

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**LUIZ FERNANDO CARVALHO CAMAPUM**

**ESTUDO DAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES DA MA-275 A  
PARTIR DE TRÊS METODOLOGIAS DE OBTENÇÃO DAS CURVAS DE  
INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA**

São Luís

2019

**LUIZ FERNANDO CARVALHO CAMAPUM**

**ESTUDO DAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES DA MA-275 A  
PARTIR DE TRÊS METODOLOGIAS DE OBTENÇÃO DAS CURVAS DE  
INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA**

Monografia apresentada junto ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Maria Teresinha de Medeiros Coelho

São Luís

2019

Camapum, Luiz Fernando Carvalho.

Estudo das obras de transposição de talvegues da MA - 275 a partir de três metodologias de obtenção das curvas de Intensidade – Duração - Frequência/ Luiz Fernando Carvalho Camapum – São Luís, 2019.

188 f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Profa. Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho.

1. Transposição de talvegues . 2. Curva IDF. 3. Pluviometria.  
I. Título.

CDU: 624.1:551.508.77

**LUIZ FERNANDO CARVALHO CAMAPUM**

**ESTUDO DAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES DA MA-275 A  
PARTIR DE TRÊS METODOLOGIAS DE OBTENÇÃO DAS CURVAS DE  
INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA**

Monografia apresentada junto ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão para o grau de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Maria Teresinha de Medeiros Coelho

Aprovado em: 09 / 12 / 2019

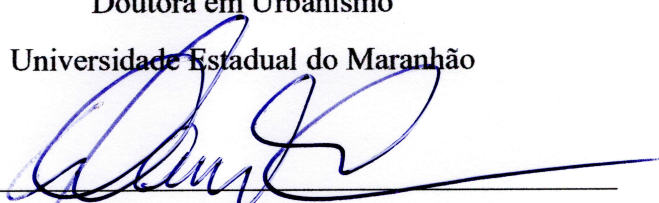
**BANCA EXAMINADORA**



**Profa. Dr.<sup>a</sup> Maria Teresinha de Medeiros Coelho (Orientadora)**

Doutora em Urbanismo

Universidade Estadual do Maranhão



**Prof. Dr. Walter Canales Sant'Ana**

Doutor em Engenharia de Transportes

Universidade Estadual do Maranhão



**Prof. Msc. Marivaldo Costa Duarte**

Mestre em Engenharia Mecânica

Universidade Estadual do Maranhão

## AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus, principalmente pelo dom da vida e pela saúde que tenho para vencer os desafios mais difíceis e que me fazem crescer diariamente.

À toda minha família, principalmente aos meus pais e meu irmão, Bento José Camapum, Maria do Socorro Lima Carvalho Camapum e Hugo Raphael Carvalho Camapum, por todo o cuidado e apoio que tiveram comigo durante toda a minha vida, sendo os maiores e melhores exemplos que eu poderia imaginar.

Aos meus avós, Anísia, Cleonice, Herculano e José, pelos grandes exemplos para todos da nossa família, principalmente aos meus pais Bento José e Maria do Socorro.

À minha melhor amiga, companheira e namorada, Dara Maria Sôrgo, pois é um grande exemplo, que me inspira a ser melhor todos os dias por meio do exemplo diário de luta, aprendizado e vitória, sempre nesta ordem.

À minha orientadora, Maria Teresinha de Medeiros Coelho, por ser a primeira professora que me deu uma oportunidade de pesquisa e que teve uma fé enorme na minha capacidade, até mesmo quando eu achei que não conseguiria. Além disso, gostaria de agradecer pela paciência e dedicação que teve em me ajudar e guiar nos assuntos, sendo um grande exemplo de paciência e dedicação.

À minha amiga que me conhece desde antes de eu nascer, Leila Lopes dos Santos, que me deu suporte desde criança e que sempre teve muito cuidado comigo, sendo fundamental na formação do meu caráter.

Ao professor Daniel Nascimento de Lima Nascimento Sôrgo, por ser o primeiro professor que conseguiu despertar o meu interesse na área de Hidráulica e Hidrologia, sendo fundamental para me guiar nos primeiros passos de uma grande jornada acadêmica que acabei de iniciar.

`Voc, deve lutar mais de uma batalha para se tornar um vencedor\_

Margaret Thatcher

## RESUMO

O propósito principal desta pesquisa é estudar as obras de transposição de talvegues da MA - 275 a partir das equações de Intensidade - Duração - Frequência (IDF) do local de estudo por meio de três métodos distintos: o método da desagregação, método das Isozonas e método de Bell, que foram desenvolvidos por CETESB (1980), pelo engenheiro José Jaime Taborga Torrico (1974) e por Bertoni, Tucci (1993) e Righetto (1998), respectivamente. Os dados das curvas de IDF são utilizados para relacionar pluviometria e vazão para o correto e seguro dimensionamento dos dispositivos hidráulicos, como por exemplo, Obras de Arte Correntes (OAC) e Obras de Arte Especiais (OAE). Para a realização desta pesquisa é necessário, inicialmente, introduzir conceitos teóricos essenciais para a compreensão de termos relativos - pluviometria, estatística e hidráulica para então, posteriormente, efetuar um estudo empírico e probabilístico adotando-se como fonte principal os dados de uma série histórica de precipitação diária disponibilizados pela ANA (Agência Nacional de Águas). A partir dos dados disponibilizados há aplicação destes no dimensionamento das 27 OAC e 3 OAE localizadas entre as estacas 1018 + 4,00 e 1967 + 16,74 do projeto executivo de engenharia para serviços de melhoria e pavimentação da rodovia MA - 275. Conclui-se nessa pesquisa que as curvas de IDF para cada metodologia possuem características distintas, podendo gerar pequenas divergências no dimensionamento hidráulico dos dispositivos, porém as maiores divergências no estudo são ocasionadas pela utilização, na presente pesquisa, de uma estação pluviométrica distinta - adotada pelo projeto executivo de engenharia.

Palavras-chave: Transposição de talvegues. Curvas IDF. Pluviometria.

## ABSTRACT

The main purpose of this research is to analyze Thalwegs transposition buildings on the state highway MA - 275, using the Intensity - Duration - Frequency (IDF) curves taken from the studied sites by three distinct methods of analysis: disaggregation, Isozones and Bell method, which were developed by CETESB (1980), by the engineer Josué Jaime Taborga Torrico (1974) and by Bertoni, Tucci (1993), Righetto (1998), in that order. The curves IDF data used for correlate rain measurement and water flow by volume, to correctly and safely design hydric infrastructures, such as culvert (OAC) and flyovers (OAE). It is necessary, first, to introduce theoretical concepts to improve the understanding of pluviosity, statistics and hydraulics to, subsequently, make an empirical and probabilistic study adopting a main source of daily rainfall displayed by ANA (Brazilian Natural Water Agency). From the provided data there an application of these to dimensioning 27 OAC and 3 OAE between stakes 1018 + 4,00 and 1967 + 16,74 from the state highway MA - 275 executive project for engineering. Thus, one may conclude, in this research that IDF curves taken from the distinct methods of analysis have different characteristics, resulting in small divergences on the sizes of the hydric infrastructures, but the greatest divergences in the study are caused by the used, in this research, a different Rain Station from the one adopted in the executive project for engineering.

Keywords: Thalwegs transposition building. IDF curves. Rainfall.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquematiza�o do ciclo hidrológico .....	23
Figura 2 - Pluvi�grafo do tipo Sifão de Fuess .....	26
Figura 3 - Pluvi�grafo Ville de Paris localizado no estacionamento do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade Estadual do Maranhão - Campus Paulo VI .....	26
Figura 4 - Recomenda�es de instala�o do aparelho de medi�o da chuva com rela�o - presença de obstáculos .....	28
Figura 5 - Hidrograma adimensional do SCS - curvilíneo e triangular .....	35
Figura 6 - Mapa de Isozonas no Brasil .....	42
Figura 7 - Tipos de associa�o entre duas variáveis X e Y .....	55
Figura 8 - Exemplo ilustrativo de dispositivos de transposi�o de talvegues .....	56
Figura 9 - Perfis de bueiros funcionando como canal .....	60
Figura 10 - Perfil de um bueiro funcionando como orifício .....	61
Figura 11 - Se�o transversal de um curso dágua .....	64
Figura 12 - Gráficos de $h = f(Q)$ e $h = g(V)$ .....	65
Figura 13 - Mapa de Situa�o da rodovia MA - 275 .....	68
Figura 14 - Classifica�o climática de Koppen .....	69
Figura 15 - Relevo do local de estudo .....	69
Figura 16 - Pluviometria do local de estudo .....	70
Figura 17 - Fluviometria do local de estudo .....	71
Figura 18 - Bacias hidrográficas do local de estudo .....	72
Figura 19 - Localiza�o das esta�es pluviométricas .....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Método de cálculo para o estado de São Paulo .....	33
Tabela 2	- Método de cálculo para o estado de Rio de Janeiro e Paraná.....	33
Tabela 3	- Número de Curva (CN) para diferentes condições do complexo hidrográfico ....	38
Tabela 4	- Coeficientes de desagregação da chuva .....	40
Tabela 5	- Relação percentual entre as precipitações de 24 horas e as de 1 hora e 6 minutos .....	41
Tabela 6	- Dados da estação pluviométrica selecionada .....	74
Tabela 7	- Série Histórica do período de 1982 a 2018 do posto de Buritirana - MA .....	75
Tabela 8	- Frequências absolutas [Posto: 00547005 (Período: 1971 a 2018)] .....	82
Tabela 9	- Frequências relativas [Posto: 00547005 (Período: 1971 a 2018)] .....	82
Tabela 10	- Análise frequencial das precipitações máximas diárias anuais .....	84
Tabela 11	- Período de recorrência para cada dispositivo hidráulico .....	94
Tabela 12	- Precipitação (em milímetros) pelo método da desagregação [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	98
Tabela 13	- Intensidade pluviométrica (em milímetros por minuto) pelo método da desagregação [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	98
Tabela 14	- Precipitação (em milímetros) pelo método das Isozonas [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	100
Tabela 15	- Intensidade pluviométrica (em milímetros por minuto) pelo método das Isozonas [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	100
Tabela 16	- Precipitação (em milímetros) pelo método de Bell [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	101
Tabela 17	- Intensidade pluviométrica (em milímetros por minuto) pelo método de Bell [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	102
Tabela 18	- Precipitação em milímetros [Posto: 00546000 (Período: 1966 a 1989)] .....	106
Tabela 19	- Intensidade em milímetros por minuto [Posto: 00546000 (Período: 1966 a 1989)] .....	107
Tabela 20	- Comparação do dimensionamento dos dispositivos .....	116

## LISTA DE GRÉFICOS

Gráfico 1	- Precipitação média mensal [Posto:00547005 (Período:1982 a 2018)] .....	78
Gráfico 2	- Precipitação diária máxima mensal [Posto:00547005 (Período:1982 a 2018)] .....	79
Gráfico 3	- Número médio mensal de dias com chuva [Posto:00547005 (Período:1982 a 2018)] .....	80
Gráfico 4	- Variabilidade sazonal da chuva no local de estudo .....	81
Gráfico 5	- Precipitação máxima diária anual [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	83
Gráfico 6	- Função Densidade de Probabilidade [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	85
Gráfico 7	- Função de Probabilidades Acumuladas [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	86
Gráfico 8	- Função quantis [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	86
Gráfico 9	- Dados empíricos e a função quantis [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	87
Gráfico 10	- Diagrama de Dispersão 1 [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	88
Gráfico 11	- Função quantis segundo Kite [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	90
Gráfico 12	- Dados empíricos e a função quantis considerando o tamanho da amostra [Posto:00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	90
Gráfico 13	- Diagrama de Dispersão 2 [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	91
Gráfico 14	- Curva PDF - método da desagregação [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	99
Gráfico 15	- Curva IDF - método da desagregação [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	99
Gráfico 16	- Curva PDF - método das Isozonas [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	100
Gráfico 17	- Curva IDF - método das Isozonas [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	101
Gráfico 18	- Curva PDF - método de Bell [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	102
Gráfico 19	- Curva IDF - método de Bell [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	103
Gráfico 20	- Diagrama de Dispersão 3 [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	104
Gráfico 21	- Diagrama de Dispersão 4 [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	105
Gráfico 22	- Diagrama de Dispersão 5 [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] .....	106

Gráfico 23 - Curva PDF - Projeto de engenharia [Posto: 00546000 (Período: 1966 a 1989)] .....	107
Gráfico 24 - Curva PDF - Projeto de engenharia [Posto: 00546000 (Período: 1966 a 1989)] .....	108
Gráfico 25 - Curvas de PDF para período de retorno de 5 anos .....	109
Gráfico 26 - Curvas de PDF para período de retorno de 10 anos .....	109
Gráfico 27 - Curvas de PDF para período de retorno de 15 anos .....	110
Gráfico 28 - Curvas de PDF para período de retorno de 25 anos .....	110
Gráfico 29 - Curvas de PDF para período de retorno de 50 anos .....	111
Gráfico 30 - Curvas de PDF para período de retorno de 100 anos .....	111
Gráfico 31 - Curvas de IDF para período de retorno de 5 anos .....	112
Gráfico 32 - Curvas de IDF para período de retorno de 10 anos .....	112
Gráfico 33 - Curvas de IDF para período de retorno de 15 anos .....	113
Gráfico 34 - Curvas de IDF para período de retorno de 25 anos .....	113
Gráfico 35 - Curvas de IDF para período de retorno de 50 anos .....	114
Gráfico 36 - Curvas de IDF para período de retorno de 100 anos .....	114

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	- Área da bacia hidrográfica
A <sub>m</sub>	- Área molhada
ANA	- Agência Nacional de Águas
BDMEP	- Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa do INMET
C	- Coeficiente de deflúvio
CCR	- Companhia de Concessões Rodoviárias
CETESB	- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CN	- Curve Number
CPRM	- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DNIT	- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNOS	- Departamento Nacional de Obras de Saneamento
SINFRA	- Secretaria de Infraestrutura do Estado do Maranhão
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
F	- Probabilidade de não ocorrência
FA	- Fator de Área
FAP	- Função Acumulada de Probabilidade
FDP	- Função Densidade de Probabilidade
G	- Probabilidade de ocorrência
h	- hora
ha	- hectares
HIDROWEB	- Sistema de Informações Hidrológicas da ANA
HUT	- Hidrograma Unitário Triangular
IDF	- Intensidade - Duração - Frequência
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
IPH	- Instituto de Pesquisas Hidráulicas
KT	- Fator de Frequência
Km	- Quilômetro
Km <sup>2</sup>	- Quilômetro quadrado
m	- metro
m <sup>2</sup>	- metro quadrado

mE	- metro cúbico
MA	- Maranhão
MCC	- Máxima Cheia de Caudal
MCP	- Máxima Cheia de Projeto
MCV	- Máxima Cheia de Vazão
n	- Coeficiente de rugosidade de Manning
NA	- Nível de Energia
OAC	- Obra de Arte Corrente
OAE	- Obra de Arte Especial
P	- Precipitação
Pe	- Precipitação efetiva
Pm	- Perímetro molhado
PDF	- Precipitação - Duração - Frequência
Q	- Vazão
R <sup>2</sup>	- Coeficiente de determinação
Rh	- Raio hidráulico
s	- Segundo
s	- Desvio padrão amostral
s <sup>2</sup>	- Variância amostral
SCS	- Soil Conservation Service
t	- Duração da chuva
T	- Período de retorno
Tc	- Tempo de concentração
TR	- Technical Release
UEMA	- Universidade Estadual do Maranhão
V	- Velocidade
σ	- Variância populacional
	- Parâmetro de escala da distribuição Gumbel
ξ	- Parâmetro de posição da distribuição Gumbel

## SUMÉRIO

1	INTRODUÇÃO .....	19
1.1	Considerações iniciais .....	19
1.2	Objetivos .....	20
1.2.1	Objetivo geral .....	20
1.2.1	Objetivos específicos .....	20
1.3	Justificativa .....	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	22
2.1	Hidrologia .....	22
2.1.2	Precipitação .....	23
2.1.3	Chuvas Intensas .....	24
2.1.4	Séries Históricas .....	25
2.1.5	Pluviometria e medição da chuva .....	25
2.1.6	Curvas de Intensidade - duração - frequência .....	28
2.1.7	Escoamento Superficial .....	29
2.1.7.1	Coefficiente de deflúvio .....	30
2.1.7.2	Tempo de concentração .....	30
2.1.7.2.1	Fórmula de Kirpich .....	31
2.1.7.2.2	Fórmula de Kirpich modificada .....	31
2.1.7.2.3	Fórmula do DNOS .....	32
2.1.7.2.4	Método cinemático .....	32
2.1.8	Hidrogramas unitários sintéticos .....	34
2.1.8.1	Método Racional .....	34
2.1.8.2	Método racional corrigido .....	34
2.1.8.3	Método do SCS (Soil Conservation Service) .....	35
2.1.9	Método da Desagregação .....	39
2.1.10	Método das Isozonas .....	40

2.1.11	Método de Bell .....	42
2.2	Estatística aplicada – Hidrologia .....	43
2.2.1	Análise exploratória de dados hidrológicos .....	44
2.2.1.1	Histograma .....	44
2.2.1.2	Polígono de frequências .....	45
2.2.2	Estatísticas descritivas .....	45
2.2.2.1	Medidas de tendência central .....	45
2.2.2.1.1	Média .....	45
2.2.2.1.2	Mediana .....	46
2.2.2.1.3	Moda .....	46
2.2.2.2	Medidas de Dispersão .....	46
2.2.2.2.1	Desvio Médio Absoluto .....	47
2.2.2.2.2	Variância e Desvio Padrão .....	47
2.2.2.3	Medidas de Assimetria e Curtose .....	48
2.2.2.3.1	Coefficiente de Assimetria .....	48
2.2.2.3.2	Coefficiente de Curtose .....	48
2.2.3	Variáveis aleatórias .....	49
2.2.3.1	Distribuição de Gumbel (Máximos) .....	50
2.2.4	Análise de frequências utilizando o fator de frequência .....	51
2.2.4.1	Probabilidade e período de retorno de eventos extremos .....	53
2.2.5	Diagrama de Dispersão .....	54
2.3	Drenagem de transposição de talvegues .....	55
2.3.1	Obras de arte corrente .....	56
2.3.1.1	Classificação dos Bueiros .....	57
2.3.1.1.1	Classificação dos bueiros quanto à forma da seção transversal .....	57
2.3.1.1.2	Classificação dos bueiros quanto ao número de linhas .....	57
2.3.1.1.3	Classificação dos bueiros quanto aos materiais utilizados .....	57
2.3.1.1.4	Classificação dos bueiros quanto à escorridade .....	58
2.3.1.2	Dimensionamento hidráulico de obras de arte corrente .....	58



2.3.1.2.1	Bueiros funcionando como canal .....	58
2.3.1.2.2	Bueiros funcionando como orifício .....	61
2.3.2	Obras de arte especiais .....	62
2.3.2.1	Pontilhões .....	62
2.3.2.2	Pontes .....	62
2.3.2.2.1	Estudos Preliminares .....	63
2.3.2.2.2	Dimensionamento hidráulico das obras de arte especial .....	63
3	METODOLOGIA .....	66
3.1	Metodologia .....	66
3.2	Caracterização do local de estudo .....	68
3.2.1	Localização da área de estudo .....	68
3.2.2	Clima da área de estudo .....	68
3.2.3	Geomorfologia da área de estudo .....	69
3.2.4	Pluviometria e Fluviometria do local estudo .....	70
3.2.5	Localização das bacias hidrográficas .....	72
3.3	Seleção e caracterização da estação pluviométrica .....	73
3.4	Análise da variabilidade sazonal da chuva no local de estudo .....	78
3.5	Análise exploratória dos dados pluviométricos .....	81
3.6	Estatística aplicada no estudo hidrológico .....	83
3.6.1	Precipitações máximas diárias anuais .....	83
3.6.2	Análise das variáveis aleatórias com a distribuição de Gumbel (máximos) .....	84
3.7	Precipitações e intensidades pluviométricas a partir das três metodologias ....	92
3.7.1	Método da desagregação .....	92
3.7.2	Método das Isozonas .....	92
3.7.3	Método de Bell .....	93
3.8	Equações de Intensidade - Duração - Frequência .....	93
3.9	Comentários sobre os resultados pluviométricos obtidos com os determinados pelo projeto executivo de engenharia.....	94
3.10	Aplicação das equações de IDF .....	94
3.11	Comentários sobre a aplicação das equações de Intensidade - Duração - Frequência para os dimensionamentos e projetos de drenagem de transposição de talvegues .....	95

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	98
4.1	Método da desagregação .....	98
4.2	Método das Isozonas .....	99
4.3	Método de Bell .....	101
4.4	Equações de Intensidade - Duração - Frequência .....	103
4.4.1	Método da desagregação .....	103
4.4.2	Método das Isozonas .....	104
4.4.3	Método de Bell .....	105
4.5	Comparação dos resultados pluviométricos obtidos com os determinados pelo projeto executivo de engenharia .....	106
4.6	Comparação do projeto calculado com o adotado pelo projeto executivo de engenharia .....	115
5	CONCLUSÕES .....	117
5.1	Estudo Hidrológico .....	117
5.2	Estudo Hidráulico .....	118
5.2.1	Obras de Arte Correntes .....	118
5.2.2	Hidráulicas de escoamento .....	119
5.2.3	Máxima Cheia de Cúculo .....	119
	REFERÊNCIAS .....	120
	APÊNDICES .....	124
	APÊNDICE A - CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	125
	APÊNDICE B - HUT BACIA Nº 35 - T = 100 ANOS (ISOZONAS) .....	126
	APÊNDICE C - HUT BACIA Nº 36 - T = 25 ANOS (ISOZONAS) .....	127
	APÊNDICE D - HUT BACIA Nº 36 - T = 50 ANOS (ISOZONAS) .....	128
	APÊNDICE E - HUT BACIA Nº 40 - T = 100 ANOS (ISOZONAS) .....	129
	APÊNDICE F - HUT BACIA Nº 54 - T = 100 ANOS (ISOZONAS) .....	130
	APÊNDICE G - HUT BACIA Nº 55 - T = 25 ANOS (ISOZONAS) .....	131
	APÊNDICE H - HUT BACIA Nº 55 - T = 50 ANOS (ISOZONAS) .....	132
	APÊNDICE I - HUT BACIA Nº 35 - T = 100 ANOS (DESAGREGAÇÃO) .....	133
	APÊNDICE J - HUT BACIA Nº 36 - T = 25 ANOS (DESAGREGAÇÃO) ...	134
	APÊNDICE K - HUT BACIA Nº 36 - T = 50 ANOS (DESAGREGAÇÃO) .....	135
	APÊNDICE L - HUT BACIA Nº 40 - T = 100 ANOS (DESAGREGAÇÃO) .....	136

APNNDICE M - HUT BACIA Nº 54 - T = 100 ANOS (DESAGREGAÇÃO)	137
APNNDICE N - HUT BACIA Nº 55 - T = 25 ANOS (DESAGREGAÇÃO)	138
APNNDICE O - HUT BACIA Nº 55 - T = 50 ANOS (DESAGREGAÇÃO)	139
APNNDICE P - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 35 (ISOZONAS)	140
APNNDICE Q - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 40 (ISOZONAS)	141
APNNDICE R - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 54 (ISOZONAS)	142
APNNDICE S - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 35 (DESAGREGAÇÃO)	143
APNNDICE T - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 40 (DESAGREGAÇÃO)	144
APNNDICE U - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 54 (DESAGREGAÇÃO)	145
APNNDICE V - RESUMO DAS BACIAS (ISOZONAS)	146
APNNDICE W - RESUMO DAS BACIAS (DESAGREGAÇÃO)	147
APNNDICE X - RESUMO DAS BACIAS (BELL)	148
ANEXOS	149
ANEXO A - BACIAS HIDROGRÁFICAS	150
ANEXO B - CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	151
ANEXO C - HUT BACIA Nº 35 - T = 100 ANOS	153
ANEXO D - HUT BACIA Nº 36 - T = 100 ANOS	154
ANEXO E - HUT BACIA Nº 40 - T = 100 ANOS	155
ANEXO F - HUT BACIA Nº 54 - T = 100 ANOS	156
ANEXO G - HUT BACIA Nº 55 - T = 25 ANOS	157
ANEXO H - HUT BACIA Nº 55 - T = 50 ANOS	158
ANEXO I - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 35	159
ANEXO J - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 40	160
ANEXO K - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 54	161
ANEXO L - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 37	162
ANEXO M - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 38	163
ANEXO N - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 39	164
ANEXO O - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 40	165

ANEXO P - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 42 .....	166
ANEXO Q - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 43 .....	167
ANEXO R - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 45 .....	168
ANEXO S - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 50 .....	169
ANEXO T - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 51 .....	170
ANEXO U - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 52 .....	171
ANEXO V - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 54 .....	172
ANEXO W - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 55 .....	173
ANEXO X - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 56 .....	174
ANEXO Y - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 57 .....	175
ANEXO Z - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 58 .....	176
ANEXO AA - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 59 .....	177
ANEXO AB - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 60 .....	178
ANEXO AC - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 62 .....	179
ANEXO AD - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 63 .....	180
ANEXO AE - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 64 .....	181
ANEXO AF - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 65 .....	182
ANEXO AG - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 66 .....	183
ANEXO AH - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 69 .....	184
ANEXO AI - CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N <sup>o</sup> 70 .....	185
ANEXO AJ - RESUMO DAS BACIAS .....	186
ANEXO AK - VAZ <sup>o</sup> UO, VELOCIDADE E DECLIVIDADE CRPTICA DE BUEIROS TUBULARES DE CONCRETO TRABALHANDO COMO CANAL .....	187
ANEXO AL - VAZ <sup>o</sup> UO, VELOCIDADE E DECLIVIDADE CRPTICA DE BUEIROS CELULARES TRABALHANDO COMO CANAL .....	187
ANEXO AM - VALORES DE IA PARA COEFICIENTES CN .....	188
ANEXO AN - FATOR DE AJUSTE PARA $\epsilon$ REAS DE LAGO E PMNTANO ESPALHADAS POR TODA A BACIA HIDROGRÆFICA .....	188

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Considerações iniciais

A precipitação, na sua forma mais frequente, que é a chuva, é a principal maneira de entrada de água em uma bacia hidrográfica e, com isso, a quantificação desse fenômeno hidrológico torna-se de suma importância para diversas áreas da engenharia, pois fornece subsídios para o adequado dimensionamento de obras hidráulicas, controle de inundações, abastecimento hídrico, planejamento agropecuário, análise da erosão do solo em determinado local etc (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

A maioria dos processos hidrológicos são considerados estocásticos, ou seja, são conjuntos de variáveis aleatórias, ou imprevisíveis, que representam a evolução de um sistema de valores correlacionados com o tempo. Desse modo, em determinado local do espaço geográfico, a precipitação é considerada um processo estocástico, pois é evidente a presença de um elevado grau de aleatoriedade, pois nem todos os fatores influentes, assim como as interdependências nas escalas de tempo e espaço, podem ser explicitados de forma exata (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Como exemplos de fatores causais para a precipitação em forma de chuva, têm-se: presença de núcleos de condensação nas nuvens, latitude, distância do local geográfico da análise em relação ao mar ou de outras fontes de água, calor latente de vaporização, altitude, presença de vegetação, aquecimento de massas de ar, encontros de massa de ar quente e frio, presença de obstáculos topográficos (no caso das chuvas orográficas) etc.

Ainda segundo Naghettini e Pinto (2007), caso todos os fatores citados pudessem ser quantificados com precisão e se todas as relações de interdependência destes puderem ser calculadas e explicitadas, as propriedades relevantes entre eles poderiam ser determinadas como relações puramente determinísticas do tipo causa-efeito. Contudo, essa condição não é possível devido à presença de restrições práticas associadas ao monitoramento exato e abrangente dos fatores causais, assim como no próprio limite do conhecimento humano acerca de processos hidrológicos.

É fundamental destacar que, com os contínuos avanços em pesquisas e tecnologias em hidrologia, há a redução no grau de aleatoriedade presente no ciclo de processos hidrológicos, contudo, não farão que esses se tornem processos puramente determinísticos

sendo, portanto, necessário o emprego de teorias probabilísticas para a análise e associação de fenômenos hidrológicos e a variabilidade espacial e temporal de variáveis aleatórias (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Logo, no caso da presente pesquisa, há o desenvolvimento de modelos probabilísticos, tomando-se como base a análise de uma série histórica de precipitações diárias organizadas de modo sequencial durante um período de vários anos de registro para o posto de Buritira (00547005) que será utilizado no estudo de caso, para então, posteriormente, correlacionar as variáveis características hidrológicas necessárias para a obtenção das curvas IDF por meio do método da desagregação, método das Isozonas e método de Bell, desenvolvidos por CETESB (1980), pelo engenheiro José Jaime Tabora Torrico (1974) e Tucci (1993) e Righetto (1998), respectivamente.

Após a análise comparativa entre os diferentes métodos expeditos há a aplicação destes para o dimensionamento hidráulico de dispositivos de obras de arte correntes (OAC) e obras de arte especiais (OAE) compreendidas entre as estacas 1018 + 4,00 e 1967 + 16,74 da rodovia MA - 275 que, em todo o percurso do projeto, está compreendida entre a MA - 122 (Amarante) e MA - 280 (São João Novo), com extensão total de 41,0 km.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Estudar as obras de transposição de talvegues da MA-275 a partir de três metodologias de obtenção das curvas de Intensidade-Duração-Frequência.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Estudar as curvas de IDF utilizando o Método da Desagregação (CETESB, 1980).
- Estudar as curvas de IDF utilizando o Método das Isozonas (1974) de José Jaime Tabora Torrico.
- Estudar as curvas de IDF utilizando o Método Bell descrita por Bertoni e Tucci (1993) e Righetto (1998).

- Fazer uma análise comparativa dos resultados obtidos pelas metodologias utilizadas.

- Aplicar cada metodologia para dimensionar e projetar dispositivos de obras de arte correntes (OAC) e obras de arte especiais (OAE) da rodovia MA - 275.

### 1.3 Justificativa

Essa pesquisa possui a função inicial de proporcionar uma compreensão didática sobre conceitos essenciais, como por exemplo, hidrologia, precipitação, intensidade pluviométrica, probabilidade e estatística aplicadas na análise de variáveis hidrológicas. E, não obstante, aplicar posteriormente tais conceitos de forma ordenada e simplificada para a análise de dados pluviométricos levantados referentes ao posto de Buritirana obtendo, por conseguinte, as curvas e equações de intensidade, duração e frequência de chuvas intensas.

A partir do estudo hidrológico para cada metodologia há a aplicação de cada uma destas para o dimensionamento dos dispositivos de arte correntes (OAC) e obras de arte especiais (OAE) da rodovia MA - 275, comparando-se posteriormente a influência da utilização de cada método no processo de dimensionamento hidráulico.

Na elaboração de um projeto executivo que efetue estudos hidrológicos geralmente há a adoção de somente uma metodologia, logo é fundamental que seja realizado um estudo comparativo entre três das metodologias mais utilizadas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Hidrologia

A Hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas (U.S FEDERAL COUNCIL FOR SCIENCE AND TECHNOLOGY, citado por CHOW, 1959 apud TUCCI, 2001).

Segundo Naghettini e Pinto (2007), a Hidrologia é a geociência que investiga os fenômenos que determinam a distribuição espaço-temporal da água sob os atributos de quantidade, qualidade e interação com as sociedades humanas.

A Hidrologia utiliza como embasamento os conhecimentos de hidráulica, física e estatística para descrever os processos do ciclo hidrológico e quantificar as respectivas variáveis sendo que, os conhecimentos hidrológicos são fundamentais para várias outras áreas do conhecimento relacionadas às Ciências da Terra e Engenharia, como por exemplo, a Meteorologia, Geologia, Geografia, Agronomia, Engenharia Civil, Engenharia Ambiental e Limnologia (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Ainda de acordo com Collischonn e Dornelles (2013), também há outras ciências que estudam o comportamento da água em diferentes fases do ciclo hidrológico, como por exemplo, a Climatologia, Meteorologia, Oceanografia e Glaciologia sendo que, a diferença fundamental é que a Hidrologia se dedica principalmente à análise dos processos do ciclo de água em contato com o continente.

#### 2.1.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, sendo impulsionado pela energia solar e associado à gravidade e rotação terrestre (SILVEIRA, 1997).

A energia solar resulta no aquecimento do ar, solo e da água superficial, sendo responsável pela evaporação da água líquida e pela evapotranspiração da água do solo, através das plantas. O vapor de água é transportado pelas massas de ar e pode condensar, formando as nuvens e, em circunstâncias específicas, o vapor do ar condensado nas nuvens retorna

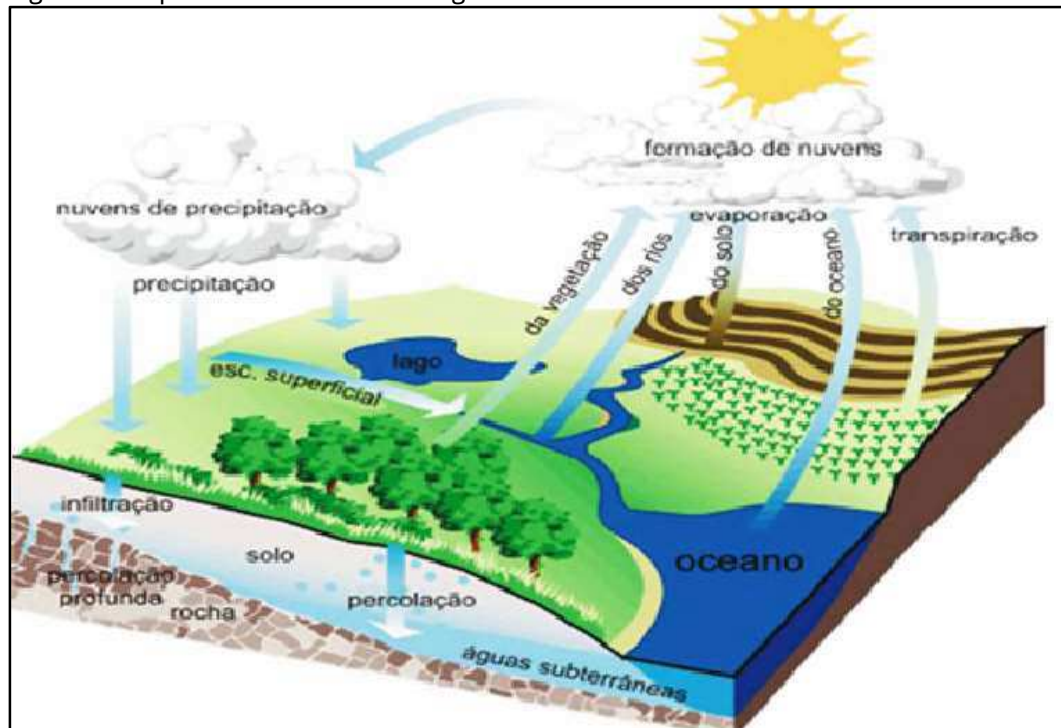


superfície terrestre em forma de precipitação, podendo infiltrar e umedecer o solo, alimentar aquíferos e criar o fluxo de água subterrânea (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

A evaporação dos oceanos é a maior fonte de vapor para a atmosfera e, conseqüentemente, para a posterior precipitação, contudo a evaporação da água presente nos solos, rios, lagos e a transpiração dos vegetais também contribuem como fontes de vapor de água para a atmosfera (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

No ciclo hidrológico (Figura 1) existe um ciclo completo de evaporação, condensação, precipitação e escoamento superficial, que constitui o denominado ciclo hidrológico e, ao engenheiro projetista de galerias de águas pluviais, interessam somente as duas últimas fases do ciclo (WILKEN, 1978).

Figura 1 - Esquematização do ciclo hidrológico



Fonte: Paz (2004)

### 2.1.2 Precipitação

Segundo Bertoni e Tucci (2001), a precipitação é definida, na hidrologia, como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Não obstante, há diferentes formas de precipitação, que são diferenciadas de acordo com o estado em que a água se encontra, como por exemplo, neblina, chuva, granizo, orvalho, saraiva, geada, neve etc.

A chuva é a ocorrência da precipitação na forma líquida e, devido a capacidade de produzir escoamento, esse é o tipo de precipitação mais importante para a Hidrologia (BERTONI; TUCCI, 2001).

Segundo Tucci et al. (1995), as chuvas são classificadas, conforme o fenômeno que origina a ascensão do ar úmido, em convectivas, orográficas e frontais ou ciclônicas.

As chuvas convectivas ou de verão são formadas por um processo de convecção de massa de ar úmido, formado em uma região restrita do espaço geográfico, em função de um gradiente de temperatura correlacionado com a altura. Essas chuvas possuem, em geral, elevada intensidade pluviométrica, curta duração e ocorrem em áreas restritas, ou seja, são causadoras de inundações em bacias urbanas de pequeno porte (TUCCI et al, 1995).

As chuvas orográficas são formadas em consequência de ventos úmidos que se deslocam verticalmente devido à presença de barreiras montanhosas, caracterizando-se por serem muito frequentes e possuírem de pequena a grande intensidade, pois o mecanismo de produção destas pode estar associado aos outros tipos de chuvas (TUCCI et al, 1995).

As chuvas frontais ou ciclônicas são formadas pelo contato entre massas de ar quente e frias, pois as massas de ar quente são elevadas, por possuírem menor densidade, encontrando condições de temperatura e pressão menores e facilitando, assim, a condensação da umidade existente. Essas chuvas atingem grandes áreas, provocando inundações em grandes bacias hidrográficas, e caracterizam-se por apresentarem grande duração e pequena intensidade pluviométrica (TUCCI et al, 1995).

### 2.1.3 Chuvas Intensas

Segundo Zahed e Marcellini (1995), as precipitações máximas ou chuvas intensas são definidas como aquelas chuvas cujas intensidades ultrapassam um determinado valor mínimo sendo, com isso, fundamental a determinação dessas intensidades em drenagem urbana, pois, em muitas metodologias, as vazões de projeto para o dimensionamento destes são obtidas indiretamente por modelos de transformação chuva-vazão.

As chuvas intensas são responsáveis por gerar elevados volumes de água em curtos intervalos de tempo e, devido ao grande volume de água precipitada, a ocorrência destes fenômenos costuma gerar danos socioeconômicos, prejuízos ambientais e riscos à vida humana (PEREIRA, 2017).

Em projetos de engenharia civil, com relação ao dimensionamento de obras hidráulicas mais especificamente, faz-se necessário a análise e caracterização das chuvas intensas, chuvas extremas, chuvas máximas ou chuvas de tormentas (CANHOLI, 2015).

As principais características das precipitações intensas são o total precipitado, a distribuição temporal, espacial e sua frequência de ocorrência, sendo essencial o conhecimento dessas características para os estudos e projetos de drenagem urbana (TUCCI et al, 1995).

#### 2.1.4 Séries Históricas

As variáveis hidrológicas e hidrometeorológicas, em sua variabilidade registrada por meio de séries temporais ou séries históricas, que representam as medições de determinada variável hidrológica, organizadas de modo sequencial de sua ocorrência no tempo ou espaço sendo, em geral, os intervalos de tempo (ou distância) entre os registros sucessivos de uma série temporal equidistantes, embora possam existir séries temporais com registros tomados em intervalos irregulares (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

#### 2.1.5 Pluviometria e medição da chuva

Segundo Tucci e Bertoni (2007), a precipitação é caracterizada pelas seguintes grandezas:

- a) Altura pluviométrica: espessura da lâmina de água precipitada que recobriria a região onde houve a precipitação admitindo-se que esta não infiltre, evapore ou escoar para fora dos limites da região, sendo geralmente medido em milímetros;
- b) Duração: tempo período de tempo que houve precipitação, sendo geralmente adotado minuto ou hora;
- c) Intensidade: relação entre a altura pluviométrica e a duração da chuva, sendo expressa usualmente em milímetros por minuto ou milímetro por hora;
- d) Frequência de probabilidade e Período de retorno: número médio de anos durante o qual é esperado que uma determinada precipitação seja igualada ou superada sendo o inverso deste a probabilidade de um fenômeno igual ou superior ao analisado ocorrer em um ano qualquer.

No Brasil, onde a absoluta maioria da precipitação (mais de 99%) cai sob a forma de chuva e, em alguns casos, granizo, mede-se convencionalmente a precipitação por meio de

aparelhos chamados pluviômetros e pluviômetros, como por exemplo, o pluviômetro do tipo Sifão de Fuess - Figura 2 (SANTOS et al., 2001).

Figura 2 - Pluviômetro do tipo Sifão de Fuess



Fonte: Baylina (2019)

O pluviômetro é um aparelho dotado de uma superfície de captação horizontal delimitada por um anel metálico e de um reservatório para acumular a água coletada. O pluviômetro bastante difundido no Brasil é o "Ville de Paris" (Figura 3), que possui área de captação igual a 400 cm<sup>2</sup>, ou seja, um volume de 40 ml corresponde a 1,0 mm de precipitação (SANTOS et al., 2001).

Figura 3 - Pluviômetro Ville de Paris localizado no estacionamento do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade Estadual do Maranhão - Campus Paulo VI



Fonte: Autor (2019)

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), nos pluviômetros da rede de observação mantida pela Agência Nacional de Água (ANA), a medição da chuva é realizada uma vez por dia, sempre às 7 horas da manhã, por um observador que anota o valor lido em uma caderneta.

Ainda de acordo com Santos et al. (2001), a grande dificuldade na utilização de pluviômetros é a medição precisa de chuvas de pequena duração pois, na prática, o máximo conseguido são precipitações de seis horas de duração, implicando em quatro leituras diárias. Com o objetivo de contornar essa limitação, faz-se a instalação de pluviômetros automáticos ou pluviógrafos, que são aparelhos capazes de registrar continuamente, de forma analógica ou digital, a precipitação local.

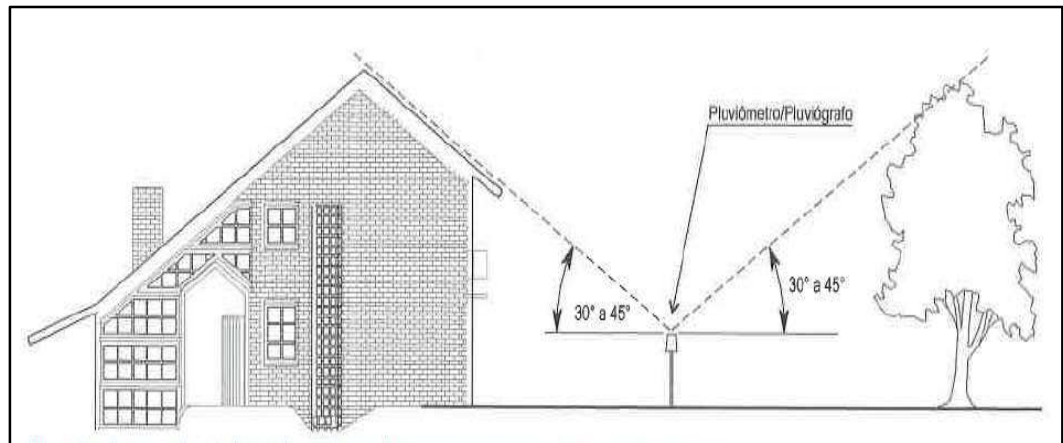
Mais especificamente, os pluviógrafos originalmente eram mecânicos, e utilizavam uma balança para pesar a água pluvial coletada, e um papel para registrar o total precipitado em função do tempo de forma analógica, porém, os pluviógrafos antigos, foram sendo substituídos, nos últimos anos, por pluviômetros automáticos digitais, que registram os dados em uma memória ou data logger. (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

O pluviômetro e o pluviógrafo têm, por princípio, a medição do volume de água precipitado em uma área unitária, sendo este em geral, representado por uma unidade de comprimento (altura), que representa a altura equivalente à cobertura de uma área com o volume precipitado, caso esse volume fosse distribuído uniformemente (TUCCI et al., 1995).

Collischonn e Dornelles (2013) recomendam que, idealmente, o aparelho de medição da chuva deve ser instalado a uma altura padrão de 1,50 m do solo e afastado de obstáculos, mantendo livre o espaço acima de um ângulo de 30° a 45° em relação ao horizonte, como indicado na Figura 4 - Recomendações de instalação do aparelho de medição da chuva com relação à presença de obstáculos.

As causas mais comuns de erros nas observações são: preenchimento errado do valor na caderneta de campo, soma errada do número de provetas (quando a precipitação é elevada), estimativa incorreta pelo observador (por não se encontrar no local no dia da amostragem), crescimento de vegetação ou determinada obstrução próxima ao posto de observação, danificação do aparelho, problemas mecânicos no registrador gráfico (no caso de pluviógrafos), transcrição incorreta da planilha do observador para o computador ou banco de dados etc (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Figura 4 – Recomendações de instalação do aparelho de medição da chuva com relação à presença de obstáculos



Fonte: Collischonn e Dornelles (2013)

### 2.1.6 Curvas de Intensidade - duração - frequência

A correlação entre a intensidade, duração e frequência das precipitações de determinado local do espaço geográfico é obtida a partir de registros de séries históricas sendo que, a curva IDF de determinado local, fornece a intensidade da chuva (em milímetros por hora ou milímetros por minuto) para determinada duração e período de retorno (IPH, 2005).

Em regiões não abrangidas por radares meteorológicos e redes telemétricas, é importante que, no mínimo, disponha-se de informações de precipitação máxima (obtidas por pluviômetros), e sua ocorrência identificada por meio de uma análise estatística, com as relações intensidade - duração - frequência (TUCCI et al., 1995).

A pesquisa das características das precipitações máximas pode ser realizada por meio da determinação de dados relativos - duração, intensidade pluviométrica e frequência de ocorrência destas sendo, a relação entre essas grandezas, denominada, de curvas de intensidade - duração - frequência (IDF), que podem ser utilizadas como artifício para transformar chuva em vazão (DAMAS et al., 2008).

Contudo, para a obtenção das curvas que correlacionam intensidade, duração e frequências das chuvas intensas é necessário, inicialmente, utilizar metodologias específicas. Têm-se, como exemplos, o Método da Desagregação (CETESB, 1980), Método das Isozonas desenvolvido por José Jaime Tabora Torrico (1974) e o Método de Bell, desenvolvido por Bertoni e Tucci (1993) e Righetto (1998).

As curvas de Intensidade - Duração - Frequência podem ser representadas por equações genéricas que possuem, geralmente, a configuração da equação 1 (SOUZA et al. 2012; CARDOSO et al. 2014; CAMPOS et al. 2017).

$$i = \frac{K}{T^a} \left( \frac{t}{b} \right)^c \quad (1)$$

Sendo:

i = intensidade estimada (em milímetros por hora);

T = período de retorno (em anos);

t = duração da chuva (em minutos);

K, a, b e c = parâmetros empíricos ajustados para cada localidade.

### 2.1.7 Escoamento Superficial

O escoamento superficial é o processo no ciclo hidrológico que está ligado ao deslocamento da água sobre a superfície do solo, sendo fundamental para o projeto de obras hidráulicas e principalmente de drenagem. As obras são dimensionadas com o objetivo de suportar as vazões decorrentes desse escoamento para determinado evento de precipitação (MALTA, 2017).

Quanto maior for a intensidade pluviométrica, mais rápida será alcançada a capacidade de infiltração do solo e, sendo assim, para intensidades constantes, há maior probabilidade de escoamento, quanto maior for a duração da chuva. Dentre os fatores fisiográficos, tem-se como parâmetros que devem ser considerados: topografia, área, forma, permeabilidade e a capacidade de infiltração da bacia hidrográfica (VILLELA; MATOS, 1975).

O estudo da infiltração e da dinâmica da água no solo são fundamentais nas análises orientadas a quantificar a geração de escoamento superficial, pois a água que infiltra no solo deixa de escoar superficialmente, portanto, a redução da infiltração resulta no aumento do escoamento superficial, podendo contribuir para aumentar a frequência e a intensidade das cheias (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Segundo Villela e Matos (1975), devido à influência da gravidade, tanto o escoamento superficial como o subterrâneo (Figura 1), são realizados em direção a cotas mais

baixas e podem, eventualmente, ser descarregados nos oceanos. Contudo, quantidades consideráveis da água transportada retornam à atmosfera por evapotranspiração antes de atingirem os oceanos.

#### 2.1.7.1 Coeficiente de deflúvio

Segundo Garcez e Alvarez (1988), o coeficiente de deflúvio, também conhecido como `run-off` ou coeficiente de escoamento superficial, é a relação entre a quantidade total escoada pela seção e quantidade total de água precipitada na bacia contribuinte.

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), se uma chuva com determinada intensidade pluviométrica atingir um solo com capacidade de infiltração inferior à intensidade da chuva, o excesso se transforma em escoamento superficial. Este processo de geração de escoamento por excesso de chuva em relação à capacidade de infiltração é conhecido como processo de Hortoniano, pois foi reconhecido por Horton (1933).

Em algumas situações é conveniente obter o coeficiente de deflúvio de uma bacia hidrográfica pela média ponderada dos coeficientes das diferentes superfícies (DNIT, 2005). A equação para o cálculo do coeficiente de deflúvio pela média ponderada é a equação 2.

$$C_{\text{deflúvio}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2)$$

Sendo:

$C_i$  = coeficientes de escoamento superficial para as respectivas áreas  $i$ ;

$A_i$  = áreas  $i$  que possuem o respectivo coeficiente de escoamento superficial  $i$ ;

$C_{\text{deflúvio}}$  = coeficiente de escoamento superficial obtido pela média ponderada.

#### 2.1.7.2 Tempo de concentração

De acordo com Jabry (2015), o tempo de concentração é definido pelo intervalo de tempo entre o início da precipitação e o instante em que toda a bacia contribui para a vazão na seção estudada.



O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é definido como o tempo de percurso em que o deflúvio leva para atingir o curso principal desde os pontos mais longínquos até o local onde se deseja definir a descarga, ou seja, o exutório (DNIT, 2005).

A magnitude da enchente numa bacia hidrográfica influencia o tempo de concentração, pois a onda da enchente se propaga com maior velocidade num rio mais cheio, com maior profundidade, embora esse efeito não seja considerado devido à ausência de dados confiáveis. Logo, a avaliação do tempo de concentração de uma bacia é bastante complexo e, devido aos inúmeros condicionantes, há uma influência significativa no resultado da descarga de projeto (DNIT, 2005).

Ainda segundo o Manual de Hidrologia Básica, existem numerosas fórmulas empíricas para o cálculo do tempo de concentração em função do comprimento do curso principal, desnível total até as cabeceiras e, eventualmente, da área total da bacia hidrográfica, as quais estão esquematizadas a seguir (DNIT, 2005).

#### 2.1.7.2.1 Fórmula de Kirpich

$$T_c = 0,019 L^0,385 H^0,177 \quad (3)$$

Sendo:

$T_c$  = tempo de concentração, em horas;

$L$  = comprimento do curso d'água, em quilômetros;

$H$  = desnível máximo, em metros.

#### 2.1.7.2.2 Fórmula de Kirpich modificada

Estudos de bacias médias e grandes, com dados de enchentes observadas, demonstraram que a aplicação do hidrograma unitário triangular do US. Soil Conservation Service fornecem dados pertinentes às observações, se forem adotados tempos de concentração 50% maiores aos calculados pela equação 3. A fórmula de Kirpich modificada está esquematizada na equação 4.

$$T_c = 0,019 L^0,385 H^0,177 \quad (4)$$

### 2.1.7.2.3 Fórmula do DNOS

$$T_c = \frac{0,0149 \cdot A^{0,77} \cdot L^{1,49} \cdot S^{-0,17} \cdot K}{V} \quad (5)$$

Sendo:

$T_c$  = tempo de concentração, em minutos;

$A$  = área da bacia, em hectares;

$L$  = comprimento do curso principal, em metros;

$S$  = declividade do curso principal, em %;

$K$  = coeficiente que depende das características da bacia, conforme descrito em seguida.

- Terreno areno-argiloso, coberto de vegetação intensa, elevada absorção  $K = 2,0$
- Terreno comum, coberto de vegetação, absorção aprecivel .....  $K = 3,0$
- Terreno argiloso, coberto de vegetação, absorção média .....  $K = 4,0$
- Terreno argiloso de vegetação média, pouca absorção .....  $K = 4,5$
- Terreno com rocha, escassa vegetação, baixa absorção .....  $K = 5,0$
- Terreno rochoso, vegetação rala, reduzida absorção .....  $K = 5,5$

### 2.1.7.2.4 Método cinemático

A estimativa do tempo de concentração pelo método cinemático consiste em identificar os sub-trechos ao longo da drenagem principal, em que a velocidade da água seja considerada constante e, por seguinte, somar o tempo de deslocamento da água ao longo dos sub-trechos, conforme esquematizado na equação 6 (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

$$T_c = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} \quad (6)$$

Em que:

$T_c$  = tempo de concentração, em minutos;

$N$  = número de sub-trechos;

$l_i$  = comprimento do sub-trecho  $i$ , em quilômetros;

$v_i$  = velocidade da água ao longo do sub-trecho  $i$ , em metros por segundo.

### 2.1.8 Hidrogramas unitários sintéticos

O hidrograma unitário é definido como uma função de transferência usada para converter um hietograma de chuva excedente em um hidrograma de projeto, tomando como base a hipótese de que, se uma bacia ideal se comporta como um reservatório linear, há como demonstrar que chuvas efetivas de intensidades constantes e mesmas durações geram hidrogramas com tempos de pico e durações iguais (SHERMAN, 1932 apud CANHOLI, 2015).

Segundo Canholi (2015), os hidrogramas sintéticos são normalmente baseados em análises hidrológicas, apoiadas em dados obtidos em bacias devidamente instrumentadas, cujos resultados são extrapolados para uso mais generalizado. Há diversos métodos de cálculo para a obtenção dos hidrogramas unitários sintéticos, como por exemplo, método racional, racional corrigido, Ven Te Chow, SCS (Soil Conservation Service) e HUT (Hidrograma Unitário Triangular).

De acordo com o documento de análise de projetos elaborado pela CCR - Rodonorte (2012), os métodos de cálculo utilizados para projetos de drenagem em função da área da bacia hidrográfica para os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná estão esquematizados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Método de cálculo para o estado de São Paulo

Métodos de cálculo para projetos em São Paulo	
Área da Bacia Hidrográfica	Método de Cálculo
Área $\leq 2,0 \text{ km}^2$	Método Racional
$2,0 \text{ km}^2 < \text{Área} \leq 50,0 \text{ km}^2$	Hidrograma unitário SCS
Área $> 50,0 \text{ km}^2$	Estatístico Direto

Fonte: CCR - Rodonorte (2012)

Tabela 2 - Método de cálculo para o estado de Rio de Janeiro e Paraná

Métodos de cálculo para projetos em Rio de Janeiro e Paraná	
Área da Bacia Hidrográfica	Método de Cálculo
Área $\leq 4,0 \text{ km}^2$	Método Racional
$4,0 \text{ km}^2 < \text{Área} \leq 10,0 \text{ km}^2$	Método Racional corrigido
Área $> 10,0 \text{ km}^2$	Hidrograma unitário triangular

Fonte: CCR - Rodonorte (2012)

### 2.1.8.1 Método Racional

De acordo com Canholi (2015), a vazão de pico para uma dada duração de chuva excedente, igual ao tempo de concentração, é calculada de acordo com a equação 7.

$$Q_{pico} = \frac{C \cdot I \cdot A}{3.6} \quad (7)$$

Sendo:

$Q_{pico}$  = vazão de pico, em m<sup>3</sup>/s;

C = coeficiente de deflúvio;

I = precipitação média, em mm/h;

A = área de drenagem superficial, em km<sup>2</sup>

No método racional admite-se que a precipitação sobre a área da bacia é constante e uniformemente distribuída sobre a superfície da bacia e, para considerar que todos os pontos da bacia contribuem na formação de deflúvio é estabelecido que a duração da chuva deve ser igual ou superior ao tempo de concentração e, como a intensidade pluviométrica é inversamente proporcional ao tempo de duração da chuva, a descarga máxima resulta de uma chuva com duração igual ao tempo de concentração da bacia (DNIT, 2005).

### 2.1.8.2 Método racional corrigido

Ainda segundo o Manual de Hidrologia Básica, para bacias maiores torna-se necessário corrigir as precipitações através do fator de redução, ou coeficiente de distribuição, para área, uma vez que a distribuição na superfície da bacia não é uniformemente distribuída (DNIT, 2005).

O coeficiente de distribuição que é normalmente utilizado em projetos rodoviários é dado pela equação 8.

$$n = \frac{A}{A_{ref}} \quad (8)$$

Sendo:

n = coeficiente de distribuição;

A = área da bacia, em km<sup>2</sup>

No caso de obras urbanas, utiliza-se o coeficiente de redução definido por Burkli-Ziegler, sendo dado pela equação 9.

$$C_{BZ} = \frac{1}{1 + 0,01 A} \quad (9)$$

Sendo:

A = Área da bacia, em ha.

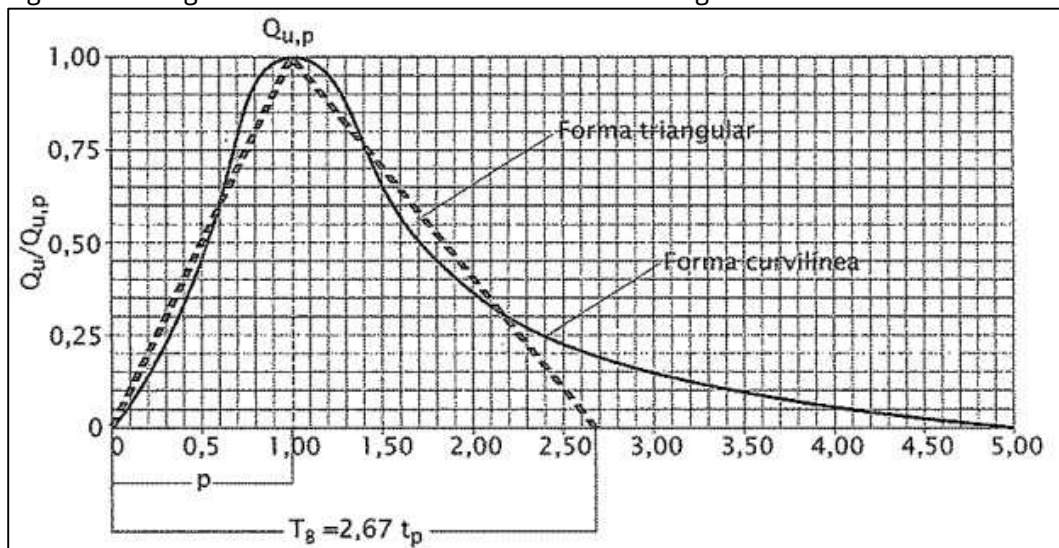
### 2.1.8.3 Método do SCS (Soil Conservation Service)

O método do SCS (Soil Conservation Service) especifica um hidrograma unitário adimensional, sendo desenvolvido por Victor Mockus (SCS, 1985).

Existem três princípios gerais do hidrograma unitário: princípio da proporcionalidade, definindo que as vazões geradas são diretamente proporcionais à intensidade pluviométrica que os gerou; superposição, admitindo que a resposta de duas chuvas unitárias sucessivas pode ser obtida somando-se dois hidrogramas unitários deslocados no tempo; constância do tempo de base, que define os escoamentos superficiais gerados a partir de precipitações de intensidade diferente, mas com mesma duração (MALTA, 2017).

Segundo Canholi (2015), a forma do hidrograma unitário representa a média de um grande número de hidrogramas unitários de bacias de diferentes características. Na Figura 5, apresenta-se a vazão por centímetro de chuva excedente ( $m^3/s.cm$ ); a vazão de pico por centímetro de chuva excedente ( $m^3/s.cm$ ); e o tempo de ocorrência do pico (h).

Figura 5 - Hidrograma adimensional do SCS - curvilíneo e triangular



Fonte: Canholi (2015)

Ainda de acordo com Canholi (2015), h<sup>o</sup> como utilizar o hidrograma unit<sup>o</sup> adimensional em um hidrograma unit<sup>o</sup> para uma dura<sup>o</sup> desejada desde que t<sub>o</sub> e t<sub>o</sub> sejam conhecidos e, o hidrograma total de um dado evento por ser desenvolvido por meio da soma dos hidrogramas parciais obtidos para cada bloco de chuva excedente (correspondente a cada intervalo de tempo Δt), obtendo-se assim o hidrograma final para dada precipita<sup>o</sup>.

