

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

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

ALUNA: SILVANA NUNES DA COSTA
MATRÍCULA: 8611160-6
ORIENTADOR: V.S. SRINIVASAN

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

MARÇO/1990



Biblioteca Setorial do CDSA. Outubro de 2021.

Sumé - PB

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

À todos que colaboraram na orientação deste trabalho e de forma muito especial a CARLOS GALVÃO pela fiel dedicação.

S U M Á R I O

	PÁGINA
01 - INTRODUÇÃO.....	01
02 - OBJETIVO DO ESTÁGIO.....	03
03 - A BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ.....	04
- Localização.....	04
- Clima.....	04
- Solo.....	04
- Relevo e Vegetação.....	05
- Dispositivos experimentais.....	05
04 - COLETA DE DADOS.....	08
Microbacias.....	08
Parcelas.....	08
Visita à Bacia Experimental de Sumé-PB.....	09
05 - TRATAMENTO DE DADOS.....	11
- Pluviografia e Pluviometria.....	11
- Linigrafia e Lâmina Escoda.....	14
- Análise Sedimentométrica.....	20
06 - MODELAGEM DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	21
- Introdução.....	21
- O Método de Otimização Implementado no Modelo MODIBI (IBIZA-1983).....	23
- Função Objetivo.....	25
- Importância.....	25
- Funções Disponíveis na Literatura.....	25
- Escolha da Função Objetivo.....	27
07 - CONCLUSÃO.....	29
08 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	30

ANEXOS

01-INTRODUÇÃO

No manejo dos recursos hídricos em pequenas bacias hidrográficas, observa-se como pontos importantes, a necessidade de aumentar o escoamento superficial e armazenar o maior volume possível de água nas represas; e a necessidade de favorecer a infiltração da água no solo, permitindo armazenar "in situ" as águas precipitadas, aumentando a produção vegetal e reduzindo a erosão do solo.

Os estudos desenvolvidos em bacias experimentais se propõem a quantificar as consequências na produção dos escoamentos sólidos e líquidos das diversas modificações do meio ambiente. É evidente que a intervenção do homem pode modificar consideravelmente o regime hidrológico e a proteção dos solos. Por outro lado, sabe-se que um manejo correto dos recursos hídricos permite multiplicar o aproveitamento captando uma proporção maior das águas precipitadas e utilizando técnicas de irrigação muito mais econômicas.

Em função dessas questões, foi instalada em 1982 em Sumé-PB., região semi-árida do Nordeste, a Bacia Experimental de Sumé, tendo como órgãos executores a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e Missão Hidrológica Francesa (ORSTOM). Em 1984, a Universidade Federal da Paraíba (UFPB), incorporou-se à pesquisa através do Projeto "Modelo de Aproveitamento Hidroagrícola em Bacias Experimentais" na Região de Sumé-PB., financiado pelo Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PDCT/NE), e a partir de então passou a dar continuidade aos trabalhos de pesquisa, em conjunto com a SUDENE e ORSTOM.

Em resumo, os estudos da Bacia Experimental de Sumé

visam desenvolver uma metodologia para medir escoamentos e erosão sobre microbacias e pequenas parcelas, e permitir, desse modo, avaliar as consequências do desmatamento da caatinga e outras modificações no manejo do solo e cobertura vegetal, cujos resultados deverão ser utilizados para o dimensionamento e a operação de pequenos perímetros de irrigação.

A pesquisa conta atualmente com uma equipe permanente formada por um professor e pesquisador da UFPB (coordenador do projeto), um hidrólogo da ORSTOM/SUDENE, um engenheiro da UFPB, um técnico de campo e estagiários alunos da UFPB.

Em março de 1989, fui incorporada à equipe de pesquisa como estagiária, tendo assim permanecido até novembro do mesmo ano, integralizando uma carga horária de 496 horas.

02 - OBJETIVO DO ESTÁGIO

Com o objetivo de cursar a disciplina Estágio Supervisionado do Curso de Engenharia Agrícola, foi realizado no período de março a novembro de 1989, no Laboratório de Hidráulica/ Departamento de Engenharia Civil da UFPB, estágio no projeto de pesquisa "Modelo de Aproveitamento Hidroagrícola em Bacias Experimentais na Região de Sumé-PB".

O papel do estagiário na pesquisa foi basicamente um apoio ao engenheiro no tratamento dos dados necessários à condução da pesquisa.

