

4.4. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

4.4.1 Introdução

O Estudo Hidrológico foi desenvolvido objetivando a caracterização hidroclimatológica da região onde se desenvolve o trecho em projeto e o fornecimento de elementos subsidiários ao projeto de drenagem para fins do dimensionamento das obras de arte correntes e especiais, e dos dispositivos de drenagem superficial, como também de outros elementos que se fizerem necessários.

Para este fim, foram coletados e analisados os dados disponíveis em órgãos da administração pública estadual e federal, sendo também procedidas observações de campo e pesquisas de informações com habitantes locais sobre o comportamento das obras existentes.

4.4.2 Coleta de Dados e Informações e Documentação Utilizada

Foram observados dados disponibilizados na SEPLAG, CODISE, IBGE, ANA e SUDENE, como também feitas consultas em outras fontes referentes ao assunto.

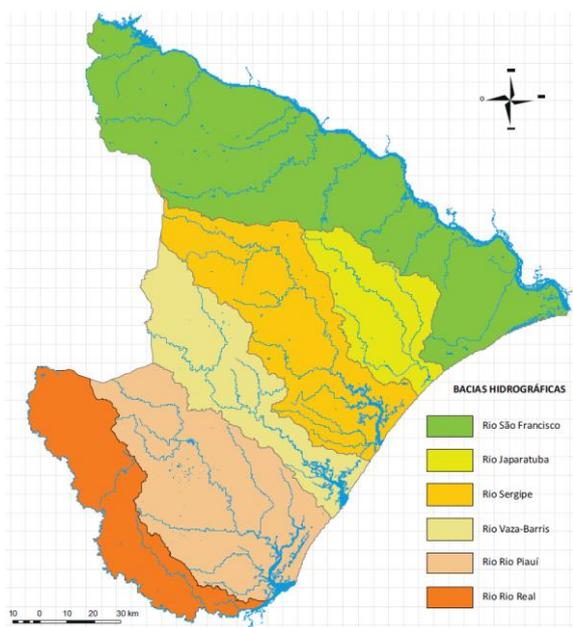
4.4.2.1 Documentação Utilizada

Foram obtidos e utilizados:

- Dados pluviométricos dos postos nos municípios de Itaporanga e São Cristóvão;
- Levantamento topográfico da faixa do projeto;
- Dados climatológicos da região estudada.

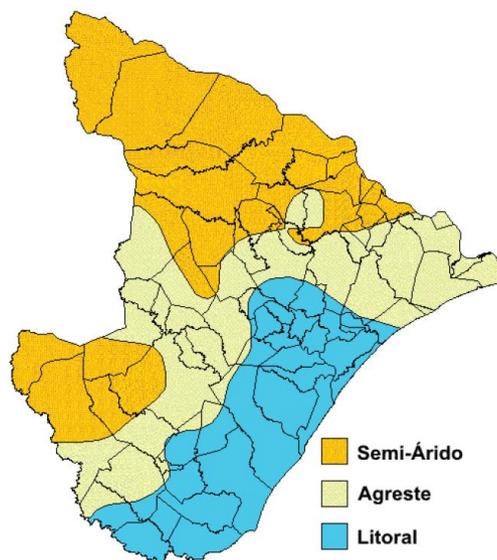
4.4.2.2 Caracterização Climática

A Região do Médio Sertão Sergipano encontra-se no território Aracaju, área composta por nove municípios: Aracaju, Barra dos Coqueiros, Itaporanga d'Ajuda, Laranjeiras, Maruim, Nossa Senhora do Socorro, Riachuelo, Santo Amaro das Brotas e São Cristóvão. Abrange uma área de 2.187,35 km² e uma população de 930.245 habitantes (IBGE, Censo 2010), representando 9,98% da área do Estado e 44,98% da população. O Território possui uma densidade demográfica de 425,28 hab./km² e um IDH Municipal que vai de 0,638 a 0,794 (PNUD, 2000). Em 2009 o Produto Interno Bruto do Território somou R\$ 10,6 bilhões, representando 53,8% do PIB estadual. Banhada principalmente pela bacia do Rio Japarutuba, seus municípios atingem uma área de aproximadamente 1582,50km².