O tempo de ocorr<sup>o</sup>ncia da vaz<sup>o</sup> de pico e t<sub>o</sub> e a vaz<sup>o</sup> de pico Q<sub>o</sub> s<sup>o</sup> calculados pelas equa<sup>o</sup>es 10, 11 e 12.

$$Q_o = \frac{Q_u \cdot t_o}{t_r} \quad (10)$$

$$t_o = t_r \cdot \sqrt{t_e} \quad (11)$$

$$Q_u = \frac{Q_p \cdot A}{t_r} \quad (12)$$

Sendo:

t<sub>o</sub> = tempo de ocorr<sup>o</sup>ncia de pico (h);

t<sub>e</sub> = dura<sup>o</sup> da precipita<sup>o</sup> excedente (h);

t<sub>r</sub> = tempo de resposta da bacia (h);

t<sub>p</sub> = tempo de concentra<sup>o</sup> da bacia (h);

A = rea de drenagem (km<sup>2</sup>).

O m<sup>o</sup>todo do SCS foi desenvolvido somente para t<sub>e</sub> = 0,2t<sub>r</sub> ou t<sub>e</sub> = 0,133t<sub>r</sub>. Contudo, em termos pr<sup>o</sup>cticos, admite-se a sua validade para t<sub>e</sub> > 0,25t<sub>r</sub> ou t<sub>e</sub> > 0,17t<sub>r</sub> (AKAN, 2003; U.S. DEPARTMENT OF INTERIOR - BUREAU OF RECLAMATION, 1987 apud CANHOLI, 2015).

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), a equa<sup>o</sup> de balan<sup>o</sup> h<sup>o</sup>drico na superf<sup>o</sup>cie do solo, na forma adotada pelo m<sup>o</sup>todo SCS-CN <sup>o</sup>a equa<sup>o</sup> 13.

$$P = \frac{P_{max}}{1 + \frac{P_{max}}{S}} \quad (13)$$

Sendo:

P = precipita<sup>o</sup> ocorrida ao longo de um evento de chuva (mm);

$P_e$  = chuva efetiva ou escoamento superficial ao longo do evento (mm);

$F$  = infiltração acumulada ao longo do evento da chuva (mm);

$I_a$  = perdas iniciais, que incluem o acúmulo de água na superfície, interceptação e infiltração no solo antes do início da geração de escoamento superficial (mm).

A primeira hipótese considerada para o desenvolvimento do modelo SCS-CN é que a razão entre o escoamento superficial e o escoamento máximo potencial (diferença entre a precipitação ocorrida e as perdas iniciais) é igual à razão entre a infiltração acumulada ao longo do evento da chuva e a máxima infiltração acumulada potencial, sendo esquematizada pela equação 14.

$$\frac{P_e}{P - I_a} = \frac{F}{S} \quad (14)$$

Sendo:

$S$  = máxima infiltração acumulada potencial (mm).

A segunda hipótese do método SCS-CN é que as perdas iniciais sejam iguais a 20% da máxima infiltração acumulada.

A combinação das considerações propostas pelas duas hipóteses do método SCS-CN com a equação 14 permite estimar a precipitação efetiva do escoamento superficial a partir de dados de vazão e de características da bacia hidrográfica (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013), estando esquematizado na equação 15.

$$P_e = \frac{P - I_a}{1 + \frac{F}{S}} \quad (15)$$

O valor da máxima infiltração acumulada potencial foi analisado experimentalmente em diversas bacias rurais nos Estados Unidos na década de 1950 (HAWKINS et al., 2009 apud COLLISCHONN; DORNELLES, 2013) e foi relacionado a um parâmetro denominado CN, estando esquematizado na equação 16.

$$S = \frac{25.4}{CN} \quad (16)$$

Sendo:

CN = parâmetro adimensional que varia de acordo com o tipo e a ocupação do solo.

A escolha do número CN é baseada na cobertura vegetal do local, condição de retenção superficial e grupo hidrológico do solo. Na Tabela 3 há a esquematização dos valores de CN, conforme o Manual de Hidrologia do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2005).

Tabela 3 - Número de Curva (CN) para diferentes condições do complexo hidrológico

Solo - Cobertura Vegetal					
Para Condição de Umidade Antecedente II (Média) e $I_a = 0,2 S$					
Cobertura Vegetal	Condição de Retenção Superficial	Grupo Hidrológico do Solo			
		A	B	C	D
Terreno não Cultivado com Pouca Vegetação	Pobre	77	86	91	94
	Boa	72	81	88	91
Terreno Cultivado	Pobre	51	67	76	80
	Boa	68	79	86	89
Pasto	Pobre	39	61	74	80
	Boa	45	66	77	83
Mata ou Bosque	Pobre	25	55	70	77
	Boa	74	80	87	90
Área Urbana	Pobre	70	76	83	86
	Boa				

Fonte: DNIT (2005)

Segundo o DNIT (2005), os quatro grupos hidrológicos do solo são relacionados com a permeabilidade relativa das camadas inferiores, após um período prolongado de chuvas intensas, conforme descrito a seguir.

Grupo A - Há potencialidade mínima para formação de deflúvio superficial. Nesse grupo incluem-se areias em camadas espessas com muito pouco silte e argila, incluindo também loess profundo muito permeável.

Grupo B - Nesse grupo incluem-se principalmente solos arenosos menos espessos que no Grupo A e loess menos profundo ou menos agregado que no Grupo A, contudo, apresentam infiltração acima da média, após intenso umedecimento prévio.

Grupo C - Nesse grupo compreende solos pouco profundos e solos contendo bastante argila e colóides, no entanto, menos que no Grupo D. Nesse grupo, há presença de infiltração abaixo da média, após pré-saturação.

Grupo D - Apresentam potencial máximo para a formação do deflúvio superficial incluindo, em sua maioria, argilas com alto teor de expansão, solos pouco profundos, com sub-



horizontes quase permeáveis, próximos da superfície. Nesse grupo enquadram-se também qualquer tipo de solo em terreno plano, com fraca rede de drenagem.

As precipitações de várias durações, definidas pelas análises estatísticas das observações num posto pluviográfico, não podem ser utilizadas diretamente no estudo de uma bacia hidrográfica, pois a precipitação média sobre uma área com certa extensão é menor do que a de um ponto isolado (DNIT, 2005).

Com isso, há a possibilidade de utilizar coeficientes de minoração para bacias hidrográficas maiores que correlacionam a precipitação média sobre a área e a precipitação de um ponto (DNIT, 2005). O fator de área está esquematizado na equação 17, sendo utilizado para bacias com áreas superiores a 25 km<sup>2</sup>.

$$K_a = \frac{A}{25} \quad (17)$$

Sendo:

$K_a$  = fator de área;

A = área da bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>.

Logo, substituindo-se as equações 17 e 16 na equação 15, obtêm-se a equação 18, que relaciona a precipitação efetiva em função da precipitação medida pelo aparelho, área, tipo e ocupação do solo para uma bacia hidrográfica com área superior a 25 km<sup>2</sup>.

$$P_e = \frac{P_m \cdot K_a \cdot K_s \cdot K_{oc}}{K_a \cdot K_s \cdot K_{oc}} \quad (18)$$

Caso a área da bacia hidrográfica seja menor que 25 km<sup>2</sup>, o fator de área é considerado igual a 1 e, conseqüentemente, a precipitação efetiva pode ser calculada pela equação 19.

$$P_e = \frac{P_m \cdot K_s \cdot K_{oc}}{K_s \cdot K_{oc}} \quad (19)$$

### 2.1.9 Método da Desagregação

A desagregação do total precipitado, máxima de 24 horas de duração em totais de precipitação para durações menores, é usualmente efetuada utilizada pelos coeficientes de

desagrega<sup>2</sup>o de chuvas desenvolvido por CETESB (1980). A utiliza<sup>2</sup>o desses coeficientes  $\phi$  uma pr<sup>2</sup>tica normalmente adotada para desenvolver e, por seguinte, estabelecer as rela<sup>2</sup>es de intensidade, dura<sup>2</sup>o e frequ<sup>2</sup>ncia em locais do espa<sup>2</sup>o geogr<sup>2</sup>fico que s<sup>2</sup>o monitorados somente com pluvi<sup>2</sup>metros convencionais (BERTONI; TUCCI, 1993).

Na Tabela 4 est<sup>2</sup>o esquematizados os coeficientes de desagrega<sup>2</sup>o desenvolvidos por CETESB (1980), que foram obtidos a partir de estudos de chuvas intensas do engenheiro Otto Pfafstetter (1957).

Tabela 4 - Coeficientes de desagrega<sup>2</sup>o da chuva

Intervalo de transforma <sup>2</sup> o	Coeficientes de desagrega <sup>2</sup> o
1 dia/24 h	1,14
24h/720 minutos	0,85
24h/600 minutos	0,82
24h/480 minutos	0,78
24h/360 minutos	0,72
24h/180 minutos	0,54
24h/120 minutos	0,48
24h/60 minutos	0,42
60 minutos/30 minutos	0,74
30 minutos/25 minutos	0,91
30 minutos/20 minutos	0,81
30 minutos/15 minutos	0,70
30 minutos/10 minutos	0,54
30 minutos/5 minutos	0,34

Fonte: CETESB (1980).

Nas s<sup>2</sup>ries hist<sup>2</sup>ricas monitoradas por pluvi<sup>2</sup>metros convencionais os dados s<sup>2</sup>o disponibilizados em fun<sup>2</sup>o da l<sup>2</sup>mina de  $\phi$ gua di<sup>2</sup>ria precipitada, sendo necess<sup>2</sup>rio converter esses valores, inicialmente, em precipita<sup>2</sup>o para dura<sup>2</sup>o de 24 horas pois, h<sup>2</sup>uma majora<sup>2</sup>o de 1,14 para compensar os poss<sup>2</sup>veis intervalos nas precipita<sup>2</sup>es no respectivo dia e, por seguinte, nas demais dura<sup>2</sup>es seguindo um efeito cascata (CETESB, 1980).

#### 2.1.10 M<sup>2</sup>todo das Isozonas

O m<sup>2</sup>todo das Isozonas  $\phi$  baseado em uma s<sup>2</sup>rie de observa<sup>2</sup>es realizadas pelo engenheiro Jos<sup>2</sup> J Jaime Taborga Torrico que, ao esquematizar no papel de probabilidades de Hershfield e Wilson chuvas de 1 hora e 24 horas de precipita<sup>2</sup>o, constatou que havia uma tend<sup>2</sup>ncia das semirretas, que correlacionavam altura de chuva precipitada e dura<sup>2</sup>o, interceptarem, ao serem prolongadas, um ponto em comum no eixo das abcissas para cada

região que apresentava essa característica, sendo classificada como uma Isozona (TORRICO, 1974).

Segundo a Figura 6, no mapa do Brasil há oito isozonas: A, B, C, D, E, F, G e H, que são caracterizadas por Torrico (1974), estando os coeficientes de intensidade esquematizados na Tabela 5 - Relação percentual entre as precipitações de 24 horas e as de 1 hora e 6 minutos.

Isozona A: zona de maior precipitação anual média do Brasil, com os menores coeficientes de intensidade pluviométrica;

Isozona B e C: zonas de influência marítima, com os coeficientes de intensidade pluviométrica suaves;

Isozona D: são as zonas de transição entre as marítimas e continentais, sendo caracterizada por ser a zona de influência do rio Amazonas;

Isozonas E e F: zona continental e noroeste, com elevados coeficientes de intensidade pluviométrica;

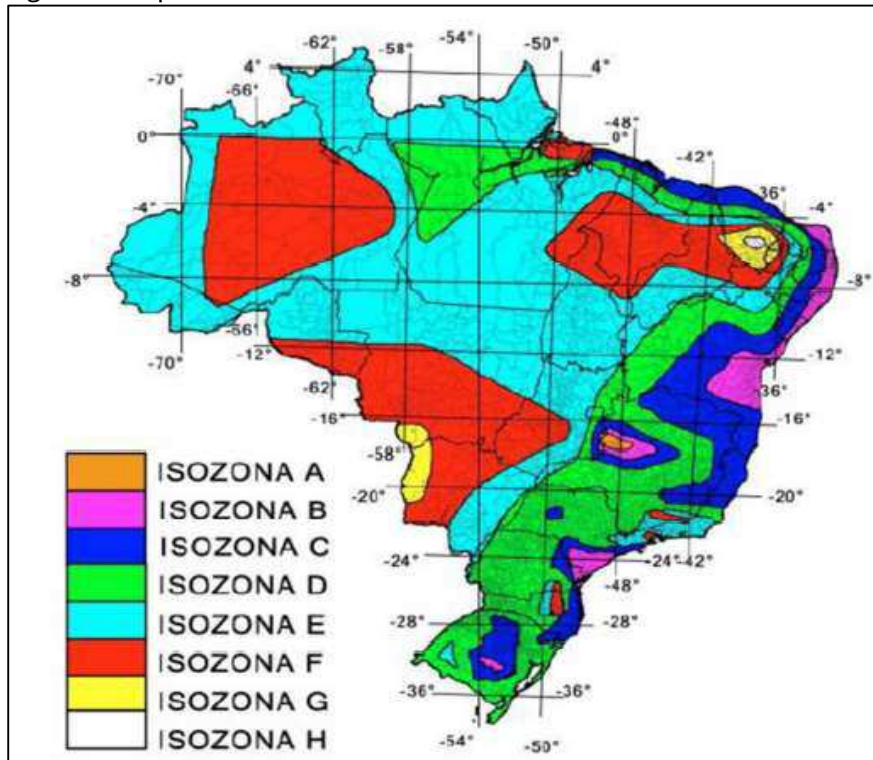
Isozonas G e H: zonas da Caatinga nordestina, caracterizam-se por possuir os maiores coeficientes de intensidade pluviométrica.

Tabela 5 - Relação percentual entre as precipitações de 24 horas e as de 1 hora e 6 minutos

ISOZONA	Período de Retorno em anos											
	1 hora / 24 horas										6 min/24h	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5-50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35,0	34,7	33,6	32,5	7,0	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	37,2	36,9	36,6	35,4	34,3	8,0	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,8	38,4	37,2	36,0	9,8	8,8
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,9	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,6	48,6	48,3	47,8	46,3	44,8	16,7	14,9

Fonte: Adaptado de Torrico (1974)

Figura 6 - Mapa das Isozonas no Brasil



Fonte: adaptado de Torrico (1974)

### 2.1.11 Método de Bell

No método de Bell há uma estimativa da altura da lâmina de água produzida por uma chuva em função de sua duração e frequência, para chuvas de duração entre 5 e 120 minutos e para períodos de retorno entre 2 e 100 anos, a partir de uma chuva padrão de 60 minutos de duração e com período de retorno igual a 2 anos, conforme a equação 20, desenvolvida por Bell (1969).

$$h = \left( \frac{t}{60} \right)^{0.2} \left( \frac{T}{2} \right)^{0.7} \quad (20)$$

Sendo:

$h$ : altura da lâmina de água produzida por uma chuva de duração  $t$  e período de retorno  $T$ , em milímetros;

$a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$ : parâmetros regionais;

$T$ : período de retorno, em anos;

$t$ : duração da chuva, em minutos;

precipitação padrão com duração de 60 minutos e período de retorno igual a 2 anos, em milímetros.

De acordo com Righetto (1998), para se obter a precipitação padrão com duração de 60 minutos e período de retorno igual a 2 anos, multiplica-se a precipitação máxima estimada pela distribuição de Gumbel (máximos) com duração de 1 dia e período de retorno pelo fator de 0,51.

Ainda de acordo com Righetto (1998), pela análise de uma série de estações pluviométricas disponíveis no território brasileiro, tem-se a equação 21, proposta por Bell (1969).

$$P_{2,60} = 0,51 \cdot P_{1,24} \cdot \left( \frac{1}{1 - \frac{1}{2,32} \left( \frac{1}{2,32} - 1 \right)^{2,32}} \right)^{2,32} \quad (21)$$

Sendo:

precipitação diária máxima estimada pela distribuição Gumbel (máximos) com período de retorno de 2 anos.

## 2.2 Estatística aplicada – Hidrologia

De acordo com Collischonn e Dornelles (2013), as variáveis hidrológicas têm como característica básica a grande variabilidade temporal, sendo uma das questões mais importantes no estudo da hidrologia a estimativa da probabilidade de ocorrer o evento hidrológico analisado em determinada magnitude no futuro, tomando como base a análise de séries históricas.

A maioria dos processos hidrológicos são considerados estocásticos, ou seja, são explicados por leis probabilísticas, pois contém componentes aleatórios que se superpõem a regularidades explícitas. Logo, em determinado local do espaço geográfico, são considerados processos hidrológicos estocásticos a precipitação, escoamentos superficiais, concentrações de oxigênio dissolvido, conformidades do leito fluvial, temperatura da água etc (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Ainda segundo Naghettini e Pinto (2007), em se tratando de séries hidrológicas, com amostras típicas de tamanho bastante limitado, as estatísticas descritivas mais frequentemente utilizadas, e consideradas representativas da forma do polígono de frequências, são a média, desvio padrão e coeficiente de assimetria.

## 2.2.1 Análise exploratória de dados hidrológicos

É fundamental a análise exploratória dos dados pluviométricos anteriormente analisados estatística mais profunda, identificando padrões no espaço amostral por meio da utilização de tabelas e gráficos (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Há um apanhado não exaustivo de diferentes tipos de gráficos de variáveis hidrológicas discretas e contínuas, como por exemplo, diagrama de linha, diagrama uniaxial de pontos, histograma, polígono de frequências, diagrama de frequências relativas acumuladas, curva de permanência etc (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

### 2.2.1.1 Histograma

O histograma é um gráfico que permite a visualização de tabelas de frequências relativas e absolutas de forma mais rápida, utilizando barras verticais para representar as respectivas frequências (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

O histograma de frequências é uma sequência de retângulos adjacentes, os quais possuem como base a própria amplitude da classe (eixo das abscissas) e como altura as respectivas frequências relativas ou absolutas (eixo das ordenadas).

O número de classes em que deve ser dividida determinada amostra é arbitrário. Contudo, há como alternativa a regra de Sturges (1926), que sugere a aproximação para o número de classes esquematizada na equação 22.

$$NC = 1 + 3,322 \log N \quad (22)$$

Sendo:

NC = número de classes;

N = número de elementos do espaço amostral.

A amplitude de cada classe é calculada por meio da relação entre a amplitude total da amostra (diferença entre a maior e menor variável aleatória) e o número total de classes, por meio da equação 23.

$$A = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{NC} \quad (23)$$

Sendo:

$c$  = amplitude de cada classe;

$x_{(n)}$  = maior variável aleatória do espaço amostral;

$x_{(1)}$  = menor variável aleatória do espaço amostral.

### 2.2.1.2 Polígono de frequências

Segundo Naghettini e Pinto (2007), o polígono de frequências é uma representação gráfica da tabela de frequências, sendo formado pela junção dos pontos médios dos topos dos retângulos do histograma. O polígono de frequências deve ter área igual à do histograma e ordenadas inicial e final nulas.

### 2.2.2 Estatísticas descritivas

#### 2.2.2.1 Medidas de tendência central

As variáveis hidrológicas, na maioria dos casos, se aglomeram em torno de um valor central. O valor central representativo da amostra pode ser calculado adotando-se medidas de tendência central ou medidas de posição, como por exemplo, a média aritmética, moda e mediana (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

##### 2.2.2.1.1 Média

Segundo Meyer (1970), se uma amostra de tamanho  $N$  é constituída pelos elementos  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , a média aritmética de  $X$  é dada pela equação 24.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (24)$$

Se, das  $N$  observações da variável  $X$ ,  $k$  forem iguais a  $x_k$  e  $(n-k)$  forem iguais a  $x_{(k)}$ , assim por diante até o  $k$ -ésimo valor da amostra, então a média de  $X$  pode ser obtida pela equação 25.

$$f_{ij} = \frac{f_{ij}}{n} \quad (25)$$

Analogamente, se  $f_{ij}$  denotar a frequência relativa de determinada observação  $i$  o  $j$  a equação pode ser reescrita de acordo com a equação 26.

$$f_{ij} = \frac{f_{ij}}{n} \quad (26)$$

### 2.2.2.1.2 Mediana

Segundo Naghettini e Pinto (2007), a média aritmética de uma amostra, por levar em conta todos os elementos desta, apresenta a desvantagem de ter seu valor afetado pela presença de pontos atípicos. A mediana é uma medida de posição mais resistente que a média aritmética, por ser imune à eventual presença de valores extremos discordantes na amostra (outlier).

A mediana é definida como o valor da variável  $X$  que separa a frequência total em duas metades iguais. Se as observações amostrais são ordenadas em ordem crescente, a mediana pode ser calculada pelas equações 27 e 28.

$$f_{ij} = \frac{f_{ij}}{n} \quad (27)$$

$$f_{ij} = \frac{f_{ij}}{n} \quad (28)$$

### 2.2.2.1.3 Moda

A moda é o valor da amostra que ocorre com maior frequência, sendo obtido geralmente a partir do polígono de frequências relativas (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

### 2.2.2.2 Medidas de Dispersão

As medidas de dispersão medem o grau de variabilidade de pontos em torno do valor central de uma amostra. As principais medidas de dispersão que têm como base o desvio



média de todos os pontos amostrais em relação a um valor central representativo  $s^2$ : desvio médio absoluto e desvio padrão (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

2.2.2.2.1 Desvio Médio Absoluto

O desvio médio absoluto, denotado por  $d$ , representa a média aritmética dos valores absolutos dos desvios amostrais, em relação à média. Para uma determinada amostra de tamanho  $N$  constituída pelos elementos  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$   $d$  pode ser calculado pela equação 29.

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}| \tag{29}$$

2.2.2.2.2 Variância e Desvio Padrão

De acordo com Meyer (1970), uma prática nas medidas de dispersão é elevar ao quadrado os desvios em relação à média. Para uma amostra de tamanho  $N$  constituída pelos elementos  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , define-se a variância amostral, denotada por  $s_d^2$  como o desvio quadrático médio, dado pela equação 30.

$$s_d^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \tag{30}$$

A variância populacional, denotada por  $\Delta$  pode ser estimada sem vies por meio da seguinte correção da equação 31.

$$\Delta = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \tag{31}$$

Segundo Naghettini e Pinto (2007), a variância é expressa em termos do quadrado das dimensões da variável original. Logo, para conservar as unidades da variável analisada, define-se o desvio padrão  $s$  como a raiz quadrada do desvio quadrático médio, ou seja, a raiz quadrada da variância  $s_d^2$  sendo definido pela equação 32.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{32}$$

A expansão do segundo membro da equação 32 é útil pois facilita o cálculo do desvio padrão por meio da expressão 33.

$$\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot s^3} \quad (33)$$

### 2.2.2.3 Medidas de Assimetria e Curtose

#### 2.2.2.3.1 Coeficiente de Assimetria

Para uma amostra de tamanho N constituída pelos elementos { $x_1, x_2, \dots, x_n$ }, define-se o coeficiente de assimetria g pelo número adimensional dado pela equação 34.

$$g = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \cdot s^3} \quad (34)$$

Na equação 34, o coeficiente de assimetria g reflete e acentua a contribuição acumulada dos desvios positivos e negativos, em relação à média amostral. Desvios positivos ou negativos muito grandes, quando elevados a terceira potência, serão mais acentuados; a predominância, ou a equivalência, desses desvios, quando somados, irão determinar se o coeficiente de assimetria será positivo, negativo ou nulo (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Ainda segundo Naghettini e Pinto (2007), as séries históricas referentes a eventos máximos, em geral, possuem coeficientes de assimetria positivos.

#### 2.2.2.3.2 Coeficiente de Curtose

Segundo Meyer (1970), uma medida de quão pontiagudo ou achatado é determinado histograma ou polígono de frequências em torno da média amostral, pode ser calculada pelo coeficiente de curtose. O coeficiente de curtose k é definido pela equação 35.

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n \cdot s^4} \quad (35)$$

### 2.2.3 Variáveis aleatórias

A variável aleatória é uma função  $X$  que associa um valor numérico a cada resultado de determinado experimento. Embora diferentes resultados do experimento possam compartilhar o mesmo valor associado a  $X$ , há somente um único valor numérico da variável aleatória, associado a cada resultado (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

A variável aleatória  $X$  é classificada como discreta se assumir apenas valores numéricos inteiros e, também, estar associada a um espaço amostral finito e enumerável. Caso a variável aleatória seja discreta, denomina-se  $p_X(x)$  como função massa de probabilidade (FMP), que indica com que probabilidade a variável aleatória  $X$  assume o valor do argumento  $x$ . Por outro lado, a variável  $P_X(x)$  denota a função acumulada de probabilidade (FAP), indicando com que probabilidade a variável  $X$  é menor ou igual ao argumento  $x$  (MEYER, 1970). De modo simplificado, as duas funções são relacionadas pela equação 36.

$$P_X(x) = \sum_{x_i \leq x} p_X(x_i) \quad (36)$$

Contudo, se a variável aleatória  $X$  pode assumir qualquer valor real, ela é do tipo contínuo e, nesse caso, a função equivalente à função massa de probabilidade (FPM) é denominada função densidade de probabilidade (FDP). A função densidade de probabilidade, denotada por  $f_X(x)$  representa o caso limite de um polígono de frequências para uma amostra de tamanho infinito (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Para a função densidade de probabilidade, a área entre dois limites  $a$  e  $b$  (sendo  $b$  maior que  $a$ ), no eixo dos argumentos da variável aleatória, dá a probabilidade da variável aleatória  $X$  estar compreendida no intervalo. Logo, para a FDP  $f(x)$  tem-se a equação 37.

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx \quad (37)$$

Ainda segundo Naghettini e Pinto (2007), de modo análogo ao caso das variáveis aleatórias discretas, a função acumulada de probabilidade de uma variável aleatória contínua  $X$ , fornece a probabilidade de não superar o do argumento  $x$ , ou seja, a equação 38.

$$P_X(x) = \int_{-\infty}^x f(x) dx \quad (38)$$

As funções massa de probabilidade (equação 36), densidade de probabilidade (equação 37), assim como as funções acumuladas de probabilidade (equação 38), descrevem completamente o comportamento estatístico das variáveis aleatórias discretas e contínuas, respectivamente.

### 2.2.3.1 Distribuição de Gumbel (Máximos)

De acordo com Naghettini e Pinto (2007), a distribuição de Gumbel (máximos), também conhecida como distribuição de valores extremos do Tipo I, Fisher-Tippet tipo I ou dupla exponencial, é a distribuição extremal mais utilizada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, com aplicações na determinação de relações de intensidade - duração - frequência de precipitações intensas.

A função densidade de probabilidade da distribuição de Gumbel (Máximos) pode ser esquematizada de acordo com a equação 39.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{-2} \exp\left\{ -\left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{-1} \right\} \quad (39)$$

Sendo:

$\sigma$  = parâmetro de escala;

$\mu$  = parâmetro de posição, que também é a moda de X.

O valor esperado (média), a variância, e o coeficiente de assimetria de X são esquematizados, respectivamente, pelas equações 40, 41 e 42.

$$E(X) = \mu + \sigma \Gamma(2) \quad (40)$$

$$V(X) = \frac{\sigma^2}{6} \quad (41)$$

$$A_3(X) = \frac{1}{6} \quad (42)$$

A função de probabilidades acumuladas  $F_X(x)$  da distribuição Gumbel (máximos) é dada pela equação 43.

$$F_X(x) = 1 - \exp\left\{ -\left( \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{-1} \right\} \quad (43)$$

A função inversa da função de probabilidades acumuladas  $F(x)$ , ou função de quantis  $y(F(x))$  é expressa pela equação 44.

$$y(F(x)) = F^{-1}(x) \quad (44)$$

Sendo:

$T$  = período de retorno em anos;

$F(x)$  = função de probabilidade acumulada ou probabilidade de não ocorrência.

### 2.2.4 Análise de frequências utilizando o fator de frequência

Para permitir a extrapolação da análise dos eventos extremos para tempos de retorno  $T$  maiores é comum utilizar-se da análise frequencial por fatores de frequência.

De acordo com Chow (1964), uma variável hidrológica pode ser determinada pela equação 45 para a análise hidrológica de frequências.

$$Q_T = \bar{Q} + K \cdot s \quad (45)$$

Sendo:

$Q_T$  = estimativa de uma variável hidrológica associada a determinado tempo de retorno;

$\bar{Q}$  = média amostral;

$K$  = termo que depende da dispersão característica da distribuição hidrológica.

Ainda segundo Chow (1964), o termo que depende da dispersão característica da distribuição hidrológica pode ainda ser considerado igual ao produto do desvio padrão da amostra por um fator de frequência. Logo, a equação 45 pode ser reescrita como a equação 46.

$$Q_T = \bar{Q} + K \cdot s \cdot F_T \quad (46)$$

Sendo:

$F_T$  = fator de frequência;

$s$  = desvio padrão da amostra.

O fator de frequência proposto por Chow (1964) é aplicável a diversas distribuições probabilísticas utilizadas em análises hidrológicas de frequências e, para determinada distribuição probabilística, é possível determinar a relação entre o fator de frequência e respectivo período de retorno.

Estimando os parâmetros de posição e escala presentes na equação 39, respectivamente, por meio do método dos momentos, tem-se as equações 47 e 48.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (47)$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}}{n} \quad (48)$$

Substituindo os parâmetros de posição e escala em função da média amostral e desvio padrão na equação 46, tem-se a equação 49.

$$F(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n} \quad (49)$$

Logo, segundo a equação 49, o fator de frequência para a distribuição probabilística Gumbel (máximos) é calculada pela equação 50.

$$F(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n} \quad (50)$$

Contudo, de acordo com Kite (1977), o fator de forma da distribuição de Gumbel também pode ser calculada considerando o tamanho das amostras disponíveis com a estimativa dos quantis através da equação 51.

$$F(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (51)$$

Sendo:

$n$  = fator de frequência em função do tamanho da amostra.

O fator de frequências em função do tamanho da amostra pode ser obtido pela equação 52.

$$F(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (52)$$

Sendo:

$x$  = variável reduzida de Gumbel;

$\mu =$  média dos dados

$\sigma =$  desvio padrão.

A variável reduzida de Gumbel, associada ao período de retorno T, é calculada pela equação 53.

$$z = \frac{T - \mu}{\sigma} \quad (53)$$

O desvio padrão  $\sigma$  pode ser estimado pela equação 54:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n} \quad (54)$$

Os fatores de frequência calculados pela equação 50 correspondem aos resultados assintóticos, resultantes da utilização da equação 54, quando o tamanho da amostra tende para infinito.

### 2.2.4.1 Probabilidade e período de retorno de eventos extremos

Segundo Naghettini e Pinto (2007), o período de retorno T corresponde ao tempo médio necessário (em anos) para que determinado evento ocorra ou seja superado, em um ano qualquer, sendo igual ao inverso da probabilidade de excedência G(x), podendo ser representado pela equação 55.

$$T = \frac{1}{G(x)} \quad (55)$$

A probabilidade de excedência pode ser definida como a probabilidade de determinada variável aleatória X assumir um valor superior a determinado valor  $x$  ou seja:

$$G(x) = P(X > x) \quad (56)$$

A probabilidade de não excedência é igual a função acumulada de probabilidade (FAP), podendo ser definida como a probabilidade de determinada variável aleatória X assumir um valor inferior ou igual a determinado valor  $x$  ou seja:

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (57)$$

Existem várias equações para estimar a probabilidade empírica de ocorrência sendo que, tais equações são, frequentemente, denominadas de fórmulas de posição de plotagem (Naghettini e Pinto, 2007). Todavia, segundo Walter Collischonn e Fernando Dornelles (2013), a equação de Weibull é a mais generalizada, sendo preferencialmente utilizada nos Estados Unidos.

Para uma amostra com observações esquematizada em ordem crescente  $i$ , a equação de Weibull é descrita pela equação 58.

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k\right] \quad (58)$$

A equação de Weibull é esquematizada desta forma pois caso a probabilidade de ocorrência seja igual a relação entre o número da ordem da amostra e o número total de observações, implicaria que a probabilidade de a variável produzir um valor máximo maior do que o máximo amostral é nula sendo, daí a necessidade de utilizar-se equações de plotagem.

Logo, a equação 53, que demonstra variável reduzida de Gumbel, associada ao período de retorno  $T$ , pode ser esquematizada também pela equação 59.

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{x}{\lambda}\right)\right] \quad (59)$$

### 2.2.5 Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão consiste em um gráfico onde são lançados os pares de observações simultâneas das variáveis  $X$  e  $Y$  em coordenadas cartesianas (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

O grau de associação linear entre um conjunto de  $N$  pares de observações simultâneas de duas variáveis  $X$  e  $Y$  pode ser calculado pelo coeficiente amostral de correlação, que pode ser calculado pela equação 60.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (60)$$

O coeficiente da equação 60 satisfaz a desigualdade  $-1 \leq r \leq 1$ , em que, nos casos extremos, 1 ou  $-1$  para associações lineares perfeitas positivas e negativas, respectivamente, e 0, caso não tenha nenhuma associação.

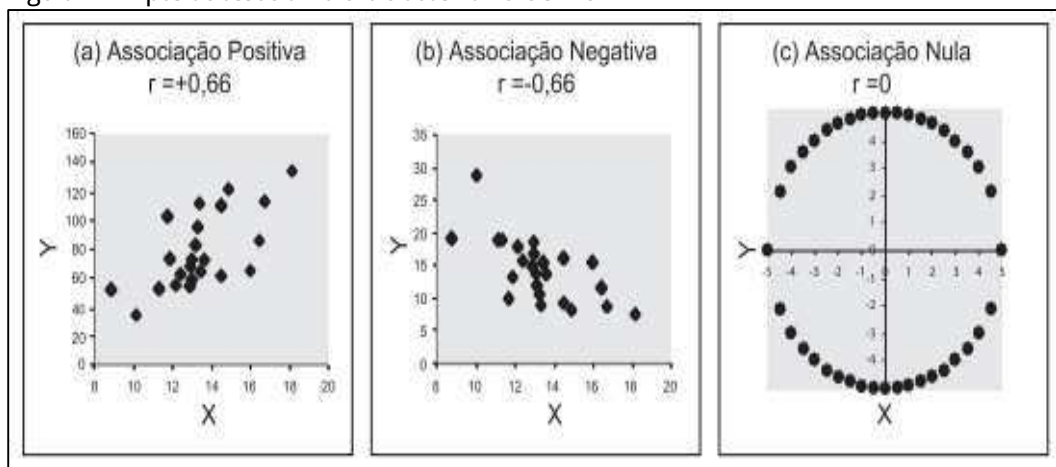


O coeficiente de determinação  $R^2$  está relacionado ao coeficiente de correlação linear através da equação 61.

$$R^2 = r^2 \tag{61}$$

Na Figura 7 está exemplificado três diagramas de dispersão com diferentes coeficientes amostrais de correlação linear. Na Figura 7 (a) e 7 (b) os coeficientes de correlação linear são positivo e negativo, respectivamente, enquanto que na Figura 7 (c) o coeficiente de correlação linear é nulo, demonstrando que a relação de dependência existe, mas não é linear.

Figura 7 - Tipos de associação entre duas variáveis X e Y



Fonte: Naghettini e Pinto (2007)

### 2.3 Drenagem de transposições de talvegues

A drenagem de uma rodovia deve eliminar a água que, sob qualquer forma, atinge o corpo estradal, captando-a e conduzindo-a para locais em que menos afete a segurança e durabilidade da via (DNIT, 2006).

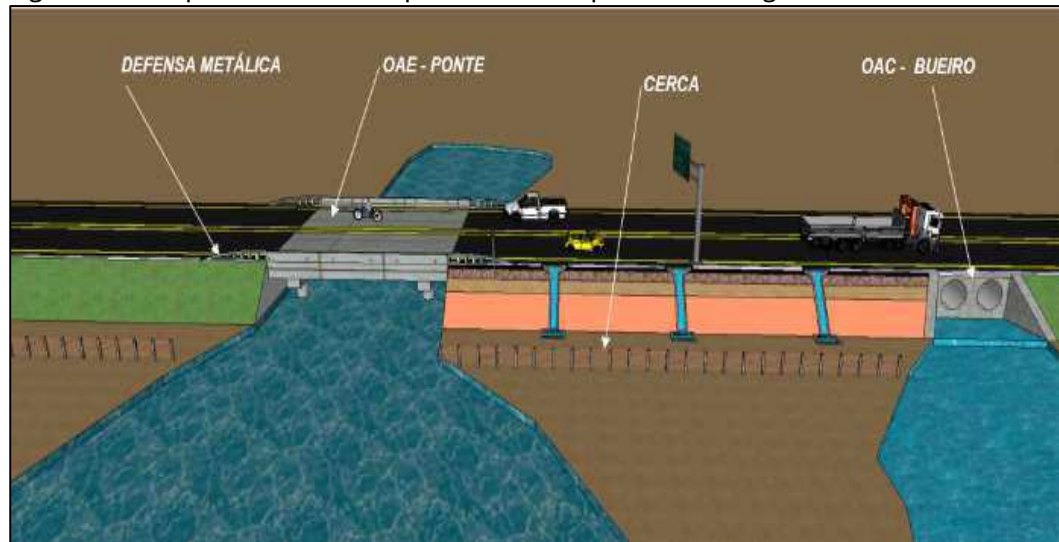
Ainda segundo o Manual de drenagem de rodovias, nas transposições de talvegues, as águas originam-se de uma bacia hidrográfica e que, por imperativos hidrológicos e do modelamento do terreno, têm que ser atravessadas sem comprometer a estrutura da estrada. Esse processo é possível com a introdução de uma ou mais linhas de bueiros sob os aterros ou por meio da construção de pontilhões ou pontes transpondo os cursos d'água (DNIT, 2006).

Dentre os principais dados necessários para a elaboração de estudos de Macrodrenagem, têm-se: características hidráulicas e geomorfológicas da bacia, condições de impermeabilidade do local de estudo, tempos de concentração, precipitações de projeto e, para

os dados pluviométricos devem ser utilizados, onde for disponível, as relações IDF (CANHOLI, 2015).

Exemplos ilustrativos de dispositivos de transposição de talvegues (bueiro e ponte) estão presentes na Figura 8.

Figura 8 - Exemplo ilustrativo de dispositivos de transposição de talvegues



Fonte: Engenharia Rodoviária.

(Disponível em: <http://www.dnitr.gov.br/imagens/obras-de-arte-correntes-1.jpg>)

### 2.3.1 Obras de arte corrente

Os bueiros são estruturas hidráulicas, construídas nos pontos mais baixos dos vales, com o objetivo de permitir a passagem das águas dos talvegues sob as obras de terraplenagem, sendo também denominadas de OAC - obras de arte correntes (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Os bueiros são constituídos por condutos simples, geralmente retangulares e com extensão limitada, compostos por três partes: boca de entrada (montante), corpo da obra e boca de saída (jusante) e, eventualmente, implanta-se também um dissipador de energia (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Os bueiros podem ser dimensionados como canais, vertedouros ou orifícios, sendo a escolha do regime adotado dependente da possibilidade da obra poder ou não trabalhar com carga hidráulica a montante, que poderia proporcionar o transbordamento do curso d'água e, conseqüentemente, causando maiores danos aos aterros e pavimentos (DNIT, 2006).

### 2.3.1.1 Classificação dos Bueiros

Segundo o Manual de drenagem de rodovias do DNIT (2006), os bueiros podem ser classificados em quatro classes: quanto à forma da seção transversal, número de linhas, materiais com os quais são construídos e escondução do dispositivo.

#### 2.3.1.1.1 Classificação dos bueiros quanto à forma da seção transversal

Os bueiros são tubulares, quando a seção transversal for circular; celulares quando a seção for retangular ou quadrada; especial, elipses ou ovóides, quando tiverem seções diferentes das demais (DNIT, 2006).

#### 2.3.1.1.2 Classificação dos bueiros quanto ao número de linhas

Os bueiros são classificados quanto ao número de linhas de modo que são simples, duplos ou triplos quando houver uma, duas ou três linhas de tubos, células etc, respectivamente (DNIT, 2006).

Ainda segundo o Manual de drenagem de rodovias (2006), não são recomendados números maiores de linhas, pois podem provocar alagamentos em uma faixa muito ampla.

#### 2.3.1.1.3 Classificação dos bueiros quanto aos materiais utilizados

Quanto aos materiais utilizados, tem-se uma distinção entre o corpo e as bocas do bueiro. As bocas são construídas usualmente em concreto simples ou armado, alvenaria de pedra argamassada ou em gabiões. Os corpos podem ser constituídos em concreto simples, armado ou protendido, podendo ainda ser construídos em peças pré-moldadas ou moldadas in loco (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Os tubos circulares de concreto simples são produzidos normalmente até 0,8 m, enquanto que os tubos de concreto armado, produzidos regularmente, apresentam diâmetro variando entre 0,6 m a 1,5 m (EL DEBS, 2017).

Segundo Baptista e Coelho (2010), são também muito utilizados tubos em chapas de aço corrugadas, PVC, fibras de vidro etc.

#### 2.3.1.1.4 Classificação dos bueiros quanto à esconsidade

A esconsidade é definida pelo ângulo formado entre o eixo longitudinal do bueiro e a normal ao eixo longitudinal da rodovia. Os bueiros podem ser normais, quando o eixo do bueiro coincidir com a normal ao eixo da rodovia, ou esconsos, quando o ângulo entre o eixo longitudinal do bueiro e a normal ao eixo da rodovia for diferente de zero (DNIT, 2006).

#### 2.3.1.2 Dimensionamento hidráulico de obras de arte corrente

Segundo Baptista e Coelho (2010), o dimensionamento hidráulico dos bueiros consiste na determinação das dimensões do dispositivo de modo que a vazão admissível na obra seja igual ou superior à vazão afluente, ou seja, a vazão prevista pelos estudos hidrológicos deve ser menor que a capacidade do bueiro.

Para o dimensionamento hidráulico dos bueiros admite-se que estes possam funcionar como canais, vertedouros ou orifícios.

##### 2.3.1.2.1 Bueiros funcionando como canal

No caso em que as duas extremidades de um bueiro não se encontram submersas o dispositivo está funcionando como um canal, pois existe uma superfície livre ao longo de todo o conduto (BAPTISTA; COELHO, 2010).

A condição de não submersão de entrada do bueiro é verificada usualmente para profundidades a montante (Figura 9) até 20% superior à dimensão vertical do bueiro, ou seja, o diâmetro, no caso de bueiros tubulares, e a altura do dispositivo, no caso de bueiros celulares (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Para iniciar o dimensionamento do bueiro funcionando como canal é necessário determinar o regime de funcionamento, que pode ser efetuado por meio da comparação da declividade de assentamento do bueiro com a declividade crítica (MALTA, 2017).

O regime de escoamento crítico é definido como o estágio em que a energia específica é mínima para determinada vazão ou o estágio em que a vazão é máxima para uma dada energia específica (PORTO, 2006).

As declividades críticas dos bueiros tubulares e celulares podem ser obtidas pelas equações 62 e 63, respectivamente.

$$V_{adm} = \frac{0.475 \sqrt{g H^3}}{n} \quad (62)$$

$$V = \frac{0.475 \sqrt{g H^3}}{n} \left( \frac{H}{B} \right)^{0.14} \quad (63)$$

Sendo:

$i_c$  = declividade crítica, em m/m;

$n$  = coeficiente de rugosidade de Manning do dispositivo, em s.<sup>1/3</sup> m<sup>-2/3</sup>,

$D$  = diâmetro do bueiro tubular, em m;

$H$  = altura do bueiro celular, em m;

$B$  = base do bueiro celular, em m.

O regime de escoamento é subcrítico quando a declividade de implantação for inferior à declividade crítica, supercrítico quando a declividade de implantação for superior à declividade crítica e crítico quando as duas declividades se igualarem (BAPTISTA; COELHO, 2010).

No regime de escoamento subcrítico a vazão admissível e a velocidade de fluxo, para bueiros tubulares, são calculadas pelas equações 64 e 65, respectivamente.

$$Q_{adm} = \frac{0.149 \sqrt{g H^3}}{n} \left( \frac{H}{D} \right)^{0.14} \quad (64)$$

$$V = \frac{0.149 \sqrt{g H^3}}{n} \left( \frac{H}{D} \right)^{0.14} \quad (65)$$

Sendo:

$Q_{adm}$  = vazão admissível, em m<sup>3</sup>/s;

$V$  = velocidade de fluxo, em m/s;

$i_c$  = declividade de implantação, em m/m.

Para bueiros celulares, também no regime subcrítico, a vazão admissível e a velocidade de fluxo são calculadas pelas equações 66 e 67, respectivamente.

$$Q_{adm} = \frac{0.149 \sqrt{g H^3}}{n} \left( \frac{H}{B} \right)^{0.14} \left( \frac{H}{D} \right)^{0.14} \quad (66)$$

$$v_{adm} = \frac{v_{cr}}{\sqrt{2}} \quad (67)$$

Para bueiros que estão no regime de escoamento supercrítico, o dimensionamento deve ser efetuado tomando limitando-se a  $v_{adm} = v_{cr}$  ou  $v_{adm} = v_{cr}/\sqrt{2}$  correspondente ao regime crítico, com a altura característica da energia específica igual ao seu diâmetro ou altura (BAPTISTA; COELHO, 2010). Logo, para o cálculo da  $v_{adm}$  e velocidade de fluxo de bueiros supercríticos tubulares, usam-se as equações 68 e 69 e, para bueiros celulares, as equações 70 e 71, respectivamente.

$$v_{adm} = \frac{v_{cr}}{\sqrt{2}} \quad (68)$$

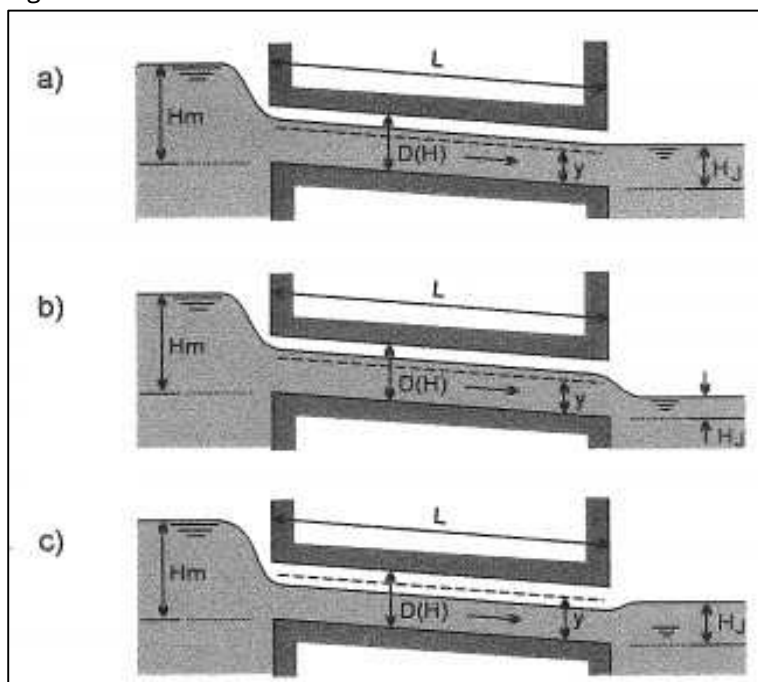
$$v_{adm} = \frac{v_{cr}}{\sqrt{2}} \quad (69)$$

$$v_{adm} = \frac{v_{cr}}{\sqrt{2}} \quad (70)$$

$$v_{adm} = \frac{v_{cr}}{\sqrt{2}} \quad (71)$$

Na Figura 9 há a esquematização de três situações em que bueiros funcionam como canais. Nos casos (a) e (b) o regime de escoamento é o subcrítico ou fluvial, enquanto que no caso (c) é o supercrítico ou torrencial. No caso (a) verifica-se que a profundidade a jusante do bueiro é superior a profundidade crítica, podendo ocorrer influência do nível d'água de jusante do escoamento ao longo do bueiro (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Figura 9 - Perfis de bueiros funcionando como canal



Fonte: Baptista e Coelho (2010)

### 2.3.1.2.2 Bueiros funcionando como orifício

O bueiro trabalha como orifício quando o nível d'água a montante  $H$  no mínimo 20% superior à dimensão vertical do bueiro, ou seja, o diâmetro, no caso de bueiros tubulares, e a altura do dispositivo, no caso de bueiros celulares (DNIT, 2006).

Segundo Baptista e Coelho (2010), o funcionamento hidráulico é definido pelas expressões da teoria dos orifícios. Logo, a vazão transportada  $Q$  em função da altura de carga (o bueiro trabalha em carga), podendo ser calculada pela equação 72.

$$Q = C_d A \sqrt{2gH} \quad (72)$$

Sendo:

$Q$  = vazão transportada, em m<sup>3</sup>/s;

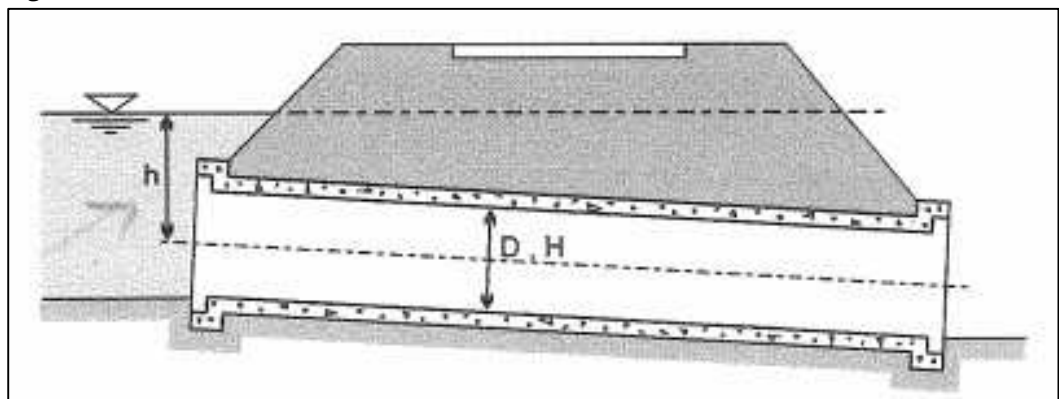
$C_d$  = coeficiente de descarga, com valores entre 0,77 e 0,55, sendo usualmente adotado 0,63 para bueiros tubulares e celulares;

$A$  = área da seção transversal, em m<sup>2</sup>;

$h$  = altura a partir do eixo da obra até o nível de água, em m.

Na Figura 10 há esquematização de um bueiro funcionando como orifício, onde o nível d'água a montante do bueiro supera o diâmetro ou altura do dispositivo.

Figura 10 - Perfil de um bueiro funcionando como orifício



Fonte: Baptista e Coelho (2010)

Substituindo-se os parâmetros geométricos dos dispositivos na equação 72, obtêm-se as seguintes expressões para bueiros tubulares:

$$Q = C_d A \sqrt{2gH} \quad (73)$$

$$t_3 = \frac{L}{v} \quad (74)$$

De modo semelhante, para bueiros celulares,  $t_3$  m-se:

$$t_3 = \frac{L}{v} \quad (75)$$

$$t_3 = \frac{L}{v} \quad (76)$$

Logo, conclui-se que o dimensionamento hidráulico, para condições de escoamento com entrada afogada, consiste em determinar a altura de carga correspondente à vazão afluente para determinada dimensão do bueiro, sendo compatível com as condições locais de implantação da obra, a fim de garantir a segurança do corpo estradal (BAPTISTA; COELHO, 2010).

### 2.3.2 Obras de arte especiais

#### 2.3.2.1 Pontilhões

Os pontilhões são obras utilizadas para a transposição de talvegues nas situações em que, por imposição da descarga de projeto ou do greide de projeto, não possam ser construídos bueiros (DNIT, 2006).

Com relação aos elementos necessários ao projeto de pontilhões, estes são os mesmos das pontes com exceção do tempo de recorrência adotado que, para pontilhões, é inferior ao adotado para pontes devido ao menor risco a temer com referência à destruição da obra ou interrupção do tráfego (DNIT, 2006).

#### 2.3.2.2 Pontes

As pontes, também denominadas obras de arte especiais, são estruturas destinadas à transposição de cursos d'água de porte mais significativo, que não poderiam ser vencidos por outras estruturas, como por exemplo, bueiros ou outras obras de porte reduzido (BAPTISTA; COELHO, 2010).



### 2.3.2.2.1 Estudos Preliminares

Os estudos preliminares são necessários para desenvolver efetivamente a análise hidráulica das pontes. Os estudos preliminares são essencialmente os seguintes: estudos hidrológicos, levantamentos topográficos e batimétricos do local e caracterização geotécnica do local da obra (BAPTISTA; COELHO, 2010).

### 2.3.2.2.2 Dimensionamento hidráulico das obras de arte especial

Segundo o Manual de drenagem de rodovias (2006), devem ser obtidos os seguintes elementos:

- Descarga de projeto, obtida pelos estudos hidrológicos, levando em conta o tempo de recorrência adotado e os métodos de cálculo recomendados para cada caso, de preferência os estatísticos sempre que possível;
- Declividade do leito do rio, ou do seu gradiente, determinada entre dois pontos distantes no mínimo de 200 metros, sendo um a montante e outro a jusante do eixo da rodovia, do qual devem distar 100 metros cada um;
- Levantamento de seções normais ao curso do rio no local de sua travessia pelo eixo da rodovia a montante e jusante;
- Fixação do coeficiente de rugosidade de Manning a adotar para os cursos d'água após a inspeção local.

Os estudos hidráulicos das pontes são desenvolvidos usualmente de acordo com as hipóteses de escoamento uniforme e objetivam, essencialmente, determinar as cotas atingidas pelo NA (Nível de Água) no local de travessia nas condições de projeto (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Após a obtenção dos elementos citados pelo Manual de drenagem de rodovias (2006), pode-se aplicar a equação de Manning de escoamento, agrupando-se as variáveis hidráulicas e geométricas da seção transversal, de acordo com a equação 77.

$$\frac{Q}{b} = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (77)$$

Sendo:

$Q = v^2 \cdot o$  afluente, calculada pelos estudos hidrológicos, em m<sup>3</sup>/s;

$n =$  coeficiente de rugosidade de Manning adotado para o curso d'água, em s/m<sup>1/3</sup>;

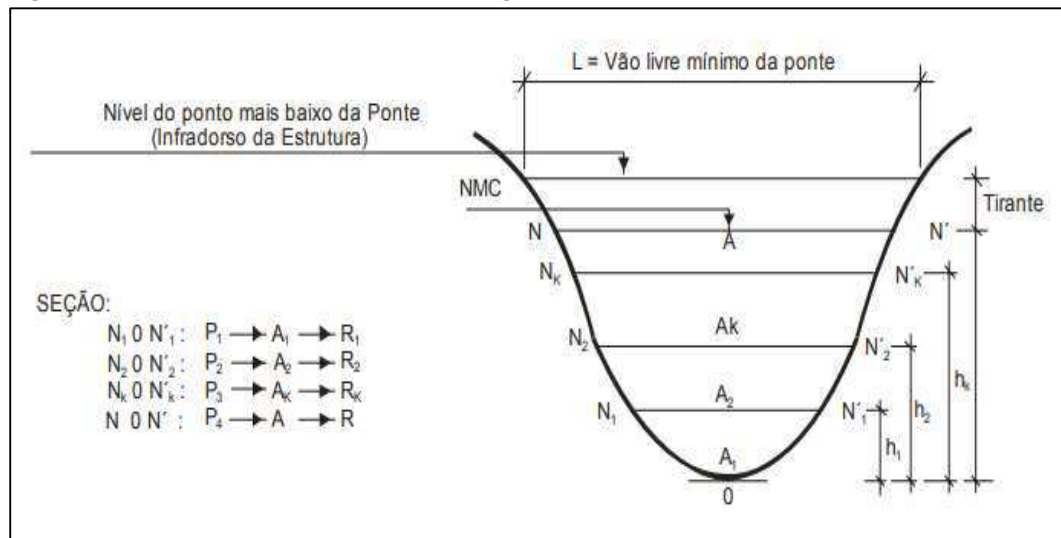
$s =$  declividade do leito do rio, em m/m;

$A =$  área da seção transversal do curso d'água, em m<sup>2</sup>;

$r =$  raio hidráulico da seção transversal do curso d'água, em m.

Na equação 77, os elementos presentes no lado esquerdo são conhecidos a partir dos estudos prévios. A seção do curso d'água no local da travessia também é determinada através dos levantamentos topográficos. Assim, as características geométricas correspondentes à área molhada e perímetro molhado (para o cálculo do raio hidráulico da seção transversal do curso d'água) podem ser determinadas para cada nível d'água, conforme a Figura 11 (BAPTISTA; COELHO, 2010).

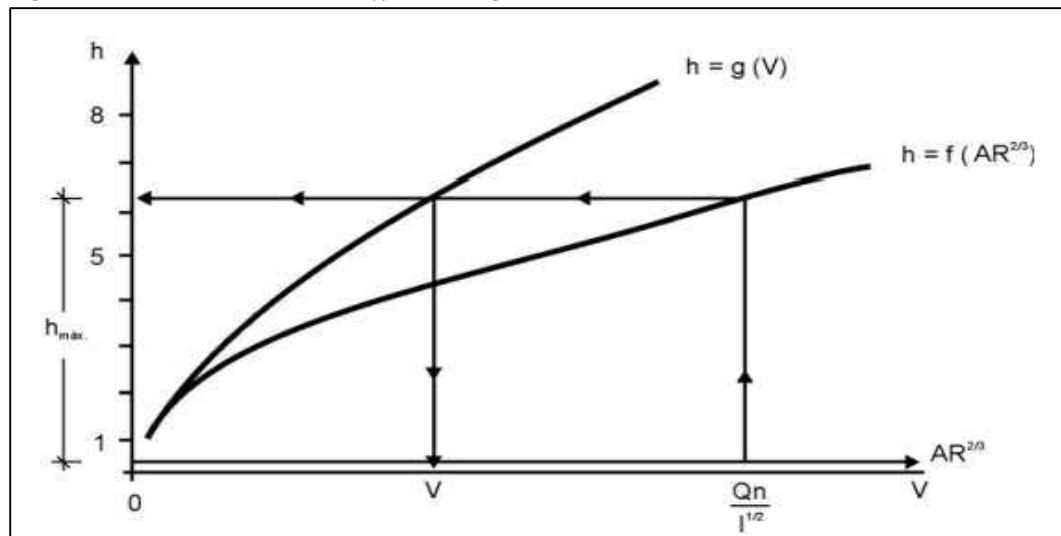
Figura 11 - Seção transversal de um curso d'água



Fonte: DNIT (2006)

Logo, como calcular o produto dos elementos presentes no lado direito da equação 77 para diferentes níveis e, em seguida, pode-se traçar um gráfico auxiliar (Figura 12). Sendo a declividade e o coeficiente de rugosidade de Manning constantes para cada seção, verifica-se que as vazões e velocidades  $V$  (obtidas pela equação da continuidade) são função apenas da altura de água (DNIT, 2006).

Figura 12 - Gráficos de  $h = f(V)$  e  $h = g(V)$



Fonte: DNIT (2006)

Na Figura 12, no eixo das abscissas, em duas escalas, marcam-se os valores relativos ao raio hidráulico e velocidade de escoamento e, no eixo das ordenadas, os valores das alturas d'água especificadas (DNIT, 2006).

Ainda segundo o Manual de drenagem de rodovias (2006), a partir do gráfico presente na Figura 12, obtém-se no eixo das ordenadas a altura máxima, e na curva de  $V$  o valor da velocidade para a seção de cheia máxima prevista.