Dentro deste objetivo, foram realizados durante o estágio as seguintes atividades:

- Análise de consistência de dados;
- Pluviometria (lâminas diárias e instantâneas);
- Cálculo da intensidade de precipitação;
- Checagem da linigrafia e hidrogramas das microbacias de dados considerados aparentemente duvidosos;
- Modelagem do escoamento superficial.

03- A BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÊ

Codier et al. (1983) e Gomes et al. (1987) descrevem a Bacia Experimental de Sumê-PB., da seguinte maneira:

Localização:

A Bacia Experimental de Sumê faz parte de uma bacia representativa de mesmo nome, escolhida numa zona com características físico-climáticas semelhantes a uma parte importante do sertão nordestino, onde o armazenamento da água de superfície, por açudagem, parece ser a solução para regularizar os recursos hídricos. A bacia está situada na região semi-árida da Paraíba ($7^{\circ}40'S$, $37^{\circ}00'W$ Gn), a 15 km de Sumê (PB), na BR 412, a 240 km de João Pessoa (Figura 1).

Clima

O clima é do tipo subdesértico quente, de tendência tropical, com inverno se concentrando em três meses do ano. A precipitação anual média é de 590 mm, com desvio pluviométrico anual médio em relação à normal de cerca de 50%. A temperatura anual é de $24^{\circ}C$; a insolação anual média é de 2800 horas e a evaporação anual média no tanque classe A é 2.900 mm.

Solo:

O solo predominante da bacia é o Bruno não cálcico vértico, com permeabilidade lenta de 26 mm/h pelo método de MUNTZ.

Relevo e Vegetação:

O relevo é pouco ondulado a ondulado, com declividade variando entre 4% e 9%. O recobrimento vegetal é de dois tipos: a caatinga nativa densa hiperxerófila arbustiva e arbórea, e um pousio de oito anos, onde a caatinga germinou de novo.

Dispositivos Experimentais:

Para permitir a medição do escoamento superficial e erosão provocadas por cada chuva, estão atualmente instaladas na bacia experimental 4 (quatro) microbacias e 9 (nove) parcelas de erosão com diversas coberturas e declividades conforme transcrito nos quadros 1 e 2. A Figura (2) mostra a localização das instalações.

- Equipamento das microbacias:

As quatro microbacias são equipadas com tanque coletores das águas e dos sedimentos escoados correspondentes a cada chuva e de linígrafos para medir a variação da cota d'água no tanque. O tanque possui forma paralelepípedica com 2.300 litros de capacidade, com um vertedor triangular de 90° de soleira delgada.

Um dispositivo de amostragem automática dos sedimentos das águas que sangram pelo vertedor completa o mecanismo de coleta das amostras (Figura 3 e 4).

Com relação as microbacias, é importante ressaltar que a vegetação das microbacias 3 e 4 deverá ser retirada quando atingir em média 5cm de altura de modo a manter a microbacia no seu estado padrão com solo nu.

- Equipamento das parcelas:

O equipamento das parcelas é constituído por 2 tanques de cimento amianto, com 1.000 litros de capacidade cada, incluindo um partidor das descargas, em que oito partes em nove transbordam. Desta forma, 11,1% dos volumes que transbordam do primeiro tanque são colhidos no segundo tanque. A área de cada parcela é de 100m^2 (22,1 x 4,5 m), como mostram as Figuras 5 e 6.

Ainda com relação as parcelas, ressalta-se que a calibragem do partidor deve ser realizada detalhadamente devendo-se verificar frequentemente os tubos para que os mesmos permaneçam livres de obstrução e nivelados. É necessário ainda que a vegetação das parcelas 1 e 4 seja retirada sempre que atingir uma altura média de 5cm; e as parcelas 2 e 3 sejam roçadas quando a vegetação atingir de 20 a 25cm. A parcela 8 deverá ser mantida constantemente limpa, com solo revolvido sempre que a superfície se apresentar compactada, segundo as normas de WISCHMEIR e SMITH (1960).

Além dos equipamentos citados acima, a bacia experimental de Sumê possui ainda uma estação meteorológica e pluviômetros e pluviôgrafos localizados em vários pontos para permitir um melhor acompanhamento das variações temporais e espaciais das chuvas (Figura 2).

Os quadros (1) e (2) mostram as características físicas das microbacias e parcelas.

