

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

DESENVOLVIMENTO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO
DA BACIA DO RIO MAMUABA

por

Raimundo Sérgio Santos Góis

CAMPINA GRANDE, PARAÍBA

FEVEREIRO - 1977



G616d Góis, Raimundo Sérgio Santos.
Desenvolvimento do hidrograma unitário da bacia do Rio Mamuaba / Raimundo Sérgio Santos Góis. - Campina Grande, 1977.
86 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1977.
"Orientação : Prof. Dr. Vajapeyan Srirangachar Srinivasan".
Referências.

1. Hidrograma - Bacias Hidrográficas. 2. Bacia do Rio Mamuaba. 3. Hidrograma Unitário. 4. Recursos Hídricos. 5. Dissertação - Engenharia Civil. I. Srinivasan, Vajapeyam Srirangachar. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 626:556.51(813.3)(043)

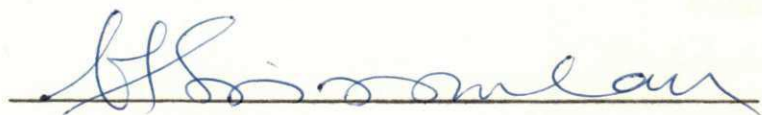
DESENVOLVIMENTO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO
DA BACIA DO RIO MAMUABA

RAIMUNDO SÉRGIO SANTOS GÓIS
- Engenheiro Civil -


TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (M.Sc.).

Aprovado por:

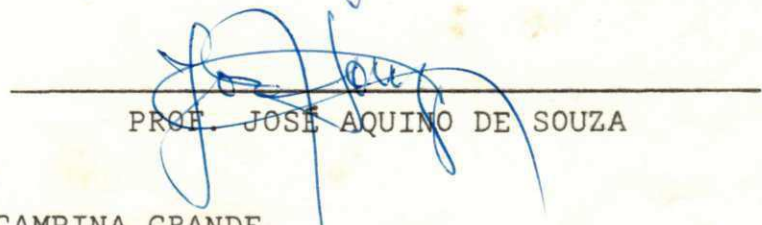
COMISSÃO



PROF. VAJAPEYAN SRIRANGACHAR SRINIVASAN
- Presidente -



PROF. MANOEL GILBERTO DE BARROS



PROF. JOSÉ AQUINO DE SOUZA

CAMPINA GRANDE
ESTADO DA PARAÍBA - BRASIL
FEVEREIRO - 1977

A

Dalva,

Gileno

e Niedja

A G R A D E C I M E N T O S

O Autor manifesta seu reconhecimento:

Aos Professores Vajapeyan Srirangachar Srinivasan e Václav Eliás, pela dedicada orientação e ensinamentos.

À Niedja Maia Góis, pelo cuidado na boa apresentação deste trabalho.

Ao professor Heber Carlos Ferreira, pela amizade e incentivo.

À Marcos da Costa Agra, pela valiosa ajuda na revisão de Português.

Aos colegas, pelo estímulo proporcionado nos contatos diários.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Civil.

À Hércules Hercuergus Sobreira de Almeida, pelo serviço de datilografia.

À Vanildo Carlos, pelos prestimosos serviços.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Ao Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, pelo apoio básico.

R E S U M O

O estudo aqui desenvolvido visa à obtenção do Hidrograma Unitário da Bacia do Rio Mamuaba, secção Fazenda Mamuaba, utilizando dados pluviométricos, pluviográficos e linigráficos de 3 anos (1972, 1973 e 1974), e em uma carta da Bacia na escala 1:30.000.

Para o desenvolvimento deste Hidrograma foi feita uma seleção dos dados supracitados, tendo-se escolhido hidrogramas simples de 5 períodos, embora com chuvas complexas. Em seguida, estimaram-se os coeficientes de escoamento para cada parte da precipitação total.

Analisando os resultados, a confiança do Hidrograma Unitário em outras aplicações foi verificada por meio da simulação do escoamento superficial de hidrogramas complexos observados.

A influência dos coeficientes na qualidade do Hidrograma Unitário foi verificada pelo estudo de sensibilidade do mesmo.

S U M M A R Y

The present study is aimed at developing the Unit Hydrograph of the river Mamuaba for the section corresponding to Fazenda Mamuaba utilizing the precipitation and run off data of 3 years (1972, 1973, 1974).

The derivation of the Unit Hydrograph was done by a selection of 5 simple hydrographs of complex storms by establishing a run off coefficient of each part of the precipitation.

The resulting hydrograph have been discussed and their validity has been tested by simulating two complex hydrographs for actual precipitation.

The influence of the coefficient of run off on the sensitivity of the derived Unit hydrograph has also been studied.

Í N D I C E

	Página	
CAPÍTULO I	INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
	1.0 GENERALIDADES	3
	2.0 MÉTODOS DE ANÁLISE DE HIDROGRAMAS	3
	2.1 Método do Hidrograma Unitário	4
	2.1.1 Análise do Hidrograma Unitário	7
	2.2 Hidrograma Unitário Sintético	9
	2.2.1 Método de Snyder	10
	2.3 Hidrograma Unitário Instantâneo	13
CAPÍTULO III	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	16
	1.0 DESCRIÇÃO DA BACIA	16
	1.1 Localização e Superfície	16
	1.2 Rede Hidrométrica	17
	1.3 Geologia	17
	1.4 Relevo	17
	1.5 Hidrografia	17
	1.6 Cobertura Vegetal	18

	Página
1.7 Clima	18
2.0 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	20
2.1 Área de Drenagem	20
2.2 Forma da Bacia	20
2.2.1 Índice de Gravelius	20
2.2.2 Índice de Conformação	21
2.3 Declividade	21
2.4 Altitude Média da Bacia	22
CAPÍTULO IV	
DESENVOLVIMENTO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO	26
1.0 LEVANTAMENTO DOS DADOS	26
2.0 TÉCNICA DO HIDROGRAMA UNITÁRIO	28
2.1 Unidade de Escoamento e Duração da Chuva	28
2.2 Tempo de Duração do Escoamento Superficial para uma Precipitação Unitária	29
3.0 CÁLCULO DOS HIDROGRAMAS UNITÁRIOS	29
3.1 Desenvolvimento dos Cálculos	34
4.0 DETERMINAÇÃO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO FINAL	62
4.1 Uniformização dos Períodos Unitários	62
CAPÍTULO V	
ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
1.0 SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	67
2.0 ESTUDO DE SENSIBILIDADE DO HIDROGRAMA UNITÁRIO	68
3.0 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS APLICÁVEIS PARA O ESTABELECIMENTO DOS	

	Página
COEFICIENTES DE ESCOAMENTO DESTE ESTUDO	75
CAPÍTULO VI CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	83
BIBLIOGRAFIA	85

CAPÍTULO I

I N T R O D U Ç Ã O

É fundamental o conhecimento dos recursos hídricos disponíveis em uma região, quando se pretende aproveitá-los em Projetos de Irrigação, em Aproveitamentos Hidroelétricos e em Abastecimento d'Água, etc.

Entre os possíveis estudos hidrológicos, o estabelecimento do relacionamento entre precipitação e escoamento superficial ocupa lugar de destaque, por possibilitar uma avaliação da disponibilidade de água da bacia, utilizando os dados de precipitação. Este relacionamento pode ser obtido de diversas maneiras, de acordo com a finalidade e dados existentes. Uma delas consiste na correlação entre a precipitação e o escoamento direto, cujos resultados apresentam grande margem de erros.

Uma boa precisão é conseguida pelo método do Hidrograma Unitário, o qual possibilita a determinação da vazão de pico, bem como a seqüência de vazões (observadas na secção de medição), provocadas por uma certa precipitação. Este método é baseado na teoria proposta inicialmente por SHERMAN (13) e posteriormente aperfeiçoada por outros estudiosos (1), que verificaram a obtenção de bons resultados na maioria dos casos

práticos.

O estudo aqui desenvolvido pretende estabelecer o Hidrograma Unitário na Bacia do Rio Mamuaba, secção Fazenda Mamuaba, com base em dados pluviométricos e linimétricos.

A importância deste trabalho está ligada ao pequeno número de pesquisas hidrológicas existentes no Nordeste, bem como ao caráter representativo que a Bacia tem para o litoral paraibano, conforme critério da SUDENE e ORSTOM (10). Além disso, a referida Bacia acha-se entre aquelas que futuramente virão complementar o abastecimento d'água da cidade de João Pessoa.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.0 GENERALIDADES

Um gráfico mostrando variação de cota, velocidade ou outras propriedades com respeito ao tempo, é conhecido como hidrógrafo. No entanto, é comum chamar de hidrógrafo ou hidrograma o gráfico que relaciona a descarga com o tempo, o qual representa a distribuição do escoamento total de um rio a uma certa estação de medição. O hidrograma pode ser visto, ainda, como uma expressão integral das características fisiográficas e climáticas, que governa as relações entre precipitação e escoamento de uma dada bacia de drenagem.

Um hidrograma simples típico consiste de 3 partes: um ramo ascendente, um máximo, e um ramo descendente, onde a forma do ramo ascendente é influenciada principalmente pelo caráter de precipitação que originou a elevação.

2.0 MÉTODOS DE ANÁLISE DE HIDROGRAMAS

Desde o momento em que FOLSE (1) apresentou as idéias para a separação do escoamento de base, cálculo das perdas

por infiltração e determinação das constantes físicas em 1929, inúmeros métodos de análise do hidrograma têm sido desenvolvidos, com o objetivo de relacionar a precipitação e a distribuição de escoamento superficial para precipitações isoladas.

Na prática, comprovou-se que este relacionamento sofre influência de diversos parâmetros de difícil determinação, o que torna o estudo bastante complexo.

A seguir é feita uma breve descrição de alguns dos métodos desenvolvidos com este objetivo.

2.1 Método do Hidrograma Unitário

Em 1932, SHERMAN (8,15), baseado na análise de fluviogramas de escoamento superficial referentes a diversas cheias em diferentes cursos d'água, comprovou uma certa regularidade na sucessão das vazões de enchente e pôde assim, através de leis gerais essencialmente empíricas, traduzir as considerações básicas que constituem a bem conhecida Teoria do Hidrograma Unitário, chamado originalmente "Teoria Unitária".

O hidrograma unitário de uma bacia de drenagem é definido como sendo o hidrograma de escoamento superficial provocado por uma precipitação efetiva de 1 cm, distribuída uniformemente em toda a área da bacia e intensidade uniforme, em um período de tempo ou duração especificado. SHERMAN (1), originalmente, usou o termo "Unitário" para especificar o período de tempo, ou "Unidade de Tempo" da precipitação efetiva. Mais tarde, porém, o termo "Unitário" foi interpretado diferentemente e passou-se a usá-lo como referindo-se a uma precipitação efetiva de "Altura Unitária", tendo-se tornado, a seguir, de uso geral.

Em sua teoria, SHERMAN (13) classificou o escoamento como sendo proveniente apenas do escoamento superficial e

da contribuição do lençol subterrâneo (admitindo-se aqui que a contribuição do escoamento sub-superficial e a vazão proveniente da precipitação sobre o canal do rio fazem parte do escoamento superficial), por serem estes os elementos formadores do fluviograma de uma onda de cheia.

O escoamento superficial, pela sua maior velocidade, prepondera na formação das enchentes, o que torna conveniente o estudo em separado do fluviograma deste tipo de escoamento, para o qual SHERMAN (15) definiu a Teoria do Hidrograma Unitário.

Esta teoria é constituída pela já citada definição e pelas considerações abaixo:

a. A precipitação efetiva é uniformemente distribuída no período de tempo especificado (Tempo Unitário);

b. A precipitação efetiva é uniformemente distribuída em toda a área da bacia de drenagem;

c. A base ou tempo de duração do hidrograma de escoamento superficial, devido a uma precipitação efetiva de duração unitária, é constante;

d. As ordenadas do hidrograma do escoamento superficial de uma mesma base são diretamente proporcionais ao escoamento superficial total, representado por cada hidrograma;

e. Para uma dada bacia de drenagem, o hidrograma de escoamento, devido a uma precipitação ocorrida em um dado período, reflete as características físicas da bacia.

As considerações acima não podem ser satisfeitas, a rigor, nas condições naturais de precipitação e da bacia de drenagem. Assim, para que seja viável a utilização deste método

do, devem-se selecionar cuidadosamente os dados hidrológicos a serem utilizados na análise do hidrograma unitário, de maneira que eles se aproximem das considerações exigidas. Os resultados obtidos pela Teoria do Hidrograma Unitário são aceitáveis na maioria dos problemas práticos.

As considerações acima citadas poderiam ser interpretadas da seguinte maneira:

A precipitação para a análise deveria ser de curta duração, pois a probabilidade de que a mesma tenha intensidade constante no período unitário considerado, é maior. Para áreas muito grandes, dificilmente uma precipitação é distribuída uniformemente em toda a bacia, tornando assim duvidoso o uso daquele método. A base do hidrograma do escoamento superficial é desconhecida e depende do processo utilizado na separação do escoamento de base. Neste método é utilizado o conhecido Princípio da Linearidade, Princípio da Superposição ou da Proporcionalidade, e desde que as ordenadas do escoamento superficial são também mutuamente proporcionais, podem ser superpostas numericamente em proporção ao escoamento superficial total. A teoria convencional do Hidrograma Unitário, baseada no Princípio da Linearidade, é conhecida como "Teoria Linear do Hidrograma Unitário", ao contrário da Teoria Não Linear que trata do hidrograma unitário independentemente desta consideração. Para concluir, citamos o Princípio da Invariância do tempo, segundo o qual o hidrograma de escoamento superficial de uma bacia de drenagem, devido à precipitação efetiva de uma chuva padrão (unitária), é o mesmo, qualquer que seja o tempo em que a precipitação tenha ocorrido. Esta condição e a da linearidade são os princípios fundamentais da Teoria do Hidrograma Unitário. Outras considerações são feitas por conveniências práticas, não sendo, no entanto, essenciais do ponto de vista fundamental e teórico.

2.1.1 Análise do Hidrograma Unitário

O hidrograma unitário pode ser derivado de um ou vários hidrogramas observados. Selecionado um hidrograma para análise, é necessário considerar cuidadosamente que as considerações envolvidas na Teoria do Hidrograma Unitário sejam satisfeitas, tão bem quanto possível. Como já foi citado, o ideal seria que o hidrograma escolhido para a determinação do hidrograma unitário fosse proveniente de uma precipitação isolada, intensa, de curta duração e distribuída uniformemente no espaço e no tempo. Na prática, no entanto, isto é muito difícil de se conseguir. Somos, então, levados a derivar os hidrogramas unitários de hidrogramas com precipitações complexas, onde a duração das mesmas é superior ao tempo unitário estabelecido.

Baseados no que foi dito acima, podemos afirmar que o hidrograma unitário pode ser obtido por dois métodos diferentes, onde a utilização de um deles está condicionada aos dados disponíveis. O método mais simples e direto consiste em desenvolver o hidrograma unitário a partir da análise de precipitações isoladas, com duração aproximadamente unitária, podendo, segundo LINSLEY (5,6) variar 25% em torno da aquele valor, sem afetar a precisão desejada. O segundo método é utilizado quando da impossibilidade de se usar o anterior, e consiste, como já foi dito, em derivar o hidrograma unitário a partir de hidrogramas de precipitações complexas. Neste método, várias técnicas são utilizadas para obter o hidrograma, destacando-se o das Aproximações Sucessivas e Mínimos Quadrados.

Qualquer que seja a técnica utilizada, o hidrograma unitário é comumente ajustado por tentativas, de maneira que ele pode ser utilizado para calcular o hidrograma de grandes cheias, ocorridas a partir da precipitação excessiva estimada.

Desejando-se um resultado mais representativo, o hidrograma unitário calculado deve ser a média de vários hidrogramas unitários originados de diferentes hidrogramas observados, que somados ao senso e à experiência do hidrólogo, possibilitará a obtenção de bons resultados.

No presente trabalho, utilizamos a técnica de vida a COLLINS (1) para a determinação do hidrograma unitário proveniente de fluviogramas complexos, cuja técnica consta, essencialmente, das seguintes etapas:

a. Arbitra-se um hidrograma unitário e sobre ele aplicam-se todos os blocos de precipitação efetiva do hidrograma, exceto a maior;

b. Subtrai-se do hidrograma total, os hidrogramas obtidos no passo anterior;

c. Escreve-se este resultado em forma de hidrograma unitário;

d. Compara-se este hidrograma com o arbitrado inicialmente; se os valores são aproximadamente iguais, este é o hidrograma unitário procurado. Caso contrário,

e. Calcula-se a média daqueles hidrogramas e usa-se este resultado na próxima tentativa;

f. Repete-se os 5 passos iniciais até que o hidrograma unitário calculado não diferencie consideravelmente daquele utilizado para este cálculo.

Dispondo-se de dados que possibilitem a utilização deste método, verifica-se que o mesmo se apresenta, na maioria dos casos práticos, como sendo a maneira mais prática

de se determinar o hidrograma unitário.

2.2 Hidrograma Unitário Sintético (4,7)

Do item anterior sabe-se que o hidrograma unitário é uma constante da bacia hidrográfica e que o escoamento superficial desta é influenciado por suas propriedades. Conseqüentemente, o hidrograma também o é. Diversas são as características físicas de área drenada, as quais, em maior ou menor grau, influenciam as condições de escoamento e estão relacionadas com a forma final do hidrograma unitário. Tendo em vista este fato e a necessidade de se estabelecerem relações hidrológicas em bacias com deficiência de medições, idealizou-se o estudo do Hidrograma Unitário Sintético, independente da existência de dados hidrológicos.

As características físicas que se admite terem influência na forma do fluviograma de uma dada precipitação, são: área, declividade, dimensão e rugosidade do canal, densidade de drenagem e forma, sendo ainda considerados o recobrimento vegetal, o tipo de solo e a capacidade de acumulação temporária do volume escoado.