Nas condições de cálculo há a determinação da Máxima Cheia de Cúculo - MCC, e, outro dado importante na investigação de campo consiste na Máxima Cheia de Vestígio - MCV, que corresponde à cota máxima já atingida pelo NA no local da obra. Os valores correspondentes a MCV e MCC devem ser confrontados e analisados para se definir a cota de Máxima Cheia de Projeto - MCP (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Ainda segundo Baptista e Coelho (2010), calculado o nível d'água correspondente à Máxima Cheia de Projeto, há como determinar a cota correspondente à face inferior das vigas longarinas da ponte e, essa cota deve ser fixada acima da MCP, prevendo-se uma distância mínima correspondente a uma borda livre ou folga.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Metodologia

No estudo do projeto das obras de transposição de talvegues para a rodovia MA - 275 pelas três metodologias empregou-se as seguintes etapas:

- 1) Revisão bibliográfica;
- 2) Caracterização do local de estudo;
- 3) Seleção e, por conseguinte, análise dos dados da estação pluviométrica;
- 4) Análise da variabilidade sazonal da chuva para o local de estudo;
- 5) Análise exploratória dos dados pluviométricos;
- 6) Análise frequencial das precipitações diárias máximas anuais;
- 7) Metodologia para a obtenção das precipitações e intensidades pluviométricas máximas do local de estudo através dos métodos da desagregação de chuvas, Isozonas e Bell, respectivamente;
- 8) Metodologia para a determinação e, posteriormente, comparação das equações de Intensidade - Duração - Frequência para o local de estudo;
- 9) Comparação dos resultados hidrológicos obtidos com os determinados pelo projeto executivo de engenharia;
- 10) Aplicação das equações de Intensidade - Duração - Frequência obtidas pelos três métodos para projetos de drenagem de transposição de talvegues da rodovia MA - 275;
- 11) Comparação dos projetos de drenagem de transposição de talvegues desenvolvidos a partir das três metodologias com o projeto executivo de engenharia.

A primeira etapa, apresentada no tópico anterior, demonstra os conceitos básicos para a compreensão da pesquisa, pois introduz referências teóricas sobre hidrologia, precipitação, intensidade pluviométrica, probabilidade e estatística aplicadas em hidrologia e hidráulica dos dispositivos de transposição de talvegues.

A segunda etapa consiste na apresentação de dados coletados pelo projeto executivo de engenharia do local de estudo, caracterizando o clima, pluviometria, fluviometria, vegetação, condicionantes topográficas e geomorfológicas das bacias interceptadas.

Na terceira etapa há descrição das características da estação pluviométrica adotada para o desenvolvimento da pesquisa, assim como justificativa para a escolha desta.

Na quarta etapa é realizado a análise da variabilidade pluviométrica sazonal para o local de estudo tomando como base os dados coletados pela estação selecionada, com o objetivo de verificar se o posto adotado está coerente com o projeto executivo de engenharia.

Na quinta etapa é apresentado a análise exploratória dos dados pluviométricos para identificação de padrões no espaço amostral, por meio da esquematização de tabelas e histogramas de frequências relativas e absolutas. A análise exploratória não é utilizada para a obtenção das curvas de IDF, porém é importante para a verificação dos padrões de precipitação diária coletados ao longo de toda a série histórica.

Na sexta etapa é analisado a frequência das precipitações diárias máximas anuais permitindo, assim, correlacionar a magnitude das precipitações extremas com as respectivas frequências de ocorrência desta através da utilização de distribuições de probabilidade. Esse processo é fundamental para a determinação das curvas de IDF para as três metodologias, pois permite extrapolar os dados coletados empiricamente para períodos de retorno elevados.

Na sétima etapa há uma breve explicação sobre como obter as precipitações e intensidades pluviométricas para cada duração e período de retorno para o local de estudo por meio do método da desagregação, Isozonas e Bell, desenvolvidos por CETESB (1980), José Jaime Taborga Torrico (1974), Bertoni e Tucci (1993) e Righetto (1998), respectivamente.

Na oitava etapa há a abordagem sobre a determinação das equações de Intensidade - Duração - Frequência para o local de estudo sendo que, na presente pesquisa, há a utilização do suplemento do Microsoft Excel denominado `Solver`, que pode ser utilizado para testar hipóteses e, por conseguinte, gerar soluções próximas às condições estabelecidas.

A nona etapa da metodologia aborda sobre a breve comparação das curvas de Intensidade - Duração - Frequência obtidas pelo estudo hidrológico e determinada no projeto executivo de engenharia.

Na décima etapa há a explicação sobre a aplicação das equações de IDF obtidas pelo estudo hidrológico para o dimensionamento e projeto hidráulico dos dispositivos de drenagem de transposição de talvegues compreendidos entre as estacas 1018 + 4,00 e 1967 + 16,74 da rodovia MA - 275.

Na última etapa há a abordagem sobre como é realizado a comparação do dimensionamento e projeto dos dispositivos de drenagem de transposição de talvegues obtidos pela décima etapa com os calculados pelo projeto executivo de engenharia.

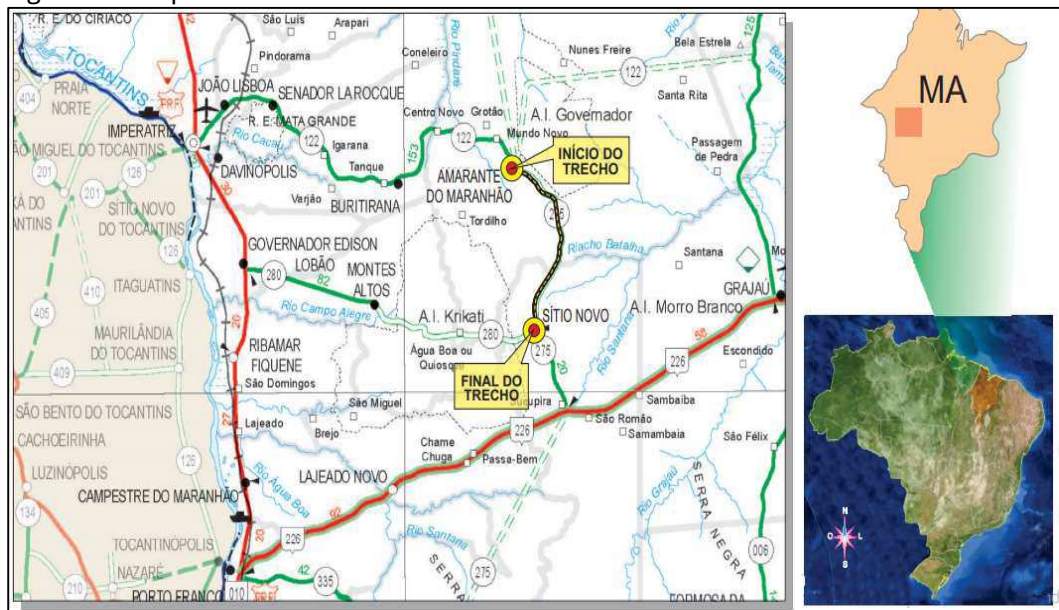
### 3.2 Caracterização do local de estudo

A caracterização do local de estudo está presente nos Volume 3 - Memória Justificativa e Volume 1 - Relatório do projeto e documentação para concorrência, do Projeto executivo de engenharia para serviços de melhoria e pavimentação, sendo efetuado pela empresa Maia Melo Engenharia Ltda e disponibilizado pela SINFRA - MA.

#### 3.2.1 Localização da área de estudo

O segmento da rodovia MA - 275, de aproximadamente 41,0 km, possui direção predominante Norte - Sul, interligando as sedes municipais de Amarante do Maranhão (Microrregião de Imperatriz, Oeste Maranhense) e Sítio Novo (Alto Mearim e Grajaú, Centro Maranhense), como está esquematizado na Figura 13.

Figura 13 - Mapa de Situação da rodovia MA - 275



Fonte: SINFRA (2017)

#### 3.2.2 Clima da área de estudo

De acordo com a Figura 14 e, segundo Köppen, a região atravessada pela rodovia possui clima do tipo "Clima tropical úmido ou sub-úmido".

Ainda segundo a Figura 14, a rodovia MA - 275 está localizada na região de tipo climático Aw, caracterizando-se por apresentar temperatura média anual de 26°C, com mínima média anual de 21°C e máxima média de 32°C. A umidade média anual é de 85% com insolação

média entre 1800 e 2000 horas por ano, possuindo evapotranspiração potencial sempre acima de 1200 mm/ano.

Figura 14 - Classificação climática de Köppen



Fonte: SINFRA (2017)

### 3.2.3 Geomorfologia da área de estudo

A rodovia MA-275 está localizada na Unidade Geomorfológica da Depressão de Imperatriz, atravessando o Planalto dissecado do Pindaré/Grajaú, com dissecação fluvial caracterizada por colinas e interflúvios tabulares.

Figura 15 - Relevo do local de estudo



Fonte: SINFRA (2017)

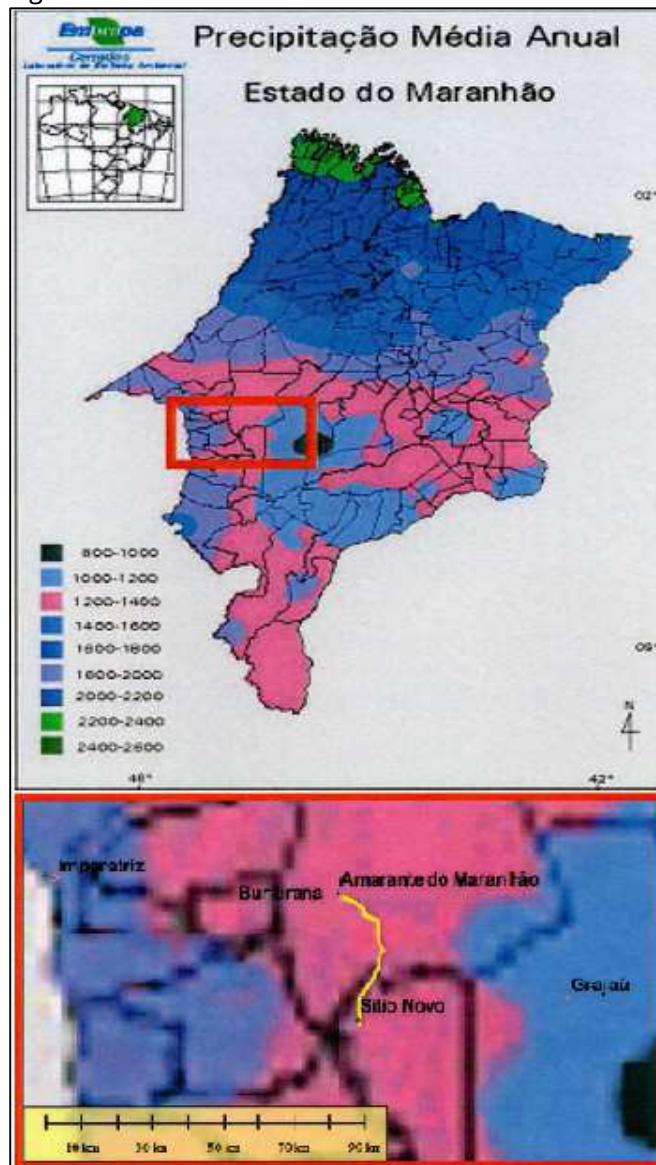
A vegetação próxima ao trecho de estudo compreende as áreas de floresta Ombrófila densa de Submontana nos cursos altos dos rios, variando para o tipo Dossel emergente, e aberta Aluvial com palmeiras nas proximidades dos cursos de água.

No local também há a presença de áreas desmatadas, com cobertura vegetal gramada.

### 3.2.4 Pluviometria e Fluviometria do local estudo

Na Figura 16 há uma representação das precipitações médias anuais para o Estado do Maranhão, sendo consultado no correspondente mapa da Embrapa.

Figura 16 - Pluviometria do local de estudo



Fonte: SINFRA (2017)

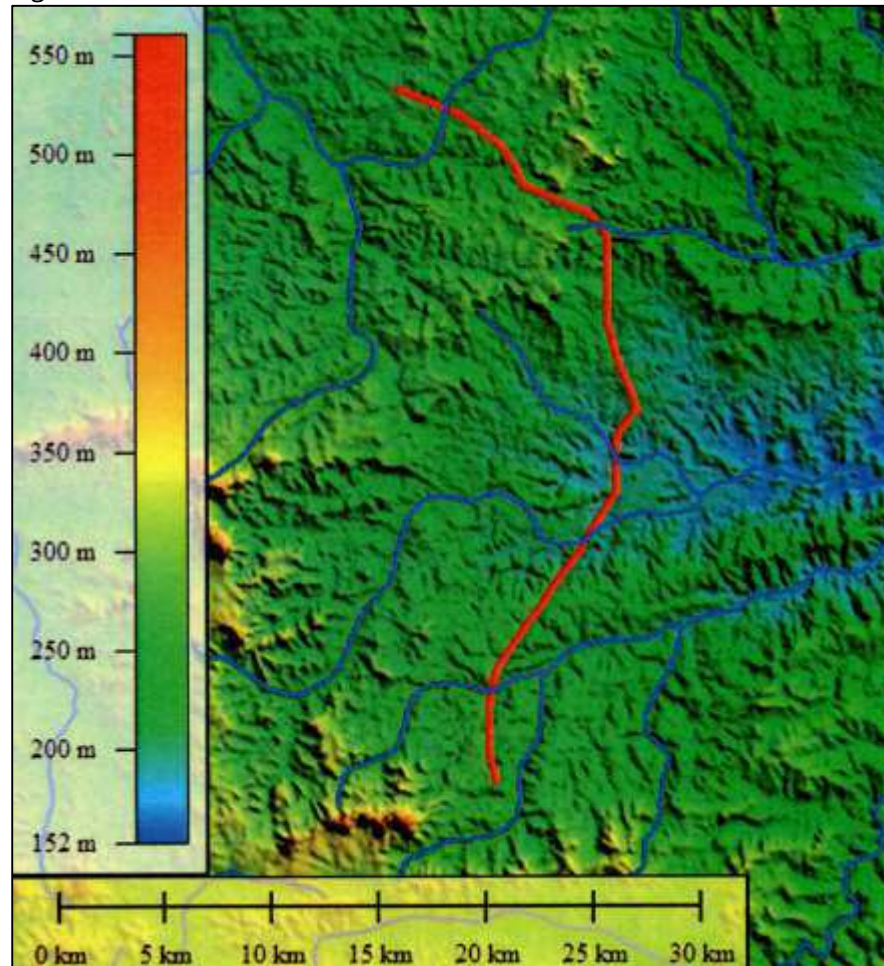


Segundo a Figura 16, a precipitação média anual do local de estudo está compreendida entre 1200 e 1400 milímetros.

Quanto a fluviometria, o traçado da rodovia MA - 275 está situado ao longo dos limites hidrográficos dos rios Pindaré e Grajaú.

Segundo a Figura 17, o local de estudo está localizado, na maior parte da extensão da rodovia, entre 200 e 300 metros. As principais travessias de cursos de água são, de norte a sul: Riacho da Mata Velha (regularizado por uma barragem, em Amarante do Maranhão); Riacho Água Fria (afluente do Riacho Maribondo - Rio Santana - Rio Grajaú); Riacho Pau Ferrado (afluente do Riacho Batalha); Riacho Batalha (afluente do Rio Santana - Rio Grajaú); Riacho do Gato (afluente do Riacho Barriguda - Rio Santana - Rio Grajaú).

Figura 17 - Fluviometria do local de estudo



Fonte: SINFRA (2017)

Não há a disponibilidade de dados relativos aos postos fluviométricos da ANA para as proximidades do trecho em estudo, pois os cursos de água são de pequeno porte.

### 3.2.5 Localização das bacias hidrográficas

Para a definição das bacias hidrográficas pela empresa Maia Melo Engenharia, foi realizada uma série de coletas de elementos (levantamentos aerofotogramétricos, cartas geográficas, levantamentos radamétricos, fito pedológicos etc), que permitiram a definição das dimensões e características físicas das bacias de contribuição.

O levantamento dos locais de transposição de talvegues levantados pela topografia de campo complementou a definição das bacias hidrográficas.

Foram determinadas 59 bacias hidrográficas para o trecho de estudo, estando ilustradas na Figura 18. No Anexo A há a representação mais detalhada das bacias hidrográficas, sendo utilizada como referência para o dimensionamento dos dispositivos de drenagem de transposição de talvegues.

Figura 18 - Bacias hidrográficas do local de estudo



Fonte: SINFRA (2017)

### 3.3 Seleção e caracterização da estação pluviométrica

Após consultar a Agência Nacional de Águas (ANA), os postos pluviométricos próximos a rodovia MA - 275 são: Amarante do Maranhão (00546000), Sítio Novo (00546007), Imperatriz (00547000), Grajaú (00546002) e Buritirana (00547005).

A seleção da estação pluviométrica envolve a análise da distância com relação ao trecho de estudo, relevo do local, pluviometria (Figura 16) e quantidade de dados disponíveis para cada estação.

O posto pluviométrico de Grajaú (00546002) está localizado em uma região com média pluviométrica anual compreendida entre 1000 e 1200 mm, enquanto o posto de Imperatriz (00547000) está localizado em uma região com média anual compreendida entre 1800 e 2000 mm, devido à influência da Serra do Gurupi. O histórico do posto de Sítio Novo (00546007) não está disponibilizado pela ANA.

Logo, as duas opções são os postos pluviométricos de Amarante do Maranhão (00546000) e Buritirana (00547005). O posto de Amarante do Maranhão, que está mais próximo ao trecho, disponibiliza uma série histórica com falhas isoladas em novembro de 1969, outubro de 1971, janeiro de 1977 e entre os períodos de 1990 e 1997. O posto de Buritirana, disponibiliza uma série interrompida e sem falhas desde 1982, estando localizada a aproximadamente 40 km do trecho em estudo.

Segundo Naghettini e Pinto (2007) há dois modos de atribuir probabilidades e períodos de retorno às variáveis hidrológicas máximas e mínimas: métodos analíticos e métodos empíricos. No caso da presente pesquisa houve o desenvolvimento de uma análise com base em métodos empíricos pois os cálculos probabilísticos foram estimados a partir da observação de variáveis aleatórias, no caso, as precipitações diárias.

Logo, para o desenvolvimento de uma estimativa com menor quantidade de erros probabilísticos é necessário que seja adotada uma amostra relativamente grande.

Optou-se por adotar o posto pluviométrico de Buritirana (00547005) para o estudo hidrológico desta pesquisa pois, apesar de estar a uma distância maior do trecho em relação ao posto de Amarante do Maranhão, disponibiliza uma maior quantidade de dados, que inclusive estão mais atualizados quando comparados aos do posto pluviométrico de Amarante do Maranhão (00546000). Na Tabela 6 estão descritos os dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) da estação pluviométrica selecionada.

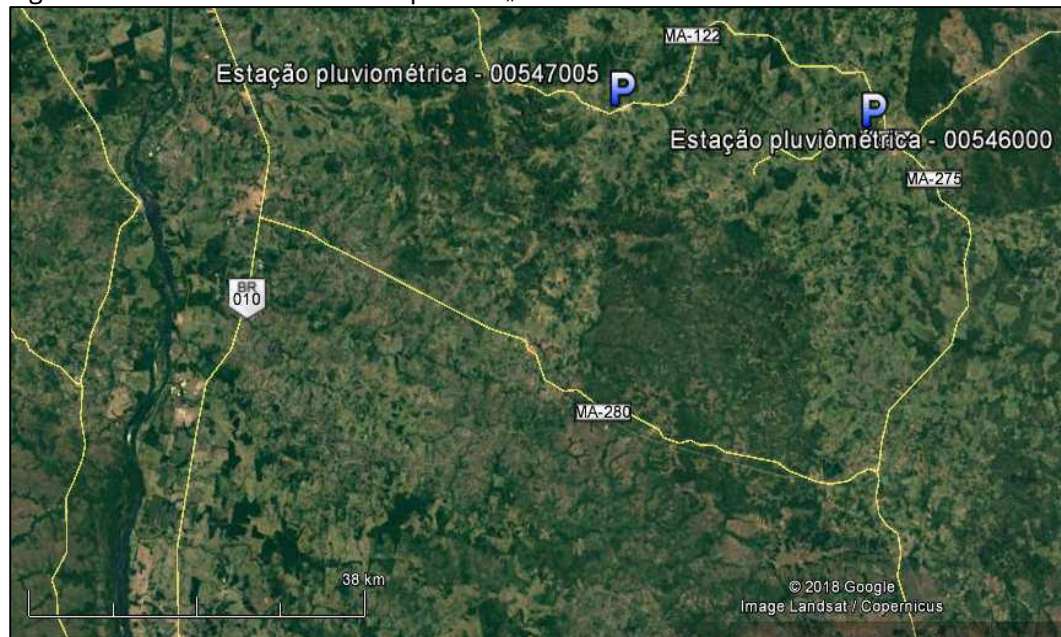
Tabela 6 - Dados da esta o pluviométrica selecionada

Dados da esta�o pluviométrica	
Código	00547005
Nome	Buritirana
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Período	1982 a 2018
Latitude	S5�35'40.00"
Longitude	W47�01'9.00"
Altitude (m)	-

Fonte: Agência Nacional de  guas (2019)

Na Figura 19 h a representa o das localiza es das esta es pluviométricas de Buritirana (00547005) e Amarante do Maranhão (00546000) em rela o ao trecho de estudo. Como está evidente, o posto de Buritirana está mais afastado que o posto de Amarante do Maranhão em rela o a rodovia MA - 275, porém não   uma distância significativa.

Figura 19 - Localiza o das esta es pluviométricas



Fonte: Google Earth (2019)

Na Tabela 7 está sintetizada a série histórica da esta o pluviométrica do posto de Buritirana, que   essencial para todo o estudo hidrológico, pois fornece os dados necessários para todo o prosseguimento da pesquisa.

Tabela 7 - SÉrie Histórica do período de 1982 a 2018 do posto de Buritirana - MA

DADOS PLUVIOMÉTRICOS - SÉRIE HISTÓRICA														
Posto: Buritirana - MA		Código: 00547005					Latitude: - 05°35'40.00"				Longitude: - 47°01'9.00"			
		Município: Buritirana					Estado: Maranhão				Fonte: ANA			
ANO	INFORMAÇÕES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1982	Precipitação Total	158,0	227,0	238,8	94,0	2,7	0,0	0,0	0,0	89,2	19,3	0,0	165,3	994,3
	Precipitação Máxima	39,9	60,8	43,0	31,0	2,7	0,0	0,0	0,0	38,0	17,0	0,0	28,0	60,8
	Dias de chuva	12,0	13,0	12,0	6,0	1,0	0,0	0,0	0,0	6,0	3,0	0,0	10,0	63,0
1983	Precipitação Total	90,2	237,0	184,1	72,6	3,5	5,2	1,0	1,0	42,8	19,4	84,4	196,7	937,9
	Precipitação Máxima	25,0	80,0	63,8	25,0	3,5	5,2	1,0	1,0	25,0	8,8	45,0	86,0	86,0
	Dias de chuva	7,0	13,0	15,0	7,0	1,0	1,0	1,0	1,0	4,0	3,0	5,0	14,0	72,0
1984	Precipitação Total	171,4	165,1	422,9	418,9	25,5	0,0	4,0	51,0	63,3	44,2	128,4	109,6	1604,3
	Precipitação Máxima	25,0	37,0	72,0	75,0	9,4	0,0	4,0	28,0	25,0	25,0	62,0	50,0	75,0
	Dias de chuva	18,0	18,0	20,0	17,0	4,0	0,0	1,0	2,0	8,0	5,0	6,0	6,0	105,0
1985	Precipitação Total	441,6	306,8	263,2	350,8	132,6	47,0	0,0	0,0	35,2	25,0	117,1	153,1	1872,4
	Precipitação Máxima	65,0	50,0	57,0	63,0	55,0	37,0	0,0	0,0	25,0	25,0	65,0	28,0	65,0
	Dias de chuva	15,0	14,0	14,0	15,0	5,0	3,0	0,0	0,0	3,0	1,0	4,0	10,0	84,0
1986	Precipitação Total	170,3	201,2	301,4	230,8	36,5	98,4	8,4	0,0	0,0	97,2	78,6	51,4	1274,2
	Precipitação Máxima	34,3	37,4	54,2	45,0	23,0	62,4	8,4	0,0	0,0	34,2	33,6	25,0	62,4
	Dias de chuva	13,0	9,0	10,0	9,0	3,0	2,0	1,0	0,0	0,0	7,0	5,0	3,0	62,0
1987	Precipitação Total	73,2	121,2	364,8	96,8	36,2	10,4	0,0	35,4	37,2	28,0	92,2	87,2	982,6
	Precipitação Máxima	39,0	35,4	63,8	45,0	20,0	10,4	0,0	20,0	25,0	28,0	30,2	32,0	63,8
	Dias de chuva	5,0	6,0	11,0	5,0	2,0	1,0	0,0	2,0	2,0	1,0	4,0	3,0	42,0
1988	Precipitação Total	169,6	210,8	431,7	351,8	33,0	37,2	9,0	0,0	37,0	49,4	105,4	107,7	1542,6
	Precipitação Máxima	55,0	69,4	95,8	37,0	20,0	37,2	7,0	0,0	25,0	20,0	50,0	54,0	95,8
	Dias de chuva	10,0	9,0	17,0	17,0	2,0	1,0	2,0	0,0	2,0	5,0	4,0	6,0	75,0
1989	Precipitação Total	66,4	71,9	248,9	175,3	76,2	16,2	32,4	25,4	55,2	61,3	220,0	250,0	1299,2
	Precipitação Máxima	20,4	25,0	37,2	38,0	21,0	8,8	22,0	21,4	25,0	33,2	100,0	100,0	100,0
	Dias de chuva	6,0	9,0	12,0	13,0	5,0	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0	7,0	11,0	77,0
1990	Precipitação Total	62,6	302,8	120,4	95,0	0,0	0,0	25,8	48,0	59,4	97,6	38,4	152,8	1002,8
	Precipitação Máxima	40,6	50,0	50,0	50,0	0,0	0,0	25,8	48,0	41,0	90,2	21,4	50,2	90,2
	Dias de chuva	3,0	16,0	4,0	3,0	0,0	0,0	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0	6,0	41,0
1991	Precipitação Total	338,4	228,6	190,0	109,4	50,5	11,0	0,0	0,0	53,6	4,0	96,4	168,0	1249,9
	Precipitação Máxima	122,4	73,4	37,8	57,4	20,0	11,0	0,0	0,0	28,0	4,0	60,0	64,0	122,4
	Dias de chuva	14,0	7,0	14,0	3,0	4,0	1,0	0,0	0,0	2,0	1,0	3,0	7,0	56,0
1992	Precipitação Total	268,5	184,3	173,3	118,2	0,0	0,0	4,6	0,0	16,3	28,7	88,9	108,4	991,2
	Precipitação Máxima	79,0	25,0	47,5	61,0	0,0	0,0	4,6	0,0	10,0	11,4	37,4	38,0	79,0
	Dias de chuva	10,0	12,0	9,0	5,0	0,0	0,0	1,0	0,0	2,0	4,0	5,0	5,0	53,0
1993	Precipitação Total	98,4	240,0	145,6	100,2	85,6	10,2	6,2	32,0	74,6	67,2	65,0	219,3	1144,3
	Precipitação Máxima	29,4	50,0	31,8	33,4	37,0	10,2	6,2	25,0	33,6	25,0	32,2	65,0	65,0
	Dias de chuva	6,0	13,0	11,0	6,0	6,0	1,0	1,0	2,0	6,0	5,0	3,0	9,0	69,0

Tabela 7 - SÉrie Histórica do período de 1982 a 2018 do posto de Buritirana - MA (continua 2º)

DADOS PLUVIOMÉTRICOS - SÉRIE HISTÓRICA														
Posto: Buritirana - MA		Código: 00547005					Latitude: - 05°35'40.00"				Longitude: - 47°01'9.00"			
		Município: Buritirana					Estado: Maranhão				Fonte: ANA			
ANO	INFORMAÇÕES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1994	Precipitação Total	297,9	269,4	280,4	256,0	93,0	82,5	0,0	0,0	15,0	82,7	59,1	148,0	1584,0
	Precipitação Máxima	123,0	50,0	85,0	73,0	25,0	33,0	0,0	0,0	15,0	38,4	18,0	52,0	123,0
	Dias de chuva	9,0	12,0	6,0	11,0	6,0	4,0	0,0	0,0	1,0	4,0	4,0	8,0	65,0
1995	Precipitação Total	95,9	637,6	274,4	266,0	226,9	0,0	0,0	0,0	0,0	16,2	118,6	254,5	1890,1
	Precipitação Máxima	35,0	66,5	107,4	61,2	65,8	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	39,7	87,2	107,4
	Dias de chuva	7,0	21,0	10,0	14,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	10,0	6,0	82,0
1996	Precipitação Total	282,1	289,1	443,4	148,2	81,4	0,0	0,0	0,0	23,2	23,5	250,9	97,2	1639,0
	Precipitação Máxima	76,0	63,2	158,2	22,0	28,0	0,0	0,0	0,0	12,4	10,0	72,4	28,8	158,2
	Dias de chuva	13,0	16,0	12,0	12,0	4,0	0,0	0,0	0,0	3,0	4,0	8,0	7,0	79,0
1997	Precipitação Total	462,3	104,8	406,8	99,8	14,8	0,0	0,0	0,0	21,6	35,1	41,9	154,6	1341,7
	Precipitação Máxima	96,2	44,8	64,2	50,0	6,8	0,0	0,0	0,0	18,0	26,6	25,0	32,0	96,2
	Dias de chuva	17,0	8,0	12,0	5,0	3,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	4,0	12,0	65,0
1998	Precipitação Total	257,5	43,1	243,9	37,9	85,0	7,2	26,0	0,0	15,6	106,9	174,4	111,6	1109,1
	Precipitação Máxima	45,0	11,0	58,0	17,2	35,4	7,2	26,0	0,0	7,3	53,2	55,8	61,0	61,0
	Dias de chuva	15,0	7,0	13,0	6,0	5,0	1,0	1,0	0,0	3,0	7,0	9,0	7,0	74,0
1999	Precipitação Total	115,5	162,6	182,3	128,4	114,2	0,0	0,0	22,6	32,9	46,7	112,8	395,5	1313,5
	Precipitação Máxima	27,8	52,6	69,4	27,2	38,8	0,0	0,0	22,6	27,6	26,8	37,2	91,2	91,2
	Dias de chuva	9,0	14,0	13,0	13,0	11,0	0,0	0,0	1,0	3,0	5,0	7,0	15,0	91,0
2000	Precipitação Total	261,1	300,6	227,6	275,8	113,0	4,9	4,6	0,0	46,9	39,2	75,5	180,8	1530,0
	Precipitação Máxima	46,6	64,0	82,5	59,5	41,3	4,9	2,4	0,0	21,0	24,0	41,5	47,3	82,5
	Dias de chuva	16,0	20,0	16,0	20,0	7,0	1,0	2,0	0,0	4,0	2,0	4,0	6,0	98,0
2001	Precipitação Total	182,0	230,7	155,9	340,1	38,1	16,3	9,5	0,0	53,6	56,8	130,4	110,5	1323,9
	Precipitação Máxima	65,2	37,2	32,1	58,2	16,7	8,4	9,5	0,0	27,8	48,6	53,6	65,1	65,2
	Dias de chuva	11,0	15,0	15,0	14,0	4,0	2,0	1,0	0,0	3,0	3,0	6,0	4,0	78,0
2002	Precipitação Total	288,6	130,5	171,7	199,1	45,4	0,0	0,0	0,0	14,1	38,2	86,4	154,1	1128,1
	Precipitação Máxima	64,8	50,0	51,5	64,6	21,3	0,0	0,0	0,0	7,2	28,2	35,0	57,4	64,8
	Dias de chuva	18,0	9,0	15,0	9,0	4,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	5,0	7,0	71,0
2003	Precipitação Total	195,6	300,9	128,0	97,1	32,1	0,0	0,0	14,4	5,6	98,0	129,4	78,8	1079,9
	Precipitação Máxima	77,0	62,0	43,6	29,3	12,6	0,0	0,0	5,7	5,6	46,2	95,7	19,2	95,7
	Dias de chuva	14,0	15,0	8,0	8,0	6,0	0,0	0,0	3,0	1,0	5,0	5,0	10,0	75,0
2004	Precipitação Total	452,7	307,6	272,5	105,5	0,1	0,0	5,6	4,8	24,6	22,1	99,6	185,9	1481,0
	Precipitação Máxima	126,1	40,0	66,9	50,5	0,1	0,0	5,6	4,8	9,7	6,3	83,6	71,0	126,1
	Dias de chuva	22,0	19,0	11,0	6,0	1,0	0,0	1,0	1,0	4,0	5,0	4,0	11,0	85,0
2005	Precipitação Total	102,7	216,3	285,1	127,2	54,2	10,2	0,0	0,0	10,8	18,3	46,0	244,3	1115,1
	Precipitação Máxima	28,0	45,3	61,2	28,8	33,0	10,2	0,0	0,0	10,8	14,2	38,2	55,8	61,2
	Dias de chuva	11,0	13,0	17,0	9,0	4,0	1,0	0,0	0,0	1,0	2,0	2,0	7,0	67,0

Tabela 7 - SÉrie Histórica do período de 1982 a 2018 do posto de Buritirana - MA (continua 2º)

DADOS PLUVIOMÉTRICOS - SÉRIE HISTÓRICA														
Posto: Buritirana - MA		Código: 00547005					Latitude: - 05135'40.00"				Longitude: - 47101'9.00"			
		Município: Buritirana					Estado: Maranhão				Fonte: ANA			
ANO	INFORMAÇÕES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2006	Precipitação Total	119,5	343,7	440,3	429,5	89,9	0,0	0,0	0,0	5,7	212,7	81,4	31,5	1754,2
	Precipitação Máxima	52,8	105,0	98,6	86,4	22,8	0,0	0,0	0,0	2,4	69,5	26,0	8,2	105,0
	Dias de chuva	7,0	11,0	24,0	26,0	8,0	0,0	0,0	0,0	4,0	7,0	8,0	7,0	102,0
2007	Precipitação Total	116,1	426,1	205,4	100,3	41,1	0,0	0,0	0,0	75,4	17,0	6,2	187,7	1175,3
	Precipitação Máxima	44,3	122,3	55,2	33,6	13,1	0,0	0,0	0,0	20,2	14,2	6,2	66,6	122,3
	Dias de chuva	8,0	14,0	8,0	9,0	5,0	0,0	0,0	0,0	4,0	2,0	1,0	8,0	59,0
2008	Precipitação Total	398,1	141,5	397,4	258,4	104,6	0,0	0,0	0,0	4,5	17,0	150,4	239,1	1711,0
	Precipitação Máxima	128,6	21,6	42,0	102,3	59,9	0,0	0,0	0,0	4,5	14,8	46,5	46,9	128,6
	Dias de chuva	10,0	12,0	18,0	9,0	6,0	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	8,0	14,0	80,0
2009	Precipitação Total	153,1	182,0	211,4	333,3	227,8	9,2	7,8	26,6	0,0	62,6	2,8	182,1	1398,7
	Precipitação Máxima	80,3	56,8	76,6	61,9	58,9	9,2	7,8	26,6	0,0	34,7	2,8	38,6	80,3
	Dias de chuva	9,0	10,0	12,0	17,0	15,0	1,0	1,0	1,0	0,0	3,0	1,0	15,0	85,0
2010	Precipitação Total	132,7	180,7	267,8	343,4	84,4	35,5	0,0	0,0	7,0	139,2	40,3	332,0	1563,0
	Precipitação Máxima	49,4	69,7	38,2	184,2	52,5	19,0	0,0	0,0	7,0	69,0	27,8	113,0	184,2
	Dias de chuva	8,0	8,0	15,0	10,0	5,0	3,0	0,0	0,0	1,0	5,0	3,0	12,0	70,0
2011	Precipitação Total	256,4	222,9	186,0	252,9	93,7	0,0	26,9	7,3	0,0	55,4	99,4	111,6	1312,5
	Precipitação Máxima	60,7	44,6	63,6	57,5	27,8	0,0	16,9	7,3	0,0	25,0	55,6	38,5	63,6
	Dias de chuva	13,0	10,0	13,0	16,0	6,0	0,0	2,0	1,0	0,0	4,0	6,0	9,0	80,0
2012	Precipitação Total	224,5	265,0	126,5	67,9	0,5	0,0	35,4	0,0	0,0	46,2	150,7	303,4	1220,1
	Precipitação Máxima	57,4	45,8	35,0	22,0	0,5	0,0	35,4	0,0	0,0	10,8	43,7	68,8	68,8
	Dias de chuva	13,0	13,0	11,0	5,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	5,0	7,0	10,0	66,0
2013	Precipitação Total	195,1	91,5	342,9	209,4	75,8	8,8	1,3	0,0	34,8	62,0	102,4	165,2	1289,2
	Precipitação Máxima	55,7	25,4	109,5	80,5	37,9	8,8	1,3	0,0	17,1	30,0	30,6	79,4	109,5
	Dias de chuva	8,0	8,0	14,0	10,0	4,0	1,0	1,0	0,0	4,0	6,0	8,0	13,0	77,0
2014	Precipitação Total	139,7	219,2	197,7	210,7	27,1	11,5	0,0	8,2	45,0	16,8	65,0	15,0	955,9
	Precipitação Máxima	27,9	84,2	64,5	50,3	15,8	11,5	0,0	5,5	21,7	5,0	26,9	9,1	84,2
	Dias de chuva	13,0	13,0	17,0	16,0	3,0	1,0	0,0	3,0	3,0	4,0	7,0	2,0	82,0
2015	Precipitação Total	130,3	111,7	297,6	174,3	47,1	15,6	10,6	0,0	24,3	25,1	76,2	56,6	969,4
	Precipitação Máxima	31,4	18,2	58,9	49,0	17,5	13,9	8,2	0,0	18,2	10,9	18,7	24,2	58,9
	Dias de chuva	14,0	14,0	20,0	13,0	6,0	3,0	2,0	0,0	2,0	5,0	6,0	8,0	93,0
2016	Precipitação Total	253,6	51,1	207,1	98,1	17,1	0,9	8,6	0,4	98,1	17,8	70,4	88,1	911,3
	Precipitação Máxima	51,6	31,0	111,5	28,1	5,8	0,6	8,6	0,4	47,4	15,1	27,1	31,4	111,5
	Dias de chuva	14,0	6,0	14,0	14,0	6,0	2,0	1,0	1,0	6,0	3,0	7,0	12,0	86,0
2017	Precipitação Total	343,8	371,7	202,4	46,4	31,8	8,7	2,4	0,3	0,3	39,5	81,2	206,0	1334,5
	Precipitação Máxima	138,4	70,8	31,0	10,6	16,8	8,6	2,4	0,2	0,3	25,9	38,5	89,2	138,4
	Dias de chuva	12,0	14,0	14,0	8,0	3,0	2,0	1,0	2,0	1,0	5,0	5,0	10,0	77,0

Tabela 7 - Série Histórica do período de 1982 a 2018 do posto de Buritirana - MA (continua o)

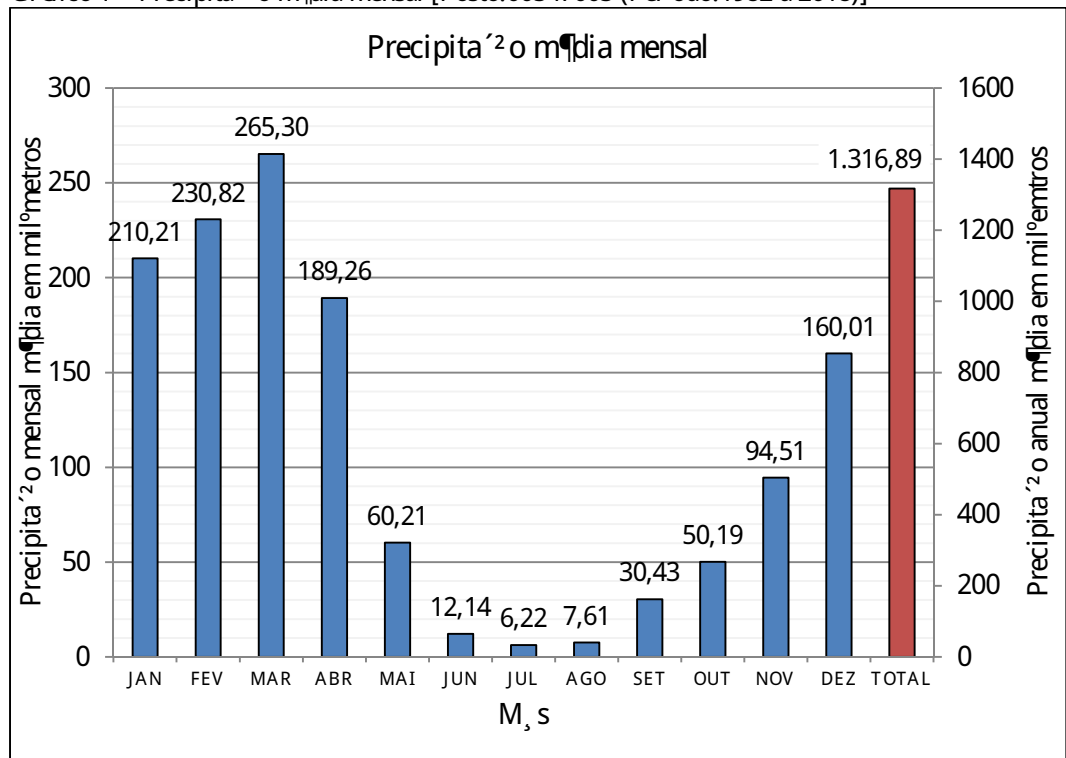
DADOS PLUVIOMÉTRICOS - SÉRIE HISTÓRICA														
Posto: Buritirana - MA		Código: 00547005				Latitude: - 05�35'40.00"				Longitude: - 47�01'9.00"				
		Município: Buritirana				Estado: Maranhão				Fonte: ANA				
ANO	INFORMAÇÕES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2018	Precipita�o Total	212,4	443,4	154,3	183,0	6,2	2,1	0,1	4,3	3,1	20,6	130,6	116,6	1276,7
	Precipita�o Máxima	43,2	64,6	47,8	61,2	2,7	2,1	0,1	4,3	3,1	17,5	72,3	50,9	72,3
	Dias de chuva	11,0	16,0	14,0	12,0	4,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	9,0	10,0	82,0
Número de anos com dados		37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0	37,0
Precipita�o Total Mensal Média		210,2	230,8	253,9	189,3	60,2	12,1	6,2	7,6	30,4	50,2	94,5	160,0	1305,5
Precipita�o Máxima Mensal		138,4	122,3	158,2	184,2	65,8	62,4	35,4	48,0	47,4	90,2	100,0	113,0	1165,3
Número médio de dias com precipita�o		11,4	12,4	13,3	10,8	4,6	0,9	0,7	0,6	2,5	3,7	5,2	8,6	74,8

Fonte: Agência Nacional de  guas (2019)

### 3.4 Análise da variabilidade sazonal da chuva no local de estudo

A variabilidade sazonal da chuva   geralmente analisada a partir dos gr ficos de precipita o média mensal, precipita o máxima mensal e número médio de dias com precipita o e, tomando como referência para c culo a Tabela 7 para o período de análise da esta o pluviométrica selecionada, ou seja, entre 1982 e 2018, obt m-se os Gráficos 1, 2 e 3, respectivamente.

Gráfico 1 - Precipita o média mensal [Posto:00547005 (Período:1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de  guas (2019)



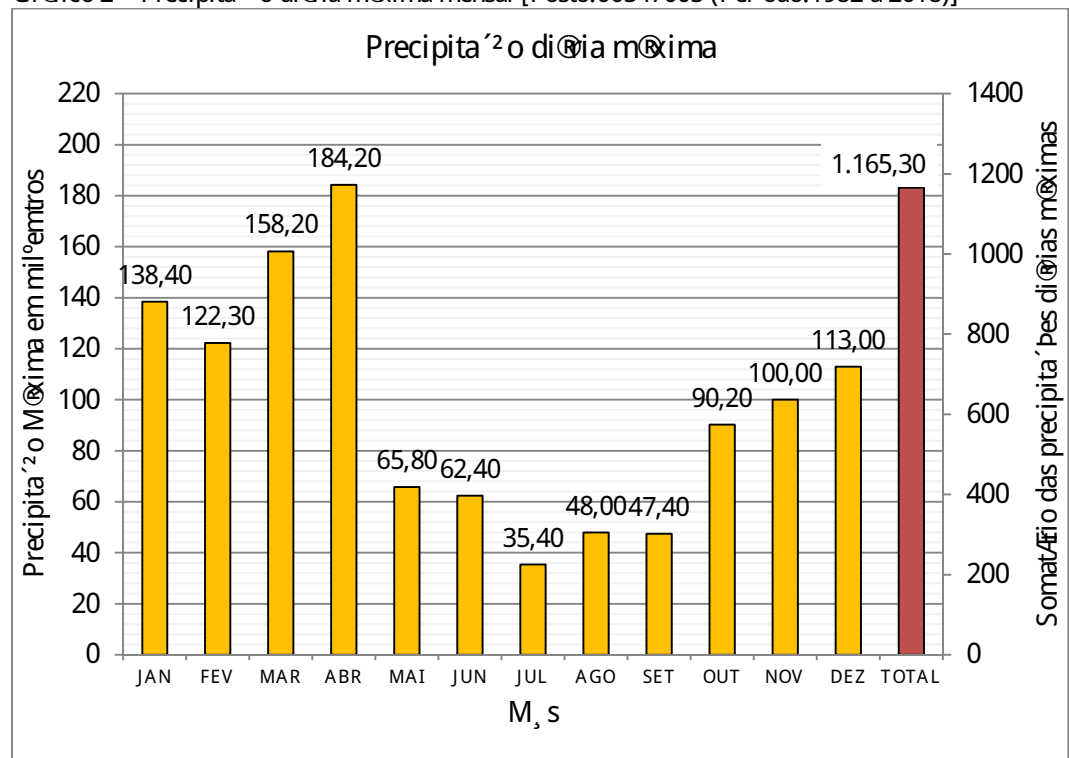
De acordo com o Gráfico 1, entre os meses compreendidos entre janeiro e abril há as maiores precipitações médias mensais, com máxima precipitação média mensal igual a 265,30 milímetros em março, caracterizando-se assim o período chuvoso.

O período de estiagem está compreendido entre os meses de junho a outubro, caracterizando-se por pequenas precipitações médias mensais, com mínima precipitação mensal igual a 6,22 milímetros no mês de julho.

Efetuada a soma das precipitações calculadas no Gráfico 1, obtém-se uma precipitação média anual igual a aproximadamente 1316,89 milímetros, se enquadrando no intervalo de 1200 a 1400 milímetros da Figura 16.

Nos Gráficos 2 e 3, têm-se, respectivamente, as precipitações diárias máximas mensais e o número médio de dias com chuva para o trecho estudado.

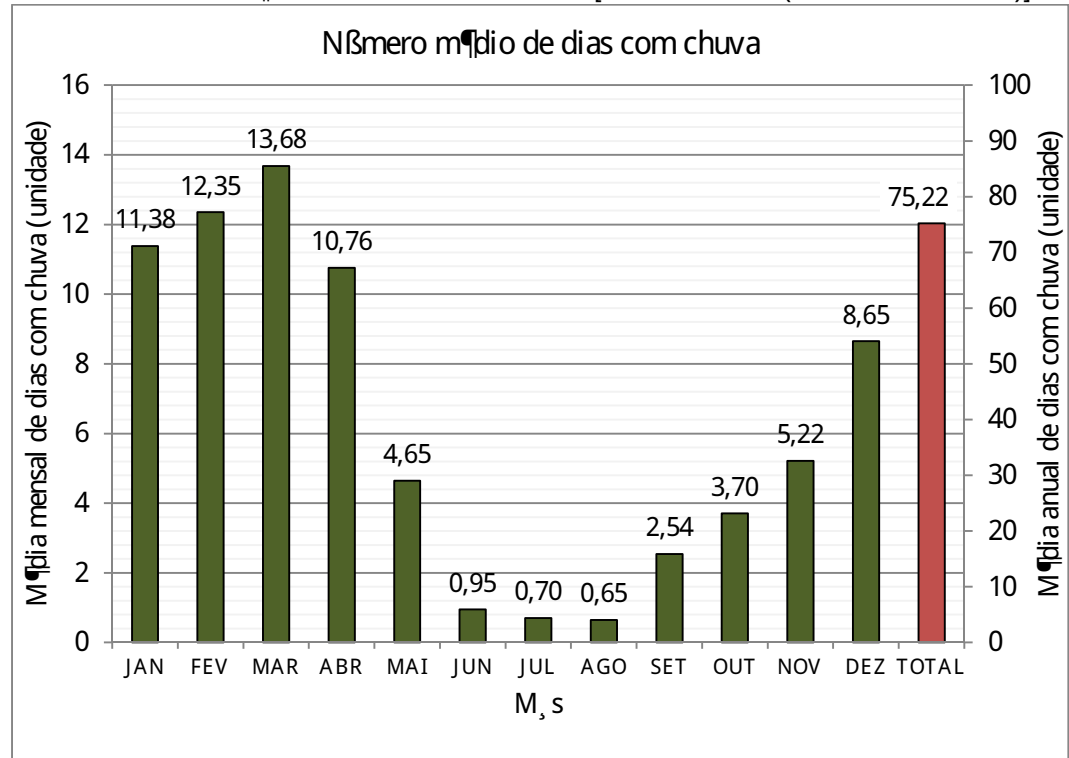
Gráfico 2 - Precipitação diária máxima mensal [Posto:00547005 (Período:1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

De acordo com o Gráfico 3, para os meses compreendidos entre janeiro e abril (período chuvoso) há a maior frequência de precipitação mensal, com maior média de dias com precipitação mensal igual a aproximadamente 13,68 dias em março enquanto que, para a época compreendida entre junho e outubro (período de estiagem), têm-se uma frequência de chuvas muito pequena, com mínimo igual a 0,70 dias para o mês de julho.

Gráfico 3 - Número médio mensal de dias com chuva [Posto:00547005 (Período:1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional deguas (2019)

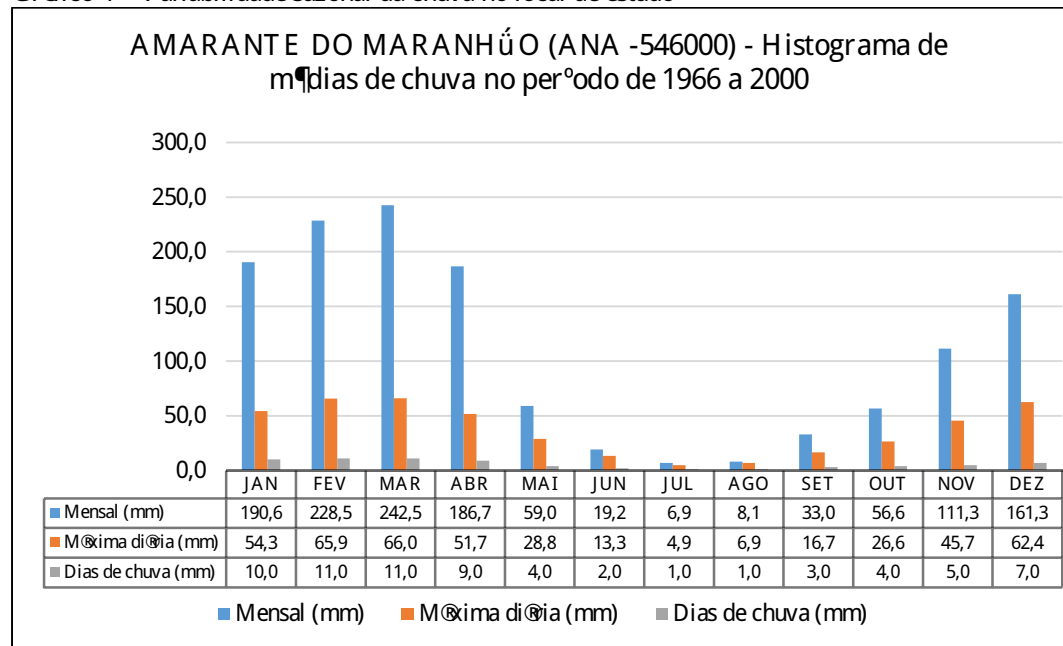
Efetuada a soma das frequências esquematizadas no Gráfico 3, obtém-se o número de dias com chuva anualmente igual a aproximadamente 75,22 dias, ou seja, somente em 20,61% dos dias há precipitação em forma de chuva.

A análise da variabilidade sazonal do local de estudo também está presente no 'Volume 3 - Memória Justificativa' e 'Volume 1 - Relatório do projeto e documentação para concorrência', do Projeto executivo de engenharia para serviços de melhoria e pavimentação, sendo efetuado pela empresa Maia Melo Engenharia Ltda.

No Gráfico 4 está esquematizada a variabilidade sazonal do projeto executivo de engenharia, sendo baseada na série histórica do posto pluviométrico de Amarante do Maranhão (00546000). As precipitações médias mensais, máximas mensais e número de dias com chuva são muito próximas - esquematizadas nos Gráficos 1, 2 e 3, podendo ser explicado pela proximidade das duas estações pluviométricas.

A diferença principal é com relação à precipitação diária máxima registrada pelo posto pluviométrico de Amarante do Maranhão (00546000), segundo o Gráfico 4, que equivale a 242,50 milímetros para o mês de março, enquanto que a maior precipitação registrada pelo posto de Buritirana (00547005) é igual a 184,20, para o mês de abril.

Gráfico 4 - Variabilidade sazonal da chuva no local de estudo



Fonte: SINFRA (2017)

### 3.5 Análise exploratória dos dados pluviométricos

É fundamental a análise exploratória dos dados pluviométricos anteriormente analisados estatística mais profunda destes, para identificação de padrões no espaço amostral. Como exemplo de análise exploratória bastante utilizada tem-se a tabela de frequências, a qual subdivide todos os dados do espaço amostral em classes que, no caso da presente pesquisa, variam em função da precipitação diária (mm), sendo facilmente interpretada e visualizada por meio do histograma de frequências.

A análise exploratória dos 13510 dados pluviométricos (relativo a quantidade de dias) é baseada no tópico 2.2.1 Análise exploratória de dados hidrológicos, e, mais especificamente, nas equações 22 e 23.

Para o espaço amostral analisado, tem-se uma precipitação diária máxima igual a 184,20 milímetros e uma precipitação diária mínima igual a zero, correspondendo aos dias em que não houve precipitação. Substituindo os respectivos valores nas equações 22 e 23, respectivamente, obtêm-se 14 classes, cada uma com amplitude igual a 13,16 milímetros.

Após a determinação dos parâmetros estatísticos necessários para o desenvolvimento das tabelas e histogramas de frequências, como esquematizar a tabela de frequências absolutas e relativas, que estão esquematizadas nas Tabelas 8 e 9, respectivamente.

Tabela 8 - Frequências absolutas [Posto: 00547005 (Período: 1971 a 2018)]

Classe j	Intervalo da classe (mm)	ƒ <sub>j</sub>	F <sub>j</sub>
1	(0,00;13,16]	300	300
2	[13,16;26,32]	50	350
3	[26,32;39,48]	20	370
4	[39,48;52,64]	10	380
5	[52,64;65,80]	8	388
6	[65,80;78,96]	6	394
7	[78,96;92,12]	5	399
8	[92,12;105,28]	4	403
9	[105,28;118,44]	3	406
10	[118,44;131,60]	2	408
11	[131,60;144,76]	1	409
12	[144,76;157,92]	1	410
13	[157,92;171,08]	1	411
14	[171,08;184,20)	1	412

Fonte: Agência Nacional deguas (2019)

Tabela 9 - Frequências relativas [Posto: 00547005 (Período: 1971 a 2018)]

Classe j	Intervalo da classe (mm)	Frequência Relativa f <sub>j</sub> (%)	Frequência Relativa Acumulada (%)
1	(0,00;13,16]	90,8734	90,8734
2	[13,16;26,32]	5,0999	95,9734
3	[26,32;39,48]	1,9911	97,9645
4	[39,48;52,64]	0,9178	98,8823
5	[52,64;65,80]	0,5922	99,4745
6	[65,80;78,96]	0,2295	99,7039
7	[78,96;92,12]	0,1258	99,8298
8	[92,12;105,28]	0,0666	99,8964
9	[105,28;118,44]	0,0370	99,9334
10	[118,44;131,60]	0,0444	99,9778
11	[131,60;144,76]	0,0074	99,9852
12	[144,76;157,92]	0,0000	99,9852
13	[157,92;171,08]	0,0074	99,9926
14	[171,08;184,20)	0,0074	100,0000

Fonte: Agência Nacional deguas (2019)

Como está evidenciado nas Tabelas 8 e 9, a maioria das precipitações durante os 37 anos de análise está situada na Classe 1, ou seja, durante o período compreendido entre os anos de 1982 e 2018 houve uma predominância de dias com pouca ou nenhuma precipitação. É interessante destacar também que as frequências tendem a ser decrescentes em função da elevação da classe e, conseqüentemente, da precipitação diária medida pela estação pluviométrica.

No espaço amostral analisado há presença de eventos extremos (precipitações elevadas). A probabilidade de ocorrer determinado acontecimento extremo é inversamente proporcional à sua frequência de ocorrência, ou seja, um evento extremo ocorre com uma frequência muito menor que um evento moderado. Como exemplo de acontecimento extremo obtido, tem-se a precipitação diária máxima de 184,20 milímetros que ocorreu no ano de 2010 para o local de estudo, possuindo uma frequência relativa igual a aproximadamente 0,0074%.

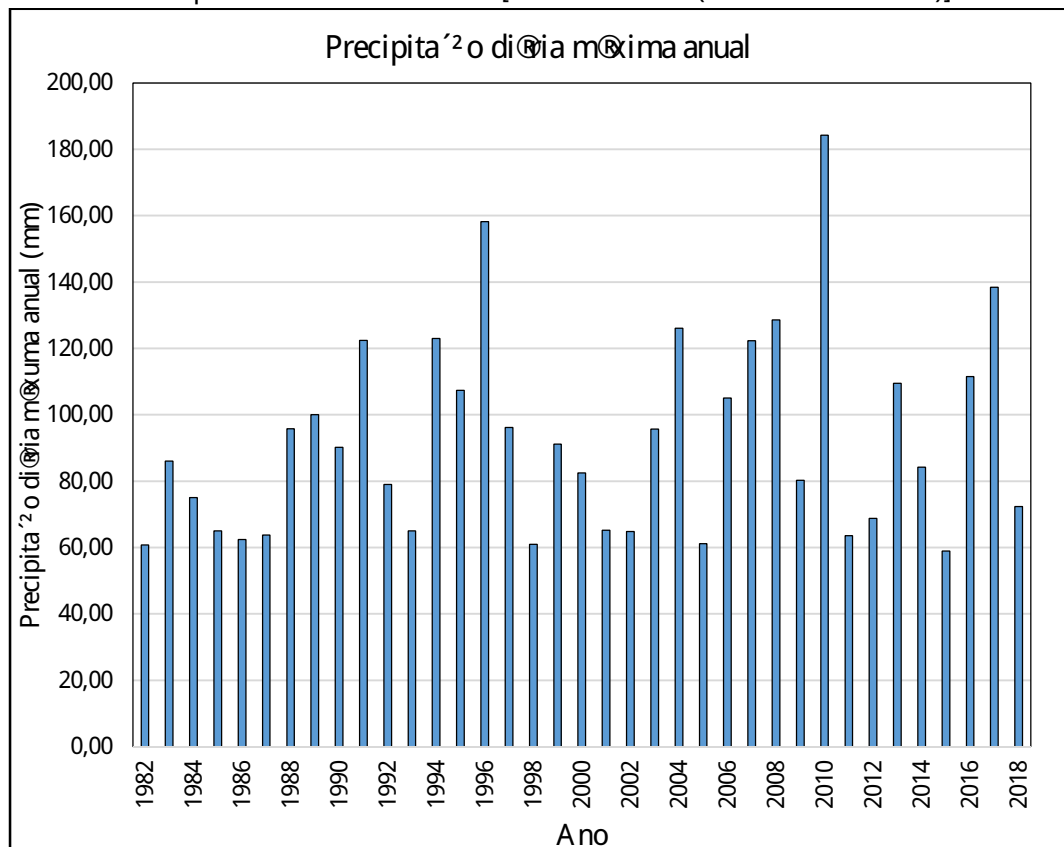
### 3.6 Estatística aplicada no estudo hidrológico

A estatística aplicada no estudo hidrológico engloba a sexta etapa apresentada no tópico 3.1, sendo necessário utilizar praticamente todos os conceitos presentes nos tópicos 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4 e 2.2.5.