QUADRO 1 - Características Físicas das Microbacias.

MICROBACIA	ÁREA (ha)	DECLIVIDADE (%) MÉDIA	COBERTURA VEGETAL E ES TADO DA SUPERFÍCIE
1	0,62	7,0	Caatinga nativa
2	1,07	6,1	Caatinga nativa
3	0,52	7,1	Desmatada
4	0,48	6,8	Desmatada

QUADRO 2 - Características Físicas das Parcelas.

PARCELAS	DECLIVIDADE (%)	COBERTURA VEGETAL E ESTADO DA SUPERFÍCIE
1	3,8	Desmatada
2	3,9	Cobertura morta
3	7,2	Cobertura morta
4	7,0	Desmatada
5	9,5	Caatinga nativa
6	4,0	Palma forrageira plantado morro abaixo
7	4,0	Palma forrageira plantada em con torno
8	4,0	Desmatada e manejada de acordo com as normas de WISCHMEIER
9	4,0	Caatinga nova

04 - COLETA DE DADOS

- Microbacias:

O volume d'água escoado é calculado somando-se o volume colhido no tanque (fossa de sedimento, Figura 3) com o eventual volume sangrado através do vertedor. O linígrama instalado acompanha o nível d'água no tanque e no vertedor e, através das curvas de calibragem, os linígramas (cota x tempo) correspondentes a cada cheia são transformados em hidrogramas (vazão x tempo) para posterior cálculo do volume total escoado. Esse volume total é transformado em lâmina escoada dividindo-o pela área da microbacia correspondente.

As amostras de água carregadas de sedimentos são coletadas em volumes de cinco (5) litros e de um (1) litro em número que depende do volume da cheia. Para cada evento ocorrido, podem ser coletadas até sete (7) amostras. Na Figura 7 está apresentado o formulário usado na coleta dos dados nas microbacias.

- Parcelas:

O volume d'água escoado na parcela é calculado somando-se o conteúdo do primeiro tanque com nove (9) vezes o conteúdo do segundo.

O processo de amostragem do material sólido é o mesmo descrito no caso das microbacias, em termos de coleta de várias amostras nos dois tanques para permitir a avaliação da quantidade dos sedimentos erodidos. Na Figura 8 está apresentado o formulário usado na coleta destes dados nas parcelas.

Cordier et al (1983) descrevem em detalhes o procedimento de coleta de dados.

Visita à Bacia Experimental de Sumé

Em visita feita a Bacia Experimental de Sumé, tivemos a oportunidade de, além de conhecermos todos os dispositivos experimentais utilizados para medição do escoamento superficial e da erosão do solo, participarmos efetivamente da coleta de dados realizada naquele dia. Pudemos observar os fenômenos hidrológicos acontecerem, pois chovia bastante, o que provocou a ocorrência de escoamento em várias das parcelas e microbacias.

O processo originou-se da precipitação que ocorreu em boa parte da região onde está localizada a Bacia Experimental de Sumé. A água que caiu sobre a Bacia provocou escoamento após ter saturado o solo. No caso das microbacias 3 e 4, não houve interceptação das águas da chuva através da vegetação, pois ambas são desmatadas e, desta forma, para que o escoamento superficial fosse percebido, bastou apenas que o solo absorvesse a água na sua capacidade de infiltração até saturar-se. Ao contrário das microbacias 3 e 4, as outras duas restantes (1 e 2) que possuem cobertura vegetal (caatinga nativa), o escoamento superficial demorou um pouco mais a iniciar-se, e é bastante fácil perceber que o efeito desta vegetação causa um escoamento superficial quantitativamente menor que o ocorrido nas microbacias desmatadas, onde o escoamento inicia-se quase que imediatamente após o início da precipitação, dependendo do tipo de solo.

Com relação as parcelas, o escoamento superficial foi notado de forma diferente dependendo do estado da superfície do solo e da densidade e altura da cobertura vegetal existente em

cada uma delas.

A visita realizada foi de grande valia e portanto podemos chegar a algumas conclusões. Nas microbacias, deve haver uma fiscalização contínua dos linígrafos para garantir um ótimo funcionamento, pois do contrário provocaria erro na leitura do nível d'água no tanque, e conseqüentemente erro na construção dos hidrogramas.

Em cheias fortes que produzem grande quantidade de sedimentos, é comum ocorrer problemas na operação dos linígrafos, portanto é necessário observar se houve algum problema de registro das cheias.