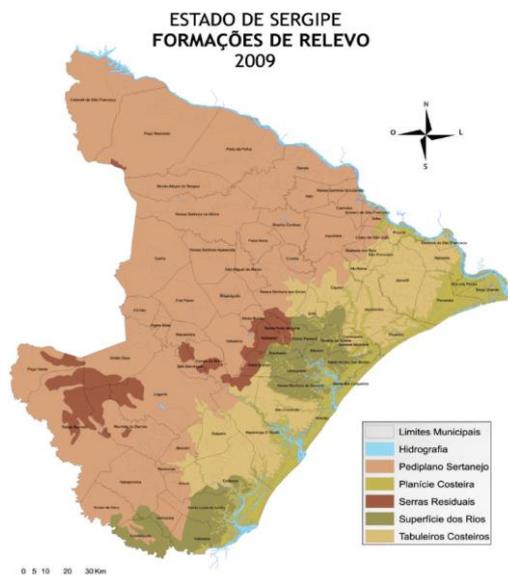


Fonte: Sergipe em Dados (SEPLAN)

Tipos Climáticos do Estado de Sergipe



Fonte: Centro de Meteorologia de Sergipe – CEMESE/SRH/SEMARH



Fonte: Sergipe em Dados (SEPLAN)



Hidrografia do Município de São Cristóvão

Fonte: SEMARH/SRH (Atlas Digital sobre Recursos Hídricos)

- Clima – o tipo climático da região é classificado no tipo AS, segundo a classificação de Köppen, caracterizando-se como megatérmico úmido e sub-úmido, com pequena ou nenhuma deficiência de água, que corresponde a um clima tropical chuvoso com verão seco;
- Temperatura – a temperatura média anual é de 25,2°C, sendo de março a agosto o período chuvoso da região;
- Ventos – a região onde o trecho está situado, próxima ao oceano Atlântico, e a topografia litorânea, permitem a predominância dos ventos alísios de sudeste;
- Regime pluviométrico – a precipitação média anual medida em São Cristóvão chegou a 1504mm, sendo o semestre de março a agosto o mais chuvoso e o de setembro a fevereiro o mais seco. Já em Itaporanga D’ajuda, a média anual alcançou 1509mm, com valor médio mensal em torno de 265mm em maio e mínimo de 32mm em Dezembro. O período chuvoso vai de Abril a Agosto;
- Relevo – o relevo é ondulado, com vales bem definidos e talwegues em quilha ou arredondados. A geomorfologia tem relevo dissecado dos tipos tabular, colinas e cristas;
- Vegetação – a vegetação nativa é constituída da mata-atlântica, reservada em poucos pontos do trajeto atual, capoeira com sítios, chácaras e pastagem.
- Hidrografia – a faixa onde se desenvolve o projeto situa-se na bacia do rio Vaza Barris, sendo atravessada pelos afluentes Rio Comprido e Miranda, e algumas pequenas várzeas.

4.4.2.3 Dados Pluviométricos

Foram obtidos dados pluviométricos da SEPLANTEC para os postos São Cristóvão e Itaporanga D’ajuda referentes ao período de 1970 a 2003. Observando que o posto Itaporanga

D'ajuda apresenta maiores médias mensais nos meses mais chuvosos, optou-se pela adoção dos dados obtidos para aquele posto. Os postos verificados foram:

Nome do posto	Latitude	Longitude	Altura
SÃO CRISTOVÃO	11°01'	37°12'	20m
ITAPORANGA D'AJUDA	10°58'	37°18'	10m

As séries históricas das precipitações para cada posto considerado estão expostas nos quadros 1 e 2 mostrados adiante.

Os gráficos contendo os histogramas com as médias mensais dos totais precipitados e máximas diárias, são apresentados a seguir.

