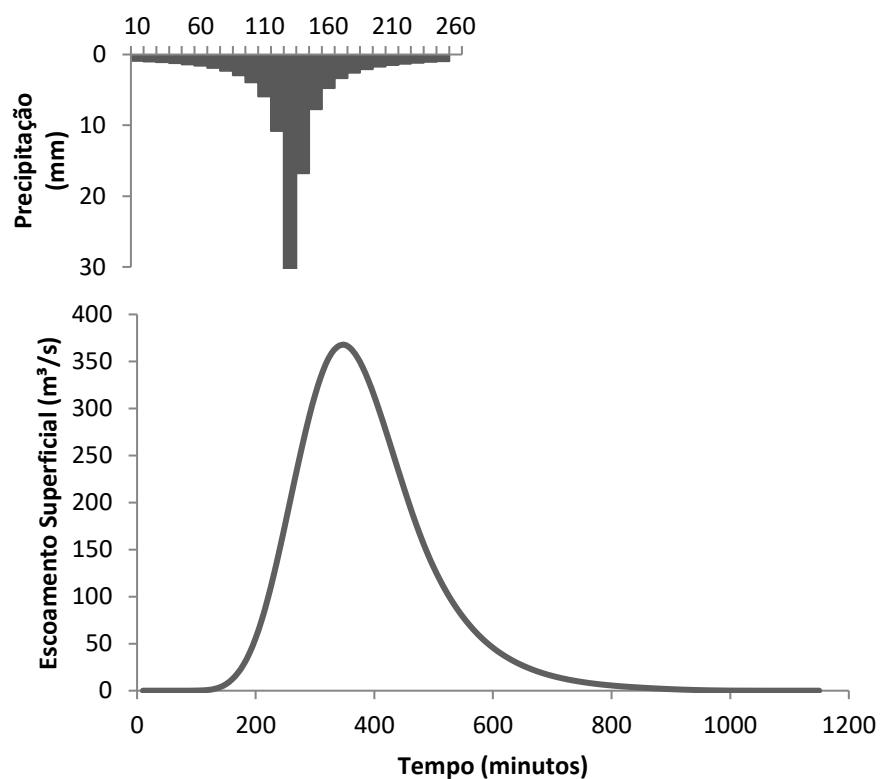
APÊNDICE W - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRJ, com $T_r = 25$ anos



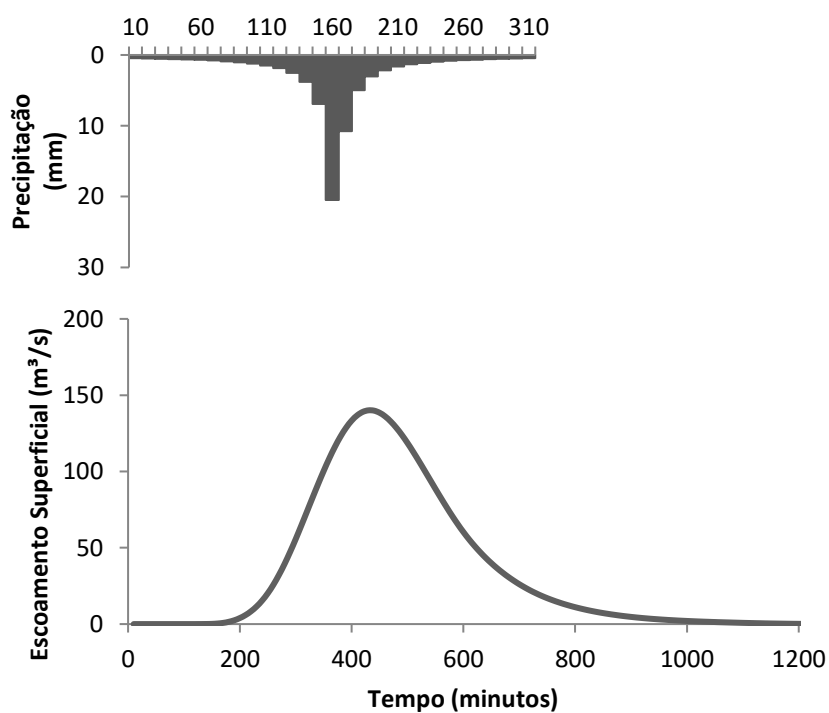
APÊNDICE X - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRJ, com $T_r = 50$ anos



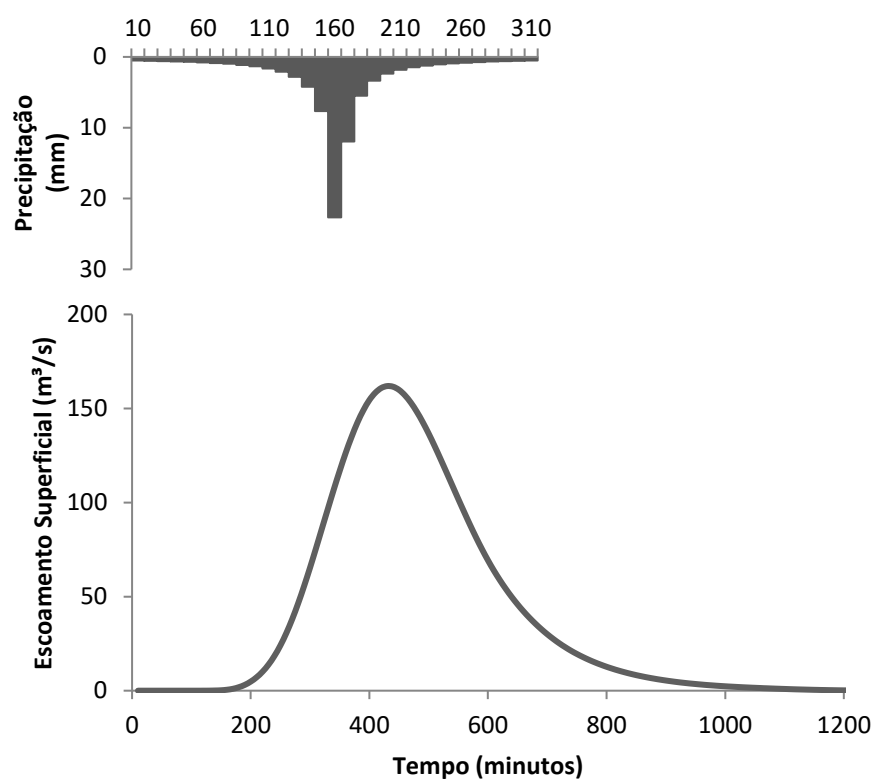
APÊNDICE Y - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRJ, com $Tr = 100$ anos



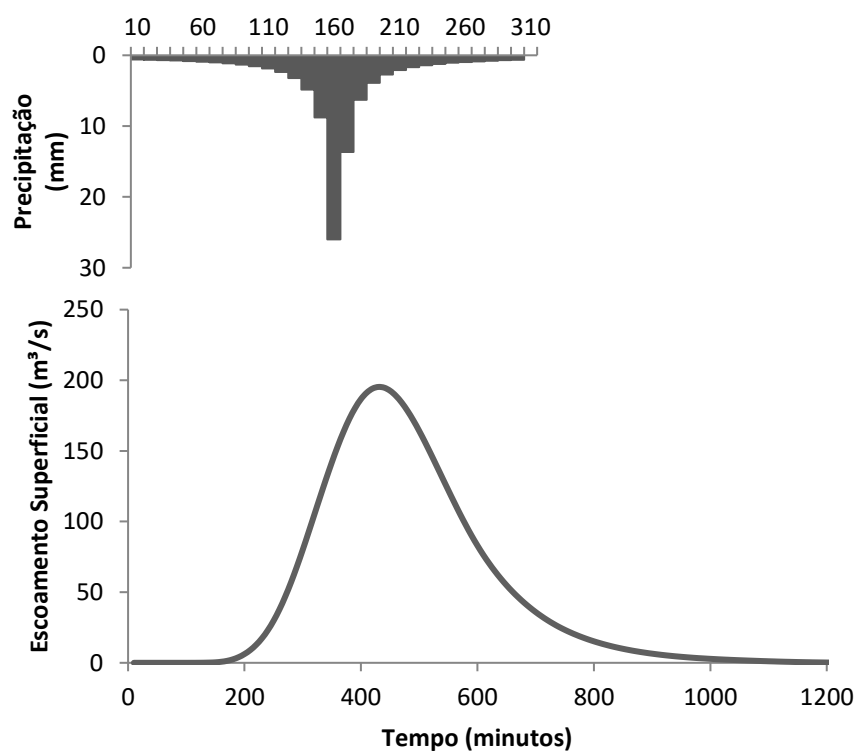
APÊNDICE Z - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLd, com $Tr = 5$ anos



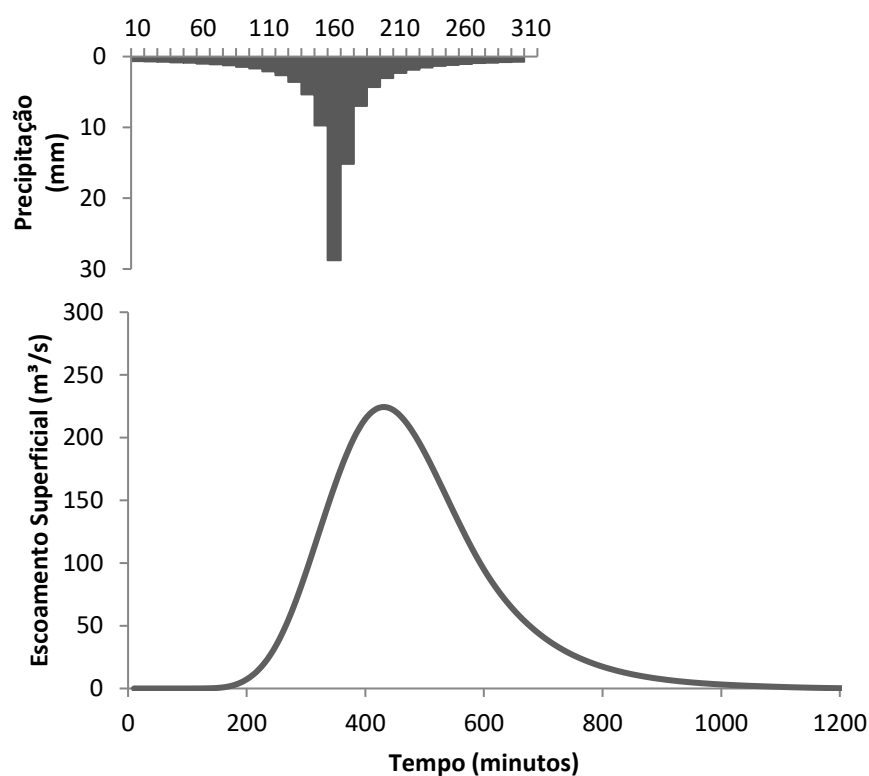
APÊNDICE AA - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a
BHRLd, com $T_r = 10$ anos



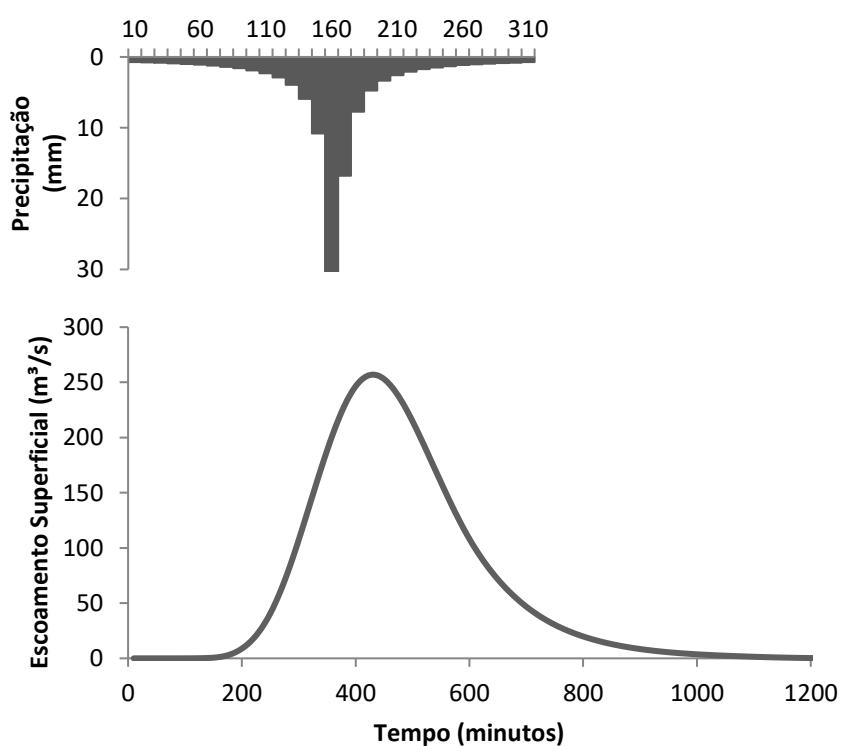
APÊNDICE BB - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a
BHRLd, com $T_r = 25$ anos



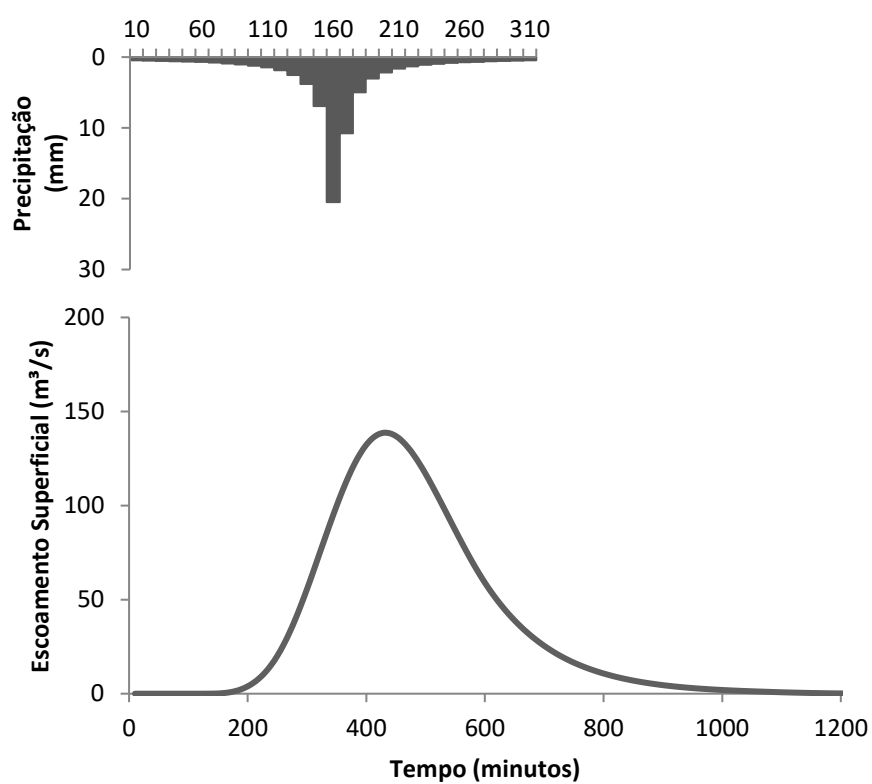
APÊNDICE CC - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a
BHRLd, com $Tr = 50$ anos



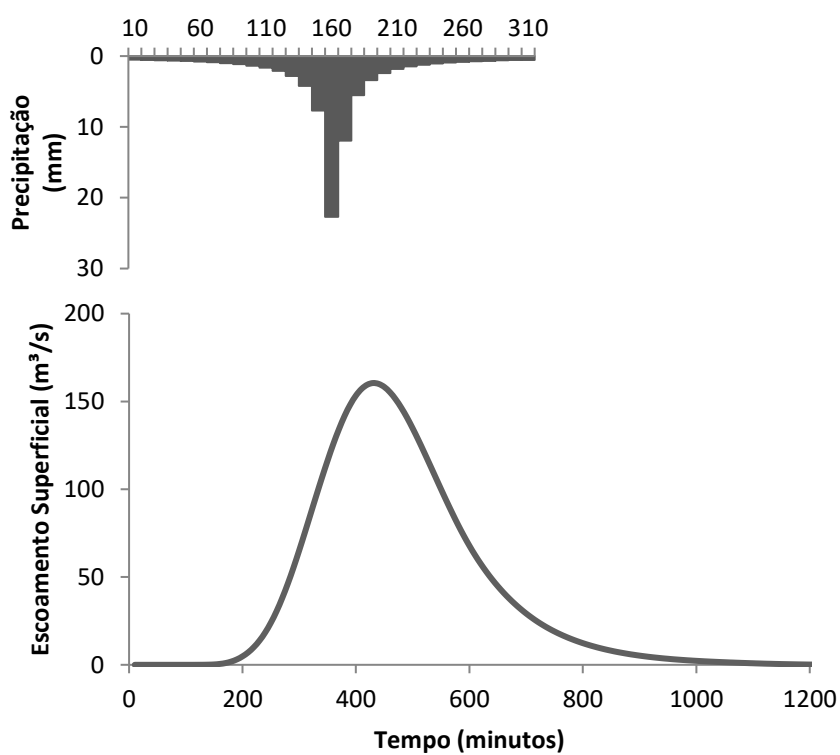
APÊNDICE DD - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a
BHRLd, com $Tr = 100$ anos



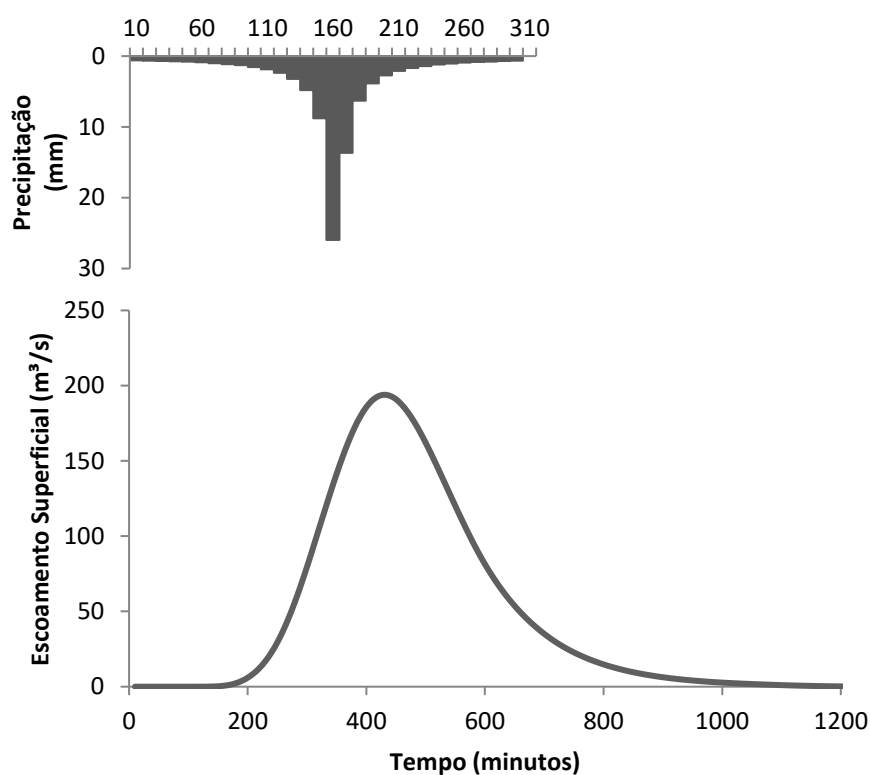
APÊNDICE EE - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a
BHRLd, com $Tr = 5$ anos



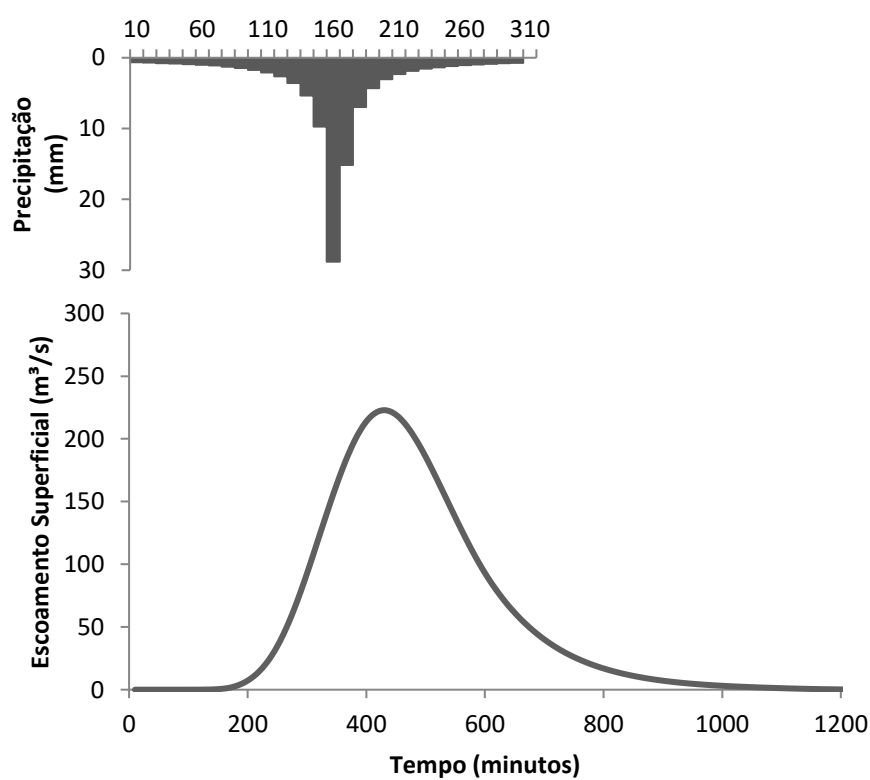
APÊNDICE FF - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a
BHRLd, com $Tr = 10$ anos



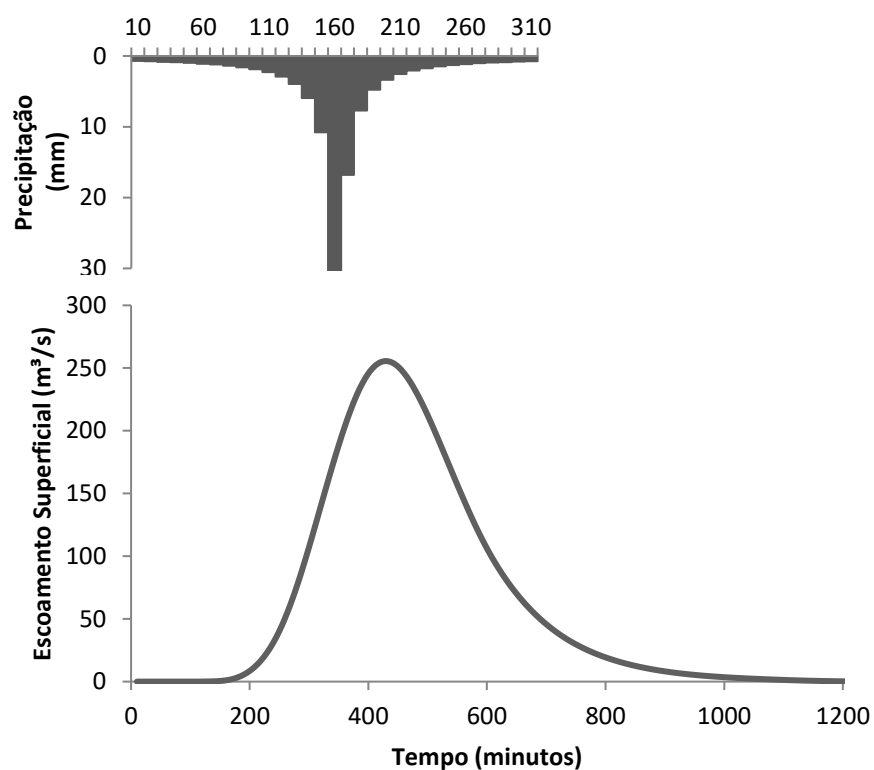
APÊNDICE GG - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a
BHRLd, com $Tr = 25$ anos



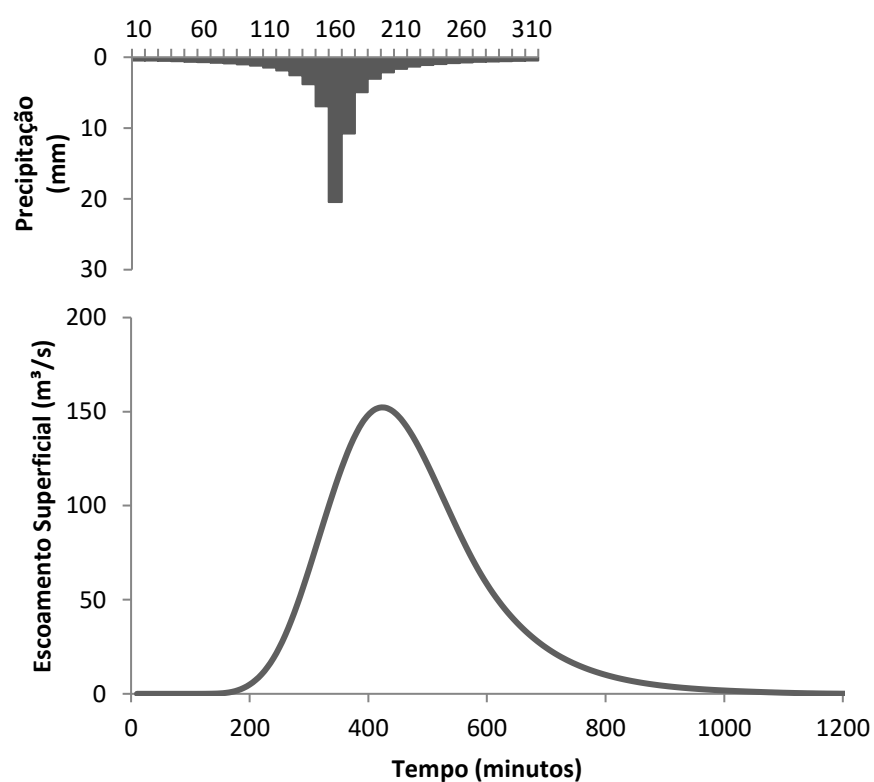
APÊNDICE HH - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a
BHRLd, com $Tr = 50$ anos



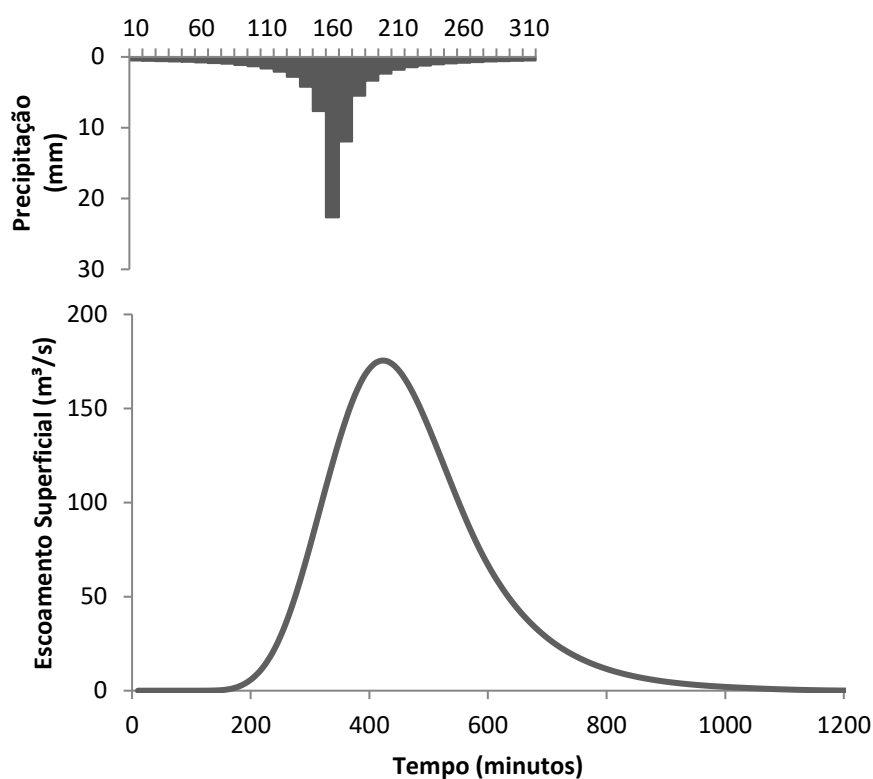
APÊNDICE II - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a
BHRLd, com $Tr = 100$ anos