Finalmente, reconhece-se que o processo de amostragem manual é bastante impreciso o que contribui para uma maior dispersão dos dados. O grau de confiança da coleta de dados é diretamente dependente da qualidade pessoal do técnico, portanto registramos aqui a grande importância de uma coleta de dados bem feita. Para isso é fundamental que o técnico de campo seja uma pessoa competente e responsável, e que efetue a amostragem com base nos princípios fundamentais da pesquisa, o que certamente contribuirá para uma análise de dados mais apurada e resultados mais representativos.

05 - TRATAMENTO DOS DADOS

Após a coleta dos dados, os mesmos são levados ao laboratório onde são submetidos a um tratamento para correção de falhas que porventura tenham ocorrido. É verificada a consistência e os possíveis erros de cálculos, assim como são analisados valores aparentemente duvidosos.

Nesta fase da pesquisa são processadas as informações referentes a Pluviografia e Pluviometria, Linigrafia e Lâmina Escoada, Intensidade de precipitação, Vegetação, Análise Sedimentométrica em Laboratório e Taxa de Erosão. A seguir são detalhadas as atividades em que a estagiária teve participação efetiva.

Pluviografia e Pluviometria

Neste estudo é feita uma verificação do grau de justaposição e consistência entre os dados de pluviografia e pluviometria, que é feito em duas etapas: Entre postos e através de boletins e diagramas.

Estão instalados na Bacia Experimental de Sumé, cinco (5) pluviômetros onde são coletadas e medidas todas as precipitações que ali ocorrem. Figura 6.

Na primeira etapa, é feita a observação dos valores das precipitações medidas em cada posto e feita a verificação entre postos. Como todos os postos estão separados por distâncias relativamente curtas e são instalados dentro da Bacia Experimental, espera-se que para cada evento se tenha valores aproximados de precipitação em todos os postos de observação. Caso exista algum valor muito diferente dos outros, medido em um determinado posto, este valor deve ser cuidadosamente verificado, podendo ser re

constituído a partir das observações dos pluviômetros ou até desprezado.

Na segunda etapa, é feita comparação dos dados de pluviografia e pluviometria com os boletins e diagramas.

Após realizada a consistência dos dados, os mesmos são arquivados em computador e em seguida é feito o cálculo da precipitação média diária dos dados de pluviometria (através do método da média aritmética) e o cálculo da intensidade média através dos dados de pluviografia.

O Quadro 3 apresenta os dados de pluviometria obtidos através da pluviografia para a cheia Nº 59,

Na coluna (1) está mostrado o tempo entre as chuvas; nas colunas (2) e (3) respectivamente, estão mostradas as alturas precipitadas e a intensidade de precipitação correspondente a cada intervalo de tempo.

O cálculo da intensidade de precipitação é feito através da fórmula:

$$I = \frac{\text{Precipitação no intervalo (mm)}}{\text{Duração do intervalo (h)}}$$

A seguir é mostrado o cálculo da intensidade de precipitação para o intervalo decorrido entre os pontos 1 e 2. (Quadro 3).

$$I_{1-2} = \frac{5,9 \text{ mm}}{0,216\text{h}} \quad I_{1-2} = 27,31 \text{ mm/h}$$

Através dos valores de intensidade de precipitação

mostratos na coluna (3), concluiu-se que para esse evento, dois corpos de chuva são observados, um entre os pontos 2 e 4 e outro entre os pontos 9 e 11.

Para o cálculo da intensidade média de precipitação para a cheia Nº 59, é determinado o intervalo de tempo desde o início da precipitação (ponto 1) até o final (ponto 12), e o somatório das alturas precipitadas, que são mostrados no quadro 3. O cálculo é feito através da fórmula.

$$I_m = \frac{\sum \text{Precipitação}}{\sum \text{Tempo}} \quad I_m = \frac{35,20 \text{ mm}}{4,716 \text{ h}}$$

$$I_m = 7,46 \text{ mm/h}$$

O Quadro 3 mostra os dados referentes a esse cálculo.

10.

Linigrafia e Lâmina Escoada

Na época do estágio estava sendo realizada checagem dos linigramas e hidrogramas das microbacias, de dados considerados duvidosos, observando-se na construção dos hidrogramas se os dados utilizados dos linigramas foram retirados corretamente, para se poder efetuar um estudo com dados mais consistentes.