Diversos métodos foram estabelecidos, baseados nos estudos de SHERMAN & BERNARD (1), para obter hidrogramas sintéticos. Todos eles, no entanto, obedecem, de maneira geral, a uma sistemática semelhante à enunciada abaixo:

a. A seleção das características físicas da bacia hidrográfica a serem consideradas e definição quantitativa das mesmas;

b. Seleção das diversas bacias em que se podem definir aquelas características, abrangendo uma certa gama de variação;

c. Estudo de correlações entre as características físicas e a configuração das ondas de cheia observadas nas diversas bacias;

d. Seleção e representação gráfica ou matemática das correlações mais significativas.

A seguir será descrito o Método de SNEYDER, por ser um dos mais conhecidos.

2.2.1 Método de SNEYDER (7)

O primeiro conjunto de equações, mostrando os elementos do hidrograma unitário baseado nas características da bacia de drenagem, foi estabelecido em 1938. Este estudo limitou-se a bacias com áreas superiores a 25,6 quilômetros quadrados e inferiores a 25.600,0 quilômetros quadrados, localizadas nas Montanhas Apalaches. Para uma duração de precipitação efetiva (t_r), as equações para o tempo de retardamento, vazão máxima e base do hidrograma ou duração total de escoamento, são, respectivamente

$$t_r = \frac{C_t}{1,33} (L \cdot L_a)^{0,3} \quad (2.1)$$

onde

$$t_r = \frac{t_p}{5,5} \quad (2.2)$$

$$Q_p = 2,76 C_p \frac{A}{t_p} \quad (2.3)$$

e

$$t = 3 + 3 \left(\frac{t_p}{24} \right) \quad (2.4)$$

nas quais

- t_p = tempo de retardamento da bacia em horas (intervalo de tempo entre o centróide da duração da precipitação efetiva, igual a $t_p/5,5$, e a vazão de pico do hidrogrma resultante);
- L = comprimento da bacia em Km, ao longo do canal principal até a estação de medição que limita a bacia à jusante;
- L_a = comprimento em Km, ao longo do canal principal da estação de medição até o centróide da área da bacia;
- C_t = coeficiente que, para as bacias estudadas, apresentou um valor médio = 2,0;
- Q_p = vazão de pico do Hidrograma Unitário, em metros cúbicos por segundo;
- C_p = coeficiente numérico que, para as bacias estudadas, tem valor médio de 0,625;
- t = tempo de base do hidrogrma unitário, em dias.

Para precipitações com duração (t_R) superior a estabelecida anteriormente, t_p , o ajuste do tempo de retardamento pode ser substituído nas equações 2 e 3 para

$$t'_p = t_p + 0,25 (t_R - t_p) \quad (2.5)$$

na qual

- t'_p = tempo de retardamento, em horas, para uma precipitação excessiva com duração igual a t_R horas.

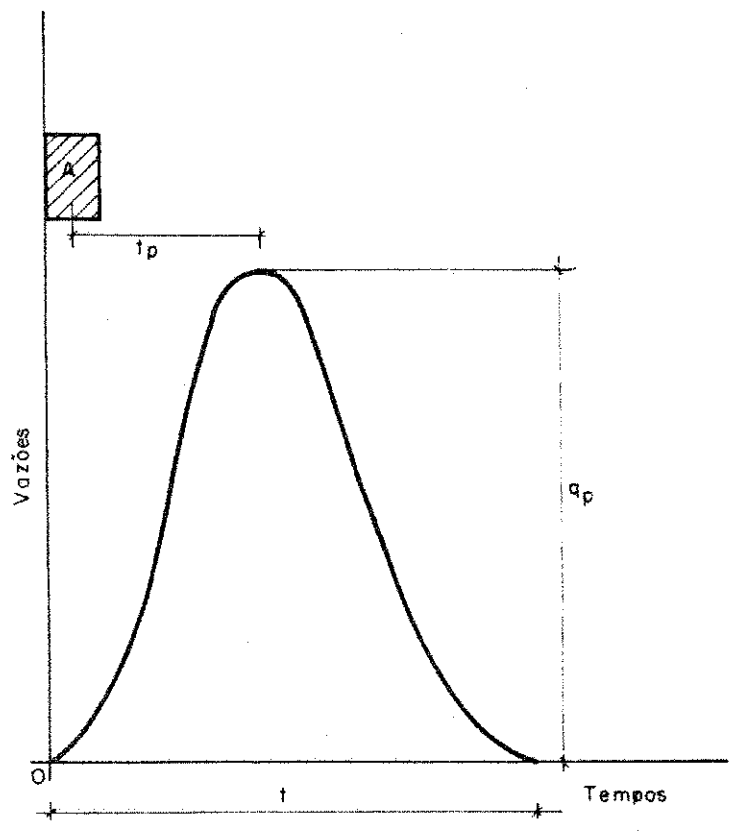
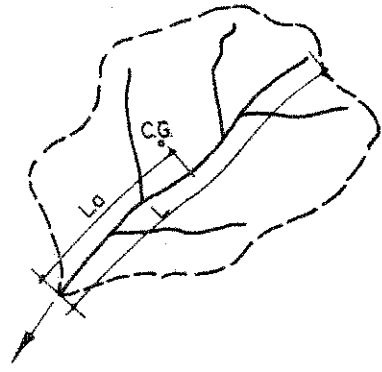


Fig. 1 - Método de Snyder. Representação gráfica das variáveis

O intervalo de tempo, desde o começo da precipitação efetiva de duração t_r até o pico do hidrograma resultante (período de subida), pode ser obtido pela combinação das equações 2.2 e 2.5

$$t_p = \frac{21t_p}{22} + 0,75 t_r \quad (2.6)$$

Com os valores t_p e t conhecidos, o hidrograma unitário deve ser esboçado a julgamento. Ele é construído de maneira que a área sobre a curva V_1 é igual ao volume unitário (1 cm) de escoamento sobre a área drenada.

Como já foi citado, grande é o número de métodos desenvolvidos com base nas características físicas da bacia, podendo-se enumerar os estudos de BERNARD, McCARTHY, SNYDER, CLARCK, TAYLOR & SCHWARZ, COMMONS, U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE, MITCHELL, GETTY e outros (1,5,6,7,13).

Estes métodos, como outros hidrogramas unitários sintéticos, apresentam, em certos casos, valores bastante diferentes dos reais, como foi comprovado por MORGAN & JOHNSON (7) num estudo comparativo realizado em 12 bacias diferentes, utilizando os métodos de SNYDER, COMMON, MITCHELL e do SOIL CONSERVATION SERVICE (Tabela 2.1).

2.3 Hidrograma Unitário Instantâneo (12)

O Hidrograma unitário instantâneo é definido como o hidrograma de escoamento superficial na saída de uma bacia, quando uma precipitação efetiva é instantaneamente aplicada de maneira uniforme sobre toda a bacia, ou melhor, como um hidrograma unitário de duração infinitesimal. Sendo o hidrograma unitário instantâneo independente do tempo de duração e da distribuição da precipitação efetiva, o hidrograma do escoamento superficial direto pode ser obtido pela aplicação da in

tegral

$$Q_t = \int_0^{t_1} U_{(t-r)} i_{(r)} dr \quad (2.7)$$

na qual

- Q_t = escoamento superficial num tempo t , após o começo da precipitação efetiva;
 $U_{(t-r)}$ = ordenada do Hidrograma Unitário Instantâneo no momento $t-r$, a partir da origem;
 r = variável tempo $0 \leq r \leq t_e$, onde t_e é a duração da precipitação efetiva no tempo r , desde o começo da precipitação efetiva;
 t_1 = t para $t \leq t_e$ e $t_1 = t_e$ para $t \geq t_e$.

A maior vantagem deste hidrograma, em comparação com o hidrograma unitário, é que ele é independente da duração da precipitação efetiva, sendo, no entanto, sua determinação numérica muito mais trabalhosa que a do hidrograma unitário, além de exigir maior número de dados para sua determinação.

TABELA 2.1

VAZÃO DE PICO : BASEADO NAS CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE DRENAGEM

a. Cálculo do pico de cheia, em pés cúbicos por segundo

BACIA	VALOR REAL	SNYDER	SCS	COMMONS	MITCHEL
1	1040	900	2260	2110	1580
2	2530	1390	3110	2920	2200
3	1570	1430	3110	2970	2510
4	1700	1650	3360	3150	2650
5	4010	2260	3790	3550	2800
6	1280	1710	3810	3580	2870
7	9350	2870	4340	4090	3320
8	4920	2500	4380	4120	3380
9	2140	3010	4280	4020	3480
10	9430	3230	4610	4330	3590
11	5730	3330	4530	4250	3710
12	5740	3850	4850	4540	4090

b. Variação do valor real, em percentagem

BACIA	VALOR REAL	SNYDER	SCS	COMMONS	MITCHEL
1	-	-13	117	103	52
2	-	-45	23	15	13
3	-	- 9	101	89	60
4	-	- 3	98	85	56
5	-	-44	- 5	- 11	- 30
6	-	34	198	180	124
7	-	-69	- 54	- 56	- 64
8	-	-49	- 11	- 16	- 31
9	-	41	100	88	63
10	-	-66	- 51	- 54	- 62
11	-	-42	- 21	- 26	- 35
12	-	-33	- 16	- 21	- 29

(Ref. 7 - pág. 216)

CAPÍTULO III

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

É conhecida a complexidade do fenômeno da propagação das ondas de cheia no curso d'água de uma bacia, o qual depende de vários fatores ligados às condições geográficas e geológicas da bacia.

No presente capítulo é encontrada a descrição da Bacia em estudo, bem como algumas de suas características físicas, com o objetivo de relacionar algumas informações básicas a seu respeito.

1.0 DESCRIÇÃO DA BACIA

1.1 Localização e Superfície

O Sistema Hidrográfico em estudo compreende a Bacia do Rio Mamuaba, desenvolvendo-se na zona da mata do litoral paraibano, à sudeste da cidade de João Pessoa, entre as paralelas $7^{\circ}14'$ e $7^{\circ}22'$ - Sul, e entre as meridianas $34^{\circ}00'$ e $34^{\circ}08'$ a Oeste de Greenwich. Os limites naturais de sua bacia de drenagem são: Rio Mumbaba ao norte e oeste, e o Rio Gramame ao sul e leste.

Até a secção de medida, Fazenda Mamuaba, a Bacia ci
tada apresenta uma área de 115,30 Km².

1.2 Rede Hidrométrica

Como pode ser visto na Tabela 3.1, a rede hidrométrica desta Bacia é constituída de:

- a. Cinco pluviômetros (P), tendo outros 5 de bacias com áreas de influência nesta;
- b. Dois pluviógrafos (PG) e
- c. Uma estação fluviométrica (LG).

1.3 Geologia

Sob o ponto de vista taxonômico, a Bacia de Mamuaba apresenta uma associação de Podzólico vermelho e amarelo, va
riação acinzentada com frangipan, textura indiscriminada, fase cerrado, relevo plano e Podzólico hidromórfico, fase cerrado e relevo plano.

1.4 Relevo

A Bacia apresenta um desenvolvimento acidentado, com variação média de 50 metros nos trechos de cabeceira e uma su
cessão suavemente ondulada nos trechos de baixa energia. (Vi
de 2.0 - Características Físicas).

1.5 Hidrografia

O curso principal, e mesmo os afluentes de desenvolvimento considerável são perenes, observando-se, porém, à medida que se aproxima da parte ocidental da Bacia, um certo número de subafluentes intermitentes que não resistem aos períodos mais longos de estiagem.

Na Bacia em estudo, podemos considerar os principais afluentes:

Riacho Mundo Novo
Riacho Fundo
Rio do Buraco
Rio Vermelho
Riacho Riachinho

1.6 Cobertura Vegetal

Podem-se citar 3 tipos de vegetação característica: Mata, Cerrado, e Cultura de Cana e Mandioca.

A repartição dessa vegetação pode ser distribuída a proximadamente, segundo os valores mostrados a seguir:

Cultura - 25%
Cerrado - 40%
Mata - 35%

1.7 Clima

Segundo KOEPPEN (3), o clima da região é do tipo "AS", que caracteriza um clima úmido, com chuvas predominantes no outono e no inverno. Pode ser classificado, também, segundo a metodologia do Professor MARTONE (3), como tropical úmido (TU), com índice de aridez igual a 57, próprio de uma região seca em cursos d'água.

Com relação ao regime pluviométrico, observa-se que, nessa zona, as chuvas ocorrem no primeiro semestre do ano. A estação seca se estende de agosto a fevereiro, sendo, portanto, de maior duração que a estação chuvosa, a qual se reduz, praticamente, a 5 meses: março, abril, maio, junho e julho, constituindo-se como o mês mais chuvoso, o de maio ou de junho.

TABELA 3.1
 DESCRIÇÃO DOS POSTOS

CÓDIGO	NOME LOCAL	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE	BACIA
PG2	Faz. Mamuaba	Alhandra	7°15'53''	34°59'53''	Mamuaba
PG4	Jangada	Pedras de Fogo	7°20'04''	35°05'00''	Mamuaba
P9	Faz. Fazendinha	Pedras de Fogo	7°18'12''	35°09'07''	Mumbaba
P10	Eng. Mamuaba	Pedras de Fogo	7°17'37''	35°05'58''	Mamuaba
P11	Faz. Sta. Emília	Pedras de Fogo	7°22'38''	35°07'15''	Gramame
P13	Riacho do Salto	Alhandra	7°16'15''	35°02'15''	Mamuaba
P14	Várzea Cercada	Alhandra	7°20'00''	34°59'45''	Gramame
P15	Faz. Imbiribeira	Pedras de Fogo	7°16'30''	35°03'15''	Mamuaba
LG	Faz. Mamuaba	Pedras de Fogo	7°15'53''	34°59'53''	Mamuaba
P3	Santa Rita	Santa Rita	7°11'30''	35°01'55''	Mumbaba
P8	Faz. Imbé	Pedras de Fogo	7°15'39''	35°07'33''	Mumbaba

2.0 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

2.1 Área de Drenagem

A projeção horizontal da Bacia foi planimetrada em um mapa na escala 1:30.000, tendo-se obtido a área de 115,30 Km².

2.2 Forma da Bacia

Este elemento diz respeito ao tempo de concentração da bacia, ou seja, tempo necessário para que toda a bacia contribua na secção em estudo, a partir do início da precipitação.

Em geral, determina-se a forma das bacias relacionando-as com formas geométricas conhecidas. Aqui, à título de informação, determina-se o Índice de Compacidade de Gravelius (Kc) - onde a Bacia em estudo é relacionada com uma outra de forma circular e de mesma área - e o Fator de Forma (Kf), no qual a relação da Bacia é feita como retângulo também de mesma área.

2.2.1 Índice de Gravelius (14)

Este índice é definido como sendo a relação entre o perímetro da bacia e o da circunferência de mesma área.

$$K_c = \frac{P}{2\pi r} \quad (3.1)$$

onde

P = perímetro da bacia

r = raio da circunferência

A = área da bacia e da circunferência

$$K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3.2)$$

$$P = 45,00 \text{ Km}$$

$$A = 115,30 \text{ Km}^2$$

$$K_c = 1,17$$

2.2.2 Índice de Conformação

Definido como sendo a relação entre a largura média da bacia e o comprimento do seu eixo, o índice de conformação (K_f) desta Bacia foi de 0,40.

2.3 Declividade

Sabe-se que a velocidade de escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, influenciando, assim, no tempo que leva a água da chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem a rede de drenagem das bacias.

A declividade média da bacia foi calculada pelo critério de MARCEL ROCHE (11), segundo o qual a mesma será determinada a partir do retângulo equivalente da bacia, pela relação entre o desnível total da bacia hidrográfica e o comprimento do retângulo equivalente:

$$S = \frac{d}{L_r} \quad (3.3)$$

S = declividade média da bacia

d = desnível total da bacia hidrográfica

L_r = comprimento do retângulo equivalente

O Conceito do Retângulo Equivalente consiste numa transformação geométrica do contorno da bacia em um retângulo que tenha o mesmo perímetro, a mesma área, o mesmo coeficiente de compacidade e a mesma distribuição hipsométrica da ba

cia original.

Sejam L_p e l_p , o comprimento e a largura do retângulo equivalente (11), respectivamente. Então, para

$$K_c = 1,17 \text{ temos,}$$

$$L_p = 14,46 \text{ Km}$$

$$l_p = 7,97 \text{ Km}$$

Daqui podemos concluir da equação 3.3 que:

$$S = \frac{185-23}{14,46} \cdot \frac{162}{14,46}$$

$S = 11,20 \text{ m/Km}$, que representa uma declividade moderada.

2.4 Altitude Média da Bacia

Pode-se determinar a altitude média da bacia pelo traçado da curva hipsométrica (Fig. 2), que representa o estudo da variação de elevação dos vários terrenos da bacia, com referência ao nível médio do mar (2).

Os passos utilizados no cálculo desta curva encontram-se na tabela 3.2.

Desta tabela plota-se a curva hipsométrica, que permite a determinação das altitudes representativas da bacia.