#### 3.6.1 Precipitações máximas diárias anuais

A partir da Tabela 7 há elaboração do Gráfico 5, que ilustra as precipitações máximas diárias anuais disponibilizadas pela estação pluviométrica selecionada, no período compreendido entre 1982 e 2018.

Gráfico 5 - Precipitação máxima diária anual [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Tomando como base os dados do Gráfico 5, a maior precipitação diária máxima é igual a 184,20 milímetros, para o ano de 2010, e a menor precipitação diária máxima igual a 58,90 milímetros, para o ano de 2015. Além disso, como pode-se observar no gráfico, não é evidenciado nenhum período com presença de elevadas ou baixas precipitações diárias máximas anuais por um longo período de tempo ininterruptamente.

### 3.6.2 Análise das variáveis aleatórias com a distribuição de Gumbel (máximos)

Aplicando os conceitos do tópico 2.2.4.1 para o Gráfico 5 obtém-se a Tabela 10, que correlaciona as precipitações máximas diárias anuais em ordem decrescente em função da probabilidade de excedência, período de retorno e probabilidade de excedência.

Tabela 10 - Análise frequencial das precipitações máximas diárias anuais

Precipitação máxima diária anual (mm)	Ordem i	G(x)	T (anos)	F(x)
184,20	1	0,0263	38,00	0,9737
158,20	2	0,0526	19,00	0,9474
138,40	3	0,0789	12,67	0,9211
128,60	4	0,1053	9,50	0,8947
126,10	5	0,1316	7,60	0,8684
123,00	6	0,1579	6,33	0,8421
122,40	7	0,1842	5,43	0,8158
122,30	8	0,2105	4,75	0,7895
111,50	9	0,2368	4,22	0,7632
109,50	10	0,2632	3,80	0,7368
107,40	11	0,2895	3,45	0,7105
105,00	12	0,3158	3,17	0,6842
100,00	13	0,3421	2,92	0,6579
96,20	14	0,3684	2,71	0,6316
95,80	15	0,3947	2,53	0,6053
95,70	16	0,4211	2,38	0,5789
91,20	17	0,4474	2,24	0,5526
90,20	18	0,4737	2,11	0,5263
86,00	19	0,5000	2,00	0,5000
84,20	20	0,5263	1,90	0,4737
82,50	21	0,5526	1,81	0,4474
80,30	22	0,5789	1,73	0,4211
79,00	23	0,6053	1,65	0,3947
75,00	24	0,6316	1,58	0,3684
72,30	25	0,6579	1,52	0,3421
68,80	26	0,6842	1,46	0,3158
65,20	27	0,7105	1,41	0,2895
65,00	28	0,7368	1,36	0,2632
65,00	29	0,7632	1,31	0,2368
64,80	30	0,7895	1,27	0,2105

Tabela 10 - Análise frequencial das precipitações máximas diárias anuais (continuação)

Precipitação máxima diária anual (mm)	Ordem i	G(x)	T (anos)	F(x)
63,80	31	0,8158	1,23	0,1842
63,60	32	0,8421	1,19	0,1579
62,40	33	0,8684	1,15	0,1316
61,20	34	0,8947	1,12	0,1053
61,00	35	0,9211	1,09	0,0789
60,80	36	0,9474	1,06	0,0526
58,90	37	0,9737	1,03	0,0263

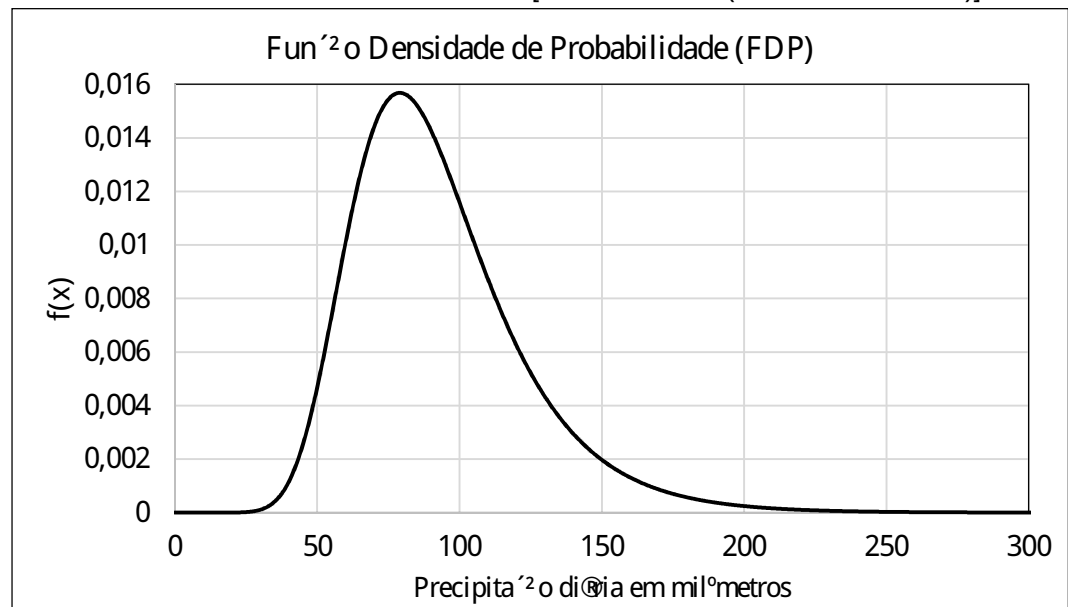
Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Com isso, há como aplicar a distribuição probabilística de Gumbel (máximos) para a estimativa das precipitações diárias máximas anuais. Para a amostra de 37 anos de dados esquematizada na Tabela 10, tem-se uma média amostral igual a 92,58 milímetros e desvio padrão amostral igual a aproximadamente 30,10 milímetros, sendo estes valores determinados utilizando o software Excel pelas funções `MÉDIA` e `DESV.PAD`, respectivamente.

Os parâmetros de posição e escala são calculados pelas equações 47 e 48, sendo iguais a 79,04 e 23,46, respectivamente.

A partir do cálculo dos parâmetros de posição e escala, esquematiza-se a Função Densidade de Probabilidade de Gumbel (equação 39), que está ilustrada no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Função Densidade de Probabilidade [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]

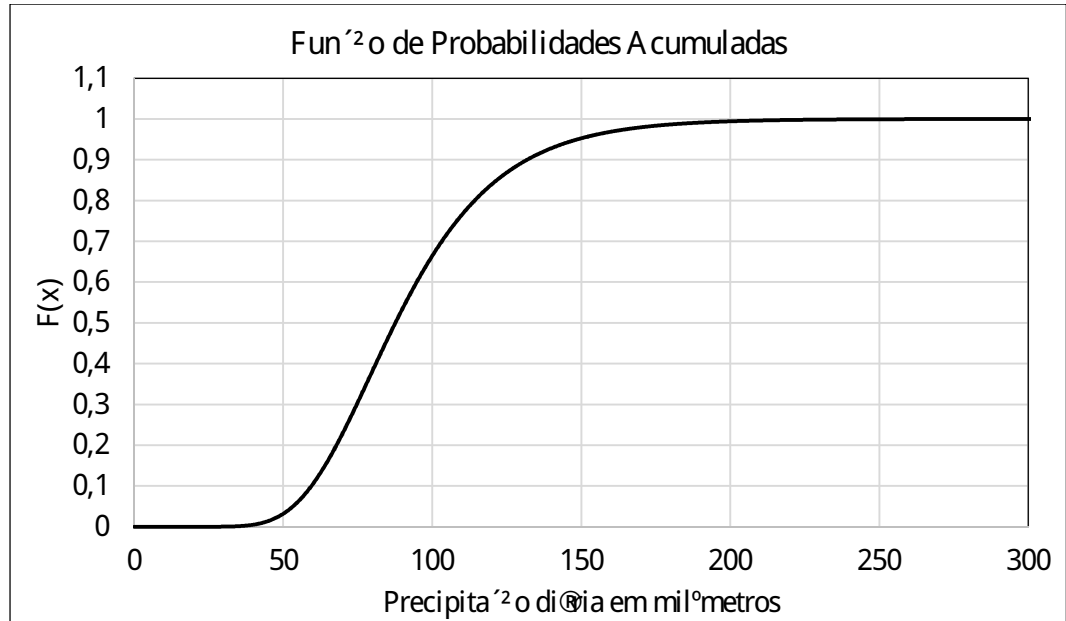


Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

A Função Densidade de Probabilidade de Gumbel (máximos) caracteriza-se por ser assimétrica à direita, ou seja, o coeficiente de assimetria é positivo e igual a 1,1396, conforme a equação 42.

A partir da função de densidade de probabilidade obtém-se a função de probabilidades acumuladas da distribuição Gumbel (máximos), que está ilustrada no Gráfico 7.

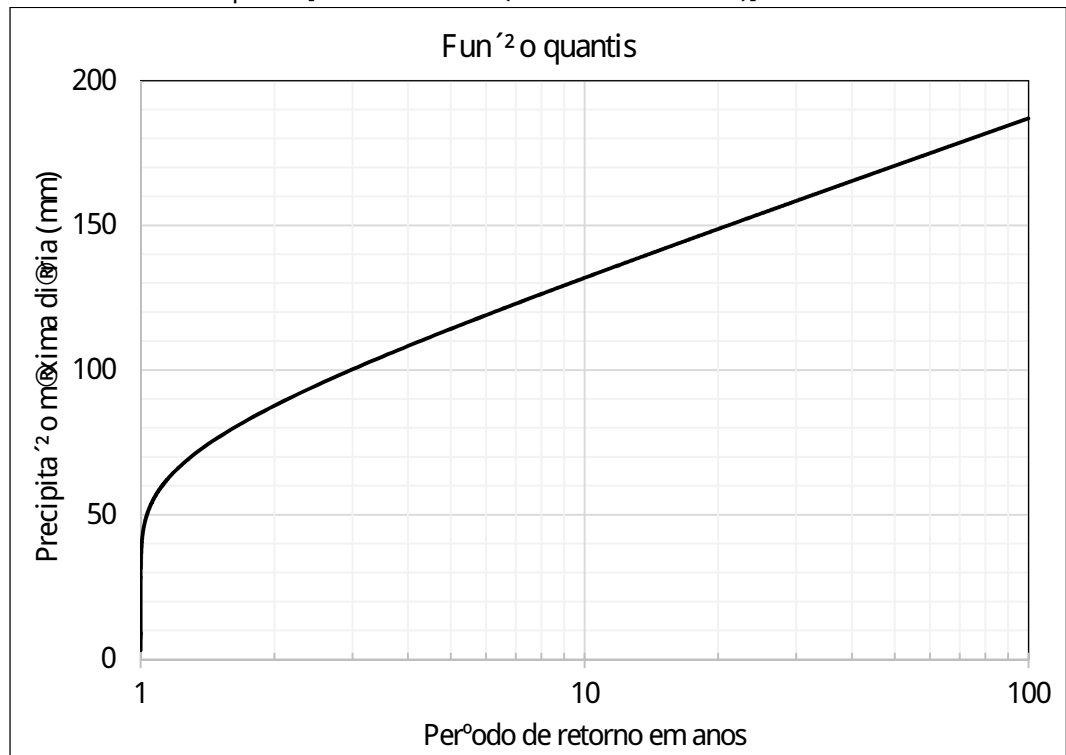
Gráfico 7 - Função de Probabilidades Acumuladas [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Com isso, calcula-se a função inversa da função de probabilidade acumuladas, ou função quantis, que pode ser gerada pelas equações 44 ou 49, e que está esquematizada no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Função quantis [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]

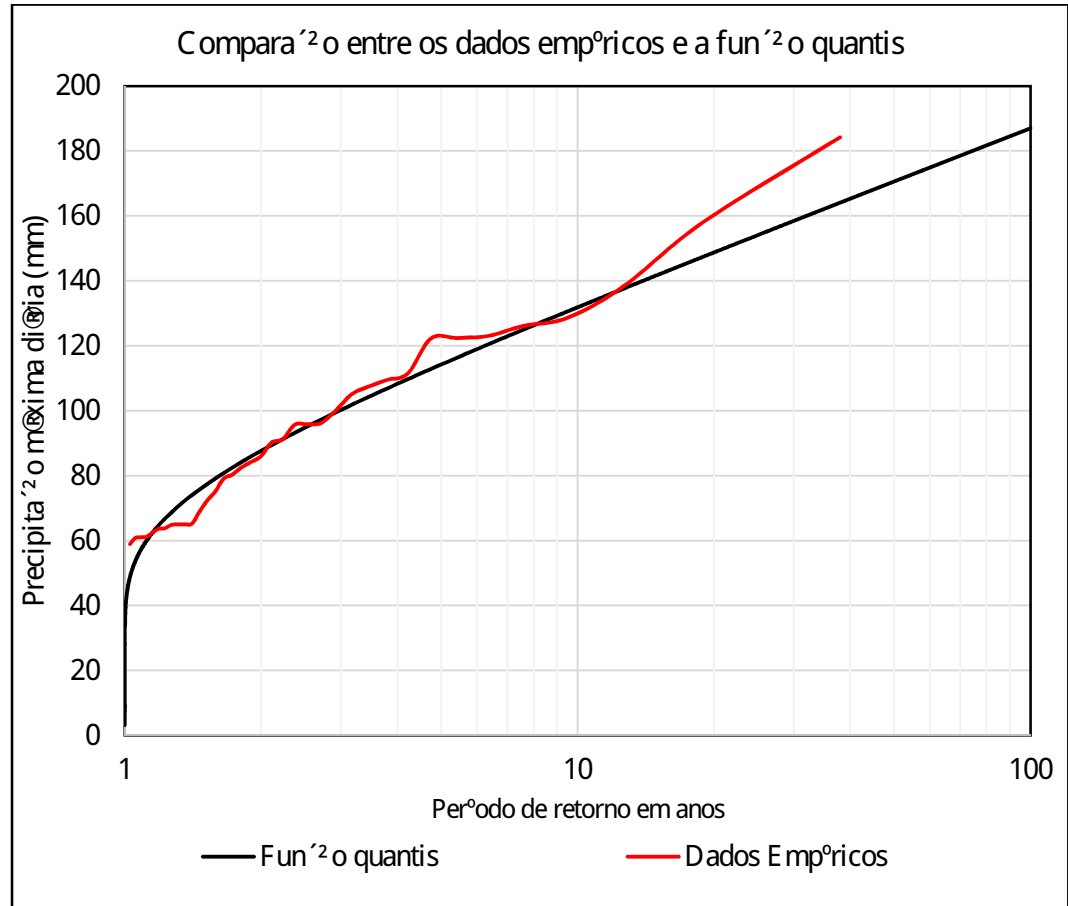


Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)



Comparando-se a função quantis ilustrada no Gráfico 8 (curva preta) com os dados empíricos da Tabela 10 (curva vermelha), obtém-se o Gráfico 9, que permite visualizar as divergências entre os dados estimados pela função quantis e os dados coletados pelo pluviômetro para cada período de retorno.

Gráfico 9 - Dados empíricos e a função quantis [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]

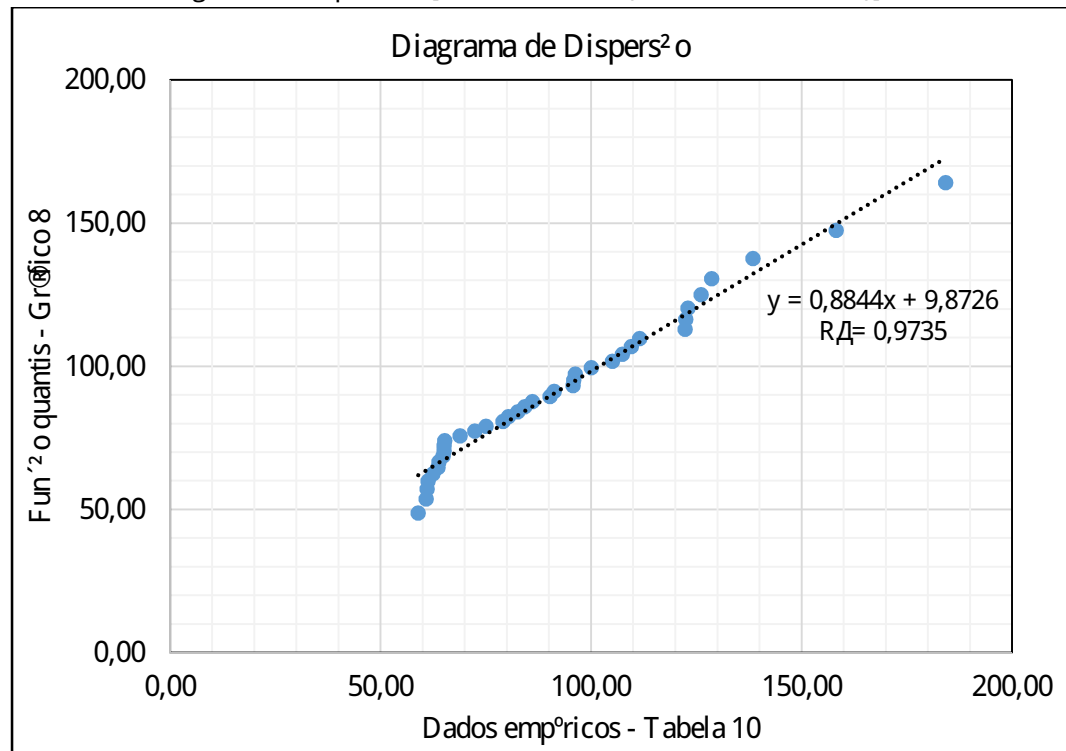


Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Como está evidente no Gráfico 9, os dados empíricos estão distribuídos de forma mais desordenada, enquanto que na função quantis os pontos estão mais uniformemente ordenados. Há também uma divergência maior entre os valores para períodos de retorno maiores, visto que as precipitações diárias máximas coletadas pelos pluviômetros tendem a ser superiores às estimadas estatisticamente pela função quantis.

Com o objetivo de correlacionar linearmente os dados coletados empiricamente com os calculados pela função quantis, pode-se esquematizar o diagrama de dispersão entre os valores da Tabela 10 e os calculados pela função quantis para os respectivos períodos de retorno, que está ilustrado no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Diagrama de Dispersão 1 [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

O coeficiente de determinação  $R^2$  gerado pelo software Excel entre os valores da função quantis e os dados empíricos é igual a 0,9735, indicando uma correlação linear entre os dados adequada. Contudo, a linha de tendência estimada (linha pontilhada) tem coeficientes angular e linear iguais a 0,8844 e 9,8726, respectivamente, podendo resultar em um subdimensionamento dos dispositivos hidráulicos para elevados períodos de retorno.

O coeficiente angular da linha de tendência do Gráfico 10 é menor que 1,00, indicando que os dados empíricos (eixo das abscissas) tendem a progredir mais que os calculados pela função quantis (eixo das ordenadas). Logo, para períodos de retorno maiores, as precipitações estimadas pela função quantis tendem a ser consideravelmente menores que as precipitações determinadas pelos pluviômetros.

Para a obtenção da função quantis com as considerações propostas por Kite (1977), considera-se o tamanho da amostra na estimativa das precipitações diárias máximas anuais e, calcular a função para essas condições, faz-se necessário utilizar as equações 52, 53 e 54 para a determinação dos respectivos fatores de frequência para cada período de recorrência.

Tomando como base os períodos de retorno contidos na Tabela 10, calcula-se as variáveis reduzidas de Gumbel para cada período de retorno (equação 53), média e desvio padrão das variáveis reduzidas de Gumbel para a amostra de 37 anos de dados.

A média e desvio padrão calculados das variáveis reduzidas de Gumbel para a estação pluviométrica selecionada são iguais a 0,542 e 1,134, respectivamente.

Logo, há como calcular os fatores de frequência segundo as considerações propostas por Kite (1977) em função dos períodos de retorno, conforme as equações 52 e 53. O fator de frequência para a estação pluviométrica 00547005 foi calculada segundo a equação 78.

$$K_T = \frac{1 + \frac{1}{T}}{1 + \frac{1}{T_0}} \quad (78)$$

Sendo:

$K_T$  = fator de frequência considerando o tamanho da amostra;

$T$  = período de retorno, em anos.

Substituindo a equação 78 na equação 51, obtém-se a equação 79, que relaciona a precipitação diária máxima anual e o período de retorno, em anos.

$$P_T = P_0 \left( 1 + \frac{1}{T} \right)^{1 + \frac{1}{T_0}} \quad (79)$$

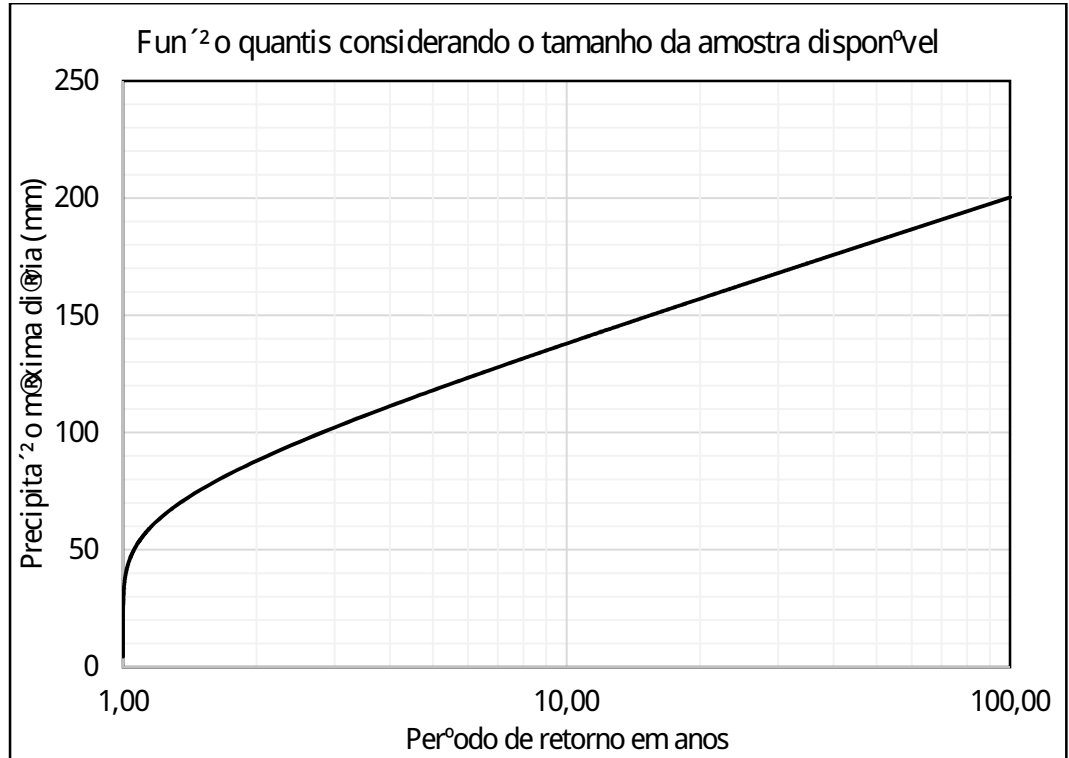
Sendo:

$P_T$  = precipitação diária máxima anual, em milímetros.

A partir da equação 79, que considera o tamanho da amostra disponível, obtém-se a estimativa dos quantis, esquematizada no Gráfico 11, relacionando a precipitação diária máxima anual e o período de retorno para a estação pluviométrica 00547005.

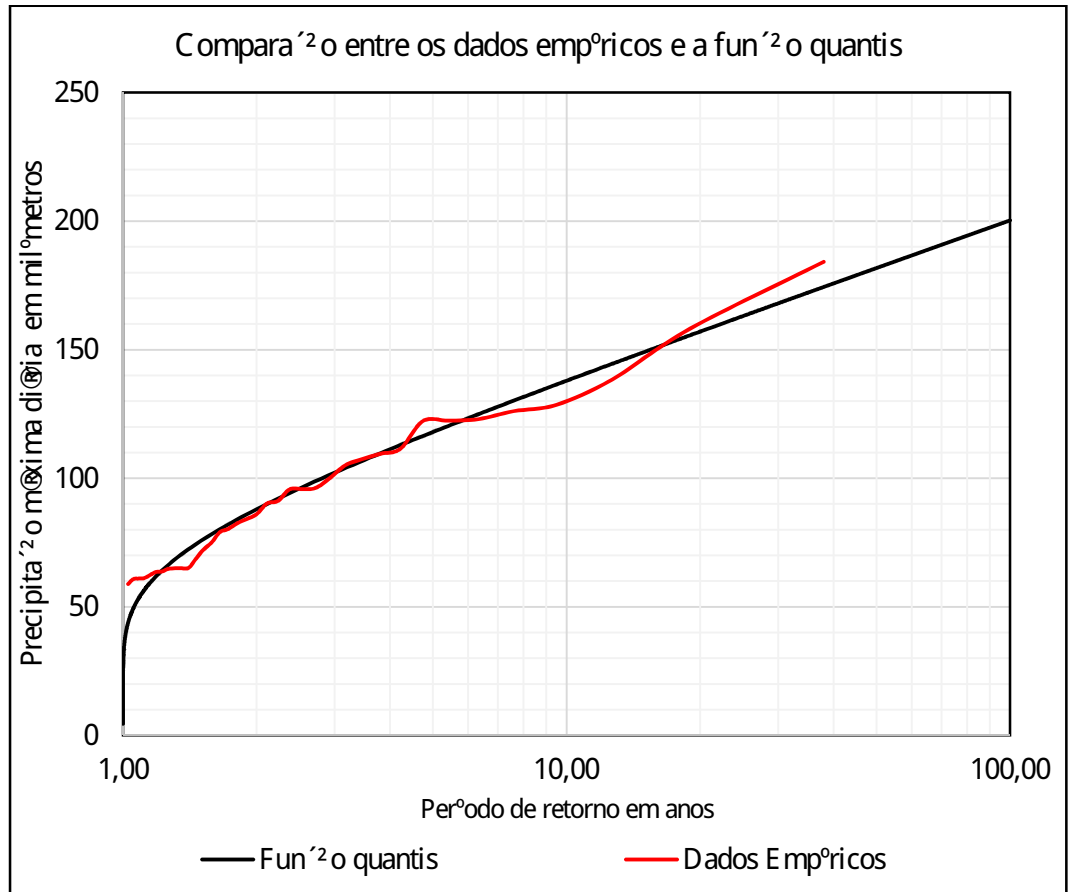
É evidente que, segundo o Gráfico 11, na função quantis considerando o tamanho da amostra disponível há precipitações máximas diárias anuais maiores (para grandes períodos de retorno) que as estimadas no Gráfico 8, que considera o tamanho da amostra infinito. Comparando-se a função quantis ilustrada no Gráfico 11 com os dados empíricos da Tabela 10, de modo semelhante ao Gráfico 9, obtém-se o Gráfico 12, que permite visualizar as divergências entre os dados estimados pelas teorias probabilísticas e os determinados empiricamente.

Gráfico 11 - Função quantis segundo Kite [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Gráfico 12 - Dados empíricos e a função quantis considerando o tamanho da amostra [Posto:00547005 (Período: 1982 a 2018)]

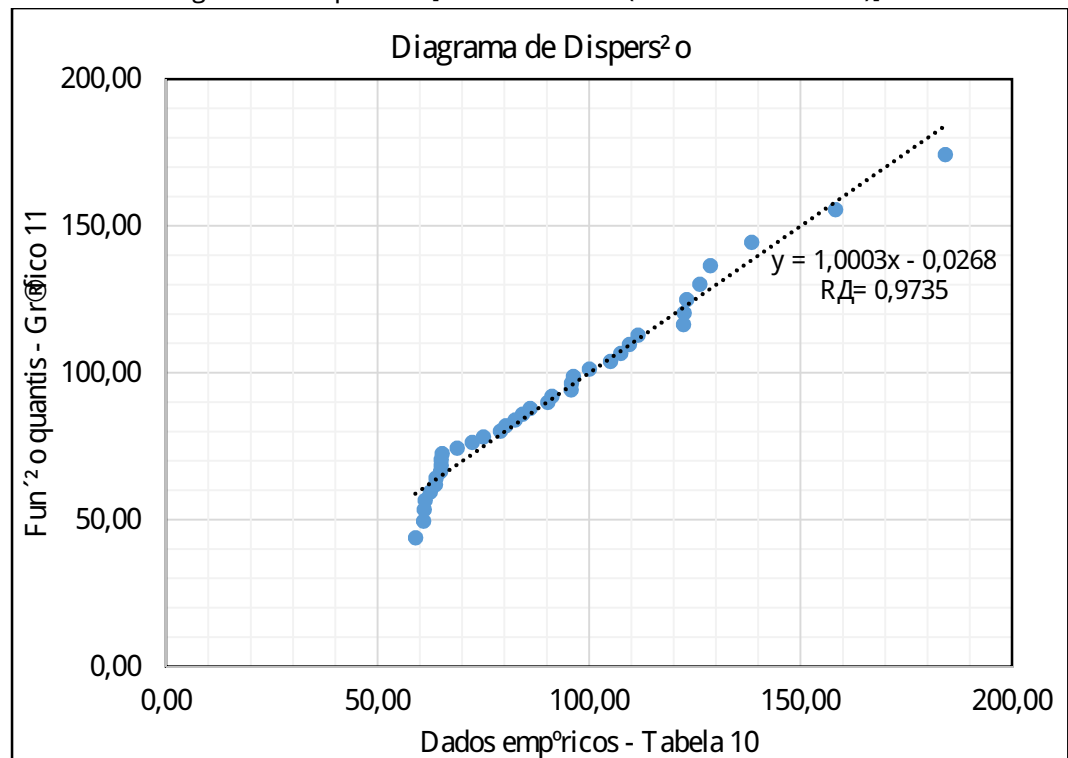


Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Segundo o Gráfico 12, os dados de precipitações diárias máximas calculados considerando-se o tamanho da amostra segundo Kite (1977) apud NAGHETTINI e PINTO (2007) são mais próximos dos dados empíricos que os estimados no Gráfico 10.

De modo semelhante a situação anterior, há como correlacionar os dados coletados com os calculados com os coletados pelos pluviômetros, gerando o diagrama de dispersão no Gráfico 13.

Gráfico 13 - Diagrama de Dispersão [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

O coeficiente de determinação  $R^2$  gerado pelo software Excel entre os valores da função de quantis considerando o tamanho amostral e os dados empíricos é, assim como no caso anterior, igual a 0,9735, sendo também uma correlação linear entre os dados adequada.

O coeficiente angular da linha de tendência do Gráfico 13 é muito próximo de 1,00, indicando que os dados empíricos (eixo das abscissas) tendem a progredir de modo semelhante aos calculados pela função de quantis (eixo das ordenadas) para o segundo caso. Logo, para períodos de retorno maiores, as precipitações estimadas pela equação 79 tendem a ser mais próximas que as estimadas considerando a amostra infinita (Gráfico 8).

Com isso, adota-se a função quantis considerando o tamanho amostral (Gráfico 11) para o dimensionamento dos dispositivos de transposição de talvegues da rodovia MA - 275, evitando, assim, subdimensionamentos.

A análise estatística das variáveis aleatórias permite a extrapolação dos eventos extremos para períodos de retorno maiores. No caso do posto pluviométrico 00547005, há apenas 37 anos de dados pluviométricos disponíveis, ou seja, não é como determinar as precipitações diárias máximas anuais para períodos de retorno maiores que 38 anos, como por exemplo, no caso de OAE, sem aplicar distribuições probabilísticas.

### 3.7 Precipitações e intensidades pluviométricas a partir das três metodologias

#### 3.7.1 Método da desagregação

O método de desagregação de chuvas intensas, desenvolvido por CETESB (1980), objetiva utilizar os valores das precipitações diárias, obtidas em pluviômetros, para determinar a intensidade de chuva de duração igual a 24 horas e, posteriormente, em chuvas com durações menores.

Para a obtenção das intensidades de chuva faz-se necessário a utilização de coeficientes que desagregam a lâmina de água total precipitada em um dia (dados fornecidos pela estação pluviométrica, pois há a utilização de um pluviômetro) em lâminas de água precipitadas em 24 horas e, posteriormente, em 720, 600, 480, 360, 180, 120, 60, 30, 25, 20, 15, 10 e 5 minutos. Os coeficientes de desagregação desenvolvidos por CETESB (1980) estão esquematizados na Tabela 4.

Adotando-se os coeficientes de desagregação esquematizados na Tabela 4 é possível calcular as precipitações para as respectivas durações das chuvas intensas (em minutos) e períodos de retorno (em anos) e, posteriormente, determinar as precipitações e intensidades pluviométricas das chuvas intensas para o local de estudo, que estão esquematizadas nos tópicos 4.1 e 4.4.1.

#### 3.7.2 Método das Isozonas

De acordo com o mapa das Isozonas no Brasil (Figura 6), a estação pluviométrica Buritirana (00547005) está localizada na Isozona F.

Com o método das Isozonas, de modo semelhante ao método da desagregação das chuvas, é possível determinar precipitações com durações inferiores a 24 horas adotando-se os valores esquematizados na Tabela 5, que relaciona as precipitações de 24 horas, 1 hora e 6 minutos em função dos respectivos períodos de retorno.

Pelo método das Isozonas converte-se a chuva de um dia para 24 horas, por meio de um coeficiente de majoração igual a 1,095 e, logo em seguida, com o valor da precipitação da chuva de 24 horas e os percentuais esquematizados na Tabela 5 para a Isozona F<sub>1</sub>, obtêm-se as precipitações e intensidades pluviométricas para cada período de retorno e duração da chuva da estação pluviométrica, que estão esquematizados nos tópicos 4.2 e 4.4.2.

### 3.7.3 Método de Bell

De modo semelhante aos métodos de desagregação da chuva e método das Isozonas, é possível determinar as precipitações e intensidades pluviométricas para chuvas com durações inferiores a 24 horas pelo método de Bell utilizando-se dos conceitos demonstrados no tópico 2.1.11.

As precipitações e intensidades pluviométricas para cada período de retorno e duração da chuva, pelo método de Bell, estão esquematizados nos tópicos 4.3 e 4.4.3.

### 3.8 Equações de Intensidade - Duração - Frequência

As curvas de Intensidade - Duração - Frequência podem ser representadas por equações genéricas que possuem, geralmente, a configuração da equação 1, esquematizada no tópico 2.1.6.

Na obtenção da equação para a curva de Intensidade - Duração - Frequência é necessário a utilização de softwares computacionais devido a elevada complexidade gerada pela grande quantidade de números que se correlacionam simultaneamente.

Para a presente pesquisa, utilizou-se o suplemento do Microsoft Excel denominado 'Solver', que pode ser utilizado para testar hipóteses e, por conseguinte, gerar soluções próximas às condições estabelecidas inicialmente.

As correlações entre os dados gerados pelas equações de IDF e os calculados pelas metodologias são determinadas pelo cálculo do coeficiente amostral de correlação, ou o coeficiente de determinação, conceituados no tópico 2.2.5 da presente pesquisa.

As equações de IDF estão esquematizadas no tópico 4.4, com os respectivos diagramas de dispersão para cada metodologia, indicando uma correlação adequada entre os dados.

### 3.9 Comentários sobre os resultados pluviométricos obtidos com os determinados pelo projeto executivo de engenharia

As curvas de Precipitação - Duração - Frequência (PDF) e Intensidade - Duração - Frequência (IDF) adotadas para o projeto executivo de engenharia estão esquematizadas no Volume 3 - Memorial Justificativo do Projeto Executivo de Engenharia para serviços de melhoria e pavimentação, sendo efetuado pela também pela empresa Maia Melo Engenharia Ltda.

Para a obtenção das curvas no projeto executivo de engenharia, adotou-se o Método das Isozonas para o Posto Pluviométrico de Amarante do Maranhão (00546000).

A comparação das curvas de PDF e IDF obtidas pelas três metodologias e as calculadas no projeto executivo de engenharia estão esquematizadas no tópico 4.5.

### 3.10 Aplicação das equações de IDF

Nos dispositivos de transposição de talvegues, as equações de IDF são aplicadas para determinar a intensidade pluviométrica em função do tempo de concentração da bacia hidrográfica e do período de retorno especificado para cada dispositivo hidráulico.

A Tabela 11, extraída do Volume 3 - Memorial Justificativo do Projeto executivo de engenharia para serviços de melhoria e pavimentação, esquematiza o período de recorrência adotado para cada dispositivo hidráulico.

Tabela 11 - Período de recorrência para cada dispositivo hidráulico

Obra	Período de recorrência (anos)
Drenagem Superficial	10
Bueiros Tubulares	15 (como canal) 25 (como orifício)
Bueiros Celular	25 (como canal) 50 (como orifício)
Ponte	100

Fonte: SINFRA (2017)



O tempo de concentração  $t_c$  calculado em função das características das bacias hidrográficas, tomando-se como base os conceitos do tópico 2.1.7.2. Para o método do DNOS, adota-se  $K = 2$ , para terrenos arenos - argilosos cobertos de vegetação intensa, conforme o projeto executivo de engenharia.

A partir do cálculo da intensidade pluviométrica para cada dispositivo, determina-se a vazão de pico, que  $Q$  calculada para cada bacia hidrográfica segundo os conceitos apresentados no tópico 2.1.8.

No cálculo das vazões das bacias de contribuição foram utilizados os seguintes limites, conforme o Volume 3 - Memória Justificativa do projeto executivo de engenharia:

- a) Bacias com áreas até 4 km<sup>2</sup>, Método Racional;
- b) Bacias com áreas entre 4 km<sup>2</sup> e 10 km<sup>2</sup>, Método Racional Corrigido;
- c) Bacias com áreas superiores a 10 km<sup>2</sup>, Método do Hidrograma Unitário Triangular.

Para bacias com áreas superiores a 10 km<sup>2</sup>, a escolha do número CN  $CN$  baseada na cobertura vegetal do local, condição de retenção superficial e grupo hidrológico do solo.

Em conformidade com a Tabela 3 e o projeto executivo de engenharia, adota-se CN igual a 70, assumindo infiltração abaixo da média, correspondente ao Grupo Hidrológico C para cobertura vegetal predominante do tipo Mata ou Bosque.

Para bacias hidrográficas com área inferior a 10 km<sup>2</sup>, adota-se que os coeficientes de deflúvio variam entre 0,30 e 0,40, em conformidade com o projeto executivo de engenharia.

Com isso, torna-se possível dimensionar os dispositivos de Obras de Arte Correntes (OAC) e Obras de Arte Especiais (OAE) para cada metodologia.

3.11 Considerações adotadas nos projetos de drenagem de transposição de talvegues baseados nas três metodologias em relação ao projeto executivo de engenharia

A comparação entre os dimensionamentos dos dispositivos de drenagem de transposição de talvegues calculados a partir das três metodologias com os dimensionamentos calculados no projeto executivo de engenharia  $Q$  baseada na determinação das quantidades e dimensões dos dispositivos de OAC e no cálculo da Máxima Cheia de Cálculo para as OAE.

As bacias hidrográficas adotadas no dimensionamento dos dispositivos de transposição de talvegues para a presente pesquisa são as mesmas utilizadas no projeto executivo de engenharia, conforme o Anexo A.

No projeto executivo de engenharia as OAC foram dimensionadas como canais, ou seja, os períodos de retorno adotados para bueiros tubulares e celulares são iguais a 15 e 25 anos, respectivamente.

No dimensionamento dos dispositivos de transposição de talvegues da rodovia MA-275, adotou-se os parâmetros geométricos área, comprimento do talvegue principal e cotas máxima e mínima para 59 bacias hidrográficas conforme o projeto executivo de engenharia.

Contudo, no caso da presente pesquisa, a declividade média e, conseqüentemente, o tempo de concentração da chuva calculados a partir destes parâmetros são distintos aos adotados no projeto executivo de engenharia, gerando modificações no dimensionamento hidráulico dos dispositivos de transposição de talvegues, conforme o Apêndice A.

As declividades médias para a presente pesquisa são calculadas em função da diferença entre as cotas máxima e mínima e do comprimento dos talvegues principais, sendo divergentes com os valores adotados no projeto executivo de engenharia, que podem ter sido calculadas por outra metodologia não especificada.

No projeto executivo de engenharia, o tempo de concentração de projeto foi obtido por meio de uma análise comparativa entre os métodos de Kirpich Modificado e DNOS, sendo escolhido sistematicamente o tempo de concentração resultante com maior duração para cada bacia hidrográfica, visando evitar o superdimensionamento das obras de maior porte, conforme o Anexo B.

Na presente pesquisa, contudo, adotou-se os métodos de Kirpich, Kirpich Modificado (para bacias hidrográficas com áreas superiores a 80 hectares) e DNOS.

Além disso, para o caso da presente pesquisa, optou-se por adotar o menor tempo de concentração, pois o tempo de concentração da chuva e a vazão de projeto são grandezas inversamente proporcionais, logo o dimensionamento para essa condição é considerado mais seguro, principalmente na verificação da Máxima Cheia de Cálculo - MCC, para as Obras de Arte Especiais (OAE).

As hidrógrafas de escoamento são calculadas segundo o método do SCS - Soil Conservation Service, para bacias com áreas superiores a 10 km<sup>2</sup>. No projeto executivo de engenharia optou-se por adotar o fator redutor (pond factor), com valor igual a 0,72 conforme recomendações da publicação do US SCS (Soil Conservation Service - TR 55). Contudo, no caso da presente pesquisa esse efeito amortecedor não foi considerado no cálculo, pois segundo a publicação do US SCS (Soil Conservation Service - TR 55), a precisão da descarga de pico será reduzida caso as perdas iniciais Ia (em função do número de curva CN) forem distintas às consideradas na Tabela 4.1 da respectiva norma (Anexo A.M). Além disso, no projeto executivo de engenharia não há informações relativas ao percentual de área alagada que, segundo a publicação do US SCS (Soil Conservation Service - TR 55), para fator redutor (pond factor) de 0,72, a área alagada deve ser igual a 5% (Anexo A.N).

No projeto executivo de engenharia considerou-se que o bueiro celular que está localizado no exutório da bacia 36 funciona em conjunto com a OAE localizada no exutório da bacia 35, gerando uma vazão de pico maior para a OAE, a qual deve suportar a vazão excedente. Contudo, no caso da presente pesquisa, foi considerado que cada dispositivo funciona separadamente, pois a distância entre os dispositivos é igual a aproximadamente 316,5 metros e, entre os dois dispositivos, há a presença de um divisor de águas, conforme o Anexo A.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Método da desagregação

As Tabelas 12 e 13 relacionam as precipitações e intensidades pluviométricas calculadas em função da duração da chuva e a do período de retorno pelo método da desagregação, para a estação pluviométrica de Buritirana (00547005).

Tabela 12 - Precipitação (em milímetros) pelo método da desagregação [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]

Duração (minutos)	Período de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	10,593	14,217	16,617	17,971	18,918	19,649	21,898	24,131
10	16,823	22,580	26,391	28,541	30,047	31,207	34,779	38,325
15	21,808	29,270	34,211	36,998	38,950	40,453	45,084	49,681
20	25,235	33,870	39,587	42,812	45,071	46,810	52,169	57,488
25	28,351	38,051	44,474	48,098	50,635	52,589	58,609	64,585
30	31,155	41,815	48,873	52,855	55,643	57,790	64,406	70,973
60	42,101	56,506	66,044	71,425	75,193	78,095	87,035	95,909
120	48,115	64,579	75,479	81,629	85,935	89,251	99,468	109,610
180	54,130	72,651	84,914	91,832	96,676	100,408	111,902	123,311
360	72,173	96,868	113,218	122,443	128,902	133,877	149,203	164,415
480	78,187	104,940	122,653	132,646	139,644	145,033	161,636	178,117
600	82,197	110,322	128,943	139,449	146,805	152,471	169,925	187,251
720	85,204	114,358	133,660	144,551	152,176	158,049	176,142	194,101
1440	100,240	134,539	157,247	170,060	179,030	185,940	207,226	228,354

Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

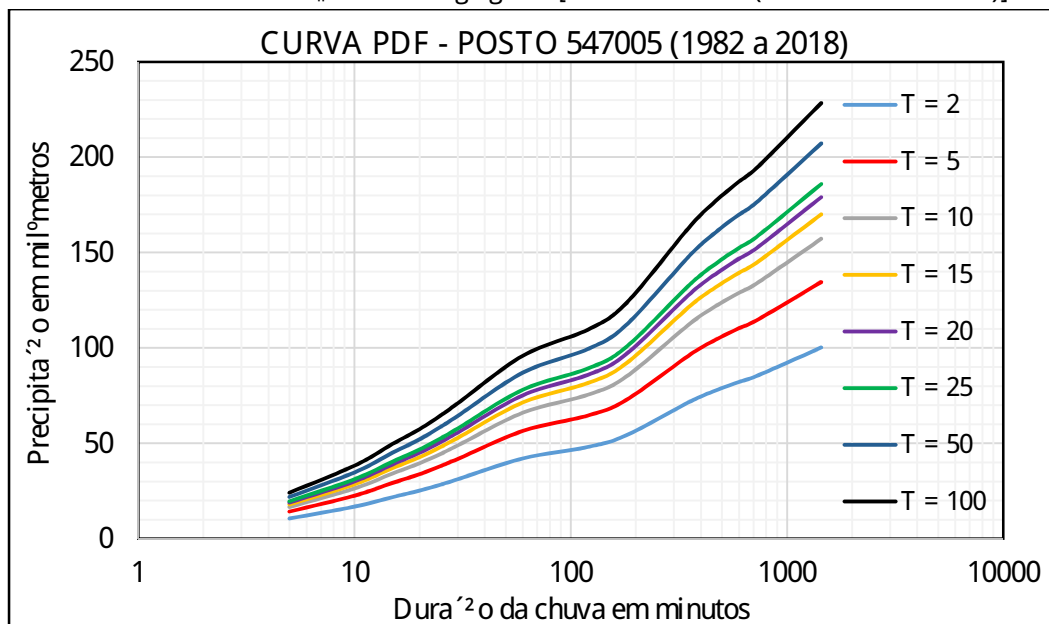
Tabela 13 - Intensidade pluviométrica (em milímetros por minuto) pelo método da desagregação [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]

Duração (minutos)	Período de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	10,593	14,217	16,617	17,971	18,918	19,649	21,898	24,131
10	16,823	22,580	26,391	28,541	30,047	31,207	34,779	38,325
15	21,808	29,270	34,211	36,998	38,950	40,453	45,084	49,681
20	25,235	33,870	39,587	42,812	45,071	46,810	52,169	57,488
25	28,351	38,051	44,474	48,098	50,635	52,589	58,609	64,585
30	31,155	41,815	48,873	52,855	55,643	57,790	64,406	70,973
60	42,101	56,506	66,044	71,425	75,193	78,095	87,035	95,909
120	48,115	64,579	75,479	81,629	85,935	89,251	99,468	109,610
180	54,130	72,651	84,914	91,832	96,676	100,408	111,902	123,311
360	72,173	96,868	113,218	122,443	128,902	133,877	149,203	164,415
480	78,187	104,940	122,653	132,646	139,644	145,033	161,636	178,117
600	82,197	110,322	128,943	139,449	146,805	152,471	169,925	187,251
720	85,204	114,358	133,660	144,551	152,176	158,049	176,142	194,101
1440	100,240	134,539	157,247	170,060	179,030	185,940	207,226	228,354

Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

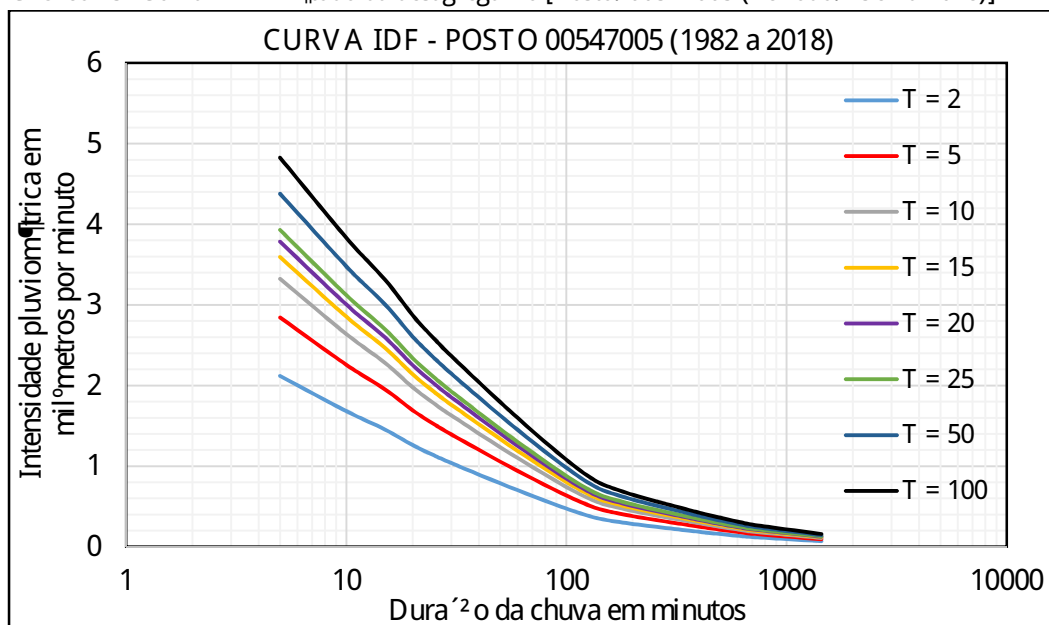
A partir dos dados contidos nas Tabelas 12 e 13, esquematiza-se os Gráficos 14 e 15, que relacionam, para cada período de retorno, a precipitação, intensidade e a duração das chuvas para o posto de Buritirana (00547005) pelo método da desagregação.

Gráfico 14 - Curva PDF - método da desagregação [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Gráfico 15 - Curva IDF - método da desagregação [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

#### 4.2 Método das Isozonas

As Tabelas 14 e 15 relacionam as precipitações e intensidades pluviométricas calculadas em função da duração da chuva e a do período de retorno pelo método das Isozonas, para a estação pluviométrica de Buritirana (00547005).

Tabela 14 - Precipitação (em milímetros) pelo método das Isozonas [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]

Duração (minutos)	Período de retorno (anos)							
	2	10	15	20	25	30	50	100
6	17,963	20,995	22,705	23,903	24,825	25,576	27,667	27,198
60	59,445	68,723	73,996	77,555	80,192	82,432	88,575	96,729
1440	129,228	151,040	163,347	171,963	178,600	184,000	199,046	219,341

Fonte: Agência Nacional de Energia (2019)

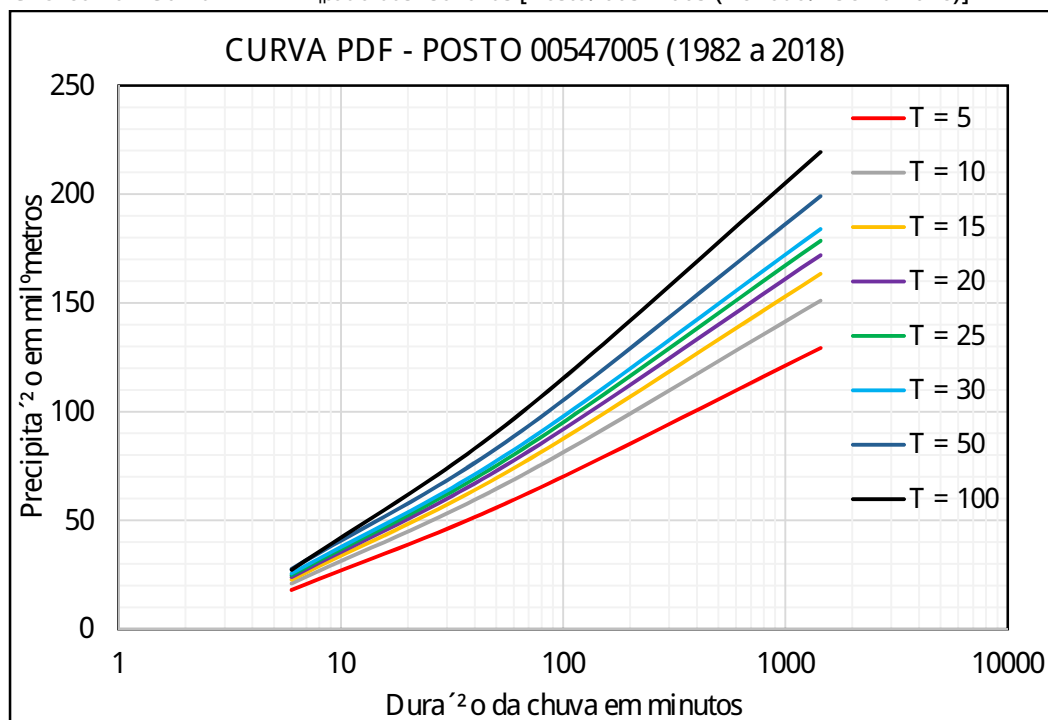
Tabela 15 - Intensidade pluviométrica (em milímetros por minuto) pelo método das Isozonas [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]

Duração (minutos)	Período de retorno (anos)							
	2	10	15	20	25	30	50	100
6	2,994	3,499	3,784	3,984	4,138	4,263	4,611	4,533
60	0,991	1,145	1,233	1,293	1,337	1,374	1,476	1,612
1440	0,090	0,105	0,113	0,119	0,124	0,128	0,138	0,152

Fonte: Agência Nacional de Energia (2019)

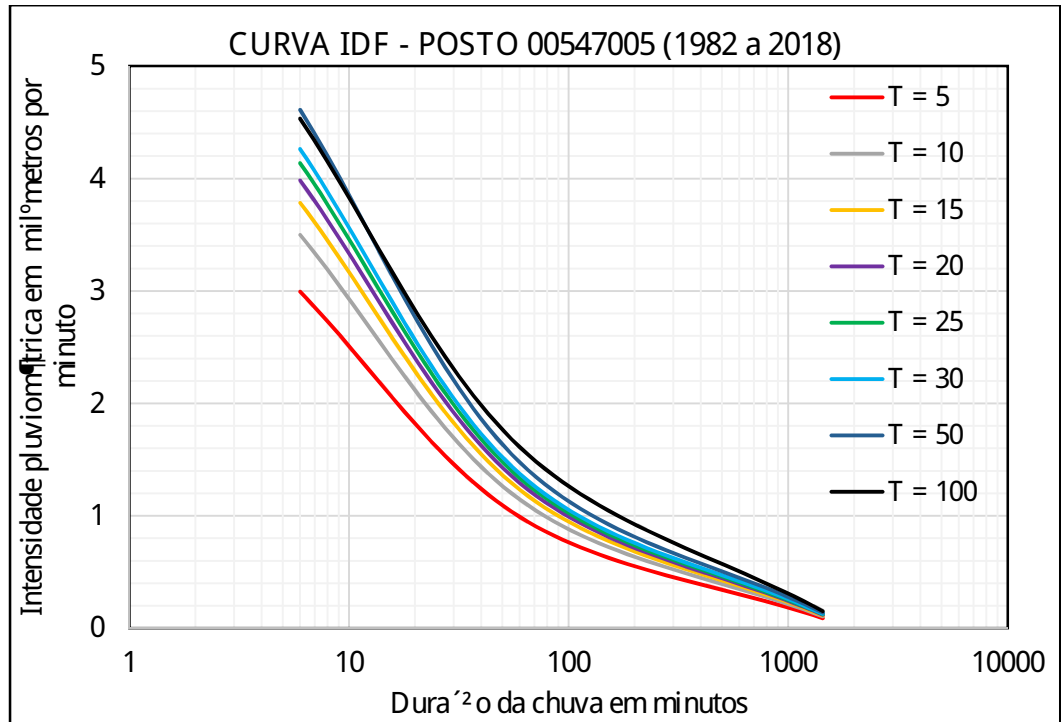
A partir das precipitações e intensidades pluviométricas calculadas pelo método Isozonas nas Tabelas 14 e 15, esquematiza-se os Gráficos 16 e 17, que relacionam, para cada período de retorno, as precipitações e intensidades pluviométricas em função da duração da chuva, respectivamente.

Gráfico 16 - Curva PDF - método das Isozonas [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Energia (2019)

Gráfico 17 - Curva IDF - método das Isozonas [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional deguas (2019)

### 4.3 Método de Bell

A precipitação diária máxima da equação 21 foi calculada adotando o período de retorno igual a dois anos na equação 79. Substituindo o valor obtido, obtém-se a equação 80, que relaciona a precipitação em função da duração da chuva e período de retorno para a estação pluviométrica 00547005.

$$P_{max} = 9,676 \cdot T^{0,15} \cdot D^{0,75} \quad (80)$$

As Tabela 16 e 17, que estão ilustradas a seguir, são obtidas substituindo as variáveis período de retorno e duração na equação 80, as quais apresentam as precipitações e intensidades calculadas pelo método de Bell para a estação pluviométrica 00547005.

Tabela 16 - Precipitação (em milímetros) pelo método de Bell [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]

Duração (minutos)	Período de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	9,676	12,680	14,953	16,282	17,225	17,957	20,229	22,502
10	15,831	20,746	24,464	26,639	28,182	29,379	33,097	36,815
15	20,094	26,333	31,052	33,813	35,772	37,291	42,010	46,730
20	23,461	30,745	36,255	39,478	41,765	43,539	49,049	54,560
25	26,287	34,449	40,623	44,234	46,797	48,784	54,958	61,132

Tabela 16 - Precipitação (em milímetros) pelo método de Bell [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)] - continuação

Duração (minutos)	Período de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
30	28,746	37,671	44,423	48,372	51,174	53,348	60,099	66,851
60	39,472	51,727	60,998	66,421	70,269	73,254	82,524	91,795
120	52,769	69,153	81,547	88,797	93,941	97,931	110,325	122,719

Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

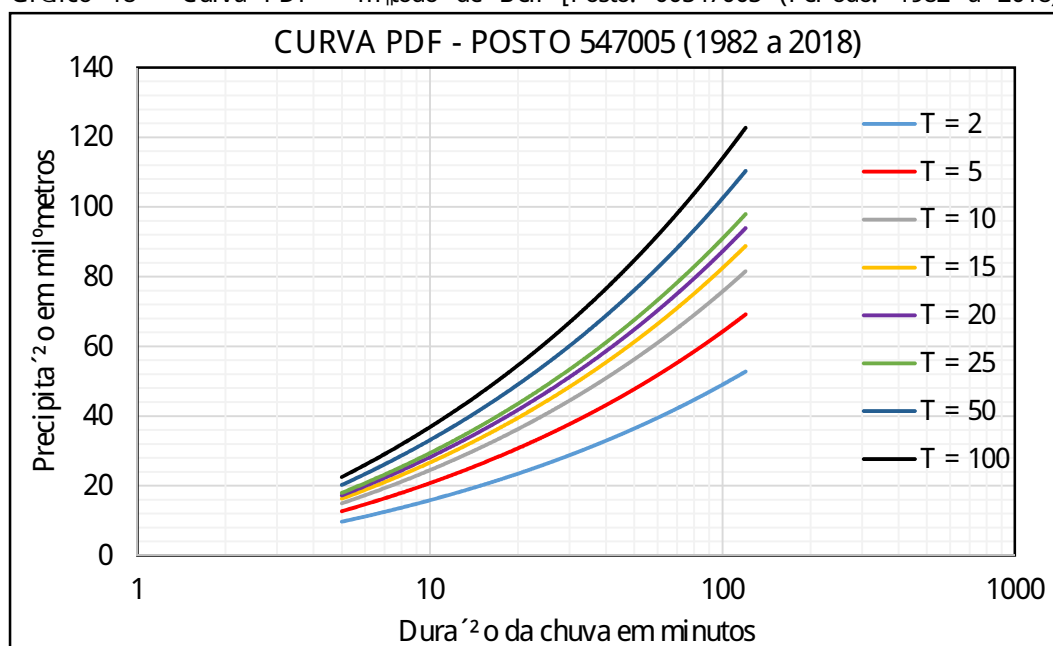
Tabela 17 - Intensidade pluviométrica (em milímetros por minuto) pelo método de Bell [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]

Duração (minutos)	Período de retorno (anos)							
	2	5	10	15	20	25	50	100
5	1,935	2,536	2,991	3,256	3,445	3,591	4,046	4,500
10	1,583	2,075	2,446	2,664	2,818	2,938	3,310	3,682
15	1,340	1,756	2,070	2,254	2,385	2,486	2,801	3,115
20	1,173	1,537	1,813	1,974	2,088	2,177	2,452	2,728
25	1,051	1,378	1,625	1,769	1,872	1,951	2,198	2,445
30	0,958	1,256	1,481	1,612	1,706	1,778	2,003	2,228
60	0,658	0,862	1,017	1,107	1,171	1,221	1,375	1,530
120	0,440	0,576	0,680	0,740	0,783	0,816	0,919	1,023

Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

A partir das precipitações e intensidades pluviométricas calculadas pelo método Isozonas nas Tabelas 16 e 17, esquematiza-se os Gráficos 18 e 19, que relacionam, para cada período de retorno, as precipitações e intensidades pluviométricas em função da duração da chuva, respectivamente.

