



MEMORIAL DE CÁLCULO
ESTUDO HIDROLÓGICO

PROJETO DE URBANIZAÇÃO DO CÓRREGO BOA ESPERANÇA – ES

CONTRATO Nº 011/2022

Elaboração:



Cachoeiro de Itapemirim-ES

Setembro/2024

Rua Jorge Luiz da Silva, 157, Jardim Itapemirim, Cachoeiro de Itapemirim - ES

(27) 99796-9538 / (28) 99920-7888

al@americalatina.eng.br

CNPJ: 10.568.340/0001-77



IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATANTE

Razão Social: Prefeitura Municipal de Boa Esperança

CNPJ: 18.239.590/0001-75

Endereço: Praça Padre Júlio Maria, nº 40, Centro

IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATADA

Razão Social: América Latina Engenharia Eireli

CNPJ: 10.568.340/0001-77

Endereço: Rua Olegário Fricks, 251 – Centro – Presidente Kennedy/ES

Telefone: (28) 99920-7888

Endereço eletrônico: al@americalatina.eng.br

Responsável Técnico da Contratada: Alessandro Rodrigues Batista



EQUIPE TÉCNICA:

Coordenação do Projeto:

Alessandro Rodrigues Batista, Arquiteto e Urbanista, CAU A-633054.

Responsável Técnico do Projeto:

Vitor Scarpini de Jesus Paier - Engenheiro Civil, CREA-ES 0054380/D.

Apoio Técnico do Projeto:

Murilo Guimarães Pinto - Engenheiro Civil, CREA-RJ 0031907/D.

Marcos Felipe Pinto de Souza, Engenheiro Civil, CREA-ES 0050929/D.

Gabriel Rodrigues Bosio - Engenheiro Civil, CREA-ES 0054146/D.

Cassio Fabre – engenheiro civil, CREA-ES 0049064/D.

Viviane Menegussi – Engenheira Ambiental e Tecnóloga em Gestão Ambiental, CREA-ES 0047704/D.

Marcos de Souza Neves Cardoso - Tecnólogo em Saneamento Básico e Gestão Ambiental.

Ian Pancini dos Santos - Estagiário de Engenharia Civil.

Vitória de Souza Moulin - Estagiária de Engenharia Civil.



Sumário

1. RESUMO EXECUTIVO	5
2. NORMAS E LEGISLAÇÕES ADOTADAS	5
1. MÉTODO DE “I-PAI-WU”	6
2. Resultados obtidos:.....	14
2.1. Delimitação de bacias com as áreas	14
2.2. Determinação das inclinações equivalentes	15
2.3. Tempo crítico/concentração	16
2.4. Intensidade de chuva.....	16
2.5. Fator de fôrma	16
2.6. Coeficiente da bacia (C1)	16
2.7. Coeficiente (C2)	16
2.8. Coeficiente K	17
2.9. Vazão de cheia, base e projeto de cada bacia	18



1. RESUMO EXECUTIVO

Figura 1 - Localização



Fonte: O Autor (2023).

O presente documento trata do projeto referente ao Estudo Hidrológico da obra de urbanização da beira do córrego Boa Esperança- ES, onde será visto as fórmulas e metodologias adotadas nos estudos realizados para a execução da obra.

2. NORMAS E LEGISLAÇÕES ADOTADAS

- DP – H03 – DIRETRIZES DE PROJETO PARA ESTUDOS HIDROLÓGICOS MÉTODO RACIONAL;
- DP – H06 – DIRETRIZES DE PROJETO PARA ESTUDOS HIDROLÓGICOS MÉTODO DE “I-PAI-WU”;



1. MÉTODO DE “I-PAI-WU”

Este método constitui-se num aprimoramento do Método Racional (vide Estudos Hidrológicos — Métodos Racional - DP-H03 da SVP/PMSP) podendo ser aplicado para bacias com áreas de drenagem de até 200 km².

Os fatores adicionais a serem considerados na fórmula Racional referem-se ao armazenamento na bacia: à distribuição da chuva e à forma da bacia. Sua aplicação torna-se adequada na medida em que se exerce um julgamento criterioso das inúmeras variáveis em jogo no desenvolvimento de uma cheia.

A expressão-base para aplicação do método advém no método racional qual seja:

$$Q_c = 0,278 * C * i * A^{0,9} * K \quad (1)$$

Onde:

Q_c = Vazão de cheia [Q]=m³/s;

C = Coeficiente de escoamento superficial;

i = Intensidade da chuva crítica: [i]= mm/h;

A = Área da bacia de contribuição: [A]=km²;

K = Coeficiente de distribuição espacial da chuva.