Para o cálculo da altitude média, planimetra-se a área limitada pela curva hipsométrica e os eixos coordenados, constituindo-se um retângulo de área equivalente a esta. A altura do retângulo é a elevação média.

$$A_p = 69,0 \text{ cm}^2$$

$$b = 15 \text{ cm}$$

$$h = \frac{69}{15}$$

$$h = 4,60 \text{ cm}$$

sendo,

A_p = área da curva hipsométrica

b = base do retângulo, na abscissa

h = altitude média (altura do retângulo)

Da curva hipsométrica, podemos determinar:

a altitude máxima - 230,00 m

a altitude mínima - 10,00 m

a altitude média - 100,00 m

a altitude mediana - 102,00 m

TABELA 3.2
CURVA HIPSOMÉTRICA

COTAS m	PONTO MÉDIO m	ÁREA Km ²	ÁREA ACUMULADA	% ÁREA ACUMULADA
230-210	220	0,02	0,02	0,02
210-190	200	1,04	1,06	0,92
190-170	180	4,72	5,78	5,01
170-150	160	8,85	14,63	12,69
150-130	140	11,67	26,30	22,81
130-110	120	20,28	46,58	40,40
110-90	100	23,71	70,29	60,96
90-70	80	22,85	93,14	80,78
70-50	60	13,10	160,24	92,14
50-30	40	7,84	114,08	98,94
30-10	20	1,22	115,30	100,00

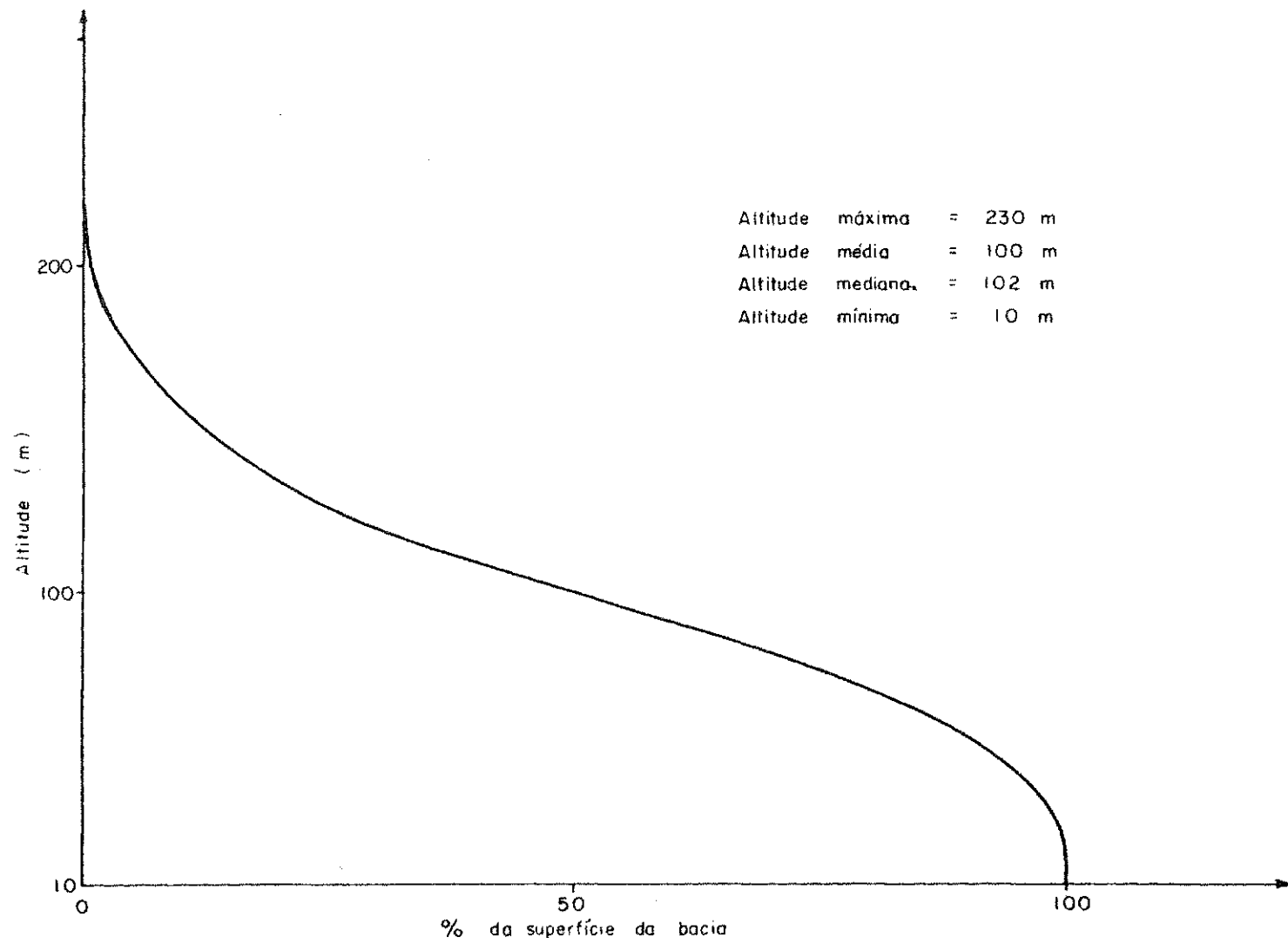


Fig. 2 - Curva hipsométrica

CAPÍTULO IV

DESENVOLVIMENTO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO

A teoria do Hidrograma desenvolvida anteriormente, terá aqui sua aplicação empenhada em resolver o problema por nós proposto, ou seja, o desenvolvimento do Hidrograma Unitário da Bacia do Rio Mamuaba na secção Fazenda Mamuaba, onde se acha instalada a estação pluviométrica.

1.0 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Na realização deste trabalho utilizaram-se dados pluviométricos, pluviográficos e linigráficos, referentes aos anos de 1972, 1973 e 1974.

Na preparação destes dados, seguiu-se a seguinte sequência de trabalho:

a. Coleta dos dados básicos, onde se procurou organizar, em tabelas, todos os dados pluviométricos e linimétricos;

b. Determinação da precipitação média, utilizando-se o método de THIESSEN (10). (Ver Tabela 4.1);

c. Relacionamento entre a cota (linigrama) e descarga para os hidrogramas aqui estudados. Este relacionamento foi obtido da Tabela de Calibragem elaborada anteriormente pelo Professor VÁCLAV ELIÁS, no Relatório de Situação Atual do Estudo Hidrológico enviado à CAGEPA, em julho de 1973;

d. Preenchimento das falhas dos dados pluviométricos e homogeneização dos mesmos. O preenchimento de falhas e a homogeneização foram feitos admitindo-se haver uma relação aritmética entre os postos com falha e seus vizinhos, desde que a precipitação fosse praticamente uniforme em toda a bacia;

e. Desenho dos hidrogramas observados, baseado no registro contínuo dos níveis d'água (linigramas) e na Tabela de Calibragem (Tabela 4.2);

f. Desenho dos hietogramas (alturas de chuva) para cada 3 ou 6 horas. Estes dados foram obtidos dos pluviogramas, onde se observa um registro contínuo da precipitação ocorrida.

Baseado nos resultados conseguidos, selecionaram-se os hidrogramas utilizados na determinação do Hidrograma Unitário, os quais correspondem aos períodos abaixo relacionados:

1º período: 05.07.72 a 09.07.72

2º período: 24.06.73 a 27.06.73

3º período: 23.05.74 a 26.05.74

4º período: 14.07.74 a 18.07.74

5º período: 31.07.74 a 03.08.74

O desenvolvimento do Hidrograma Unitário para 5 hidrogramas diferentes, prende-se ao fato de que uma única precipitação não deriva um Hidrograma Unitário suficientemen

te representativo da bacia. Dos 5 hidrogramas obtidos procura-se estabelecer o Hidrograma Unitário final (Médio), que se baseia nestes e na experiência do engenheiro.

2.0 TÉCNICA DO HIDROGRAMA UNITÁRIO

As etapas seguidas, no que se refere à técnica utilizada neste trabalho, são descritas detalhadamente nos itens seguintes.

2.1. Unidade de Escoamento e Duração da Chuva

Para o Hidrograma Unitário em estudo, utilizaremos a unidade de escoamento superficial comumente adotada, que é de 1 cm.

Baseado nos princípios que regem a Teoria do Hidrograma Unitário, sabemos que os estudos comparativos entre diversos hidrogramas unitários só poderão ser efetuados quando os mesmos derivarem de precipitações de igual tempo de duração. Este é denominado "Período Unitário" ou "Tempo Unitário", que, uma vez escolhido, deve ser conservado constante, durante os estudos para a obtenção do hidrograma unitário. Pelo supracitado, entende-se que, para cada diferente duração de chuva, deve-se estabelecer um hidrograma unitário independente; na prática, no entanto, comprovou-se que o efeito das pequenas diferenças na duração não é grande, podendo-se, sem erros consideráveis, aceitar uma tolerância de mais ou menos 25% (5,6) da duração estabelecida. Pode-se ainda estabelecer um hidrograma unitário para um curto período de chuva e a partir deste, desenvolver hidrogramas para precipitações de maior duração. A escolha do período unitário depende, principalmente, da ordem de grandeza da bacia hidrográfica. SHERMAN (13) comprovou, na prática, esta afirmação e recomenda os seguintes valores:

Para a área da bacia hidrográfica, Km ²	Período Unitário
superior a 2600	12 a 14
260 a 2600	6, 8 ou 12
50	2

No entanto, LINSLEY, KOHLER & PAULHUS (5,6) afirmam que o período unitário deve ser fixado em aproximadamente a quarta parte do tempo de retardamento (t_r) da bacia, sendo este definido como o intervalo de tempo entre os centros de massa do volume precipitado e do escoamento resultante, t (Fig. 3), medido nas abscissas do hidrograma em estudo.

No presente trabalho obteve-se $t_r = 25$ horas, implicando um período unitário de 6 horas, calculado de acordo com o critério supracitado (Fig. 3). O tempo unitário pode variar, segundo SHERMAN, de 2 a 6 horas. É desenvolvido neste trabalho o Hidrograma Unitário de 6 horas e a partir deste, obtido o Hidrograma Unitário de 3 horas.

2.2 Tempo de Duração do Escoamento Superficial para uma Precipitação Unitária

O tempo base do escoamento superficial permanece relativamente constante de uma precipitação à outra de igual duração. Em nosso caso, verificou-se que o tempo base é de aproximadamente 48 horas para um período unitário de 6 horas.

3.0 CÁLCULO DOS HIDROGRAMAS UNITÁRIOS

Para a obtenção do Hidrograma Unitário relativo a cada precipitação, obedeceu-se à seqüência de cálculos abaixo discriminada:

a. Cálculo do Volume de Água Precipitado sobre a Bacia.

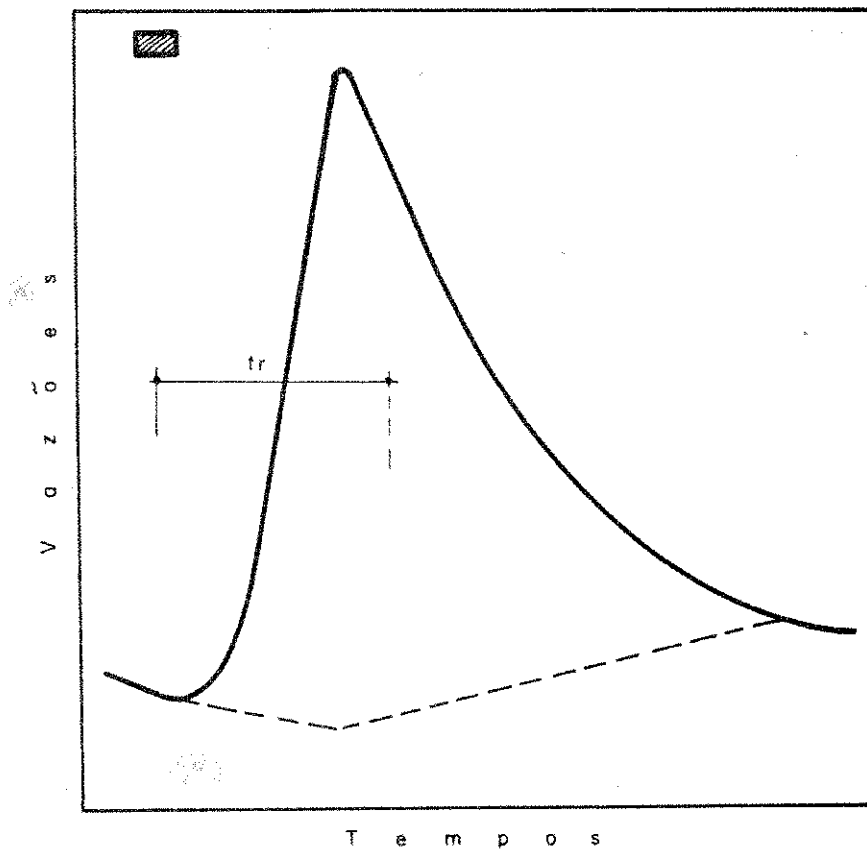


Fig. 3 - Tempo unitário

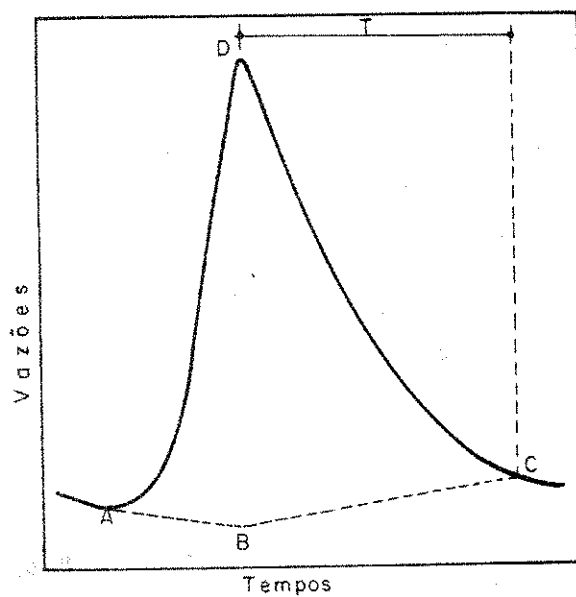


Fig 4 - Separação da contribuição subterrânea

Segundo o critério de THIESSEN (2), pode-se calcular a altura média precipitada (hm) em uma bacia, adotando-se pesos aos fatores precipitados em cada pluviômetro proporcionais à área de influência de cada um, determinando-se, a seguir, a média ponderada

$$hm = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (4.1)$$

sendo

P_i = total precipitado em um pluviômetro
 A_i = área de influência do pluviômetro

donde concluímos que o volume de água precipitado (V_p) sobre a bacia, será o produto da altura média precipitada (hm), multiplicado pela área da bacia (A).

$$V_p = hm \times A \quad (4.2)$$

b. Cálculo do Volume Escoado Superficialmente

Segundo o método de SHERMAN (1), no cálculo do hidrograma Unitário apenas o escoamento superficial é considerado. Daí a necessidade de se estabelecer uma separação entre o hidrograma de escoamento superficial e aquele proveniente da alimentação subterrânea.

Vários são os processos utilizados com este objetivo, pois devido à complexidade do problema, dificulta a obtenção de uma solução exata. Uma vez que a base do hidrograma é muito variável e sofre influência de fatores incontrolláveis, e ainda por ser pequena a parcela com que a descarga subterrânea

nea contribui para grandes cheias, é conveniente a utilização de técnicas simples, que se têm mostrado bastante boas na efetivação de trabalhos práticos. Na análise dos hidrogramas, de vemos considerar que o tempo de base do escoamento superficial permanece relativamente constante para as diversas precipitações analisadas.

O procedimento de análise mais empregado e que utilizamos neste trabalho, consiste em prolongar a recessão existente da precipitação anterior até um ponto abaixo da crista do hidrograma (AB, Fig. 4), e a partir deste ponto, traçar-se uma reta até o ponto C da curva, T dias depois do máximo (Fig. 4). Pode-se tomar para este ponto o de máxima curvatura próximo da extremidade mais baixa do ramo de recessão do hidrograma (DC). Uma vez feita a separação dos escoamentos, planeja-se a área correspondente ao escoamento superficial, que multiplicada pela escala utilizada no hidrograma, dá-nos o volume escoado superficialmente.

c. Cálculo do Coeficiente Médio de Escoamento

O coeficiente médio de escoamento (C_m) é definido, neste método, como sendo a relação entre o volume escoado (V_e) e o volume precipitado (V_p).

$$C_m = \frac{V_e}{V_p} \quad (4.3)$$

Este coeficiente é assim chamado por referir-se à precipitação de vários períodos unitários sucessivos e seu escoamento superficial correspondente, enquanto que o coeficiente de escoamento passará a referir-se a uma relação entre precipitação de período unitário e seu escoamento correspondente.

d. Adoção dos Coeficientes de Escoamento para cada

Precipitação Unitária

Tendo sido os hidrogramas analisados provenientes de chuvas complexas, e ainda devido a total ausência de dados de infiltração, fez-se necessário o uso de técnicas que permitissem arbitrar a precipitação efetiva (parte da precipitação que escoou superficialmente até a secção de medida) para cada período unitário de uma chuva complexa. Sabe-se que

$$C = \frac{V_e}{V_p} \dots C = \frac{P_e A}{H_m A} \dots C = \frac{P_e}{h_m}$$

Para fluviogramas complexos,

$$P_e = \sum_{i=1}^n P_{e_i} = \sum_{i=1}^n C_i h_i \quad (4.4)$$

sendo

C_i = coeficiente de escoamento para um período unitário

P_e = precipitação efetiva total

h_i = precipitação ocorrida em cada período unitário.

Nesta equação são conhecidos P_e e h_i , e os valores de C_i serão adotados. Estes valores, além de satisfazerem a equação (4.4), deverão, quando aplicados às diversas precipitações unitárias e às ordenadas do hidrograma unitário, originar o Hidrograma de Escoamento Superficial observado.

Como pode ser notado, aqui temos uma equação (4.4) e várias incógnitas, o que torna o problema bastante complexo e trabalhoso. Pois apesar de haver várias soluções para a mesma, espera-se que haja apenas uma que satisfaça às condições supraci

tadas, as quais são de nosso interesse.

Como afirmou COLLINS (1), o cálculo do hidrograma unitário consiste em tentativas, onde para cada repetição do cálculo os valores tenderão mais rapidamente ao valor exato, que será aquele em que duas repetições sucessivas sejam praticamente iguais. COLLINS, ao estabelecer seu método, admitiu como conhecidas as precipitações efetivas correspondentes a cada período unitário. Aqui, no entanto, isto não acontece, e o processo de tentativas tornou-se mais trabalhoso nos cálculos dos hidrogramas unitários.