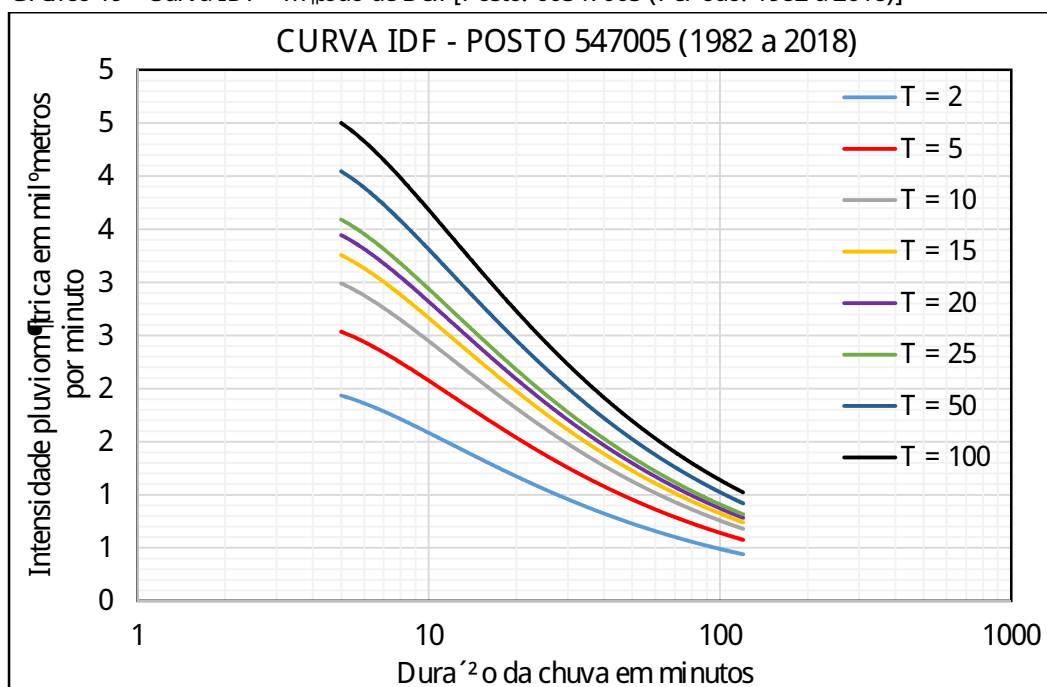
Gráfico 18 - Curva PDF - método de Bell [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)



Gráfico 19 - Curva IDF - método de Bell [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

#### 4.4 Equações de Intensidade - Duração - Frequência

##### 4.4.1 Método da desagregação

Substituindo-se as intensidades pluviométricas da Tabela 13 no suplemento `Solver`, obtém-se a equação 81, que calcula a intensidade pluviométrica em função da duração da chuva e período de retorno pelo método da desagregação para o posto pluviométrico de Buritirana (00547005).

$$i = \frac{1000}{T} \left( \frac{t}{1000} \right)^{-0.7} \quad (81)$$

Sendo:

$i$  = intensidade pluviométrica estimada, em milímetros por hora;

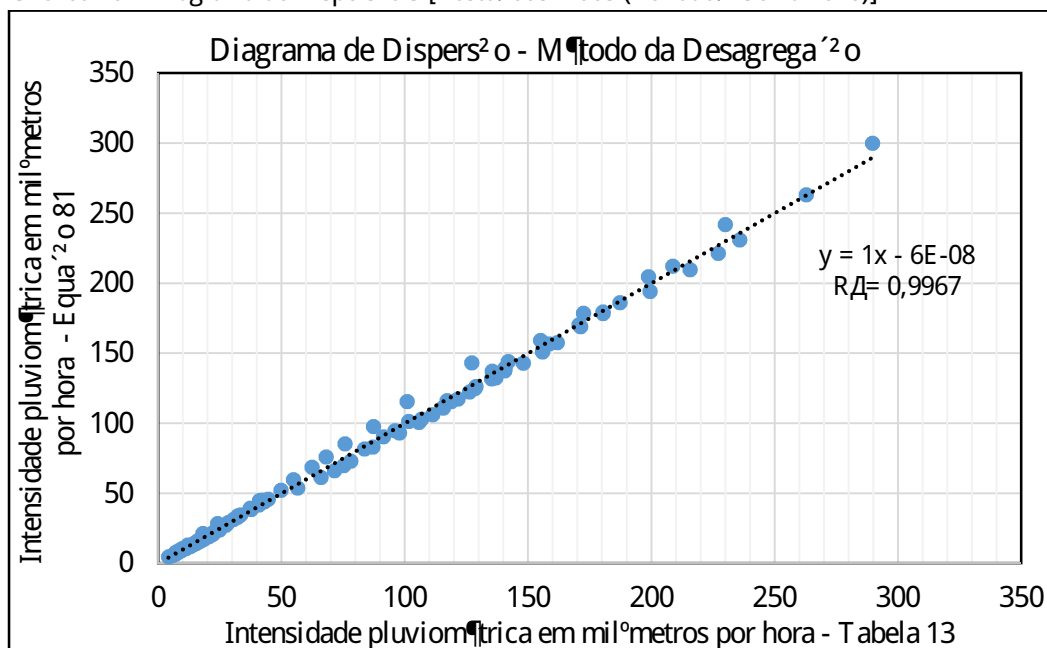
$T$  = período de retorno, em anos;

$t$  = duração da chuva, em minutos.

No Gráfico 20 está esquematizado o diagrama de dispersão entre as intensidades estimadas pela equação 81 e os dados contidos na Tabela 13, a fim de correlacionar linearmente os dados calculados com os tabelados.

Segundo o Gráfico 20, o coeficiente de determinação entre os dados é igual a 0,9967, indicando uma correlação linear adequada. A linha de tendência (linha pontilhada) tem coeficientes angulares e lineares aproximadamente iguais a um e zero, respectivamente, ou seja, a equação 81 é adequada na estimativa das precipitações pluviométricas para o método da desagregação.

Gráfico 20 - Diagrama de Dispersão 3 [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

#### 4.4.2 Método das Isozonas

Substituindo-se as intensidades pluviométricas da Tabela 15 no suplemento `Solver`, obtém-se a equação 82, que calcula a intensidade pluviométrica em função da duração da chuva e período de retorno pelo método das Isozonas para o posto pluviométrico 00547005.

$$i = \frac{1000 \times T \times t}{2250000} \quad (82)$$

Sendo:

$i$  = intensidade pluviométrica estimada, em milímetros por hora;

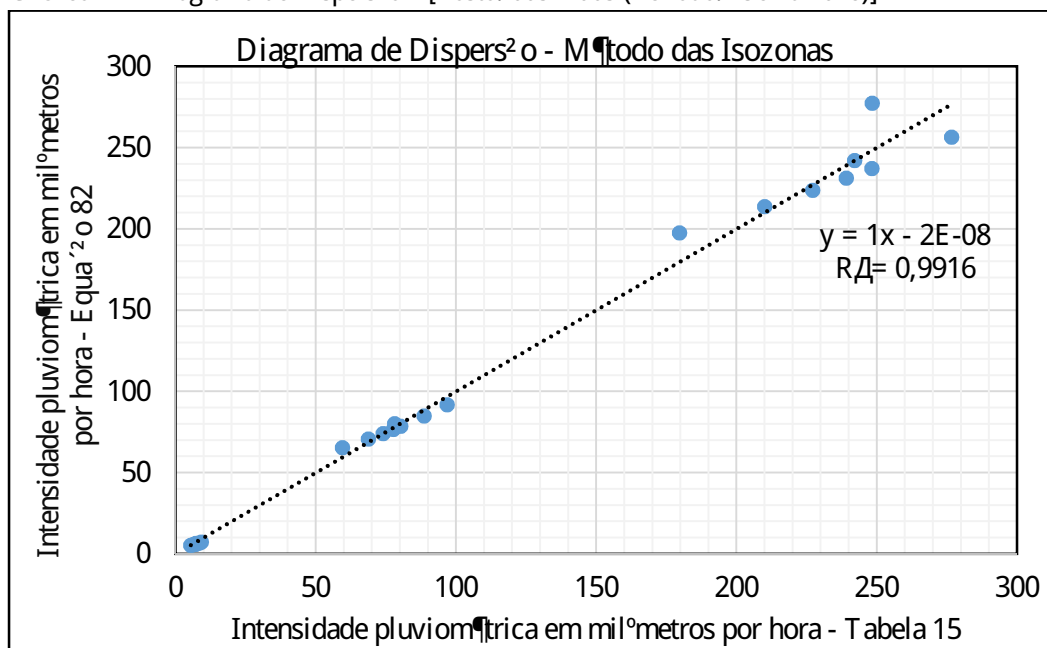
$T$  = período de retorno, em anos;

$t$  = duração da chuva, em minutos.

No Gráfico 21 está esquematizado o diagrama de dispersão entre as intensidades estimadas pela equação 82 e os dados contidos na Tabela 15, a fim de correlacionar linearmente os dados calculados com os tabelados.

Segundo o Gráfico 21, o coeficiente de determinação entre os dados é igual a 0,9916, indicando uma correlação linear adequada. A linha de tendência (linha pontilhada) tem coeficientes angulares e lineares aproximadamente iguais a um e zero, respectivamente, ou seja, a equação 82 é adequada na estimativa das precipitações pluviométricas para o método das Isozonas.

Gráfico 21 - Diagrama de Dispersão 4 [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

#### 4.4.3 Método de Bell

Substituindo-se as intensidades pluviométricas da Tabela 17 no suplemento `Solver`, obtém-se a equação 83, que calcula a intensidade pluviométrica em função da duração da chuva e período de retorno pelo método de Bell para o posto pluviométrico 00547005.

$$i = \frac{\sqrt{0,0001 \cdot T \cdot t}}{0,0001 \cdot T \cdot t} \quad (83)$$

Sendo:

$i$  = intensidade pluviométrica estimada, em milímetros por hora;

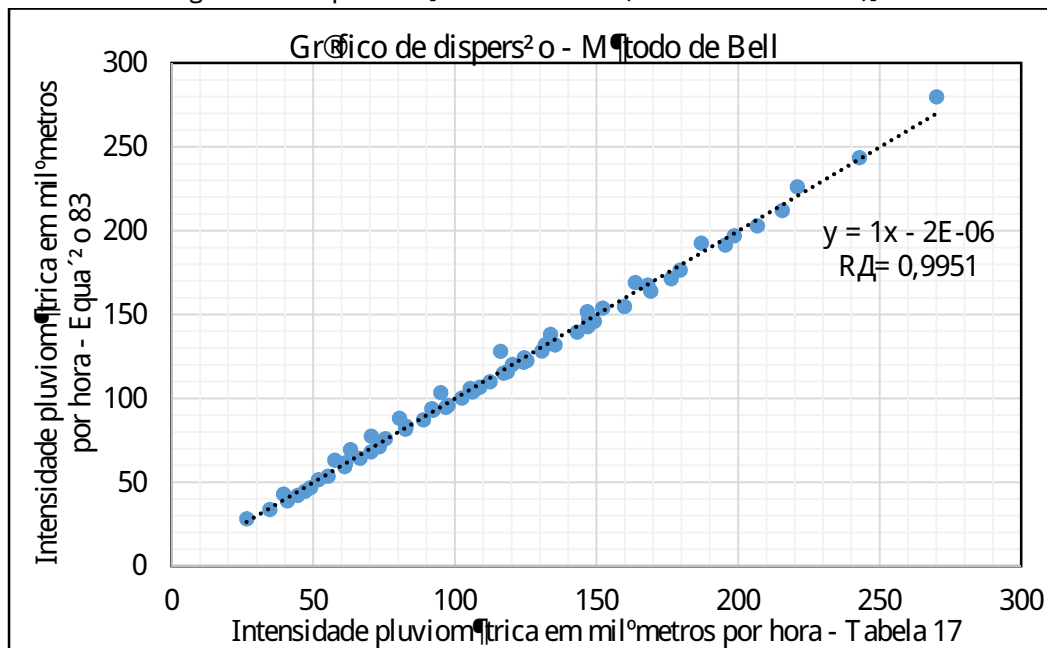
$T$  = período de retorno, em anos;

$t$  = duração da chuva, em minutos.

No Gráfico 22 está esquematizado o diagrama de dispersão entre as intensidades estimadas pela equação 83 e os dados contidos na Tabela 17, a fim de correlacionar linearmente os dados calculados com os tabelados.

Segundo o Gráfico 22, o coeficiente de determinação entre os dados é igual a 0,9951, indicando uma correlação linear adequada. A linha de tendência (linha pontilhada) tem coeficientes angulares e lineares aproximadamente iguais a um e zero, respectivamente, ou seja, a equação é adequada na estimativa das precipitações pluviométricas para o método de Bell.

Gráfico 22 - Diagrama de Dispersão [Posto: 00547005 (Período: 1982 a 2018)]



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

#### 4.5 Comparação dos resultados pluviométricos obtidos com os determinados pelo projeto executivo de engenharia

No Volume 3 - Memorial Justificativo, há as precipitações e intensidades pluviométricas adotadas no projeto, que estão ilustradas nas Tabelas 18 e 19, respectivamente, as quais foram obtidas pelo método das Isozonas para o posto pluviométrico de Amarante do Maranhão (00546000), com a série de dados analisados compreendida entre 1966 e 1989.

Tabela 18 - Precipitação em milímetros [Posto: 00546000 (Período: 1966 a 1989)]

Duração (minutos)	Período de retorno (anos)					
	5	10	15	25	50	100
6	20,70	23,60	25,30	27,30	30,00	29,20
15	38,80	44,00	46,90	50,40	55,10	57,60
30	54,10	61,10	65,20	69,90	76,30	81,40
60	68,50	77,30	82,30	88,20	96,20	103,90
120	86,00	97,50	104,00	111,80	122,30	132,60
240	103,20	117,20	125,20	134,90	147,90	160,70
480	120,70	137,40	146,90	158,50	174,10	189,50
840	134,40	153,10	163,80	176,80	194,40	211,80
1440	148,90	169,90	181,80	196,40	216,10	235,60

Fonte: SINFRÁ (2017)

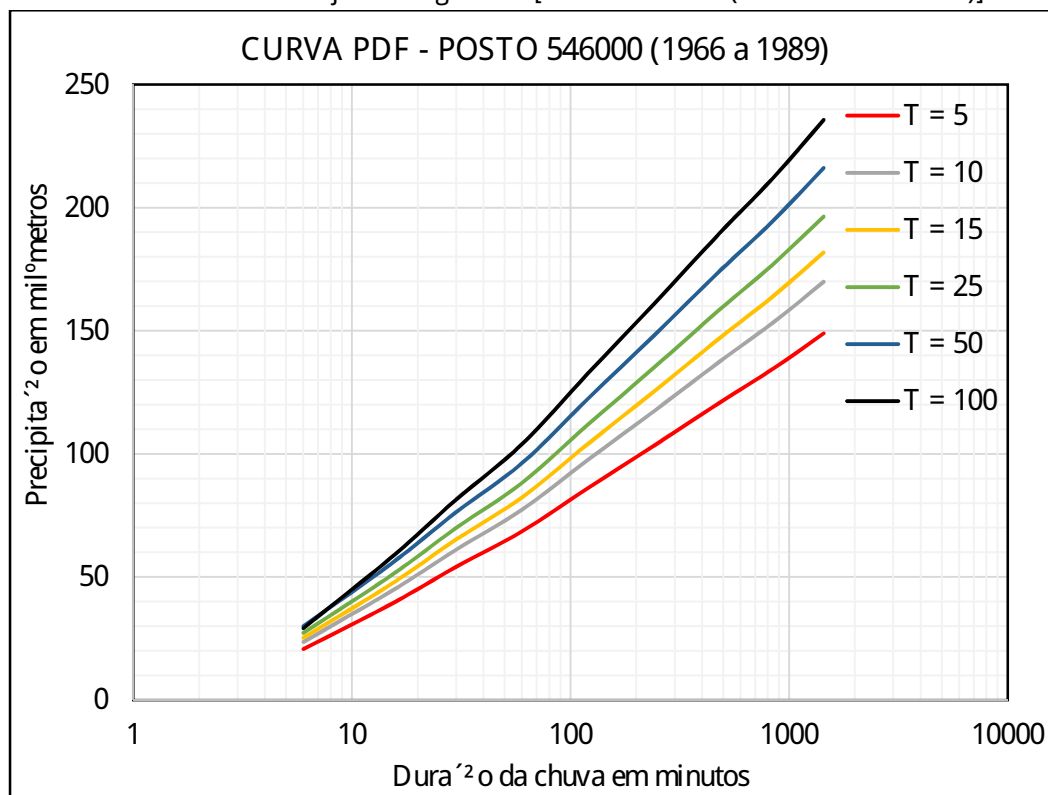
Tabela 19 - Intensidade em milímetros por minuto [Posto: 00546000 (Período: 1966 a 1989)]

Duração (minutos)	Período de retorno (anos)					
	5	10	15	25	50	100
6	3,45	3,93	4,22	4,55	5,00	4,87
15	2,59	2,93	3,13	3,36	3,67	3,84
30	1,80	2,04	2,17	2,33	2,54	2,71
60	1,14	1,29	1,37	1,47	1,60	1,73
120	0,72	0,81	0,87	0,93	1,02	1,11
240	0,43	0,49	0,52	0,56	0,62	0,67
480	0,25	0,29	0,31	0,33	0,36	0,39
840	0,16	0,18	0,20	0,21	0,23	0,25
1440	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16

Fonte: SINFRA (2017)

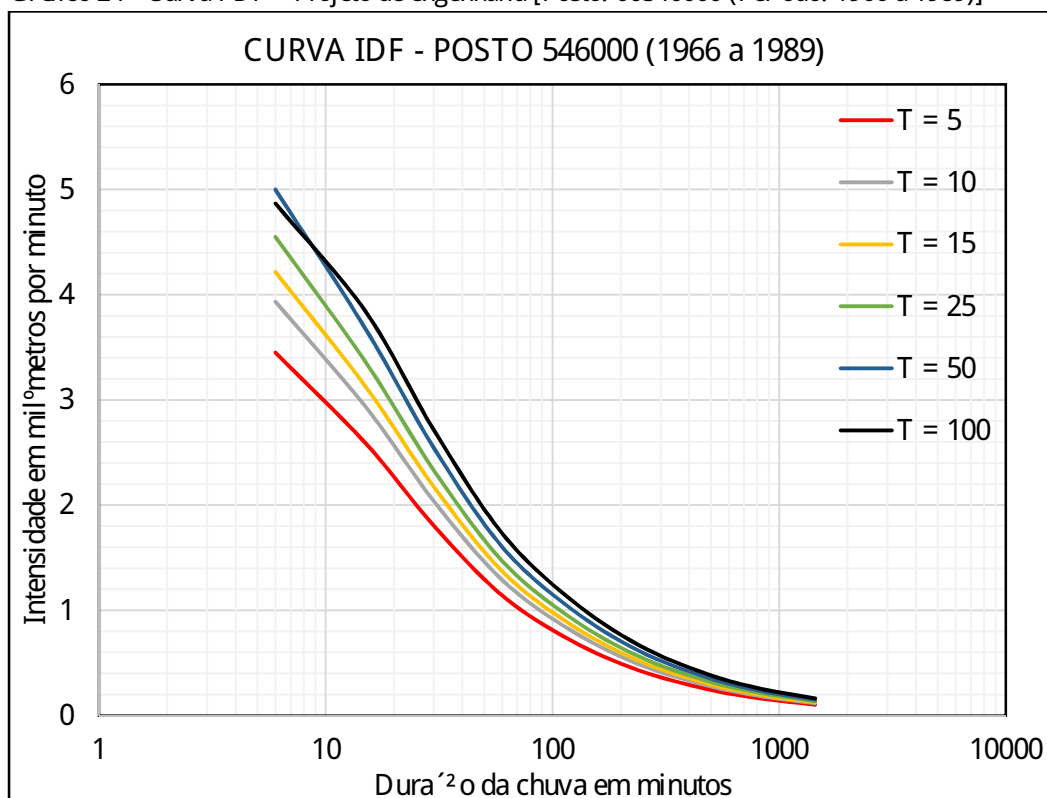
A partir dos dados contidos nas Tabela 18 e 19, esquematiza-se as curvas PDF e IDF nos Gráficos 23 e 24, que relacionam, para cada período de retorno, as precipitações e intensidades pluviométricas em função do período de retorno e duração da chuva, respectivamente.

Gráfico 23 - Curva PDF - Projeto de engenharia [Posto: 00546000 (Período: 1966 a 1989)]



Fonte: SINFRA (2017)

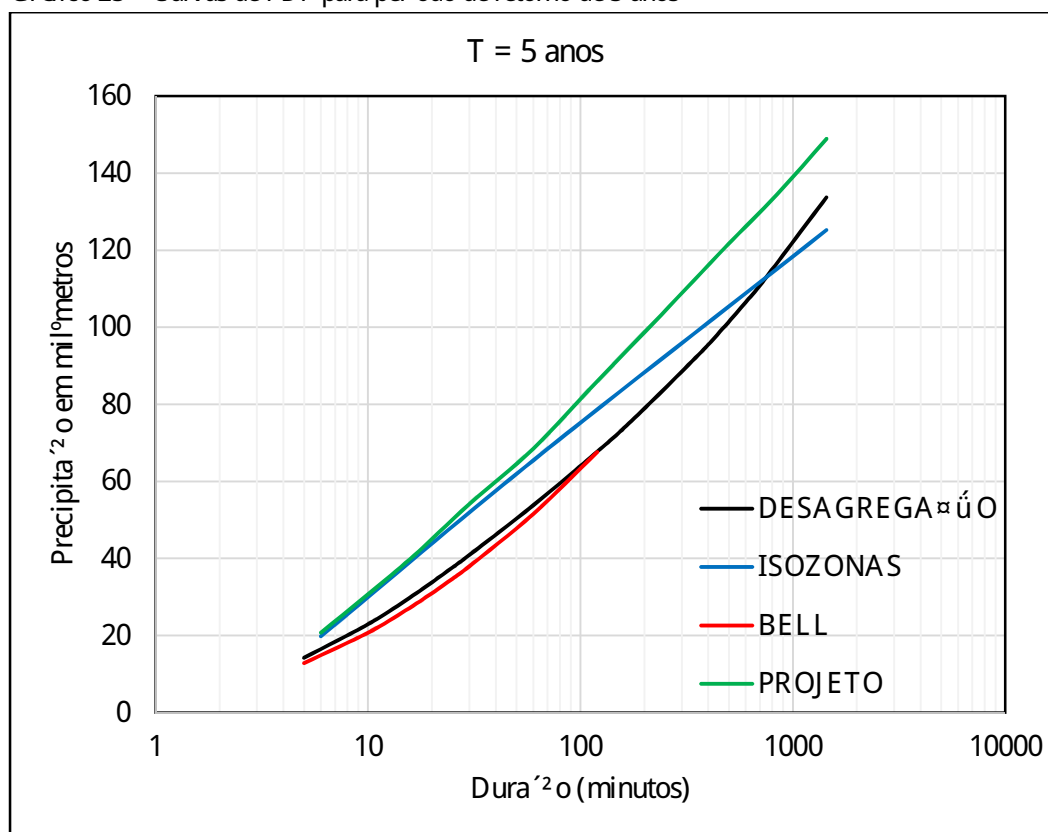
Gráfico 24 - Curva IDF - Projeto de engenharia [Posto: 00546000 (Período: 1966 a 1989)]



Fonte: SINFRA (2017)

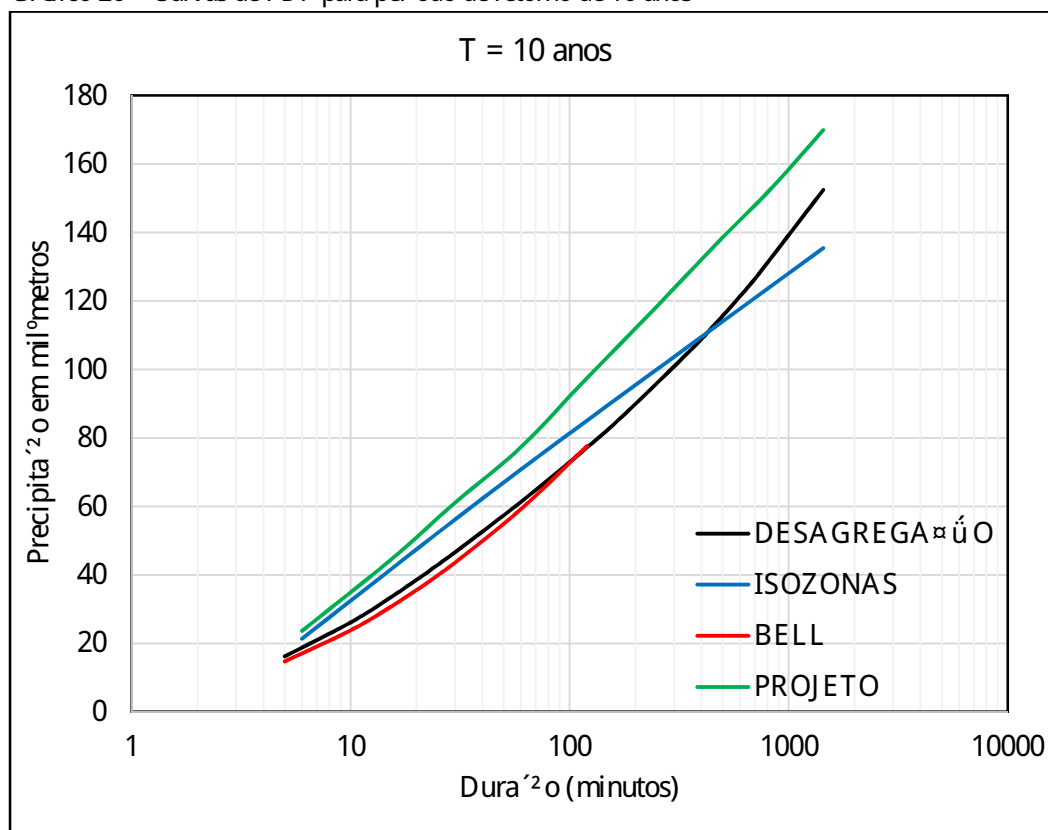
A comparação das intensidades pluviométricas calculadas na presente pesquisa e as adotadas para o projeto executivo de engenharia está ilustrada nos Gráficos a seguir, que relacionam as precipitações e intensidades pluviométricas calculadas pelas equações 81, 82 e 83 com esquematizadas nos Gráficos 23 e 24 para cada período de retorno.

Gráfico 25 - Curvas de PDF para período de retorno de 5 anos



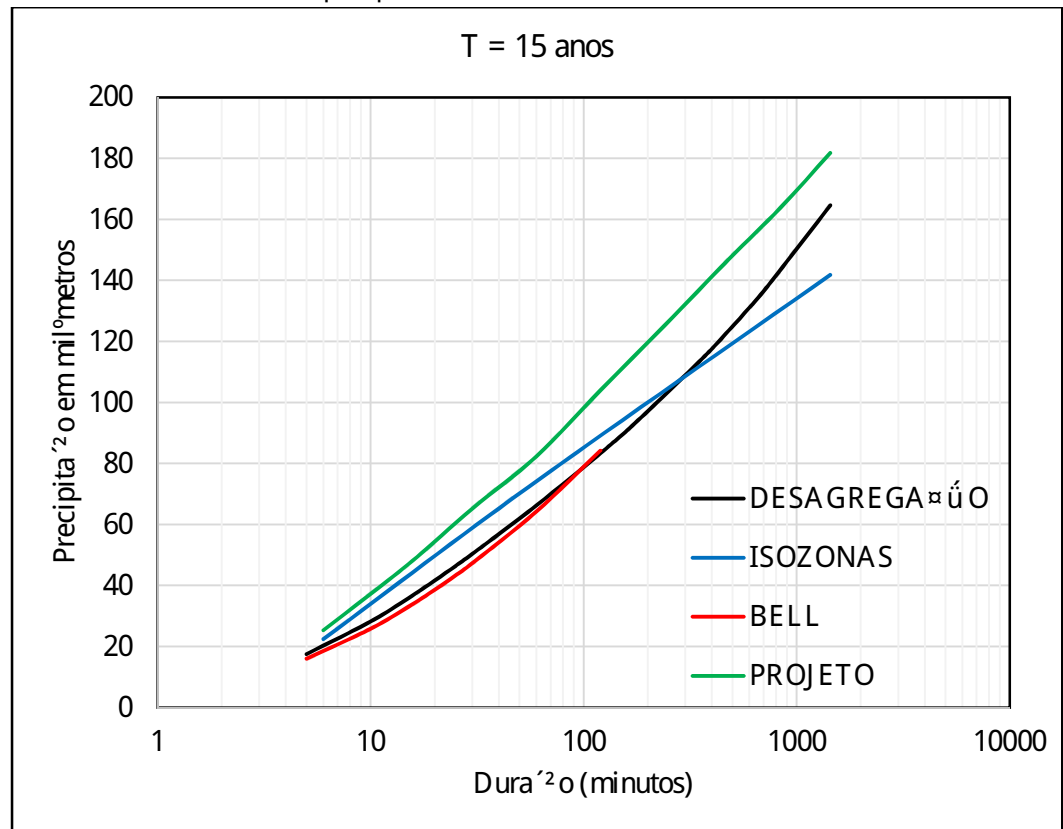
Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Gráfico 26 - Curvas de PDF para período de retorno de 10 anos



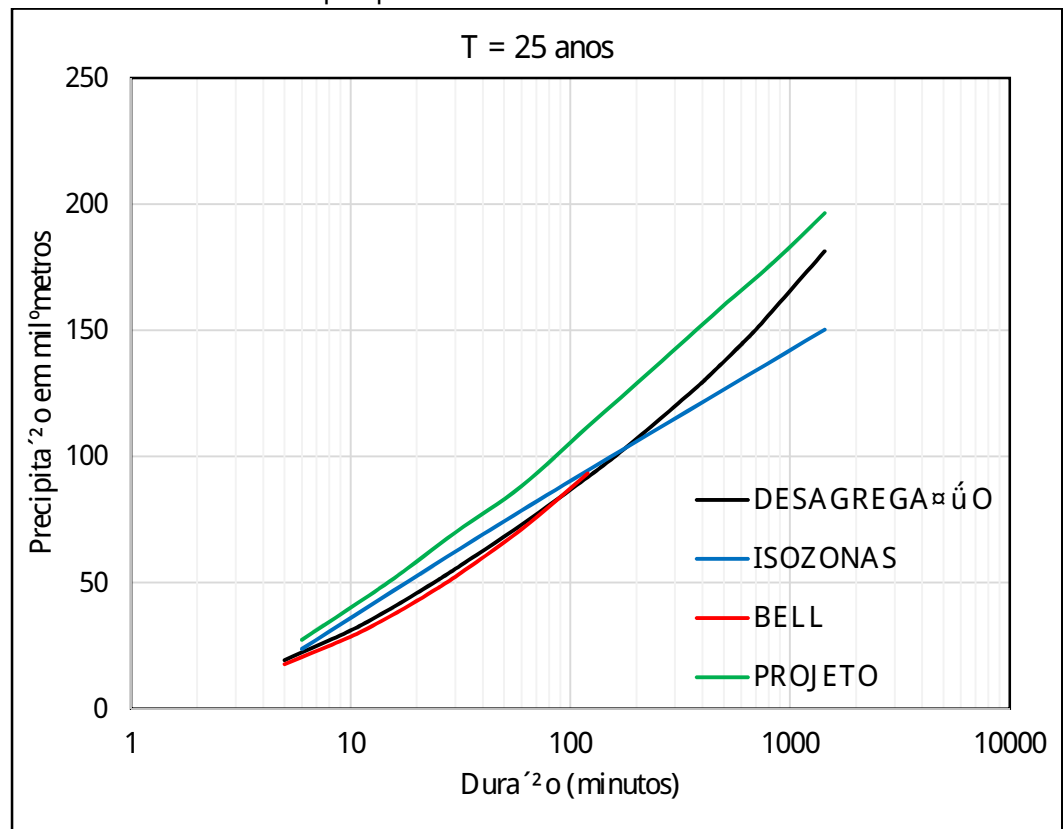
Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Gráfico 27 - Curvas de PDF para período de retorno de 15 anos



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

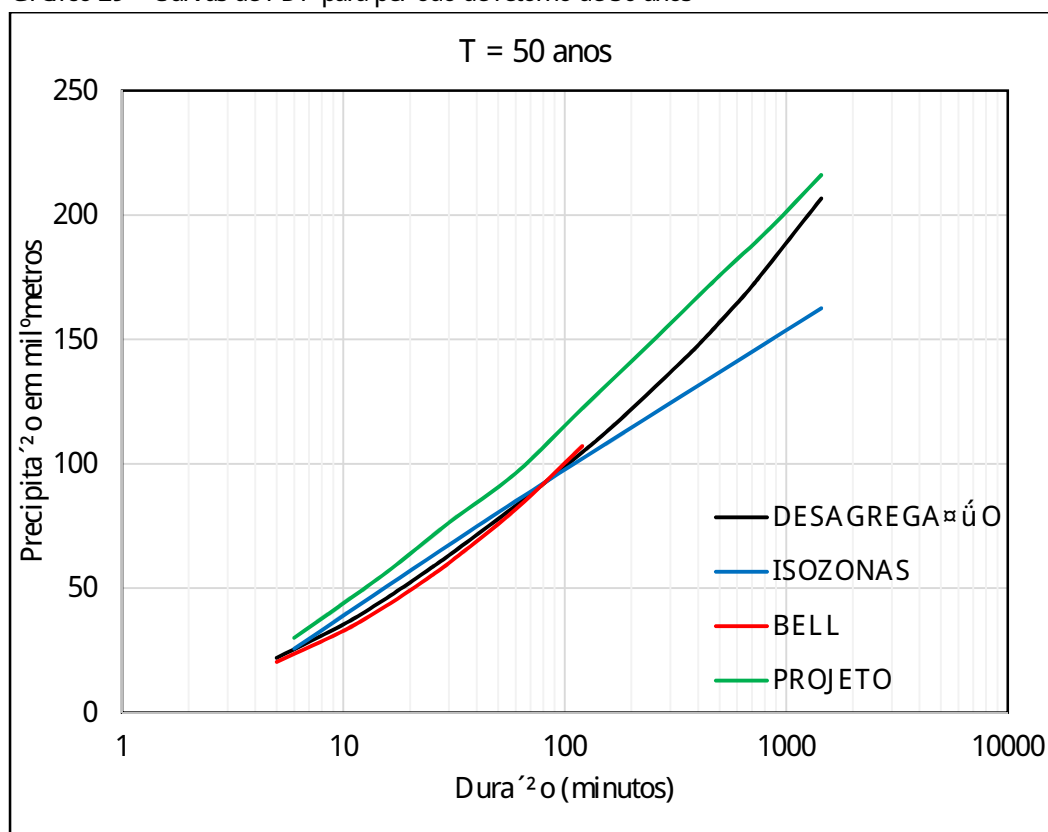
Gráfico 28 - Curvas de PDF para período de retorno de 25 anos



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

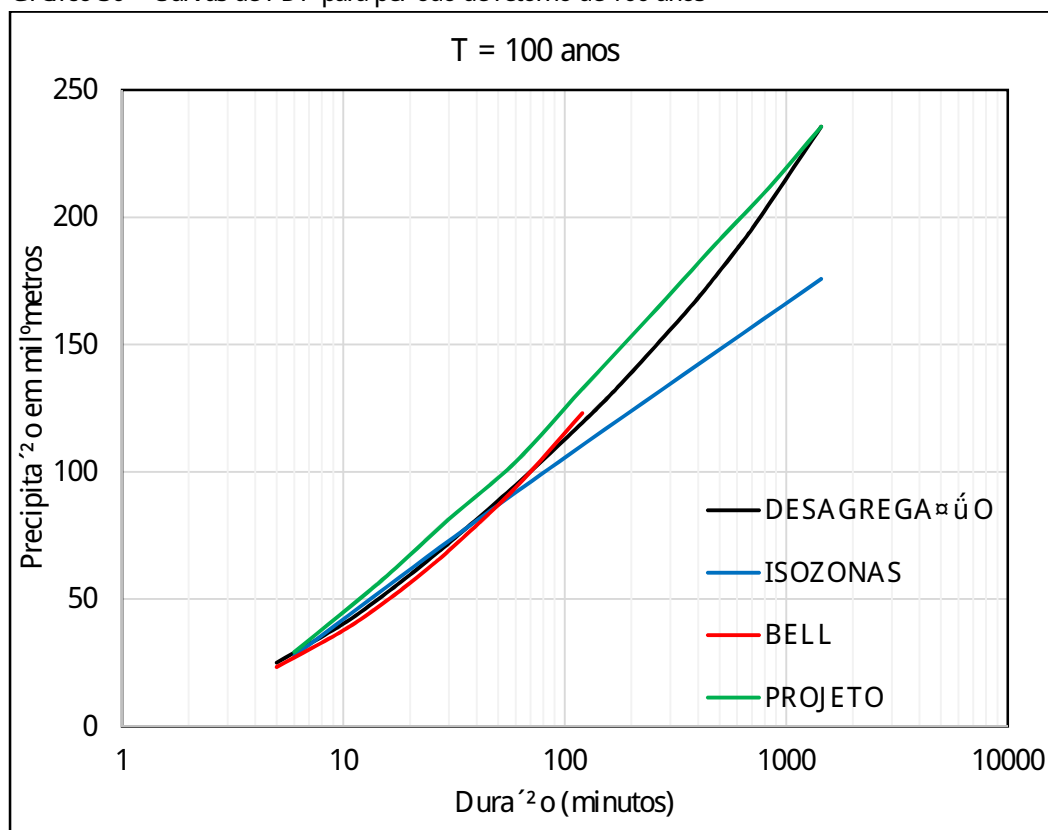


Gráfico 29 - Curvas de PDF para período de retorno de 50 anos



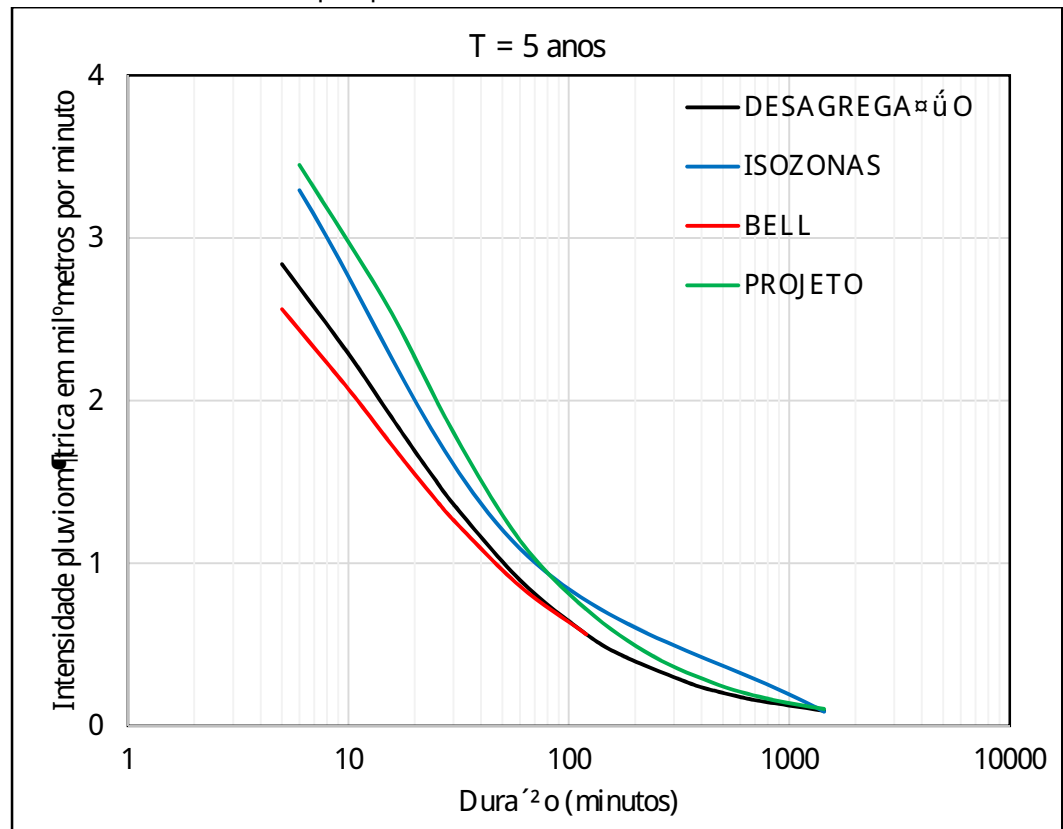
Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Gráfico 30 - Curvas de PDF para período de retorno de 100 anos



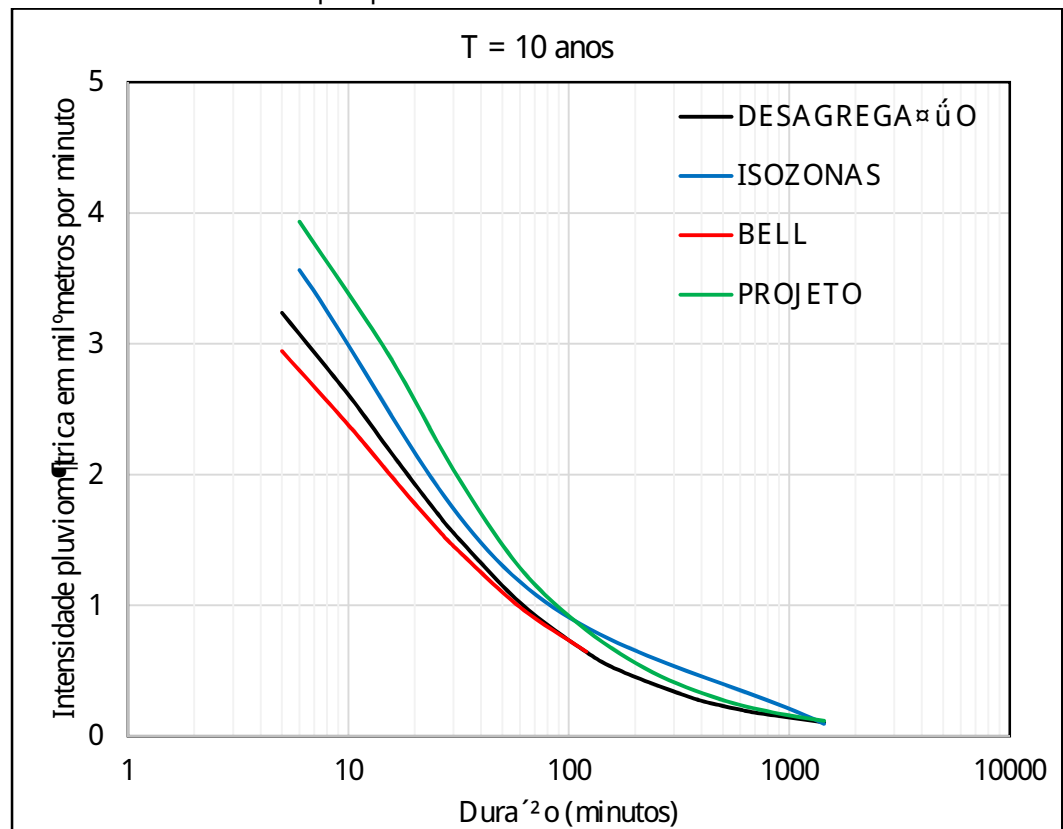
Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Gráfico 31 - Curvas de IDF para período de retorno de 5 anos



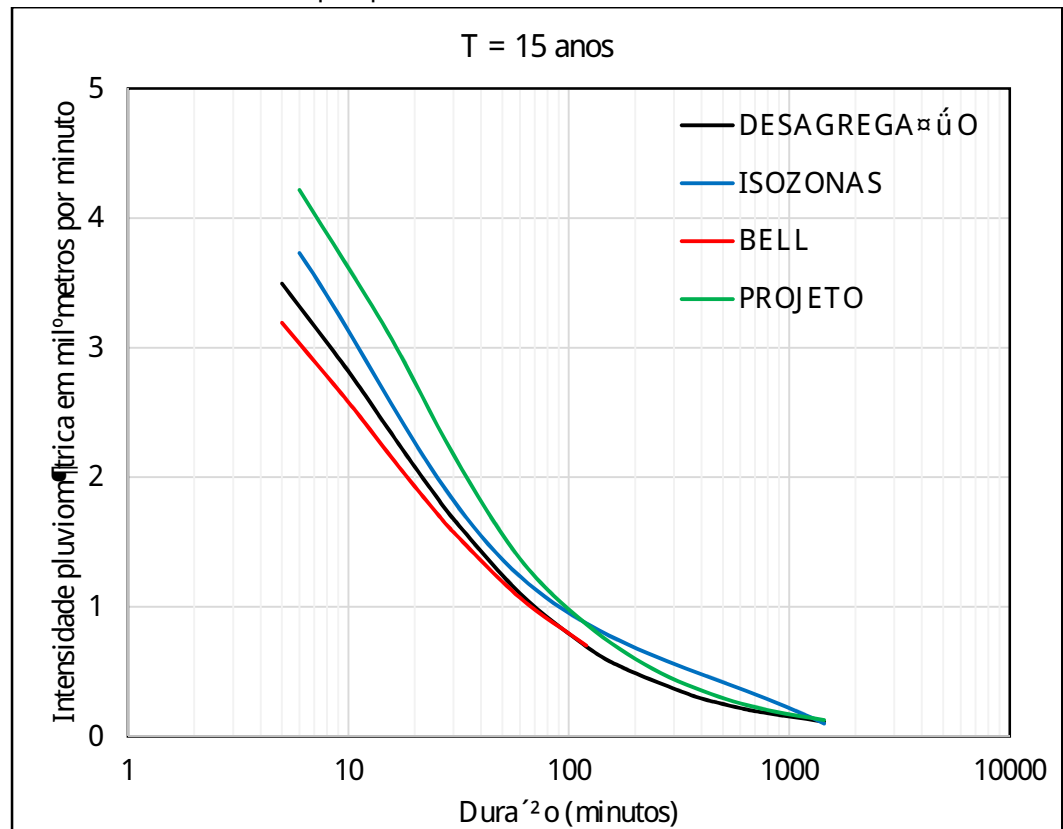
Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Gráfico 32 - Curvas de IDF para período de retorno de 10 anos



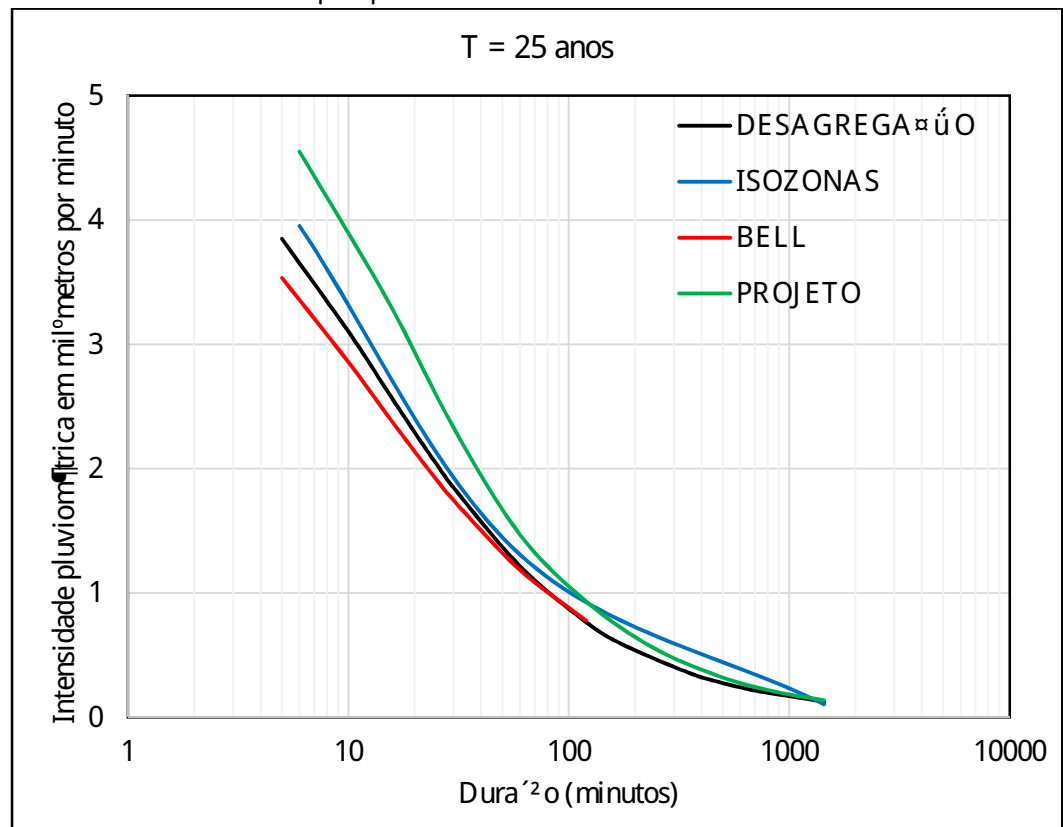
Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Gráfico 33 - Curvas de IDF para período de retorno de 15 anos



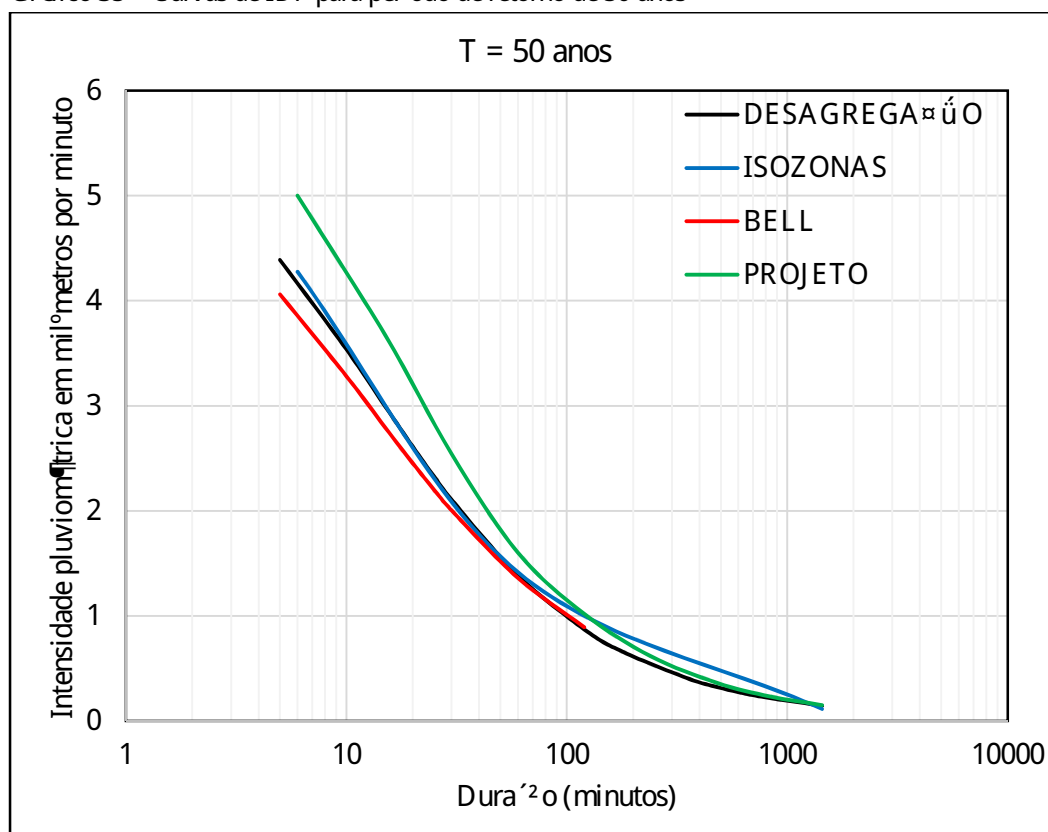
Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Gráfico 34 - Curvas de IDF para período de retorno de 25 anos



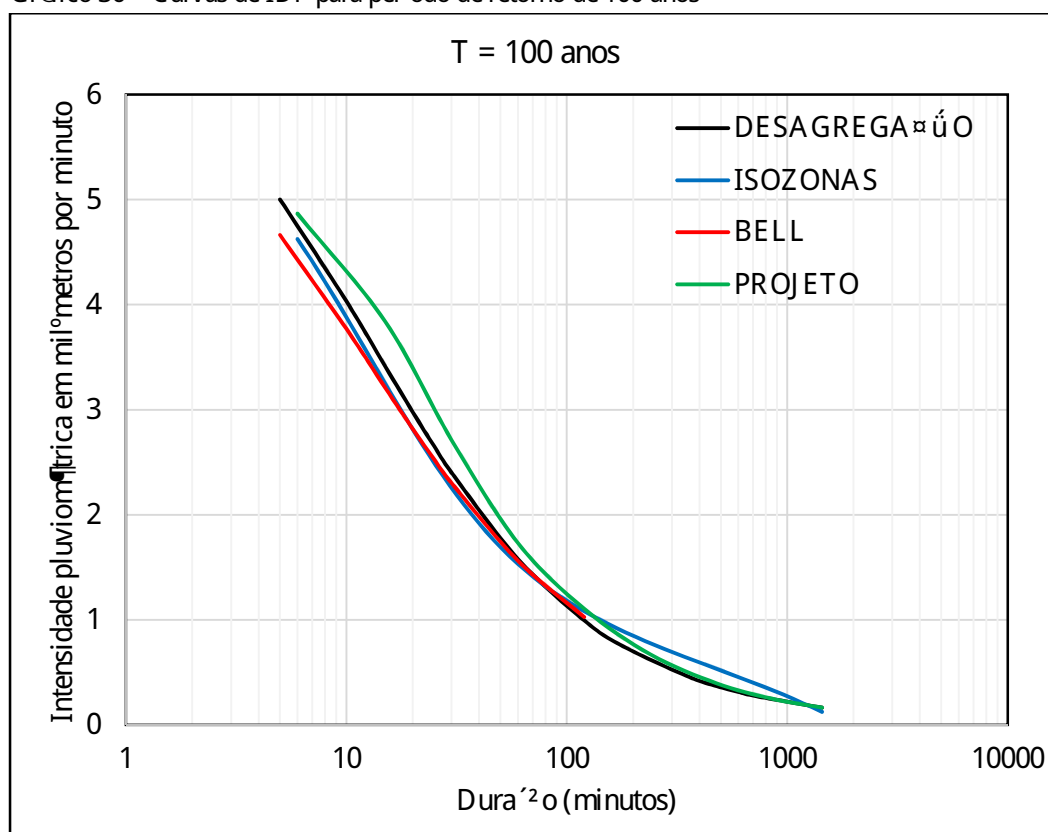
Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Gráfico 35 - Curvas de IDF para período de retorno de 50 anos



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

Gráfico 36 - Curvas de IDF para período de retorno de 100 anos



Fonte: Agência Nacional de Águas (2019)

#### 4.6 Comparação do projeto calculado com o adotado pelo projeto executivo de engenharia

As bacias hidrográficas adotadas para o dimensionamento dos dispositivos de transposição de talvegues estão ilustradas no Anexo A, sendo base para todo o projeto.

As características das bacias calculadas para o projeto executivo de engenharia estão ilustradas no Anexo B, enquanto que as características das bacias calculadas para a presente pesquisa estão ilustradas no Apêndice A.

As hidrógrafas de escoamento calculadas pelo SCS - Soil Conservation Service do projeto executivo de engenharia estão esquematizadas nos Anexos C, D, E, F, G e H. As hidrógrafas de escoamento calculadas pelas três metodologias estão compreendidas entre os Apêndices B e O.

Os estudos das Máximas Cheias de Córrego - MCC para as OAE do projeto executivo de engenharia estão esquematizadas nos Anexos I, J e K, enquanto que os obtidos pelo método da desagregação e método das Isozonas estão compreendidos entre os Apêndices P e U.

O resumo das bacias contendo as respectivas quantidades e dimensões das Obras de Arte Correntes (OAC) adotados no projeto executivo de engenharia está ilustrada no Anexo AJ. Os resumos calculados em função das equações de IDF (equações 81, 82 e 83) estão apresentadas nos Apêndices W, V e X, respectivamente.

As comparações das vazões e dimensões dos dispositivos de transposição de talvegues calculados para a presente pesquisa e os adotados no projeto executivo de engenharia estão sintetizadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Comparação do dimensionamento dos dispositivos

Bacia	Dados deste estudo																								Projeto Executivo					
	Vazão calculada (mE/s)												Obra Proposta												Vazão calculada (mE/s)			Obra Proposta		
	15				25				50				I			D			B			15	25	50	TIPO	DIMENSÃO	TIPO	DIMENSÃO		
	I	D	B	I	D	B	I	D	B	I	D	B	TIPO	DIMENSÃO	TIPO	DIMENSÃO	TIPO	DIMENSÃO	TIPO	DIMENSÃO	TIPO	DIMENSÃO	TIPO	DIMENSÃO	TIPO	DIMENSÃO	TIPO	DIMENSÃO		
30	1,74	1,53	1,40	1,85	1,69	1,56	2,00	1,92	1,79	BSTC	1,20	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,20	BSTC	1,20	BSTC	1,20	
31	1,68	1,47	1,35	1,78	1,61	1,50	1,92	1,84	1,72	BSTC	1,20	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	
32	1,73	1,52	1,40	1,84	1,68	1,55	1,99	1,91	1,78	BSTC	1,20	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	
33	0,76	0,67	0,62	0,81	0,74	0,68	0,87	0,85	0,78	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	
34	1,76	1,57	1,43	1,86	1,72	1,58	2,01	1,97	1,82	BSTC	1,20	BSTC	1,00	BSTC	1,20	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,20	BSTC	1,20	
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
36	-	-	-	58,36	64,11	-	67,53	80,70	-	BTCC	3,0 x 2,50	BTCC	3,0 x 3,0	BTCC	3,0 x 3,0	BTCC	3,0 x 3,0	BTCC	3,0 x 3,0	BTCC	3,0 x 3,0	BTCC	3,0 x 3,0	BTCC	3,0 x 3,0	BTCC	3,0 x 3,0	BTCC	3,0 x 3,0	
37	2,76	2,47	2,26	2,93	2,72	2,50	3,17	3,10	2,87	BSTC	1,50	BSTC	1,50	BSTC	1,50	BSTC	1,50	BSTC	1,50	BSTC	1,50	BSTC	1,50	BSTC	1,50	BSTC	1,50	BSTC	1,50	
38	9,14	8,06	7,68	9,68	8,88	8,51	10,47	10,12	9,78	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	
39	9,90	8,84	8,57	10,49	9,74	9,50	11,34	11,10	10,91	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
41	0,60	0,54	0,49	0,64	0,59	0,54	0,69	0,68	0,63	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	
42	0,20	0,18	0,17	0,21	0,20	0,18	0,23	0,23	0,21	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	
43	0,73	0,64	0,59	0,77	0,71	0,65	0,83	0,81	0,75	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	
44	5,34	4,66	4,32	5,65	5,13	4,79	6,12	5,85	5,50	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	
45	2,92	2,56	2,36	3,10	2,82	2,61	3,35	3,21	3,00	BTTCC	1,00	BTTCC	1,00	BTTCC	1,00	BTTCC	1,00	BTTCC	1,00	BTTCC	1,00	BTTCC	1,00	BTTCC	1,00	BTTCC	1,00	BTTCC	1,00	
46	1,77	1,54	1,43	1,87	1,70	1,59	2,02	1,94	1,83	BSTC	1,20	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	
47	5,33	4,71	4,31	5,65	5,19	4,78	6,11	5,92	5,49	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	
48	11,72	10,63	10,47	12,42	11,70	11,60	13,43	13,34	13,32	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	
49	5,23	4,58	4,21	5,54	5,04	4,67	6,00	5,75	5,36	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	BTTCC	1,20	
50	2,36	2,07	1,90	2,50	2,28	2,10	2,70	2,60	2,42	BSTC	1,20	BSTC	1,20	BSTC	1,20	BSTC	1,20	BSTC	1,20	BSTC	1,20	BSTC	1,20	BSTC	1,20	BSTC	1,20	BSTC	1,20	
51	19,06	17,33	17,12	20,20	19,09	18,96	21,84	21,76	21,78	BSCC	3,0 x 3,0	BSCC	3,0 x 3,0	BSCC	3,0 x 3,0	BSCC	3,0 x 3,0	BSCC	3,0 x 3,0	BSCC	3,0 x 3,0	BSCC	3,0 x 3,0	BSCC	3,0 x 3,0	BSCC	3,0 x 3,0	BSCC	3,0 x 3,0	
52	0,90	0,81	0,74	0,96	0,89	0,82	1,04	1,01	0,94	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	
53	1,66	1,47	1,35	1,76	1,62	1,49	1,90	1,85	1,71	BSTC	1,20	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,20	BSTC	1,20	
54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
55	-	-	-	39,04	36,35	-	45,66	46,90	-	BDCC	3,0 x 3,0	BDCC	3,0 x 3,0	BDCC	3,0 x 3,0	BDCC	3,0 x 3,0	BDCC	3,0 x 3,0	BDCC	3,0 x 3,0	BDCC	3,0 x 3,0	BDCC	3,0 x 3,0	BDCC	3,0 x 3,0	BDCC	3,0 x 3,0	
56	6,26	5,48	5,04	6,63	6,03	5,59	7,18	6,88	6,42	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	BTTCC	1,50	
57	1,11	0,99	0,90	1,18	1,09	1,00	1,28	1,24	1,15	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	BSTC	1,00	
58	13,47	12,06	11,73	14,27	13,28	12,99	15,43	15,14	14,92	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	
59	13,06	11,56	11,08	13,84	12,73	12,27	14,96	14,52	14,10	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	BSCC	2,50 x 2,50	

Fonte: Autor (2019)

## 5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a proposta de realizar uma análise comparativa entre três metodologias para a obtenção das curvas de Intensidade - Duração - Frequência, sendo posteriormente aplicados para o dimensionamento de dispositivos de transposição de talwegues do trecho compreendido entre as estacas 1018 + 4,00 e 1967 + 16,74 da rodovia MA - 275.