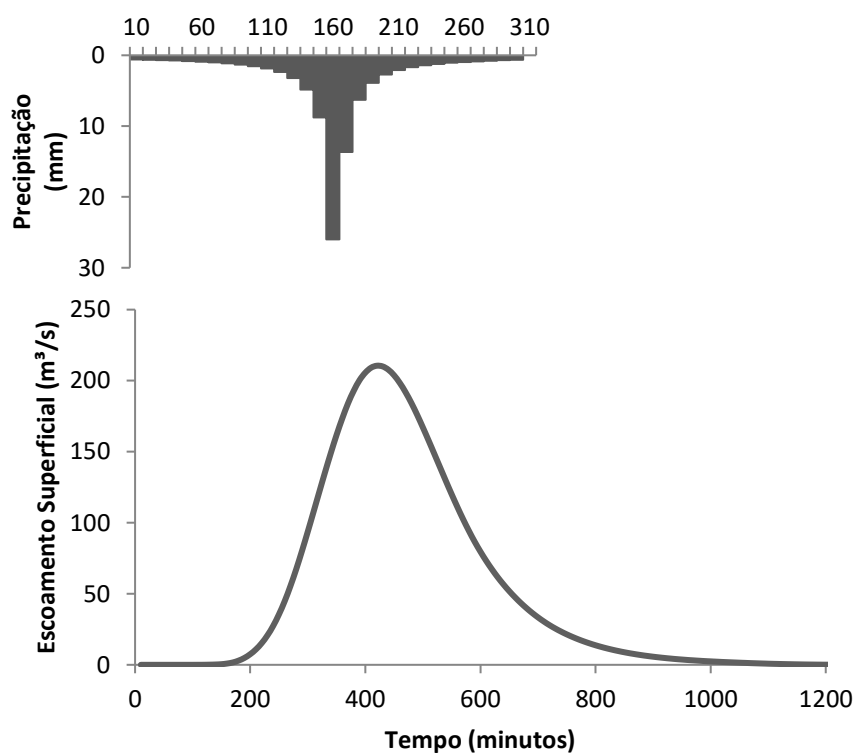
APÊNDICE JJ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRLd, com $Tr = 5$ anos



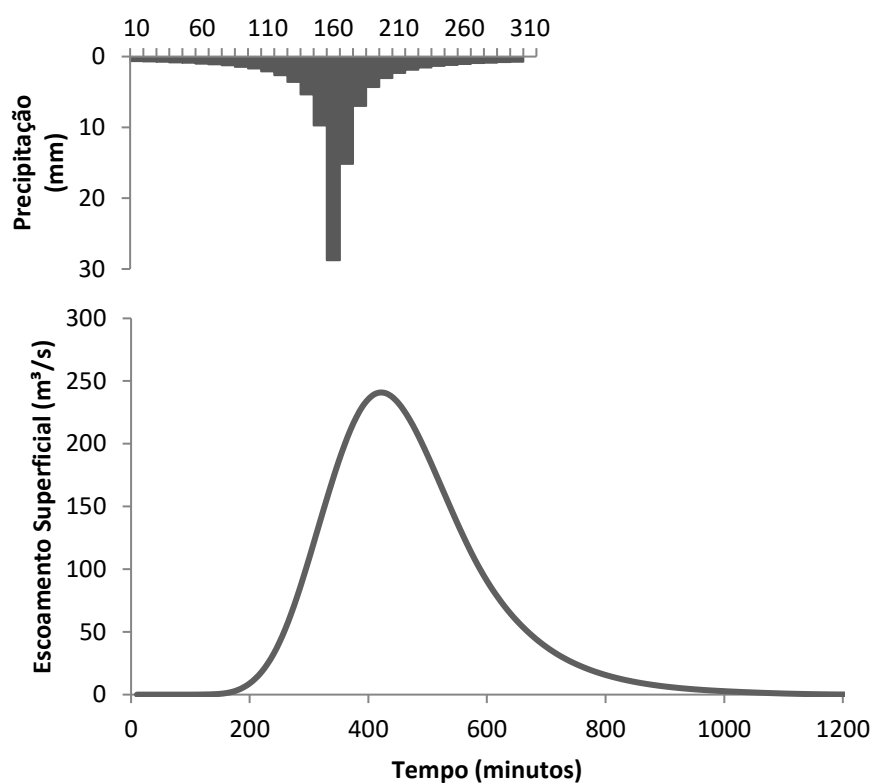
APÊNDICE KK - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRLd, com $Tr = 10$ anos



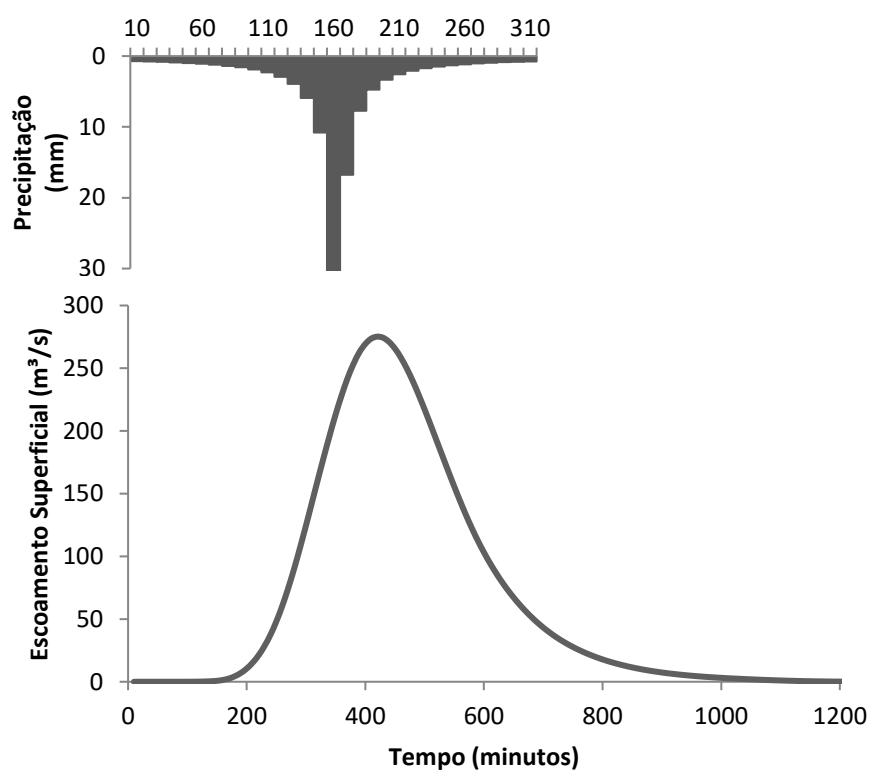
APÊNDICE LL - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRLd, com $Tr = 25$ anos



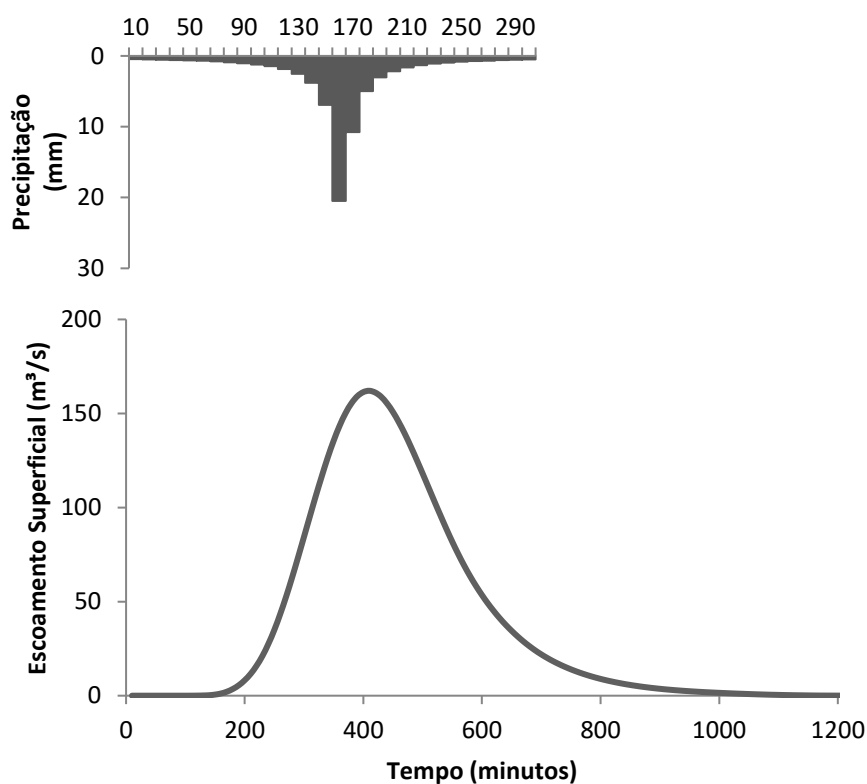
APÊNDICE MM - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRLd, com $Tr = 50$ anos



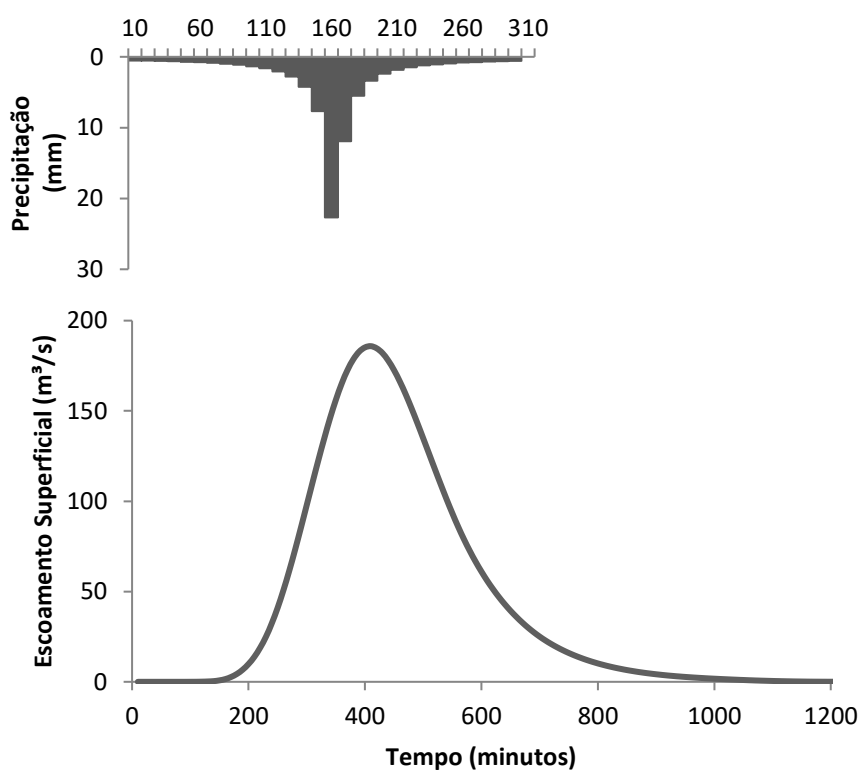
APÊNDICE NN - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRLd, com $Tr = 100$ anos



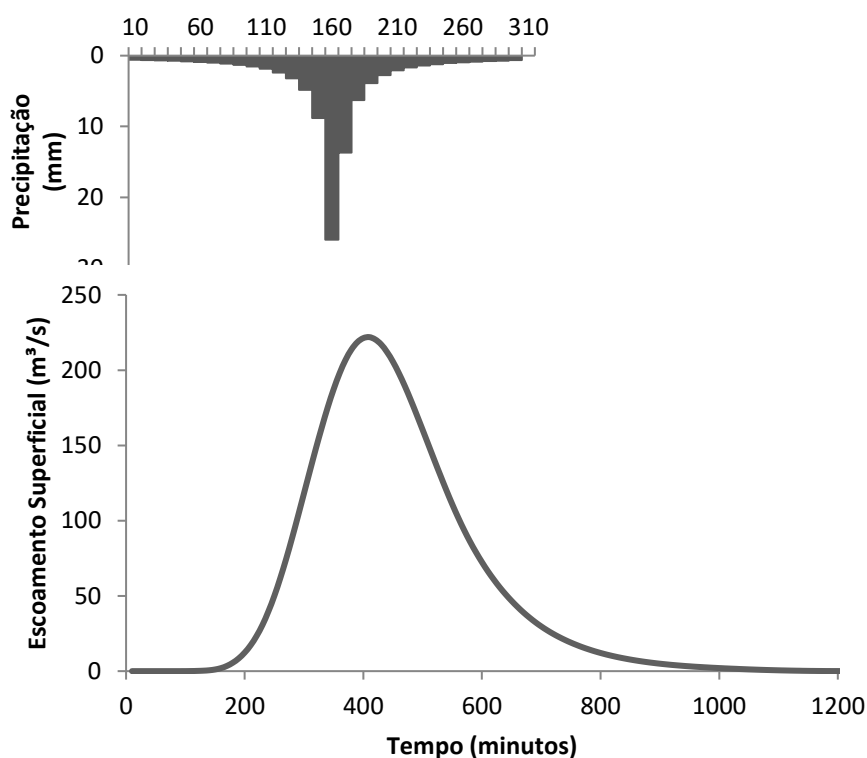
APÊNDICE OO - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a
BHRLd, com $Tr = 5$ anos



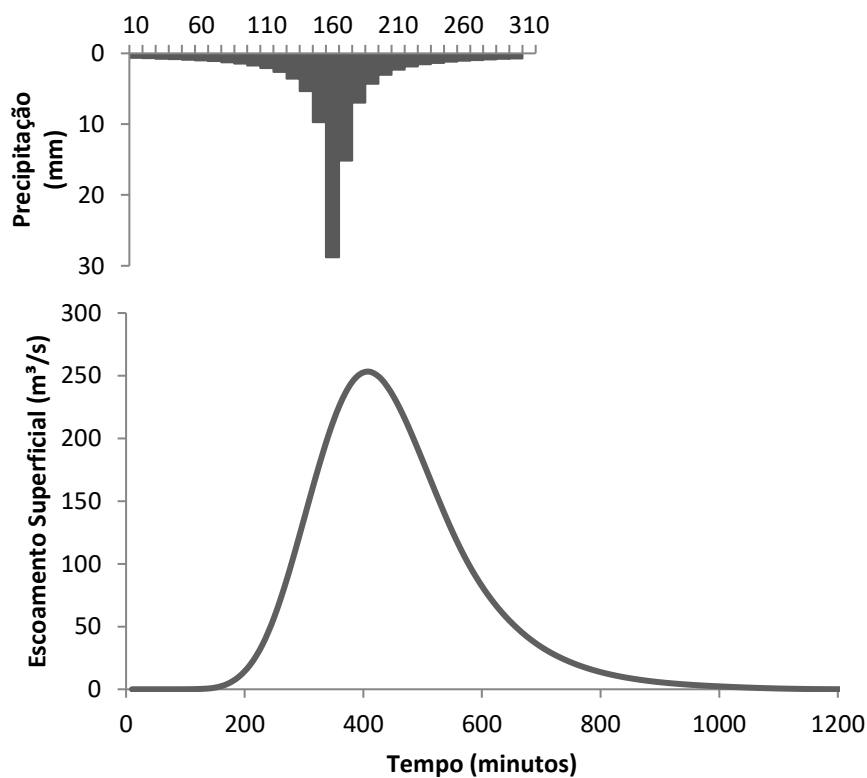
APÊNDICE PP - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a
BHRLd, com $Tr = 10$ anos



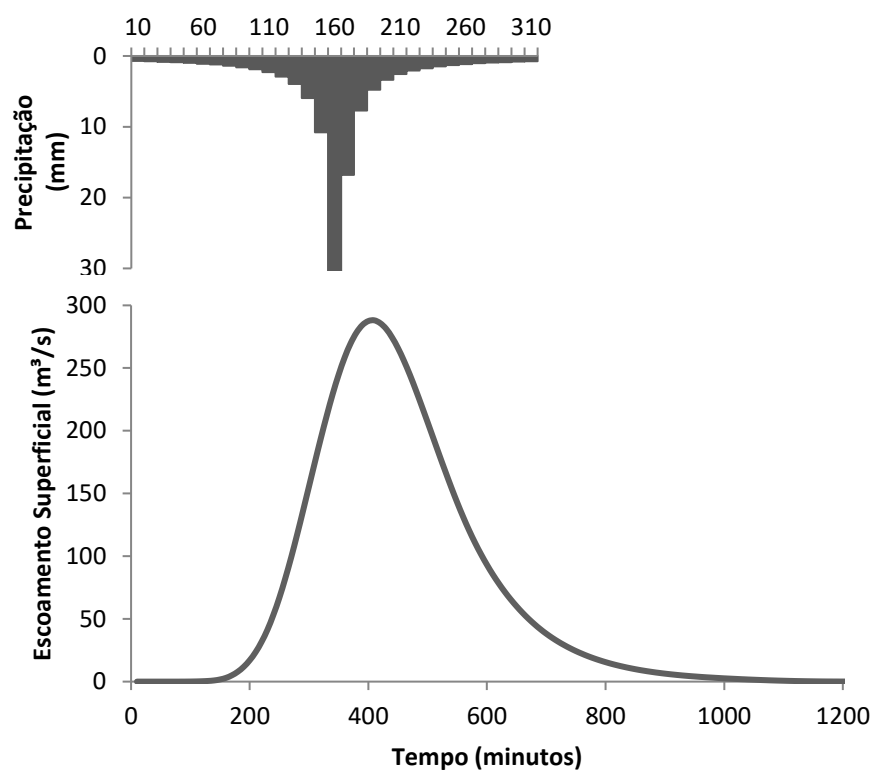
APÊNDICE QQ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a
BHRLd, com $Tr = 25$ anos



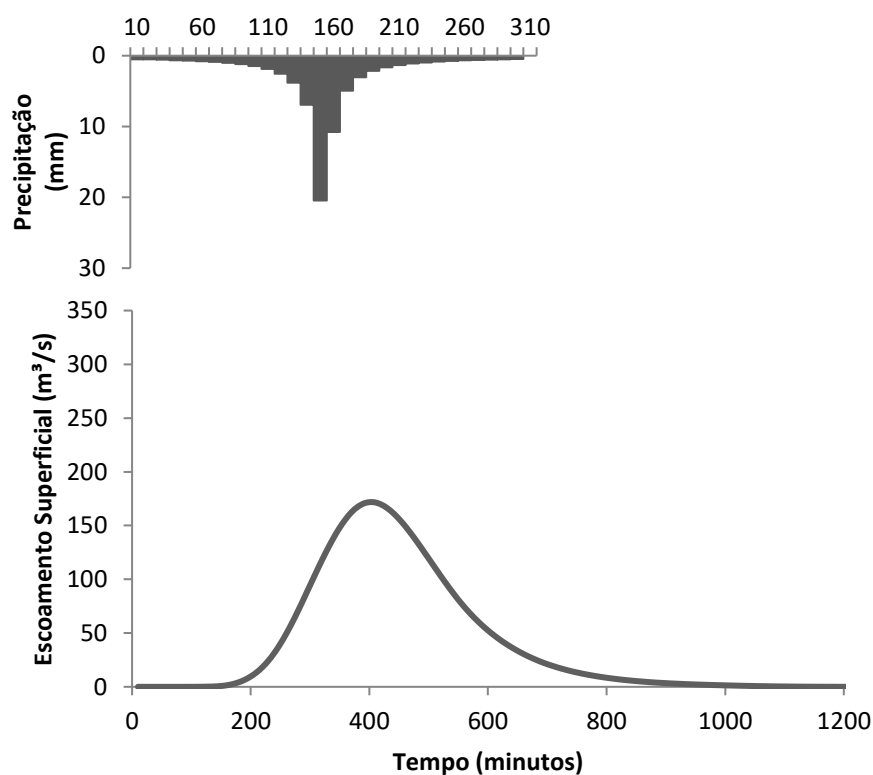
APÊNDICE RR - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a
BHRLd, com $Tr = 50$ anos



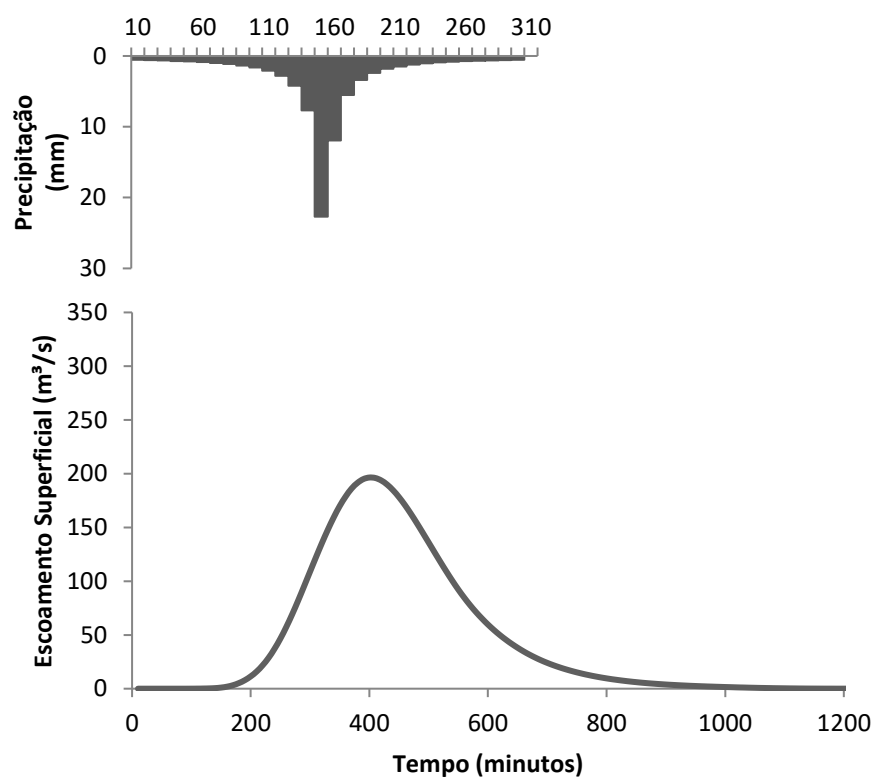
APÊNDICE SS - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a
BHRLd, com $Tr = 100$ anos



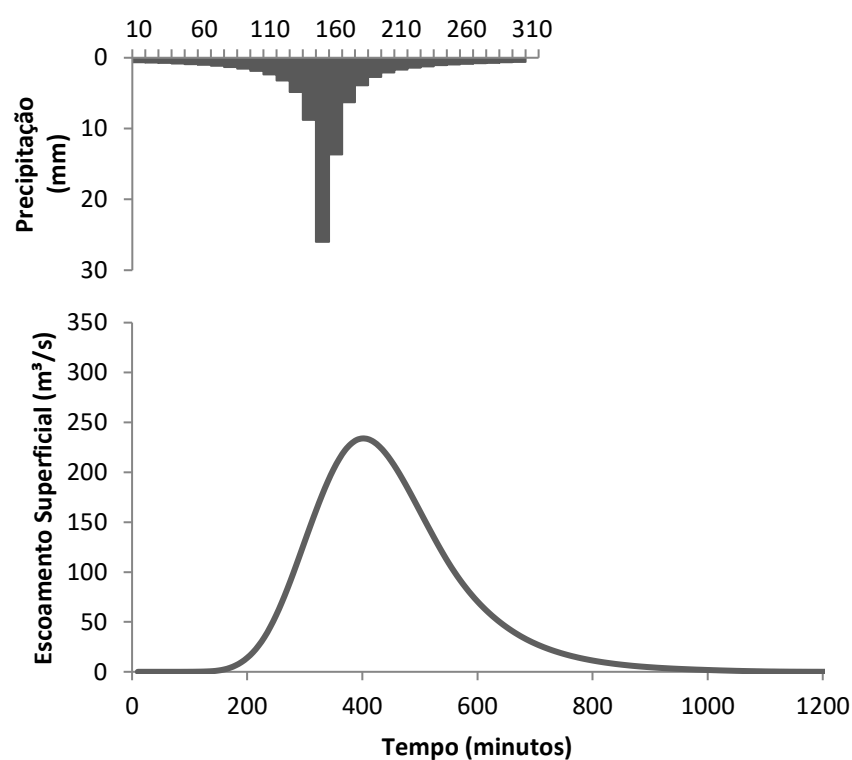
APÊNDICE TT - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da
BHRLd, com $Tr = 5$ anos



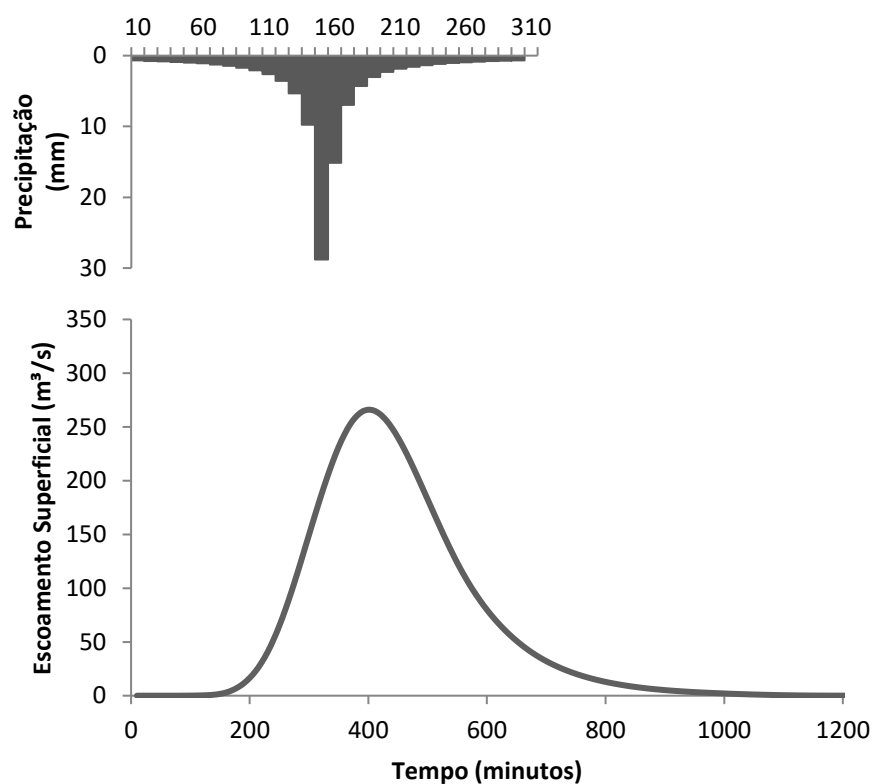
APÊNDICE UU - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da
BHRLd, com $T_r = 10$ anos