Os principais fatores intervenientes que deverão ser avaliados em cada bacia, são os seguintes:

- a) Forma área e declividade da bacia hidrográfica;
- b) Intensidade e distribuição da chuva crítica;
- c) Características da superfície da bacia hidrográfica envolvendo:
 - Provável utilização futura dos terrenos;
 - Grau de impermeabilização do solo;



- Existência de depressões ou bacias de acumulação que diminuem os picos de Cheias;
 - Grau de saturação do solo devido a chuvas antecedentes.
- d) Tempo de escoamento superficial (t_s);
- e) Tempo de concentração (t_c);
- f) Tempo de pico (t_p);
- g) O efeito de armazenamento de água na bacia que ocorre em pontos localizados nos leitos de cursos de água ou mesmo em galerias e obras afins, é levado em consideração através de um expoente redutor (n) aplicado sobre o parâmetro área de drenagem da bacia. Adota-se usualmente $n = 0,9$.

No Método Racional admite-se que a chuva crítica, numa dada bacia hidrográfica, tenha uma duração igual ao tempo de concentração. Entretanto, em bacias de forma alongada, no sentido do talvegue, o tempo de concentração poderá ser superior ao tempo de pico. Isto corresponde a dizer que a chuva que cai na parte mais remota da bacia chegará tarde demais à seção estudada para contribuir para a vazão máxima. Assim o efeito da forma da bacia pode ser considerado através do coeficiente de forma ($C1$).

$$C1 = t_p / t_c \quad (2)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração;

t_p = tempo de pico.

O coeficiente de forma também é dado pela expressão:

$$C1 = 4 / (2 + F) \quad (3)$$

Onde (F), é o fator de forma da bacia, que relaciona a forma da bacia com um círculo de mesma área, ou seja, ele mede a taxa de alongamento da bacia.



Assim se uma bacia fosse exatamente circular $F=1$, tal fator pode ser obtido pela expressão:

$$F = \frac{L}{\left(2 \times \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}\right)} \quad (4)$$

Onde:

L = Comprimento do talvegue da bacia em km;

A = Área da Bacia em km².

O coeficiente C2, que é o coeficiente volumétrico de escoamento está relacionado com as perdas na chuva de projeto. Essas perdas são devidas à infiltração no solo, à interceptação pela cobertura vegetal e ao efeito do armazenamento de água superficial em pontos específicos na bacia.

Portanto na aplicação deste método, inicialmente determina-se a chuva crítica, conhecida também como a de projeto. A partir desta e descontando-se as perdas mencionadas, obtém-se a chuva efetiva.

A parcela da chuva crítica que se infiltra no solo depende do grau de impermeabilização do mesmo. O grau de impermeabilização do solo é classificado a partir do conhecimento do uso do solo, do grau de urbanização, da cobertura vegetal e do tipo de solo, conforme é indicado na Tabela 3. 1 a seguir:



Tabela 3.1

GRAU DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	COBERTURA OU TIPO DE SOLO	USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO
BAIXO	<ul style="list-style-type: none">- Com vegetação rala e/ou esparsa;- Solo arenoso seco;- Terrenos cultivados.	<ul style="list-style-type: none">- Zonas verdes não urbanizadas.
MÉDIO	<ul style="list-style-type: none">- Terrenos com manto fino de material poroso;- Solos com pouca vegetação;- Gramados amplos;- Declividades médias.	<ul style="list-style-type: none">- Zona residencial com lotes amplos (maior que 1000 m²)- Zona residencial rarefeita.
ALTO	<ul style="list-style-type: none">- Terrenos pavimentados;- Solos argilosos;- Terrenos rochosos estéreis ondulados;- Vegetação quase inexistente.	<ul style="list-style-type: none">- Zona residencial com lotes pequenos (100 a 1000 m²)

Fonte: DH-H6 diretrizes de projeto para estudos hidrológicos método de "I-PAI-WU"



O coeficiente C2 deverá ser obtido pela ponderação dos coeficientes das áreas parciais ou sub-bacias, coeficientes estes que são classificados pelo grau de impermeabilização e que estão especificados na Tabela 3.2

Tabela 3.2 – Coeficientes volumétricos de escoamento (c2)

GRAU DE IMPERMEABILIZAÇÃO O DA SUPERFÍCIE	COEFICIENTE VOLUMÉTRICO DE ESCOAMENTO
Baixo	0,30
Médio	0,50
Alto	0,80

Fonte: DH-H6 diretrizes de projeto para estudos hidrológicos método de “I-PAI-WU”

