



MEMORIAL DE CÁLCULO

PROJETO DE DRENAGEM

FOLHA 6



1 APRESENTAÇÃO

A Prefeitura Municipal de Marabá Estado do Pará, através da Secretaria Municipal de Viação e Obras Públicas, apresenta o Memorial de Cálculo da drenagem pluvial na Folha 6.

2 PLUVIOMETRIA

Para a determinação da intensidade de chuva de projeto foi adotada a equação de **chuvas intensas para o estado do Pará** (Eq. 1), apresentada em um artigo publicado pela **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Agriambi, 2012)**, formulada pela metodologia da desagregação da chuva de 24h, e utilizadas séries históricas de dados pluviométricos obtidas da Agência Nacional de Águas- ANA.

$$I = \frac{K * TR^a}{(t + b)^c} \quad - \text{Eq. 1}$$

Onde,

I → intensidade de precipitação (mm/h);

TR → Período de retorno (anos);

t → Tempo de duração da chuva (minutos);

K, a, b, c → Coeficientes tabelados obtidos na tabela 1 abaixo.

Dados para o cálculo da intensidade de precipitação (I):

TR = 25 anos;

t = 15 minutos;

Tabela 1 – Coeficientes da equação de chuvas intensas do estado do Pará

Tabela 2. Coeficientes “K”, “a”, “b” e “c” das equações de chuvas intensas ajustadas para várias localidades do Estado do Pará e respectivos coeficientes de determinação (R²) e duração das séries históricas						
Município	K	a	b	c	R²	Séries Históricas (anos)
Itaituba	1073,2685	0,1317	9,7851	0,7242	0,9939	30
Itupiranga	1242,7328	0,1111	9,7853	0,7242	0,9966	15
Jacundá	1192,2027	0,0809	9,7905	0,7243	0,9987	16
Juruti	1292,2966	0,1073	9,8015	0,7245	0,9970	26
Magalhães Barata	1248,4018	0,1134	9,7921	0,7244	0,9963	15
Marabá	1242,9246	0,1057	9,7849	0,7242	0,9971	20
Marapanim	1453,3908	0,1225	9,7927	0,7244	0,9953	17

Fonte: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2012

K = 1242,9246;

a = 0,1057;

b = 9,7849;

c = 0,7242.

Tabela 2 – Cálculo da Intensidade de Precipitação para Marabá-PA

INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO (MARABÁ-PA)		
K =	1242,9246	$I = \frac{K * TR^a}{(t + b)^c}$
a =	0,1057	
b =	9,7849	
c =	0,7242	
TR =	25 anos	
t =	15 min	
I =	170,82 mm/h	

2 BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO

As bacias de contribuição para a vazão de cada trecho da drenagem foram mapeada em função do levantamento topográfico planialtimétrico fornecido pela prefeitura municipal de Marabá-PA. Como mostrado na Figura 1 abaixo, foi sinalizada as diversas bacias em função das declividades apontadas pelas curvas de nível e, em função dos divisores de água.

A topographic map showing a road project area. The map features contour lines and various labels for different sections of the road. The areas are labeled as follows:

- TRECHO 1:** $A1 = 1.296 \text{ m}^2$
- TRECHO 2:** $A2 = 3.885 \text{ m}^2$
- TRECHO 3:** $A3 = 5.500,82 \text{ m}^2$
- TRECHO 4:** $A4 = 8.496,28 \text{ m}^2$
- TRECHO 5:** $A5 = 4.587,20 \text{ m}^2$
- TRECHO 6:** $A6 = 1.654,65 \text{ m}^2$

The map also includes labels for specific points (e.g., S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8) and elevation values (e.g., 80.5, 81.1, 82.6, 83.1, 84.5, 86.3, 88.8, 90, 94.3, 94.6, 95.1, 95.9, 96.6, 96.9, 98.5, 99.1, 99.5, 100.8, 101.8, 103.3, 103.4, 103.9). Other labels include 'FOLHA-6' and 'FOLHA-7'.

2.1 Cálculo da vazão das bacias de contribuição:

Para o cálculo da vazão da área de contribuição será utilizado o Método Racional (Para bacias de até 2,0 km²), em função da equação abaixo:

$$Q_{\text{contr}} = C * I * A \quad \text{— Eq. 2}$$

Onde,

Q_{contr} → Vazão da área da bacia de contribuição (m³/s);

C → Coeficiente de escoamento superficial;

I → Intensidade de precipitação;

A → Área da bacia de contribuição.

