

2 – CARACTERIZAÇÃO FLUVIOMORFOLÓGICA

A bacia de drenagem ou bacia hidrográfica funciona como um coletor das águas pluviais precipitadas no seu domínio, recolhendo-as e conduzindo-as através da rede fluvial como escoamento ao exutório da bacia, ou seção considerada. Neste processo, o relevo, a forma, a rede de drenagem, a vegetação, a natureza do solo e o embasamento geológico da bacia são determinantes na relação espaço – temporal entre a chuva e a vazão resultante nos cursos d'água.

A representação numérica das características físicas da bacia, através de índices físicos, permite dar identidade à bacia, possibilitando assim comparações entre diferentes regiões hidrológicas.

Apresenta-se nesse capítulo os diferentes componentes relativos à fluvio-morforlogia da Bacia do Rio Gramame.

2.1 - Localização

A bacia do Rio Gramame localiza-se entre as latitudes 7°11' e 7°23' Sul e as longitudes 34° 48' e 35° 10' Oeste, no Litoral Sul do Estado da Paraíba (figuras 2.1 e 2.2). É composta pelos municípios de Alhandra, Conde, Cruz do Espírito Santo, João Pessoa, Santa Rita, São Miguel de Taipu e Pedras de Fogo. Os percentuais de participação em área da bacia por município estão mostrados no quadro seguinte.

Quadro 2.1 – Participação em área dos municípios na Bacia:

Município	Área do Município	Área na Bacia	Participação (%)
Alhandra	224,42 Km ²	99,72 Km ²	16,93
Conde	164,10 Km ²	76,47 Km ²	12,98
Cruz do Espírito Santo	189,32 Km ²	3,50 Km ²	0,59
João Pessoa	209,94 Km ²	59,07 Km ²	10,03
Santa Rita	762,33 Km ²	155,59 Km ²	26,41
São Miguel de Taipu	63,60 Km ²	2,20 Km ²	0,37
Pedras de Fogo	348,02 Km ²	192,56 Km ²	32,69

Figura 2.1 – Hidrografia e Divisão Política

Figura 2.2 – Localização da Bacia

2.2 – Fisiografia

2.2.1 - Forma da Bacia

A área da bacia do Rio Gramame, delimitada a partir das cartas digitalizadas da SUDENE em escala 1:25.000 é de 589,1 km². O seu perímetro, comprimento da linha do divisor de águas que a delimita, medido na mesma base cartográfica é de 123,3 km.

O comprimento do curso d'água principal, o Rio Gramame, perfaz um total de 54,3 km, medido desde a sua nascente na região do Oratório, município de Pedras de Fogo até a praia de Barra de Gramame, onde limita os municípios de João Pessoa e Conde.

A forma de uma bacia hidrográfica é determinada pelos seguintes parâmetros:

- Fator de forma F, expresso pelo quociente entre a área da bacia A, e o quadrado do comprimento do curso d'água principal Lp:

$$F = A / Lp^2$$

- Coeficiente de compacidade K_C, expresso pela relação entre o perímetro da bacia P, e o perímetro de um círculo com a mesma área:

$$K_C = P / (2\sqrt{\pi \cdot A})$$

- Retângulo Equivalente

Trata-se de outro elemento auxiliar para comparação entre bacias, introduzido por hidrólogos franceses. O retângulo equivalente foi definido com o intuito de melhor comparar a influência das características da bacia sobre o escoamento.

Considerando-se homogêneas as condições climáticas e de cobertura vegetal, supõe-se que o escoamento de uma bacia seja igual ao de um retângulo de mesma área, de mesmo coeficiente de compacidade e de análoga repartição hipsométrica.

Calcula-se os lados maior (L) e menor (l) do retângulo equivalente através de:

$$L = \frac{K_C \sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right]$$

$$l = \frac{K_C \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_C} \right)^2} \right]$$

Para a Bacia do Rio Gramame o valor encontrado de L é 50,3 km e l é igual a 11,71 km.

Os valores característicos da forma da bacia, calculados para a bacia do Rio Gramame, estão apresentados na tabela seguinte:

Tabela 2.1 - Forma da bacia.

Bacia	A(km ²)	P(km)	Lp(km)	F	Kc	L(km)	l(km)
Rio Gramame	589,1	123,3	54,3	0,20	1,43	50,30	11,71

A forma da bacia influi fortemente no regime de escoamento do seu curso d'água principal, e portanto, na resposta da bacia aos impulsos ou estímulos da chuva. A bacia sendo estreita e alongada, o seu tempo de concentração será maior, ocorrendo o inverso no caso de bacias compactas e de forma arredondada.