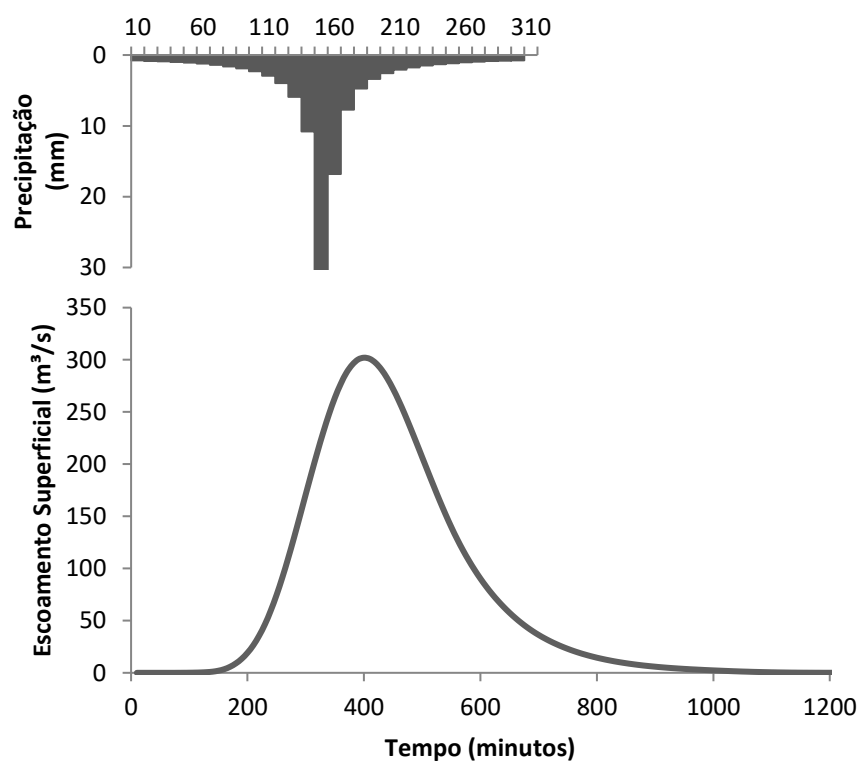
APÊNDICE VV - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da
BHRLd, com $T_r = 25$ anos



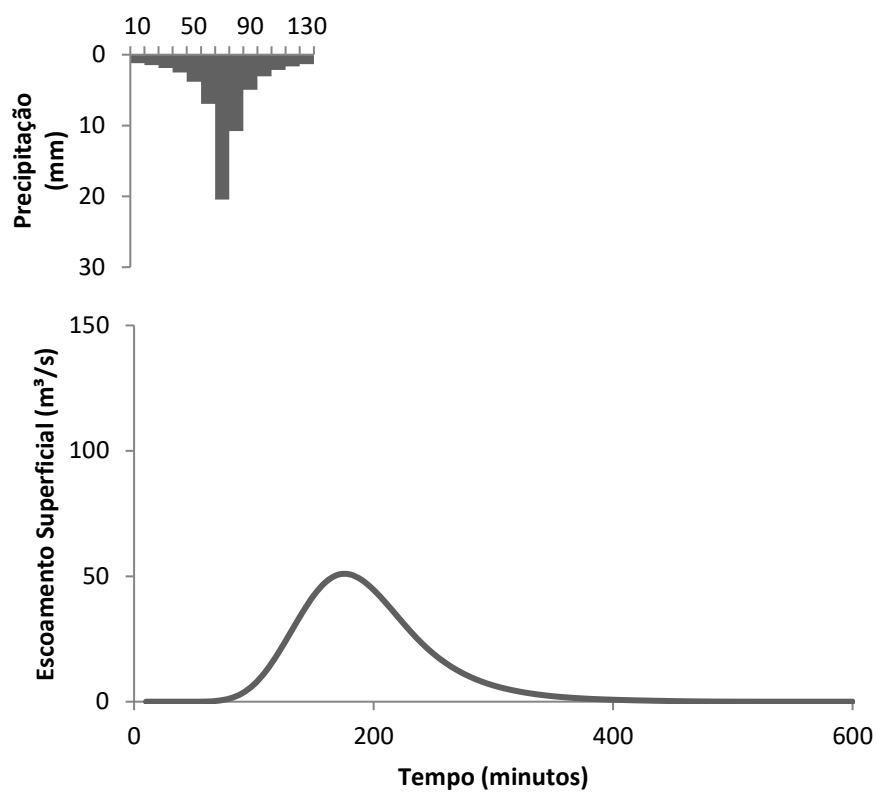
APÊNDICE WW - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da
BHRLd, com $Tr = 50$ anos



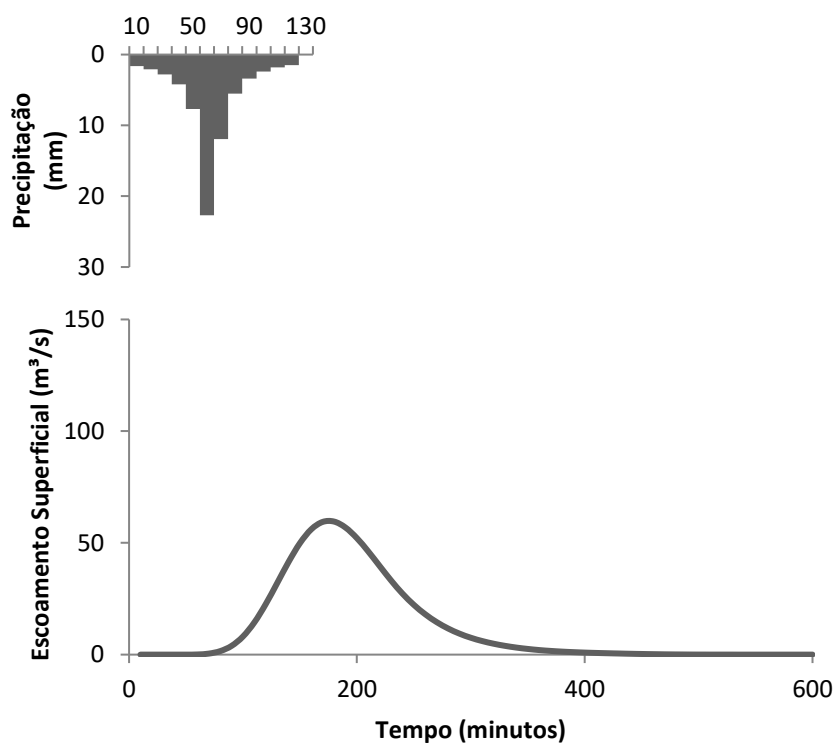
APÊNDICE XX - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da
BHRLd, com $Tr = 100$ anos



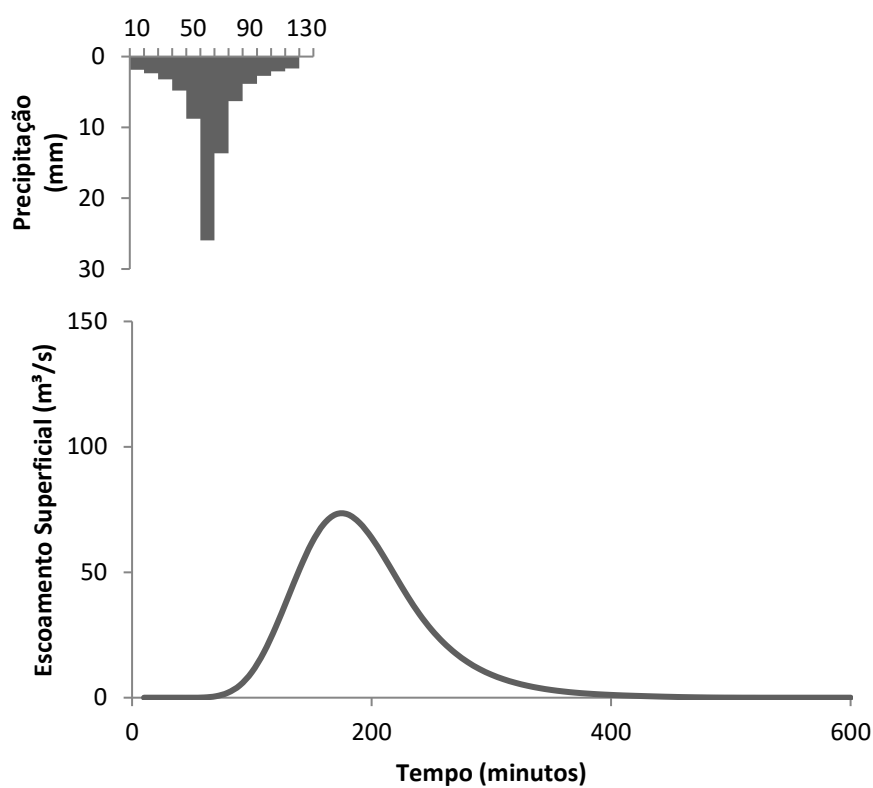
APÊNDICE YY - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLm, com $Tr = 5$ anos



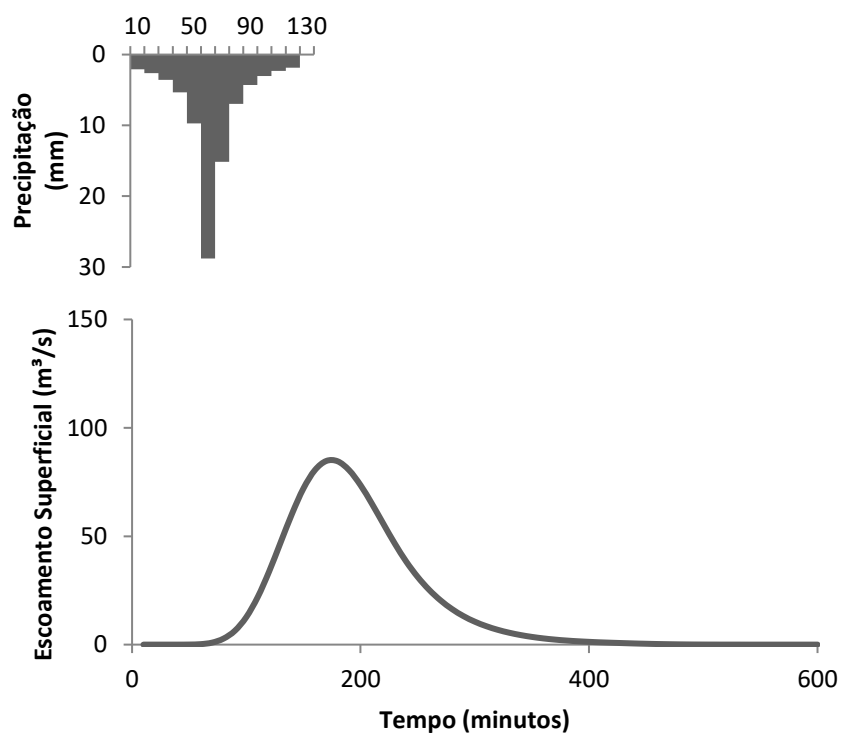
APÊNDICE ZZ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLm, com $Tr = 10$ anos



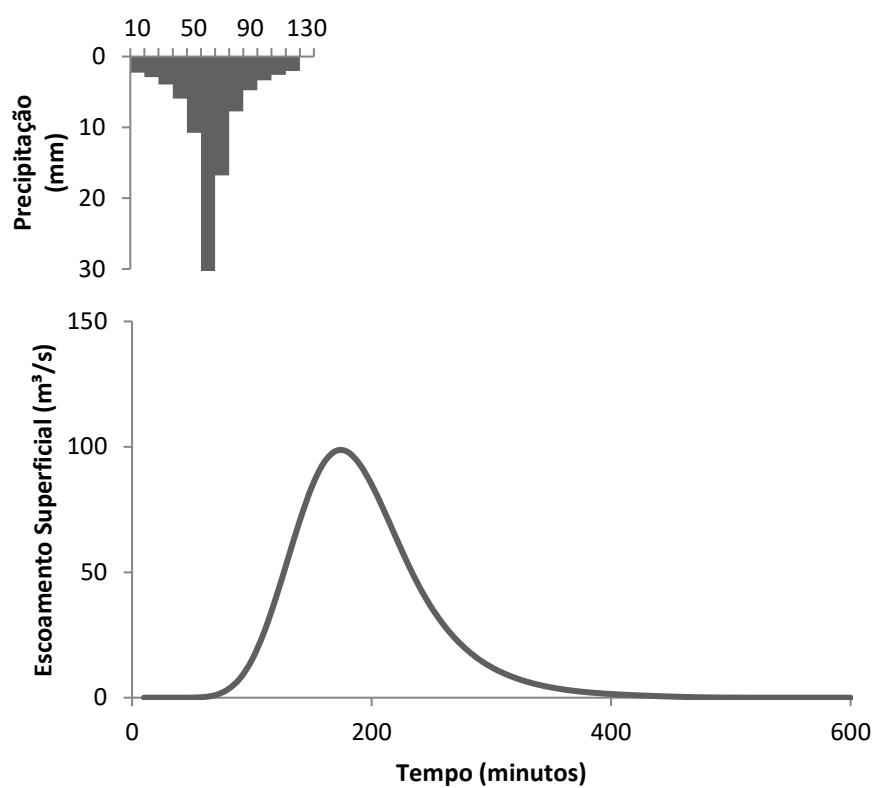
APÊNDICE AAA - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLm, com $T_r = 25$ anos



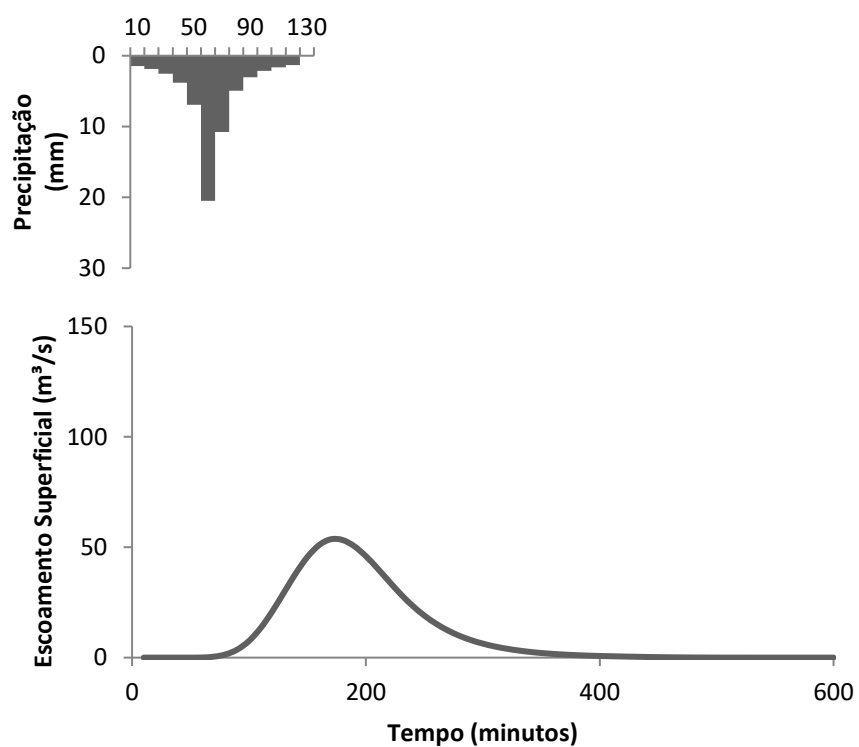
APÊNDICE BBB - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLm, com $T_r = 50$ anos



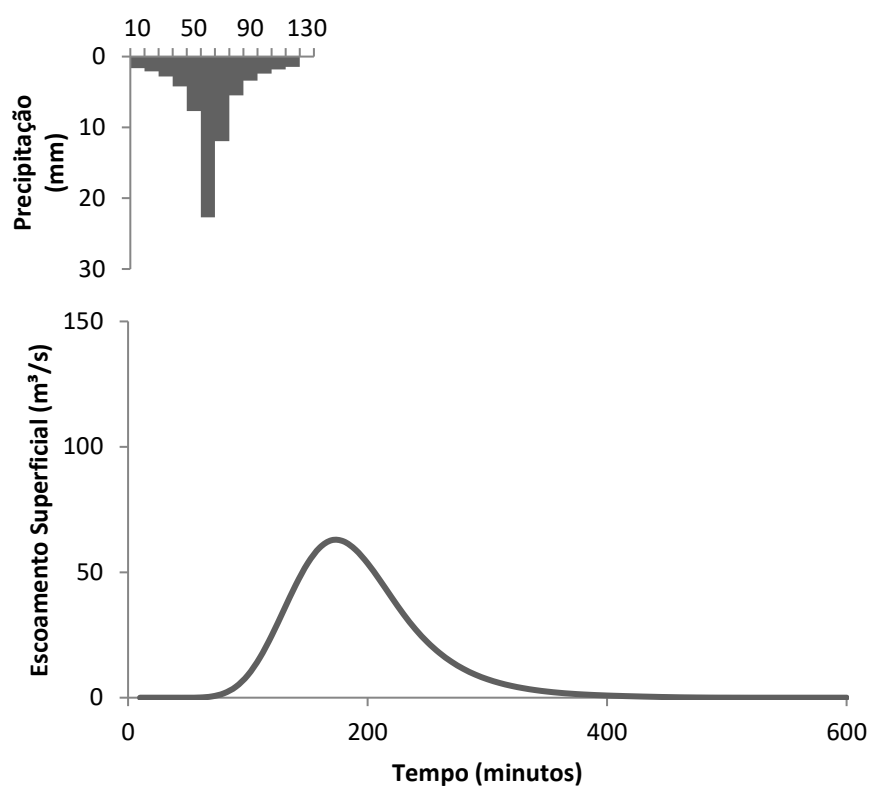
APÊNDICE CCC - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRLm, com $Tr = 100$ anos



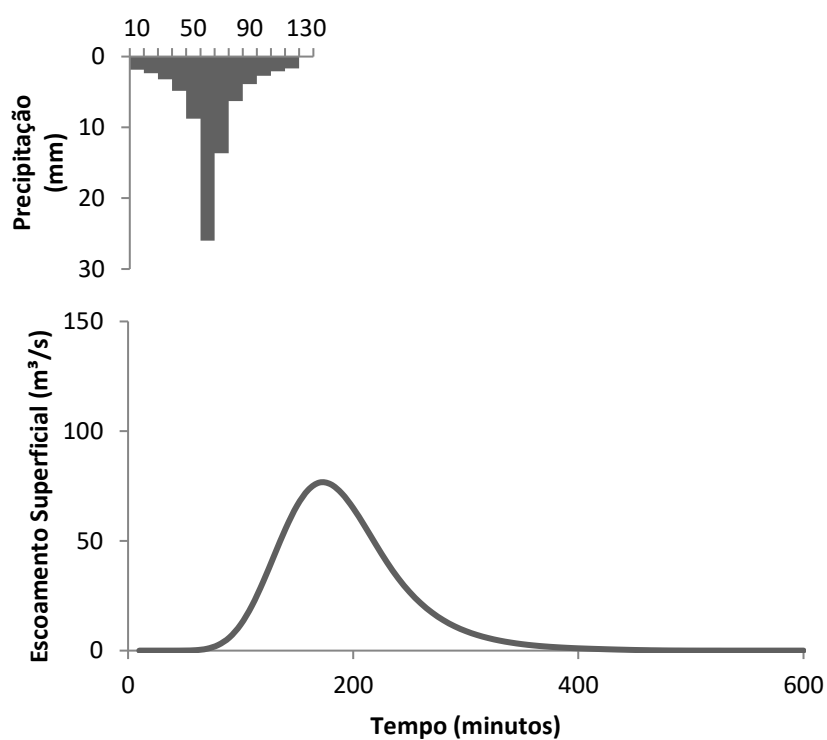
APÊNDICE DDD - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLm, com $Tr = 5$ anos



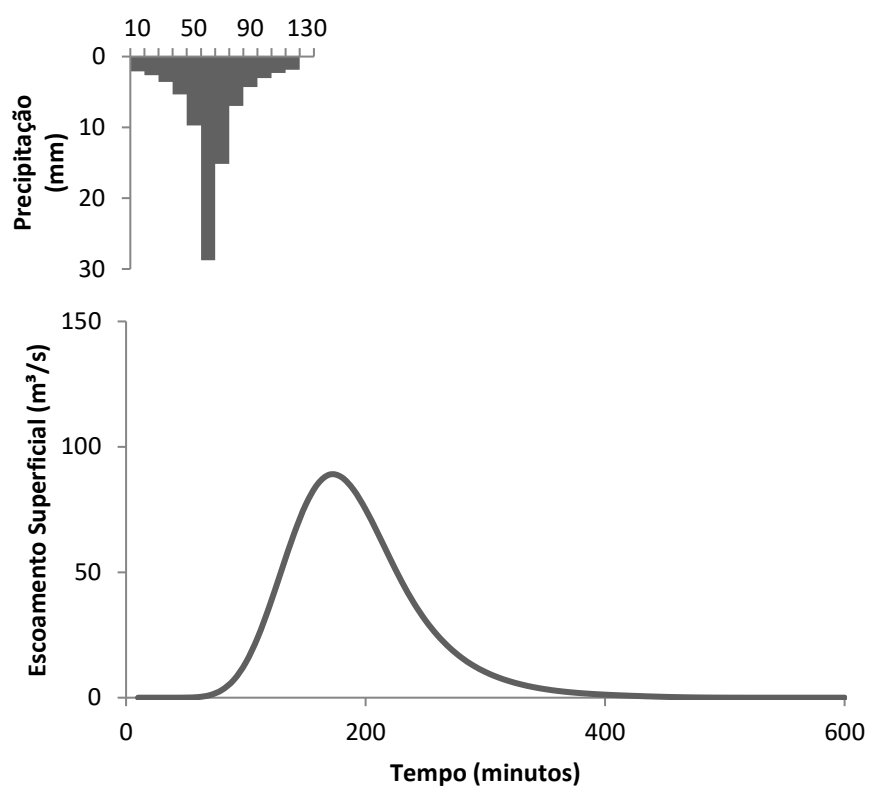
APÊNDICE EEE - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLm, com $Tr = 10$ anos



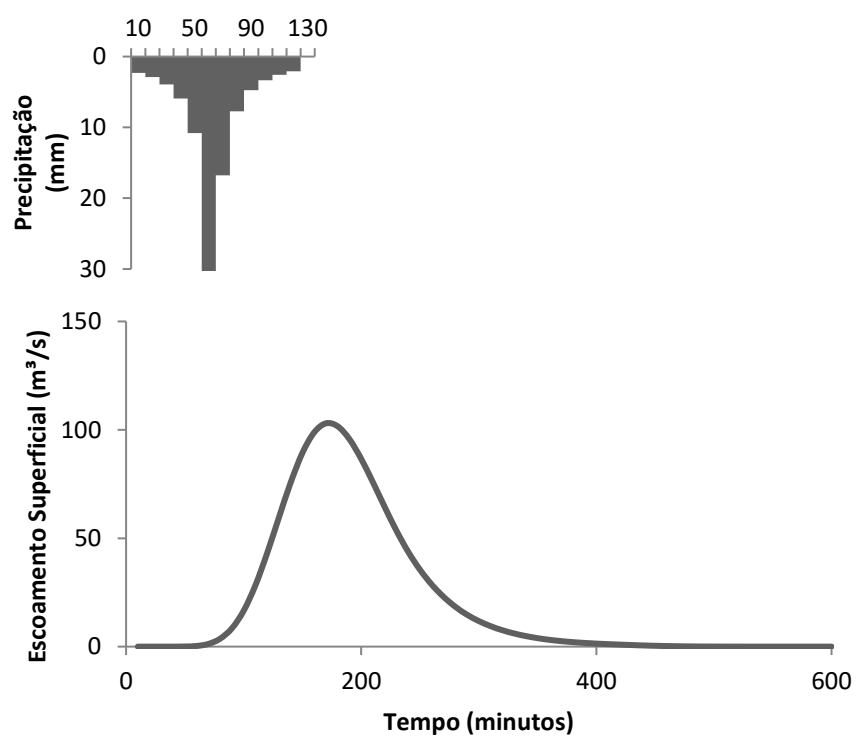
APÊNDICE FFF - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLm, com $Tr = 25$ anos



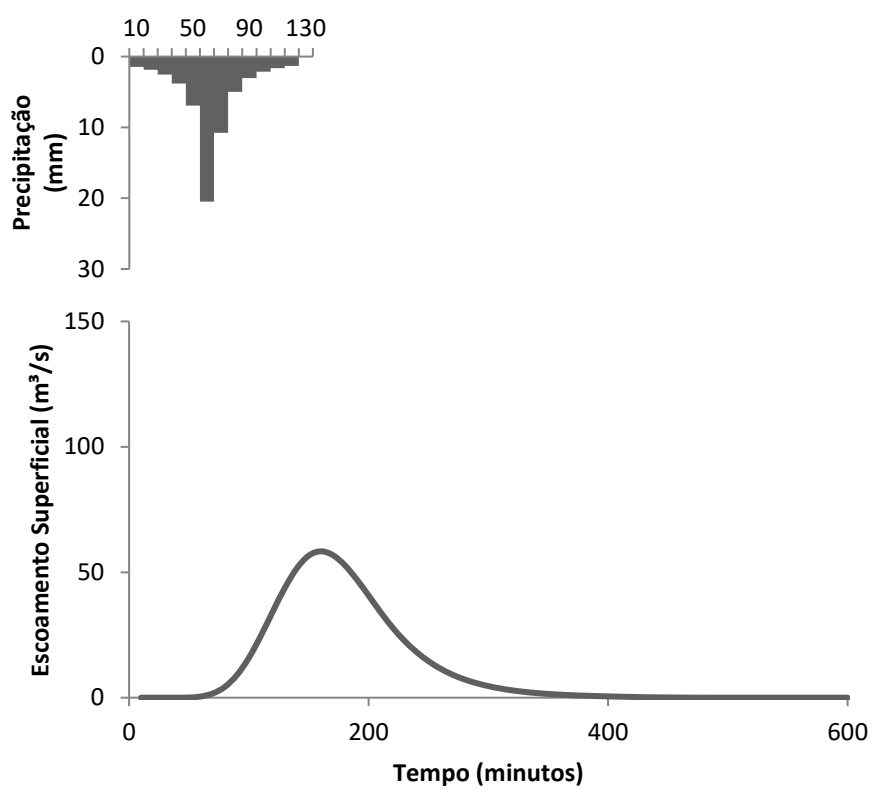
APÊNDICE GGG - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLm, com $Tr = 50$ anos



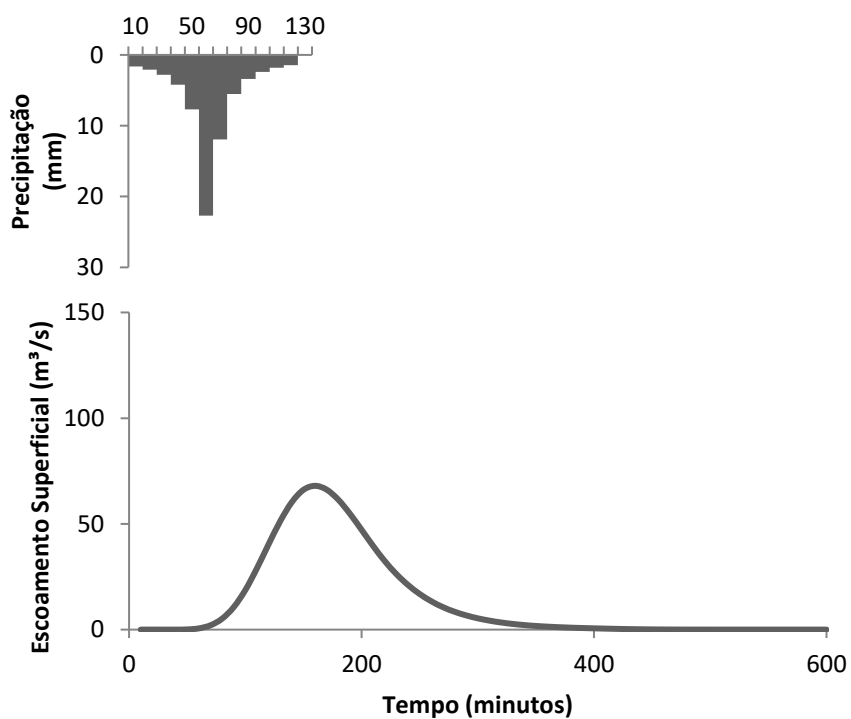
APÊNDICE HHH - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRLm, com $Tr = 100$ anos