Dados para o cálculo da vazão das bacias de contribuição (Q_{contr}):

$C = 0,35$ → Valor adotado para o coeficiente de escoamento superficial;

$I = 170,82 \text{ mm/h}$ → Valor calculado na tabela 2 pela Eq. 1.

Tabela 3 – Cálculo da Vazão das Bacias de Contribuição

VAZÃO DA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO		
Área de contribuição (m ²)		Q _{contr.} (m ³ /s)
A1 =	1.296,00	0,02
A2 =	3.885,00	0,06
A3 =	5.500,82	0,09
A4 =	8.496,28	0,14
A5 =	4.587,20	0,08
A6 =	1.654,65	0,03
C = 0,35 I = 170,82 mm/h		$Q_{\text{contr}} = C * I * A$

3 DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES

3.1 Equações para o dimensionamento

Para o dimensionamento das tubulações de drenagem será utilizado para determinação da velocidade média de escoamento a equação de Manning (Eq. 3), e para determinação da vazão de rede será utilizado a equação da continuidade (Eq.4), conforme mostrado abaixo:

Equação de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i} \quad - \text{Eq. 3}$$

Onde,

V → Velocidade média (m/s);

n → Coeficiente de rugosidade;

Rh → Raio hidráulico (m);

i → Declividade média (m/m);

Serão considerados para velocidade máxima = 5 m/s e velocidade mínima = 0,6 m/s;

Será adotado n = 0,013 (coeficiente de rugosidade do concreto);

Será considerado a vazão para $\frac{3}{4}$ da seção.

Equação da continuidade:

$$Q = V * A_m \quad - \text{Eq. 4}$$

Onde,

Q → Vazão da rede (m³/s);

V → Velocidade média (m/s);

A_m → Área molhada (m²);

3.2 Critérios para o dimensionamento das tubulações

O dimensionamento das tubulações de drenagem foi dividida em 6 (seis) trechos, conforme figura 1, cada trecho será dimensionado para a vazão de rede de suas respectivas bacias de contribuição.

Trecho 1

Dados de cálculo:

$Q_{\text{contr}} = 0,02 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ Vazão mínima necessária devido à área de contribuição **A1**,
conforme Tabela 3.

$i = 0,01 \text{ m/m} \rightarrow$ Declividade

$n = 0,013 \rightarrow$ Coeficiente de rugosidade

TRECHO 1		
DADOS DE ENTRADA		
Q contr =	0,02 m³/s → Vazão mínima necessária	
n =	0,013	$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i}$ $Q = V * A_m$
i =	0,01 m/m	
Ø =	400 mm	
RESULTADO		
V =	1,88 m/s	(Vmin ≤ V ≤ Vmáx) → OK
Q =	0,19 m³/s	(Q ≥ Qcontr) → OK
Ø 400 mm - Diâmetro a ser utilizado		

Trecho 2

Dados de cálculo:

$Q_{\text{contr}} = 0,06 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ Vazão mínima necessária devido às áreas de contribuição **A2**,
conforme Tabela 3.

$i = 0,01 \text{ m/m} \rightarrow$ Declividade

$n = 0,013 \rightarrow$ Coeficiente de rugosidade

TRECHO 2		
DADOS DE ENTRADA		
Q contr =	0,06 m³/s → Vazão mínima necessária	
n =	0,013	$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i}$
i =	0,01 m/m	
ø =	400 mm	
		$Q = V * A_m$
RESULTADO		
V =	1,88 m/s	(Vmin ≤ V ≤ Vmáx) → OK
Q =	0,19 m³/s	(Q ≥ Qcontr) → OK
ø 400 mm - Diâmetro a ser utilizado		

Trecho 3

Dados de cálculo:

$Q_{\text{contr}} = 0,09 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ Vazão mínima necessária devido às áreas de contribuição **A3**,
conforme Tabela 3.

$i = 0,01 \text{ m/m} \rightarrow$ Declividade

$n = 0,013 \rightarrow$ Coeficiente de rugosidade

TRECHO 3		
DADOS DE ENTRADA		
Q contr =	0,09 m³/s → Vazão mínima necessária	
n =	0,013	$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i}$ $Q = V * A_m$
i =	0,01 m/m	
Ø =	400 mm	
RESULTADO		
V =	1,88 m/s	(Vmin ≤ V ≤ Vmáx) → OK
Q =	0,19 m³/s	(Q ≥ Qcontr) → OK
Ø 400 mm - Diâmetro a ser utilizado		

Trecho 4

Dados de cálculo:

$Q_{\text{contr}} = 0,14 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ Vazão mínima necessária devido às áreas de contribuição **A4**,
conforme Tabela 3.