Nas próximas páginas estão desenvolvidos os cálculos referentes à precipitação ocorrida em diferentes períodos para a determinação do Hidrograma Unitário. Finalmente teremos o valor médio destes, que será calculado segundo critério previamente estabelecido. (Vide Capítulo II).

3.1 Desenvolvimento dos Cálculos

Para cada período aqui estudado, procurou-se apresentar apenas os elementos necessários à compreensão da análise dos mesmos, subentendendo-se certos cálculos de caráter puramente mecânico e repetitivo.

Nas análises dos períodos estudados são encontrados:

- a. Quadro de Precipitações
- b. Quadro Nível-Descarga Total
- c. Volume Precipitado
- d. Volume Escoado Superficialmente
- e. Coeficiente Médio de Escoamento
- f. Determinação dos Coeficientes de Escoamento para cada Período Unitário
- g. Tabela de Cálculo do Hidrograma Unitário.

A tabela de cálculo do Hidrograma Unitário está de

sempre desenvolvida da seguinte maneira:

Coluna 1 - Horas em que tomamos os valores de descarga do hidrograma.

Coluna 2 - Valores de descarga total (ordenada correspondente ao tempo médio do intervalo).

Coluna 3 - Valores de descarga de base.

Coluna 4 - Valores de descarga superficial, obtidos pela diferença entre a descarga total (coluna 2) e a descarga de base (coluna 3).

Coluna 5 - Nesta coluna, (compreendendo uma linha de 8 valores para o tempo de 6 horas, e de 16 valores para o de 3 horas) o hidrograma unitário adotado na primeira tentativa é multiplicado pela precipitação efetiva estimada para cada período unitário, exceto o maior, e dividido pela unidade de escoamento.

Coluna 6 - Soma dos valores obtidos na etapa anterior.

Coluna 7 - Temos aqui o escoamento provocado pela maior precipitação, obtido pela diferença entre o escoamento superficial total (coluna 4) e a soma dos escoamentos encontrados na coluna 6.

Coluna 8 - Cálculo do novo Hidrograma Unitário, sendo igual a

$$Q_u = Q_e \times \frac{10}{C_e \times h} \quad (4.5)$$

onde

Q_u = ordenada do Hidrograma Unitário

Q_e = $Q_s - \sum Q_i$, ordenada do escoamento superficial
provocado pela maior precipitação

C_e = coeficiente de escoamento da maior precipitação

h = altura total desta precipitação (mm)

A seguir será desenvolvido o estudo dos Hidrogramas Unitários, seguindo a metodologia e seqüência já estabelecidas.

TABELA 4.1
FATORES DE THIESSEN

CÓDIGO DO POSTO	ÁREA DE INFLUÊNCIA INCLUINDO P8 Km ²	FATOR DE THIESSEN	ÁREA DE INFLUÊNCIA INCLUINDO P8 Km ²	FATOR DE THIESSEN
P2	19,55	0,173	17,18	0,149
P3	2,77	0,024		
P4	19,26	0,167	23,06	0,200
P8	0,92	0,008		
P9	1,50	0,013	1,84	0,016
P10	23,87	0,207	24,44	0,212
P11	1,73	0,015	0,58	0,005
P13	21,79	0,189	24,10	0,209
P14	2,88	0,025	3,69	0,032
P15	20,52	0,178	20,41	0,177

TABELA 4.2
TABELA DE CALIBRAGEM

NÍVEL m	DESCARGA m ³ /s	NÍVEL m	DESCARGA m ³ /s	NÍVEL m	DESCARGA m ³ /s
0,50	0,260	0,77	1,309	1,04	2,520
0,51	0,301	0,78	1,352	1,05	2,640
0,52	0,316	0,79	1,390	1,06	2,660
0,53	0,345	0,80	1,450	1,07	2,700
0,54	0,385	0,81	1,499	1,08	2,750
0,55	0,422	0,82	1,530	1,09	2,800
0,56	0,438	0,83	1,596	1,10	2,890
0,57	0,462	0,84	1,638	1,11	2,910
0,58	0,528	0,85	1,677	1,12	2,980
0,59	0,577	0,86	1,723	1,13	3,000
0,60	0,616	0,87	1,756	1,14	3,060
0,61	0,634	0,88	1,808	1,15	3,162
0,62	0,685	0,89	1,879	1,16	3,190
0,63	0,738	0,90	1,907	1,17	3,250
0,64	0,759	0,91	1,969	1,18	3,310
0,65	0,798	0,92	1,996	1,19	3,390
0,66	0,843	0,93	2,061	1,20	3,499
0,67	0,886	0,94	2,113	1,21	3,520
0,68	0,920	0,95	2,147	1,22	3,580
0,69	0,979	0,96	2,215	1,23	3,640
0,70	0,994	0,97	2,252	1,24	3,710
0,71	1,046	0,98	2,292	1,25	3,790
0,72	1,104	0,99	2,320	1,26	3,810
0,73	1,139	1,00	2,394	1,27	3,900
0,74	1,150	1,01	2,400	1,28	3,990
0,75	1,209	1,02	2,450	1,29	4,020
0,76	1,253	1,03	2,500	1,30	4,062

Cont.

NÍVEL	DESCARGA	NÍVEL	DESCARGA	NÍVEL	DESCARGA
m	m ³ /s	m	m ³ /s	m	m ³ /s
1,31	4,160	1,61	6,410	1,91	10,180
1,32	4,220	1,62	6,505	1,92	10,350
1,33	4,300	1,63	6,610	1,93	10,500
1,34	4,360	1,64	6,720	1,94	10,670
1,35	4,416	1,65	6,741	1,95	10,790
1,36	4,490	1,66	6,910	1,96	10,930
1,37	4,560	1,67	7,005	1,97	11,100
1,38	4,610	1,68	7,140	1,98	11,210
1,39	4,700	1,69	7,210	1,99	11,370
1,40	4,794	1,70	7,332	2,00	11,508
1,41	4,840	1,71	7,430	2,01	11,640
1,42	4,910	1,72	7,570	2,02	11,770
1,43	5,000	1,73	7,700	2,03	11,900
1,44	5,090	1,74	7,860	2,04	12,005
1,45	5,172	1,75	8,058	2,05	12,070
1,46	5,280	1,76	8,170	2,06	12,250
1,47	5,320	1,77	8,220	2,07	12,400
1,48	5,400	1,78	8,470	2,08	12,505
1,49	5,490	1,79	8,710	2,09	12,610
1,50	5,556	1,80	8,800	2,10	12,728
1,51	5,610	1,81	8,900	2,11	12,870
1,52	5,700	1,82	9,040	2,12	13,010
1,53	5,790	1,83	9,170	2,13	13,200
1,54	5,880	1,84	9,280	2,14	13,350
1,55	5,960	1,85	9,396	2,15	13,572
1,56	6,020	1,86	9,505	2,16	13,700
1,57	6,110	1,87	9,620	2,17	13,900
1,58	6,190	1,88	9,760	2,18	14,090
1,59	6,250	1,89	9,880	2,19	14,210
1,60	6,340	1,90	10,004	2,20	14,542

Cont.

NÍVEL	DESCARGA	NÍVEL	DESCARGA	NÍVEL	DESCARGA
m	m ³ /s	m	m ³ /s	m	m ³ /s
2,21	14,750	2,51	21,710	2,81	27,550
2,22	14,970	2,52	21,840	2,82	27,920
2,23	15,170	2,53	21,870	2,83	28,300
2,24	15,400	2,54	22,000	2,84	28,800
2,25	15,576	2,55	22,253	2,85	29,250
2,26	15,780	2,56	22,290	2,86	29,700
2,27	15,960	2,57	22,400	2,87	30,100
2,28	16,180	2,58	22,500	2,88	30,490
2,29	16,350	2,59	22,610	2,89	31,000
2,30	16,554	2,60	22,748	2,90	31,360
2,31	16,740	2,61	22,920	2,91	31,900
2,32	16,980	2,62	23,100	2,92	32,300
2,33	17,115	2,63	23,250	2,93	32,700
2,34	17,300	2,64	23,420	2,94	33,010
2,35	17,460	2,65	23,486	2,95	33,197
2,36	17,605	2,66	23,750	2,96	33,700
2,37	17,850	2,67	23,930	2,97	34,090
2,38	18,200	2,68	24,110	2,98	34,400
2,39	18,500	2,69	24,220	2,99	34,680
2,40	18,746	2,70	24,448	3,00	34,825
2,41	19,050	2,71	24,710	3,01	35,000
2,42	19,240	2,72	24,990	3,02	35,240
2,43	19,700	2,73	25,215	3,03	35,590
2,44	19,950	2,74	25,380	3,04	35,900
2,45	20,152	2,75	25,397	3,05	36,000
2,46	20,460	2,76	25,900	3,06	36,600
2,47	20,710	2,77	26,290	3,07	36,980
2,48	20,960	2,78	26,600	3,08	37,200
2,49	21,200	2,79	26,910	3,09	37,550
2,50	21,506	2,80	27,241	3,10	37,863

Cont.

NÍVEL	DESCARGA	NÍVEL	DESCARGA	NÍVEL	DESCARGA
m	m ³ /s	m	m ³ /s	m	m ³ /s
3,11	38,300	3,15	40,278	3,18	42,700
3,12	38,800	3,16	41,390	3,19	43,150
3,13	39,390	3,17	42,100	3,20	43,549
3,14	39,900				

1º PERÍODO: 06 a 08.07.72

a) QUADRO DE PRECIPITAÇÃO (Excluindo P8)

DIA	POSTO	P2	P4	P9	P10	P11	P13	P14	P15	PRECIP. MÉDIA
Precipitação (mm)										
06		15,0	13,8	0,0	0,0	12,0	14,0	32,0	10,0	10,77
07		43,0	12,9	9,5	15,0	12,0	20,0	30,0	31,0	23,01

 $\Sigma \text{ hm} = 33,78$

b) QUADRO NÍVEL-DESCARGA

DIA	HORA	NÍVEL (m)	DESCARGA (m ³ /s)	DIA	HORA	NÍVEL (m)	DESCARGA (m ³ /s)
05	18	1,14	3,060		12	1,98	11,210
	24	1,11	2,910		18	1,70	7,332
06	03	1,10	2,890		24	1,40	4,794
	06	1,14	3,060	08	06	1,28	3,990
	12	1,56	6,020		12	1,22	3,580
	18	2,06	12,250		18	1,18	3,310
	21	2,16	13,700		24	1,15	3,162
	24	2,16	13,700	09	06	1,12	2,980
07	06	2,08	12,505		12	1,12	2,980

c) VOLUME PRECIPITADO

$$V_p = hm \times A$$

$$V_p = 33,78 \times 115,3 \times 10^3$$

$$V_p = 3894834,0 \text{ m}^3$$

d) VOLUME DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

$$V_e = 22 \times 43,200$$

$$V_e = 950400,0 \text{ m}^3$$

e) COEFICIENTE MÉDIO DE ESCOAMENTO

$$C_e = \frac{950400}{3894834}$$

$$C_2 = 0,244$$

Precipitação efetiva

$$P_e = 0,244 \times 33,78$$

$$P_e = 8,24$$

f) DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ESCOAMENTO PARA CADA CHUVA UNITÁRIA

$$P_e = C_1 \times P_1 + C_2 \times P_2$$

$$8,24 = C_1 \times 9,46 + C_2 \times 21,40$$

Por tentativas, encontramos:

$$C_1 = 0,15$$

$$C_2 = 0,32$$

g) CÁLCULO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO

TEMPO UNITÁRIO - 3 horas

	1	2	3	4	5										6	7	8				
INTER VALO HORA	Q _a m ³ /s	Q _b m ³ /s	Q _s m ³ /s	1,13	4,66	9,20	12,10	13,32	13,03	12,43	11,15	9,66	8,00	6,05	3,98	2,01	0,86	0,30	EQ _i m ³ /s	Q _s -EQ _i m ³ /s	Q _u m ³ /s
00-03	2,90	2,80	0,10	0,15															0,15		
03-06	3,00	2,80	0,20		0,65														0,65		
06-09	3,30	2,80	0,50			1,30													1,30		
09-12	5,00	2,80	2,20				1,71												1,71	0,49	0,71
12-15	7,80	2,80	5,00					1,88											1,88	3,12	4,55
15-18	10,90	2,80	8,10						1,84										1,84	6,26	9,13
18-21	12,90	2,80	10,10							1,75									1,75	8,35	12,18
21-24	13,50	2,80	10,70								1,57								1,57	9,13	13,32
00-03	13,20	2,90	10,30									1,36							1,36	8,94	13,35
03-06	12,70	3,00	9,70										1,13						1,13	8,57	12,51
06-09	11,60	3,10	8,50											0,85					0,85	7,65	11,16
09-12	10,40	3,20	7,20												0,56				0,56	6,64	9,69
12-15	9,20	3,40	5,80													0,28			0,28	5,52	8,05
15-18	7,80	3,50	4,30														0,12		0,12	4,18	6,18
18-21	6,40	3,60	2,80															0,04	0,04	2,76	4,22
21-24	5,30	3,70	1,40																0	1,40	2,04
00-03	4,50	3,90	0,60																0	0,60	0,87
03-06	4,20	4,00	0,20																0	0,20	0,29

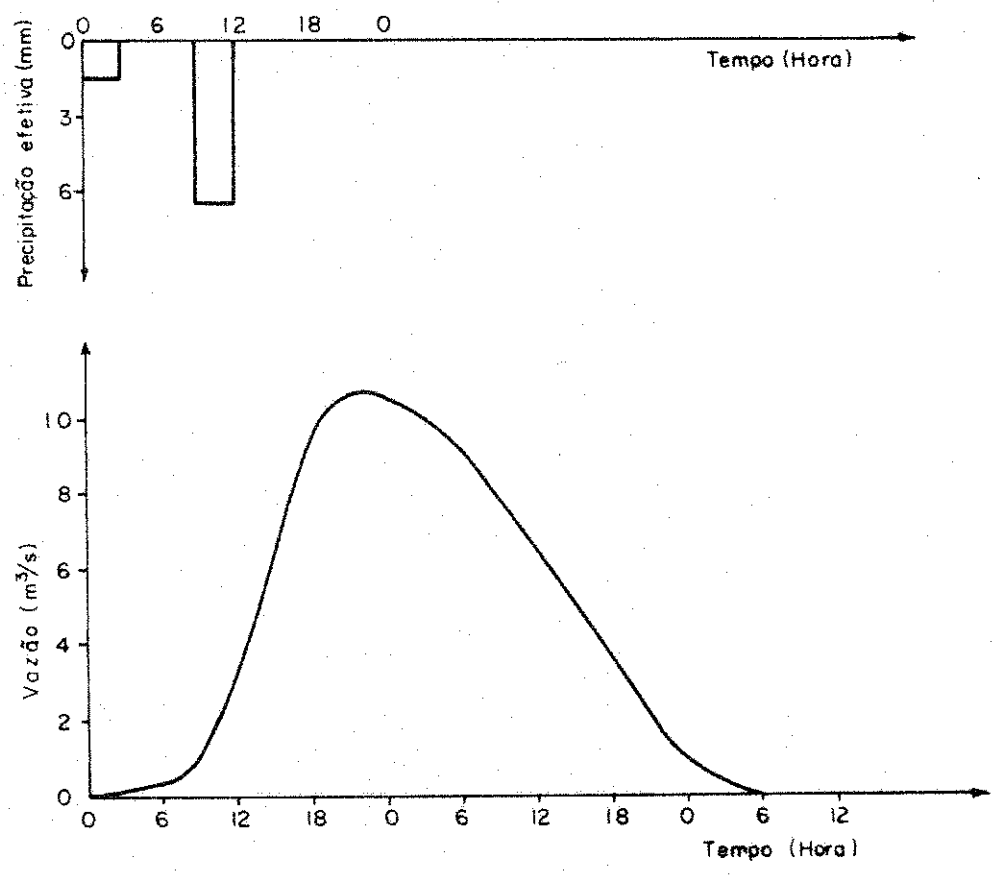


Fig. 5 - Hidrograma de escoamento superficial e hietograma

29 PERÍODO: 24 a 27.06.73

a) QUADRO DE PRECIPITAÇÃO

DIA	POSTO	P2	P4	P9	P10	P11	P13	P14	P15	PRECIP. MÉDIA
Precipitação (mm)										
25		45,0	65,0	46,0	64,0	39,0	18,0	73,0	48,0	48,76
26		25,0	6,0	3,0	-	14,0	5,0	10,0	-	6,40