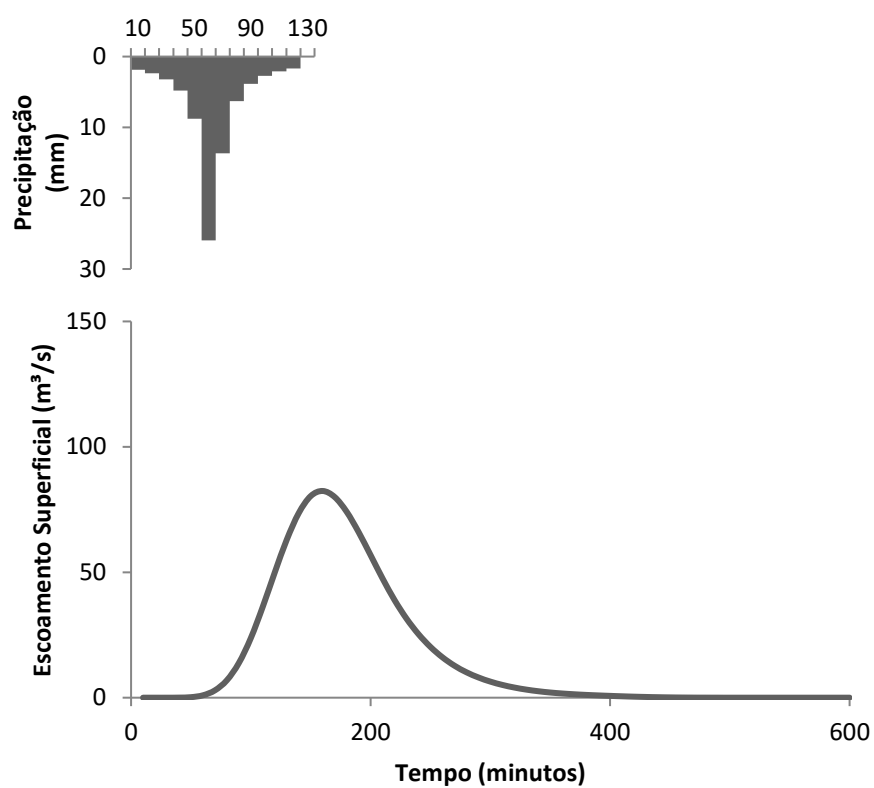
APÊNDICE III - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRLm, com $Tr = 5$ anos



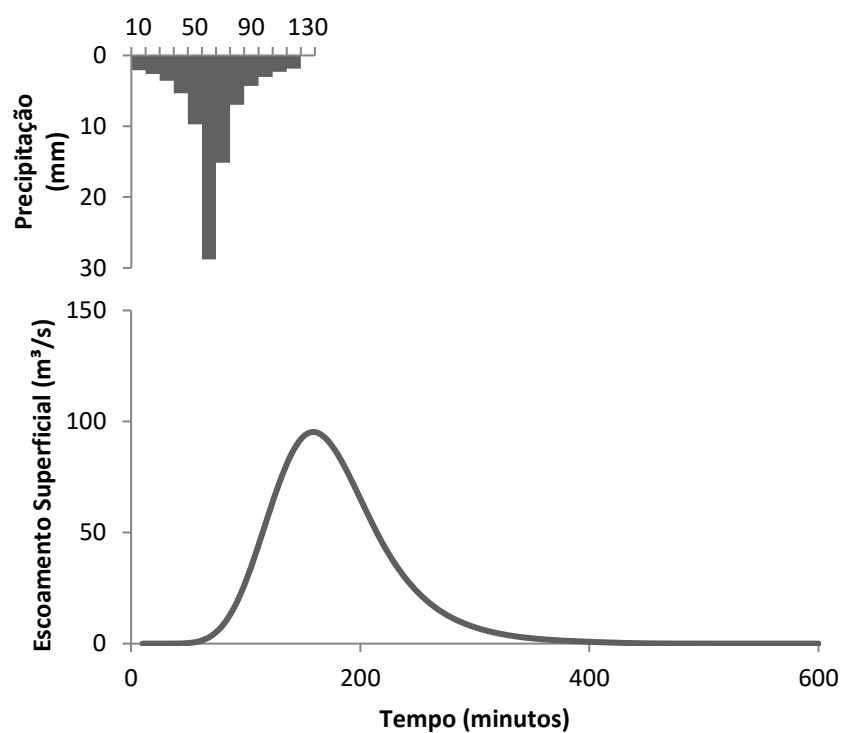
APÊNDICE JJJ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRLm, com $Tr = 10$ anos



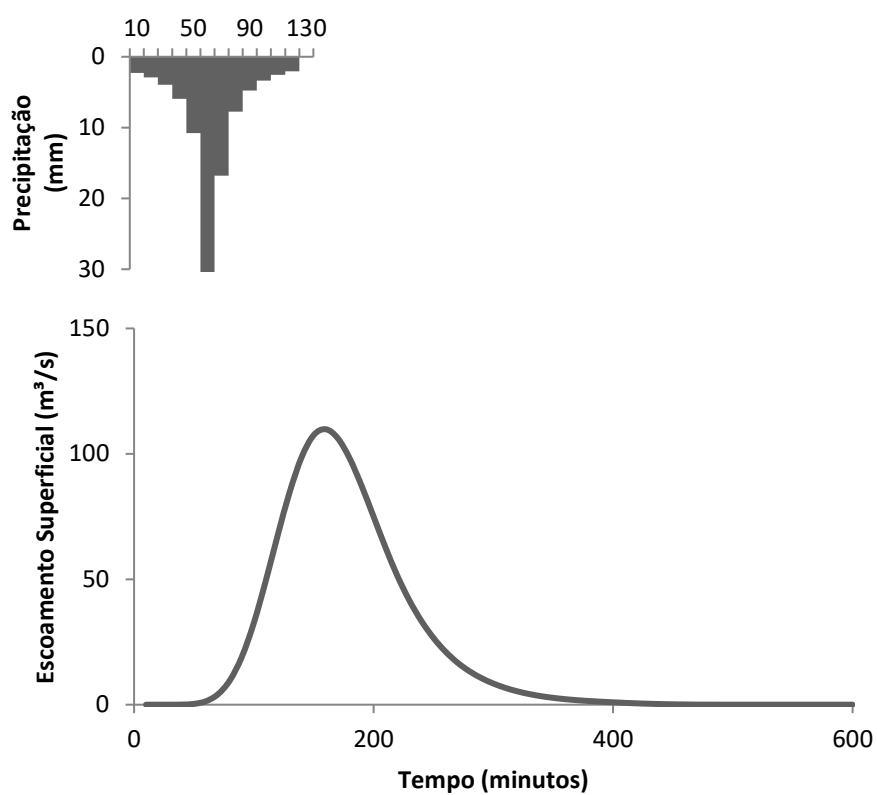
APÊNDICE KKK - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLm, com $T_r = 25$ anos



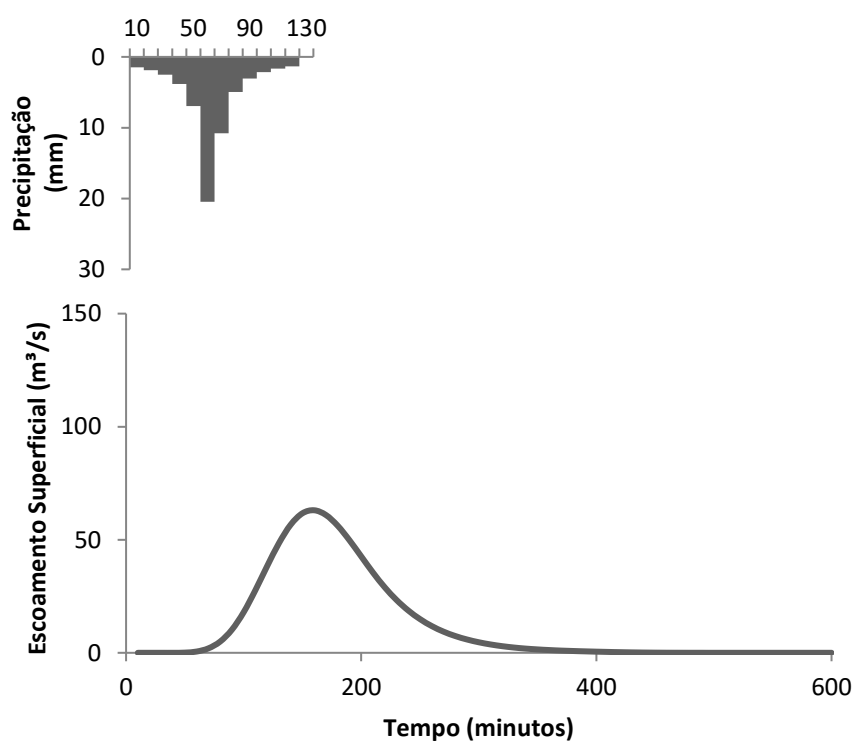
APÊNDICE LLL - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLm, com $T_r = 50$ anos



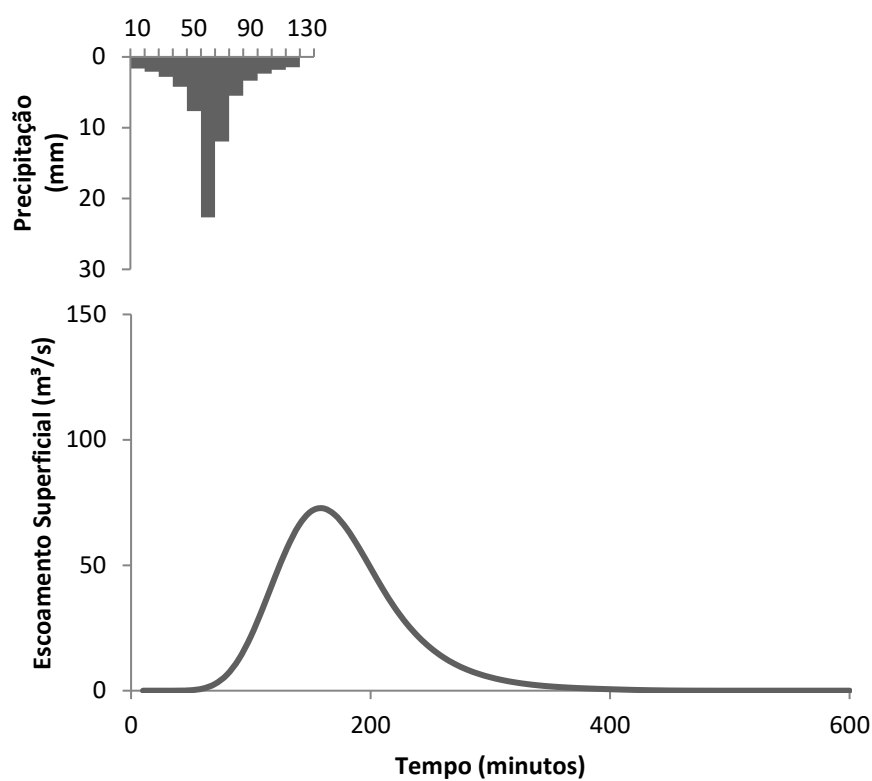
APÊNDICE MMM - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRLm, com $Tr = 100$ anos



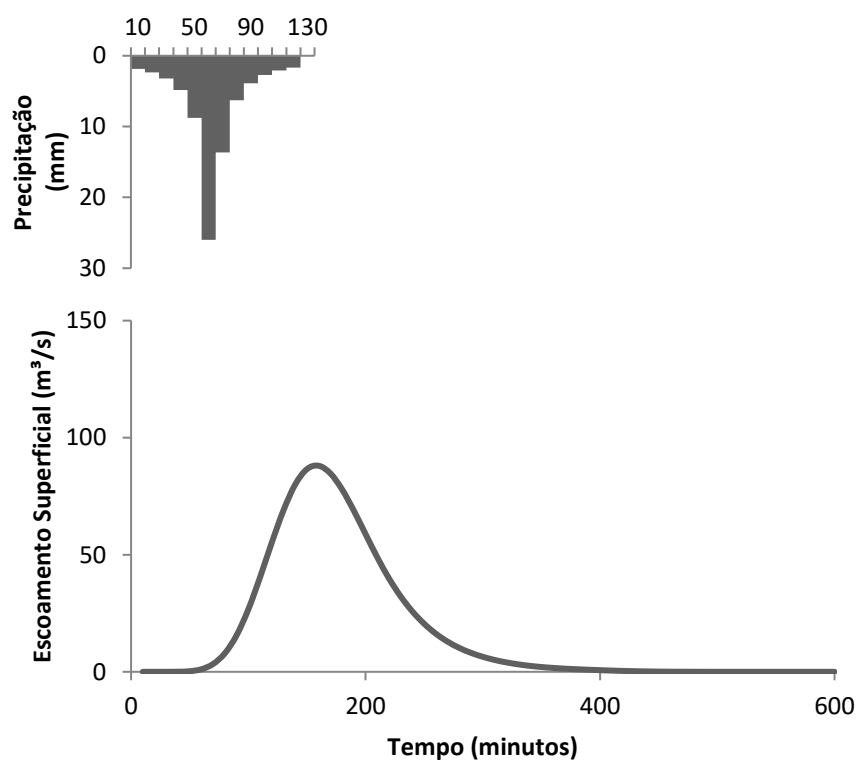
APÊNDICE NNN - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLm, com $Tr = 5$ anos



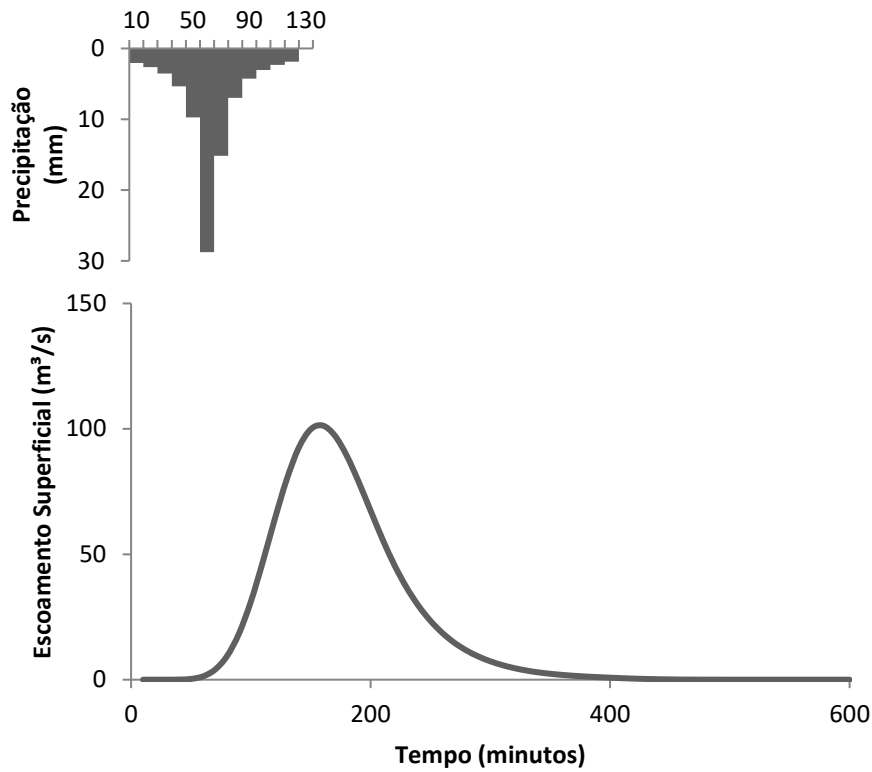
APÊNDICE OOO - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLm, com $Tr = 10$ anos



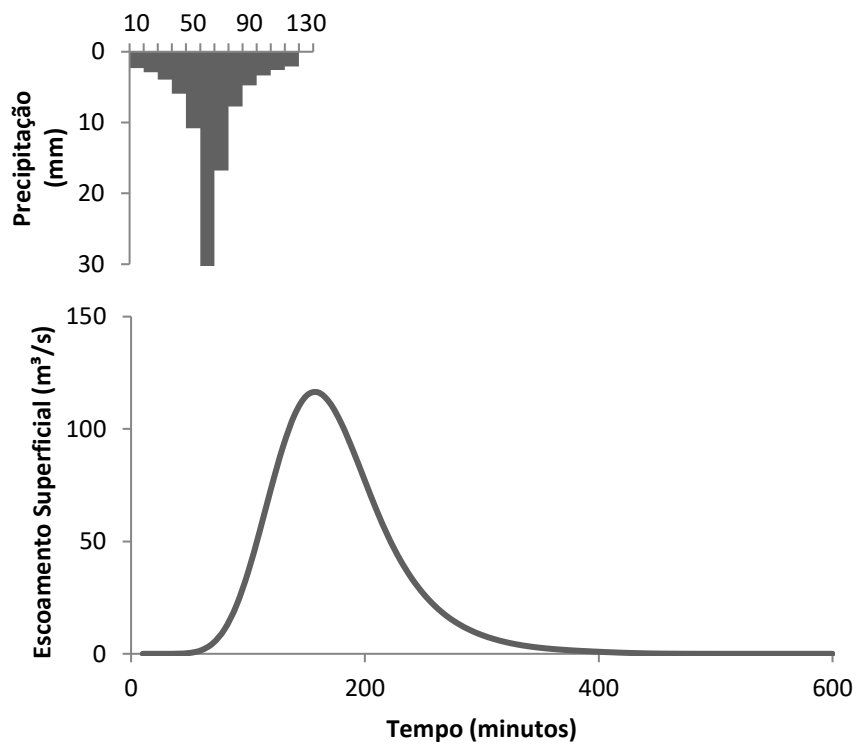
APÊNDICE PPP - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLm, com $Tr = 25$ anos



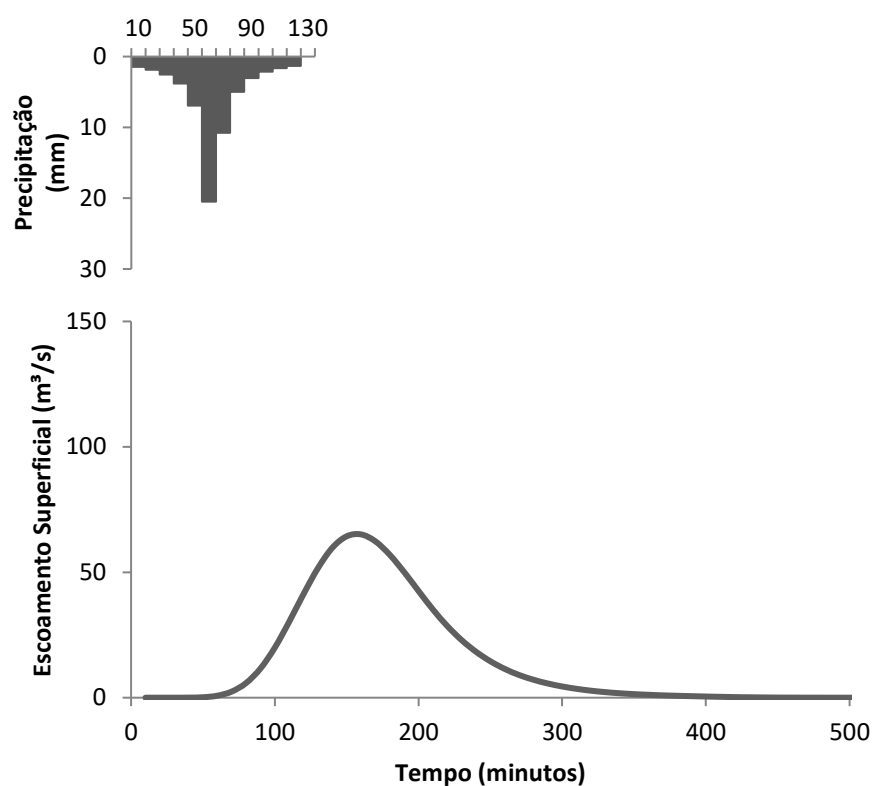
APÊNDICE QQQ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLm, com $Tr = 50$ anos



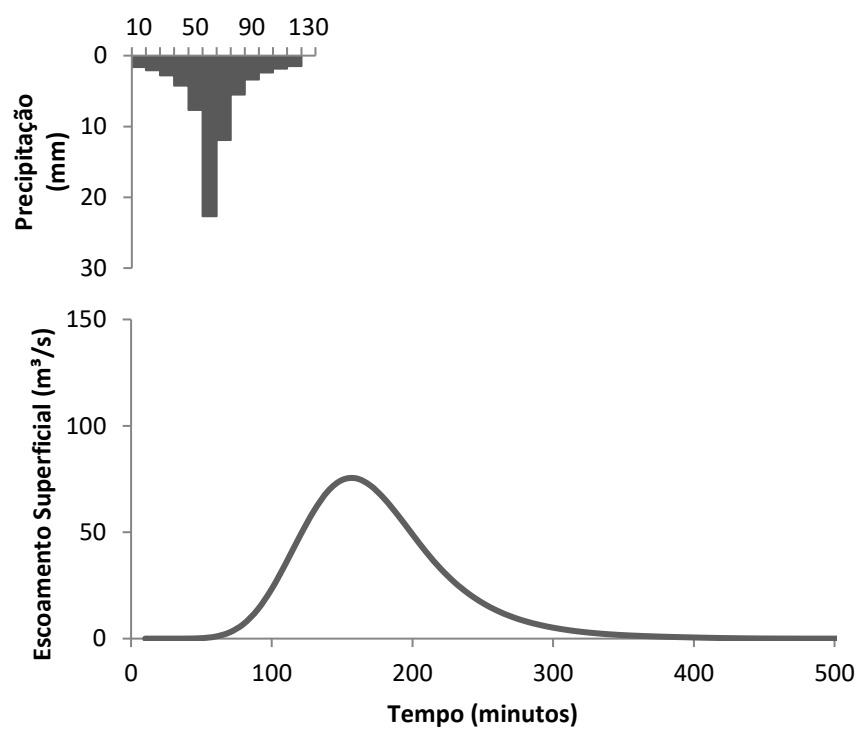
APÊNDICE RRR - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRLm, com $Tr = 100$ anos



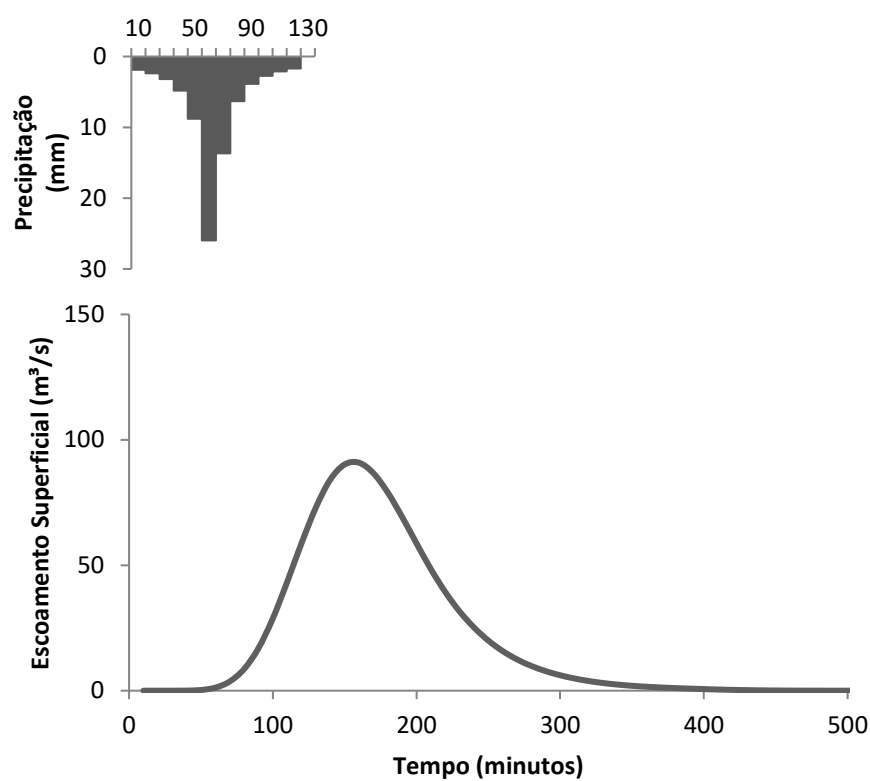
APÊNDICE SSS - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLm, com $T_r = 5$ anos



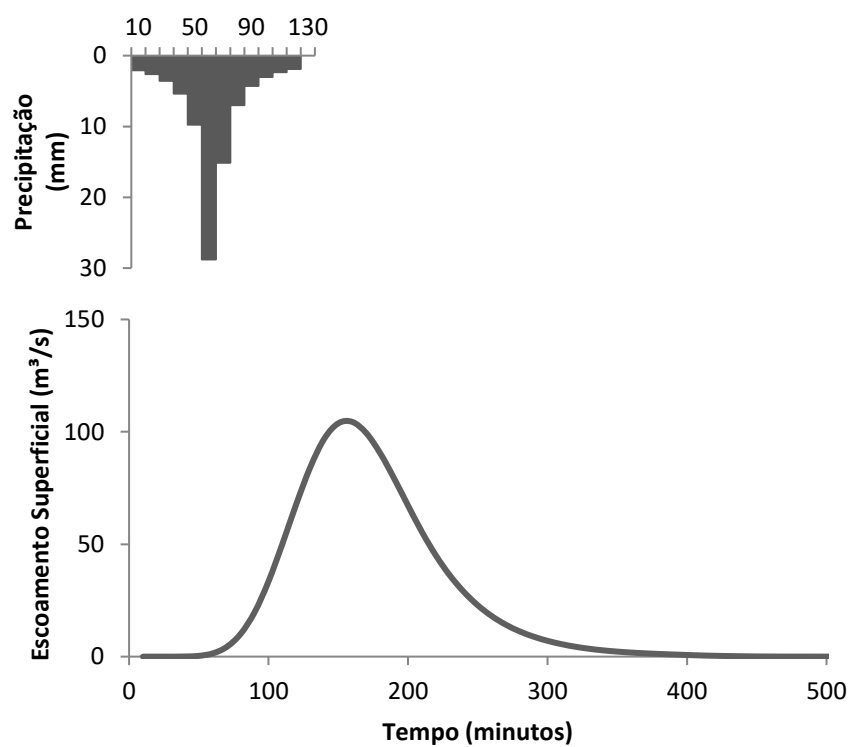
APÊNDICE TTT - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLm, com $T_r = 10$ anos