As conclusões para a presente pesquisa são divididas de acordo com as respectivas etapas dos estudos hidrológicos e hidráulicos.

### 5.1 Estudo Hidrológico

A partir da análise dos Gráficos esquematizados no tópico 4.5, é evidente que as precipitações e intensidades pluviométricas adotadas no projeto executivo de engenharia são maiores que as calculadas para a presente pesquisa. Essa divergência nos valores é explicada pela seleção de diferentes estações pluviométricas, pois para o projeto de engenharia adotou-se o posto pluviométrico de Amarante do Maranhão (00546000), com a série de dados disponibilizados compreendida entre 1966 e 1989, enquanto que para a presente pesquisa o posto pluviométrico de Buritirana (00547005), com a série de dados disponibilizados compreendida entre 1982 e 2018.

Para o projeto de engenharia adotou-se o posto de Amarante do Maranhão pois a média aritmética e o desvio padrão das precipitações diárias máximas anuais do período analisado são maiores que as determinadas a partir da análise das precipitações diárias máximas do posto de Buritirana. Contudo, os dados disponibilizados pelo posto de Amarante do Maranhão são desatualizados, possuem uma maior quantidade de falhas e a quantidade de dados disponibilizados é consideravelmente menor quando comparados aos do posto pluviométrico de Buritirana. Logo, a seleção do posto pluviométrico deve ser cuidadosamente analisada, pois há a possibilidade de gerar um superdimensionamento dos dispositivos hidráulicos da rodovia.

A partir das curvas de Precipitação - Duração - Frequência e Intensidade - Duração - Frequência calculadas na presente pesquisa, conclui-se que, adotando-se o método da desagregação de chuvas desenvolvido por CETESB (1980), as precipitações e intensidades pluviométricas são elevadas para períodos de retorno de 100 anos, podendo gerar um superdimensionamento de obras hidráulicas de grande porte.

Adotando-se o método das Isozonas desenvolvido pelo engenheiro José Jaime Taborga Torrico (1974), tem-se uma incoerência nas curvas para períodos de retorno de 50 e 100 anos devido às variações nos coeficientes para a Isozona F (Tabela 5). Essa incoerência é mais facilmente perceptível a partir da análise dos Gráficos 17 e 24, em que as intensidades

pluviométricas para precipitações de curta duração para período de retorno de 50 anos são maiores que as intensidades pluviométricas para período de retorno de 100 anos, sendo incoerente com as teorias probabilísticas apresentadas na presente pesquisa.

As precipitações e intensidades pluviométricas calculadas pelo método de Bell tendem a ser, para a maioria dos casos, menores que as calculadas pelo métodos da Desagregação e Isozonas. Além disso, a metodologia de Bell é limitada para durações de chuva compreendidas entre 5 e 120 minutos, ou seja, caso seja necessário efetuar o dimensionamento hidráulico de dispositivos em que o tempo de concentração da chuva no local seja elevado, como por exemplo, no caso de obras de arte especiais ou galerias celulares de maior porte, não é possível aplicar esse método.

Com relação ao estudo hidrológico, conclui-se que as maiores divergências nas precipitações e intensidades pluviométricas ocorreram devido a utilização de estações pluviométricas distintas, e não propriamente com relação a metodologia adotada.

Logo, é necessário que a seleção da estação pluviométrica seja realizada com bastante cuidado pois, desse modo, é possível evitar dimensionamentos de dispositivos hidráulicos de modo impreciso, os quais podem gerar mais custos desnecessários a obra ou até mesmo elevar consideravelmente os riscos para o dispositivo de drenagem.

## 5.2 Estudo Hidráulico

A comparação do estudo hidráulico é baseada nas dimensões e quantidades das OAC, vazões de projeto para as hidrógrafas de escoamento e, no caso das OAE, na determinação das MCC - Máxima Cheia de Cálculo.

### 5.2.1 Obras de Arte Correntes

Comparando-se o dimensionamento das OAC do projeto executivo de engenharia (Anexo AJ) com o dimensionamento baseado no Método das Isozonas (Apêndice V), os bueiros tubulares de concreto tendem a possuir maior diâmetro ou quantidade de dispositivos para o segundo caso, como por exemplo, nos dispositivos localizados nos exutórios das bacias 31, 32, 46 e 49.

Comparando-se o dimensionamento das OAC do projeto executivo de engenharia (Anexo AJ) com o dimensionamento baseado no Método da Desagregação (Apêndice W), os bueiros tubulares de concreto tendem a possuir menor diâmetro ou quantidade de dispositivos para o segundo caso, como por exemplo, nos dispositivos localizados nos exutórios das bacias 30, 38, 47 e 53.



Comparando-se o dimensionamento das OAC do projeto executivo de engenharia (Anexo AJ) com o dimensionamento baseado no Método de Bell (Apêndice X), os bueiros tubulares de concreto tendem a possuir menor diâmetro ou quantidade de dispositivos para o segundo caso, como por exemplo, nos dispositivos localizados nos exutórios das bacias 30, 34, 37, 45, 47, 49 e 53. Além disso, segundo o dimensionamento baseado no método de Bell, há como possibilidade adotar, no dispositivo localizado na bacia 39, um bueiro celular de concreto com dimensões de 2,0 x 2,0 m ao invés de um bueiro celular de 2,5 x 2,5 m.

No dimensionamento das OAC, assim como no estudo hidrológico, as maiores divergências ocorreram devido a adoção de diferentes estações pluviométricas. Além disso, a utilização de declividades médias distintas também é um fator que gera muita influência nas vazões de projeto, pois são diretamente relacionadas com o tempo de concentração das bacias hidrográficas.

### 5.2.2 Hidrografas de escoamento

As vazões de projeto calculadas para o projeto executivo de engenharia, na maioria dos casos, são maiores que as vazões calculadas para o método das Isozonas e Desagregação, com exceção somente da Bacia 40, em que a vazão de projeto do projeto executivo de engenharia (Anexo E) é inferior ao calculado pelo método da Desagregação para a respectiva bacia (Apêndice L).

As vazões de projeto calculadas para o método da Desagregação são superiores às calculadas pelo método das Isozonas, com exceção da hidrografa de escoamento da bacia 55 para período de retorno de 25 anos.

O método de Bell não é adequado para o cálculo da vazão de projeto pelo método do SCS, pois é limitado para durações da chuva compreendidas entre 5 e 120 minutos.

### 5.2.3 Máxima Cheia de Cálculo

As cotas das máximas cheias de cálculo das Obras de Arte Especiais são calculadas em função das vazões de projeto obtidas pelas hidrografas de escoamento. Logo, todas as considerações do tópico 5.2.2 relativas as vazões de projeto também são aplicadas para as máximas cheias de cálculo.

Todas as MCC analisadas na rodovia MA - 275 são consideradas seguras para as OAE, independentemente da metodologia ou estação pluviométrica adotada.

## REFERÊNCIAS

- AKAN, A. O.; HOUGHTALEN, R. J. Urban hydrology, hydraulics, and storm-water quality: engineering applications and computer modeling. Hardcover, 2003.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 01 jun. 2019.
- BAPTISTA, M. B.; COELHO, M. M. L. P. Fundamentos de Engenharia Hidráulica. 3 ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.
- BAYLINA, Ramon. Aparatos Meteorológicos. Disponível em: <http://www.rumtor.com/pluviografog.html>. Acesso em: 02 de set. 2019.
- BELL, F. C. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. Journal of the Hydraulics Division, v. 95, n. HY 1, p. 311-327, 1969.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. In: Tucci, C. E. M.; Silveira, A. L. L. (Editores), Precipitação. Porto Alegre: ABRH, 2007.
- CAMPOS, A. R.; SANTOS, G. G.; DOS ANJOS, J. C. R.; ZAMBONI, D. C. S.; MORAES J. M. F. Equações de intensidade de chuvas para o Estado do Maranhão. Revista Engenharia na Agricultura, v. 23, n. 5, p. 435-447, 2015.
- CAMPOS, A. R.; SILVA, J. B. L.; SANTOS, G. G.; RATKE, R. F.; AQUINO, I. O. Estimate of intense rainfall equation parameters for rainfall stations of the Paraíba State, Brazil. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 47; n. 1, p. 15 - 21, 2017.
- CMNDIDO, M. O. SEAF. Um protótipo de sistema especialista para análise de frequência local de eventos hidrológicos máximos anuais. 2003. 174 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.
- CANHOLI, A.P. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. Oficina de Texto. São Paulo, 2015.
- CARDOSO, C.O.; BERTOL, I.; SOCCOL, O. J.; SAMPAIO, C. A. P. Generation of intensity duration frequency curves and intensity temporal variability pattern of intense rainfall for Lages/SC. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 57, n. 2, p. 274 - 283. 2014.
- CCR-RODONORTE. Área de projetos - Elaboração do `check list` para estudos hidrológicos, projetos de drenagem e obras de arte correntes. Paraná 2012.
- CHOW, V. T. Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, 1959.
- CHOW, V. T. Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York, 1964.
- COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. Hidrologia para Engenharia e ciências ambientais e Ciências Ambientais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.

DAEE/CETESB. Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento. Drenagem Urbana, Manual de Projeto. São Paulo: DAEE, 1980.

DAMÁS, R.C.F.; TEIXEIRA, C.F.A.; TERRA, V.S.S. Comparação de diferentes metodologias para a estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas - RS. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.28, n.2, 2008.

DENARDIN, J.; FREITAS, P.L. Características fundamentais da chuva no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.17, n.1, p. 1409-1416, 1982.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem. 2ª ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2005. Publicação IPR - 715.

\_\_\_\_\_. DNIT. Manual de Drenagem de Rodovias. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2006. Publicação IPR - 724.

EL DEBS, M. K. Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

FRAGOSO JR., C. R. 2004. Regionalização da Vazão Máxima Instantânea com base na Precipitação de Projeto. ReRH: Revista Eletrônica de Recursos Hídricos, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS. Volume 1 n.1 Jul/Dez 2004, p. 5-13. Porto Alegre, RS.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. Hidrologia rev. e atual. São Paulo: E. Blucher, 1998.

GUMBEL E. J. Statistics of extremes. New York: Columbia University Press, 1958.

HAWKINS, R. H.; WARD, T. J.; WOODWARD, D. E.; VAN MULLEM, J. A. Curve number hydrology: State of the Practice. ASCE-EWRI, 2009.

HORTON, R. E. Analysis of runoff-plat experiments with varying infiltration capacity. Transactions, American Geophysical Union, 1939.

IPH - Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Manual de Drenagem Urbana. Volume VI. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

JABXR, M. A. Drenagem de Rodovias: Estudos Hidrológicos e Projeto de Drenagem. Florianópolis, 2015.

KITE, G. H. Frequency and risk analyses in hidrology. Fort Collins: Water Resources Publication, 1977.

MALTA, L.R.S. Hidrologia e Drenagem. Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2017.

MEYER, P. L. Probabilidade: aplicações estatística. Livro Técnico, 1970.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. Hidrologia estatística. 1. ed. Belo Horizonte: CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Superintendência Regional de Belo Horizonte, 2007.

PAZ, Adriano Rolim. Apostila de Hidrologia Aplicada. Caxias do Sul: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, 2004.

PEREIRA, D. C.; DUARTE, L. R.; SARMENTOS, A.P. Determina<sup>2</sup>o da curva de intensidade, dura<sup>2</sup>o e frequ<sup>2</sup>ncia do munic<sup>o</sup>pio de Ipameri - Goi<sup>as</sup> Revista Eletr<sup>o</sup>nica de Engenharia Civil, v.13, n.2, 2017.

PFAFSTETTER, O. Chuvas Intensas no Brasil. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Minist<sup>er</sup>io do Interior. Rio de Janeiro, 1957.

PFAFSTETTER, O. Defl<sup>u</sup>vio Superficial direto. Rio de Janeiro: DNOS, 1976.

PORTO, R. M. Hidr<sup>o</sup>lica B<sup>as</sup>ica. 4<sup>a</sup> ed. REENGE, EESC/USP, 2006.

RIGHETTO, A. M. Hidrologia e Recursos H<sup>id</sup>ricos. S<sup>2</sup>o Calos: EESC/USP, 1998.

SANTOS, I.; FILL, H.D.; SUGAI, M.R.v.B.; BUBA, H.; KISHI, R.T.; MARONE, E.; LAUTERT, L.F. - Hidrometria Aplicada. - Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA (SINFRA - MA). Projeto executivo de engenharia para servi<sup>ç</sup>os de melhoria e pavimenta<sup>2</sup>o. Mem<sup>o</sup>ria Justificativa. Volume 3, 2017.

SHERMAN, L. K. Steamflow from rainfall by unit-graph method. Engineering News Record, vol. 103, 1932.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrol<sup>o</sup>gico e a Bacia Hidrogr<sup>o</sup>fica. In TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ci<sup>2</sup>ncia e aplica<sup>2</sup>o. Porto Alegre: Edusp/ABRH, 1997.

SOUZA, R. O. R. M.; SCARAMUSSA, P. H. M.; AMARAL, M. A. C. M. do; NETO, J. A. P.; PANTOJA, A. V.; SADECK, L. W. R. Equa<sup>ç</sup>oes de chuvas intensas para o estado do Par<sup>a</sup> Revista Brasileira de Engenharia Agr<sup>o</sup>cola e Ambiental, v. 16, n. 9, p. 999-1005, 2012.

SPIEGEL, M.; SCHILLER, J.; SRINIVASAN, R. - Schaum's outline and problems of probability and statistics. New York: McGraw Hill, 1977. Tradu<sup>2</sup>o portuguesa: Faria, Alfredo Alves de, trad. - Probabilidade e estat<sup>is</sup>tica. S<sup>2</sup>o Paulo: McGraw-Hill, 1978.

STURGES, H. A. The choice of a class interval. Journal of the American Statistical Association, 1926.

TORRICO, J. J. T. Pr<sup>at</sup>icas hidrol<sup>o</sup>gicas. Rio de Janeiro. Transcon, 1974.

TUCCI, C. E. M. Precipita<sup>2</sup>o. Hidrologia: ci<sup>2</sup>ncia e aplica<sup>2</sup>o. Porto Alegre: UFRGS/ABRH/EDUSP, 1993.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Inunda<sup>ç</sup>oes Urbanas. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mario Thadeu Leme de. (Orgs.). Drenagem Urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 1995.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ci<sup>2</sup>ncia e aplica<sup>2</sup>o. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ci<sup>2</sup>ncia e aplica<sup>2</sup>o. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: 2. ed ABRH, 2001.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Conservation Service. Computer program for Project formulation: hydrology. Technical Release n. 20, 1982.

- \_\_\_\_\_. National engineering handbook. Section 4 - hidrology. Washington, DC, mar. 1985.
- \_\_\_\_\_. Urban hydrology for small watersheds. 2 ed., Technical Release n. 55, Washington, DC, jun. 1986.
- U.S. Department of Interior. Water and power resources servisse (former Bureau of Reclamation). Design of small dams. Water Resources Technical Publication, 3. ed., 1987.
- VENESCAU, R. Conceitos de projeto rodoviário aplicados às Estradas Vicinais. Engenharia Rodoviária. Fevereiro, 2017. Disponível em: <<http://engenhariarodoviaria.com.br/projeto-executivo-de-uma-estrada-vicinal/>>. Acesso em: 15 set. 2019.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia Aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.
- WILKEN, P. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo: CETESB, 1978.
- ZAHED F.; MARCELLINI, S. S. Precipitações Máximas. In: TUCCI, Carlos E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. L. (Orgs.). Drenagem Urbana. Porto Alegre: Universidade/UFRGS: ABRH, 1995.

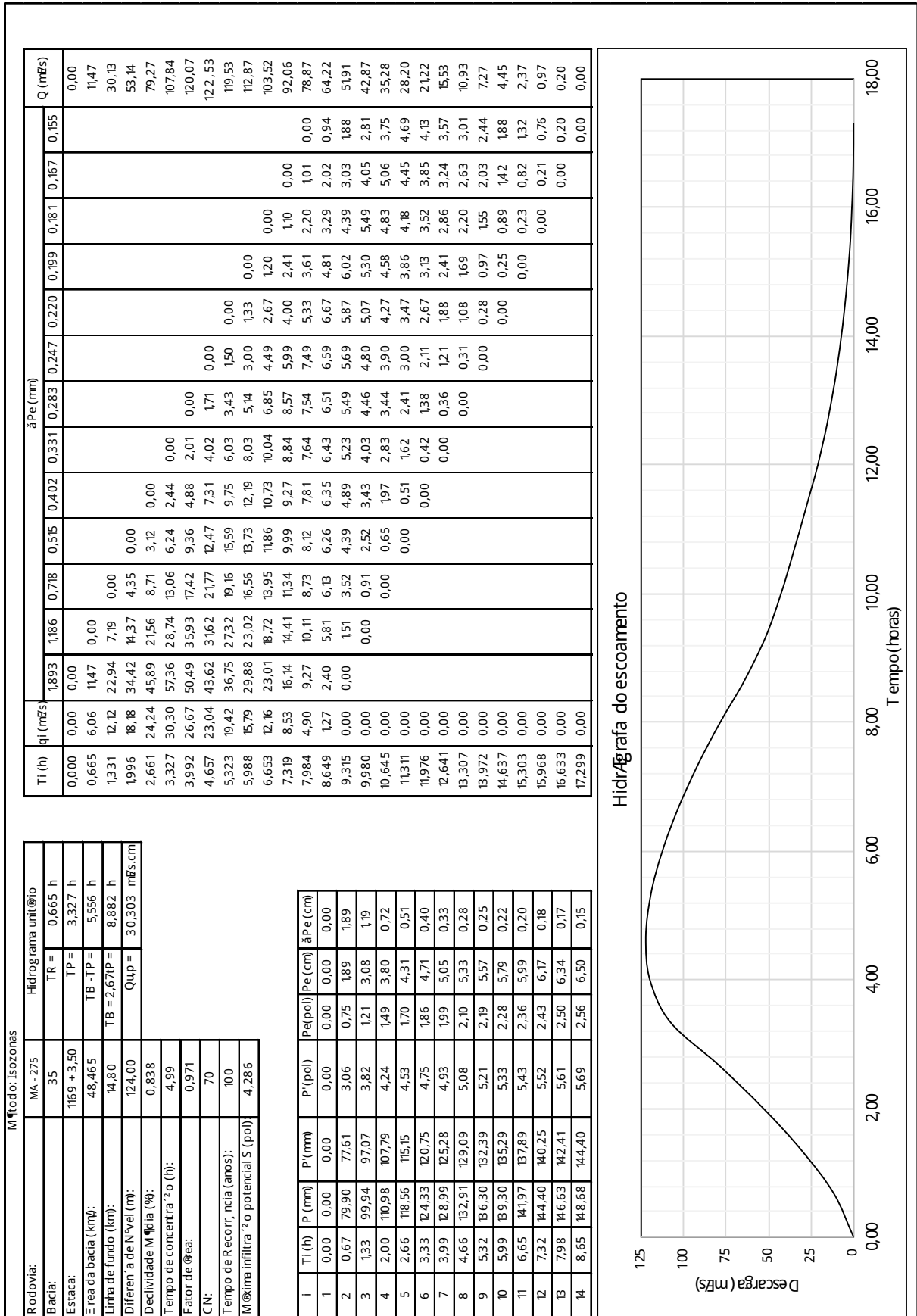
## APPENDICES

ANEXO A - CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Bacia	Área (ha)	Extensão (km)	Cota máxima	Cota mínima	Desnível	Declividade média (%)	Tc. Kirpich (h)	Tc DNOS (h)	Tc projeto (h)
30	8,570	0,54	207,29	197	10,29	1,906	0,190	0,432	0,190
31	9,720	0,43	201,73	199,84	1,89	0,440	0,281	0,770	0,281
32	8,670	0,3	201,36	199,79	1,57	0,523	0,199	0,646	0,199
33	3,499	0,39	198,81	192,37	6,44	1,651	0,156	0,327	0,156
34	7,150	0,35	202,28	189,19	13,09	3,740	0,105	0,286	0,105
35	4846,480	14,8	304,5	180,5	124	0,838	4,989	7,785	4,989
36	3570,800	18,66	305,1	178,71	126,39	0,677	6,472	8,100	6,472
37	12,610	0,37	211,41	192,49	18,92	5,114	0,097	0,303	0,097
38	88,100	1,74	216,11	183,73	32,38	1,861	0,706	1,108	0,706
39	125,800	2,46	222,07	184,27	37,8	1,537	0,992	1,427	0,992
40	18993,300	38,38	328,74	189,92	138,82	0,362	14,358	19,856	14,358
41	3,326	0,25	219,23	215,07	4,16	1,664	0,111	0,294	0,111
42	1,038	0,19	220,38	216,73	3,65	1,921	0,085	0,185	0,085
43	3,093	0,3	216,66	211,29	5,37	1,790	0,124	0,290	0,124
44	34,260	1,04	227,2	211,86	15,34	1,475	0,347	0,826	0,347
45	16,570	0,7	231,46	218,95	12,51	1,787	0,238	0,569	0,238
46	13,460	0,58	230,24	228,04	2,2	0,379	0,374	0,956	0,374
47	24,840	0,43	232,43	221,04	11,39	2,649	0,140	0,498	0,140
48	182,400	2,38	234,91	218,71	16,2	0,681	1,323	2,194	1,323
49	31,500	0,66	232,22	222,15	10,07	1,526	0,242	0,726	0,242
50	12,890	0,52	235,03	223,93	11,1	2,135	0,177	0,463	0,177
51	406,200	3,26	256,78	219,78	37	1,135	1,385	2,422	1,385
52	3,655	0,25	256,07	250,93	5,14	2,056	0,102	0,278	0,102
53	7,240	0,38	258,54	249,51	9,03	2,376	0,133	0,350	0,133
54	3841,300	13,47	478,81	220,27	258,54	1,919	3,372	5,114	3,372
55	1012,640	7,3	500,81	222,52	278,29	3,812	1,615	2,305	1,615
56	35,845	0,99	256,11	222,86	33,25	3,359	0,244	0,597	0,244
57	4,785	0,45	254,39	237,37	17,02	3,782	0,127	0,266	0,127
58	177,700	2,65	288,53	247,53	41	1,547	1,048	1,602	1,048
59	120,600	2,02	284,57	247,11	37,46	1,854	0,793	1,256	0,793

Fonte: Autor (2019)

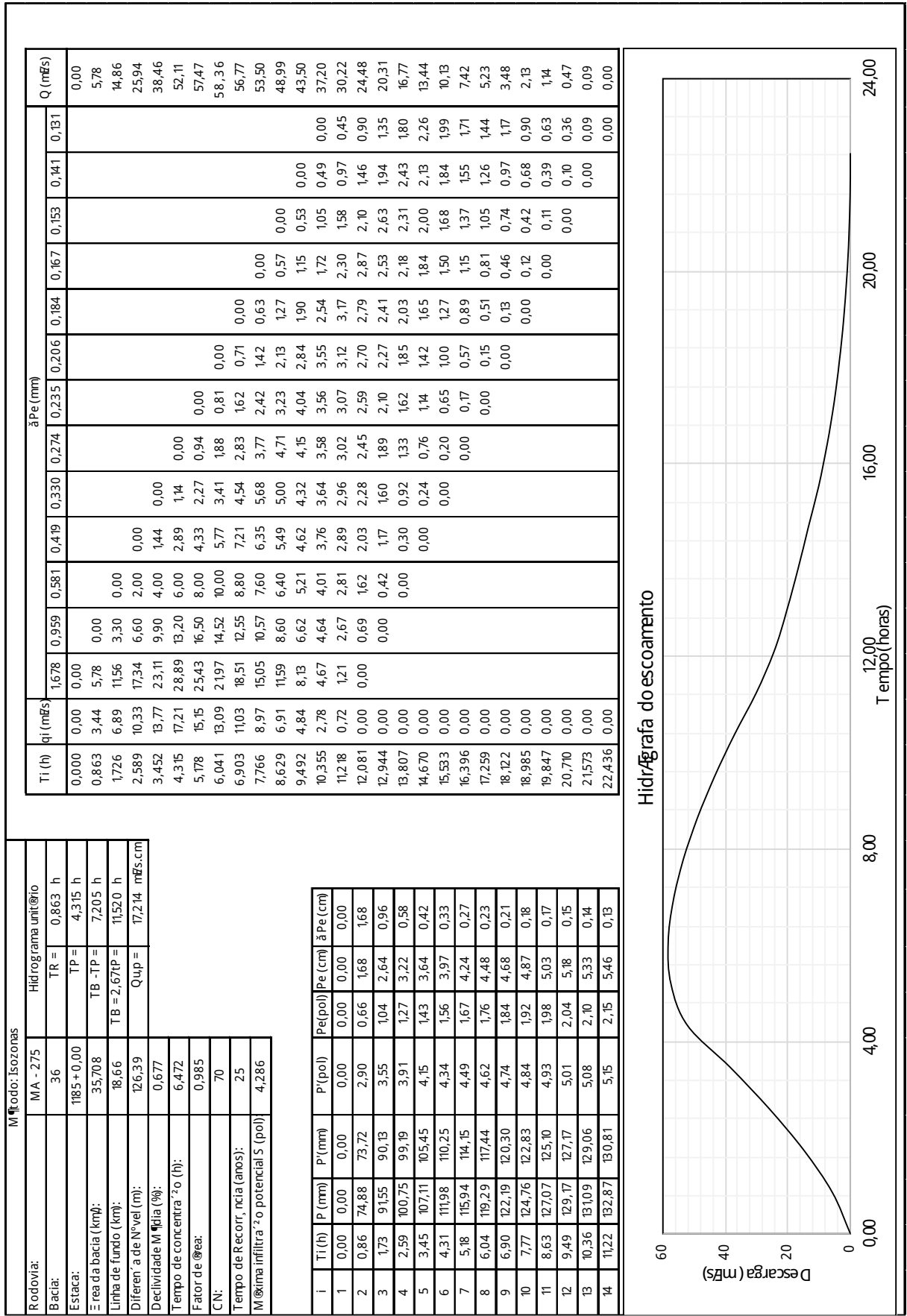
APNNDICE B - HUT BACIA Nº 35 - T = 100 ANOS (ISOZONAS)



Fonte: Autor (2019)

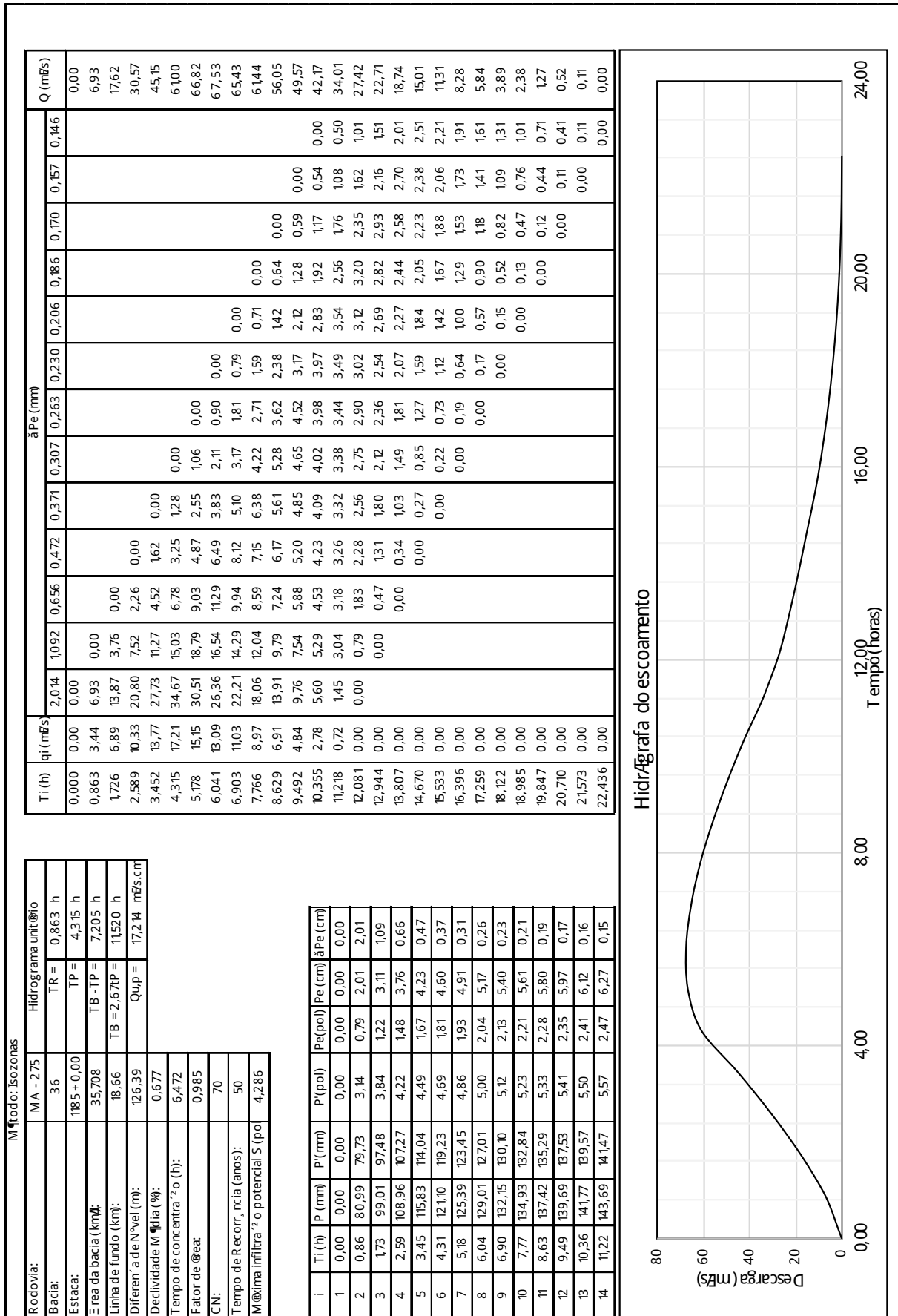


APNNDICE C - HUT BACIA Nº 36 - T = 25 ANOS (ISOZONAS)



Fonte: Autor (2019)

## APNDICE D - HUT BACIA Nº 36 - T = 50 ANOS (ISOZONAS)

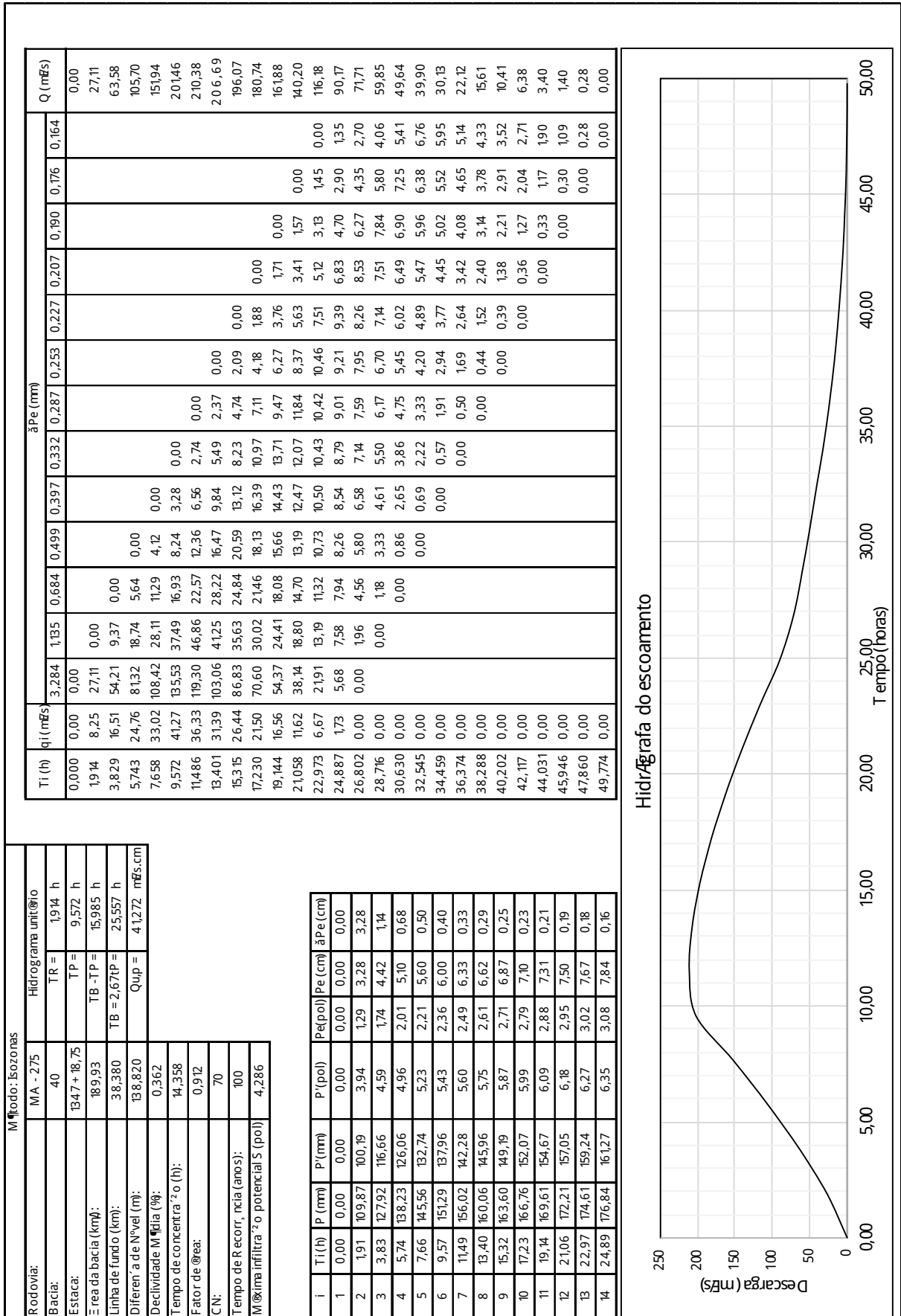


### Hidrógrafa do escoamento

Descarga (m³/s) vs Tempo (horas)

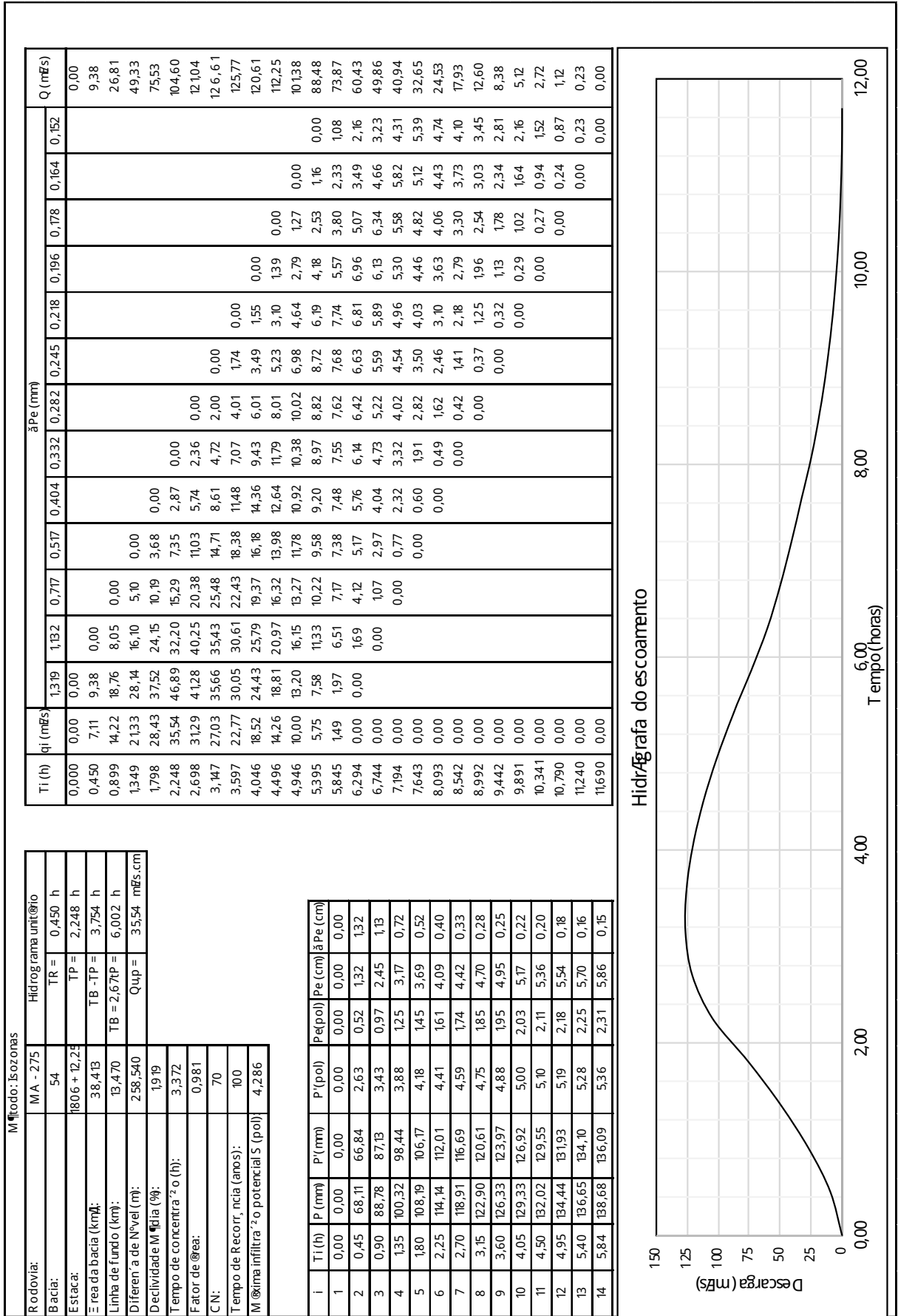
Fonte: Autor (2019)

APNDICE E - HUT BACIA Nº 40 - T = 100 ANOS (ISOZONAS)

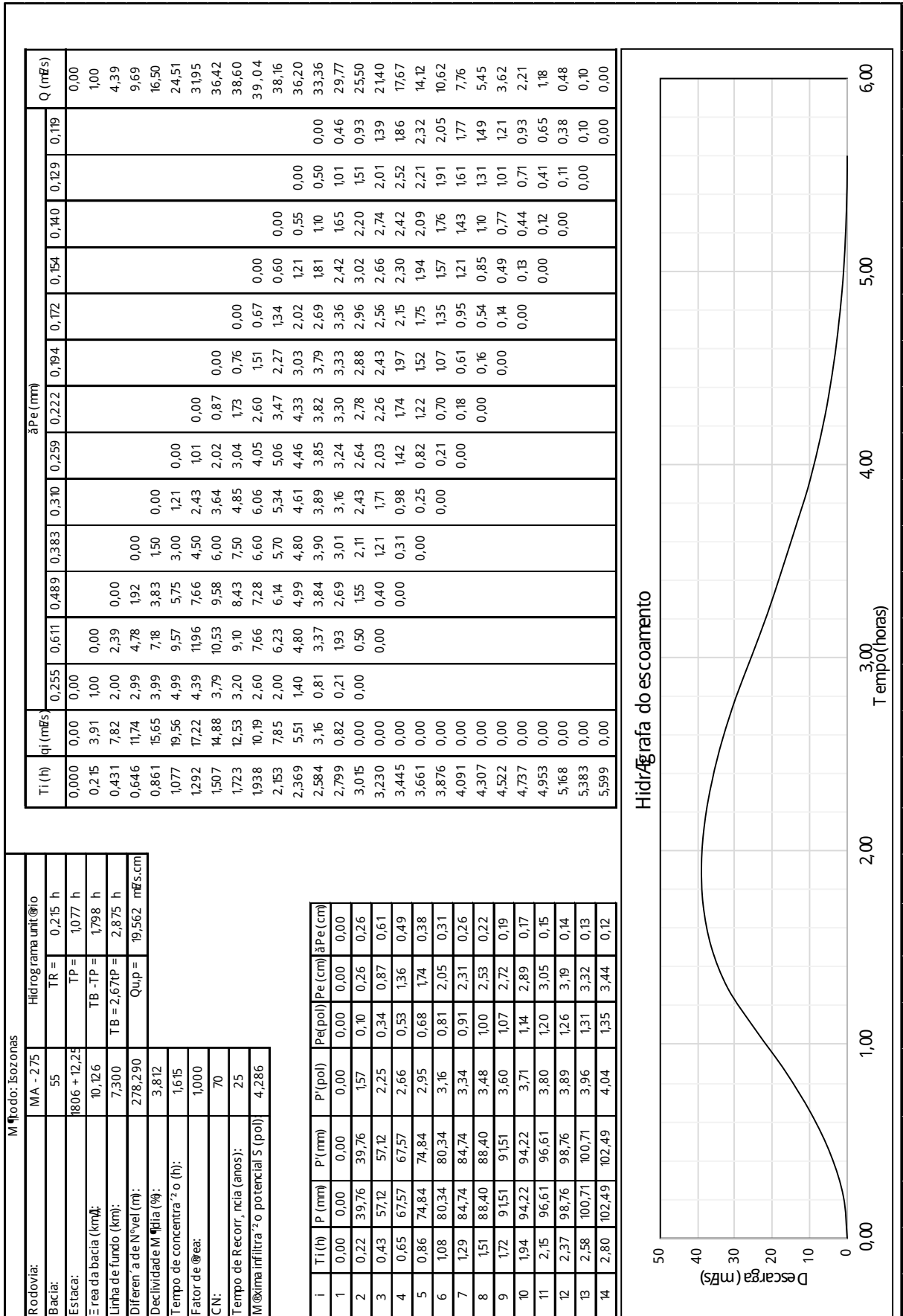


Fonte: Autor (2019)

APNNDICE F - HUT BACIA Nº 54 - T = 100 ANOS (ISOZONAS)

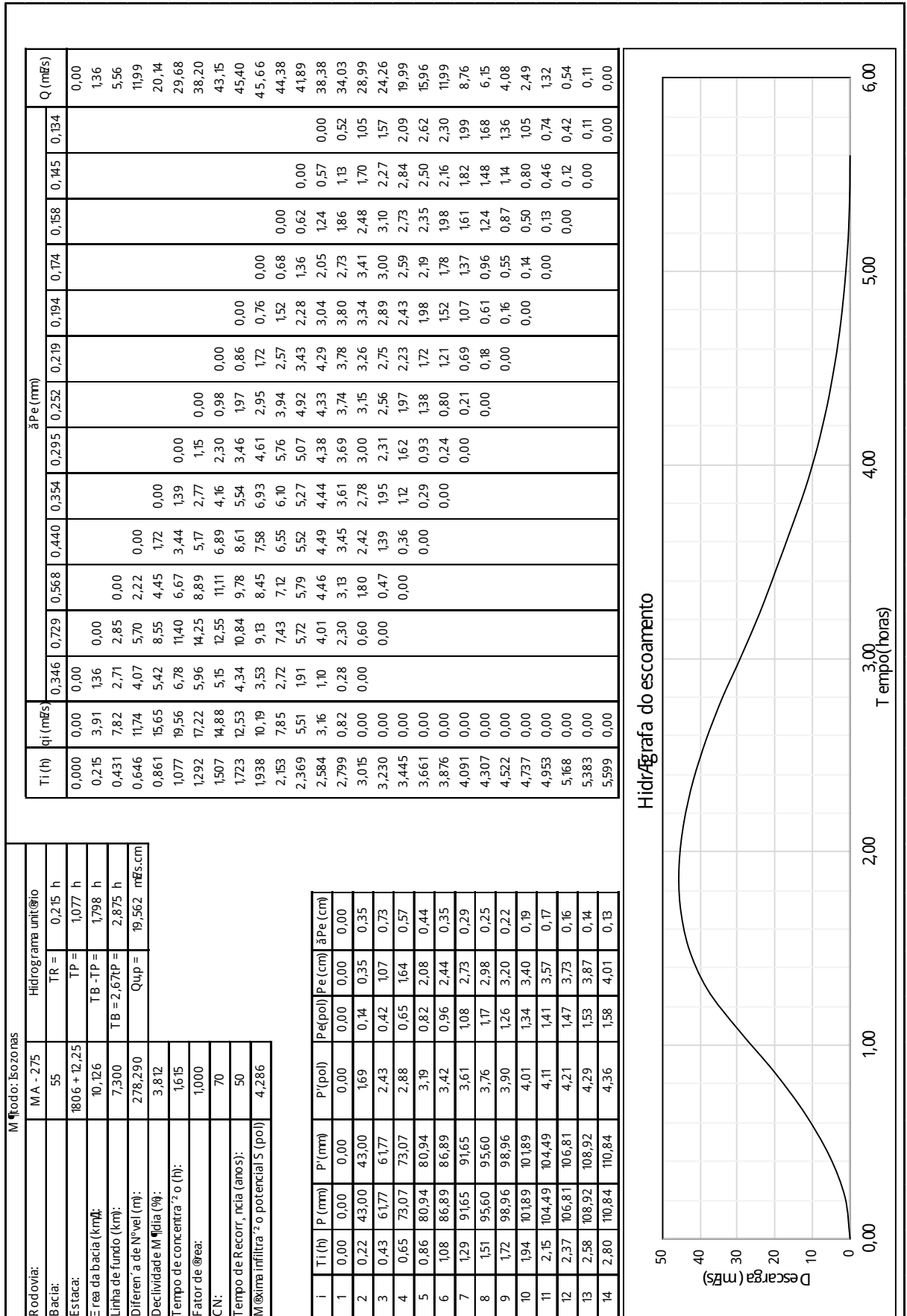


APNNDICE G - HUT BACIA Nº 55 - T = 25 ANOS (ISOZONAS)



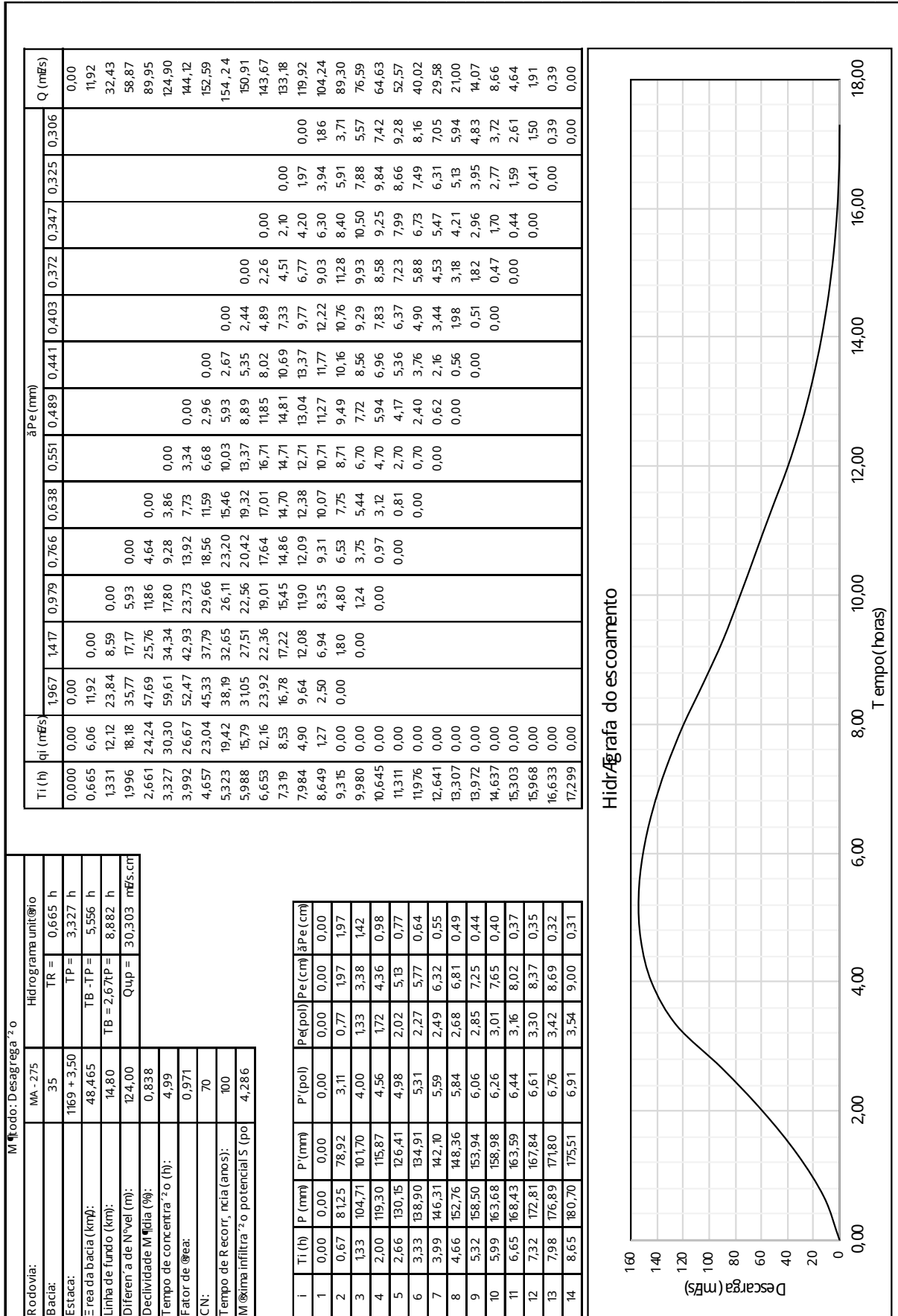
Fonte: Autor (2019)

APNNDICE H - HUT BACIA Nº 55 - T = 50 ANOS (ISOZONAS)



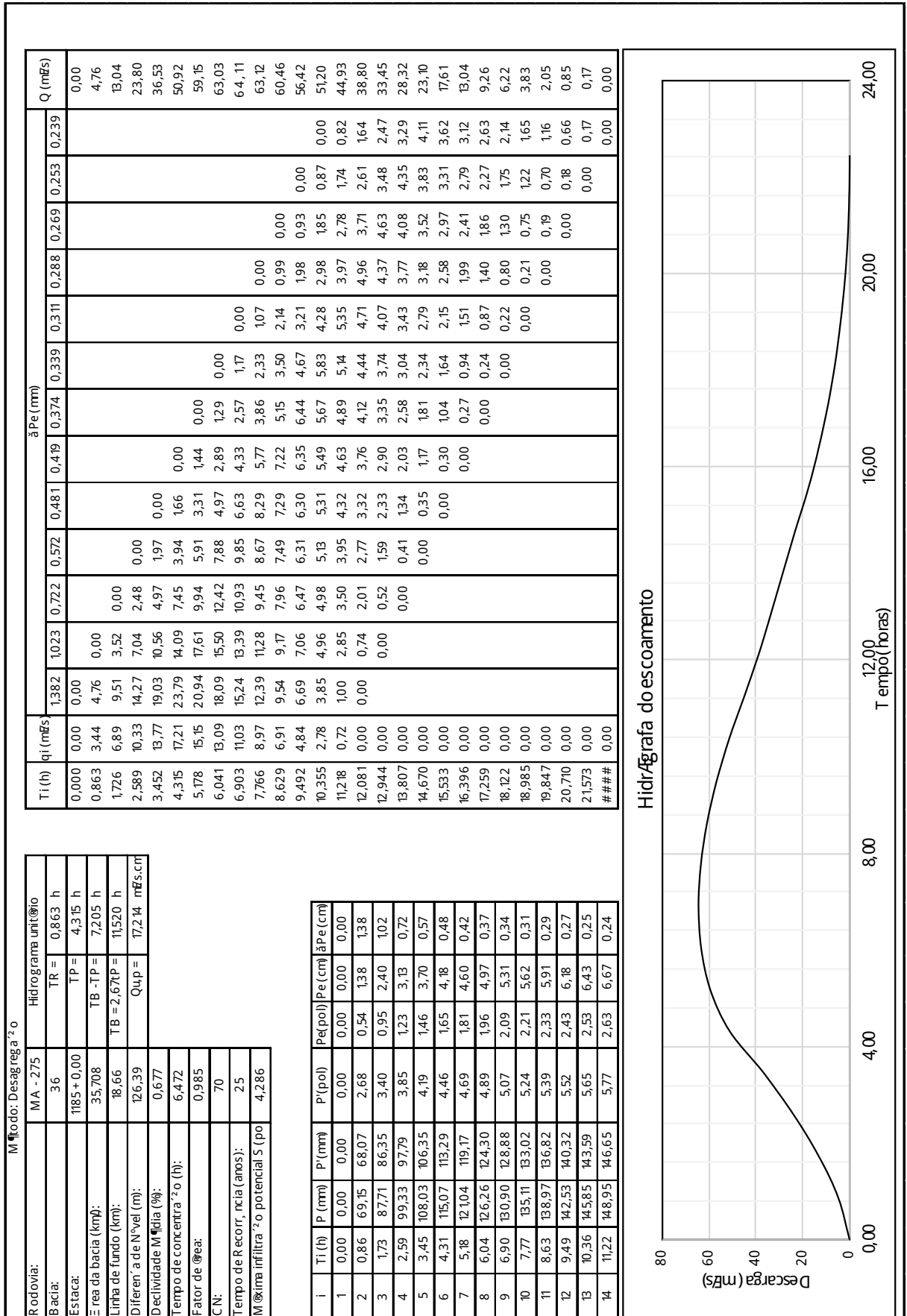
Fonte: Autor (2019)

APNDICE I - HUT BACIA Nº 35 - T = 100 ANOS (DESAGREGAÇÃO)



Fonte: Autor (2019)

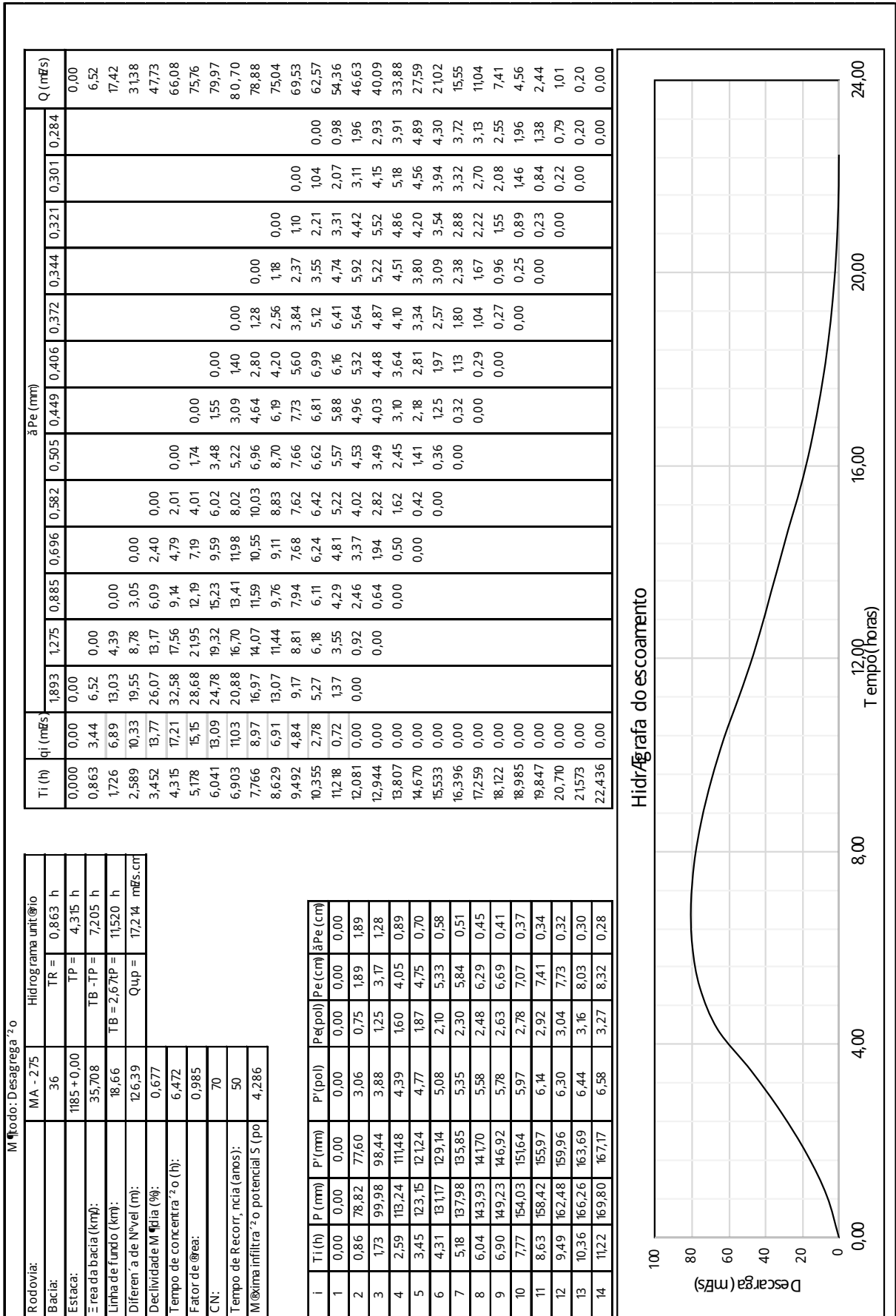
APNNDICE J - HUT BACIA Nº 36 - T = 25 ANOS (DESAGREGAÇÃO)



Fonte: Autor (2019)