Os linígrafos fornecem um registro contínuo do nível de água através de uma pena que se desloca, conforme este varia, sobre um papel que avança com o tempo, formando os linigramas que são gráficos que representam a altura d'água no tempo.

Na análise dos linigramas, são observadas todas as etapas a partir do momento em que se iniciou a chuva, início do escoamento, passando pelo transbordamento pelo vertedor indo até o momento em que cessa a chuva.

A lâmina d'água é convertida em vazão através da fórmula $Q = 1,4H^{2,5}$; pois os vertedores dos tanques coletores de água utilizados nas microbacias são triangulares. (Figura 4).

Após convertidas as lâminas em vazão, é construído o hidrograma da cheia, que é a representação cronológica da descarga do curso d'água.

Os hidrogramas permitem uma visualização do comportamento de uma cheia durante as diferentes situações de inundação, condições normais de tempo e épocas secas. O hidrograma das vazões de um curso-d'água consiste em uma série de elevações ou picos de forma e espaçamento irregulares que se sucedem durante um período considerado. Cada precipitação sobre a bacia ou parte dela, produz uma onda de enchente cuja magnitude varia com a intensidade da pre

precipitação e sua localização sobre a bacia, e depende do teor de umidade do solo antes da precipitação. O hidrograma reflete as seguintes fases: A precipitação direta sobre o curso-d'água; o escoamento superficial; o escoamento subsuperficial e o fluxo subterrâneo ou o fluxo de base. Os segmentos da curva de um hidrograma são elevação ou segmento ascendente; crista; e segmento descendente ou depleção. A Figura 9 mostra as várias partes que constituem um hidrograma.

O passo seguinte no estudo da linigrafia e lâmina escoada é o cálculo dos volumes e das lâminas. O cálculo do volume total do escoamento superficial é obtido pela integração gráfica do hidrograma mais o volume armazenado na fossa. A lâmina escoada é calculada pela divisão do volume total pela área da microbacia considerada. Em seguida são arquivados em computador para análise posterior.

Na Figura 9, o trecho AB representa o braço ascendente. A forma do braço ascendente é determinada pela intensidade da chuva. Se a chuva é torrencial, o braço AB será íngreme; se for moderada, o braço AB se elevará gradualmente com o tempo.

No trecho BC tem-se o Coroamento. O ponto mais alto do coroamento é chamado de pico. O pico geralmente é atingido algum tempo depois que a chuva cessa. Se sucessivas chuvas passarem pela bacia, o hidrograma mostrará mais de um pico. Quando isto acontece, chamamos o hidrograma de múltiplos picos.

O Braço descendente é representado pelo trecho CD em diante, onde o ponto C marca o começo do braço descendente que corresponde ao instante em que o escoamento superficial cessou. A parte do braço descendente desde o ponto D em diante, representa

a utilização da água do subsolo (ou escoamento da água subterrânea). Por isto CD é chamado de curva de escoamento da armazenagem da superfície, e a parte da curva D em diante é chamado de curva de escoamento da água subterrânea. Como o braço descendente ou descida é uma curva de depleção da acumulação, ela independe das características da chuva. Sua forma depende das condições do solo e superfície.

O hidrograma da Figura 9 é chamado de Hidrograma total e consiste de dois componentes principais como sejam:

- Hidrograma Direto ou escoamento direto, que é representado pelo trecho (ABCDEA);

- Fluxo de base ou escoamento direto, representado pelo trecho compreendido entre os pontos (1AED61).

A Figura 10 mostra o hidrograma da cheia Nº 59 (ocorrida na microbacia Nº 03), e o correspondente ietograma mostrando a intensidade de precipitação da chuva que provocou a cheia.

O ponto A representa o início do escoamento superficial que só aconteceu após cerca de 20 minutos do início da precipitação. Esse tempo que levou para que o escoamento superficial fosse iniciado corresponde ao tempo em que as primeiras águas da precipitação levam para umeder as camadas mais superiores do solo, até que haja saturação, dando início ao escoamento superficial. A vazão, então, aumenta com o tempo até atingir um valor máximo no ponto B. Este valor é obtido algum tempo depois de ter terminado a precipitação.

A partir do ponto B, há havendo um decréscimo no valor da vazão até que atinja o valor zero; este trecho representa uma curva de depleção do hidrograma.