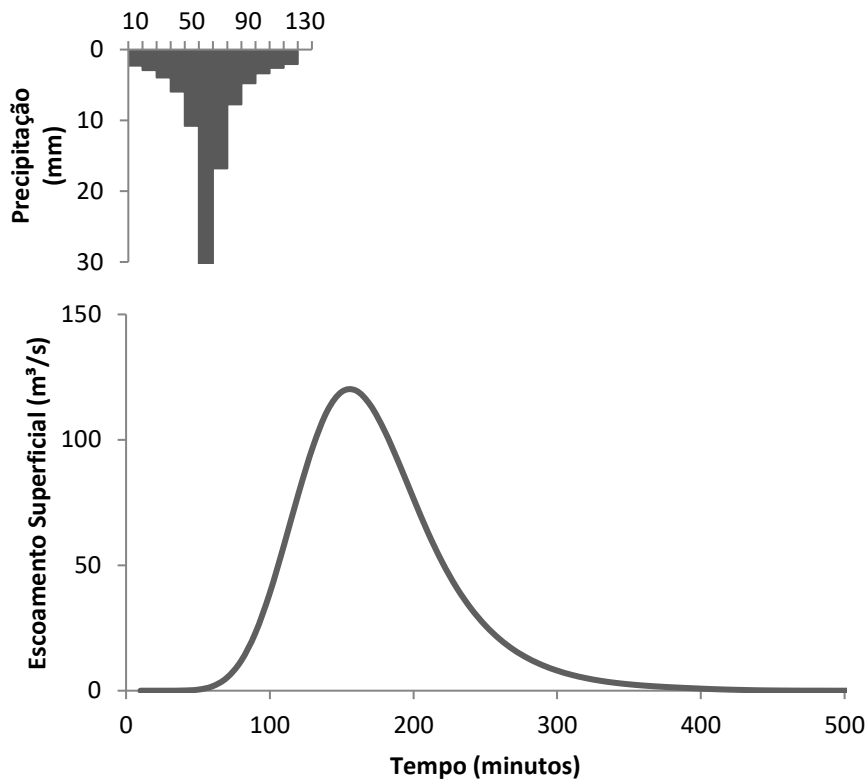
APÊNDICE UUU - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLm, com $Tr = 25$ anos



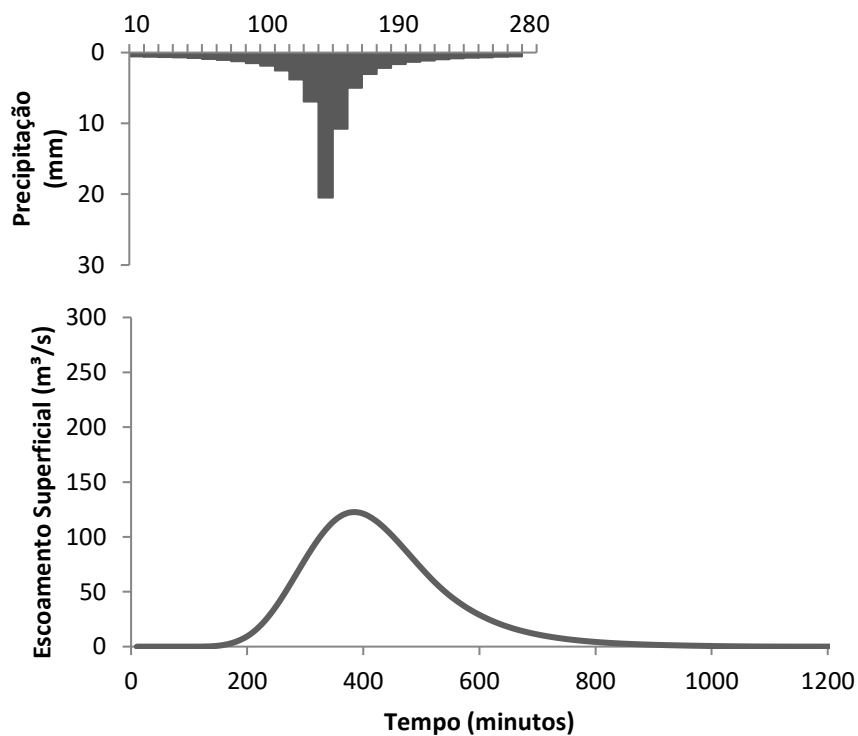
APÊNDICE VVV - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLm, com $Tr = 50$ anos



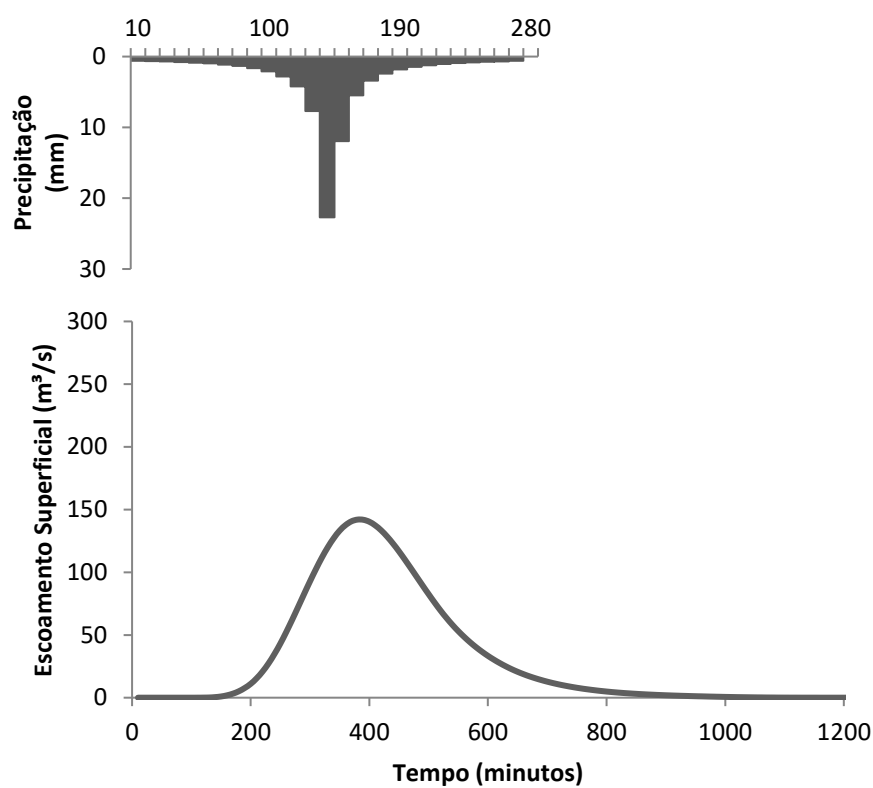
APÊNDICE WWW - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRLm, com $T_r = 100$ anos



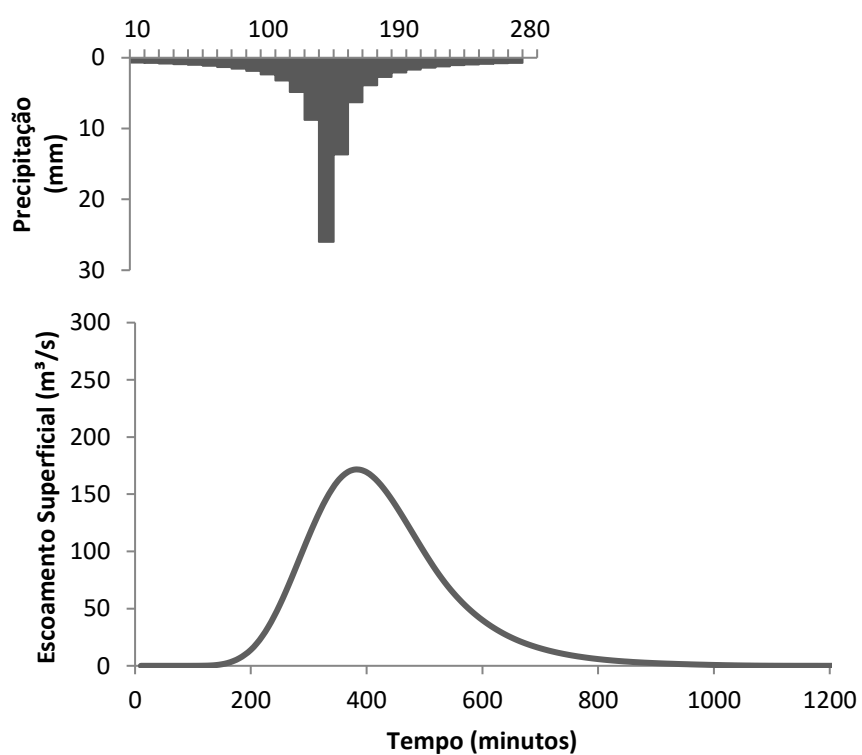
APÊNDICE XXX - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCb, com $T_r = 5$ anos



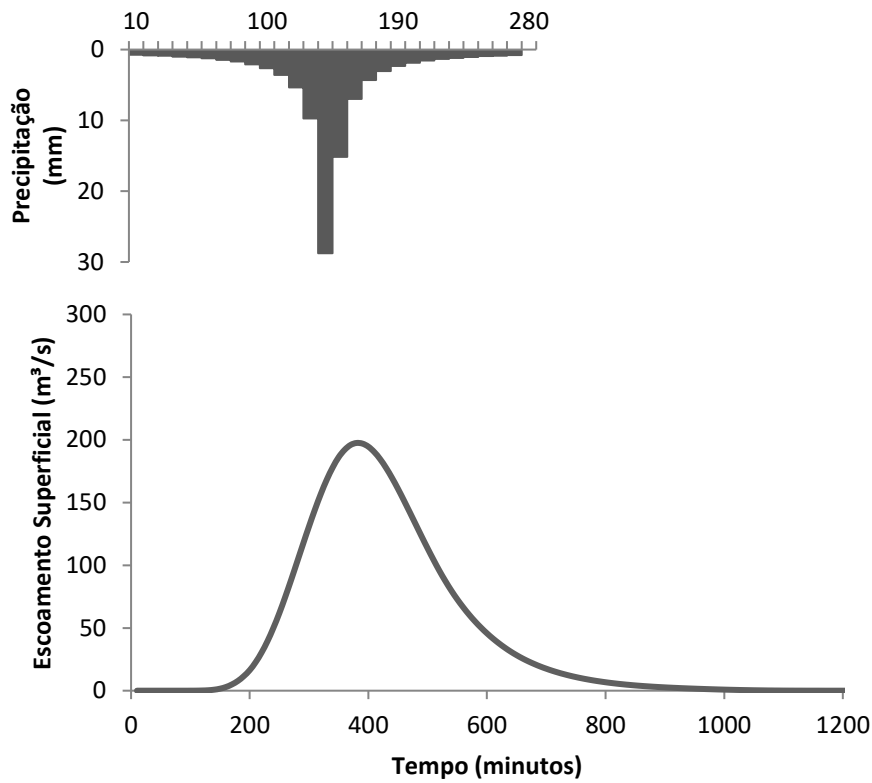
APÊNDICE YYY - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCb, com $Tr = 10$ anos



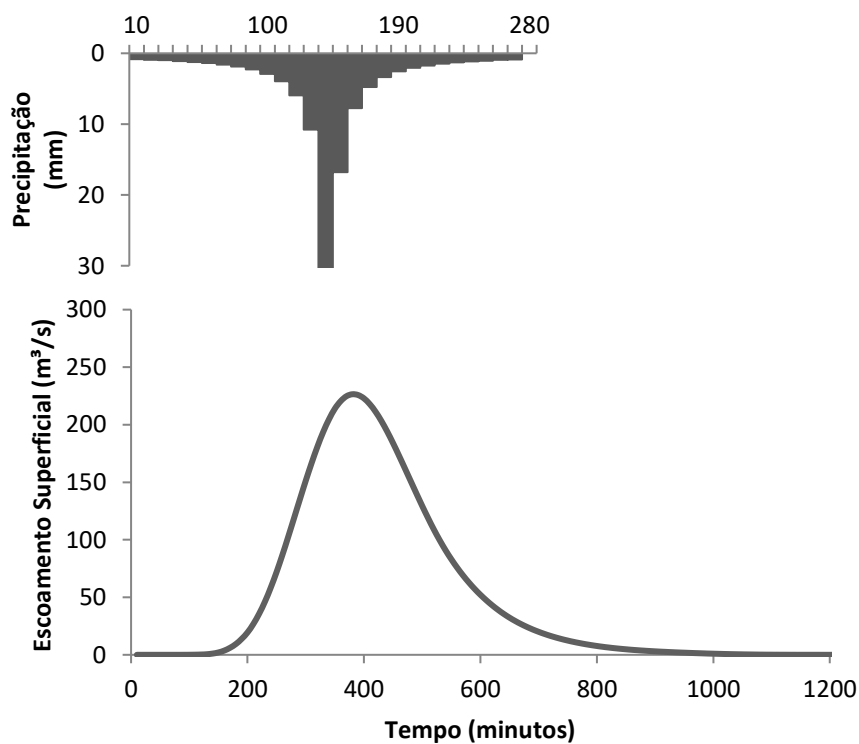
APÊNDICE ZZZ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCb, com $Tr = 25$ anos



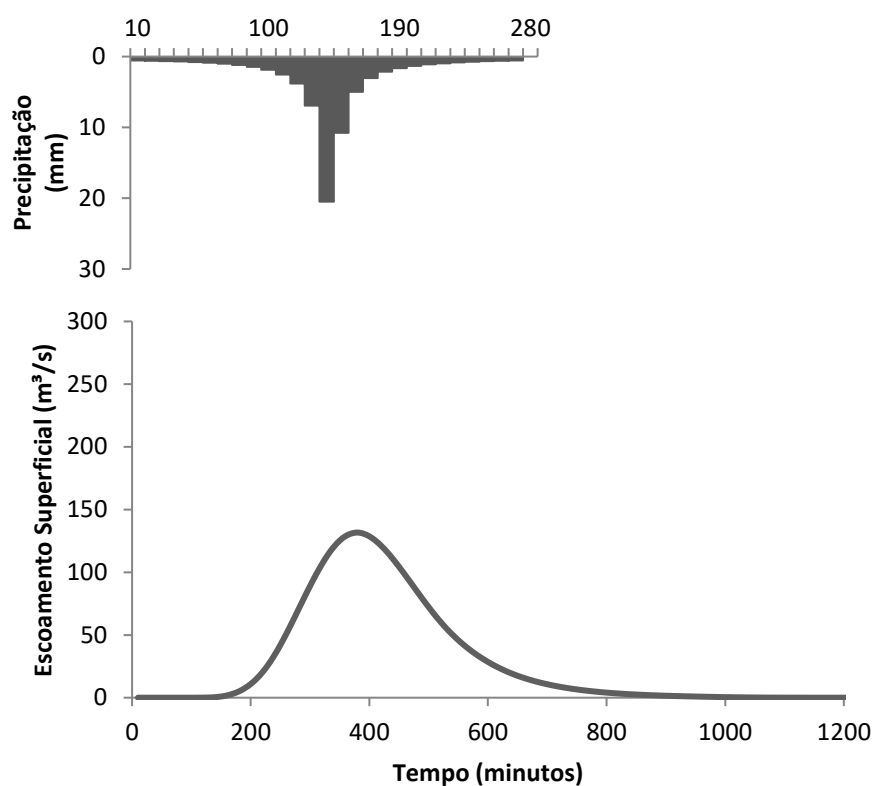
APÊNDICE AAAA - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a
BHRCb, com $T_r = 50$ anos



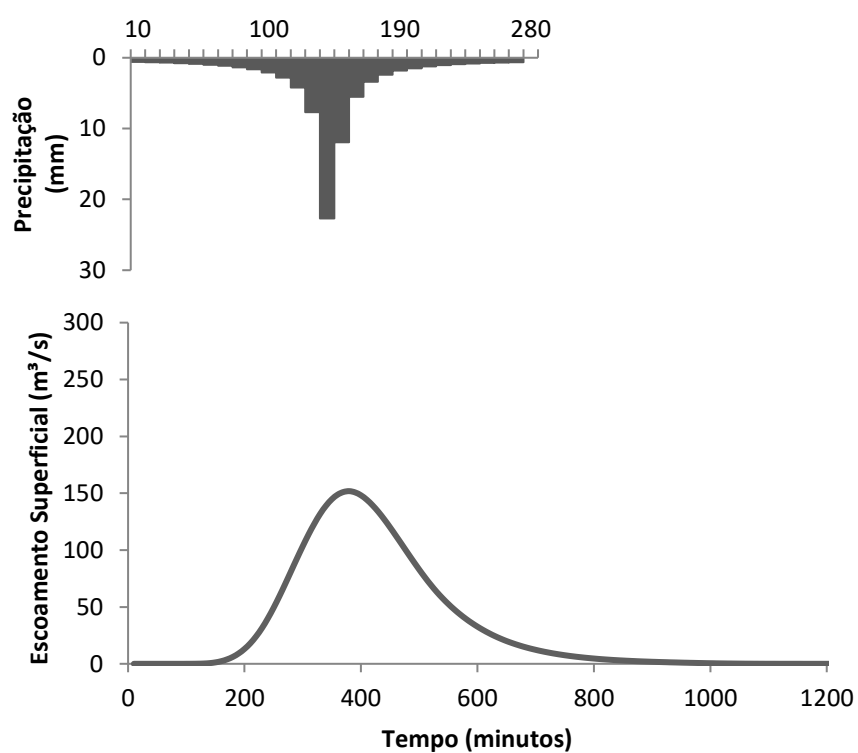
APÊNDICE BBBB - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a
BHRCb, com $T_r = 100$ anos



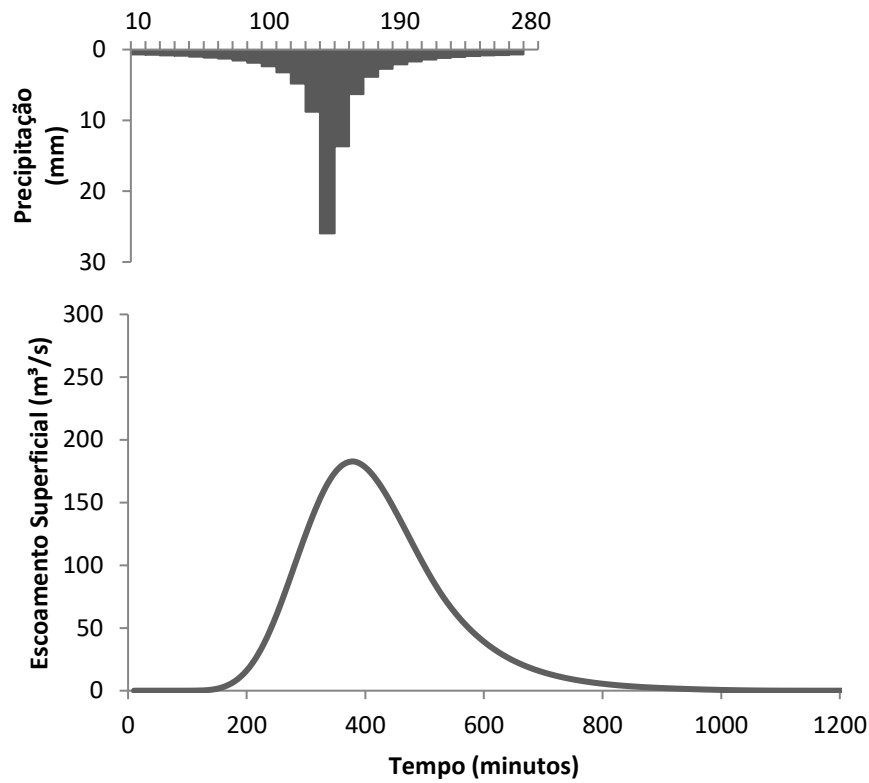
APÊNDICE CCCC - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a
BHRCb, com $Tr = 5$ anos



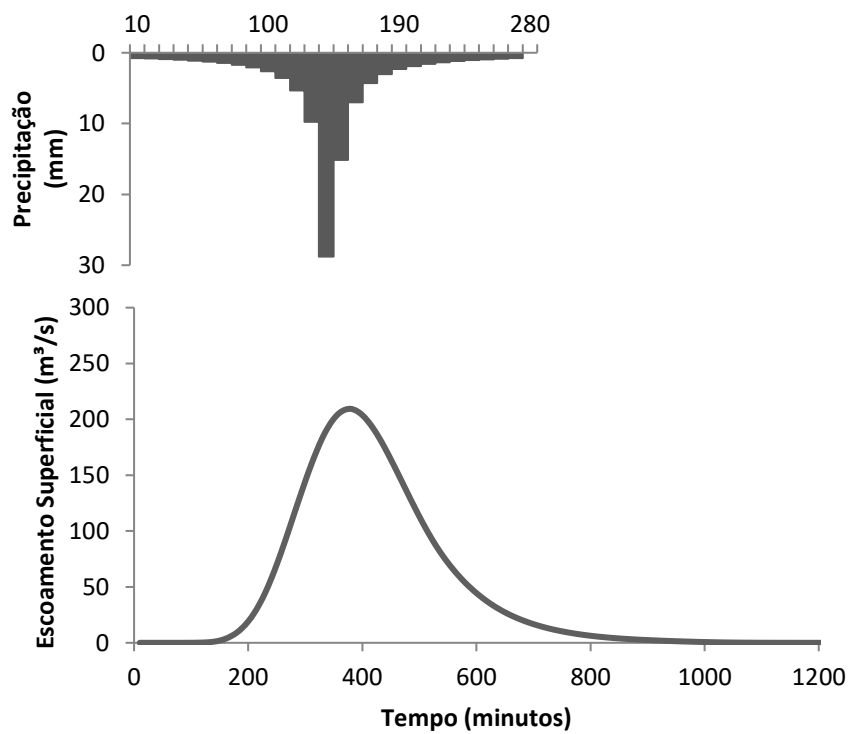
APÊNDICE DDDD - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a
BHRCb, com $Tr = 10$ anos



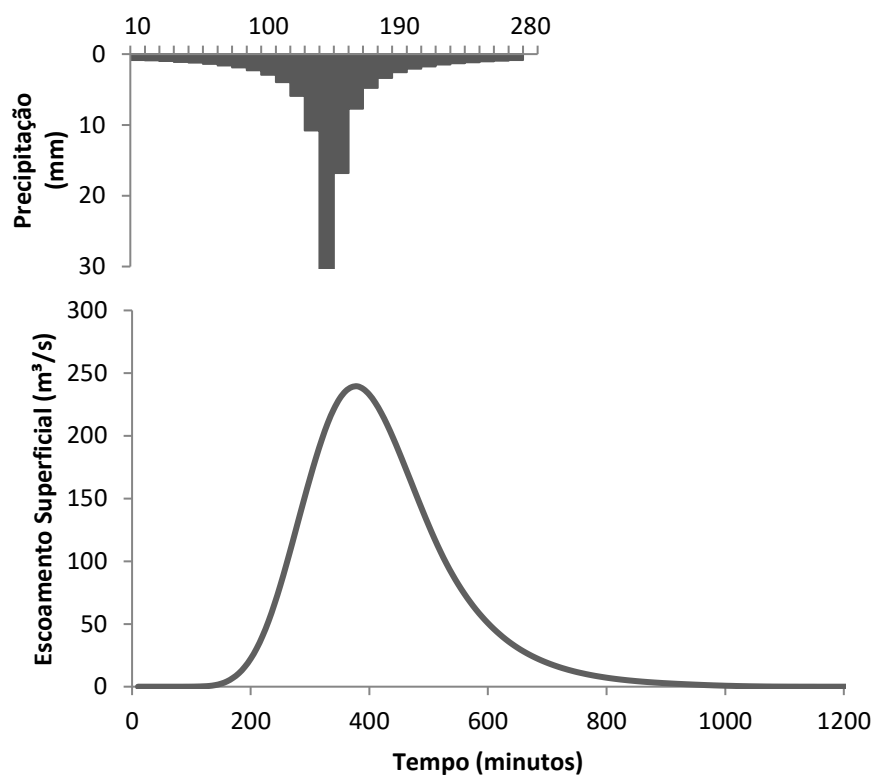
APÊNDICE EEEE - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCb, com $T_r = 25$ anos



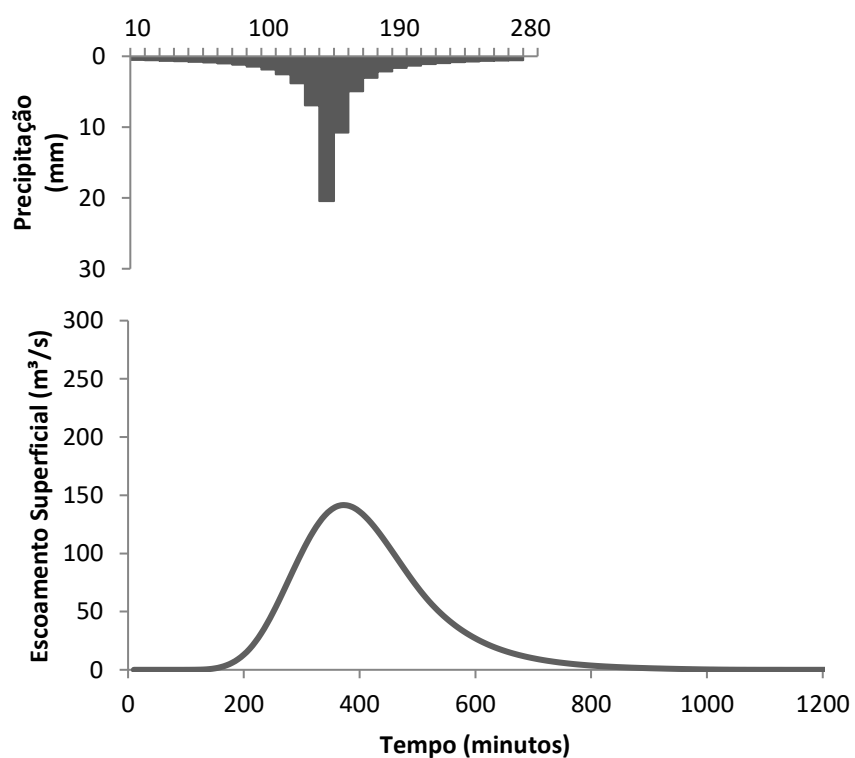
APÊNDICE FFFF - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCb, com $T_r = 50$ anos



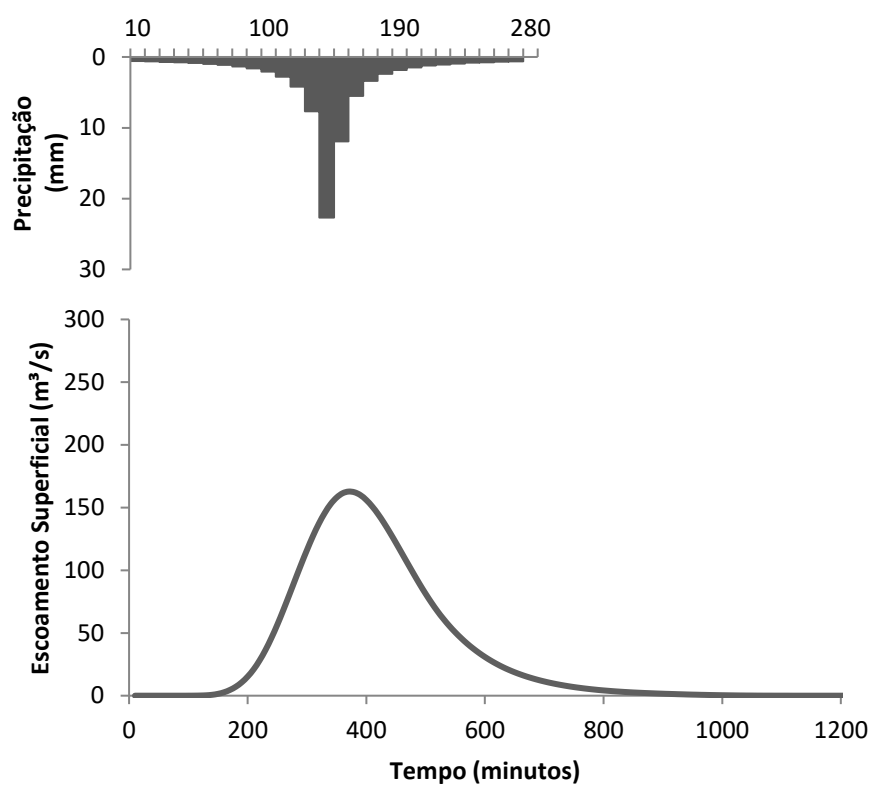
APÊNDICE GGGG - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCb, com $Tr = 100$ anos