Com referência à bacia do Rio Gramame, os valores dos coeficientes encontrados indicam ser a bacia ligeiramente arredondada, relativamente compacta e regular. Assim, interpreta-se que sem considerar as influências de outros fatores, estaria não muito sujeita a enchentes.

2.2.2 Rede Hidrográfica

A rede hidrográfica de uma bacia é descrita pelo perfil longitudinal do seu curso principal, pelo coeficiente de confluência, pelo coeficiente de comprimento e pela densidade de drenagem.

A rede hidrográfica da bacia em estudo é formada pelo Rio Gramame (rio principal) e seus afluentes. Os principais afluentes são:

- Na margem direita: Rio Utinga, Rio Pau Brasil, Riacho Pitanga, Riacho Ibura, Riacho Piabuçu, Rio Água Boa.

- Na margem esquerda: Riacho Santa Cruz, Riacho da Quizada, Riacho do Bezerra, Riacho do Angelim, Riacho Botamonte, Rio Mamuaba, Rio Camaço, Rio Mumbaba.

As principais sub-bacias formadoras da bacia do Rio Gramame são: Mumbaba, Mamuaba e Água Boa.

2.2.2.1 - O Perfil Longitudinal do Rio Principal

O perfil longitudinal de um rio é representado pelo gráfico do comprimento, desde sua nascente, versus cota do leito. Indica-se também neste gráfico os locais onde deságuam os principais afluentes, assim como os principais barramentos.

Observando-se o perfil longitudinal do Rio Gramame (fig. 2.3), nota-se que o alto curso tem comprimento de 6,0 km com declividade média de 11,6 m/km. O médio curso tem comprimento de 25,0 km, com declividade média de 2,4 m/km. O baixo curso tem comprimento de 23,0 km, com declividade média de 0,9 m/km.

A barragem Gramame - Mamuaba, que forma o principal reservatório da Bacia, encontra-se no limite entre o médio e o baixo curso.

Os perfis longitudinais dos rios Mumbaba, Mamuaba e Água Boa são apresentados, respectivamente, nas figuras 2.4, 2.5 e 2.6.

Figura 2.3 – Perfil Longitudinal do Rio Gramame

Figura 2.4 - Perfil Longitudinal do Rio Mumbaba

Figura 2.5 – Perfil Longitudinal do Rio
Mamuaba

Figura 2.6 – Perfil Longitudinal do Rio Água Boa

2.2.2.2 - O Coeficiente de Confluência

O coeficiente de confluência, Rc_x , é a relação entre o número de cursos d'água de ordem x e aquele de ordem $x + 1$:

$$Rc_x = N_x / N_{(x+1)}$$

Na prática, pode-se dizer que, em média (em termos estatísticos), os números de talvegues de ordens sucessivas crescentes de uma bacia formam uma série geométrica inversa.

O coeficiente de confluência médio da bacia, Rc , corresponde teoricamente à média geométrica dos valores de Rc_x . Ele se deduz da declividade da reta ajustado aos pontos $(x, \ln N_x)$.

Na tabela 2.2 consta os valores no números de cursos d'água na bacia com suas respectivas ordens (segundo Strahler), seus comprimentos médios, e seus coeficientes parciais de confluência e de comprimento, adiante definido.

Tabela 2.2 – Número de cursos d'água por ordem, comprimento médio e outros parâmetros

Ordem dos Rios	Número existente	Comprimento Médio (Km)	Coeficiente de Comprimento	Coeficiente de Confluência
Primeira	564	0,678	4,27	1,85
Segunda	132	1,256	5,07	2,05
Terceira	26	2,567	6,50	7,84
Quarta	4	20,128	4,00	1,40
Quinta	1	28,250	-	-

No caso da bacia do Rio Gramame, temos $Rc = 4,87$

O valor mínimo teórico de Rc é 2. O valor encontrado para a bacia deste estudo indica uma forma regular da rede de drenagem.

2.2.2.3 - O Coeficiente de Comprimento

O coeficiente de comprimento, Ri_x , é a relação entre o comprimento médio dos cursos de água de ordem x e $(x - 1)$:

$$Ri_x = \bar{L}_x / \bar{L}_{(x-1)}$$

Como o coeficiente de confluência, o coeficiente de comprimento é a expressão de uma tendência média indicadora de que, numa bacia, os comprimentos médios dos talvegues de ordens sucessivas formam uma série geométrica direta.