O trecho entre o ponto C e o ponto D é caracterizado por uma diminuição da intensidade de precipitação. Nas microbacias de Sumé-PB não existe escoamento subterrâneo, baseado no hidrograma este tipo de escoamento era o único que poderia acontecer, desta forma conclui-se que para o trecho CD do hidrograma não há escoamento.

Do ponto D ao ponto E, com o solo contendo de início um certo teor de umidade, o processo é o mesmo para o trecho AB. Da mesma forma que o trecho EF apresenta as características semelhantes ao BC.

A partir do ponto F observa-se um novo braço ascendente FG que foi provocado pelo aumento da intensidade de precipitação.

pitação como pode ser verificado no ietograma.

Como no trecho EF, o GH caracteriza uma diminuição do escoamento superficial, até atingir o ponto zero onde termina a cheia.

O hidrograma mostra que a cheia Nº 59 teve dois corpos confirmando a análise feita através do Quadro 3.

A Figura 11 mostra o linigrama correspondente a cheia Nº 59 da microbacia 03.

Quadro 3 - PLUVIOMETRIA - Evento - Cheia Nº 59

Data: 05/02/85

PONTO	COLUNA (1)	COLUNA (2)	COLUNA (3)
	HORA	CHUVA (mm)	INTEN. PRECIPITAÇÃO (mm/h)
1	18:43	0,0	0,0
2	18:56	5,9	27,31
3	19:12	3,2	11,98
4	19:36	0,0	0,0
5	19:52	0,6	2,25
6	20:15	1,0	2,61
7	20:35	0,4	1,20
8	22:17	0,2	0,28
9	22:31	4,7	20,14
10	22:47	10,0	37,50
11	23:02	8,1	32,40
12	23:20	1,1	3,67
	4:43 hs	35,20 mm	

Análise Sedimentométrica

Para quantificação da erosão do solo em função do escoamento superficial provocado pela precipitação, as amostras coletadas são levadas ao laboratório onde passam por vários processos descritos a seguir.

- 1) Peso seco das amostras;
 - Filtragem e/ou secagem em banho-maria para eliminação do excesso de umidade;
 - Secagem em estufa por 24 horas;
 - Pesagem do resíduo seco
- 2) Concentração de cada amostra dividindo-se seu peso seco pelo volume;
- 3) Peso total de sedimentos transportados, que é obtido calculando-se o somatório dos produtos das concentrações pelos volumes escoados que elas representam;
- 4) Taxa de erosão em Kg/ha, obtido dividindo-se o peso total pela área da parcela ou microbacia.

A Figura 12, mostra a ficha utilizada na anotação das pesagens de sedimentos erodidos.

06-MODELAGEM DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Introdução:

Os modelos de simulação e os métodos matemáticos utilizados na hidrologia, sem dúvida, têm proporcionado meios para o aprofundamento da análise e interpretação dos fenômenos hidrológicos, principalmente com a utilização de recursos computacionais.

Todo projeto dentro do campo da engenharia pode ser caracterizado como um modelo de previsão do comportamento de um sistema (VIANA, 1986). Desta forma, quanto mais o esquema escolhido para prever o comportamento do sistema natural se aproximar da realidade, mais confiável será o projeto de engenharia.

De acordo com a forma de representação do sistema, os modelos podem ser classificados em modelos físicos, modelos analógicos e modelos matemáticos.

Os modelos físicos são caracterizados por interpretarem determinados fenômenos através da simulação em outro sistema de dimensões menores. Já os modelos analógicos, interpretam os fenômenos que tem conteúdo e forma diferenciados, apresentando, no entanto, semelhança na estrutura ou lei de formação (VIANA, 1986).

Nos modelos matemáticos, a interpretação e análise dos fenômenos são feitas através da formulação analítica, onde o sistema físico é representado por um conjunto de expressões matemáticas compostas de variáveis e parâmetros.

Diante das facilidades na operacionalização dos sistemas no campo da hidrologia os modelos matemáticos são em geral do tipo digital, destacando-se os "modelos estatísticos" e os "mo

delos determinísticos".