4.4.3 Estabelecimento do regime pluviométrico

Para a definição do regime de chuvas na região onde se desenvolve o projeto, foi utilizado o método estatístico de Gumbel apoiado na fórmula geral de Vem Te Chow. Neste método, tendo-se a série histórica de precipitações mensais no posto estudado, é procedida a elaboração da análise estatística das máximas precipitações diárias, ano a ano durante todo o período de observação.

As equações utilizadas são:

$$\bar{P} = \frac{\sum^m P_i}{m} \quad \text{e} \quad \tau = \sqrt{\frac{(P_i - \bar{P})^2}{m-1}}, \quad \text{onde:}$$

\bar{P} = precipitação média diária, durante o período observado, em mm;

P_i = máxima precipitação diária anual, em mm;

m = quantidade das máximas precipitações diárias anuais considerada na análise.

τ = desvio padrão das máximas precipitações diárias anuais.

A frequência com que cada uma das chuvas poderá ocorrer é determinada pela equação:

$$F = \frac{N}{m+1}, \text{ sendo:}$$

F = frequência de ocorrência de cada chuva, em percentual;

N = número de ordem de cada precipitação máxima diária anual, dispostas em ordem decrescente de valores;

m = quantidade das máximas precipitações diárias anuais consideradas na análise;

A probabilidade de ocorrência de cada uma das máximas precipitações diárias anuais é determinada pela equação:

$$Tr = \frac{i}{F}, \text{ onde:}$$

Tr = probabilidade de ocorrência de cada uma das máximas precipitações diárias anuais;

F = frequência de ocorrência de cada uma das máximas precipitações diárias anuais, em decimal.

4.4.3.1 Determinação das precipitações máximas de 1 dia de duração

Para a determinação das precipitações para chuvas de 1 dia de duração, utiliza-se a fórmula de Ven Te Chow:

$$P = \bar{P} + K\tau, \text{ onde:}$$

P = precipitação máxima para chuvas de 1 dia de duração, em mm;

\bar{P} = precipitação média diária durante o período observado;

τ = desvio padrão das máximas precipitações diárias anuais;

K = fator de frequência, obtido na tabela gumbel, em função do período de observação e do tempo de recorrência.

PRECIPITAÇÕES EXTREMAS ($P = \bar{P} + K\tau$)					
Tr (anos)	5	10	25	50	100
K	0,888	1,575	2,444	3,088	3,729
P (mm)	140,7	163,2	191,7	212,9	233,9

4.4.4 Precipitação – Duração – Frequência

Para a obtenção das retas de Precipitação-Duração-Frequência, recorreu-se ao método das isozonas por não se dispor de estações pluviográficas na região. Com este método, é possível correlacionar a chuva diária com as de 24 horas, 1 hora e de 6 minutos, obtendo-se assim os pontos suficientes para o traçado das retas.

Verifica-se no quadro de isozonas de igual relação, que a região estudada pertence à zona “B”, sendo então retirados do mesmo os valores a serem multiplicados pelas alturas de chuvas de 24 horas para a obtenção das correspondências com 1 hora e 6 minutos. Para corresponder a chuva de 1 dia com a de 24 horas, é bastante multiplicar a primeira pelo fator 1,095, para qualquer tempo de recorrência.

Tempo de Recorrência (Tr)							
Zona	1h /24h					6 min e 24 hr	
	5	10	25	50	100	5-50	100
B	38,1	37,8	37,3	36,9	36,6	8,4	7,5

4.4.5 Intensidade – duração – frequência

As curvas de Intensidade-duração-frequência foram obtidas a partir dos valores das precipitações encontrados, divididos pelos seus tempos de duração.

As precipitações obtidas no processo foram:

TR anos	ALTURA DA PRECIPITAÇÃO (mm)								
	0,1h	0,25h	0,5h	1h	2h	4h	8h	14h	24h
05	12,552	31,866	46,476	61,087	75,697	90,308	104,918	116,714	128,075
10	15,724	39,920	58,223	76,526	94,829	113,133	131,436	146,213	160,446
15	17,495	44,414	64,778	85,142	105,505	125,869	146,233	162,674	178,509
20	18,617	47,265	68,937	90,609	112,280	133,952	155,624	173,121	189,973
25	19,736	50,106	73,080	96,053	119,027	142,001	164,974	183,522	201,387
50	22,710	57,656	84,092	110,528	136,964	163,399	189,835	211,178	231,735
100	23,046	62,977	93,184	123,391	153,597	183,804	214,011	238,399	261,888

Com estes valores, desenham-se as retas de precipitação-duração-frequência para a localidade escolhida.