O coeficiente de comprimento médio de toda a bacia, R_i , é teoricamente igual à média geométrica dos valores de R_{ix} para cada ordem.

No caso da bacia do Rio Gramame, $R_i = 2,54$

2.2.2.4 - Densidade de Drenagem

Uma boa noção do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem é dada pelo índice denominado densidade de drenagem. Este índice é expresso pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água (perenes ou não) de uma bacia e a sua área total. Daí:

$$D_d = \Sigma l_i / A$$

onde: Σl_i é o comprimento total dos cursos d'água da bacia, igual a 721,2 km para a bacia do rio Gramame.

A densidade de drenagem aumenta proporcionalmente conforme a extensão da rede de drenagem, afora outras dependências como resistência à erosão do solo, permeabilidade e cobertura vegetal da bacia e fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia.

A bacia do Rio Gramame apresenta valor de densidade de drenagem $D_d = 1,23 \text{ km/km}^2$, o que significa uma drenagem na faixa de razoável a média.

2.2.3 - Relevo

O relevo tem uma importância primordial na formação do escoamento superficial da bacia. O tempo de concentração da bacia, tempo que leva a gota de chuva para ir do limite mais externo da bacia até a calha fluvial, é tanto menor quanto maior for a declividade da bacia.

2.2.3.1 - A Curva Hipsométrica

A curva hipsométrica caracteriza o relevo da bacia, através da relação entre as altitudes e as áreas contidas acima desta altitude. As áreas de modo geral são expressas em percentuais da área total da bacia.

A forma da curva hipsométrica dá uma idéia geral do relevo da bacia. Assim uma forte inclinação no início da curva sugere uma planície, enquanto um suave declive no princípio e na zona intermediária com aumento brusco no final representa um planalto com vale encaixado.

A curva hipsométrica da Bacia do Rio Gramame (fig. 2.7), bem como das suas demais sub-bacias (fig. 2.8, fig. 2.9, fig. 2.10 e fig. 2.11) foram obtidas da planimetria das áreas entre as curvas de nível espaçadas de 10m, as quais são acumuladas e expressas em percentagem da área total da bacia.

Através da curva hipsométrica pode-se definir a altitude mediana (altitude correspondente a 50% da área) e a altitude média da bacia (altura do retângulo de área igual a área contida entre a curva e os eixos coordenados). Para a Bacia do Rio Gramame tem-se os seguintes valores :

- Altitude mediana: 82,0m;
- Altitude média: 80,0m.

Outras altitudes importantes a serem obtidas da curva hipsométrica são as correspondentes as percentagens de 5% e 95%. A diferença entre essas altitudes, dividida pelo comprimento do retângulo equivalente, constitui-se no “Índice de Declividade Global (Ig)”, proposto por Dubreuil, citado por Nouvelot e Ferreira (1977), para caracterizar a bacia como um todo.

No caso da bacia do Rio Gramame, tem-se:

Altitude 5% : $H_5 = 162,0\text{m}$

Altitude 95%: $H_{95} = 15,0\text{ m}$

$$Ig = (H_5 - H_{95}) / L$$

$$Ig = 2,92$$

Constatando, com razão, que o índice Ig, varia com a superfície da bacia (diminui quando a superfície aumenta), G. Guiscarre e P. Dubreuil, citado por Nouvelot e Ferreira (op.cit), propuseram uma classificação do relevo a partir de um novo índice, chamado “Desnível Específico (Ds)”, definido por:

$$Ds = Ig\sqrt{A}$$

No caso da bacia do Rio Gramame assume o valor: $Ds = 70,87$ m.

Dubreuil, citado por Nouvelot e Ferreira (op.cit), estudando a Região Nordeste do Brasil adotou uma classificação do relevo em sete classes conforme o valor do desnível específico correspondente, a saber:

R1 - relevo muito suave	$Ds < 10m$
R2 - relevo bastante suave	$10 < Ds < 25m$
R3 - relevo suave	$25 < Ds < 50m$
R4 - relevo ondulado	$50 < Ds < 100m$
R5 - relevo forte	$100 < Ds < 250m$
R6 - relevo bastante forte	$250 < Ds < 500m$
R7 - relevo muito forte	$Ds > 500m$

De acordo com os valores da tabela 2.3, observa-se que o relevo da bacia do rio Gramame é predominantemente ondulado, com os relevos de suas sub-bacias principais variando de suave a ondulado.