Os estudos dos modelos que utilizam conceitos estatísticos são caracterizados em três grupos, quais sejam: Métodos de regressão e correlação, Teoria da Probabilidade e Métodos Estocásticos, que, não obstante suas individualidades, permitem, nas suas aplicações, um alto grau de inter-relacionamento. Os métodos de regressão e correlação permitem aferir o grau de relacionamento, é expresso através dos indicadores estatísticos, tais como coeficiente de correlação, desvio padrão, limites de confiança e teste de significância. A teoria da probabilidade tem o objetivo de prever o comportamento das variáveis do processo. Já o método estocástico se caracteriza pelo processamento dos dados dependentes do tempo, cujo acesso se faz através da especificação dos dados para se fazer a previsão.

Os modelos determinísticos são divididos em modelos empíricos e conceituais. Os modelos empíricos procuram representar determinado fenômeno através de uma equação matemática, quando não se conhecem os mecanismos que regulam o processo. Nos modelos conceituais, os mecanismos são representados, embora não seja conhecido a forma exata de interrelação entre diversos processos envolvidos no sistema.

Para o estudo das microbacias experimentais da Baía de Sumê, foi escolhido o modelo MODIBI (IBIZA, 1985), do tipo conceitual a nível diário, que foi desenvolvido há poucos anos, testado na África, e é adequado aos dados coletados, estando disponível com documentação. A Figura 13, mostra o diagrama esquemático do modelo MIDIBI (IBIZA, 1985).

A modelagem do escoamento superficial para as micro

bacias da Bacia Experimental de Sumé, tem a finalidade de ajustar um esquema matemático computacional que reproduza os escoamentos observados objetivando conhecer as características da bacia e gerar séries de longa duração para previsão de cheias de tempo de recorrência específico.

O modelo foi aplicado então às microbacias com resultados satisfatórios. Para um ajuste mais fino da calibragem decidiu-se implementar um algoritmo de otimização automática no modelo. A estagiária participou especificamente no processo de definição da função objetivo a ser utilizada, como será descrito adiante.

O Método de Otimização Implementado no Modelo MODIBI (IBIZA,1985)

A definição da melhor representação do sistema hidrológico, e do tipo do método de otimização a ser utilizado, depende fundamentalmente da sistematização do conjunto das variáveis e parâmetros a serem processados e do equipamento de que se disponha para sua computação. A Figura 14 esquematiza as principais etapas observadas no processo de otimização.

Para calibragem do modelo, utilizou-se o método de otimização automática de Rosenbrok (1960). Este método além de apresentar bons resultados entre os mais utilizados, ainda oferece um vasto material para pesquisa bibliográfica, além da disponibilidade de sub-rotinas na literatura

Este método funciona da seguinte forma (CLARKE,1973):

Seja F a função objetivo da qual se quer encontrar o mínimo, e P_1, P_2, \dots, P_n os parâmetros do modelo. Se imaginarmos três eixos perpendiculares entre si onde dois deles representam

P_1 e P_2 e o outro a função F representada pelos valores assumidos para F , teremos uma interpretação geométrica de uma superfície que, o colocarmos uma esfera sobre esta, a mesma se deslocará para o ponto mais baixo, o qual sua projeção no plano (P_1, P_2) dará o ponto que representa o mínimo da função F , da qual se deseja encontrar as coordenadas.

Para iniciar o processo de procura deste ponto, parte-se da aproximação de um ponto de mínimo (P_1^0, P_2^0) através da exploração dos eixos P_1 e P_2 , dando um incremento (d_1) a (P_1^0, P_2^0) . Primeiramente o incremento é dado na direção de P_1 , $(P_1^0 + d_1; P_2^0)$ e a função é dada na direção de P_1 , $(P_1^0 + d_1, P_2^0)$ e a função é avaliada.

Nessa avaliação dois critérios devem ser observados:

1) Se o valor da função no ponto $(P_1^0 + d_1; P_2^0)$ for menor ou igual ao seu valor em (P_1^0, P_2^0) , a tentativa é considerada um sucesso.

2) Se for maior diz-se que houve um fracasso.

Caso seja sucesso, deve-se multiplicar o incremento (d_1) por um valor maior que "1" para expandir o incremento naquela direção. Em caso de se ter fracasso, multiplica-se d_1 por um mínimo entre "0" (zero) e "-1" (menos um) para contrair o incremento naquela direção.

De modo análogo, considera-se a busca na direção de P_2 avaliando a função como descrito anteriormente.

A busca do ponto de mínimo, é feita por um processo iterativo, onde o descrito acima representa apenas o primeiro estágio deste processo.