Sempre que a área da bacia em estudo apresentar diferentes usos do solo, costuma-se considerar um valor médio do coeficiente de escoamento (C2) calculado através da equação:

$$C2 = (\Sigma C2_i A_i) / A \quad (5)$$

Onde:

A_i = área correspondente à determinada ocupação de solo identificado na bacia de estudo;

A = Área total da bacia;

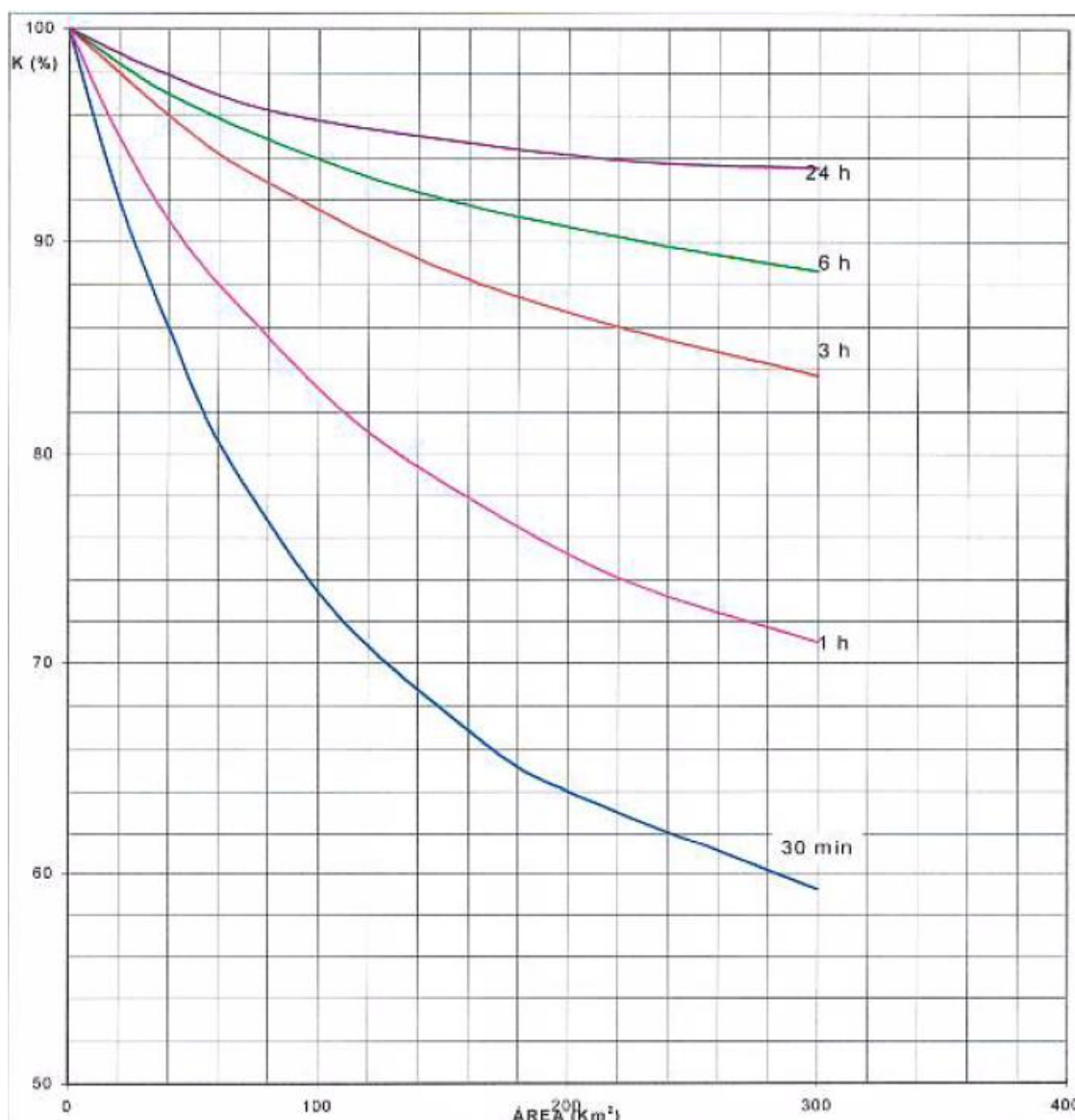
O coeficiente denominado como fator da bacia (C) correlaciona o coeficiente C2 de escoamento superficial com o fator C1 do fator de forma da bacia.



$$C = \frac{2}{1+F} * \frac{C2}{C1} \quad (6)$$

Outro fator a ser considerado é a desigualdade de distribuição das chuvas na bacia que no método adotado é estimado pela aplicação será de um coeficiente redutor denominado fator K de distribuição de chuvas obtido da Figura 3.2.