 Σ hm = 55,16

b) QUADRO NÍVEL-DESCARGA

DIA	HORA	NÍVEL (m)	DESCARGA (m ³ /s)	DIA	HORA	NÍVEL (m)	DESCARGA (m ³ /s)
24	06	1,42	4,840		12	2,19	14,210
	12	1,38	4,610		18	1,98	11,210
	18	1,96	10,930		24	1,87	9,620
	24	2,72	24,990	27	06	1,75	8,058
25	06	2,95	33,197		12	1,67	7,005
	12	2,92	32,300		18	1,58	6,190
	18	2,69	24,220		24	1,56	6,020
	24	2,42	19,240	28	06	1,38	5,610
26	06	2,29	16,350		12	1,38	5,610

c) VOLUME PRECIPITADO

$$V_p = 115,3 \times 55,16 \times 10^3$$

$$V_p = 6359948,00 \text{ m}^3$$

d) VOLUME ESCOADO

$$V_e = 73,0 \times 43200$$

$$V_e = 3153600,00 \text{ m}^3$$

e) COEFICIENTE MÉDIO DE ESCOAMENTO

$$C_e = \frac{3153600}{6359948}$$

$$C_e = 0,495$$

f) DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ESCOAMENTO PARA CADA CHUVA UNITÁRIA

$$P_e = 55,16 \times 0,495 = C_1 \times 12,0 + C_2 \times 19,5 + C_3 \times 16,50 + C_4 \times 6,4$$

$$C_1 = 0,35$$

$$C_2 = 0,55$$

$$C_3 = 0,61$$

$$C_4 = 0,30$$

g) CÁLCULO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO

TEMPO UNITÁRIO - 3 horas

INTER VALO HORA	Qo m³/s	Qb m³/s	Qs m³/s	2,11	4,16	6,69	9,87	11,59	11,17	10,87	9,79	7,73	6,53	5,73	4,69	4,40	3,59	3,00	2,39	EQi m³/s	Qc m³/s	QIi m³/s	Qi m³/s	
12-15	5,30	4,60	0,70	0,88																0,88	-	-		
15-18	9,10	4,60	4,50		1,74																1,74	2,76	2,57	
18-21	13,80	4,60	9,20	2,25		2,80															5,05	4,15	3,36	
21-24	20,00	4,60	15,40		4,45		4,14														8,59	6,81	6,34	
00-03	27,80	4,60	23,20			7,15		4,86													12,01	11,19	10,43	
03-06	32,60	4,60	28,00				10,56		4,69												15,25	12,75	11,88	
06-09	33,20	4,70	28,50					12,40		4,56											16,56	11,54	10,75	
09-12	32,80	4,80	28,00						11,95		4,11										16,06	11,94	11,13	
12-15	30,50	4,90	25,60							11,63		3,74									14,87	10,72	10,00	
15-18	26,35	4,95	21,40								10,47		2,74								13,21	8,19	7,63	
18-21	23,00	5,00	18,00									8,27		2,40							10,67	7,33	6,83	
21-24	20,50	5,10	15,40										6,98		1,96						8,94	6,46	6,02	
00-03	18,20	5,20	13,00											6,13		1,84					7,97	5,03	4,69	
03-06	17,20	5,30	11,80												5,01		1,50				6,93	4,80	4,47	
06-09	16,00	5,40	10,60		0,83											4,70		1,25			6,78	3,82	3,56	
09-12	15,50	5,50	9,60			1,34											3,84		1,00		6,18	3,42	3,18	
12-15	13,60	5,60	8,00				1,97											3,21			5,18	2,82	2,62	
15-18	11,85	5,65	6,20					2,31											2,55		4,86	1,54	1,24	
18-21	10,50	5,70	4,80						2,23															
21-24	10,00	5,80	4,20							2,17														
00-03	9,30	5,90	3,40								1,95													
03-06	8,50	6,00	2,50									1,54												
06-09	7,90	6,10	1,80																					
09-12	7,40	6,20	1,20																					
12-15	7,00	6,30	0,70																					
15-18	6,70	6,40	0,39																					

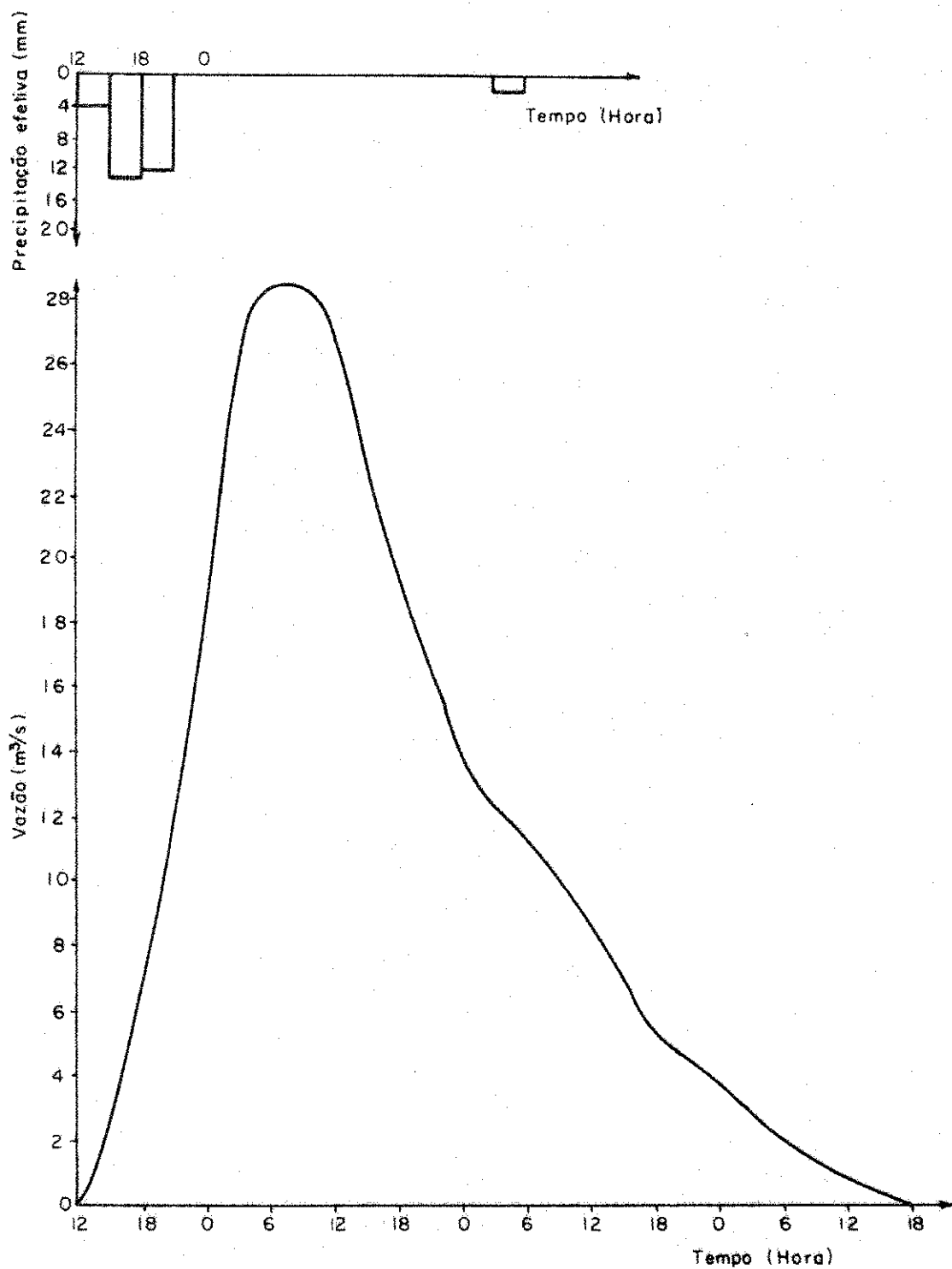


Fig. 6 - Hidrograma de escoamento superficial e hiétograma

3º PERÍODO: 23 a 24.05.74

a) QUADRO DE PRECIPITAÇÃO

DIA	POSTO	P2	P4	P8	P9	P10	P12	P13	P14	PRECIP. MÉDIA
Precipitação (mm)										
24		49,0	61,0	34,0	37,0	52,0	42,5	31,0	19,0	41,30

 $\Sigma \text{ hm} = 41,30$

b) QUADRO NÍVEL-DESCARGA

DIA	HORA	NÍVEL (m)	DESCARGA (m ³ /s)	DIA	HORA	NÍVEL (m)	DESCARGA (m ³ /s)
23	06	1,78	8,470	25	06	2,00	11,508
	12	1,76	8,170		12	1,83	9,170
	18	2,42	19,240		18	1,68	7,140
	24	2,58	22,500		24	1,56	6,020
24	06	2,82	27,920	26	06	1,50	5,556
	12	2,72	24,990		12	1,43	5,000
	18	2,50	21,506		18	1,42	4,910
	24	2,24	15,400		24	1,42	4,910

c) VOLUME PRECIPITADO

$$V_p = 115,3 \times 41,3 \times 10^3$$

$$V_p = 4760737,00 \text{ m}^3$$

d) VOLUME DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

$$V_e = 51,5 \times 43200$$

$$V_e = 2224800,00 \text{ m}^3$$

e) COEFICIENTE MÉDIO DE ESCOAMENTO

$$C_e = \frac{2224800,00}{4760737,00}$$

$$C_e = 0,467$$

f) DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ESCOAMENTO PARA CADA PERÍODO UNITÁRIO

$$P_e = 19,28 = 25,05 \times C_1 + 12,18 \times C_2 + 4,06 \times C_3$$

$$C_1 = 0,45$$

$$C_2 = 0,50$$

$$C_3 = 0,40$$

g) CÁLCULO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO

TEMPO UNITÁRIO - 6 horas

	1	2	3	4	5				6	7	8			
INTERVALO HORA	Q _o m ³ /s	Q _b m ³ /s	Q _s m ³ /s	1,0	6,0	10,5	11,5	10,6	7,5	4,2	2,2	ΣQ _i m ³ /s	Q _s -ΣQ _i m ³ /s	Q _u m ³ /s
06-12	7,00	6,00	1,0									-	1,0	0,89
12-18	13,30	6,00	7,3	0,61								0,61	6,69	5,93
18-24	22,00	6,00	16,0	0,16	3,65							3,81	12,19	10,81
00-06	26,40	6,00	20,4		0,97	6,39						7,36	13,04	11,57
06-12	27,00	6,20	20,8			1,70	7,0					8,70	12,10	10,73
12-18	23,40	6,40	17,0			1,86	6,45					8,31	8,69	7,71
18-24	17,80	6,60	11,2				1,72	4,56				6,28	4,92	4,36
00-06	13,00	6,80	6,2					1,21	2,56			3,77	2,42	2,16
06-12	10,40	7,00	3,4						0,68	1,34				
12-18	8,20	7,20	1,0								0,36			

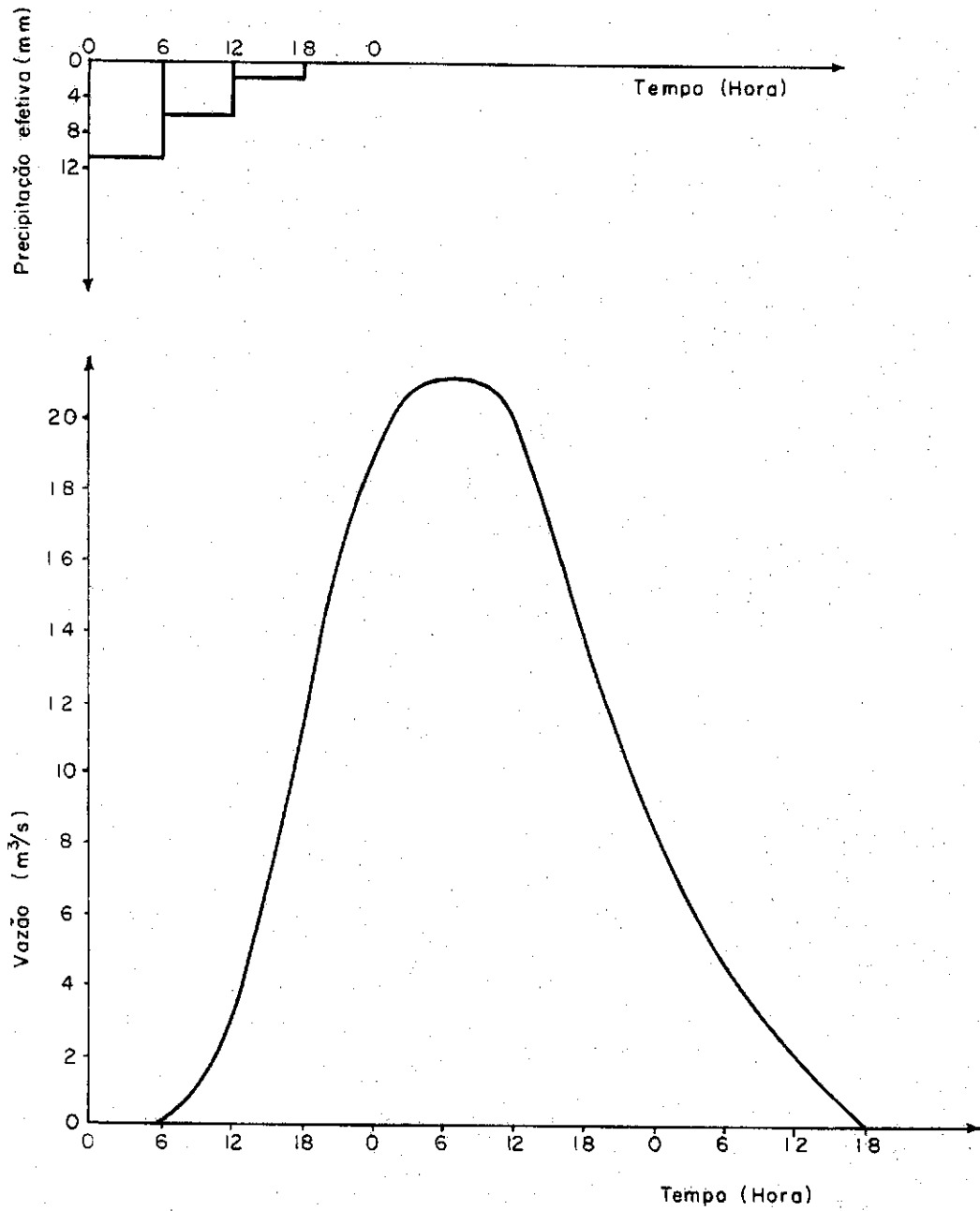


Fig. 7 - Hid. de escoamento superficial e hietograma

4º PERÍODO: 14 a 18.07.74

a) QUADRO DE PRECIPITAÇÃO

DIA	POSTO	P2	P4	P8	P9	P10	P12	P13	P14	PRECIP. MÉDIA
		Precipitação (mm)								
15		45,0	48,0	42,0	46,0	53,0	50,5	11,0	24,0	42,15
16		16,0	16,0	11,0	13,0	18,0	14,5	10,0	30,0	17,27

 $\Sigma \text{hm} = 58,34$

b) QUADRO NÍVEL-DESCARGA

DIA	HORA	NÍVEL (m)	DESCARGA (m ³ /s)	DIA	HORA	NÍVEL (m)	DESCARGA (m ³ /s)
14	12	1,22	3,580		12	2,38	18,200
	18	1,22	3,580		18	2,24	15,400
	24	1,32	4,160		24	2,14	13,350
15	06	2,28	16,180	17	06	2,00	11,508
	12	2,58	22,500		12	1,80	8,800
	18	2,72	24,990		18	1,62	6,505
	21	2,80	27,241		24	1,50	5,556
	24	2,76	25,900	18	06	1,42	4,910
16	06	2,56	25,900		12	1,42	4,910

c) VOLUME PRECIPITADO

$$V_p = 58,34 \times 115,30 \times 10^3$$

$$V_p = 6726602,00 \text{ m}^3$$

d) VOLUME ESCOADO SUPERFICIALMENTE

$$V_e = 67,50 \times 43200,00$$

$$V_e = 2916000,00$$

e) COEFICIENTE MÉDIO DE ESCOAMENTO

$$C_m = \frac{2916000}{6726602}$$

$$C_m = 0,43$$

f) DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ESCOAMENTO PARA CADA CHUVA UNITÁRIA

$$P_e = 58,34 \times 0,433$$

$$P_e = 25,29 \text{ mm}$$

$$25,29 = 17,56 \times C_1 + 22,83 \times C_2 + 10,39 \times C_3 + 7,55 \times C_4$$

$$C_1 = 0,35$$

$$C_2 = 0,55$$

$$C_3 = 0,46$$

$$C_4 = 0,32$$

g) CÁLCULO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO

TEMPO UNITÁRIO - 6 horas

1	2	3	4	5			6	7	8					
INTERVALO HORA	Qc m ³ /s	Qb m ³ /s	Qs m ³ /s	2,00	11,10	11,60	10,70	9,60	6,00	2,45	0,55	ΣQi m ³ /s	Qs-ΣQi m ³ /s	Qu m ³ /s
18-24	2,40	2,00	0,40	0,27								0,27	-	-
00-06	3,90	2,00	1,90	0,76	1,51							2,27	-	-
06-12	9,20	2,00	7,20		4,20	1,58						5,78	1,42	1,95
12-18	16,00	2,00	14,00			4,38	1,46					5,84	8,16	11,18
18-24	16,00	2,20	13,80				4,04	1,31				5,35	8,45	11,58
00-06	14,70	2,50	12,20					3,63	0,82			4,45	7,75	10,62
06-12	12,50	2,90	9,60						2,27	0,33		2,60	7,00	9,59
12-18	8,40	3,20	5,20							0,93	0,07	1,00	4,20	5,75
18-24	5,60	3,60	2,00								0,21	0,21	1,79	2,45
00-06	4,30	3,90	0,40										0,4	0,55