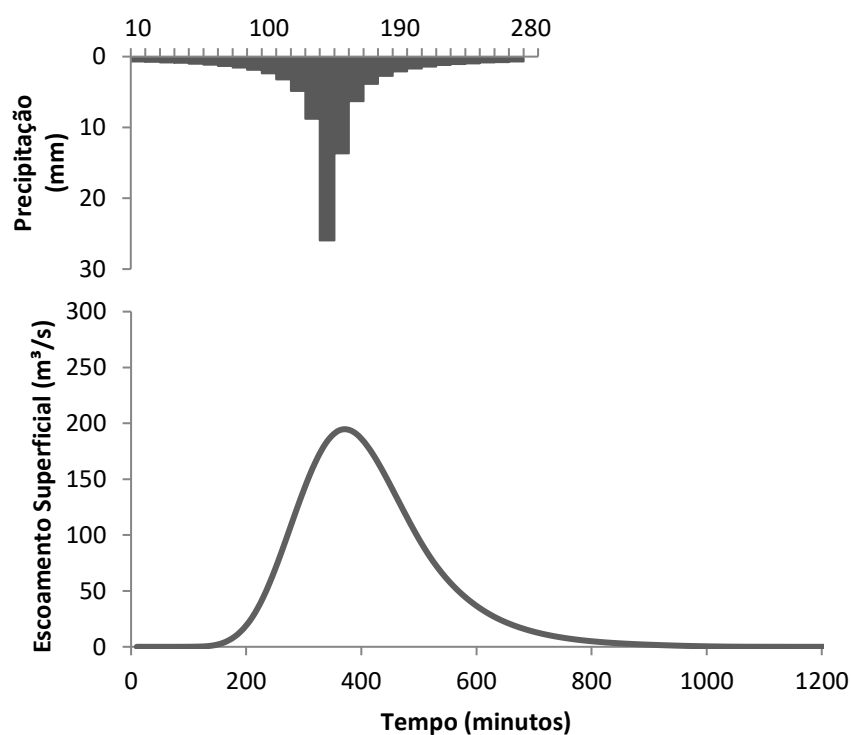
APÊNDICE HHHH - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCb, com $Tr = 5$ anos



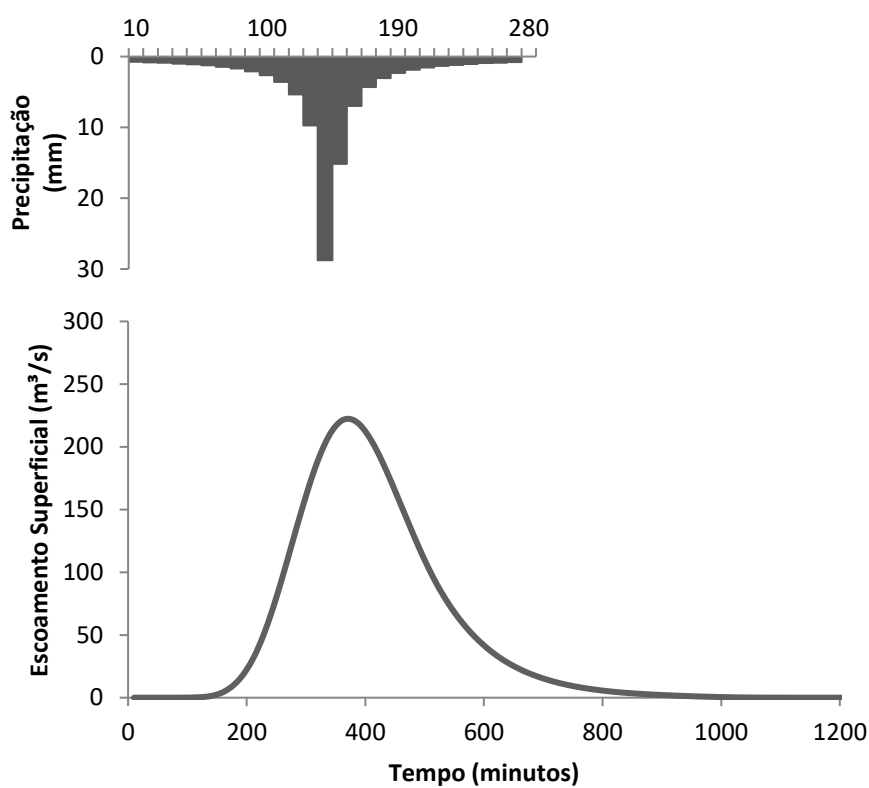
APÊNDICE III - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRCb, com $Tr = 10$ anos



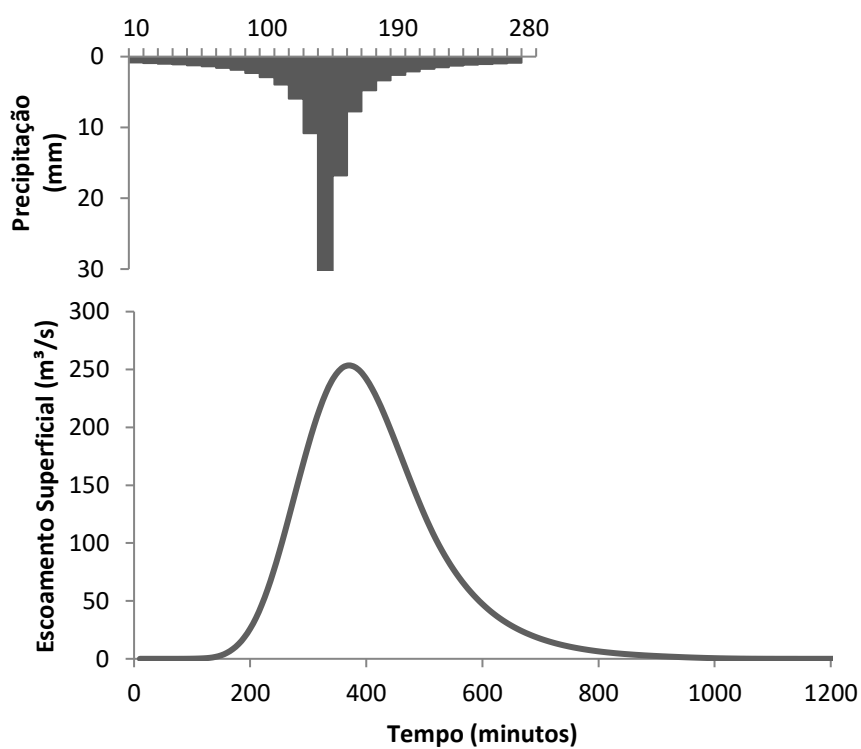
APÊNDICE JJJJ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRCb, com $Tr = 25$ anos



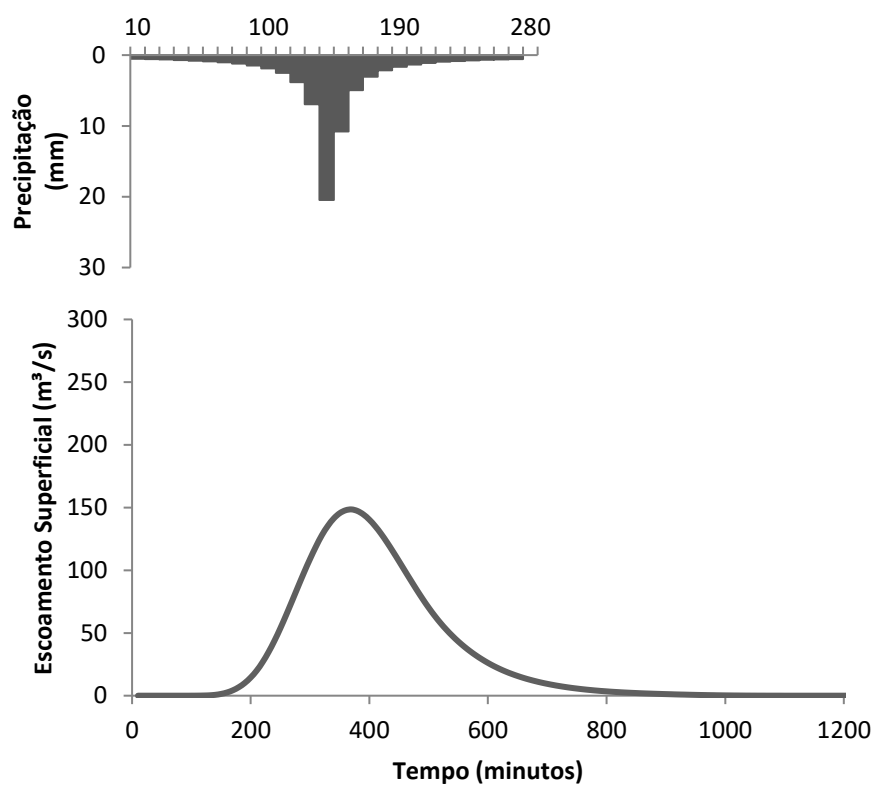
APÊNDICE KKKK - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRCb, com $Tr = 50$ anos



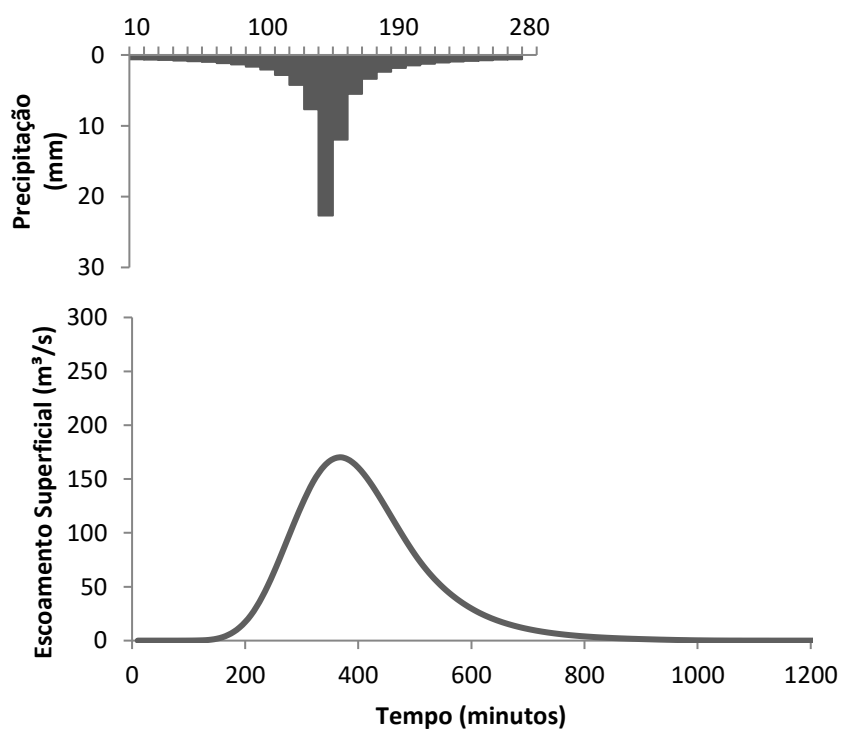
APÊNDICE LLLL - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRCb, com $Tr = 100$ anos



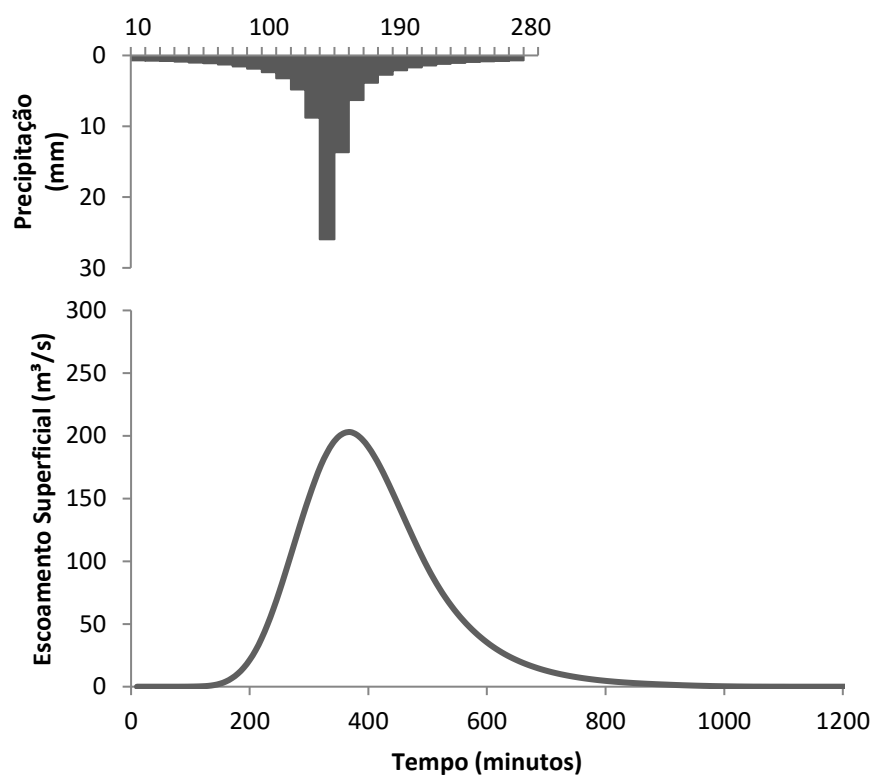
APÊNDICE MMMM - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCb, com $Tr = 5$ anos



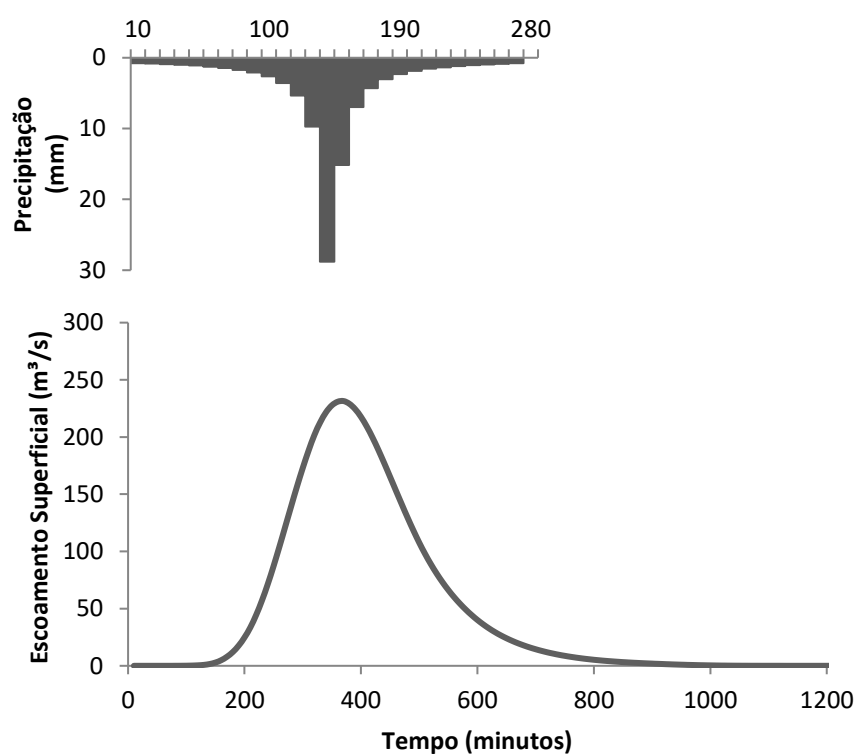
APÊNDICE NNNN - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCb, com $Tr = 10$ anos



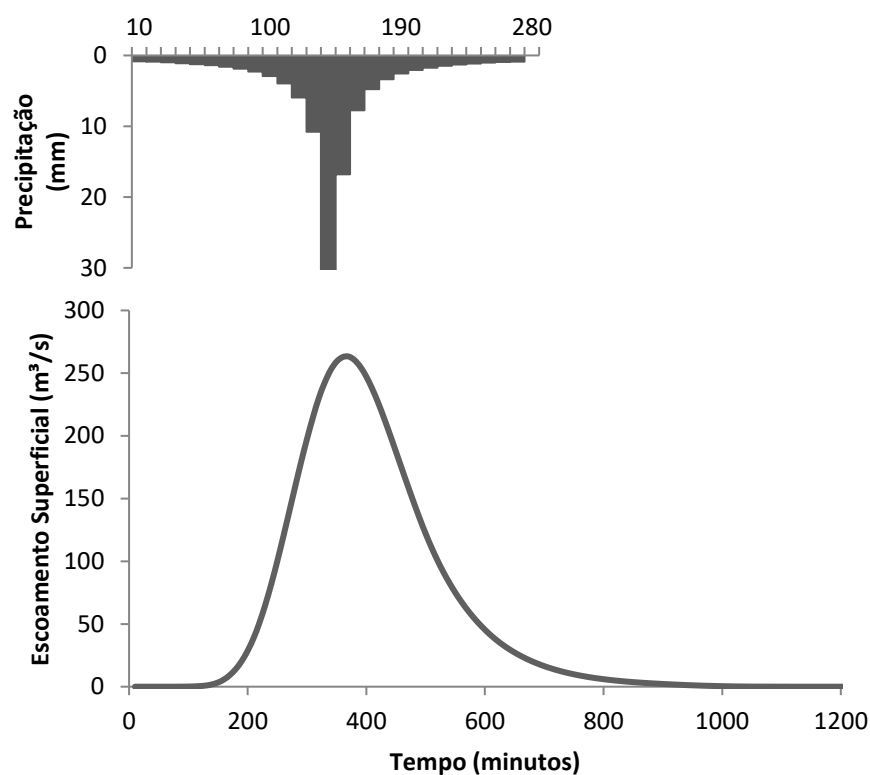
APÊNDICE OOOO - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a
BHRCb, com $Tr = 25$ anos



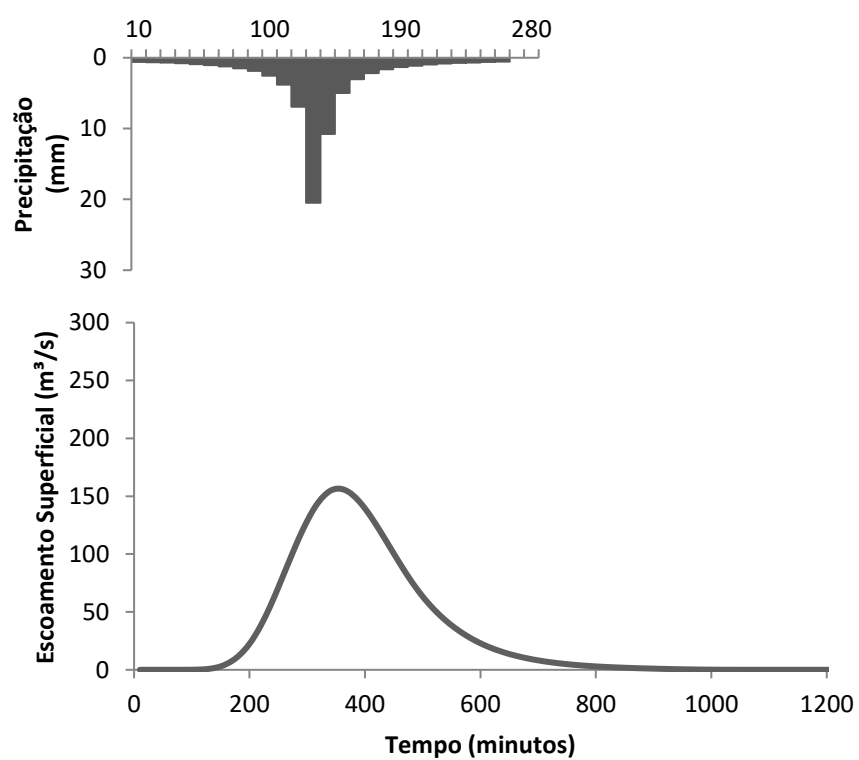
APÊNDICE PPPP - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a
BHRCb, com $Tr = 50$ anos



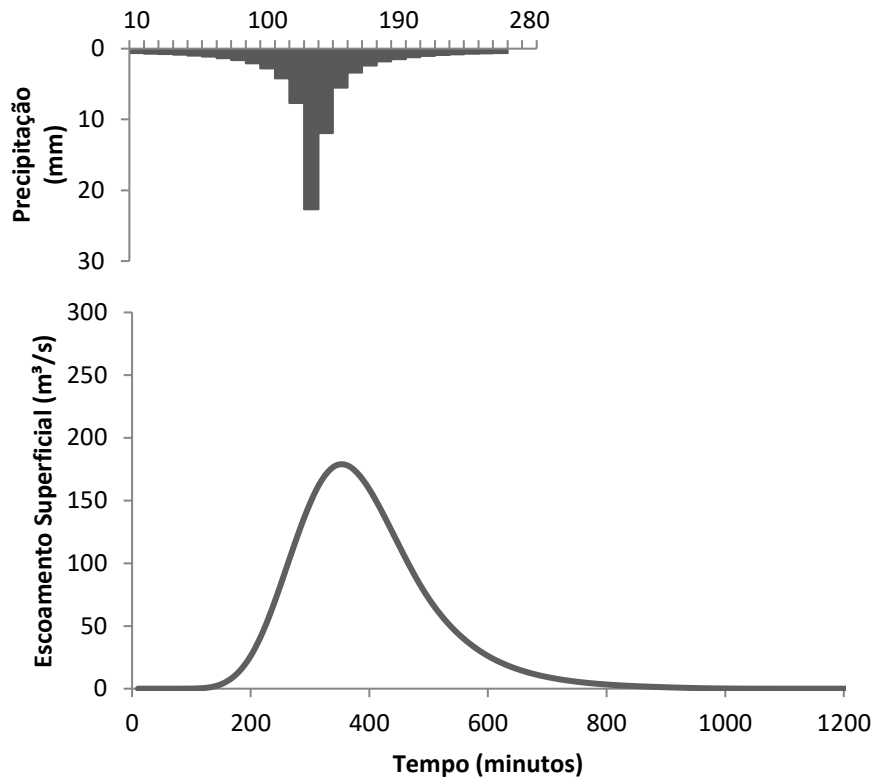
APÊNDICE QQQQ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCb, com $Tr = 100$ anos



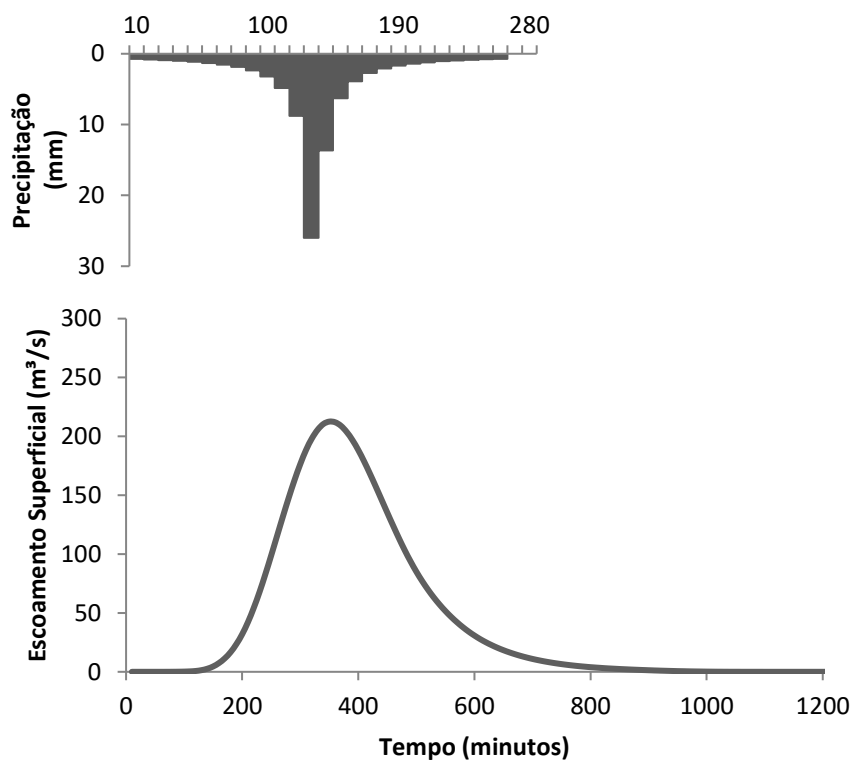
APÊNDICE RRRR - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCb, com $Tr = 5$ anos



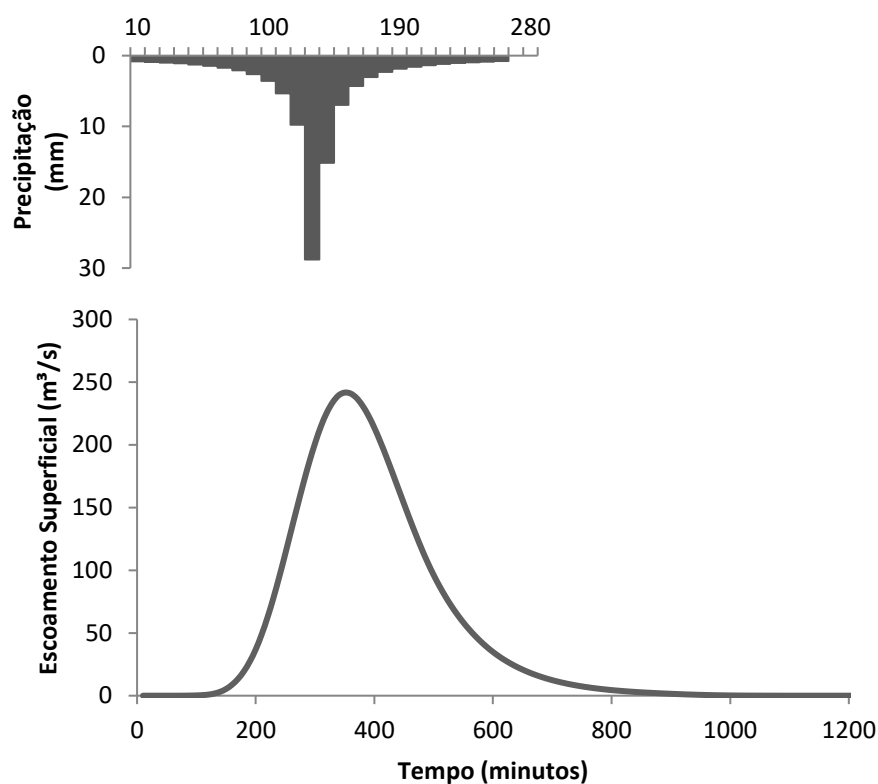
APÊNDICE SSSS - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCb, com $Tr = 10$ anos