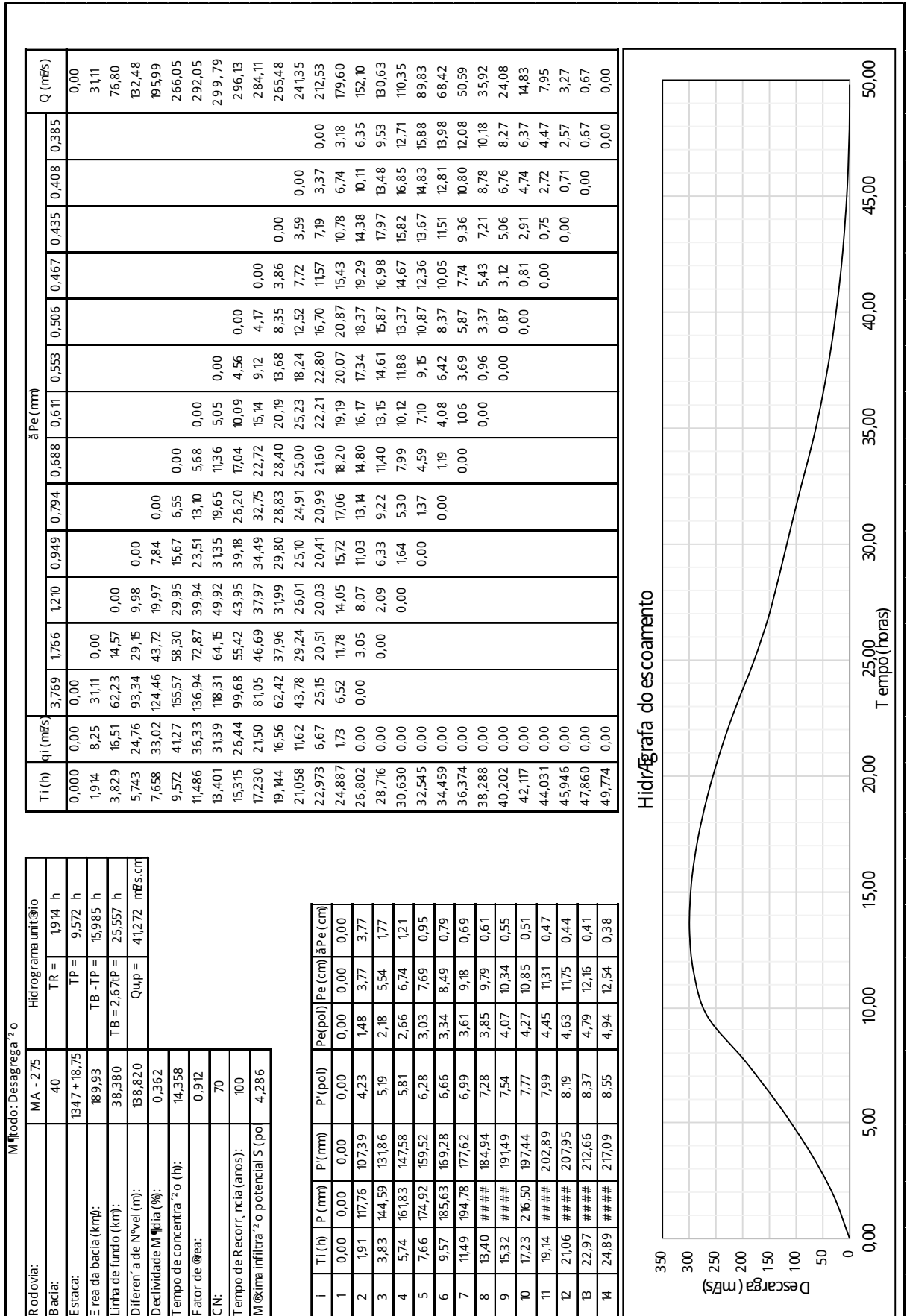


APNDICE K - HUT BACIA Nº 36 - T = 50 ANOS (DESAGREGAÇÃO)



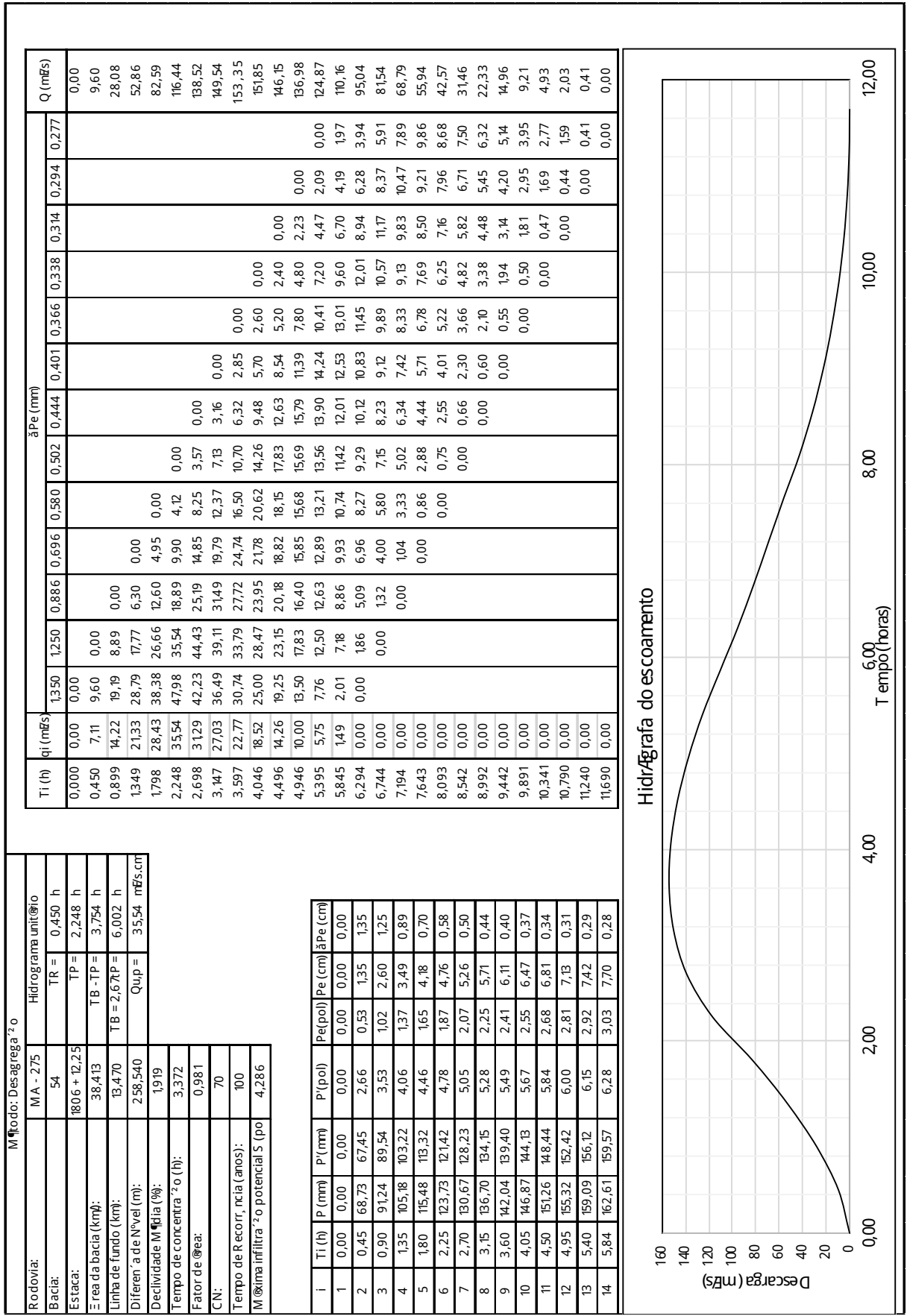
Fonte: Autor (2019)

APNDICE L - HUT BACIA Nº 40 - T = 100 ANOS (DESAGREGAÇÃO)



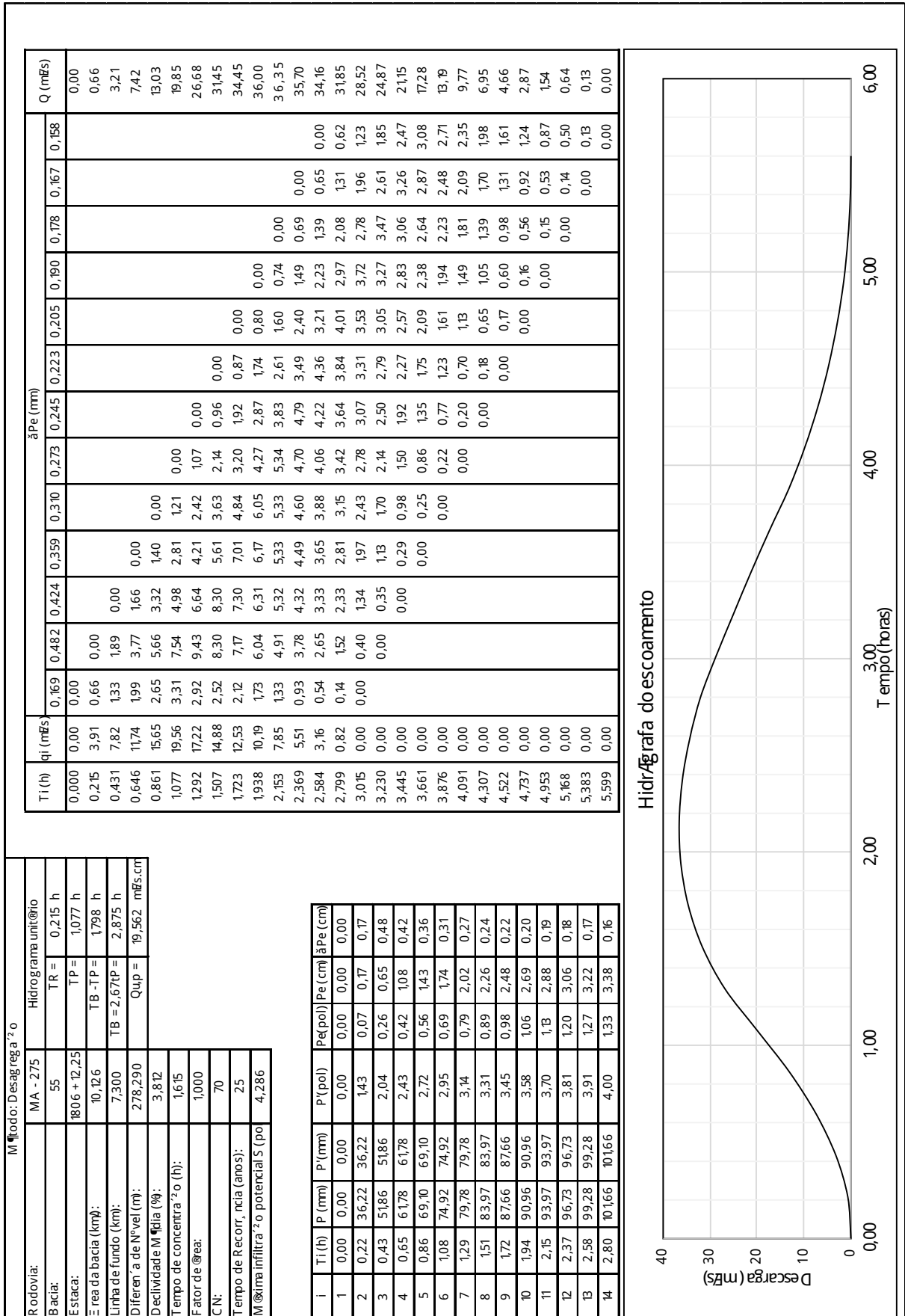
Fonte: Autor (2019)

APNDICE M - HUT BACIA Nº 54 - T = 100 ANOS (DESAGREGAÇÃO)



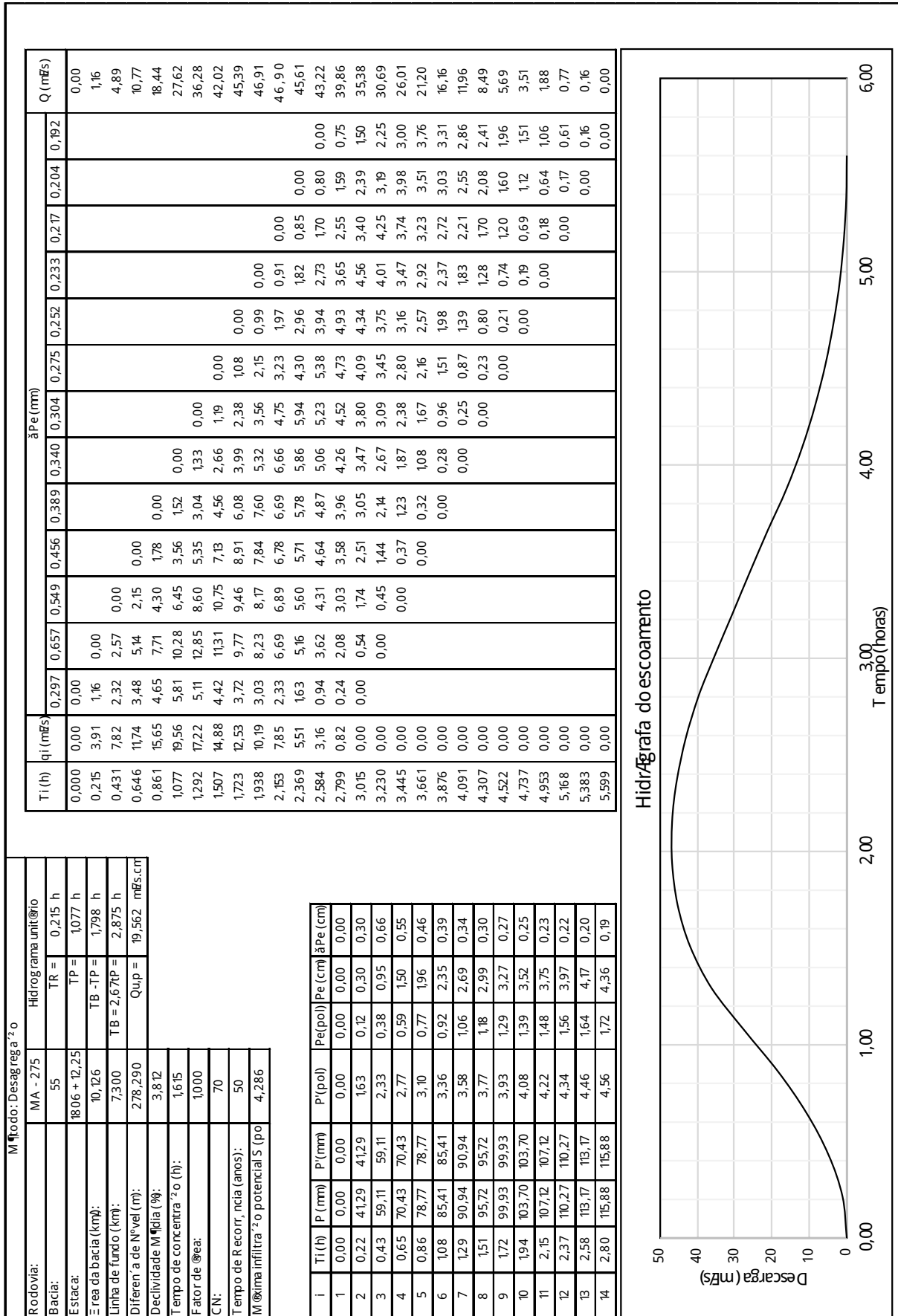
Fonte: Autor (2019)

# APNNDICE N - HUT BACIA Nº 55 - T = 25 ANOS (DESAGREGAÇÃO)



Fonte: Autor (2019)

APNDICE O - HUT BACIA Nº 55 - T = 50 ANOS (DESAGREGAÇÃO)



Fonte: Autor (2019)

### APNDICE P - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 35 (ISOZONAS)

ESTUDO HIDROLÓGICO DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO		RODOVIA MA - 275 TRECHO AMARANTE - SÍTIO NOVO			BACIA Nº 35 ESTACA 1169 + 3,50			
CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO - ISOZONAS								
MÉTODO HIDRÓGRAFO UNITÁRIO TRIANGULAR								
$Q_p = 122,53 \text{ m}^3/\text{s}$								
$n = 0,040$		$\frac{Q_n}{I_o^{1/2}} = ARh^{2/3}$			$ARh^{2/3} = 56,332$			
$i(\%) = 0,757$								
COTA (m)	H (m)	$A_m$ (m <sup>2</sup> )	$P_m$ (m)	$R_h$ (m)	$Rh^{2/3}$	$ARh^{2/3}$	V (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
176,449	F	U	N	D	O	-	-	-
177,949	1,50	9,640	9,540	1,010	1,007	9,707	2,190	21,115
178,449	2,00	13,870	10,630	1,305	1,194	16,562	2,597	36,024
178,949	2,50	18,350	11,910	1,541	1,334	24,479	2,902	53,244
179,449	3,00	23,250	13,180	1,764	1,460	33,944	3,176	73,833
179,949	3,50	28,530	14,580	1,957	1,564	44,634	3,403	97,085
180,449	4,00	34,310	15,990	2,146	1,664	57,078	3,619	124,153
<b>180,419</b>	<b>3,970</b>	<b>33,177</b>	<b>14,995</b>	<b>2,213</b>	<b>1,698</b>	<b>56,332</b>	<b>3,693</b>	<b>122,530</b>

#### CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA SEÇÃO DE VAZÃO PROJETADA

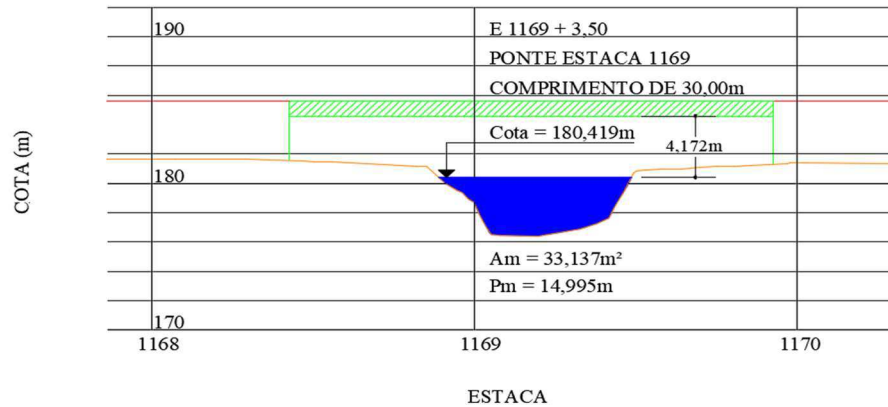
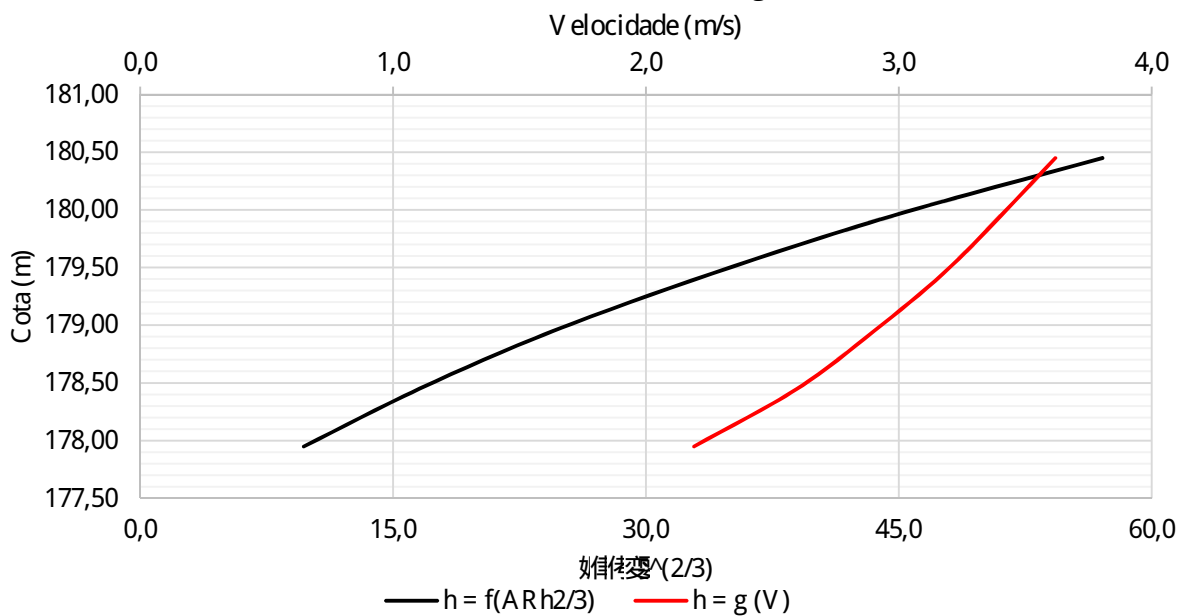


Gráfico de  $h = f(ARh^{2/3})$  e  $h = g(V)$

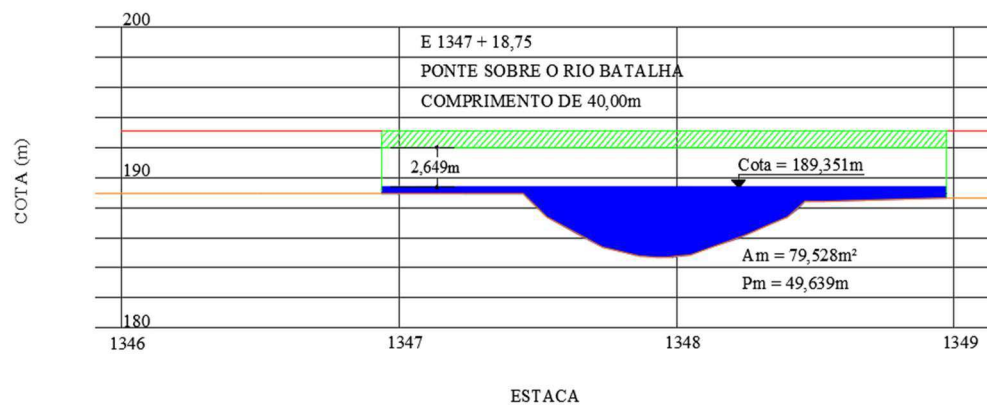


Fonte: Autor (2019)

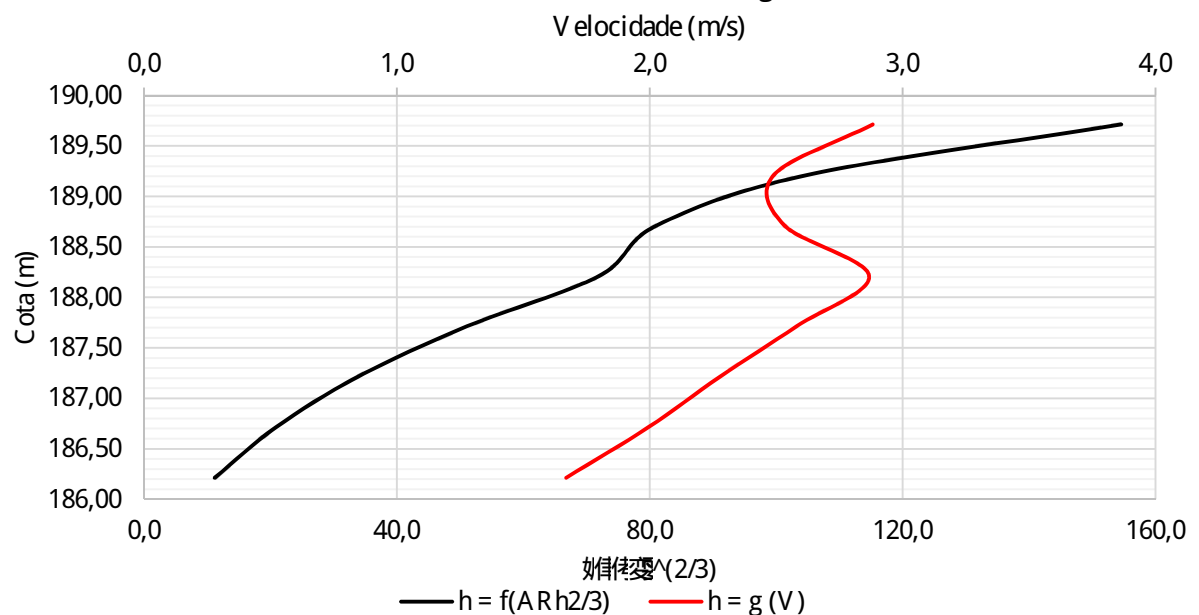
## APNDICE Q - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 40 (ISOZONAS)

ESTUDO HIDROLÓGICO		RODOVIA MA - 275			BACIA Nº 40			
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO		TRECHO AMARANTE - SÍTIO NOVO			1347 + 18,75			
CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO - ISOZONAS								
MÉTODO HIDRÓGRAFO UNITÁRIO TRIANGULAR								
Qp = 206,69 m³/s								
n = 0,080		$\frac{Qn}{I_0^{1/2}} = ARh^{2/3}$			$ARh^{2/3} = 118,655$			
i (%) = 1,942								
COTA (m)	H (m)	Am (m²)	Pm (m)	Rh (m)	$Rh^{2/3}$	$ARh^{2/3}$	V (m/s)	Q (m³/s)
184,713	F	U	N	D	O	-	-	-
186,213	1,50	11,690	12,460	0,938	0,958	11,203	1,669	19,516
186,713	2,00	18,230	14,880	1,225	1,145	20,873	1,994	36,359
187,213	2,50	25,870	17,310	1,495	1,307	33,817	2,277	58,907
187,713	3,00	34,490	19,130	1,803	1,481	51,091	2,580	88,998
188,213	3,50	43,740	20,710	2,112	1,646	72,002	2,867	125,424
188,713	4,00	55,810	31,840	1,753	1,454	81,134	2,532	141,332
189,213	4,50	73,390	42,910	1,710	1,430	104,960	2,491	182,834
189,713	5,00	93,430	43,910	2,128	1,654	154,562	2,882	269,238
<b>189,351</b>	<b>4,638</b>	<b>79,528</b>	<b>43,639</b>	<b>1,822</b>	<b>1,492</b>	<b>118,655</b>	<b>2,599</b>	<b>206,690</b>

### CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA SEÇÃO DE VAZÃO PROJETADA



### Gráfico de $h = f(ARh^{2/3})$ e $h = g(V)$



### APNDICE R - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 54 (ISOZONAS)

ESTUDO HIDROLÓGICO		RODOVIA MA - 275			BACIA Nº 54			
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO		TRECHO AMARANTE - SÍTIO NOVO			1806 + 12,25			
CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO - ISOZONAS								
MÉTODO HIDRÓGRAFO UNITÁRIO TRIANGULAR								
$Q_p = 126,61 \text{ m}^3/\text{s}$								
$n = 0,050$		$\frac{Q_n}{I_o^{1/2}} = ARh^{2/3}$			$ARh^{2/3} = 81,455$			
$i (\%) = 0,604$								
COTA (m)	H (m)	$A_m (\text{m}^2)$	$P_m (\text{m})$	$R_h (\text{m})$	$Rh^{2/3}$	$ARh^{2/3}$	V (m/s)	Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
214,535	F	U	N	D	O	-	-	-
216,035	1,50	6,820	7,750	0,880	0,918	6,263	1,427	9,735
216,535	2,00	10,620	9,530	1,114	1,075	11,415	1,671	17,743
217,035	2,50	15,080	11,040	1,366	1,231	18,565	1,914	28,856
217,535	3,00	19,940	12,360	1,613	1,376	27,428	2,138	42,633
218,035	3,50	25,160	13,680	1,839	1,501	37,768	2,333	58,705
218,535	4,00	30,740	14,970	2,053	1,616	49,662	2,511	77,192
219,035	4,50	36,640	16,190	2,263	1,724	63,158	2,679	98,169
219,535	5,00	44,430	24,850	1,788	1,473	65,450	2,290	101,732
220,035	5,50	54,520	25,850	2,109	1,645	89,664	2,556	139,370
<b>219,865</b>	<b>5,330</b>	<b>51,346</b>	<b>25,697</b>	<b>1,998</b>	<b>1,586</b>	<b>81,455</b>	<b>2,466</b>	<b>126,610</b>

#### CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA SEÇÃO DE VAZÃO PROJETADA

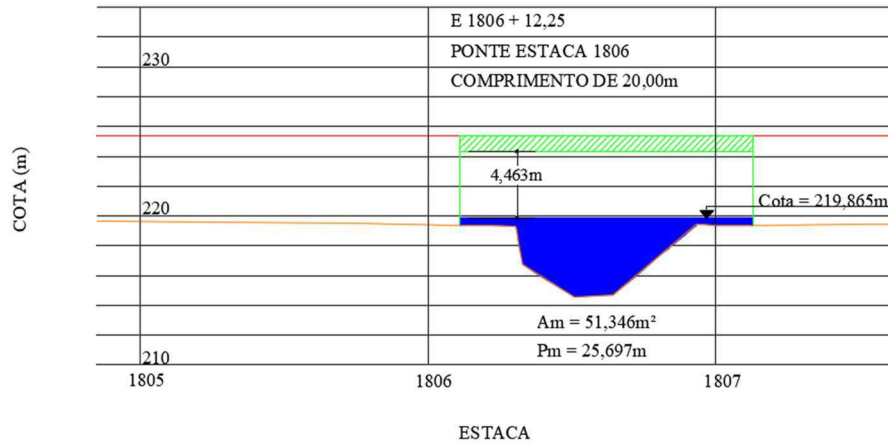
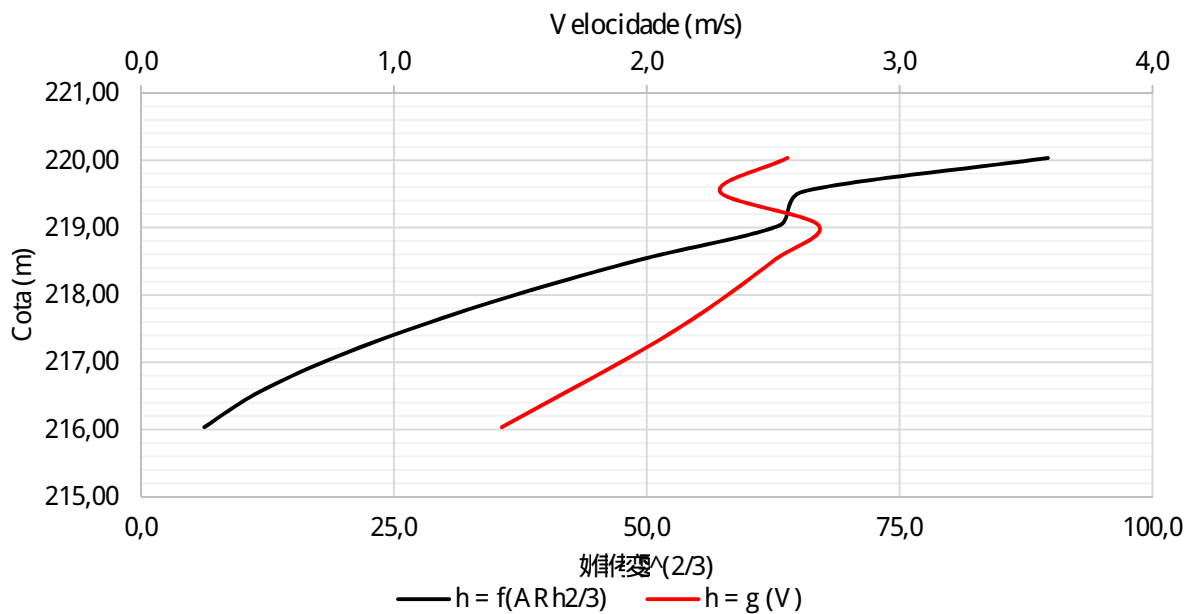


Gráfico de  $h = f(ARh^{2/3})$  e  $h = g(V)$



Fonte: Autor (2019)



APNDICE S - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 35 (DESAGREGAÇÃO)

ESTUDO HIDROLÓGICO DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO		RODOVIA MA - 275 TRECHO AMARANTE - SÍTIO NOVO			BACIA Nº 35 ESTACA 1169 + 3,50			
CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO - DESAGREGAÇÃO								
MÉTODO HIDRÓGRAFO UNITÁRIO TRIANGULAR								
$Q_p = 154,24 \text{ m}^3/\text{s}$								
$n = 0,040$		$\frac{Qn}{I_0^{1/2}} = ARh^{2/3}$			$ARh^{2/3} = 70,910$			
$i(\%) = 0,757$								
COTA (m)	H (m)	$A_m (\text{m}^2)$	$P_m (\text{m})$	$R_h (\text{m})$	$Rh^{2/3}$	$ARh^{2/3}$	V (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
176,449	F	U	N	D	O	-	-	-
177,949	1,50	9,640	9,540	1,010	1,007	9,707	2,190	21,115
178,449	2,00	13,870	10,630	1,305	1,194	16,562	2,597	36,024
178,949	2,50	18,350	11,910	1,541	1,334	24,479	2,902	53,244
179,449	3,00	23,250	13,180	1,764	1,460	33,944	3,176	73,833
179,949	3,50	28,530	14,580	1,957	1,564	44,634	3,403	97,085
180,449	4,00	34,310	15,990	2,146	1,664	57,078	3,619	124,153
180,949	4,50	40,540	18,290	2,217	1,700	68,918	3,698	149,906
181,449	5,00	50,520	31,140	1,622	1,381	69,753	3,003	151,722
181,949	5,50	65,200	35,560	1,834	1,498	97,672	3,258	212,451
<b>181,470</b>	<b>5,021</b>	<b>51,182</b>	<b>31,385</b>	<b>1,631</b>	<b>1,385</b>	<b>70,910</b>	<b>3,014</b>	<b>154,240</b>

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA SEÇÃO DE VAZÃO PROJETADA

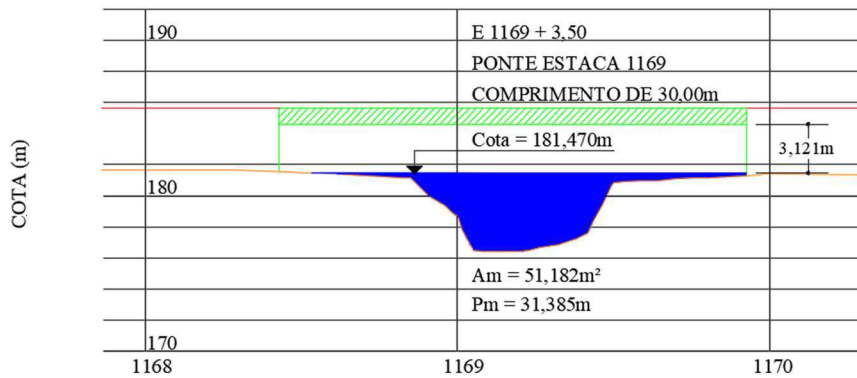
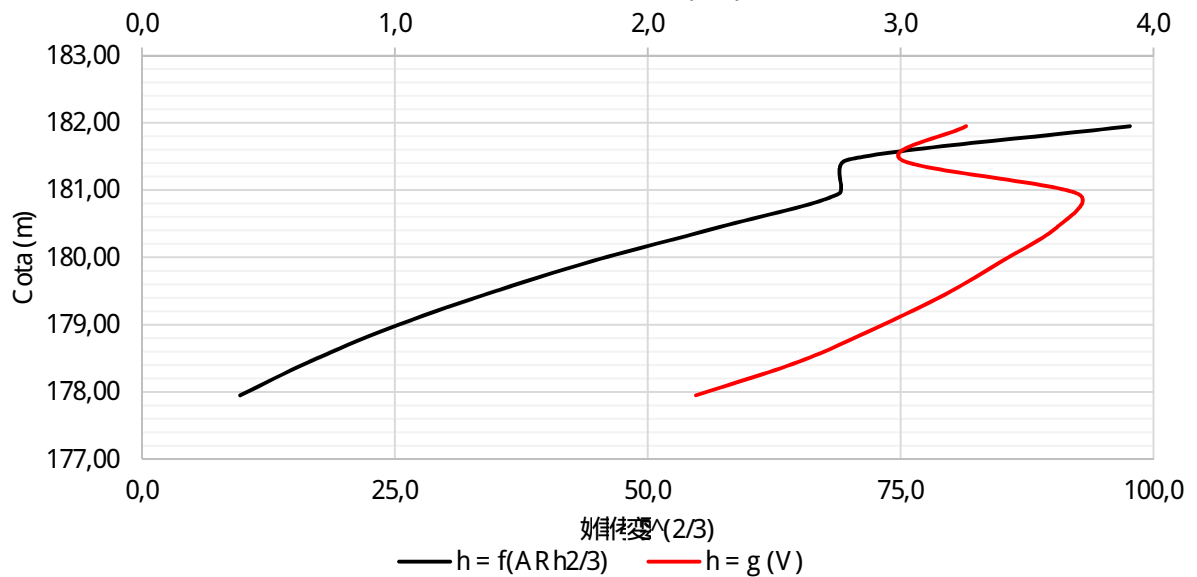


Gráfico de  $h = f(ARh^{2/3})$  e  $h = g(V)$   
Velocidade (m/s)



Fonte: Autor (2019)

APNDICE T - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 40 (DESAGREGAÇÃO)

ESTUDO HIDROLÓGICO		RODOVIA MA - 275			BACIA Nº 40			
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO		TRECHO AMARANTE - SÍTIO NOVO			1347 + 18,75			
CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO - DESAGREGAÇÃO								
MÉTODO HIDRÓGRAFO UNITÁRIO TRIANGULAR								
$Q_p = 299,79 \text{ m}^3/\text{s}$								
$n = 0,080$		$\frac{Q_n}{I_o^{1/2}} = ARh^{2/3}$			$ARh^{2/3} = 172,101$			
$i (\%) = 1,942$								
COTA (m)	H (m)	$A_m (\text{m}^2)$	$P_m (\text{m})$	$R_h (\text{m})$	$Rh^{2/3}$	$ARh^{2/3}$	V (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
184,713	F	U	N	D	O	-	-	-
186,213	1,50	11,690	12,460	0,938	0,958	11,203	1,669	19,516
186,713	2,00	18,230	14,880	1,225	1,145	20,873	1,994	36,359
187,213	2,50	25,870	17,310	1,495	1,307	33,817	2,277	58,907
187,713	3,00	34,490	19,130	1,803	1,481	51,091	2,580	88,998
188,213	3,50	43,740	20,710	2,112	1,646	72,002	2,867	125,424
188,713	4,00	55,810	31,840	1,753	1,454	81,134	2,532	141,332
189,213	4,50	73,390	42,910	1,710	1,430	104,960	2,491	182,834
189,713	5,00	93,430	43,910	2,128	1,654	154,562	2,882	269,238
190,213	5,50	113,480	44,910	2,527	1,855	210,525	3,232	366,723
<b>189,869</b>	<b>5,156</b>	<b>100,217</b>	<b>44,532</b>	<b>2,250</b>	<b>1,717</b>	<b>172,101</b>	<b>2,991</b>	<b>299,790</b>

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA SEÇÃO DE VAZÃO PROJETADA

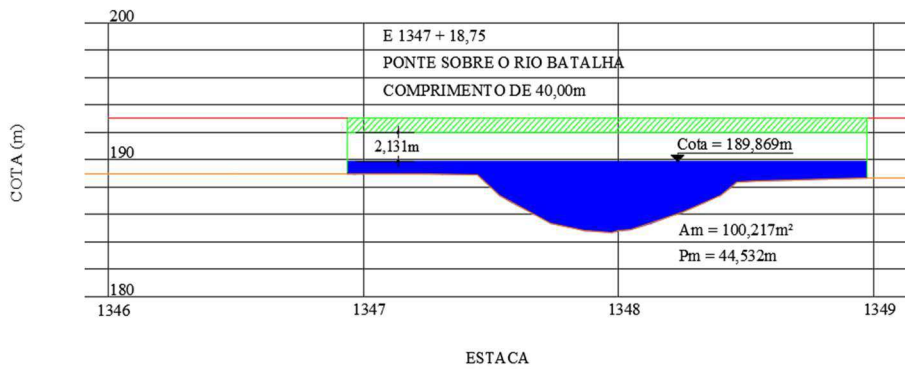
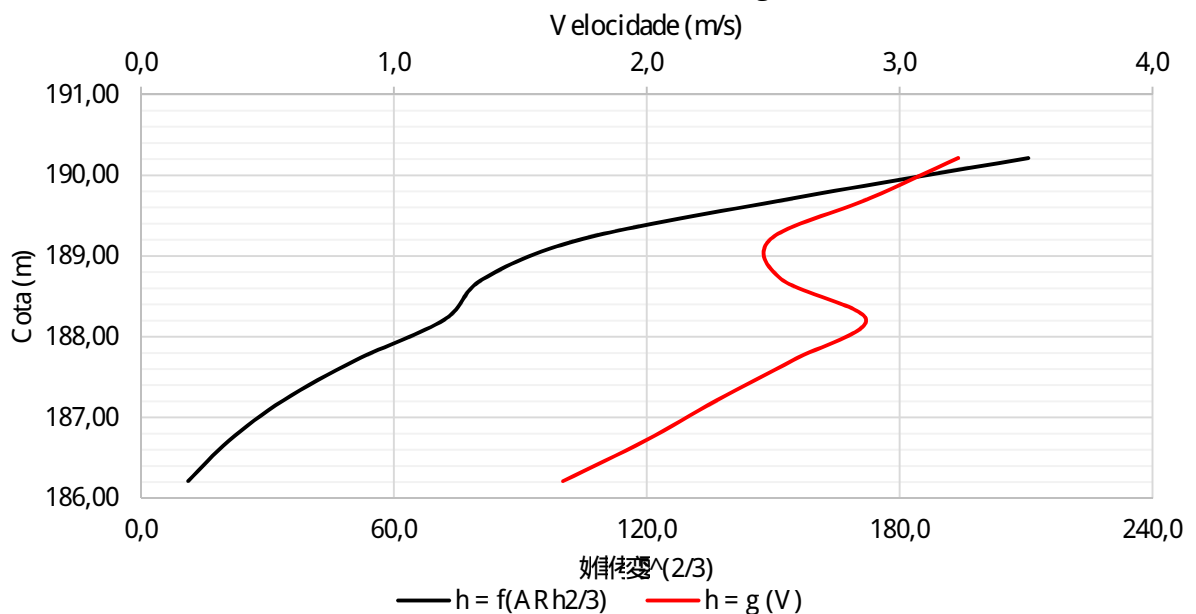


Gráfico de  $h = f(ARh^{2/3})$  e  $h = g(V)$



Fonte: Autor (2019)

APNDICE U - VAZÃO DE PROJETO DA OAE - BACIA Nº 54 (DESAGREGAÇÃO)

ESTUDO HIDROLÓGICO		RODOVIA MA - 275			BACIA Nº 54			
DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO		TRECHO AMARANTE - SÍTIO NOVO			1806 + 12,25			
CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO - DESAGREGAÇÃO								
MÉTODO HIDRÓGRAFO UNITÁRIO TRIANGULAR								
$Q_p = 153,35 \text{ m}^3/\text{s}$								
$n = 0,050$		$\frac{Q_p}{I_o^{1/2}} = ARh^{2/3}$			$ARh^{2/3} = 98,659$			
$i (\%) = 0,604$								
COTA (m)	H (m)	$A_m (\text{m}^2)$	$P_m (\text{m})$	$R_h (\text{m})$	$Rh^{2/3}$	$ARh^{2/3}$	V (m/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)
214,535	F	U	N	D	O	-	-	-
216,035	1,50	6,820	7,750	0,880	0,918	6,263	1,427	9,735
216,535	2,00	10,620	9,530	1,114	1,075	11,415	1,671	17,743
217,035	2,50	15,080	11,040	1,366	1,231	18,565	1,914	28,856
217,535	3,00	19,940	12,360	1,613	1,376	27,428	2,138	42,633
218,035	3,50	25,160	13,680	1,839	1,501	37,768	2,333	58,705
218,535	4,00	30,740	14,970	2,053	1,616	49,662	2,511	77,192
219,035	4,50	36,640	16,190	2,263	1,724	63,158	2,679	98,169
219,535	5,00	44,430	24,850	1,788	1,473	65,450	2,290	101,732
220,035	5,50	54,520	25,850	2,109	1,645	89,664	2,556	139,370
220,535	6,00	64,410	26,850	2,399	1,792	115,423	2,785	179,408
<b>220,210</b>	<b>5,675</b>	<b>64,355</b>	<b>33,904</b>	<b>1,898</b>	<b>1,533</b>	<b>98,659</b>	<b>2,383</b>	<b>153,350</b>

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DA SEÇÃO DE VAZÃO PROJETADA

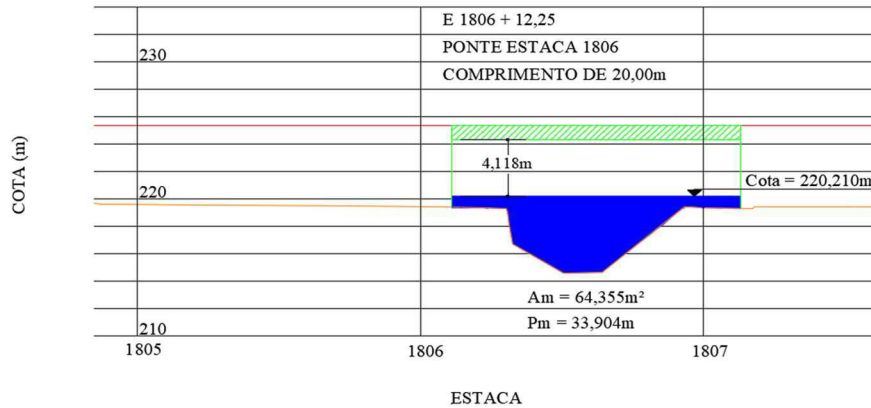
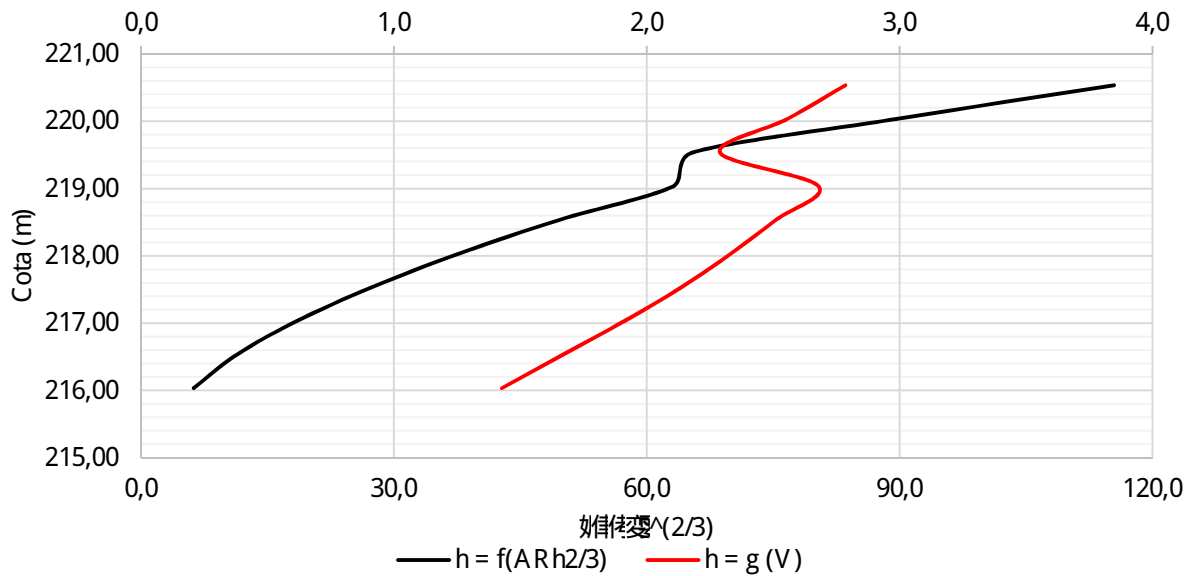


Gráfico de  $h = f(ARh^{2/3})$  e  $h = g(V)$   
 Velocidade (m/s)



Fonte: Autor (2019)

APNDICE V - RESUMO DAS BACIAS (ISOZONAS)

Estaca	Bacia	Área (km²)	Montante	C/CN	Método	Talvegue (km)	DIF. NR/EL (m)	Tc (h)	Vazão (m³/s)				OBRA EXISTENTE	DISPOSITIVO HIDRULICO	
									15	25	50	100		TIPO	CALCULADO/INDICADO
1018 + 4,00	30	0,086	LD	0,40	RACIONAL	0,54	10,29	0,19	1,74	1,85	2,00	BSTC 1,00	BSTC	1,20	1,20
1044 + 0,00	31	0,097	LE	0,40	RACIONAL	0,43	1,89	0,28	1,68	1,78	1,92	BSTC 1,00	BSTC	1,20	1,20
1071 + 17,50	32	0,087	LE	0,40	RACIONAL	0,30	1,57	0,20	1,73	1,84	1,99	BSTC 1,00	BSTC	1,20	1,20
1098 + 18,00	33	0,035	LD	0,40	RACIONAL	0,39	6,44	0,16	0,76	0,81	0,87	BSTC 1,00	BSTC	0,80	1,00
1107 + 0,00	34	0,072	LD	0,40	RACIONAL	0,35	13,09	0,10	1,76	1,86	2,01	BSTC 1,00	BSTC	1,20	1,20
1169 + 3,50	35	48,465	LD	70,00	HUT	14,80	124,00	4,99				PONTIL HÚO DE MADEIRA	PONTE 30 m		
1185 + 0,00	36	35,708	LD	70,00	HUT	18,66	126,39	6,47		58,36	67,53		BTCC	30 x 2,50	30 x 2,50
1239 + 8,00	37	0,126	LD	0,35	RACIONAL	0,37	18,93	0,10	2,76	2,93	3,17	BSTC 1,00	BSTC	1,50	1,50
1250 + 0,00	38	0,881	LD	0,40	RACIONAL	1,74	32,38	0,71	9,14	9,68	10,47		BTTCC	1,50	1,50
1300 + 0,00	39	1,258	LD	0,38	RACIONAL	2,46	37,80	0,99	9,90	10,49	11,34		BSCC	20 x 2,50	2,50 x 2,50
1347 + 18,75	40	189,933	LD	70,00	HUT	38,38	138,82	14,36				PONTIL HÚO DE MADEIRA	PONTE 40 m		
1414 + 0,00	41	0,033	LD	0,30	RACIONAL	0,25	4,17	0,11	0,60	0,64	0,69		BSTC	0,80	1,00
1432 + 18,00	42	0,010	LD	0,30	RACIONAL	0,19	3,65	0,08	0,20	0,21	0,23	BSTC 1,00	BSTC	0,60	1,00
1453 + 2,00	43	0,031	LE	0,40	RACIONAL	0,30	5,37	0,12	0,73	0,77	0,83	BSTC 1,00	BSTC	0,80	1,00
1489 + 18,00	44	0,343	LE	0,40	RACIONAL	1,04	15,35	0,35	5,34	5,65	6,12	BSTC 1,00	BTTCC	1,20	1,20
1521 + 0,00	45	0,166	LE	0,38	RACIONAL	0,70	12,51	0,24	2,92	3,10	3,35		BDTC	1,00	1,00
1543 + 18,00	46	0,135	LE	0,35	RACIONAL	0,58	2,20	0,37	1,77	1,87	2,02	BSTC 1,00	BSTC	1,20	1,20
1587 + 16,18	47	0,248	LD	0,38	RACIONAL	0,43	11,39	0,14	5,33	5,65	6,11	BSTC 1,00	BDTC	1,50	1,50
1611 + 7,11	48	1,824	LD	0,38	RACIONAL	2,38	16,21	1,32	11,72	12,42	13,43	BTTCC 0,80	BTTCC	1,50	1,50
1669 + 3,31	49	0,315	LD	0,36	RACIONAL	0,66	10,07	0,24	5,23	5,54	6,00	BSTC 1,00	BTTCC	1,20	1,20
1679 + 14,42	50	0,129	LD	0,35	RACIONAL	0,52	11,10	0,18	2,36	2,50	2,70	BSTC 1,00	BTTCC	1,20	1,20
1711 + 18,35	51	4,062	LD	0,33	RAC.MOD.	3,26	37,00	1,38	19,06	20,20	21,84	PONTIL HÚO DE MADEIRA	BSCC	30 x 2,50	30 x 3,0
1758 + 18,00	52	0,037	LD	0,40	RACIONAL	0,25	5,13	0,10	0,90	0,96	1,04	BSTC 1,00	BSTC	1,00	1,00
1773 + 11,00	53	0,072	LD	0,40	RACIONAL	0,38	9,03	0,13	1,66	1,76	1,90	BSTC 1,00	BSTC	1,20	1,20
1806 + 12,25	54	38,413	LD	70,00	HUT	13,47	258,55	3,37				PONTIL HÚO DE MADEIRA	PONTE 20 m		
1840 + 8,20	55	10,126	LD	70,00	HUT	7,30	278,29	1,62		39,04	45,66	PONTIL HÚO DE MADEIRA	BDCC	30 x 2,50	30 x 3,0
1846 + 8,60	56	0,358	LE	0,38	RACIONAL	0,99	33,25	0,24	6,26	6,63	7,18	BSTC 1,00	BDTC	1,50	1,50
1871 + 13,32	57	0,048	LD	0,40	RACIONAL	0,45	17,02	0,13	1,11	1,18	1,28		BSTC	1,00	1,00
1934 + 0,68	58	1,777	LD	0,38	RACIONAL	2,65	41,00	1,05	13,47	14,27	15,43	BSTC 1,00	BSCC	30 x 2,0	2,50 x 2,50
1967 + 16,74	59	1,206	LD	0,45	RACIONAL	2,02	37,46	0,79	13,06	13,84	14,96	BSTC 1,00	BSCC	30 x 2,0	2,50 x 2,50

Fonte: Autor (2019)

## APNDICE W - RESUMO DAS BACIAS (DESAGREGAÇÃO)

Estaca	Bacia	Área (km²)	Montante	C/CN	Método	Talvegue (km)	DIF. NR/EL (m)	Tc (h)	Vazão (m³/s)				OBRA EXISTENTE	DISPOSITIVO HIDRULICO	
									15	25	50	100		TIPO	CALCULADO/INDICADO
1018 + 4,00	30	0,086	LD	0,40	RACIONAL	0,54	10,29	0,19	1,53	1,69	1,92		BSTC	1,00	1,00
1044 + 0,00	31	0,097	LE	0,40	RACIONAL	0,43	1,89	0,28	1,47	1,61	1,84		BSTC	1,00	1,00
1071 + 17,50	32	0,087	LE	0,40	RACIONAL	0,30	1,57	0,20	1,52	1,68	1,91		BSTC	1,00	1,00
1098 + 18,00	33	0,035	LD	0,40	RACIONAL	0,39	6,44	0,16	0,67	0,74	0,85		BSTC	0,80	1,00
1107 + 0,00	34	0,072	LD	0,40	RACIONAL	0,35	13,09	0,10	1,57	1,72	1,97		BSTC	1,20	1,20
1169 + 3,50	35	48,465	LD	70,00	HUT	14,80	124,00	4,99				154,24	PONTE 30 m		
1185 + 0,00	36	35,708	LD	70,00	HUT	18,66	126,39	6,47	64,11	80,70			BTCC	3,0 x 3,0	3,0 x 3,0
1239 + 8,00	37	0,126	LD	0,35	RACIONAL	0,37	18,93	0,10	2,47	2,72	3,10		BSTC	1,50	1,50
1250 + 0,00	38	0,881	LD	0,40	RACIONAL	1,74	32,38	0,71	8,06	8,88	10,12		BDTC	1,50	1,50
1300 + 0,00	39	1,258	LD	0,38	RACIONAL	2,46	37,80	0,99	8,84	9,74	11,10		BSCC	2,0 x 2,50	2,50 x 2,50
1347 + 18,75	40	189,933	LD	70,00	HUT	36,38	138,82	14,36				299,79	PONTE 40 m		
1414 + 0,00	41	0,033	LD	0,30	RACIONAL	0,25	4,17	0,11	0,54	0,59	0,68		BSTC	0,80	1,00
1432 + 18,00	42	0,010	LD	0,30	RACIONAL	0,19	3,65	0,08	0,18	0,20	0,23		BSTC	0,60	1,00
1453 + 2,00	43	0,031	LE	0,40	RACIONAL	0,30	5,37	0,12	0,64	0,71	0,81		BSTC	0,80	1,00
1489 + 18,00	44	0,343	LE	0,40	RACIONAL	1,04	15,35	0,35	4,66	5,13	5,85		BDTC	1,20	1,20
1521 + 0,00	45	0,166	LE	0,38	RACIONAL	0,70	12,51	0,24	2,56	2,82	3,21		BDTC	1,00	1,00
1543 + 18,00	46	0,135	LE	0,35	RACIONAL	0,58	2,20	0,37	1,54	1,70	1,94		BSTC	1,00	1,00
1587 + 16,18	47	0,248	LD	0,38	RACIONAL	0,43	11,39	0,14	4,71	5,19	5,92		BDTC	1,20	1,20
1611 + 7,11	48	1,824	LD	0,38	RACIONAL	2,38	16,21	1,32	10,63	11,70	13,34		BTTC	1,50	1,50
1669 + 3,31	49	0,315	LD	0,36	RACIONAL	0,66	10,07	0,24	4,58	5,04	5,75		BDTC	1,20	1,20
1679 + 14,42	50	0,129	LD	0,35	RACIONAL	0,52	11,10	0,18	2,07	2,28	2,60		BSTC	1,20	1,20
1711 + 18,35	51	4,062	LD	0,33	RAC.MOD.	3,26	37,00	1,38	17,33	19,09	21,76		BSCC	3,0 x 2,50	3,0 x 3,0
1758 + 18,00	52	0,037	LD	0,40	RACIONAL	0,25	5,13	0,10	0,81	0,89	1,01		BSTC	0,80	1,00
1773 + 11,00	53	0,072	LD	0,40	RACIONAL	0,38	9,03	0,13	1,47	1,62	1,85		BSTC	1,00	1,00
1806 + 12,25	54	38,413	LD	70,00	HUT	13,47	258,55	3,37				153,35	PONTE 20 m		
1840 + 8,20	55	10,126	LD	70,00	HUT	7,30	278,29	1,62	36,35	46,90			BDCC	3,0 x 2,50	3,0 x 3,0
1846 + 8,60	56	0,358	LE	0,38	RACIONAL	0,99	33,25	0,24	5,48	6,03	6,88		BDTC	1,50	1,50
1871 + 13,32	57	0,048	LD	0,40	RACIONAL	0,45	17,02	0,13	0,99	1,09	1,24		BSTC	1,00	1,00
1934 + 0,68	58	1,777	LD	0,38	RACIONAL	2,65	41,00	1,05	12,06	13,28	15,14		BSCC	3,0 x 2,0	2,50 x 2,50
1967 + 16,74	59	1,206	LD	0,45	RACIONAL	2,02	37,46	0,79	11,56	12,73	14,52		BSCC	3,0 x 2,0	2,50 x 2,50

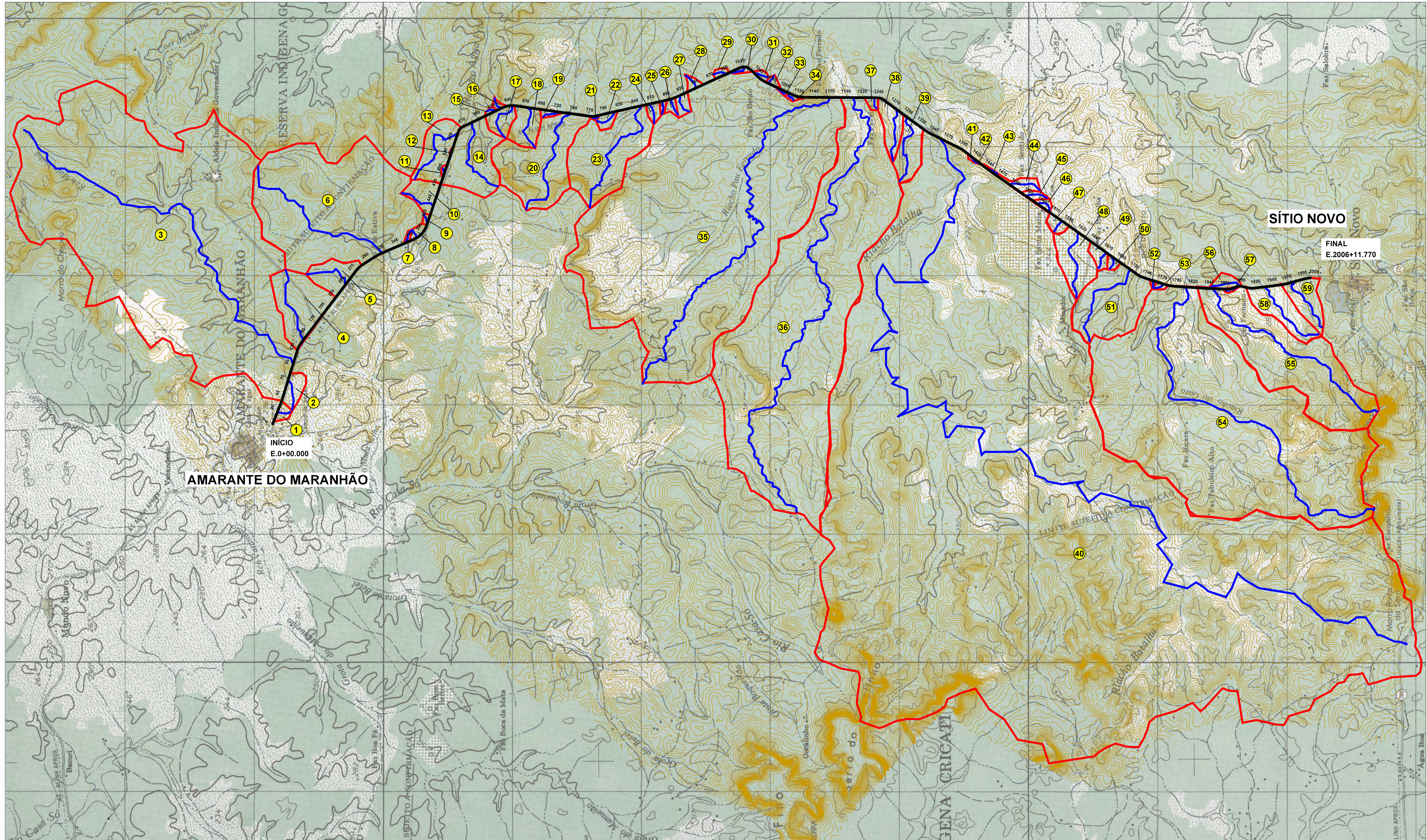
Fonte: Autor (2019)