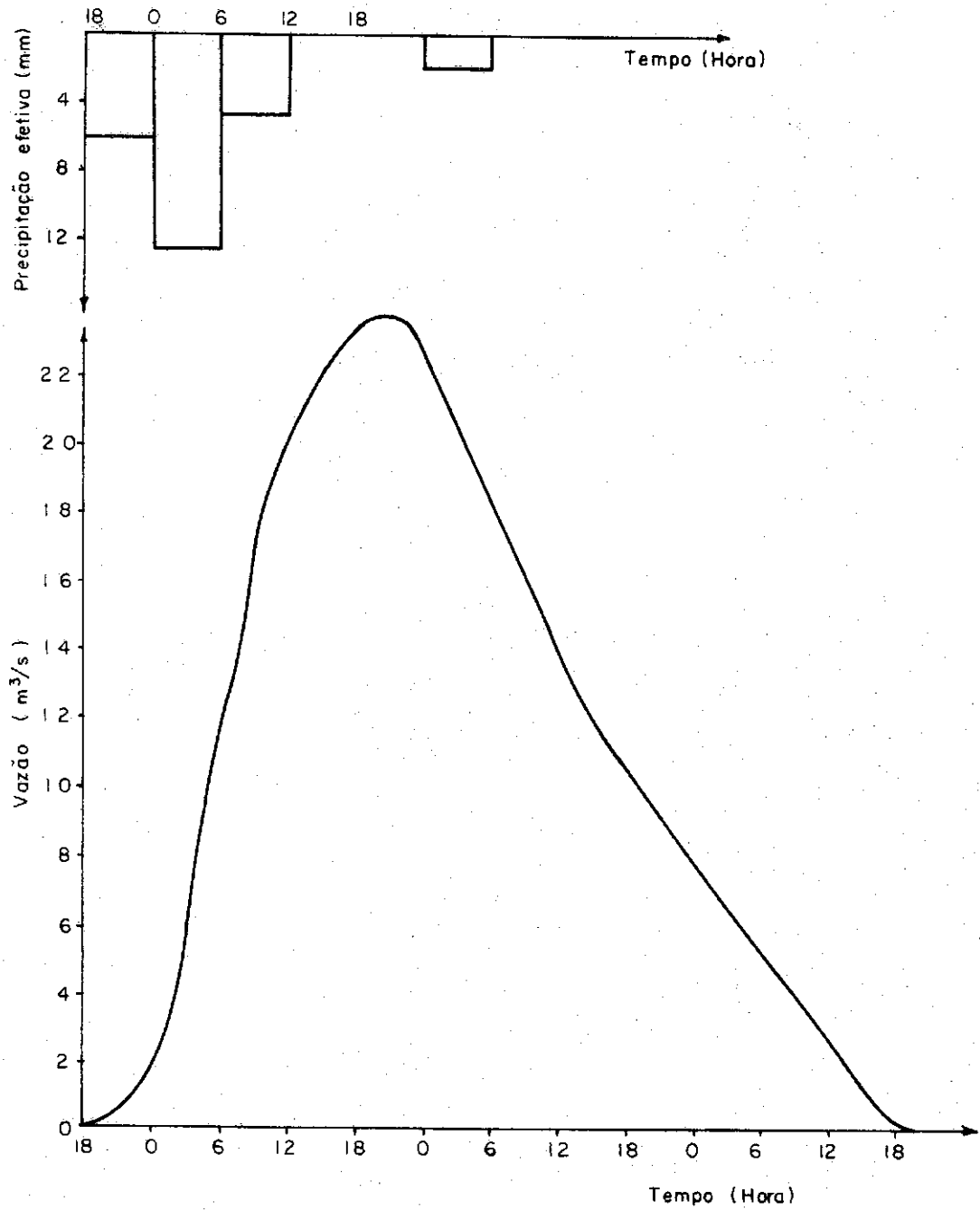


Fig. 8 - Hid. escoamento superficial e hietograma

5º PERÍODO: 31.07 a 03.08.74

a) QUADRO DE PRECIPITAÇÃO

DIA	POSTO	P2	P4	P8	P9	P10	P12	P13	P14	PRECIP. MÉDIA
Precipitação (mm)										
31		0	0	0	0	0	2,0	15,0	15,0	3,55
01		26,5	26,0	16,0	17,0	26,0	35,5	40,0	10,0	23,60
02		0	9,0	21,0	11,0	21,0	20,5	17,0	22,0	13,29

 $\Sigma \text{ hm} = 40,44$

b) QUADRO NÍVEL-DESCARGA

DIA	HORA	NÍVEL (m)	DESCARGA (m ³ /s)	DIA	HORA	NÍVEL (m)	DESCARGA (m ³ /s)
31	06	0,97	2,252	02	06	2,16	13,700
	12	0,97	2,252		12	1,95	10,790
	18	1,03	2,500		18	1,68	7,140
	24	1,12	2,980		24	1,40	4,794
01	06	1,55	5,960	03	06	1,30	4,062
	12	2,20	14,524		12	1,26	3,810
	18	2,29	16,350		18	1,25	3,790
	24	2,23	15,170		24	1,25	3,790

c) VOLUME PRECIPITADO

$$V_p = 40,07 \times 115,3 \times 10^3$$

$$V_p = 4620071,00 \text{ m}^3$$

d) VOLUME ESCOADO SUPERFICIALMENTE

$$V_e = 33,0 \times 43,200$$

$$V_e = 1425600$$

e) COEFICIENTE MÉDIO DE ESCOAMENTO

$$C_e = \frac{1425600}{4620071}$$

$$C_e = 0,309$$

f) DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ESCOAMENTO PARA CADA PERÍODO UNITÁRIO

$$P_e = 12,36 = 9,07 \times C_1 + 11,80 \times C_2 + 19,20 \times C_3$$

$$C_1 = 0,15$$

$$C_2 = 0,32$$

$$C_3 = 0,38$$

g) CÁLCULO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO

TEMPO UNITÁRIO - 6 horas

1	2	3	4	5			6	7	8					
INTERVALO HORA	Q _a m ³ /s	Q _b m ³ /s	Q _s m ³ /s	1,2	7,9	9,50	10,60	8,90	6,20	4,00	3,00	ΣQ _i m ³ /s	Q _s -ΣQ _i m ³ /s	Q _u m ³ /s
18-24	3,90	3,50	0,40	0,73										
00-06	9,50	3,50	6,00		4,85							4,85	1,15	0,90
06-12	20,50	3,50	17,00	0,57		5,83						6,40	10,60	8,37
12-18	25,50	3,50	22,00		3,76		6,50					10,26	11,74	9,27
18-24	27,30	3,50	23,80			4,53		5,46				9,99	13,81	10,90
00-06	24,30	3,90	20,40	0,31			5,05		3,80			9,16	11,24	8,87
06-12	20,60	4,30	16,30		2,08			4,24		2,45		8,73	7,57	5,98
12-18	16,70	4,70	12,00			2,50			2,95		1,84	7,29	4,71	3,72
18-24	14,10	5,10	9,00				2,79			1,90		4,69	4,31	3,40
00-06	12,10	5,50	6,60					2,34			1,43			
06-12	10,00	6,00	4,00						1,63					
12-18	7,50	6,30	1,20							0,64				

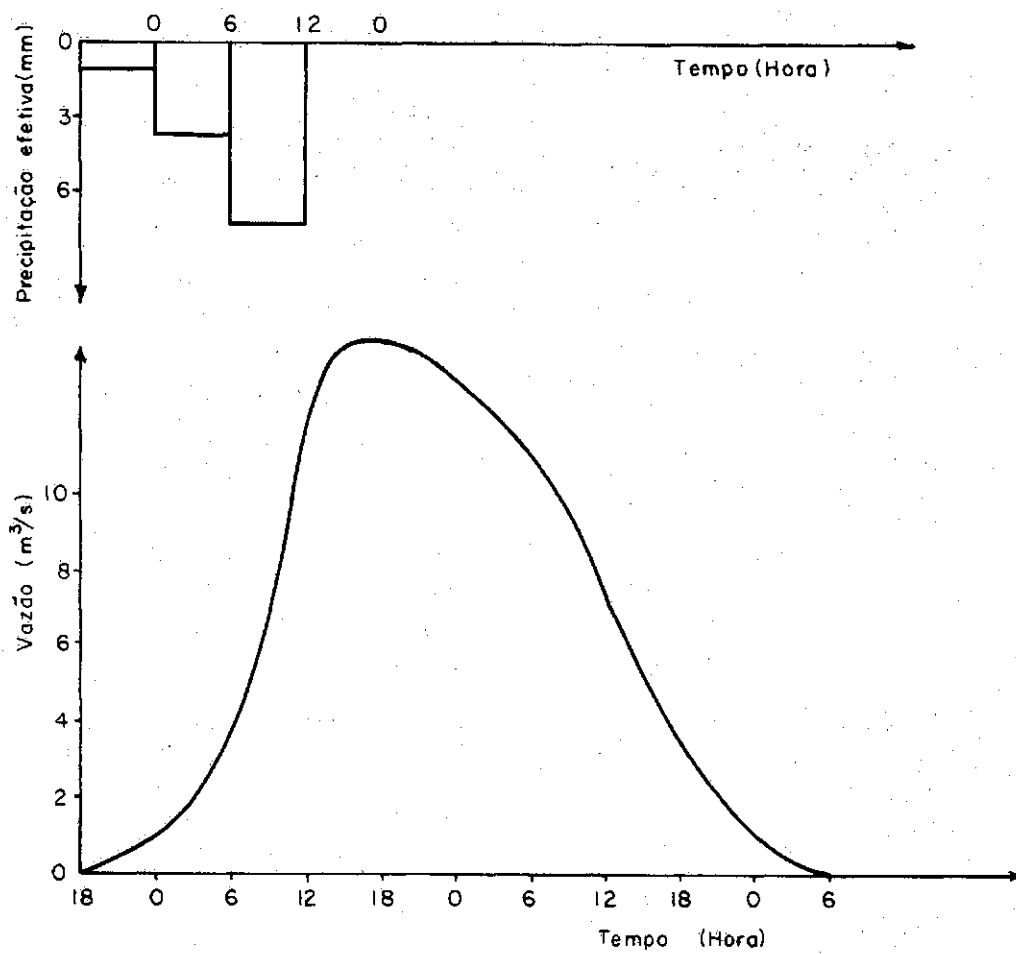


Fig. 9 - Hid. de escoamento superficial e hietograma

4.0 DETERMINAÇÃO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO FINAL

4.1 Uniformização dos Períodos Unitários

Como pôde ser observado nas análises anteriores, em alguns dos períodos estudados determinou-se o Hidrograma para períodos unitários de 3 horas, isto em consequência da insuficiência de dados com o período estabelecido inicialmente. Sa-be-se, no entanto, que a partir destes podem-se obter hidro-gramas com períodos unitários que lhe sejam múltiplos, fa-zen-do-se uso da Lei da Superposição. Assim obteve-se os 5 Hidro-gramas Unitários encontrados na tabela abaixo, onde são encon-tradas as ordenadas medianas dos intervalos de 6 hs.

HIDROGRAMAS UNITÁRIOS PARA PERÍODO UNITÁRIO DE 6 HORAS E
CHUVA UNITÁRIA DE 10 mm

INTERVALO	A m ³ /s	B m ³ /s	C m ³ /s	D m ³ /s	E m ³ /s
1	1,25	2,00	0,89	0,90	1,95
2	10,30	6,50	5,93	8,37	11,18
3	12,80	11,40	10,81	9,27	11,58
4	12,40	10,80	11,57	10,90	10,62
5	9,70	8,00	10,73	8,87	9,59
6	6,20	5,90	7,71	5,98	5,75
7	2,20	4,30	4,86	3,72	2,45
8	0,35	3,00	2,16	3,40	0,55

Estes 5 hidrogramas (A, B, C, D e E) foram plotados (ver Fig. 10), com o objetivo de se estabelecer o Hidrograma Unitário final.

Como já foi citado anteriormente, a escolha deste Hidrograma não deve consistir em um simples cálculo das médias

dos valores encontrados para cada instante, e sim, graficamente, a julgamento, de maneira que este traduza o hidrograma aparentemente mais provável e representativo com base nos resultados existentes.

Nestes gráficos foram feitos com que os picos coincidiram na vertical. A partir destes gráficos traçamos o Hidrograma procurado (Fig. 11), cuja área deverá verificar a relação

$$A \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{\text{Peu} \cdot \text{Ab}}{1 \text{ cm}^2 \text{ da escala}} \quad (4.6)$$

onde

$A \text{ (cm}^2\text{)}$ = a área do Hidrograma Unitário

Peu = a precipitação efetiva unitária (10 mm) e

Ab = a área da bacia (115,30 Km²)

Escala: Ordenadas - 1 cm = 1 m³/s

abscissas - 1 cm = 6 horas

1 cm² = 21.600,00 m³

$$A = \frac{10 \times 115,30 \times 10^3}{21.600}$$

$$A = 53,38 \text{ cm}^2$$

No Hidrograma Unitário final (para um Período Unitário de 6 horas), a área obtida foi aproximadamente a mesma (54 cm²), mostrando assim bons resultados no que diz respeito ao cálculo do volume escoado.

A tabela 4.3 mostra a ordenada dos Hidrogramas Unitários para período de 3 e 6 horas.

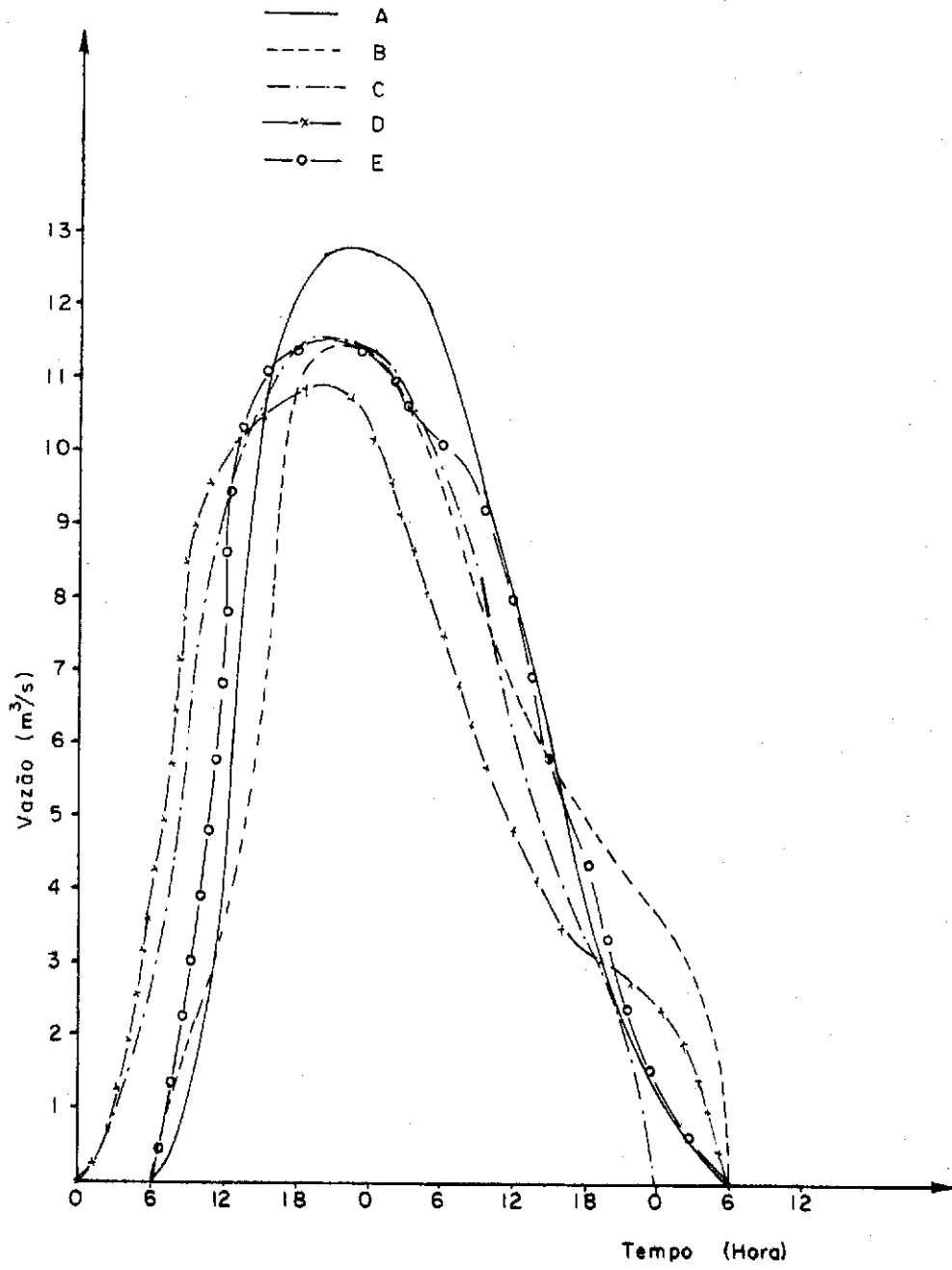


Fig.10- Hidrogramas unitarios obtidos.

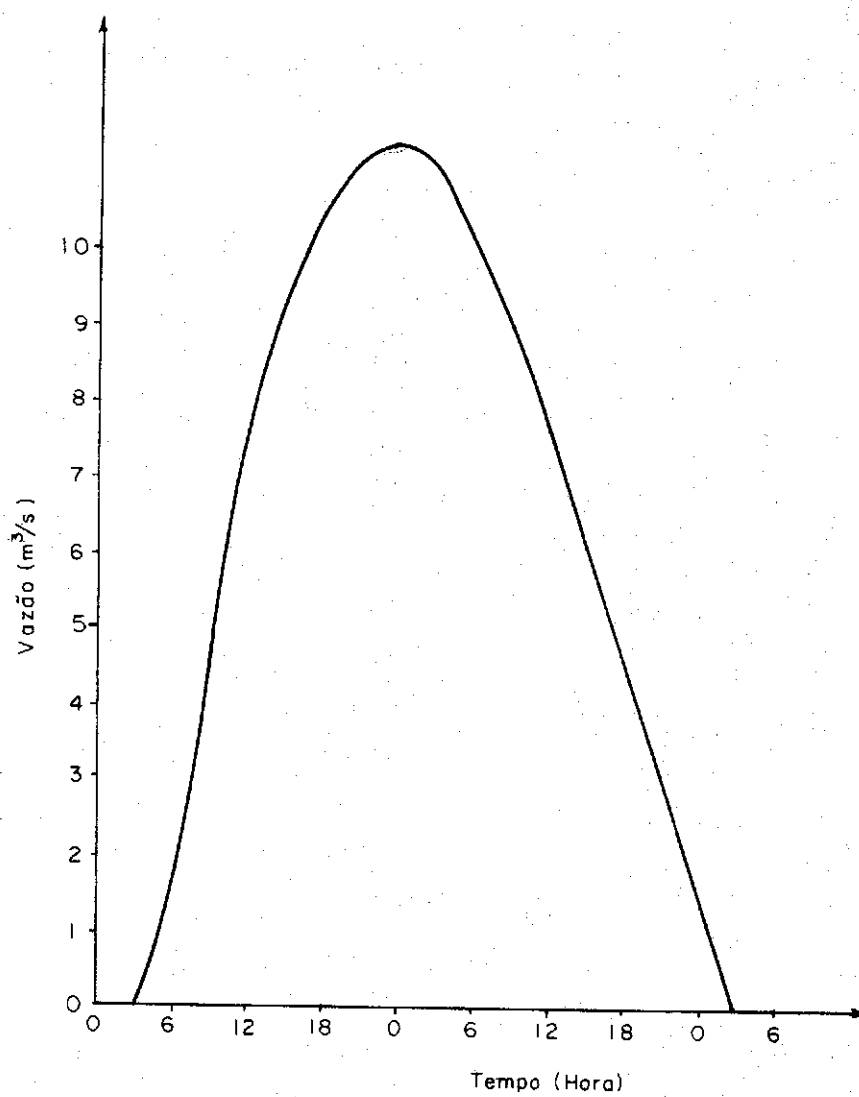


Fig. II - Hidrograma unitário médio tempo unitário - 6 horas

TABELA 4.3
ORDENADAS DO HIDROGRAMA UNITÁRIO MÉDIO

PERÍODO UNITÁRIO 3 hs		PERÍODO UNITÁRIO 6 hs	
INTERVALO	VAZÃO (m ³ /s) Ponto médio	INTERVALO	VAZÃO (m ³ /s) Ponto médio
1	0,65	1	1,50
2	2,50	2	7,50
3	5,50	3	10,50
4	8,80	4	11,40
5	10,00	5	10,25
6	11,00	6	7,70
7	11,35	7	4,60
8	11,30	8	1,50
9	10,75		
10	9,70		
11	8,40		
12	7,00		
13	5,50		
14	3,80		
15	2,20		
16	0,60		

CAPÍTULO V

ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos resultados pretende avaliar o erro dos mesmos - por meio de simulação do escoamento superficial -, e estudar a sensibilidade do Hidrograma Unitário obtido.