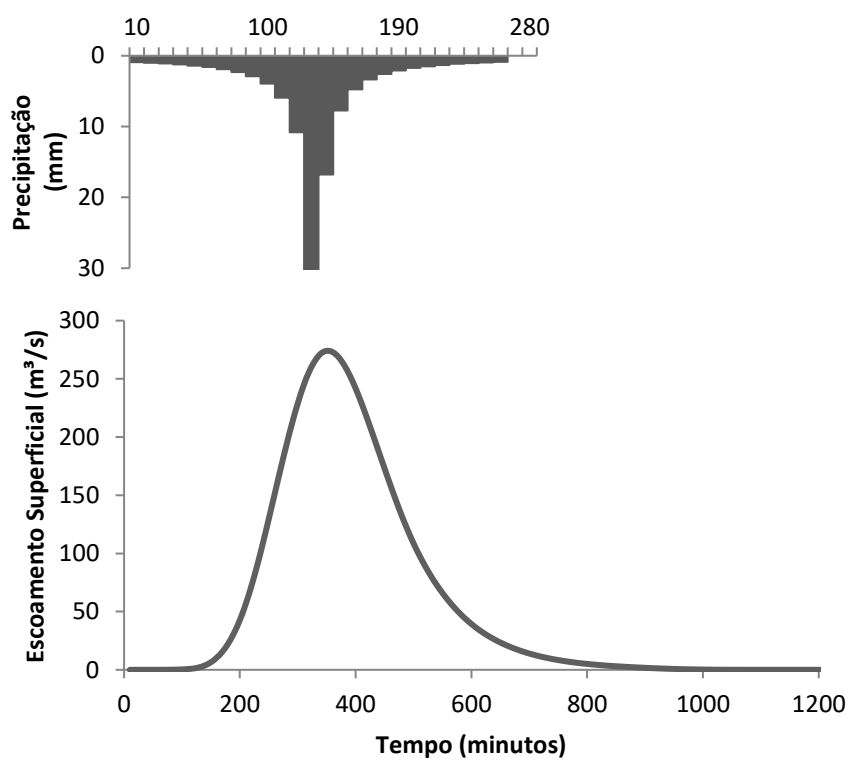
APÊNDICE TTTT - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCb, com $Tr = 25$ anos



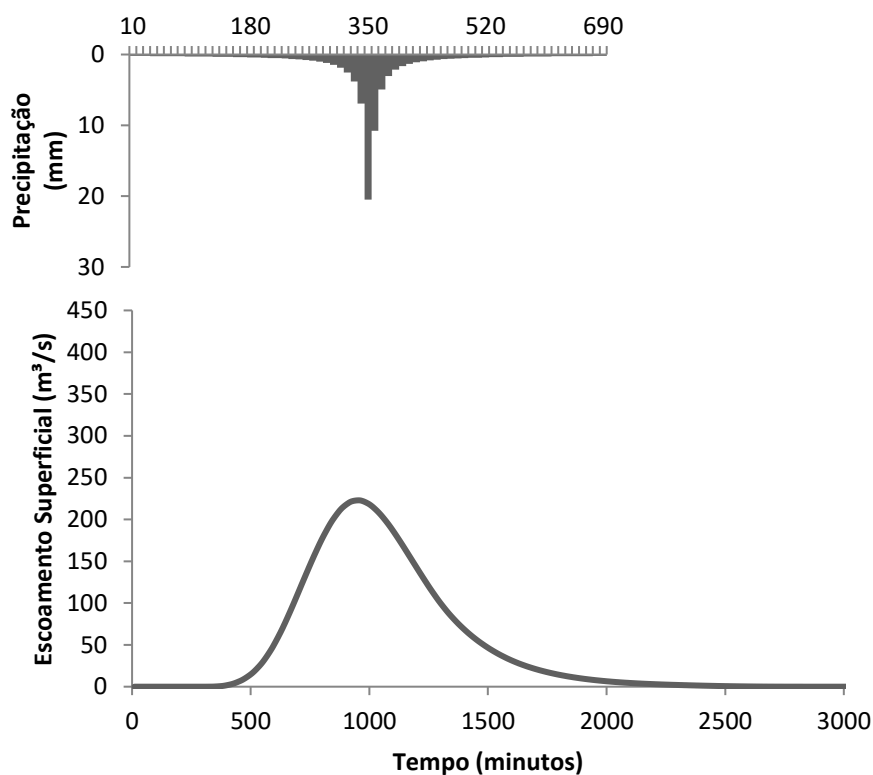
APÊNDICE UUUU - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCb, com $Tr = 50$ anos



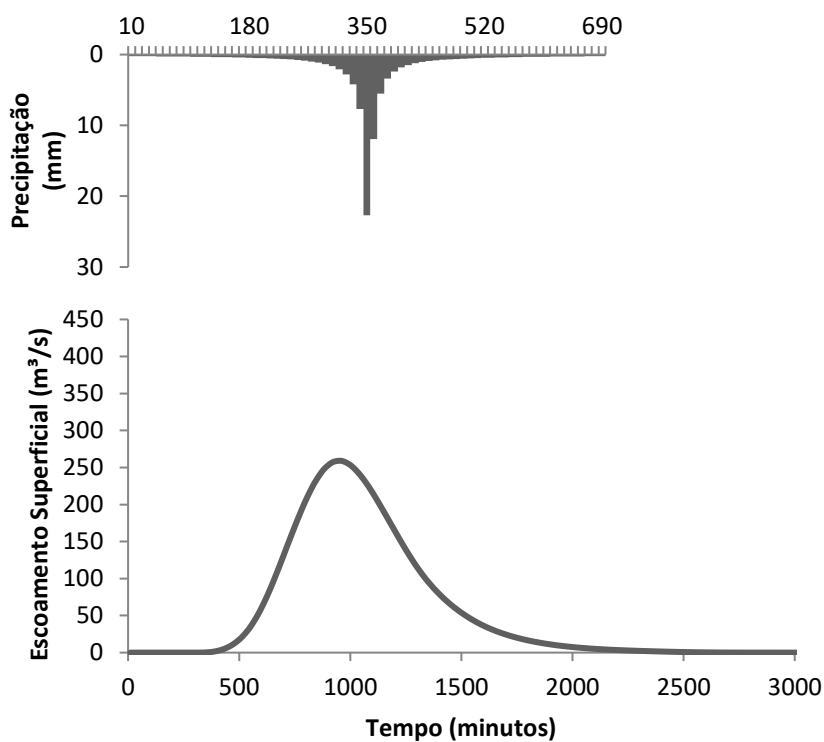
APÊNDICE VVVV - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCb, com $Tr = 100$ anos



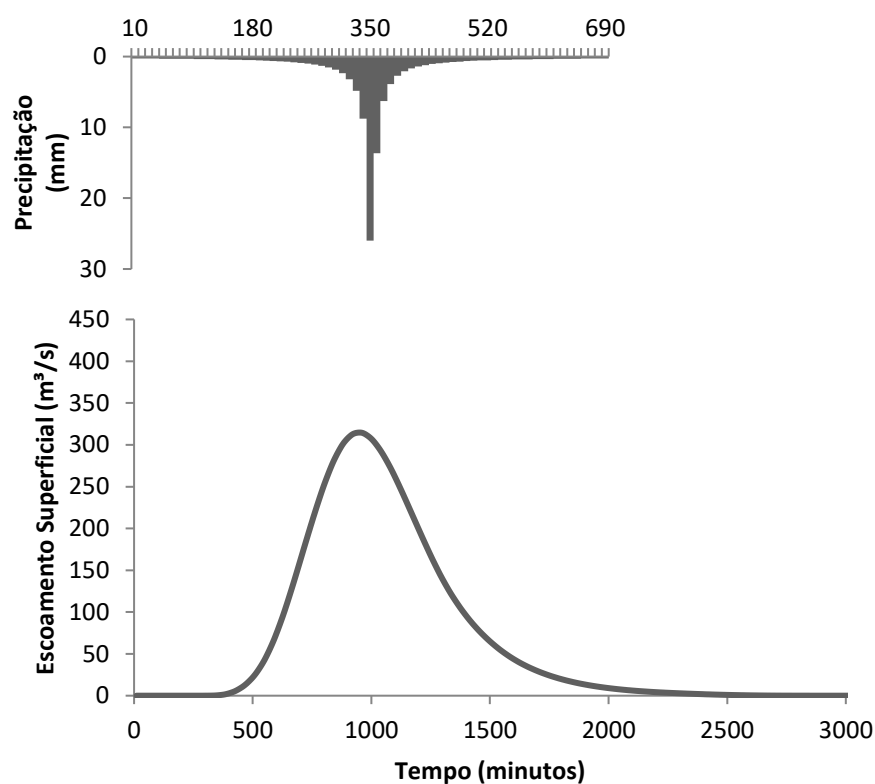
APÊNDICE WWWW - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCf, com $T_r = 5$ anos



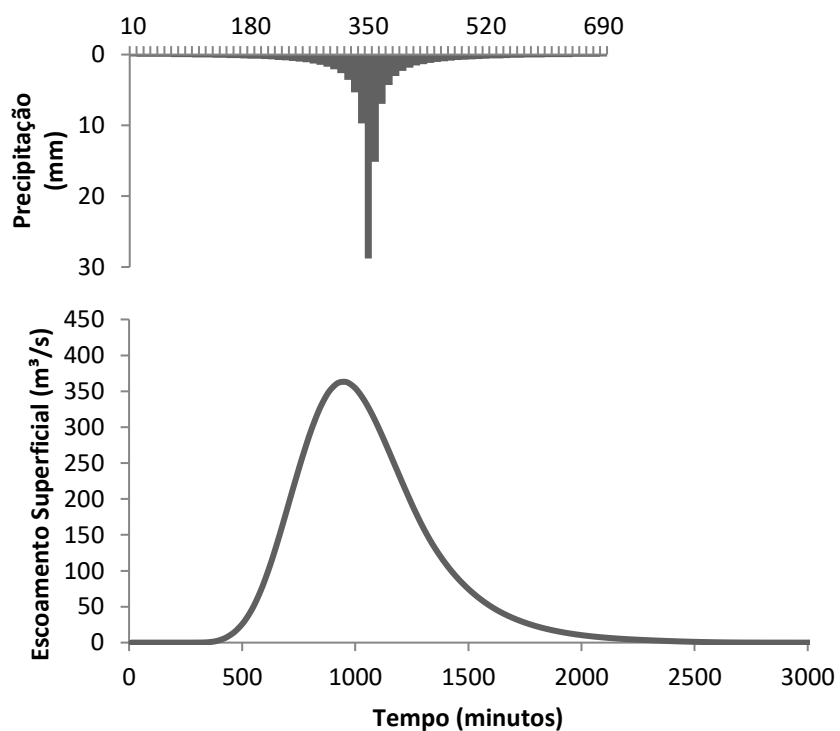
APÊNDICE XXXX - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCf, com $T_r = 10$ anos



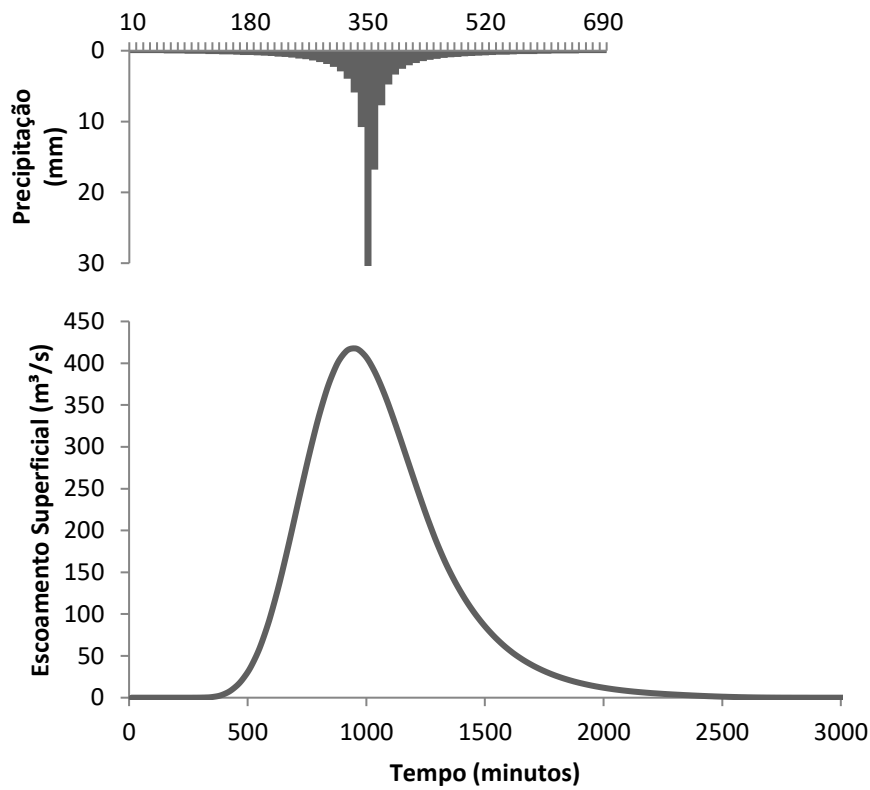
APÊNDICE YYYY - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a
BHRCf, com $Tr = 25$ anos



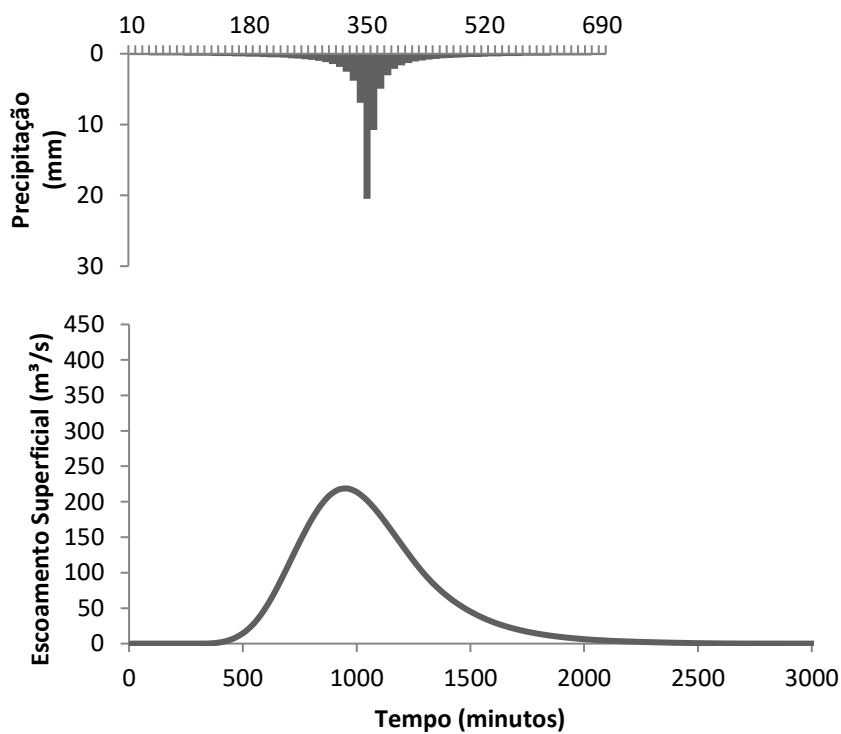
APÊNDICE ZZZZ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a
BHRCf, com $Tr = 50$ anos



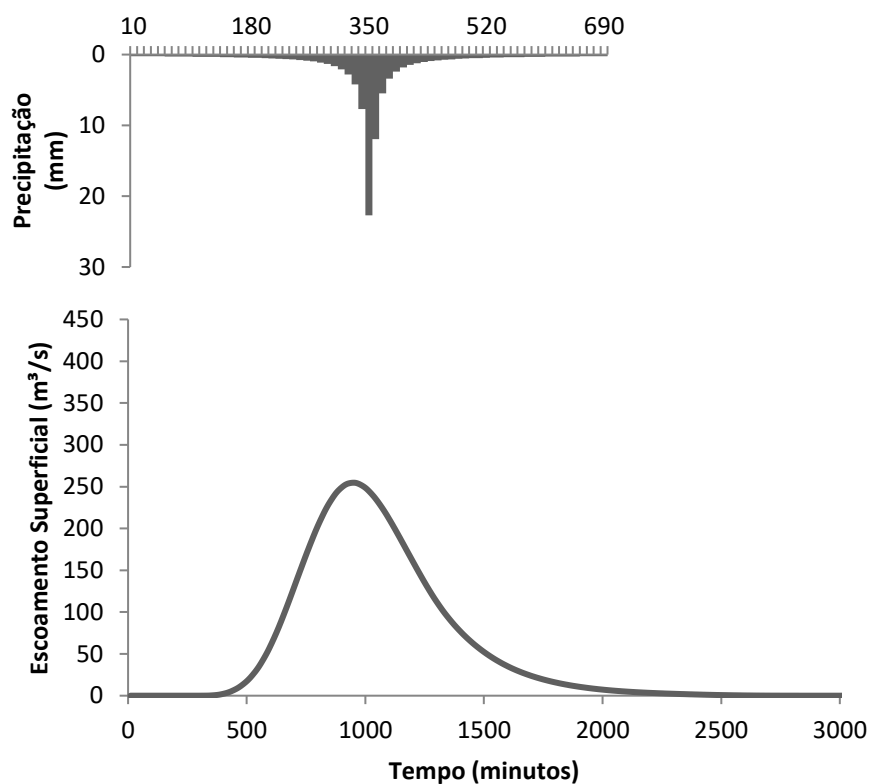
APÊNDICE AAAAA - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1985 para a BHRCf, com $Tr = 100$ anos



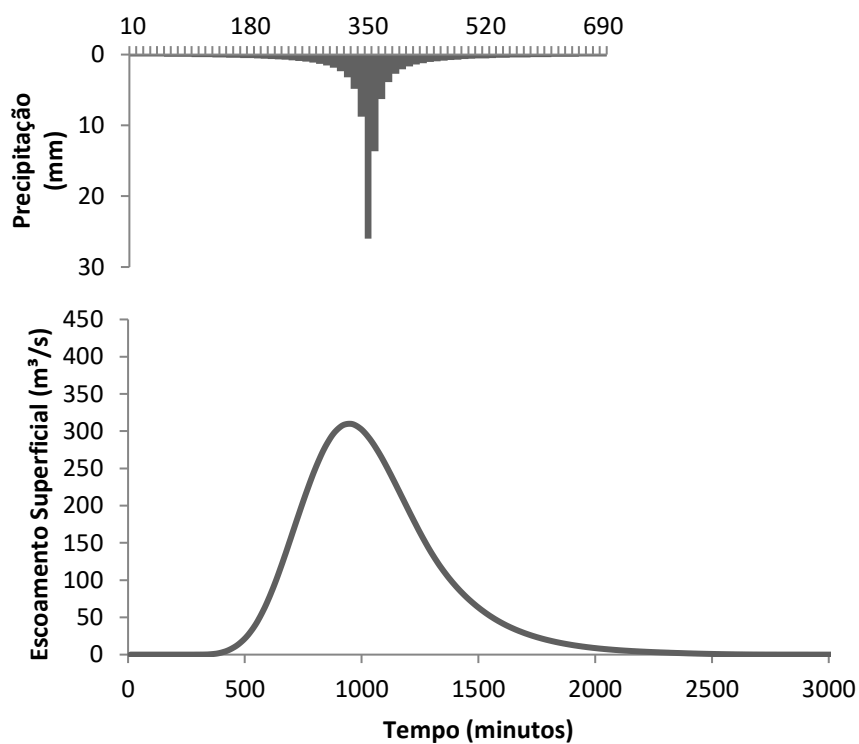
APÊNDICE BBBBB - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCf, com $Tr = 5$ anos



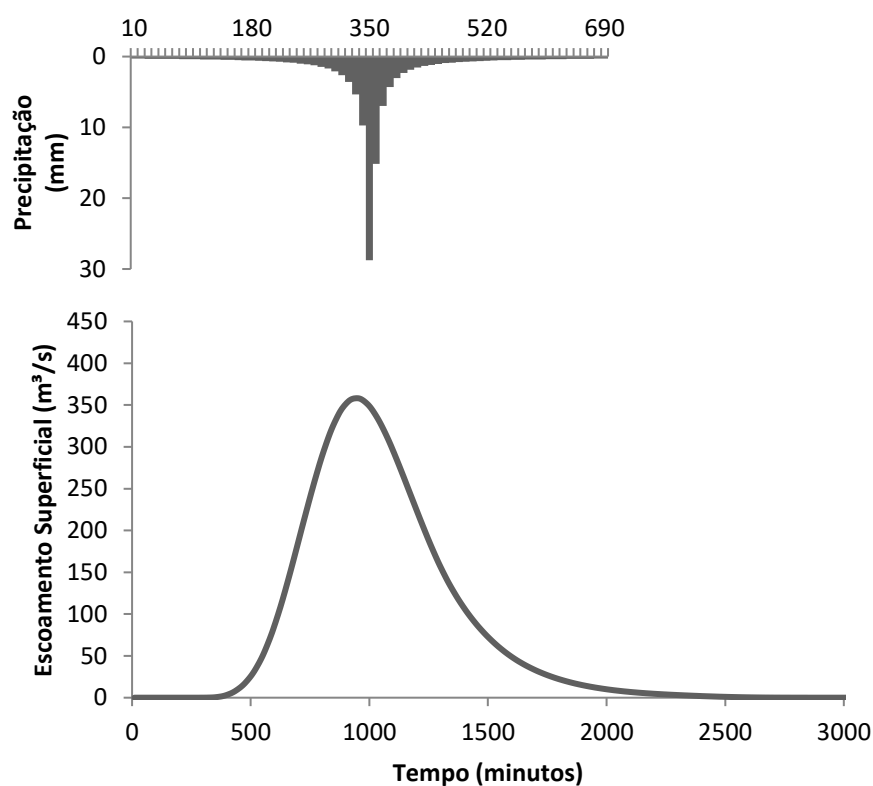
APÊNDICE CCCCC - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCf, com $T_r = 10$ anos



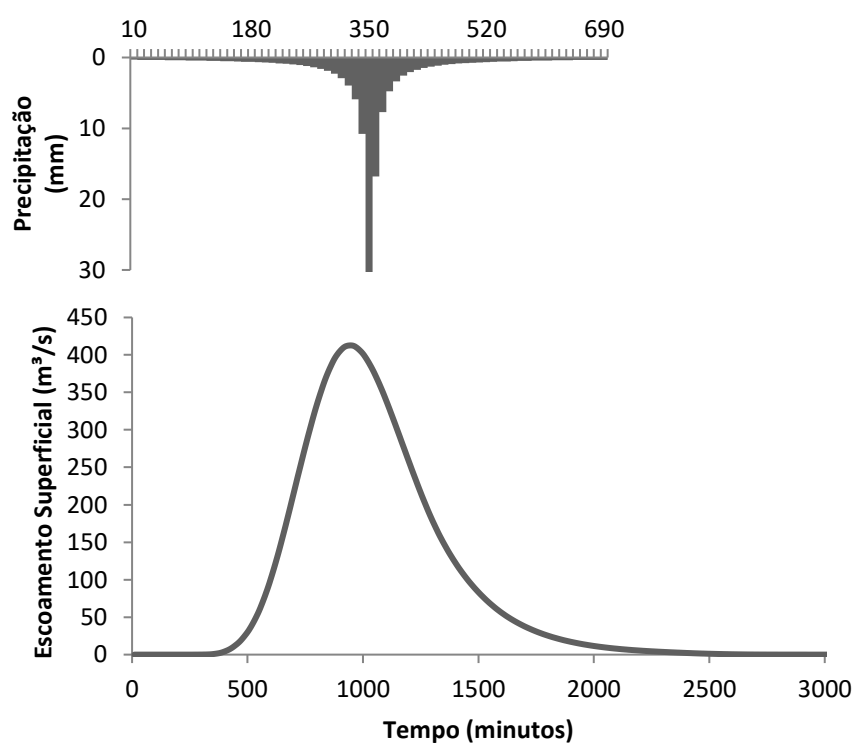
APÊNDICE DDDDD - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCf, com $T_r = 25$ anos



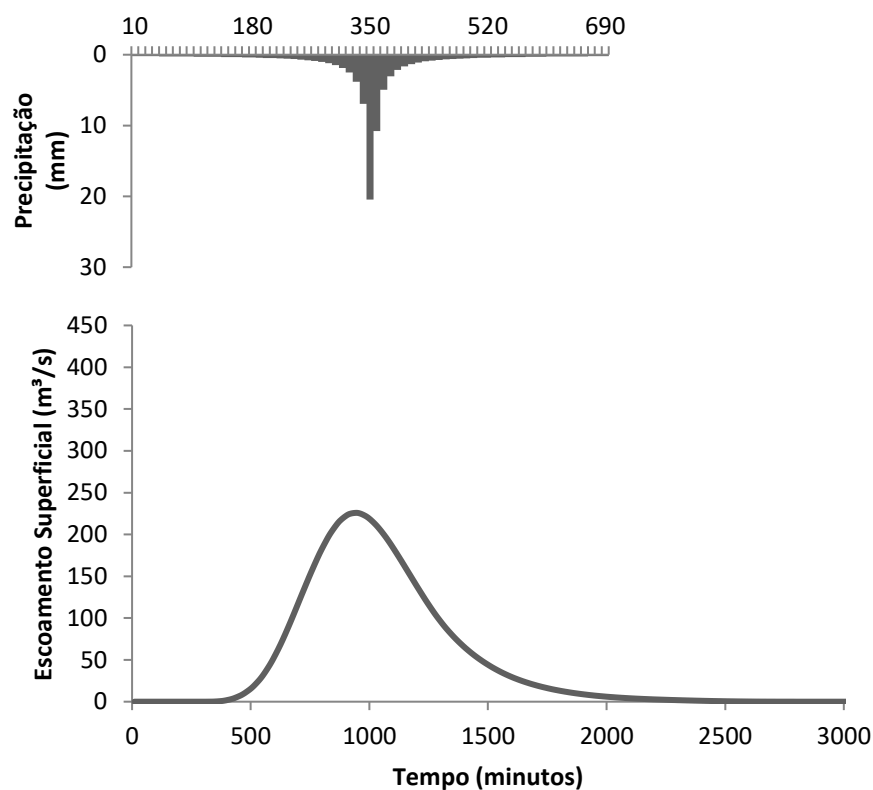
APÊNDICE EEEEE - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCf, com $T_r = 50$ anos



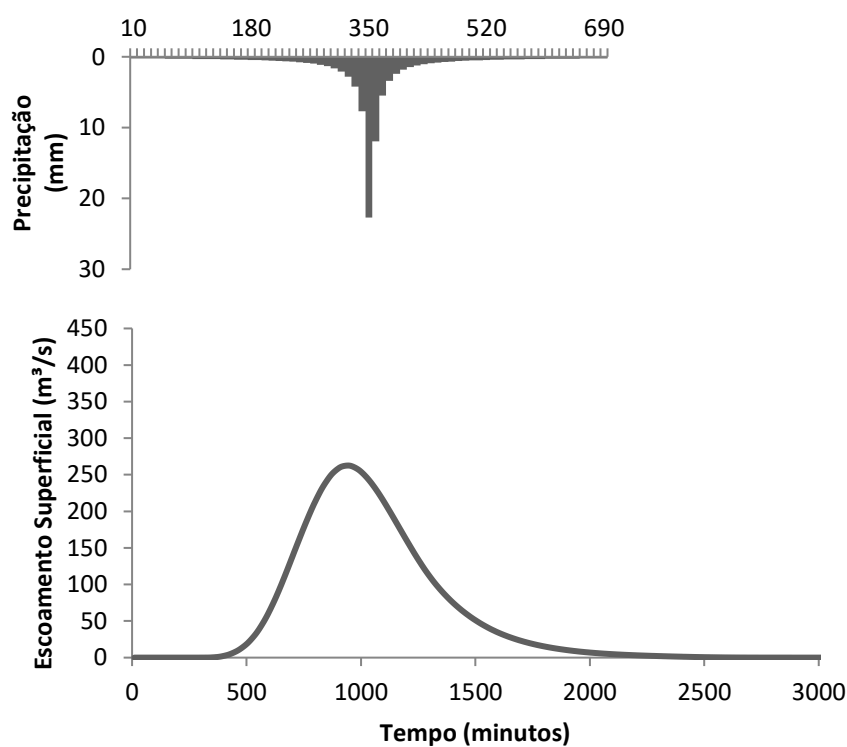
APÊNDICE FFFFF - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 1995 para a BHRCf, com $T_r = 100$ anos