Figura 2.7 – Curva Hipsométrica da bacia do rio Gramame

Figura 2.8 – Curva Hipsométrica da sub- bacia do rio Mamuaba

Figura 2.9 – Curva Hipsométrica da sub-bacia do rio Mumbaba

Figura 2.10 – Curva Hipsométrica da sub- bacia do rio Água Boa

Figura 2.11 – Curva Hipsométrica da sub-
bacia do açude Gramame-Mamuaba

Tabela 2.3 - Classificação das principais sub-bacias quanto ao relevo:

Principais sub-bacias	Ds	R
Rio Mamuaba	65,6	R4
Rio Gramame (sub-bacia do açude)	54,5	R4
Rio Mumbaba	44,7	R3
Rio Água Boa	76,9	R4

2.2.3.2 - Declividade da Bacia

A declividade dos terrenos de uma bacia hidrográfica controla em boa parte a velocidade com que se dá o escoamento superficial, afetando portanto o tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem. A magnitude dos picos de enchente e a maior ou menor oportunidade de infiltração e susceptibilidade para erosão dos solos dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia (Villela e Matos, 1975).

Os valores da tabela seguinte foram obtidos a partir das cartas topográficas na escala de 1:25.000 e altimetria a cada 10m.

Tabela 2.4 - Distribuição de Declividades

Declividade (m/km)	Declividade média	Número de ocorrências	Porcentagem do total (%)	Porcentagem acumulada (%)
0 - 46	23	59	47,2	100
46 - 92	69	28	22,4	52,8
92 - 138	115	21	16,8	30,4
138 - 184	161	5	4,0	13,6
184 - 230	207	7	5,6	9,6
230 - 276	253	3	2,4	4,0
276 - 322	299	0	0,0	1,6
322 - 368	345	0	0,0	1,6
368 - 414	391	2	1,6	0,0
Total	---	125	100	---

O grande número de ocorrências de baixas declividades revela ser a bacia predominantemente de fraca declividade, concordando esta avaliação com os resultados das curvas hipsométricas.

A curva característica da distribuição de declividades é mostrada na figura 2.12.

2.2.4 - Extensão Superficial Média

Outro parâmetro que caracteriza uma bacia, segundo a sua capacidade de gerar escoamento superficial das águas precipitadas, é a “Extensão Superficial Média (ESM)”.

A extensão superficial média vem a ser a média das distâncias percorridas pelo escoamento até atingir o curso d’água. Para calculá-la, transforma-se a bacia num retângulo de área equivalente e de comprimento igual ao desenvolvimento do rio principal. A extensão superficial média será dada pela metade da largura desse retângulo.

$$ESM = A/2\Sigma L = l/2D_d$$

Quanto menor o valor de ESM, mais rapidamente as águas pluviais atingirão as calhas fluviais, diminuindo o período de infiltração e aumentando a parcela relativa ao escoamento superficial.

No caso da bacia do Rio Gramame, ESM = 0,41 km.

Na tabela 2.5 estão resumidos os resultados dos índices fluvio-morfológicos para a bacia do Rio Gramame e as sub-bacias Mumbaba, Mamuaba e Água Boa.

A área da sub-bacia do rio Gramame contribuinte ao açude Gramame-Mamuaba é de 128,4 Km².

2.3– Caracterização do Escoamento Superficial

2.3.1– Tempo de Pico, Tempo de Concentração e recarga do aquífero

Entende-se como tempo de concentração (tc) o tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia, desloque-se até a seção principal.

O tempo de pico (tp) é entendido como sendo o intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o pico do hidrograma.

Fig 2.12

Tabela 2.5 – Parâmetros Fluvio - Morfológicos da Bacia do Rio Gramame e suas principais bacias constituintes

BACIA	A	P	Lp	Kc	L	l	F	Dd	Rc	Ri	Ordem	ESM	H(95%)	H(5%)	Ig	Ds
Gramame	589,1	123,3	54,3	1,43	50,30	11,71	0,20	1,23	4,87	2,54	5	0,41	15,0	162,0	3,01	73,05
Sub – Mumbaba	177,2	87,2	42,5	1,85	39,49	5,95	0,14	0,93	4,99	3,58	4	0,54	27,4	152,6	3,26	44,66
Sub – Mamuaba	128,0	54,7	25,0	1,36	21,52	5,95	0,07	1,43	5,02	3,09	4	0,35	42,5	170,0	5,75	65,15
Sub – Água Boa	65,4	33,5	16,8	1,17	10,89	6,01	0,23	1,28	2,82	4,62	4	0,39	14,5	115,0	9,53	76,92

A = Área da bacia (Km)

P = Perímetro da bacia (Km)

Lp = Comprimento do rio principal (km)

Kc = Índice de compacidade

L = Lado maior do Retângulo Equivalente (km)

l = Lado menor do Retângulo Equivalente (km)

F = Fator de Forma

Dd = Densidade de Drenagem (Km/Km²)

Rc = Coeficiente de Confluência

Ri = Coeficiente de Comprimento

Ordem = Ordem do curso d'água principal

ESM = Extensão Superficial Média (Km)

H (95%) = Cota correspondente a 95% da área

H (5%) = Cota correspondente a 5% da área

Ig = Índice de declividade global

Ds = Desnível específico (m).