Figura 3.2 – Coeficiente de distribuição espacial da chuva (K)



Fonte: DH-H6 diretrizes de projeto para estudos hidrológicos método de “I-PAI-WU”



A determinação da intensidade de precipitação se faz de modo análogo ao utilizado no Método Racional. Foi considerado para o cálculo da intensidade pluviométrica o tempo de retorno de 50 anos com a duração da chuva igual ao tempo de concentração de cada bacia em estudo, os dados pluviométricos para a equação foram obtidos por interpolação a partir do software Plúvio.

Parâmetros de Cálculo – Intensidade Pluviométrica

Plúvio 2.1 - Estado: Espírito Santo

Mapa do Brasil Relatório Ajuda

Estados : Espírito Santo

Estações :

- Alegre
- Alto Rio Novo (Pancas)
- Aracê (Domingos Martins)
- Aracruz
- Boa Esperança**
- Caldeirão (Santa Teresa)
- Cedrolândia (Nova Venécia)
- Colatina
- Córrego da Boa Esperança (Nova Venécia)
- Econorrana

Localidades :

- Acioli (João Neiva)
- Afonso Cláudio
- Aghá (Piúma)
- Água Doce do Norte
- Água Branca
- Airituba (São José do Calçado)
- Alegre
- Alfredo Chaves
- Alto Calçado (São José do Calçado)
- Alto Caldeirão (Santa Teresa)

PINTO (1999)

Relatório Ajuda

Cancelar

Fechar

Latitude : 18°31'00" Longitude : 40°19'00" Calcular

Parâmetros da Equação IDF

K:	596.38	a:	0.23
b:	8.534	c:	0.67

Fonte: O Autor, 2023.

Equação de intensidade:

$$i_m = \frac{KT^a}{(t+b)^c} \quad (7)$$



Com esses parâmetros obtém-se o hidrograma relativo à chuva de projeto. Este hidrograma foi admitido como triangular, determinando-se então o volume total de escoamento superficial e a vazão de cheia.

A inclinação equivalente leva em consideração o tempo de percurso da água ao longo da extensão do perfil longitudinal, considerando que o perfil tem declividade constante igual à uma declividade equivalente. Pode ser determinado a partir da equação abaixo:

$$S = \left[\frac{\sum L}{\frac{L_1}{\sqrt{J_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{J_2}} + \dots + \frac{L_N}{\sqrt{J_N}}} \right]^2 \quad (8)$$

Onde:

[L] = comprimento total do talvegue do rio em km;

[S] = m/m, para transformar em m/km, deve-se multiplicar por 1000.

[LN] = comprimento do segmento em estudo (recomenda-se adotar trechos entre curvas de nível subsequentes);

[J] = inclinação do trecho em análise.

O tempo de concentração é um fator determinante para se obter a intensidade pluviométrica a ser utilizada na bacia em estudo.

O método mais adequado para se estimar esse valor foi o método de Kirpich.

$$tc = 57 \times \frac{L^{2,385}}{I} \quad (9)$$

Onde:

tc = tempo de concentração. [tc] = min;

L = comprimento do talvegue do rio, [L] = km;

I = Inclinação do talvegue, [I] = m/km.



Finalmente, a vazão de cheia determinada, deve ser adicionada a vazão de base, esta última admitida como sendo da ordem de 10% daquela. Assim, obtém-se a vazão máxima de projeto.

2. Resultados obtidos:

2.1. Delimitação de bacias com as áreas

Para delimitação e obtenção das áreas de contribuição para a drenagem, foram utilizados como parâmetro o software de georreferenciamento Qgis e para processamento dos fluxos o software AutoCad Civil 3D.



Fonte: O Autor. 2024.



2.2. Determinação das inclinações equivalentes

A partir da fórmula de declividade equivalente (8) foram obtidos resultados de cada bacia expressos a partir da tabela abaixo:

Tabela 4.2.1: Inclinação da Bacia

Declividade Equivalente									
	ΔL (m)	L (m)	COTA	L' (Km)	dH	i (m/Km)	$L'/i^{0,5}$	H*L'	i_{eq} acum. (m/m) em aclave*
	0	5,409	147	0					
	500	4,909	123	0.5	24	48	0.072	61.5	0.0482
	500	4,409	122	0.5	1	2	0.354	61	0.0055
	500	3,909	121	0.5	1	2	0.354	60.5	0.0037
	500	3,409	120	0.5	1	2	0.354	60	0.0031
	500	2,909	115	0.5	5	10	0.158	57.5	0.0037
	500	2,409	110	0.5	5	10	0.158	55	0.0043
	500	1,909	108	0.5	2	4	0.25	54	0.0042
	500	1,409	107	0.5	1	2	0.354	53.5	0.0038
	500	909	105	0.5	2	4	0.25	52.5	0.0038
	500	409	101	0.5	4	8	0.177	50.5	0.0041
	409	0	100	0.409	1	2.4	0.264	40.9	0.0039
somatório =			47	5.409			2.745	606.9	

Área=	9930781.00	m ²
Área=	9.930781	km ²
Hmed=	112.2	m
Se=	3.9	m/Km
I=	0.0039	m/m

Fonte: O Autor. 2024.