$i = 0,01 \text{ m/m} \rightarrow$ Declividade

$n = 0,013 \rightarrow$ Coeficiente de rugosidade

TRECHO 4		
DADOS DE ENTRADA		
Q contr =	0,14 m³/s → Vazão mínima necessária	
n =	0,013	$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i}$ $Q = V * A_m$
i =	0,01 m/m	
Ø =	400 mm	
RESULTADO		
V =	1,88 m/s	(Vmin ≤ V ≤ Vmáx) → OK
Q =	0,19 m³/s	(Q ≥ Qcontr) → OK
Ø 400 mm - Diâmetro a ser utilizado		

Trecho 5

Dados de cálculo:

$Q_{\text{contr}} = 0,08 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ Vazão mínima necessária devido à área de contribuição **A5**,
conforme Tabela 3.

$i = 0,01 \text{ m/m} \rightarrow$ Declividade

$n = 0,013 \rightarrow$ Coeficiente de rugosidade

TRECHO 5		
DADOS DE ENTRADA		
Q contr =	0,08 m³/s → Vazão mínima necessária	
n =	0,013	$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i}$ $Q = V * A_m$
i =	0,01 m/m	
Ø =	400 mm	
RESULTADO		
V =	1,88 m/s	(Vmin ≤ V ≤ Vmáx) → OK
Q =	0,19 m³/s	(Q ≥ Qcontr) → OK
Ø 400 mm - Diâmetro a ser utilizado		

Trecho 6

Dados de cálculo:

$Q_{\text{contr}} = 0,03 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ Vazão mínima necessária devido às áreas de contribuição **A6**,
conforme Tabela 3.

$i = 0,01 \text{ m/m} \rightarrow$ Declividade

$n = 0,013 \rightarrow$ Coeficiente de rugosidade

TRECHO 6		
DADOS DE ENTRADA		
Q contr =	0,03 m³/s → Vazão mínima necessária	
n =	0,013	$V = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i}$ $Q = V * A_m$
i =	0,01 m/m	
Ø =	400 mm	
RESULTADO		
V =	1,88 m/s	(Vmin ≤ V ≤ Vmáx) → OK
Q =	0,19 m³/s	(Q ≥ Qcontr) → OK
Ø 400 mm - Diâmetro a ser utilizado		

4 DIMENSIONAMENTO DAS SARJETAS E BOCA DE LOBO

4.1 Equações de dimensionamento

Para o dimensionamento das sarjetas será utilizado a equação de Manning modificado por Izzard (Eq. 5), apresentado no manual de drenagem do DNIT 2006, e para o dimensionamento da boca de lobo será utilizado a equação (Eq. 6), conforme abaixo.

$$Q_{sj} = 0,036 * \bar{n} * y^{3/2} * S^0,5 \quad - \text{Eq. 5}$$

Onde,

$Q_{sj} \rightarrow$ Vazão na sarjeta (m^3/s);

$y \rightarrow$ Altura da lâmina de água na sarjeta (cm);

$S \rightarrow$ Declividade longitudinal da sarjeta (m/m);

$n \rightarrow$ coeficiente de rugosidade de Manning;

$Z \rightarrow$ Recíproca da declividade transversal $Z = \tan \theta$;

Será adotada uma altura de água na sarjeta de $y = 8$ cm;

Será adotado $n = 0,013$ (coeficiente de rugosidade do concreto).

$$Q_{bl} = 1,36 * L * y^{3/2} \quad - \text{Eq. 6}$$

Onde,

$Q_{bl} \rightarrow$ Vazão na boca de lobo (m^3/s);

$y \rightarrow$ Altura da lâmina de água na boca de lobo (cm);

$L \rightarrow$ Comprimento da sarjeta (cm);

Será adotada uma altura de água na boca de lobo de $y = 15$ cm;

Será adotado para o comprimento da sarjeta $L = 90$ cm.

4.2 Critérios de dimensionamento

Para o dimensionamento das sarjetas a via principal será dividida em 8 (Oito), conforme figura 1, cada sarjeta será dimensionado para sua respectiva declividade.