Na região litorânea o período chuvoso inicia-se nos meses de Fevereiro e Março. Nestes dois meses, são frequentes as chuvas isoladas. Desta forma observou-se hidrogramas com picos de cheias isoladas que permitem efetuar uma análise do funcionamento da bacia hidrográfica. Escolheu-se um hidrograma isolado, e a partir deste (figura 2.13), estimou-se o tempo de concentração, t_c e o tempo de pico, t_p . A diferença ΔQ_b entre as vazões de base no final do escoamento superficial e no início da subida do hidrograma fornece uma idéia da recarga do aquífero livre que contribui diretamente para o rio. Na tabela 2.6 aparecem os valores de t_c , t_p e ΔQ_b para o hidrograma selecionado.

Tabela 2.6 – Características dos hidrogramas para o rio Mamuaba.

Rio	t_p (dias)	t_c (dias)	ΔQ_b (m ³ /s)
Mamuaba	1	1,2	0,30

O valor de ΔQ_b depende das características do aquífero que contribui para a alimentação do rio em escoamento de base, assim como da precipitação e do nível do lençol freático no início da precipitação.

Admitindo para toda a bacia a mesma relação do tempo de concentração com o comprimento e o desnível específico seguindo a equação de Kirpich, encontra-se para toda a bacia do rio Gramame um tempo de concentração igual a $t_c = 1,8$ dias.

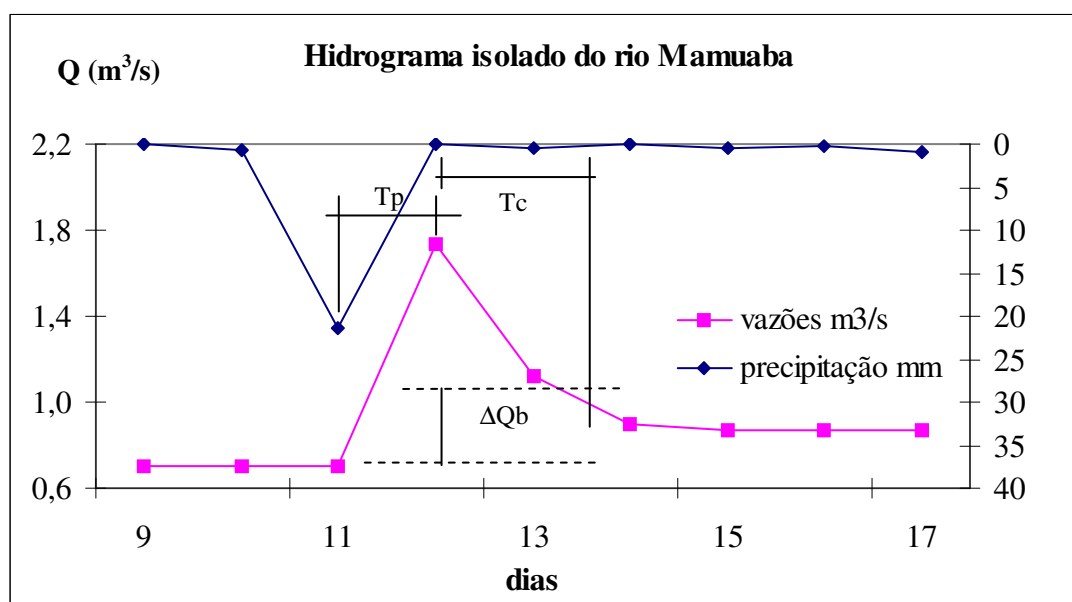


Figura 2.13 – Hidrograma isolado do rio Mumbaba (09/02/1972 a 18/02/1972)

2.4 – Referências Bibliográficas

VILLELA, Swami Marcondes, Mattos Arthur. Hidrologia Aplicada. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, p. 237, 1975.

NOUVELOT, J.F. & Ferreira, P.A.S., 1977, Bacia Representativa do Riacho do Navio, Série Hidrologia, Nº 4, 249 p.