1.0 SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Para avaliar a confiança do Hidrograma Unitário obtido em uma aplicação de um período qualquer, será feita a simulação de escoamento superficial, usando as precipitações e hidrogramas observados da Bacia em estudo.

Do pequeno número de dados coletados na Bacia para este estudo (3 anos), conseguiram-se apenas 2 hidrogramas que se prestassem a tal simulação, sendo ambos os hidrogramas complexos, pois os simples foram utilizados na determinação do Hidrograma Unitário.

Como o hidrograma unitário só nos dá o escoamento superficial direto proveniente de uma certa precipitação, fez-se necessária a separação do escoamento de base dos hidrogramas complexos observados. Esta separação foi realizada da seguinte maneira: prolongou-se a curva de recessão da chuva anterior

até o primeiro pico de cheia, e a partir daí, traçou-se uma reta até o ponto de curvatura máxima após o segundo pico de cheia.

Para se conseguir a simulação dos períodos selecionados, foi necessário o conhecimento da precipitação efetiva correspondente a cada período unitário. Para isto, devemos conhecer os coeficientes de escoamento. Uma primeira aproximação destes coeficientes foi obtida pelo sistema de equações, nas quais eram conhecidas as vazões totais obtidas da separação acima e as ordenadas do Hidrograma Unitário. Com base nestes e em estudos anteriores, pôde-se estimar os coeficientes de escoamento utilizados.

As simulações foram obtidas multiplicando-se as precipitações efetivas pelas ordenadas do Hidrograma Unitário, e em seguida, realizando-se a superposição de acordo com a distribuição de precipitação (1).

A simulação 1 (Tabela 5.1, Fig. 12) mostra que as vazões máximas apresentaram pequenas diferenças (-2,37% e +3,66% do valor real), e forma e área quase iguais, o que indica uma boa simulação do escoamento.

No segundo caso (Tabela 5.2, Fig. 13), as diferenças entre as vazões de pico (+10,87 e +14,98 do valor real) foram consideráveis, e encontram-se defasadas de aproximadamente 3 e 6 horas, respectivamente. Estas diferenças podem ter ocorrido devido à separação do escoamento de base, aos coeficientes de escoamento adotados - que são mais complexos, neste caso -, e devido também ao grande número de precipitações (8, com duração de 3 horas cada). Podem-se, ainda, levar em consideração as limitações impostas pelo Método do Hidrograma Unitário (Vide Capítulo II).

De uma maneira geral, as simulações aqui observadas foram consideradas satisfatórias.

2.0 ESTUDO DE SENSIBILIDADE DO HIDROGRAMA UNITÁRIO

TABELA 5.1
SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (1)
Período: 20.05.74 a 25.05.74

HORA	Pef. mm	Ho m ³ /s	Hc m ³ /s	Ho-Hc m ³ /s	(Ho-Hc) %
21-03	3,68	0,30	0,55	-0,25	-83,33
03-09		3,40	2,76	-0,64	-18,82
09-15	15,66	7,20	6,21	0,99	13,75
15-21	2,04	19,60	16,25	3,35	17,09
21-03		20,40	21,75	-1,35	- 6,61
03-09*		22,30	22,83	-0,53	- 2,37
09-15		21,80	20,07	1,73	7,93
15-21		15,00	14,71	0,29	1,93
21-03		7,70	8,77	-1,07	-13,89
03-09		3,20	3,28	-0,08	- 2,50
06-12	11,27	2,30	2,40	-0,10	- 4,34
09-15		2,00	1,99	0,01	0,50
12-18	6,09	5,00	9,37	-4,37	-87,40
18-24	1,62	16,00	16,64	-0,64	- 4,00
24-06		21,00	20,45	0,55	2,61
06*		21,80	21,00	0,80	3,66
06-12		21,00	20,19	0,81	3,85
12-18		17,80	16,76	1,04	5,84
18-24		11,70	11,53	0,17	1,45
24-06		6,40	5,73	0,67	10,46
06-12		3,40	1,66	1,74	51,17
12-18		1,20	0,24	0,96	80,00

(*) Pico

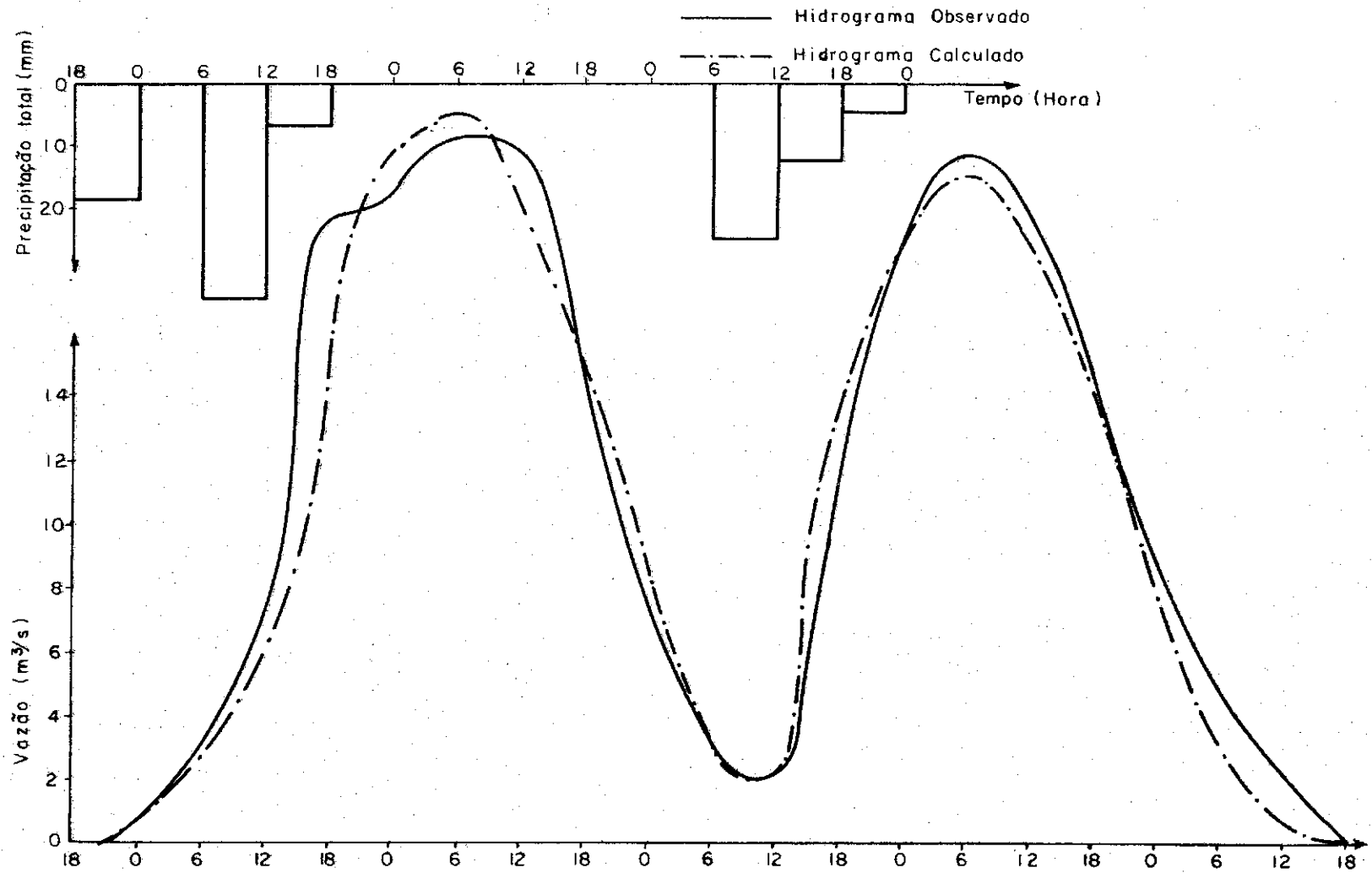


Fig. 12 - Simulação de escoamento superficial.

TABELA 5.2
 SIMULAÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL (2)
 Período: 11.06.72 a 15.06.72

HORA	Pef. mm	Ho m ³ /s	Hc m ³ /s	Ho-Hc m ³ /s	(Ho-Hc) %
24-03	0,93	0,50	0,06	0,44	88,00
03-06		1,80	0,23	1,57	87,22
06-09	6,02	3,40	0,90	2,50	73,52
09-12		5,60	2,32	3,28	58,57
12-15	9,52	8,80	4,86	3,94	44,77
15-18	11,90	17,80	9,47	8,33	46,79
18-21		20,40	15,28	5,12	25,09
21-24	1,90	22,00	23,94	-1,94	8,81
24-03		23,80	28,29	-4,49	18,86
03-06		36,80	31,11	5,69	15,46
06-09		34,00	32,81	1,19	3,50
09-12		30,00	32,66	-2,66	8,87
12-15		26,00	31,33	-5,33	20,50
15-18		22,80	28,46	-5,66	24,82
18-21		21,80	25,14	-3,34	15,32
21-24	21,41	21,80	22,25	-0,45	2,06
24-03		23,00	21,82	1,18	5,13
03-06	6,73	23,80	24,33	-0,53	2,23
06-09	2,30	25,40	28,61	-3,21	12,63
09-12		36,80	29,91	6,89	18,72
12-15		40,00	32,03	7,97	19,92
15-18		35,20	33,46	1,74	4,94
18-21		30,00	34,01	-4,01	13,36

Cont.

HORA	Pef. mm	Ho m ³ /s	Hc m ³ /s	Ho-Hc m ³ /s	(Ho-Hc) %
21-24		25,80	33,18	-7,38	28,60
24-03		23,40	30,99	-7,59	32,43
03-06		19,00	27,82	-8,82	46,42
06-09		16,00	23,99	-7,99	49,93
09-12		14,00	19,67	-5,67	40,50
12-15		12,00	14,78	-2,78	23,13
15-18		10,00	10,02	-0,02	0,20
18-21		8,00	5,10	2,90	36,25
21-24		6,00	2,35	3,65	60,83
24-03		4,00	0,90	3,10	77,50
03-06		3,00		3,00	
06-09		1,60		1,60	
09-12		0,50		0,50	

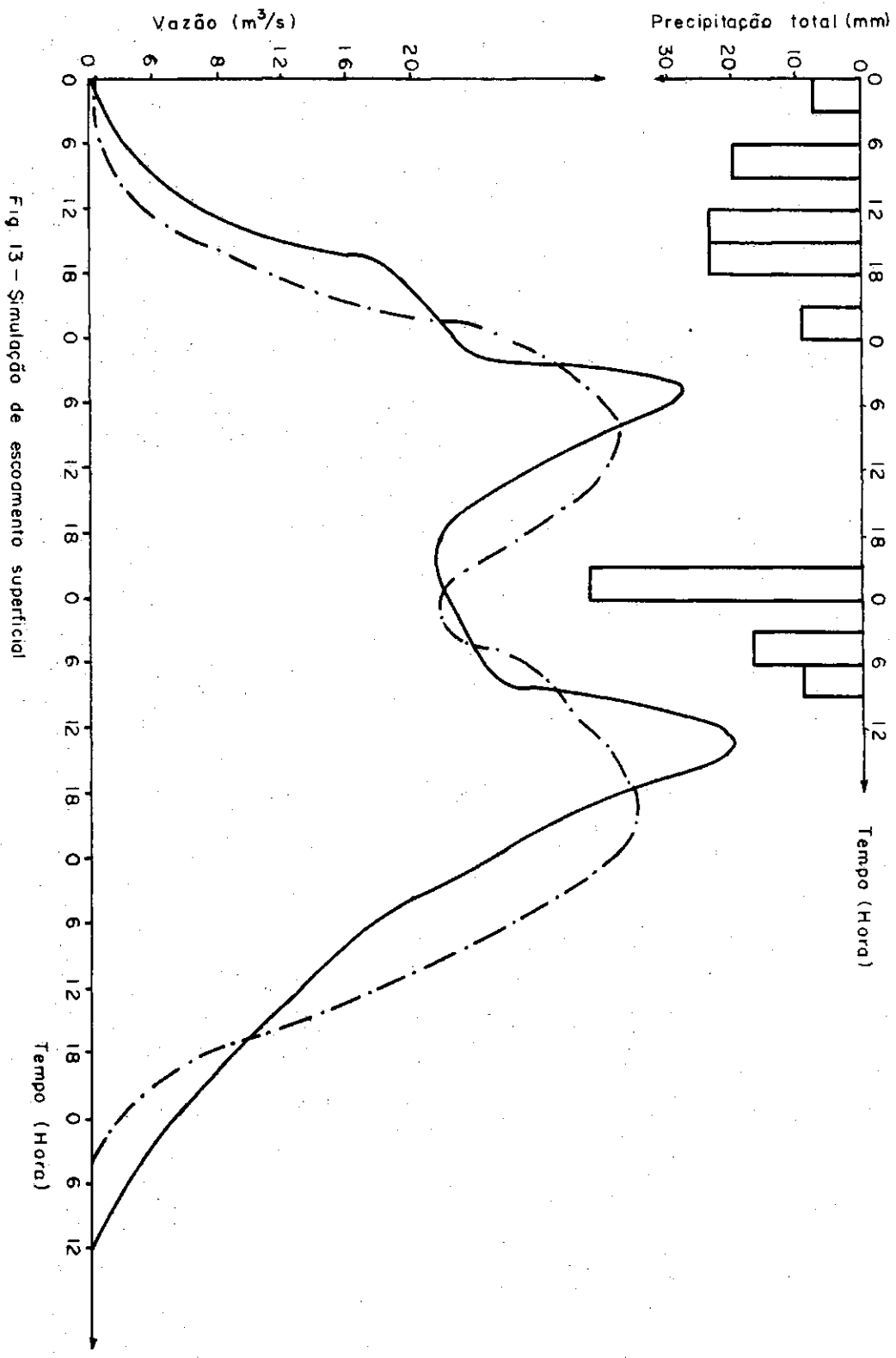


Fig. 13 - Simulação de escoamento superficial

Como foi verificado anteriormente, a adoção dos coeficientes de escoamento na determinação dos Hidrogramas Unitários foi feita de uma maneira aproximada, pelo que admitimos a possibilidade de os valores reais serem um pouco diferentes dos aqui admitidos.

A adoção de outros coeficientes de escoamento na determinação dos Hidrogramas Unitários correspondentes aos períodos estudados, evidentemente implicaria a alteração destes Hidrogramas.

O presente estudo pretende verificar o grau de variação daqueles Hidrogramas, quando os coeficientes adotados são submetidos a pequenas variações. Estes novos coeficientes estimados devem satisfazer à equação 4.4 ou seja, que a precipitação efetiva total permaneça constante para um mesmo hidrograma.

Um maior grau de sensibilidade, que representa grande variação do hidrograma unitário para pequenas variações dos coeficientes de escoamento, implica a incerteza da solução adotada, bem como a sua pouca utilidade para casos práticos.

Dos Hidrogramas Unitários estudados, elegeram-se dois como representativos para este estudo. Em seguida realizou-se a análise de sensibilidade, que consistiu, para cada Hidrograma, essencialmente no seguinte: submeteu-se um dos coeficientes de escoamento a uma pequena variação (aproximadamente 15%), o que implicou a variação da precipitação efetiva, cuja correção para o valor real foi feita admitindo-se pequenas modificações nos coeficientes, proporcionalmente distribuídas nos coeficientes das outras precipitações da chuva complexa. Com estes valores determinou-se um novo hidrograma unitário, o qual foi comparado com o adotado. Em seguida, os demais coeficientes foram submetidos a variações, e novas modificações foram feitas nos demais coeficientes, de acordo com o critério acima.

Os cálculos encontrados nas Tabelas 5.3 e 5.5 mostram os hidrogramas unitários com os novos coeficientes de escoamento adotados. Estes hidrogramas estão plotados nas Figuras 14 e 15. Baseando-nos nelas concluímos que o estudo realizado mostrou ser o Hidrograma Unitário bastante estável, pois com as variações de escoamento mostradas nas Tabelas 5.3 e 5.5, observaram-se pequenas variações nos hidrogramas unitários (5.4 e 5.6). Com isto podemos confiar em que os Hidrogramas Unitários são aceitáveis, apesar da pouca precisão nos coeficientes de escoamento adotados, e ainda, utilizar o Hidrograma Unitário adotado sem dispor dos valores exatos dos coeficientes de escoamento - o que ocorre na maioria dos casos práticos -, sem acarretar erros consideráveis.