4.4.5 Intensidade – duração – frequência

As curvas de Intensidade-Duração-Frequência para o posto escolhido foram obtidas a partir dos valores das precipitações encontrados, divididos pelos seus respectivos tempos de duração.

TR anos	INTENSIDADE DA PRECIPITAÇÃO (mm/h)								
	0,1h	0,25h	0,5h	1h	2h	4h	8h	14h	24h
05	125,516	127,462	92,952	61,087	37,849	22,577	13,115	8,337	5,337
10	157,242	159,679	116,446	76,526	47,415	28,283	16,430	10,444	6,685
15	174,946	177,656	129,556	85,142	52,753	31,467	18,279	11,620	7,438
20	186,167	189,061	137,874	90,609	56,140	33,488	19,453	12,366	7,916
25	197,362	200,423	146,159	96,053	59,514	35,500	20,622	13,109	8,391
50	227,097	230,624	168,184	110,528	68,482	40,850	23,729	15,084	9,656
100	230,456	251,908	186,367	123,391	76,799	45,951	26,751	17,029	10,912

4.4.6 Tempo de concentração

A determinação do tempo de concentração para a drenagem superficial de rodovias e áreas urbanas é feita com a expressão:

$$t_c = t_e + t_p, \text{ sendo:}$$

t_c = tempo de concentração, em minutos;

t_e = tempo de entrada do deflúvio no ponto mais afastado no conduto, estimado de 5 a 10 minutos;

t_p = tempo de percurso no conduto até a seção estudada, função da distância e da velocidade de escoamento, em minutos.

Para as travessias de talvegues, o tempo de concentração das bacias hidrográficas foi determinado através da fórmula do “Califórnia Highway and Public Road”, com a expressão:

$$T_c = 0,95(L^3 / H)^{0,385}, \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em horas;

L = extensão do talvegue, em quilômetros;

H = desnível entre o ponto mais afastado da bacia e a seção considerada, em metros.

4.4.7 Descargas de projeto

Para a determinação das descargas de projeto foram obedecidos os seguintes critérios de acordo com as áreas de contribuição:

a) para $a \leq 1\text{km}^2$

É utilizado o Método Racional, com a expressão:

$$Q = ((C \times I \times A) / 360), \text{ sendo:}$$

Q = descarga de projeto, em m^3/s ;

C = coeficiente de escoamento superficial, tabelado de acordo com a natureza da superfície;

I = intensidade da chuva, em mm/h ;

A = área da bacia contribuinte, em ha ;

b) para $1\text{km}^2 < A \leq 5\text{km}^2$

Utiliza-se o Método Racional Modificado, expresso por:

$$Q = ((C \times I \times A) / 360) \times \tau$$

Q = descarga de projeto, em m^3/s ;

C = coeficiente de escoamento superficial;

I = intensidade da chuva, em mm/h ;

A = área da bacia, em km^2 ;

τ = coeficiente, função da declividade do talvegue, com a expressão $\tau = \frac{1}{\sqrt[n]{100xA}}$, onde:

$n = 4$ para $i < 0,5\%$

$n = 5$ para $0,5\% < i < 1,0\%$

$n = 6$ para $i > 1,0\%$

4.4.8 Os tempos de recorrência adotados a partir deste estudo foram:

- Drenagem superficial : $Tr=25$ anos;
- Obras de arte correntes : $Tr=25$ e 50 anos;

4.4.7 Descargas de projeto

Para a determinação das descargas de projeto foram obedecidos os seguintes critérios de acordo com as áreas de contribuição:

a) para $a \leq 1km^2$

É utilizado o Método Racional, com a expressão:

$Q = ((C \times I \times A) / 360) \times \eta$, sendo:

Q = descarga de projeto, em m^3/sg ;

C = coeficiente de escoamento superficial, tabelado de acordo com a natureza da superfície, obtido no quadro 11;

I = intensidade da chuva, em mm/h ;

A = área da bacia contribuinte, em ha ;

η = coeficiente de distribuição ($\eta = \bar{A}^{-0,15}$)

b) para $1\text{km}^2 < A \leq 5\text{km}^2$

Utiliza-se o Método Racional Modificado, expresso por:

$$Q = ((C \times I \times A) / 360) \times \tau$$

Q = descarga de projeto, em m^3/sg ;

C = coeficiente de escoamento superficial;

I = intensidade da chuva, em mm/h ;

A = área da bacia, em km^2 ;

τ = coeficiente, função da declividade do talvegue, com a expressão $\tau = \frac{1}{\sqrt[n]{100xA}}$,

onde:

$n = 4$ para $i < 0,5\%$

$n = 5$ para $0,5\% < i < 1,0\%$

$n = 6$ para $i > 1,0\%$

c) Para $25 \text{ km}^2 > A > 5\text{km}^2$

É utilizado o método do hidrograma unitário triangular; cuja elaboração segue as seguintes etapas:

c1) cálculo do tempo de concentração pela fórmula do “Califórnia Highway and Public Roads”.

c2) determinação dos parâmetros que definem o HUT:

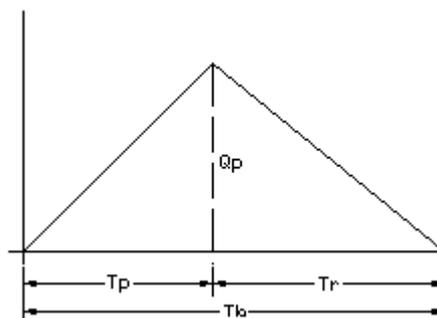
$$\Delta_t = 0,2 T_c$$

$$T_p = 0,7 T_c$$

$$T_r = 1,17 T_c$$

$$T_b = 1,87 T_c$$

$$Q_p = 2,971 \times (\Delta / T_c)$$



T_c = tempo de concentração, em horas;

Δt = intervalo de tempo para o cálculo das ordenadas do hidrograma;

T_p = tempo de pico, em horas;

T_r = tempo de recesso, em horas;

T_b = tempo de base, em horas;

Q_p = vazão de pico, em m^3/sg ;

A = área da bacia, em km^2 .

c.3) cálculo das ordenadas do hidrograma, obtidas por semelhança de triângulos.

c.4) determinação das precipitações referentes aos intervalos de tempo Δt , nas curvas de precipitação – duração – frequência

c.5) determinação dos excessos de chuva, através da expressão:

$$P_e = \frac{(P - 5080/CN + 50,8)^2}{P + 20320/CN - 203,2}, \text{ sendo:}$$

P_e = precipitação efetiva, em mm;

P = precipitação real, em mm;

CN = número de deflúvio, que define o complexo hidrológico solo-vegetação, segundo a classificação do “soil conservation service”, obtido no quadro 12.

c6) cálculo do hidrograma da bacia de contribuição em estudo, através da multiplicação das ordenadas do hidrograma unitário pelo valores dos excessos de chuva.

c7) a descarga de projeto será igual ao maior valor encontrado no hidrograma.

Para as bacias com áreas superiores a $25km^2$, promove-se o ajuste das precipitações pela fórmula:

$$P = P\alpha(1 - 0,1x \log \frac{A}{25}), \text{ onde:}$$

P = precipitações ajustadas, em mm;

P_o = precipitações referentes aos intervalos de tempo considerados, nas curvas de precipitação-duração-frequência, em mm;

A =área da bacia, em km^2 .

4.4.8 Os tempos de recorrência adotados neste estudo foram:

- drenagem superficial: Tr : 5 anos;
- obras de arte correntes: Tr : 10 e 50 anos;
- obras de arte especiais: Tr : 100 anos.