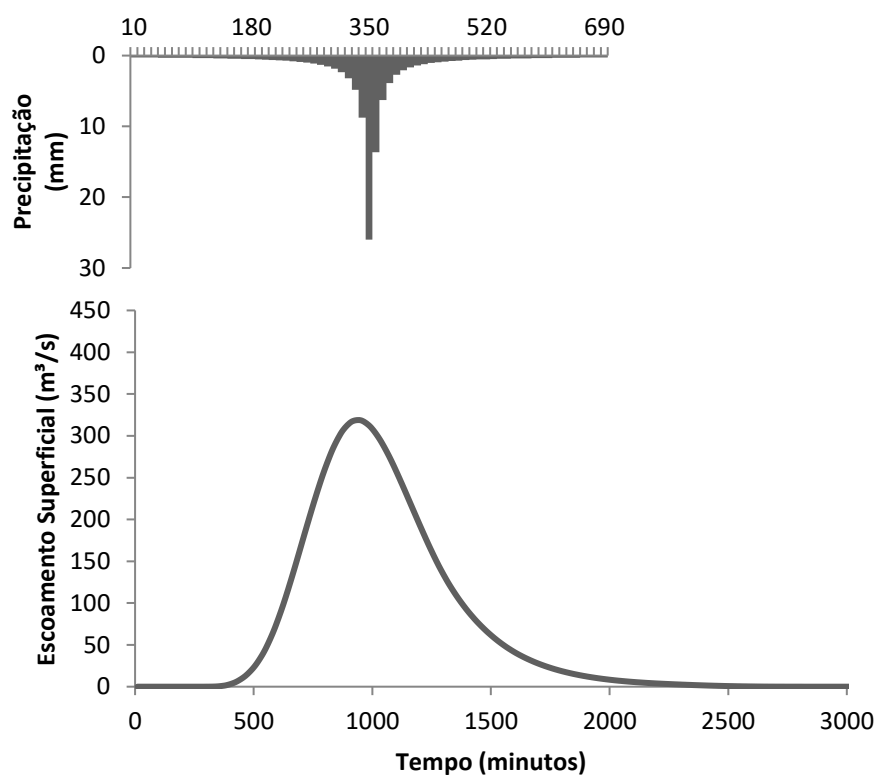
APÊNDICE GGGGG - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCf, com $Tr = 5$ anos



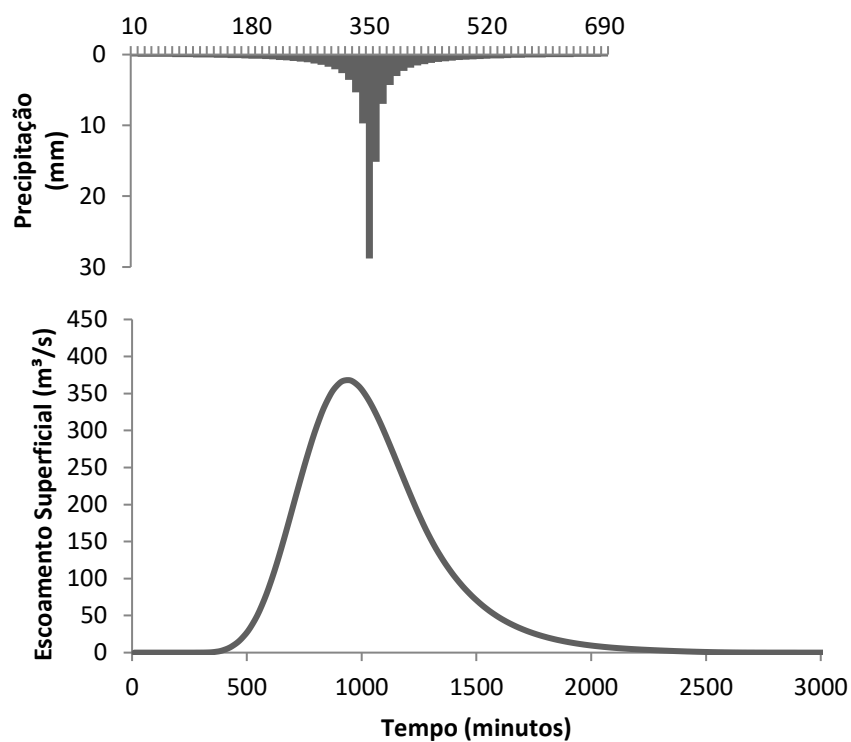
APÊNDICE HHHHH - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a BHRCf, com $Tr = 10$ anos



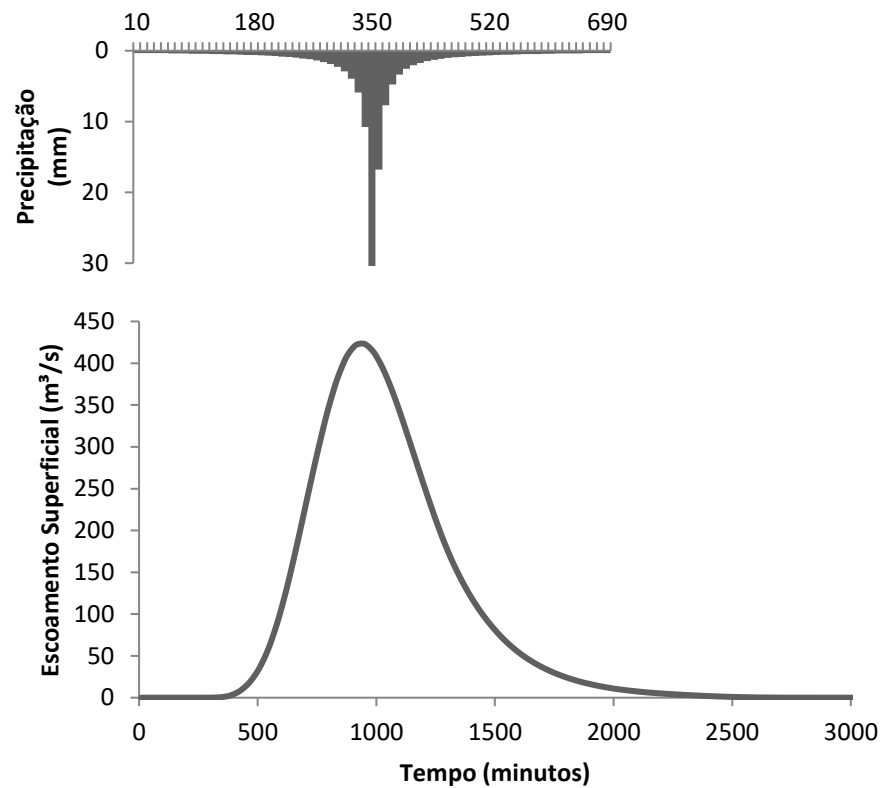
APÊNDICE IIIII - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRCf, com $Tr = 25$ anos



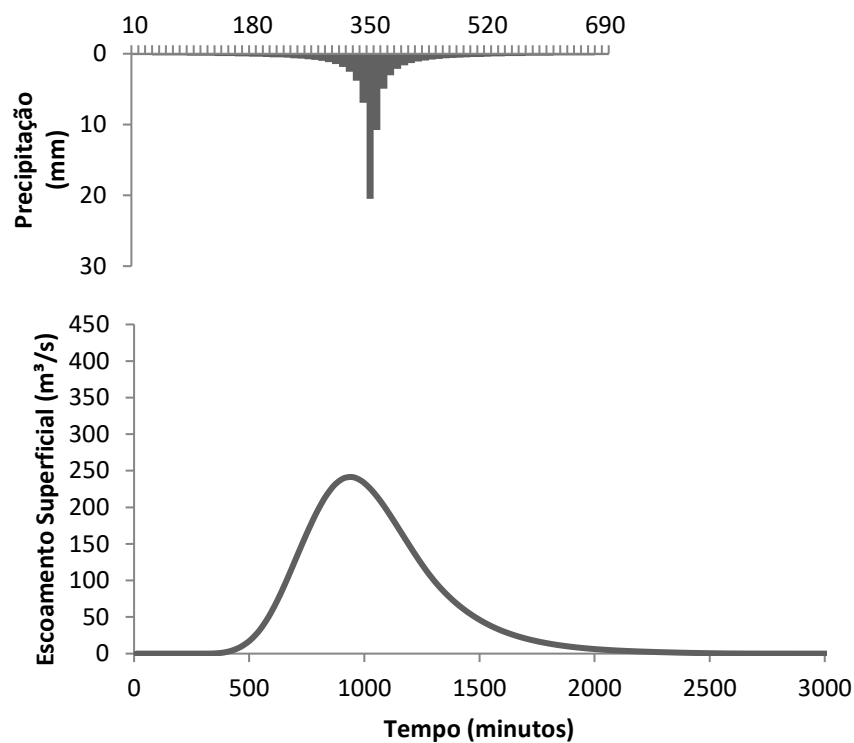
APÊNDICE JJJJJ - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRCf, com $Tr = 50$ anos



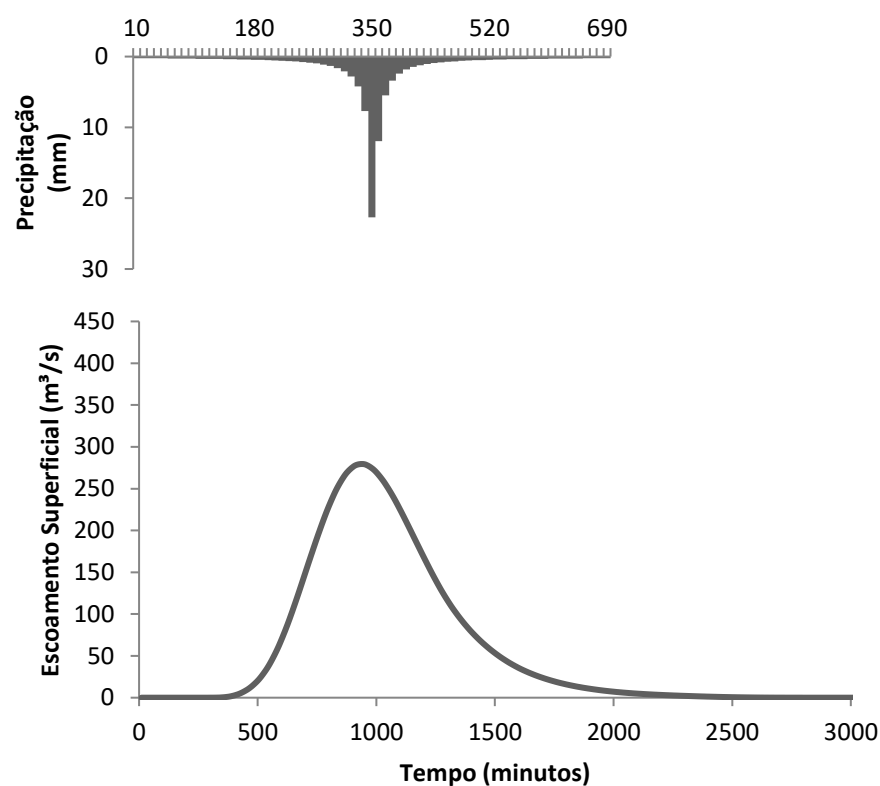
APÊNDICE KKKKK - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2005 para a
BHRCf, com $T_r = 100$ anos



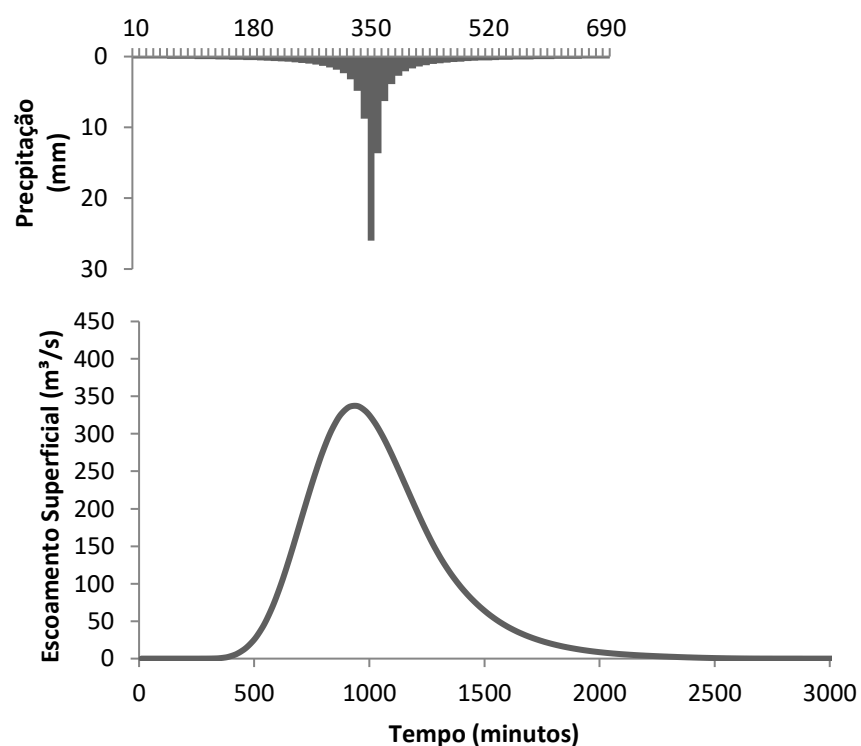
APÊNDICE LLLLL - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a
BHRCf, com $T_r = 5$ anos



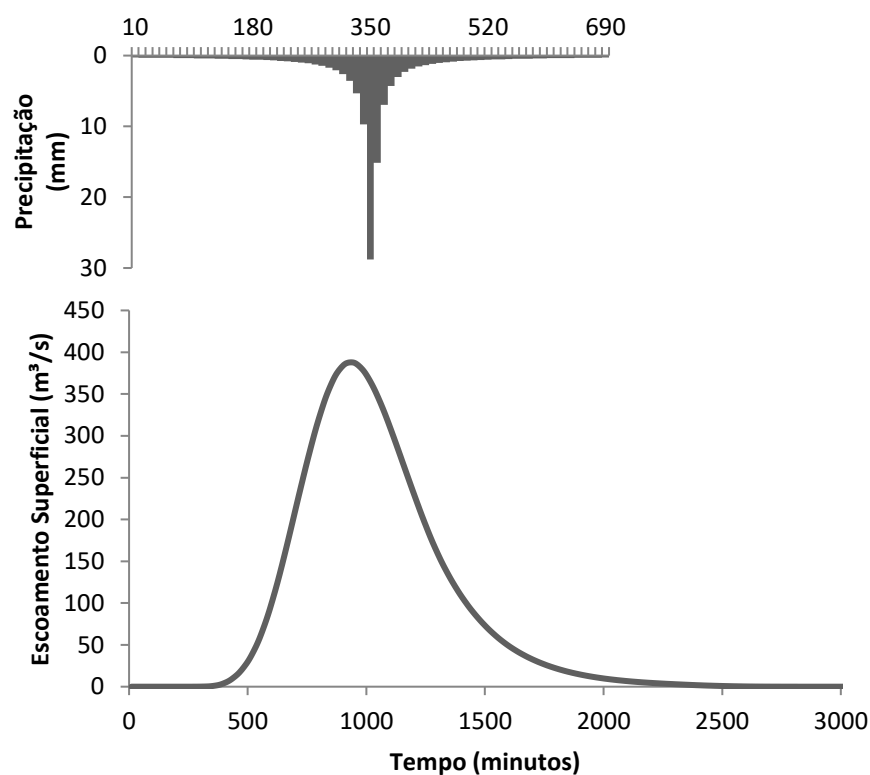
APÊNDICE MMMMM - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCf, com $Tr = 10$ anos



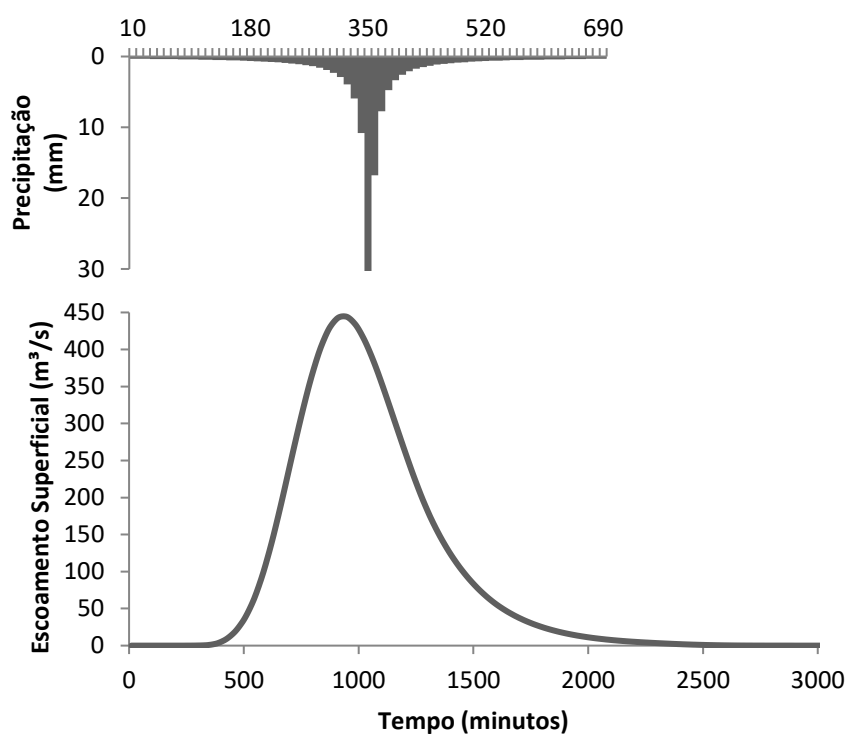
APÊNDICE NNNNN - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCf, com $Tr = 25$ anos



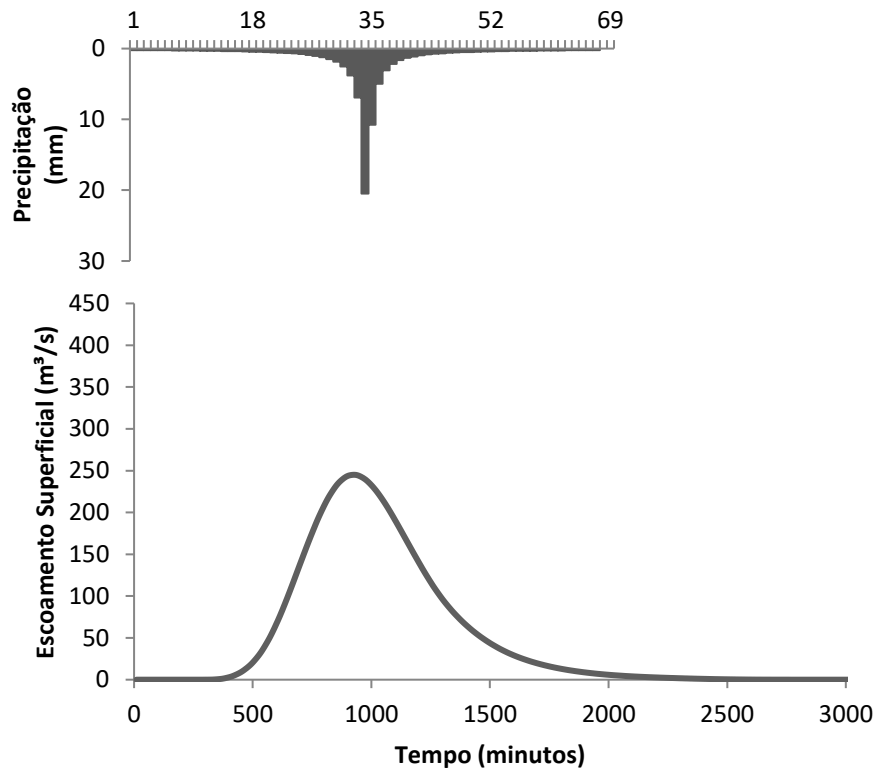
APÊNDICE OOOOO - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCf, com $Tr = 50$ anos



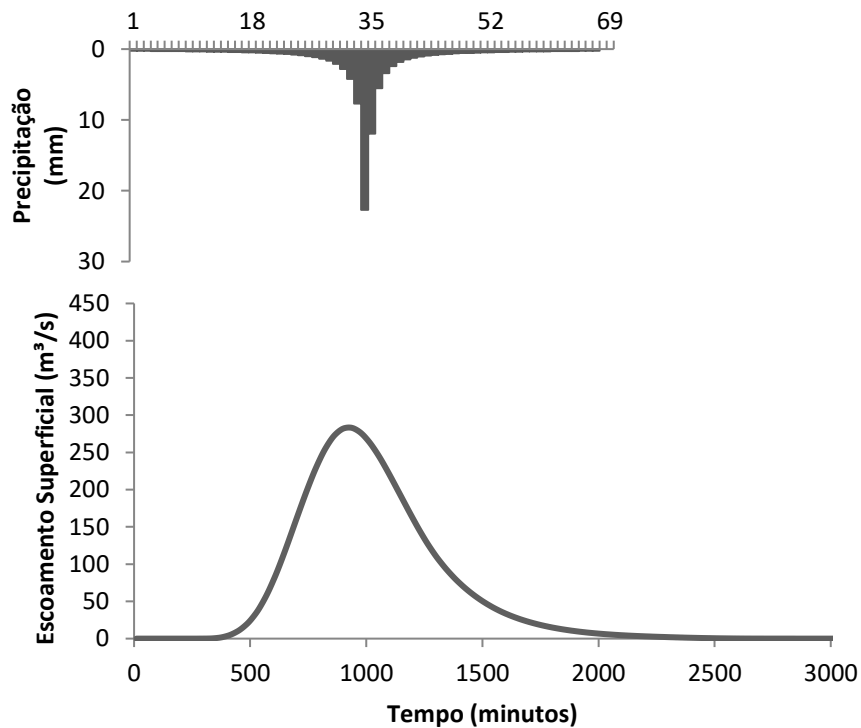
APÊNDICE PPPPP - Hidrograma de escoamento superficial do ano de 2015 para a BHRCf, com $Tr = 100$ anos



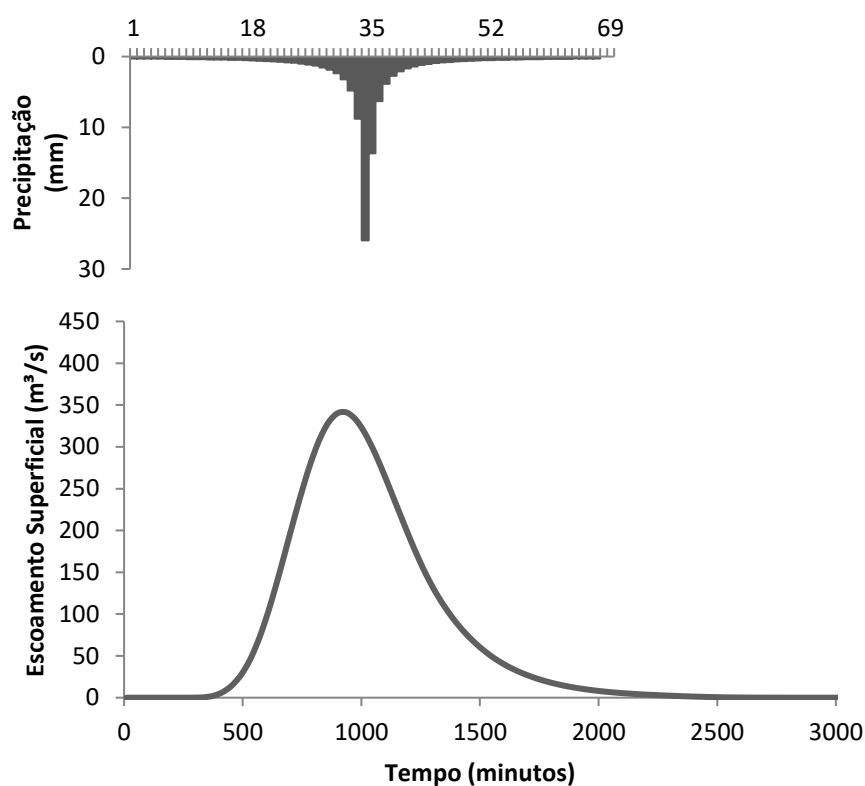
APÊNDICE QQQQQ - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCf, com $Tr = 5$ anos



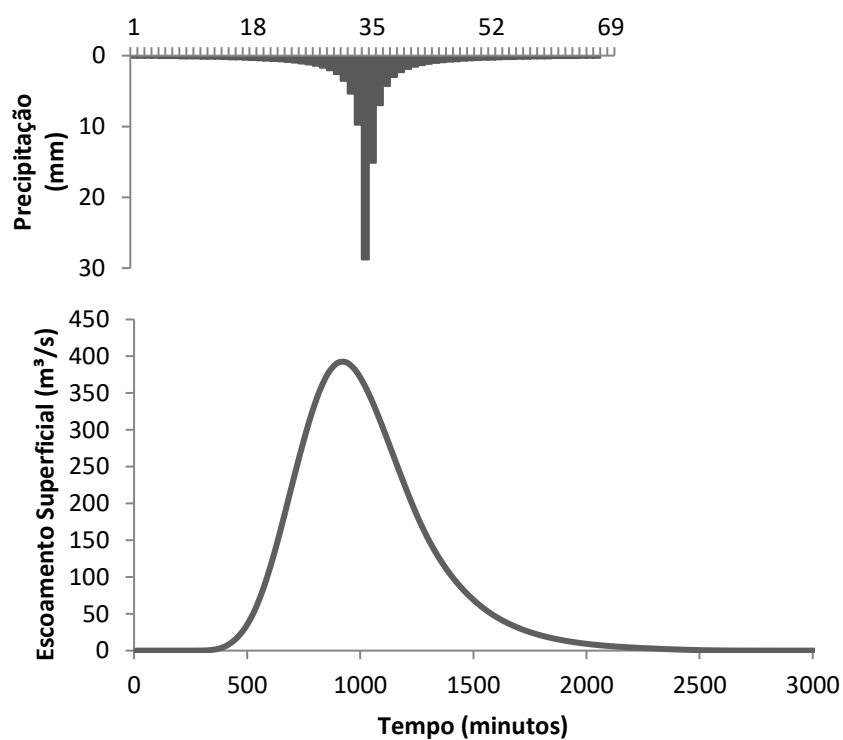
APÊNDICE RRRRR - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCf, com $Tr = 10$ anos



APÊNDICE SSSSS - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCf, com $T_r = 25$ anos



APÊNDICE TTTTT - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCf, com $T_r = 50$ anos



APÊNDICE UUUUU - Hidrograma de escoamento superficial a situação de saturação da BHRCf, com $T_r = 100$ anos