## APNDICE X - RESUMO DAS BACIAS (BELL)

Estaca	Bacia	Área (km²)	Montante	C/CN	Método	Talvegue (km)	DIF. NRV/EL (m)	Tc (h)	Vazão (m³/s)				OBRA EXISTENTE	DISPOSITIVO HIDR. ULICO	
									15	25	50	100		TIPO	CALCULADO/INDICADO
1018 + 400	30	0,086	LD	0,40	RACIONAL	0,54	10,29	0,19	1,40	1,56	1,79		BSTC 1,00	BSTC	1,00
1044 + 000	31	0,097	LE	0,40	RACIONAL	0,43	1,89	0,28	1,35	1,50	1,72		BSTC 1,00	BSTC	1,00
1071 + 17,50	32	0,087	LE	0,40	RACIONAL	0,30	1,57	0,20	1,40	1,55	1,78		BSTC 1,00	BSTC	1,00
1098 + 18,00	33	0,035	LD	0,40	RACIONAL	0,39	6,44	0,16	0,62	0,68	0,78		BSTC 1,00	BSTC	0,80
1107 + 000	34	0,072	LD	0,40	RACIONAL	0,35	13,09	0,10	1,43	1,58	1,82		BSTC 1,00	BSTC	1,00
1169 + 3,50	35	48,465	LD	70,00	HUT	14,80	124,00	4,99	-	-	-		PONTILHÃO DE MADEIRA	-	-
1185 + 0,00	36	35,708	LD	70,00	HUT	18,66	126,39	6,47	-	-	-		-	-	-
1239 + 8,00	37	0,126	LD	0,35	RACIONAL	0,37	18,93	0,10	2,26	2,50	2,87		BSTC 1,00	BSTC	1,20
1250 + 000	38	0,881	LD	0,40	RACIONAL	1,74	32,38	0,71	7,68	8,51	9,78		BDTC 1,50	BDTC	1,50
1300 + 0,00	39	1,258	LD	0,38	RACIONAL	2,46	37,80	0,99	8,57	9,50	10,91		BSCC 2,0 x 2,0	BSCC	2,0 x 2,0
1347 + 18,75	40	189,933	LD	70,00	HUT	38,38	138,82	14,36	-	-	-		PONTILHÃO DE MADEIRA	-	-
1414 + 000	41	0,033	LD	0,30	RACIONAL	0,25	4,17	0,11	0,49	0,54	0,63		BSTC 0,80	BSTC	0,80
1432 + 18,00	42	0,010	LD	0,30	RACIONAL	0,19	3,65	0,08	0,17	0,18	0,21		BSTC 0,60	BSTC	0,60
1453 + 2,00	43	0,031	LE	0,40	RACIONAL	0,30	5,37	0,12	0,59	0,65	0,75		BSTC 0,80	BSTC	0,80
1489 + 18,00	44	0,343	LE	0,40	RACIONAL	1,04	15,35	0,35	4,32	4,79	5,50		BDTC 1,20	BDTC	1,20
1521 + 000	45	0,166	LE	0,38	RACIONAL	0,70	12,51	0,24	2,36	2,61	3,00		BSTC 1,20	BSTC	1,20
1543 + 18,00	46	0,135	LE	0,35	RACIONAL	0,58	2,20	0,37	1,43	1,59	1,83		BSTC 1,00	BSTC	1,00
1587 + 16,18	47	0,248	LD	0,38	RACIONAL	0,43	11,39	0,14	4,31	4,78	5,49		BSTC 1,20	BDTC	1,20
1611 + 7,11	48	1,824	LD	0,38	RACIONAL	2,38	16,21	1,32	10,47	11,60	13,32		BTTF 0,80	BTTT	1,50
1669 + 3,31	49	0,315	LD	0,36	RACIONAL	0,66	10,07	0,24	4,21	4,67	5,36		BSTC 1,50	BSTC	1,50
1679 + 14,42	50	0,129	LD	0,35	RACIONAL	0,52	11,10	0,18	1,90	2,10	2,42		BSTC 1,20	BSTC	1,20
1711 + 18,35	51	4,062	LD	0,33	RAC.MOD.	3,26	37,00	1,38	17,12	18,96	21,78		PONTILHÃO DE MADEIRA	BSCC 3,0 x 2,50	3,0 x 3,0
1758 + 18,00	52	0,037	LD	0,40	RACIONAL	0,25	5,13	0,10	0,74	0,82	0,94		BSTC 0,80	BSTC	0,80
1773 + 11,00	53	0,072	LD	0,40	RACIONAL	0,38	9,03	0,13	1,35	1,49	1,71		BSTC 1,00	BSTC	1,00
1806 + 12,25	54	38,413	LD	70,00	HUT	13,47	258,55	3,37	-	-	-		PONTILHÃO DE MADEIRA	-	-
1840 + 8,20	55	10,126	LD	70,00	HUT	7,30	278,29	1,62	-	-	-		PONTILHÃO DE MADEIRA	-	-
1846 + 8,60	56	0,358	LE	0,38	RACIONAL	0,99	33,25	0,24	5,04	5,59	6,42		BDTC 1,50	BDTC	1,50
1871 + 13,32	57	0,048	LD	0,40	RACIONAL	0,45	17,02	0,13	0,90	1,00	1,15		BSTC 1,00	BSTC	1,00
1934 + 0,68	58	1,777	LD	0,38	RACIONAL	2,65	41,00	1,05	11,73	12,99	14,92		BSCC 3,0 x 2,0	BSCC	3,0 x 2,0
1967 + 16,74	59	1,206	LD	0,45	RACIONAL	2,02	37,46	0,79	11,08	12,27	14,10		BDTC 1,00	BSCC	3,0 x 2,0

Fonte: Autor (2019)

## ANEXOS



AMARANTE DO MARANHÃO

SÍTIO NOVO

FINAL  
E.2006+11.770

INÍCIO  
E.0+00.000

**LEGENDA**

EIXO DE PROJETO	
BACIAS	
TALVEGUE	
Nº DA BACIA	

ESCALA GRÁFICA HORIZONTAL  
 0m 500m 1000m 1500m

SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA		SINFRAMA
MA - 275	PROJETO: MA - 275 (Sítio Novo - Amarante) - Eixo MA - 280 (Sítio Novo)	MAU SÉLO ENGENHARIA
BACIAS HIDROGRÁFICAS		DES - 3.4.1



## ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Bacia	Área (ha)	Extensão (km)	Cota máx.	Cota min.	Desnível	Decliv Média	Tc Kirpich Modif. (h)	Tc DNOS K=2,0(h)	Tc projeto (h)
1	20,22	0,45	283,16	257,01	26,15	5,85%	0,16	0,12	0,16
2	54,4	0,99	282,58	250,13	32,45	3,31%	0,37	0,33	0,37
3	5034,6	13,30	329,24	236,18	93,07	1,22%	4,92	5,89	5,89
4	282,3	2,63	277,93	241,73	36,20	1,46%	1,09	1,50	1,50
5	113,3	1,58	288,50	254,35	34,15	2,64%	0,62	0,57	0,62
6	1555,7	5,60	332,81	248,23	84,59	1,83%	1,88	2,32	2,32
7	4,702	0,43	286,49	271,15	15,34	3,53%	0,19	0,13	0,19
8	13,64	0,33	286,22	266,02	20,20	6,24%	0,12	0,09	0,12
9	5,41	0,30	295,00	276,53	18,46	6,07%	0,12	0,07	0,12
10	76,6	1,17	315,10	273,37	41,73	3,78%	0,41	0,33	0,41
11	3,91	0,16	279,74	276,74	2,99	1,88%	0,11	0,18	0,18
12	1,203	0,19	274,21	272,38	1,83	1,18%	0,16	0,21	0,21
13	168,1	2,61	319,66	251,28	68,38	3,08%	0,85	0,61	0,85
14	472,713	2,74	311,76	243,28	68,48	3,21%	0,89	0,80	0,89
15	4,739	0,32	264,45	252,20	12,25	3,88%	0,14	0,11	0,14
16	7,68	0,44	275,23	245,64	29,60	6,78%	0,15	0,08	0,15
17	75,019	1,43	290,55	235,51	55,04	4,19%	0,46	0,31	0,46
18	101,6	1,57	248,73	220,18	28,55	2,18%	0,66	0,67	0,67
19	10,27	0,60	245,32	219,71	25,61	4,24%	0,23	0,14	0,23
20	505,8	4,09	305,08	211,29	93,79	2,53%	1,26	1,13	1,26
21	2,565	0,28	227,35	218,91	8,44	3,07%	0,14	0,11	0,14
22	24,11	0,71	224,14	209,21	14,93	2,24%	0,34	0,36	0,36
23	495,5	4,43	297,80	197,84	99,96	2,56%	1,35	1,12	1,35
24	21,62	0,69	209,83	200,42	9,40	1,58%	0,39	0,49	0,49
25	7,62	0,44	209,97	203,28	6,69	1,74%	0,26	0,30	0,30
26	15,29	0,57	209,15	203,03	6,13	1,12%	0,37	0,60	0,60
27	25,94	0,69	208,60	200,14	8,47	1,48%	0,41	0,55	0,55
28	14,05	0,52	206,35	196,74	9,61	1,83%	0,28	0,35	0,35
29	9,74	0,42	211,94	206,67	5,27	1,25%	0,28	0,44	0,44
30	8,57	0,54	207,29	197,00	10,29	1,89%	0,29	0,30	0,30
31	9,72	0,43	201,73	199,84	1,89	0,91%	0,42	0,61	0,61
32	8,67	0,30	201,36	199,79	1,57	0,52%	0,30	0,96	0,96
33	3,499	0,39	198,81	192,37	6,44	2,23%	0,23	0,18	0,23
34	7,15	0,35	202,28	189,19	13,09	3,86%	0,16	0,13	0,16
35	4846,48	14,80	304,50	180,50	124,00	1,36%	4,99	5,33	5,33
36	3570,8	18,66	305,10	178,71	126,39	1,35%	6,47	5,13	6,47

**ANEXO B – CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS  
(CONTINUAÇÃO)**

<b>Bacia</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Extensão (km)</b>	<b>Cota máx.</b>	<b>Cota min.</b>	<b>Desnível</b>	<b>Decliv Média</b>	<b>Tc Kirpich Modif. (h)</b>	<b>Tc DNOS K=2,0(h)</b>	<b>Tc projeto (h)</b>
37	12,61	0,37	211,41	192,49	18,93	5,06%	0,15	0,12	0,15
38	88,1	1,74	216,11	183,73	32,38	1,91%	0,71	0,74	0,74
39	125,8	2,46	222,07	184,27	37,80	2,56%	0,99	0,66	0,99
40	18993,3	38,38	328,74	189,92	138,82	0,82%	14,36	16,12	16,12
41	3,326	0,25	219,23	215,07	4,17	1,78%	0,17	0,20	0,20
42	1,038	0,19	220,38	216,73	3,65	2,83%	0,13	0,08	0,13
43	3,093	0,30	216,66	211,29	5,37	1,82%	0,18	0,20	0,20
44	34,26	1,04	227,20	211,86	15,35	1,51%	0,52	0,64	0,64
45	16,57	0,70	231,46	218,95	12,51	1,78%	0,36	0,40	0,40
46	13,46	0,58	230,24	228,04	2,20	0,61%	0,56	1,06	1,06
47	24,84	0,43	232,43	221,04	11,39	2,65%	0,21	0,28	0,28
48	182,4	2,38	234,91	218,71	16,21	1,10%	1,33	1,71	1,71
49	31,5	0,66	232,22	222,15	10,07	1,82%	0,36	0,47	0,47
50	12,89	0,52	235,03	223,93	11,10	2,13%	0,26	0,29	0,29
51	406,2	3,26	256,78	219,78	37,00	1,67%	1,39	1,53	1,53
52	3,655	0,25	256,07	250,93	5,13	2,04%	0,15	0,18	0,18
53	7,24	0,38	258,54	249,51	9,03	2,95%	0,20	0,17	0,20
54	3841,3	13,47	478,81	220,27	258,55	2,80%	3,37	2,37	3,37
55	1012,64	7,30	500,81	222,52	278,29	4,48%	1,61	0,88	1,61
56	35,845	0,99	256,11	222,86	33,25	3,43%	0,36	0,28	0,36
57	4,785	0,45	254,39	237,37	17,02	3,77%	0,19	0,12	0,19
58	177,7	2,65	288,53	247,53	41,00	1,88%	1,05	1,01	1,05
59	120,6	2,02	284,57	247,11	37,46	2,28%	0,79	0,71	0,79

Fonte: SINRA (2017)



**ANEXO D – HUT BACIA Nº 36 – T = 100 ANOS**

Ferrovias : MA-275

Lote : 36

Bacia: 85,71

Área da bacia (km²): 18,66

Linha de Tampo (km): 126,4

Diferença de Nível (m): 1,35%

Declividade Média: 6,47

Tempo de Concentração (h): 0,88

Coefficiente de Redução: 70

Nº Curva Complexo Subo-vegetação: 0,72

Pond Factor: 100

Tempo de Recorrência (anos): 100

Hidrograma Unitário

Direção: 0,86 h

T<sub>base</sub>: 4,31 h

T<sub>base</sub>: 7,19 h

T<sub>base</sub>: 11,51 h

Q<sub>base</sub>: 1,24 m³/s/mm

t	Q	Q <sub>base</sub>	Q <sub>total</sub>
0	0,00	0,00	0,00
1	0,9	0,00	0,90
2	1,7	0,00	1,70
3	2,6	0,00	2,60
4	3,5	0,00	3,50
5	4,3	0,00	4,30
6	5,2	0,00	5,20
7	6,0	0,00	6,00
8	6,9	0,00	6,90
9	7,8	0,00	7,80
10	8,6	0,00	8,60
11	9,5	0,00	9,50
12	10,4	0,00	10,40
13	11,2	0,00	11,20
14	12,1	0,00	12,10
15	12,9	0,00	12,90
16	13,8	0,00	13,80
17	14,7	0,00	14,70
18	15,5	0,00	15,50
19	16,4	0,00	16,40
20	17,3	0,00	17,30
21	18,1	0,00	18,10
22	19,0	0,00	19,00
23	19,8	0,00	19,80
24	20,7	0,00	20,70
25	21,6	0,00	21,60
26	22,4	0,00	22,40

MAIA MELO ENGENHARIA

**CÁLCULO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR - HUT 36**

**QD.- 3.4.7**

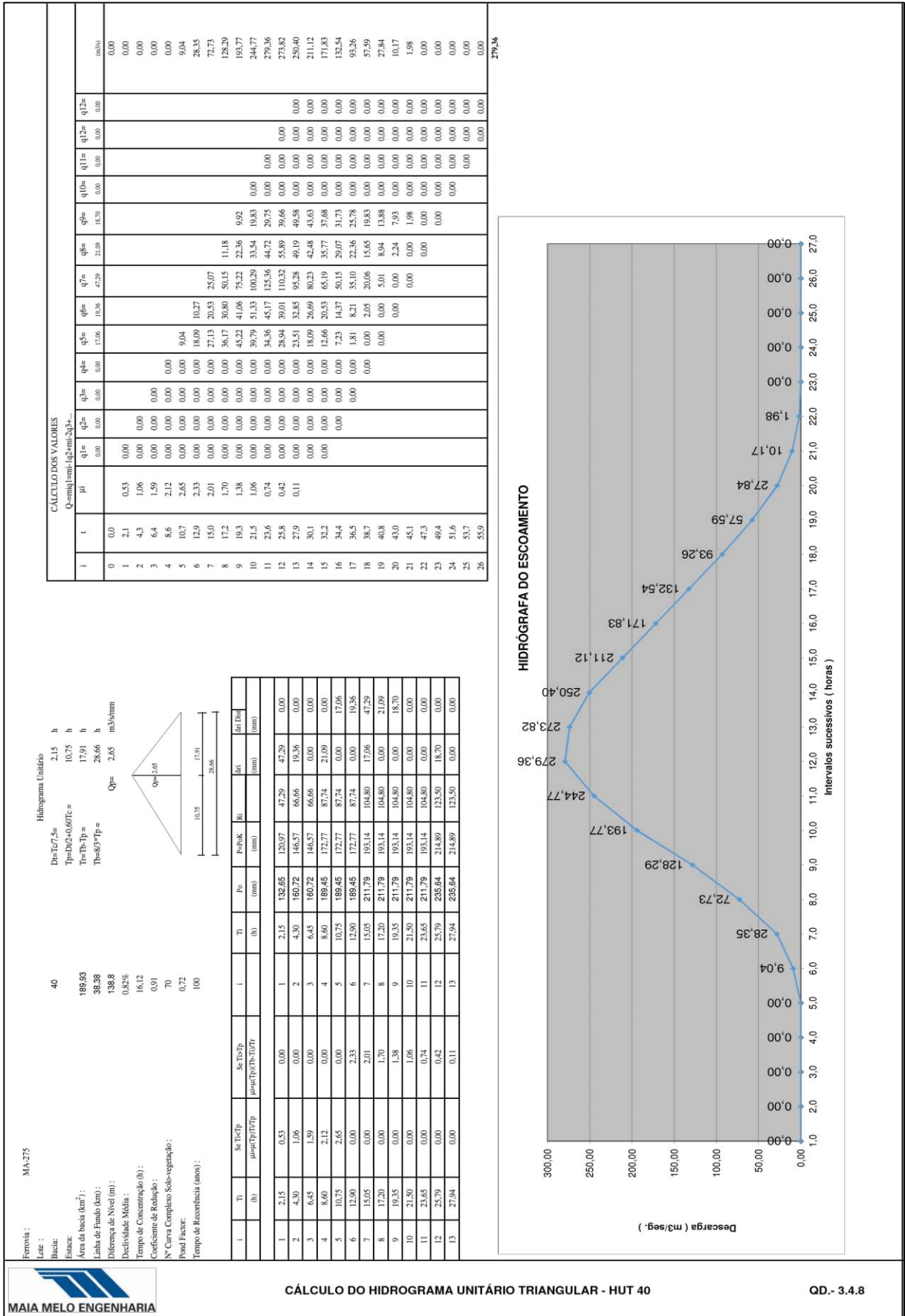
  

**CÁLCULO DOS VALORES**  
Q=ma[1-m]i=102,83-20,3+...

t	μ	q1=	q2=	q3=	q4=	q5=	q6=	q7=	q8=	q9=	q10=	q11=	q12=	meso
0	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,7	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	2,6	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	3,5	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4,3	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	5,2	1,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	6,0	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	6,9	0,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	7,8	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	8,6	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	9,5	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	10,4	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	11,2	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	12,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	12,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	13,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	14,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	15,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	16,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	17,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	18,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	19,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	19,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	20,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	21,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	22,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**HIDRÓGRAFA DO ESCOAMENTO**

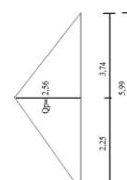
**ANEXO E – HUT BACIA Nº 40 – T = 100 ANOS**



### ANEXO F – HUT BACIA Nº 54 – T = 100 ANOS

Ferroviária: MA-275  
 Lote: 54  
 Bacia: 3841  
 Estaca: 1347  
 Área da bacia (km²): 288,06  
 Linha de Fundo (lsm): 3,37  
 Declividade Média: 0,98  
 Coeficiente de Retenção: 70  
 N° Curva Completo Solo-vegetação: 0,72  
 Pond Factor: 100  
 Tempo de Recorrência (anos):

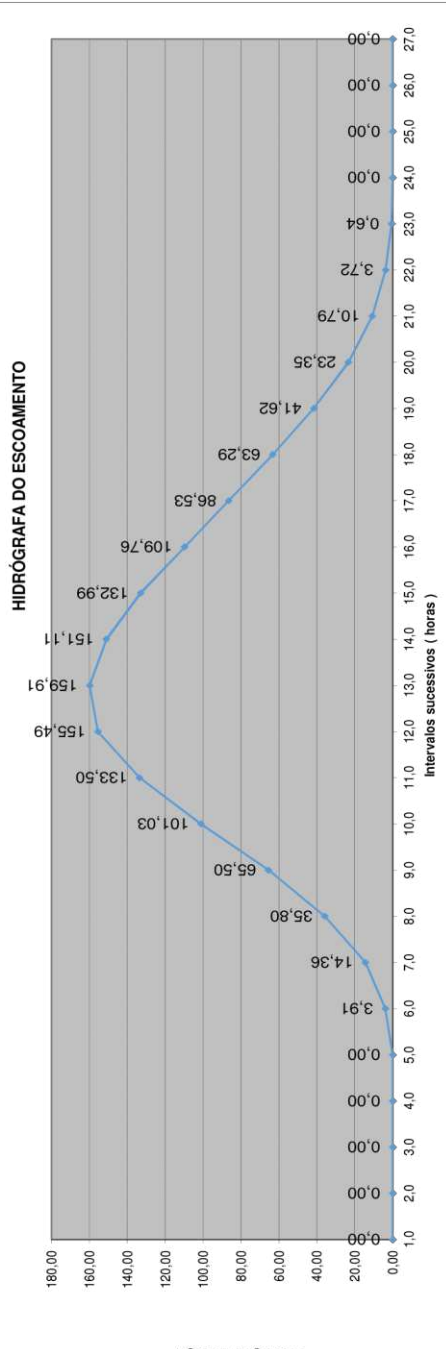
Hidrograma Unitário  
 $Dt=107,5s$   
 $Tp=lh/2+0,60Tc = 2,25 h$   
 $Ts=Tp+Tp = 3,74 h$   
 $Tb=6,7*Tp = 5,99 h$   
 $Qp = 2,56 m³/s/mm$



1	T1 (h)	Sc/Tp [µm³]/(lsm)Tp	Sc/TsTp [µm³]/(lsm)TsTp	Pp/PK (mm)	Pp (mm)	Tt (h)	Pa (mm)	Pa/Bac (mm)	Pa/Bac (mm)
1	0,45	0,51	0,00	72,48	72,48	16,11	16,11	0,00	0,00
2	0,90	1,03	0,00	96,91	96,91	12,77	12,77	0,00	0,00
3	1,35	1,54	0,00	111,06	111,06	11,35	11,35	0,00	0,00
4	1,80	2,05	0,00	124,04	124,04	10,35	10,35	0,00	0,00
5	2,25	2,56	0,00	132,65	132,65	9,62	9,62	0,00	0,00
6	2,70	3,07	2,26	130,17	130,17	8,91	8,91	12,77	0,00
7	3,15	3,58	4,52	130,17	130,17	8,20	8,20	25,54	0,00
8	3,60	4,09	6,79	130,17	130,17	7,49	7,49	38,31	0,00
9	4,05	4,60	9,06	130,17	130,17	6,78	6,78	51,08	0,00
10	4,50	5,11	11,33	130,17	130,17	6,07	6,07	63,85	0,00
11	4,95	5,62	13,60	130,17	130,17	5,36	5,36	76,62	0,00
12	5,40	6,13	15,87	130,17	130,17	4,65	4,65	89,39	0,00
13	5,85	6,64	18,14	130,17	130,17	3,94	3,94	102,16	0,00

**CÁLCULO DOS VALORES**  
 $Q = \text{mq}1 \text{ lsm} \cdot (q2 + \text{mq} \cdot 2q3 + \dots + \text{mq}n)$

1	q1	q2	q3	q4	q5	q6	q7	q8	q9	q10	q11	q12	q12	mq
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	2,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	2,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	2,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	3,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	3,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	4,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	4,5	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	4,9	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	5,4	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	5,8	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	6,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	6,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	7,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
17	7,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	8,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	8,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	9,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	9,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	9,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	10,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	10,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
25	11,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	11,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



**CÁLCULO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR - HUT 54**

**QD - 3.4.9**



ANEXO G – HUT BACIA N° 55 – T = 25 ANOS

**Ferrovia:** MA-275  
**Lote:** 55  
**Bacia:** 10,13  
**Estaca:** 7-30  
**Área da bacia (km²):** 278,3  
**Linha de Fundo (cm):** 4,48%  
**Diferença de Nível (m):** 1,61  
**Declividade Média:** 1,00  
**Tempo de Concentração (h):** 70  
**Coefficiente de Retenção:** 0,72  
**Nº Curva Complexo Subo-vegetação:** 25  
**Pond Factor:**  
**Tempo de Recorrência (anos):**

**Histograma Unitário**

$D=107,5m$      $h = 0,22$      $h = 1,08$   
 $T_p=0,25+0,007T_c = 1,79$      $h = 2,87$   
 $T_e=T_p-T_p = 2,87$      $h =$   
 $T_b=0,3+T_p =$   
 $Q_p = 1,41$      $ms^3/mm$

**CÁLCULO DOS VALORES**  
 $Q = mbj \cdot (t - t_0)^2 \cdot m^3 \cdot 261 \cdot 10^{-6}$

i	t	μi	qi1=	qi2=	qi3=	qi4=	qi5=	qi6=	qi7=	qi8=	qi9=	qi10=	qi11=	qi12=	qi12=	qi12=	ms³
0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,2	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,4	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,6	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
4	0,9	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,98
5	1,1	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,55
6	1,3	1,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,67
7	1,5	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,02
8	1,7	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,34
9	1,9	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,31
10	2,2	3,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,57
11	2,4	3,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,05
12	2,6	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	43,99
13	2,8	4,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,39
14	3,0	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,25
15	3,2	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,58
16	3,4	5,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,31
17	3,7	6,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,58
18	3,9	6,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	60,25
19	4,1	7,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	62,34
20	4,3	7,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	63,99
21	4,5	8,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,25
22	4,7	8,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	66,13
23	5,0	9,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,79
24	5,2	10,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,25
25	5,4	10,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,57
26	5,6	11,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,85
27	5,6	11,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	68,85

**CÁLCULO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR - HUT 55**

**HIDRÓGRAFA DO ESCOAMENTO**

Descarga ( m³/seg. )

Intervalos sucessivos ( horas )

**QD- 3.4.10**



**ANEXO H – HUT BACIA Nº 55 – T = 50 ANOS**

Ferrovia : MA-275  
 Lote :  
 Bacia:  
 Estaca:  
 Área da bacia (km²) :  
 Linha de Fundo (km) :  
 Diferença de Nível (m) :  
 Declividade Média :  
 Tempo de Concentração (h) :  
 Coeficiente de Retenção :  
 Nº Curva Complexo Solo-vegetação :  
 Pond Factor :  
 Tempo de Recorrência (anos) :

Histograma Unitário  
 D<sub>10</sub>=T<sup>0,75</sup>= 0,22 h  
 D<sub>50</sub>=T<sup>0,75</sup>= 1,08 h  
 D<sub>85</sub>=T<sup>0,75</sup>= 2,87 h  
 Q<sub>10</sub>=1,41 m³/s/mm

i	Ti	Si	Si*Ti	Si*Ti²	Si*Ti³	Po	Po*Ti	Po*Ti²	Po*Ti³	Q <sub>10</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>85</sub>	Q <sub>100</sub>
1	0,22	0,28	0,0616	0,013552	0,0029824	48,09	10,58	2,31642	112,8516	5,13	14,58	34,45	64,00
2	0,43	0,56	0,2352	0,101024	0,0436416	69,55	29,816	12,92832	590,8516	9,45	27,27	64,00	100,00
3	0,65	0,85	0,5525	0,359125	0,2334375	81,20	243,60	19,6832	1572,48	6,41	21,33	54,00	81,00
4	0,86	1,13	0,9678	0,830228	0,7142028	89,08	356,32	317,1632	2572,48	4,73	13,87	36,00	49,00
5	1,08	1,41	1,548	1,3572	1,18296	96,17	480,85	462,8167	3608,49	3,45	11,93	30,00	36,00
6	1,29	1,69	2,2041	1,74729	1,384416	100,61	603,66	606,3121	4824,91	2,91	8,47	24,00	27,00
7	1,51	2,00	3,0025	2,251875	1,6813125	111,47	780,29	863,1609	6724,91	2,41	5,81	16,00	18,00
8	1,72	2,37	4,0329	3,024276	2,2560024	114,49	995,83	1138,4641	8824,91	2,13	4,53	12,00	14,00
9	1,94	2,80	5,232	3,94416	2,92872	119,89	1279,02	1528,3681	11924,91	1,87	3,50	9,00	10,00
10	2,15	3,30	6,93	5,1909	3,912825	122,33	1523,33	1870,3689	14424,91	1,61	2,61	6,00	7,00
11	2,37	3,90	9,081	6,8127	5,144163	122,33	1868,01	2283,3689	18024,91	1,41	1,97	4,00	4,00
12	2,58	4,50	12,225	9,16875	6,8541	122,33	2277,99	2803,3689	22024,91	1,27	1,41	3,00	3,00
13	2,80	5,20	16,64	12,5056	9,1264	122,33	2868,01	3523,3689	27624,91	1,17	1,00	2,00	2,00

Q=miq1+mi2+...+miN

i	t	μi	qi1=	qi2=	qi3=	qi4=	qi5=	qi6=	qi7=	qi8=	qi9=	qi10=	qi11=	qi12=	Q
0	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,22	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,43	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,65	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,86	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1,08	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	1,29	1,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1,51	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	1,72	2,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	1,94	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	2,15	3,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	2,37	3,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	2,58	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	2,80	5,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	5,6														49,10

**HIDRÓGRAFA DO ESCOAMENTO**

**CÁLCULO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR - HUT 55**

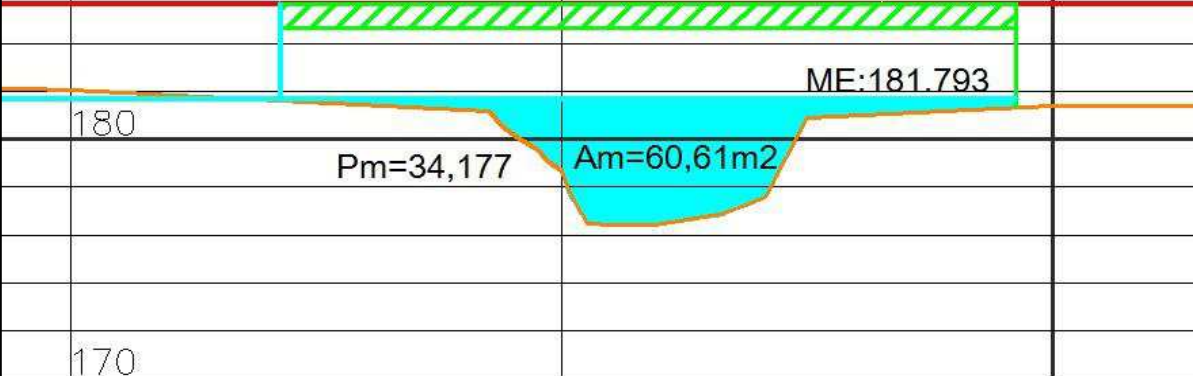
**QD - 3.4.11**



**ANEXO I - VAZÃO DE PROJETO DA OAE – BACIA Nº 35**

Decliv	0,757%					Q100*	192,24
*Assumido alivio do BTTC 3,0x3,0 (=167,09+104,88-79,73)							
Cota	H	Am	Pm	Rh	n	V (m/s)	Q (m3/s)
176,449	0						
177,949	1,5	9,64	9,54	1,01	0,040	2,19	21,12
178,449	2	13,87	10,63	1,31	0,040	2,60	36,03
178,949	2,5	18,35	11,91	1,54	0,040	2,90	53,24
179,449	3	23,25	13,18	1,76	0,040	3,18	73,81
179,949	3,5	28,53	14,58	1,96	0,040	3,40	97,13
180,449	4	34,31	15,99	2,15	0,040	3,62	124,15
180,949	4,5	40,54	18,29	2,22	0,040	3,70	149,96
181,449	5	50,52	31,14	1,62	0,040	3,00	151,71
181,793	5,34	60,61	34,18	1,77	0,040	3,19	193,15
181,949	5,5	65,20	35,56	1,83	0,040	3,26	212,45
182,449	6	80,21	36,56	2,19	0,040	3,67	294,59
182,949	6,5	95,22	37,56	2,54	0,040	4,04	385,11
183,449	7	110,23	38,56	2,86	0,040	4,38	482,98

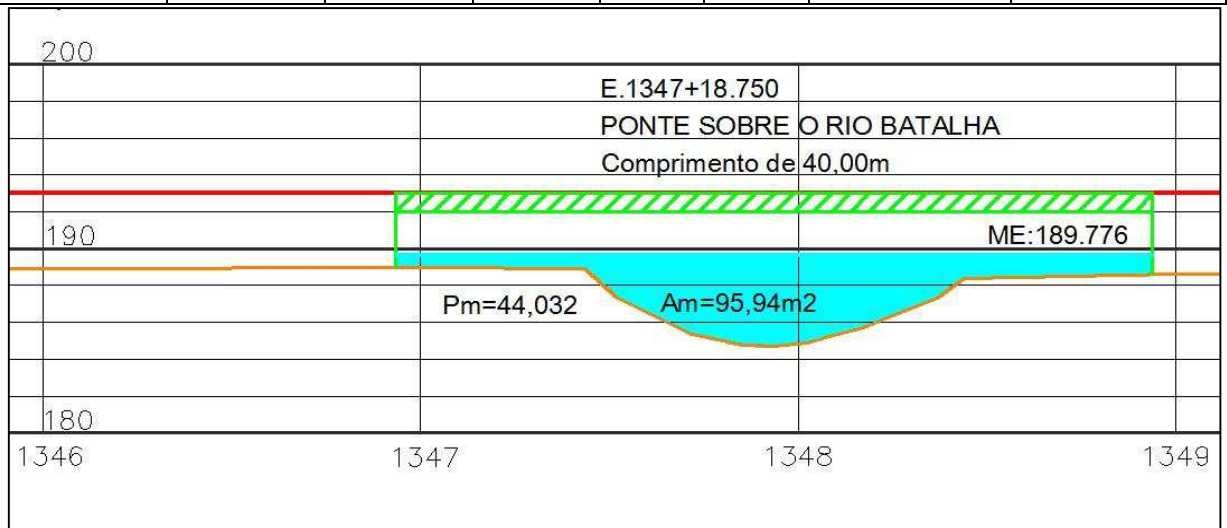
  

190	E.1169+3.500	
	PONTE Estaca 1169	
	Comprimento de 30,00m	
		
	ME:181.793	
180	Pm=34,177	Am=60,61m2
170		
1168	1169	1170

Fonte: SINFRA (2017)

### ANEXO J - VAZÃO DE PROJETO DA OAE – BACIA Nº 40

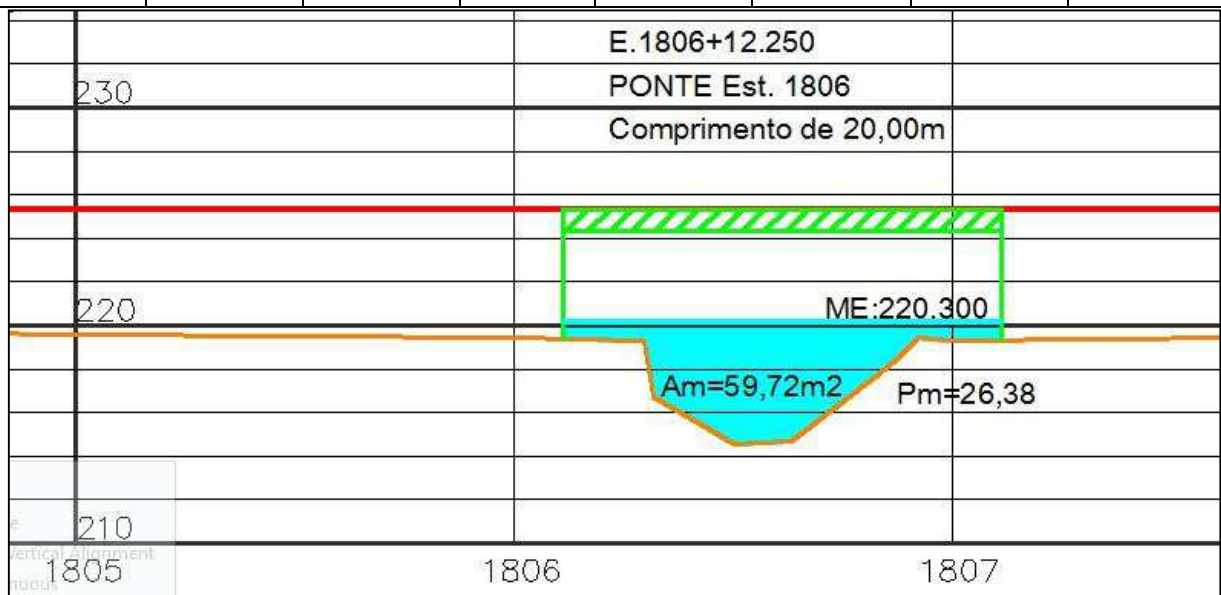
Decliv	1,942%					Q100	279,36
Cota	H	Am	Pm	Rh	n	V (m/s)	Q (m3/s)
184,713	0						
185,213	0,50	2,10	6,65	0,32	0,08	0,81	1,69
185,713	1,00	6,23	9,99	0,62	0,08	1,27	7,92
186,213	1,50	11,69	12,46	0,94	0,08	1,67	19,53
186,713	2,00	18,23	14,88	1,23	0,08	1,99	36,36
187,213	2,50	25,87	17,31	1,49	0,08	2,28	58,91
187,713	3,00	34,49	19,13	1,80	0,08	2,58	89,02
188,213	3,50	43,74	20,71	2,11	0,08	2,87	125,46
188,713	4,00	55,81	31,84	1,75	0,08	2,53	141,32
189,213	4,50	73,39	42,91	1,71	0,08	2,49	182,83
189,713	5,00	93,43	43,91	2,13	0,08	2,88	269,27
189,776	5,06	95,94	44,03	2,18	0,08	2,93	280,88
189,838	5,13	98,45	44,16	2,23	0,08	2,97	292,67
189,963	5,25	103,46	44,41	2,33	0,08	3,06	316,72
190,213	5,50	113,48	44,91	2,53	0,08	3,23	366,76
190,713	6,00	133,53	45,91	2,91	0,08	3,55	473,98



Fonte: SINFRA (2017)

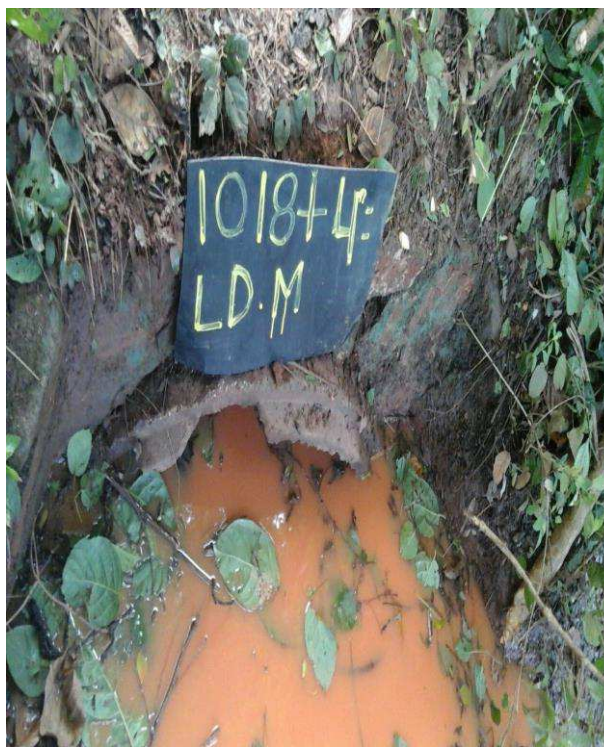


**ANEXO K - VAZÃO DE PROJETO DA OAE – BACIA Nº 54**

Decliv	0,604%					Q100	159,91
Cota	H	Am	Pm	Rh	n	V (m/s)	Q (m3/s)
214,535	-						
216,035	1,50	6,82	7,75	0,88	0,050	1,43	9,74
216,535	2,00	10,62	9,53	1,11	0,050	1,67	17,74
217,035	2,50	15,08	11,04	1,37	0,050	1,91	28,88
217,535	3,00	19,94	12,36	1,61	0,050	2,14	42,65
218,035	3,50	25,16	13,68	1,84	0,050	2,33	58,72
218,535	4,00	30,74	14,97	2,05	0,050	2,51	77,20
219,035	4,50	36,64	16,19	2,26	0,050	2,68	98,19
219,535	5,00	44,43	24,85	1,79	0,050	2,29	101,72
220,035	5,50	54,42	25,85	2,11	0,050	2,55	138,93
220,285	5,75	59,41	26,35	2,25	0,050	2,67	158,79
<b>220,3006</b>	<b>5,77</b>	<b>59,72</b>	<b>26,38</b>	<b>2,26</b>	<b>0,050</b>	<b>2,68</b>	<b>160,06</b>
220,3163	5,78	60,04	26,41	2,27	0,050	2,69	161,33
220,3475	5,81	60,66	26,47	2,29	0,050	2,70	163,87
220,41	5,88	61,91	26,60	2,33	0,050	2,73	169,00
220,535	6,00	64,41	26,85	2,40	0,050	2,79	179,40
221,035	6,50	74,40	27,85	2,67	0,050	2,99	222,64
221,535	7,00	94,38	29,85	3,16	0,050	3,35	316,01
222,035	7,50	94,38	29,85	3,16	0,050	3,35	316,01
222,535	8,00	104,37	30,85	3,38	0,050	3,50	365,59






Fonte: SINFRÁ (2017)

## ANEXO L – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 37

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
37	1018+4.00	BSTC Ø1.00m	0°	LD	11.30
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
		X	P	P	R
Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES:					
BSTC Ø 1.00m EXISTENTE					
BUEIRO COMPLETAMENTE ATERRADO					
ESTRUTURA DA BOCA ENCONTRASSE COM FISSURA					
		CADASTRO DE OAC / OAE			QD. - 4.3.16




Fonte: SINFRA (2017)

**ANEXO M – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 38**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
38	1044+0.00	BSTC Ø 1.00m	0°	LE	16.00
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
		X	R	P	P
<b>Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo</b>					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LE)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE BUEIRO COMPLETAMENTE ATERRADO ESTRUTURA DA BOCA ENCONTRASSE COM FISSURA					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.17</b>




Fonte: SINFRA (2017)

## ANEXO N – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 39

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
39	1071+17.50	BSTC Ø1.00m	0º	LD	12.00
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO				B OCAS	
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE E OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
		X	P	P	P
<b>Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo</b>					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE BUEIRO ATERRADO ESTRUTURA DA BOCA ENCONTRASSE COM FISSURA					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.18</b>

Fonte: SINFRA (2017)

**ANEXO O – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 40**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
40	1098+18.00	BSTC Ø 1.00m	0°	LD	16.00
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE E OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
	X		R	P	R
<b>Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo</b>					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE BUEIRO ATERRADO ESTRUTURA DA BOCA DESTRUÍDA					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.19</b>

Fonte: SINFRA (2017)


**ANEXO P – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N° 42**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
N°	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
42	1169+3.50	PONTE	0°	LD	13.00 x 4.50
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
<b>Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo</b>					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES:					
PONTE 13.00 X 4.50m RIACHO (PONTE DE MADEIRA)					
PONTE 30.00m SUBSTITUIR					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.20</b>

Fonte: SINFRA (2017)



**ANEXO Q – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 43**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
43	1239+8.00	BSTC Ø1.00m	0°	LE	14.60
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
	X		B	R	B
<b>Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo</b>					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LE)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LD)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE ESTRUTURA DA BOCA DESTRUÍDA					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.21</b>


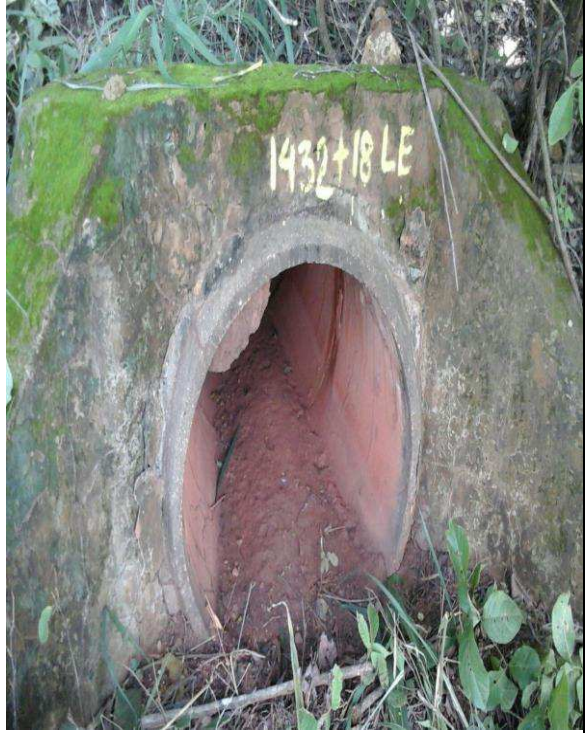

Fonte: SINFRA (2017)

**ANEXO R – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 45**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
45	1347+18.75	PONTE	0º	LD	20.10 x 4.00
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES:					
PONTE 20.10 x 4.00 m RIO BATALHA (PONTE DE MADEIRA)					
PONTE 40.00m SUBSTITUIR					
 MAIA MELO ENGENHARIA		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.22</b>


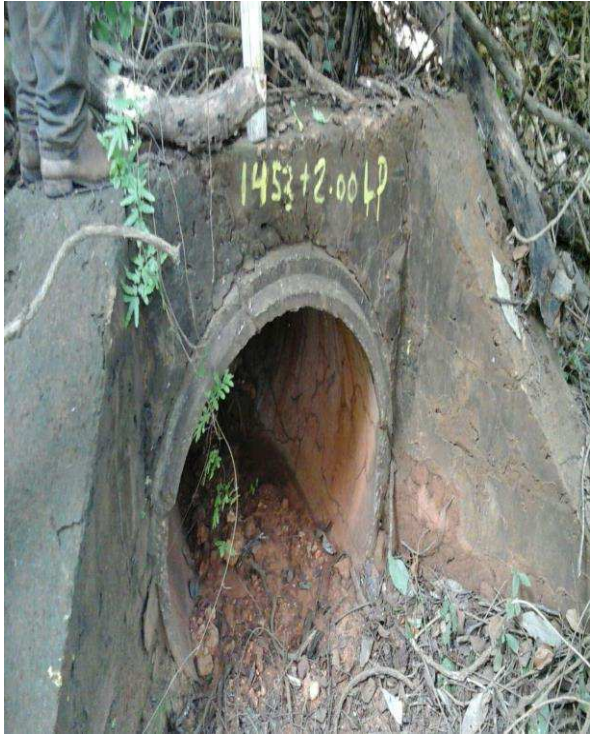

Fonte: SINFRA (2017)

## ANEXO S – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 50

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
50	1432+18.00	BSTC Ø 1.00m	0º	LD	15.70
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BO CAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
	X		R	B	P
Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE ESTRUTURA BOCA DESTRUÍDA					
		CADASTRO DE OAC / OAE			QD. - 4.3.23




Fonte: SINFRA (2017)

**ANEXO T – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 51**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
51	1453+2.00	BSTC Ø 1.00m	0°	LE	13.80
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
		X	R	P	R
Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LE)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LD)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE ESTRUTURA BOCA DESTRUÍDA					
 MAIA MELO ENGENHARIA		CADASTRO DE OAC / OAE			QD. - 4.3.24




Fonte: SINFRA (2017)

**ANEXO U – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 52**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
52	1489+18.00	BSTC Ø 1.00m	0°	LE	16.40
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
		X	P	R	P
Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LE)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LD)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE ESTRUTURA BOCA DESTRUÍDA					
 MAIA MELO ENGENHARIA		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>		<b>QD. - 4.3.25</b>	

Fonte: SINFRA (2017)

## ANEXO V – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 54

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
54	1543+0.00	BSTC Ø 1.00m	0°	LE	17.00
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
	X		B	R	R
Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LE)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LD)	
OBSERVAÇÕES:					
BSTC Ø 1.00m EXISTENTE					
PRECISA DE LIMPEZA					
ESTRUTURA BOCA DESTRUÍDA					
		CADASTRO DE OAC / OAE		QD. - 4.3.26	




Fonte: SINFRA (2017)

**ANEXO W – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 55**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
55	1587+16.22	BSTC Ø 1.00m	6º	LD	15.72
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
X			B	B	B
Convenção: O - ótimo    B - bom    R - regular    P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>		<b>QD. - 4.3.27</b>	

Fonte: SINFRA (2017)




**ANEXO X – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 56**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
56	1611+6.14	BTF Ø 0.80m	7°	LD	13.51
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
		X	P	P	P
<b>Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo</b>					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES:					
BTF Ø 0.80m EXISTENTE					
BUEIRO COMPLETAMENTE ATERRADO					
BDCC 2.00 x 2.00m SUBSTITUIR					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.28</b>

Fonte: SINFRA (2017)






**ANEXO Y – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 57**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
57	1669+3.17	BSTC Ø 1.00m	8°	LD	17.21
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
	X		R	R	P
<b>Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo</b>					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE ESTRUTURA BOCA DESTRUÍDA					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.29</b>




Fonte: SINFRA (2017)

## ANEXO Z – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 58

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
58	1679+14.01	BSTC Ø 1.00m	4º	LD	13.91
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
	X		R	R	R
Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE ESTRUTURA BOCA DESTRUÍDA					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.30</b>




Fonte: SINFRA (2017)

## ANEXO AA – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 59

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente:	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
59	1711+18.35	PONTE	0º	LD	5.70 x 4.00
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES:					
PONTE 5.70 x 4.00m RIACHO (PONTE DE MADEIRA)					
BTCC 2.50 x 2.50m SUBSTITUIR					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.31</b>


Fonte: SINFRA (2017)

**ANEXO AB – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N° 60**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13Km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
N°	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
60	1725+0.80	BSTC Ø 1.00m	16°	LD	18.93
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
		X	P	R	P
<b>Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo</b>					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE ESTRUTURA BOCA DESTRUÍDA					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.32</b>




Fonte: SINFRA (2017)

## ANEXO AC – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 62

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13Km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
62	1758+18.00	BSTC Ø 1.00m	0°	LD	14.40
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
	X		R	R	R
Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE					
		CADASTRO DE OAC / OAE		QD. - 4.3.33	

Fonte: SINFRA (2017)

**ANEXO AD – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N° 63**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13Km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
N°	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
63	1773+11.00	BSTC Ø 1.00m	0°	LD	23.60
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO				BOCAS	
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
		X	R	R	R
Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE BUEIRO COMPLETAMENTE ATERRADO					
 MAIA MELO ENGENHARIA		CADASTRO DE OAC / OAE			QD. - 4.3.34




Fonte: SINFRA (2017)

**ANEXO AE – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO N° 64**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13Km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
N°	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
64	1806+12.25	PONTE	0°	LD	12.50 x 4.50
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
<b>Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo</b>					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES:					
PONTE 12.50 x 4.50 m RIACHO (PONTE DE MADEIRA)					
PONTE 20.00m SUBSTITUIR					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.35</b>

Fonte: SINFRA (2017)




## ANEXO AF – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 65

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
65	1840+8.20	PONTE	0º	LD	6.40 x 4.00
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
<b>Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo</b>					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES:					
PONTE 6.40 x 4.00 m RIACHO (PONTE DE MADEIRA)					
PONTE 20.00m SUBSTITUIR					
		<b>CADASTRO DE OAC / OAE</b>			<b>QD. - 4.3.36</b>

Fonte: SINFRA (2017)






## ANEXO AG – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 66

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
66	1846+8.60	BDTC Ø 1.00m	0º	LD	15.70
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
	X		R	R	R
Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES: BSTC Ø 1.00m EXISTENTE PRECISA DE LIMPEZA ESTRUTURA BOCA DESTRUÍDA					
		CADASTRO DE OAC / OAE			QD. - 4.3.37




Fonte: SINFRA (2017)

**ANEXO AH – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 69**

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40,13Km				mai/17
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
69	1934+0.68	BDTC Ø 1.00m	1º	LD	16.20
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
	X		B	B	R
<b>Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo</b>					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)		FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)	
OBSERVAÇÕES: BDTC Ø 1.00m EXISTENTE MERECE SANGRADOR NO BARREIRO PRECISA DE LIMPEZA					
		CADASTRO DE OAC / OAE			QD. - 4.3.38

Fonte: SINFRA (2017)

## ANEXO AI – CADASTRAMENTO DO DISPOSITIVO Nº 70

CADASTRO DE OAC / OAE					
MAIA MELO ENGENHARIA LTDA					
Cliente	SINFRA / MA				
Rodovia:	MA-275				
Trecho:	AMARANTE DO MARANHÃO - SÍTIO NOVO				
Extensão:	40.13km	mai/17			
IDENTIFICAÇÃO DA OBRA					
Nº	LOCALIZAÇÃO	TIPO	ESCONSIDADE	MONTANTE	COMPRIMENTO
70	1967+16.74	BDTC Ø 1.00m	3º	LD	15.24
CONDIÇÕES DA OBRA					
CORPO			BOCAS		
NÃO OBSTRUÍDO	PARCIALMENTE OBSTRUÍDO	OBSTRUÍDO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	LADO ESQUERDO	LADO DIREITO
		X	P	P	P
Convenção: O - ótimo B - bom R - regular P - péssimo					
DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA					
					
FOTO 1:	Boca de Montante (LD)	FOTO 2:	Boca de Jusante (LE)		
OBSERVAÇÕES: BDTC Ø 1.00m EXISTENTE BUEIRO COMPLETAMENTE ATERRADO					
		CADASTRO DE OAC / OAE			QD. - 4.3.39

Fonte: SINFRA (2017)



**ANEXO AK – VAZÃO, VELOCIDADE E DECLIVIDADE CRÍTICA DE BUEIROS TUBULARES DE CONCRETO TRABALHANDO COMO CANAL**

TIPO	DIÂMETRO (m)	ÁREA MOLHADA CRÍTICA (m <sup>2</sup> )	VAZÃO CRÍTICA (m <sup>3</sup> /s)	VELOCIDADE CRÍTICA (m/s)	DECLIVIDADE CRÍTICA (%)
BSTC	0,60	0,22	0,43	1,98	0,88
BSTC	0,80	0,39	0,88	2,29	0,80
BSTC	1,00	0,60	1,53	2,56	0,74
BSTC	1,20	0,87	2,42	2,80	0,70
BSTC	1,50	1,35	4,22	3,14	0,65
BDTC	1,00	1,20	3,07	2,56	0,74
BDTC	1,20	1,73	4,84	2,80	0,70
BDTC	1,50	2,71	8,45	3,14	0,65
BTTC	1,00	1,81	4,60	2,56	0,74
BTTC	1,20	2,60	7,26	2,80	0,70
BTTC	1,50	4,06	12,67	3,14	0,65

Fonte: DNIT (2006)

**ANEXO AL – VAZÃO, VELOCIDADE E DECLIVIDADE CRÍTICA DE BUEIROS CELULARES TRABALHANDO COMO CANAL**

TIPO	BASE X ALTURA (mxm)	ÁREA MOLHADA CRÍTICA (m <sup>2</sup> )	VAZÃO CRÍTICA (m <sup>3</sup> /s)	VELOCIDADE CRÍTICA (m/s)	DECLIVIDADE CRÍTICA (%)
BSCC	1,0 x 1,0	0,67	1,71	2,56	0,78
BSCC	1,5 x 1,5	1,50	4,70	3,14	0,68
BSCC	2,0 x 1,5	2,00	6,26	3,14	0,56
BSCC	2,0 x 2,0	2,67	9,64	3,62	0,62
BSCC	2,0 x 2,5	3,33	13,48	4,05	0,69
BSCC	2,0 x 3,0	4,00	17,72	4,43	0,76
BSCC	2,5 x 2,5	4,17	16,85	4,05	0,58
BSCC	3,0 x 1,5	3,00	9,40	3,14	0,44
BSCC	3,0 x 2,0	4,00	14,47	3,62	0,47
BSCC	3,0 x 2,5	5,00	20,22	4,05	0,51
BSCC	3,0 x 3,0	6,00	26,58	4,43	0,54
BDCC	2,0 x 1,5	4,00	12,53	3,14	0,56
BDCC	2,0 x 2,0	5,33	19,29	3,62	0,62
BDCC	2,0 x 2,5	6,67	26,96	4,05	0,69
BDCC	2,0 x 3,0	8,00	35,44	4,43	0,76
BDCC	2,5 x 2,5	8,33	33,70	4,05	0,58
BDCC	3,0 x 1,5	6,00	17,79	3,14	0,44
BDCC	3,0 x 2,0	8,00	28,93	3,62	0,47
BDCC	3,0 x 2,5	10,00	40,44	4,05	0,51
BDCC	3,0 x 3,0	12,00	53,16	4,43	0,54
BTCC	2,0 x 2,0	8,00	28,93	3,62	0,62
BTCC	2,0 x 2,5	10,00	40,44	4,05	0,69
BTCC	2,5 x 2,5	12,50	50,55	4,05	0,58
BTCC	3,0 x 2,0	12,00	43,40	3,63	0,47
BTCC	3,0 x 2,5	15,00	60,66	4,05	0,51
BTCC	3,0 x 3,0	18,00	79,73	4,43	0,54

Fonte: DNIT (2006)

**ANEXO AM – VALORES DE IA PARA COEFICIENTES CN**

Curve number	I <sub>a</sub> (in)	Curve number	I <sub>a</sub> (in)
40	3.000	70	0.857
41	2.878	71	0.817
42	2.762	72	0.778
43	2.651	73	0.740
44	2.545	74	0.703
45	2.444	75	0.667
46	2.348	76	0.632
47	2.255	77	0.597
48	2.167	78	0.564
49	2.082	79	0.532
50	2.000	80	0.500
51	1.922	81	0.469
52	1.846	82	0.439
53	1.774	83	0.410
54	1.704	84	0.381
55	1.636	85	0.353
56	1.571	86	0.326
57	1.509	87	0.299
58	1.448	88	0.273
59	1.390	89	0.247
60	1.333	90	0.222
61	1.279	91	0.198
62	1.226	92	0.174
63	1.175	93	0.151
64	1.125	94	0.128
65	1.077	95	0.105
66	1.030	96	0.083
67	0.985	97	0.062
68	0.941	98	0.041
69	0.899		

Fonte: USDA (1986)

**ANEXO AN – FATOR DE AJUSTE PARA ÁREAS DE LAGO E PÂNTANO  
ESPALHADAS POR TODA A BACIA HIDROGRÁFICA**

Percentage of pond and swamp areas	F <sub>p</sub>
0	1.00
0.2	0.97
1.0	0.87
3.0	0.75
5.0	0.72

Fonte: USDA (1986)