3.0 CONSIDERAÇÕES BÁSICAS APLICÁVEIS PARA O ESTABELECIMENTO DOS COEFICIENTES DE ESCOAMENTO DESTE ESTUDO

Quando se pretende estabelecer a disponibilidade de água de uma bacia, um dos problemas mais importantes com que nos defrontamos é a determinação do coeficiente de escoamento superficial - o qual depende de vários parâmetros -, que, de uma maneira geral, são de difícil determinação.

Neste trabalho, os coeficientes citados acima foram estabelecidos com base nos dados disponíveis e principalmente na experiência adquirida neste e noutros estudos anteriores.

Apesar da dificuldade em se estabelecer uma direção para se estimar os coeficientes de escoamento, procuraremos aqui citar algumas considerações gerais, aplicáveis à Bacia em estudo ou outras semelhantes:

a. Os coeficientes de escoamento têm um valor mínimo de 0,10 para chuvas de aproximadamente 3 horas (com intensidade superior a 3 mm/h) estando o solo seco, e máximo de 0,65 para chuvas de grande intensidade (superior a 10 mm/h), estan

do o solo praticamente saturado;

b. As situações intermediárias são função de vários parâmetros, sendo os principais: umidade do solo, intensidade e duração de precipitação. A condição de umidade do solo foi utilizada a julgamento, baseada nas precipitações anteriores e na sua influência sobre os hidrogramas estudados;

c. De uma maneira geral, os coeficientes de escoamento apresentam valores entre 0,20 e 0,45, a depender das condições supracitadas.

Uma melhor estimativa pode ser feita baseada numa análise minuciosa das situações encontradas neste trabalho.

TABELA 5.3
ESTUDO DE SENSIBILIDADE DO H.U.

COEFICIENTE DE ESCOAMENTO						
	A	B	C	D	E	
	C ₁	0,15	0,26	0,10	0,10	0,12
	C ₂	0,32	0,31	0,40	0,23	0,30
C ₃	0,38	0,36	0,35	0,45	0,40	
ORDENADAS DOS HIDROGRAMAS UNITÁRIOS OBTIDOS (m ³ /s)						
	H ₁	1,95	1,20	1,80	3,70	2,80
	H ₂	11,18	11,15	11,24	11,36	11,20
	H ₃	11,58	11,56	11,52	11,50	11,60
	H ₄	10,62	11,17	10,70	10,66	10,76
	H ₅	9,59	10,29	9,80	9,00	9,49
	H ₆	5,75	6,20	5,75	5,50	5,52
	H ₇	2,45	2,90	2,60	2,30	2,45
	H ₈	0,55	0,63	0,59	0,46	0,52

TABELA 5.4
COMPARAÇÃO DO HIDROGRAMA ADOTADO COM OS HIDROGRAMAS OBTIDOS

	A-B	(A-B)%	A-C	(A-C)%	A-D	(A-D)%	A-E	(A-E)%
C ₁	-0,11	73,00	0,05	33,33	0,05	33,33	0,03	20,00
C ₂	0,01	3,00	-0,08	25,00	0,09	28,12	0,02	6,25
C ₃	0,02	5,00	0,03	7,89	-0,07	18,42	-0,02	5,26
H ₁	0,75	38,00	0,15	7,69	-1,75	89,00	-0,85	43,58
H ₂	0,03	0,20	-0,06	0,53	-0,18	1,61	0,02	0,17
H ₃	0,02	0,10	0,06	0,51	0,08	0,69	-0,02	0,17
H ₄	-0,55	5,10	0,08	0,75	-0,04	0,37	-0,14	1,31
H ₅	-0,70	7,20	0,21	2,18	0,59	6,15	0,10	1,04
H ₆	-0,45	7,80	0,00	0,00	0,25	4,34	0,23	4,00
H ₇	-0,45	18,30	-0,15	6,12	0,15	6,12	0,00	0,00
H ₈	-0,08	14,50	-0,04	7,26	0,09	16,36	0,03	5,45

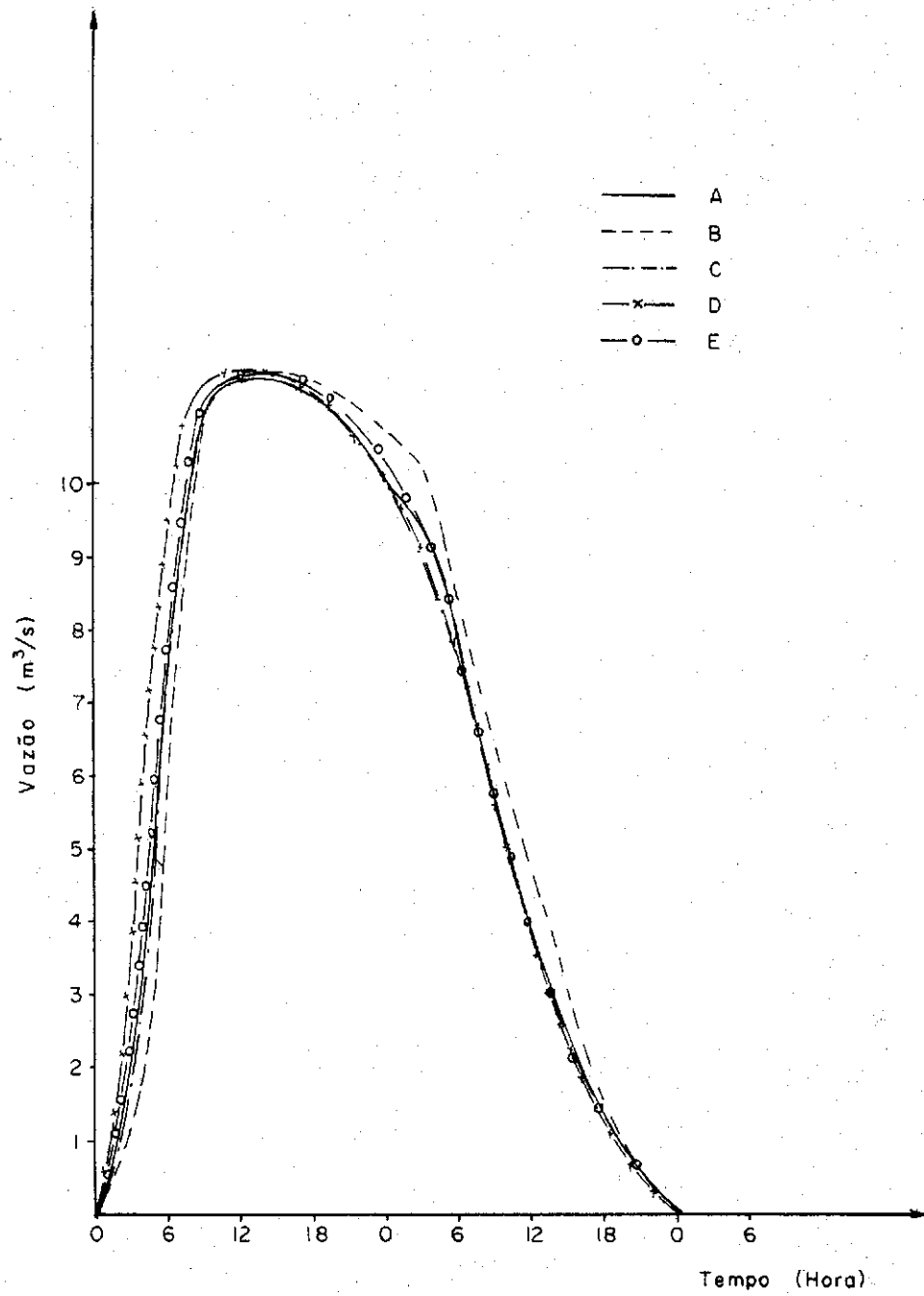


Fig. 14- Estudo de sensibilidade do hidrograma unitário

TABELA 5.5
ESTUDO DE SENSIBILIDADE DO H.U.

COEFICIENTE DE ESCOAMENTO	A	B	C	D	E
	C ₁	0,35	0,30	0,41	0,37
C ₂	0,55	0,56	0,45	0,57	0,56
C ₃	0,46	0,48	0,53	0,35	0,48
C ₄	0,32	0,35	0,38	0,35	0,20

ORDENADAS DOS HIDROGRAMAS UNITÁRIOS OBTIDOS (m ³ /s)	A	B	C	D	E
	H ₁	0,90	1,40	1,00	0,20
H ₂	8,37	8,45	7,80	9,10	8,10
H ₃	9,27	9,65	9,50	9,15	9,00
H ₄	10,90	10,95	10,80	11,40	10,55
H ₅	8,87	8,92	9,30	9,40	8,55
H ₆	5,98	6,00	6,30	5,80	6,35
H ₇	3,72	3,90	4,20	3,65	4,00
H ₈	3,40	2,90	3,20	3,36	4,00

TABELA 5.6

COMPARAÇÃO DO HIDROGRAMA ADOTADO COM OS HIDROGRAMAS OBTIDOS

	A-B	(A-B)%	A-C	(A-C)%	A-D	(A-D)%	A-E	(A-E)%
C ₁	0,05	14,00	-0,10	28,57	-0,02	5,71	-0,02	5,71%
C ₂	-0,01	1,81	0,10	18,18	-0,02	3,63	-0,01	1,81
C ₃	-0,02	4,34	-0,07	15,21	0,11	23,91	-0,02	4,34
C ₄	-0,03	9,37	-0,06	18,75	-0,03	9,37	0,12	37,50
H ₁	-0,50	55,55	-0,10	11,11	0,70	77,77	0,10	11,11
H ₂	-0,08	0,95	0,57	6,81	0,73	8,72	0,27	3,22
H ₃	-0,38	4,09	-0,23	2,48	-0,12	1,29	0,27	2,91
H ₄	-0,05	0,45	0,10	0,91	-0,50	4,58	0,35	3,21
H ₅	-0,05	0,56	-0,43	4,84	-0,53	5,97	0,32	3,60
H ₆	-0,02	0,33	-0,32	5,35	-0,18	3,01	-0,37	6,18
H ₇	-0,18	4,83	-0,48	12,90	0,07	1,88	-0,28	7,52
H ₈	0,50	14,70	0,20	5,88	0,04	1,17	-0,60	17,64

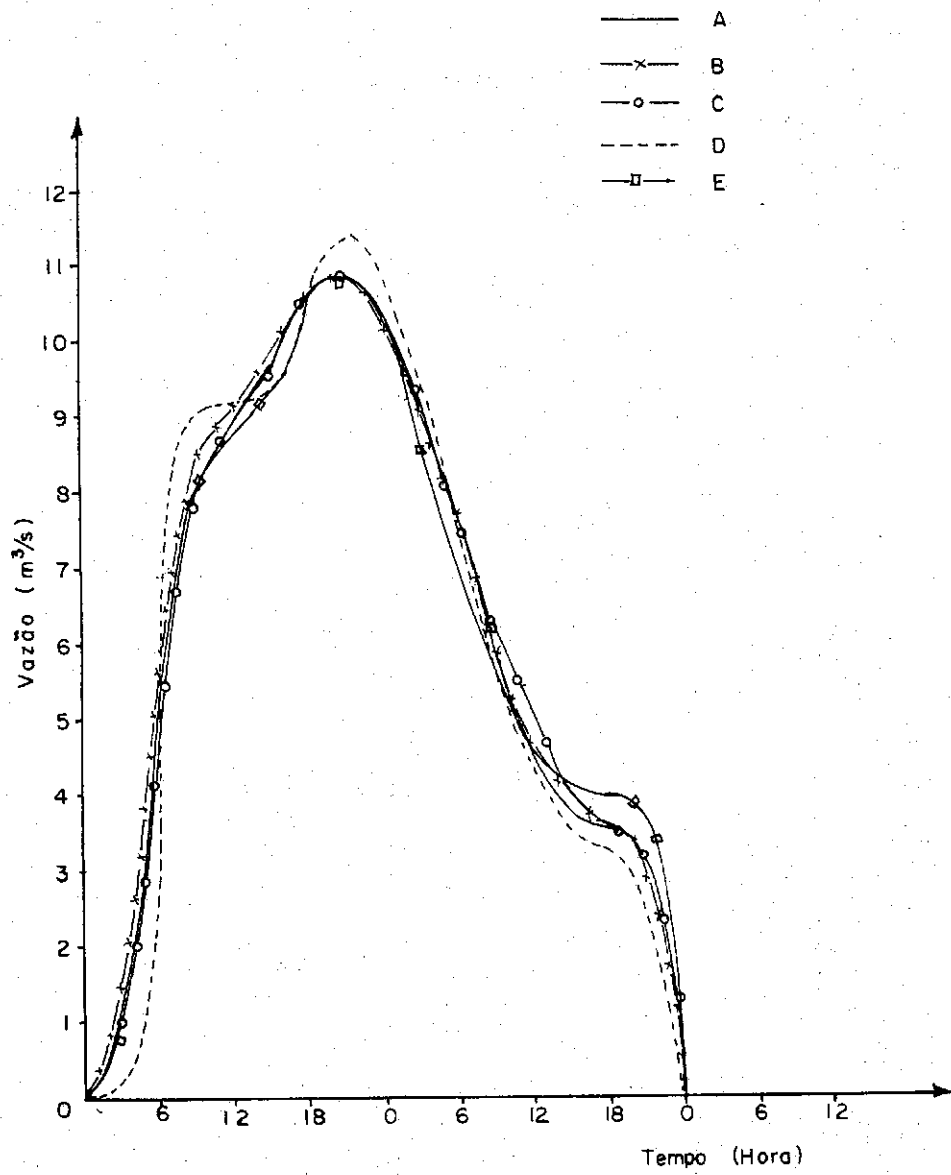


Fig. 15 - Estudo de sensibilidade do hidrograma unitário

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Da obtenção do Hidrograma Unitário e análise dos resultados, podemos concluir que:

1. A técnica sugerida por COLLINS (1) para determinar hidrogramas unitários a partir de hidrogramas complexos - conhecendo-se as precipitações efetivas -, pode ser utilizada quando não se dispõe destas precipitações, embora exija um maior número de tentativas e boa experiência do hidrólogo.

2. A simulação dos hidrogramas complexos mostrou-se satisfatória, embora no segundo caso tenham sido observadas diferenças. Estas diferenças foram consideradas como sendo provocadas:

- a. pela complexidade das precipitações (8, com duração de 3 horas);
- b. pela separação do escoamento de base;
- c. pelos coeficientes de escoamento e
- d. pelas limitações estabelecidas através do Método do Hidrograma Unitário.

3. O Hidrograma Unitário é bastante estável (conforme o estudo da sua sensibilidade), não sofrendo modificações consideráveis, quando os coeficientes de escoamento são submetidos a pequenas variações.

Devido às dificuldades e limitações encontradas neste trabalho, recomendamos que:

1. Sejam efetuados estudos de campo a fim de se determinar a parcela de uma precipitação que se infiltra e evapora, o que possibilitará o conhecimento da precipitação efetiva, e, conseqüentemente, uma maior precisão nas simulações que se deseje realizar;

2. Os novos dados coletados na Bacia sejam utilizados na determinação de outros hidrogramas unitários, que não sejam comparados com o aqui adotado;

3. Novas simulações sejam realizadas para verificar a veracidade do nosso Hidrograma Unitário.

B I B L I O G R A F I A

1. CHOW, Ven Te et alii. Handbook of applied hidrology. A compendium of water-resources technology. New York, McGraw-Hill Book, 1964.
2. GARCEZ, Lucas N. Hidrologia. São Paulo, Edgard Blücher, 1967.
3. HERAS, Rafael et alii. Manual de Hidrologia - 1. Principios basicos en hidrologia. Madrid, Centro de estudios hidrograficos, 1972.
4. HERAS, Rafael et alii. Manual de Hidrologia - 4. Hidrologia de las crecidas. Madrid, Centro de estudios hidrograficos, 1972.
5. LINSLEY, R. K.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. Applied hydrology. New York, McGraw-Hill Book, 1949.
6. LINSLEY, R.K.; KOHLER, M.A.; PAULHUS, J. L. Hydrology for engineers. New York, McGraw-Hill Book, 1958.
7. MORGAN, Paul E. & JOHNSON, Stanley M. Analysis of synthe

tic unit-graph methods. In: Journal of the hydraulics division. New York, American society of civil engineers, (5): 199-219, Sep. 1962.

- 8. NEWTON, Donald W. & VINYARD, J.W. Computer-determined unit hydrograph from floods. In: Journal of the hydraulics division. New York, American society of civil engineers, (5): 219-235, Sep. 1967.
- 9. NOUVELOT, J.F. Planificação de implantação de bacias representativas. Recife, SUDENE-ORSTOM, 1974.
- 10. REMENIERAS, G. L'Hidrologie de l'ingénieur. Paris, Eyrolles, 1960.
- 11. ROCHE, M. Hydrologie de surface. Paris, Gauthier-Villars 1963.
- 12. SINGH, Krishan Piara. Nonlinear instantaneous unit-hydrograph theory. In: Journal of the hydraulics division. New York, American society of civil engineers, (8): 39-61, Aug. 1959.
- 13. SOUZA PINTO, N.L; HOLTZ, A.C.T.; MARTINS, S.A. Hidrologia de superfície. Curitiba, Escola de Engenharia, 1967.
- 14. VILELA, Swami M. & MATOS, Arthur. Hidrologia aplicada. São Paulo, McGraw-Hill Book, 1975.
- 15. WISLER, Chester O. & BRATER, Ernest F. Hidrologia. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico, 1964.