2.3. Tempo crítico/concentração

A partir da fórmula de tempo crítico (9) foram obtidos resultados da bacia, como **Tc = 123,83min.**

2.4. Intensidade de chuva

A partir da fórmula (7) de intensidade da chuva ($i_m = \frac{KT^a}{(t+b)^c}$) foram obtidos resultados da bacia como **I = 55,553mm/h.**

2.5. Fator de fôrma

Foi utilizada a equação $F = \frac{L}{\left(2 \times \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}\right)}$, **F = 1,521.**

2.6. Coeficiente da bacia (C1)

A partir dos resultados do coeficiente de fôrma obtidos para a bacia, pode-se calcular o coeficiente C1, **C1 = 1,136.**

2.7. Coeficiente (C2)

Para a bacia em estudo foi considerado o coeficiente C2 individual, determinando para cada tipo de ocupação do solo em relação a área total da bacia. Os resultados obtidos se encontram na tabela abaixo:

Tabela 4.7: Coeficiente C2 das Bacias

Ambiente	área (m ²)	área (%)	C2	C2 * %área
Rocha	738008	7%	0.8	0.059
Campo	8317895.00	84%	0.3	0.209
Floresta	874878	9%	0.3	0.026
Total	9930781	100%	--	0.295

Fonte: O Autor. 2023.



2.8. Coeficiente (C)

Com todos os fatores físicos da bacia já determinado, pode-se calcular o fator de rugosidade de bacia: $C = \frac{2}{(1+F)} \times \frac{C2}{C1}$, **C = 0,2062**.

2.9. Coeficiente K

Para bacias grandes o coeficiente K mostra-se relevante para obtenção da vazão, servindo como fator moderador tendo em vista que precipitação em um ponto longínquo da bacia não é a mesma que em outro ponto qualquer afastado deste, para a bacia em questão, **K = 0,98**.



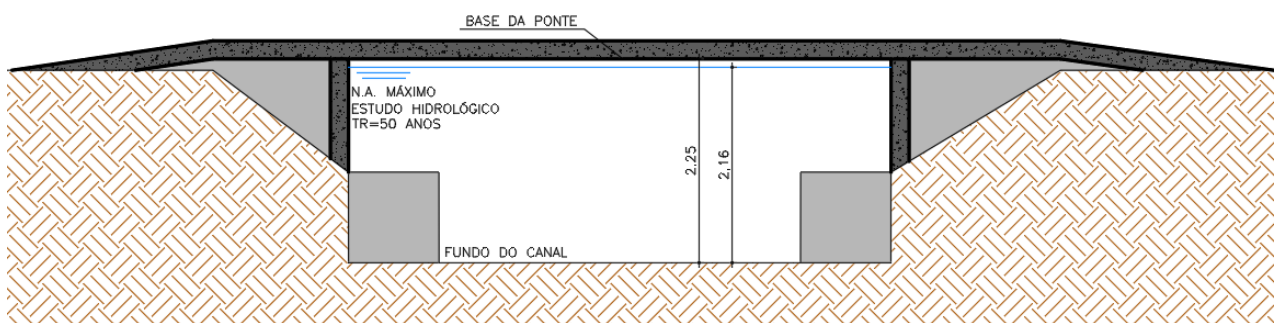
2.10. Vazão de cheia, base e projeto de cada bacia

Com obtenção de todos os parâmetros analisados pode-se lançar mão da fórmula 1 ($Q_c = 0,278 * C * i * A^{0,9} * K$) contendo a vazão de cheia para a bacia em estudo.

Com os dados obtidos nas relações descritas acima, obteve-se o valor da vazão de projeto para o ponto em estudo:

$$Q_p = 27,098 \text{m}^3/\text{s}$$

Figura 2 - Representação do N.A Calculado



GABRIEL RODRIGUES BÓRIO
Coordenador
CREA ES-054146/D
América Latina Engenharia

MARCOS FELIPE PINTO DE SOUZA
Responsável técnico
CREA ES-0050929/D
América Latina Engenharia