Dimensionamento das sarjetas:

Sarjeta S1

Dados de cálculo:

s = 0,06 m/m → Declividade

n = 0,013 → Coeficiente de rugosidade

y = 8 cm → Altura da lâmina de água

CÁLCULO DA VAZÃO NA SARJETA (S1)		
DADOS DE ENTRADA		
n =	0,013	$Q = 0,376 * \frac{z}{n} * y^{\frac{8}{3}} * S^{0,5}$
y =	8 cm	
S =	0,060 m/m	
RESULTADO		
Q =	0,042 m³/s	

Sarjeta S2

Dados de cálculo:

s = 0,08 m/m → Declividade

n = 0,013 → Coeficiente de rugosidade

y = 8 cm → Altura da lâmina de água

CÁLCULO DA VAZÃO NA SARJETA (S2)		
DADOS DE ENTRADA		
n =	0,013	$Q = 0,376 * \frac{z}{n} * y^{\frac{8}{3}} * S^{0,5}$
y =	8 cm	
S =	0,080 m/m	
RESULTADO		
Q =	0,049 m³/s	

Sarjeta S3

Dados de cálculo:

s = 0,07 m/m → Declividade

n = 0,013 → Coeficiente de rugosidade

y = 8 cm → Altura da lâmina de água

CÁLCULO DA VAZÃO NA SARJETA (S3)		
DADOS DE ENTRADA		
n =	0,013	$Q = 0,376 * \frac{z}{n} * y_3^{\frac{8}{3}} * S^{0,5}$
y =	8 cm	
S =	0,070 m/m	
RESULTADO		
Q =	0,046 m³/s	

Sarieta S4

Dados de cálculo:

s = 0,15 m/m → Declividade

n = 0,013 → Coeficiente de rugosidade

y = 8 cm → Altura da lâmina de água

CÁLCULO DA VAZÃO NA SARJETA (S4)		
DADOS DE ENTRADA		
n =	0,013	$Q = 0,376 * \frac{z}{n} * y_3^{\frac{8}{3}} * S^{0,5}$
y =	8 cm	
S =	0,150 m/m	
RESULTADO		
Q =	0,067 m³/s	

Sarieta S5

Dados de cálculo:

s = 0,13 m/m → Declividade

n = 0,013 → Coeficiente de rugosidade

y = 8 cm → Altura da lâmina de água

CÁLCULO DA VAZÃO NA SARJETA (S5)		
DADOS DE ENTRADA		
n =	0,013	$Q = 0,376 * \frac{z}{n} * y_3^{\frac{8}{3}} * S^{0,5}$
y =	8 cm	
S =	0,130 m/m	
RESULTADO		
Q =	0,062 m³/s	

Sarjeta S6

Dados de cálculo:

s = 0,02 m/m → Declividade

n = 0,013 → Coeficiente de rugosidade

y = 8 cm → Altura da lâmina de água

CÁLCULO DA VAZÃO NA SARJETA (S6)		
DADOS DE ENTRADA		
n =	0,013	$Q = 0,376 * \frac{z}{n} * y^{\frac{8}{3}} * S^{0,5}$
y =	8 cm	
S =	0,020 m/m	
RESULTADO		
Q =	0,024 m³/s	

Sarjeta S7

Dados de cálculo:

s = 0,11 m/m → Declividade

n = 0,013 → Coeficiente de rugosidade

y = 8 cm → Altura da lâmina de água

CÁLCULO DA VAZÃO NA SARJETA (S7)		
DADOS DE ENTRADA		
n =	0,013	$Q = 0,376 * \frac{z}{n} * y^{\frac{8}{3}} * S^{0,5}$
y =	8 cm	
S =	0,110 m/m	
RESULTADO		
Q =	0,057 m³/s	

Sarjeta S8

Dados de cálculo:

s = 0,11 m/m → Declividade

n = 0,013 → Coeficiente de rugosidade

y = 8 cm → Altura da lâmina de água

CÁLCULO DA VAZÃO NA SARJETA (S8)		
DADOS DE ENTRADA		
n =	0,013	$Q = 0,376 * \frac{z}{n} * y^{\frac{8}{3}} * S^{0,5}$
y =	8 cm	
S =	0,070 m/m	
RESULTADO		
Q =	0,046 m³/s	

Dimensionamento da Boca de Lobo:

Dados de cálculo:

L = 90 cm → Comprimento da boca de lobo

Y = 15 cm → Altura da lâmina de água na boca de lobo

CÁLCULO DA VAZÃO NA BOCA DE LOBO		
DADOS DE ENTRADA		
L =	90 cm	$Q = 1,36 * L * y^{\frac{3}{2}}$
y =	15 cm	
RESULTADO		
Qbl =	0,07 m³/s	Qbl > Qsj → OK

A boca de lobo atende aos critérios de cálculo, a vazão calculada **Qbl = 0,07 m³/s** é maior que a vazão nas sarjetas.