Encontrado o ponto nas duas direções P_1 e P_2 .

so seguinte é encontrar novas direções de busca. Estas novas direções são encontradas unindo-se o ponto de partida (P_1^0, P_2^0) ao ponto determinado, através da avaliação da função (descrito anteriormente) (P_1^1, P_2^1) . A linha que une esses dois pontos é considerado um novo eixo, e a partir desse medindo-se um ângulo reto obtém-se um novo plano (P_1, P_2) . Daí em diante, prossegue-se com o segundo estágio de forma semelhante ao primeiro, até se concluir o processo depois de um número especificado de avaliações da função.

- FUNÇÃO OBJETIVO

- Importância:

Como a calibração do modelo hidrológico visa permitir o ajustamento dos parâmetros do modelo de simulação em relação aos valores observados no sistema físico, tornou-se necessário o uso de um critério de eficiência, que tem como objetivo reproduzir com o máximo de fidelidade o comportamento do sistema hidrológico, analisando os dados observados e os dados simulados no modelo.

- Funções Disponíveis na Literatura:

Existe uma grande quantidade de funções disponíveis que podem ser utilizados nos estudos hidrológicos com bacias experimentais. No entanto, o seu uso e conseqüentemente a confiabilidade com que os resultados são reproduzidos depende fundamentalmente do tipo de série de dados em estudo.

Algumas funções, como é o caso da proposta por FERREIRA e NUNES (1987), analisam e ponderam os valores a partir da média total das vazões observadas. Esse tipo de função em geral for

nece bons resultados quando utilizados em estudos que apresentam série de dados oscilando entre valores altos e baixos de vazão.

Outras funções consideram as diferenças absolutas entre as vazões observadas e as calculadas no modelo de simulação, caso de (CLARKE, 1973). Essas são mais conhecidas e utilizadas.

Funções que analisam valores de vazão a partir do somatório dos quadrados das diferenças dos desvios relativos, tambêm apresentam bons resultados quando utilizadas em condições favoráveis.

A seguir apresentamos algumas funções entre as mais utilizadas:

a) VIANA (1986)

$$F.O = \sum \left[\frac{(Q_{obs} - Q_{cal})^2}{Q_{obs} + Q_{cal}} \right]$$

b) SILVEIRA (1981)

$$F.O = \frac{\sqrt{\sum (Q_{cal} - Q_{obs})^2}}{N.Q_{obs}}$$

c) FERREIRA E NUNES (1987)

$$F.O = \sqrt{\frac{\sum (Q_{cal} - Q_{obs})}{N.Q_{obs}}}$$

d) CLARKE (1973)

$$F.O = \sum (Q_{obs} - Q_{cal})^2 \quad \text{ou}$$

$$F.O = \sum (Q_{obs} - Q_{cal})^r \quad \text{com } r \geq 2$$

$$F.O = \sum |(Q_{obs} - Q_{cal})|$$

$$e) F.O = \sum \left[\frac{Q_{obs} - Q_{cal}}{Q_{obs}} \right]^2$$

Onde:

Q_{obs} = Vazão observada

Q_{cal} = Vazão calculada pelo modelo

N = Número total de vazões observadas.

- Escolha da Função Objetivo:

Foram escolhidas para serem testadas inicialmente as seguintes funções:

$$(1) F.O = \frac{\sqrt{\sum (Q_{cal} - Q_{obs})^2}}{N \cdot Q_{obs}}$$

$$(2) F.O = \sum \left[\frac{Q_{obs} - Q_{cal}}{Q_{obs}} \right]^2$$

$$(3) F.O = \sum (Q_{obs} - Q_{cal})^2$$

$$(4) F.O = \sum |(Q_{obs} - Q_{cal})|$$

A escolha da função objetivo está condicionada, principalmente, às características da série de dados e aos objetivos do estudo. Para tanto, foi feita uma análise preliminar dos dados da série para assegurar, em princípio, que a escolha da função representasse aproximadamente o comportamento do sistema físico.

A s\u00e9rie de dados da Bacia Experimental de Sum\u00e9, apresenta uma desuniformidade muito grande, ou seja, apresenta valores de picos muito altos e tamb\u00e9m valores muito baixos. Assim, a fun\u00e7\u00e3o objetivo a ser escolhida, deve ser tal que pondere os valores a fim de diminuir as grandes diferen\u00e7as e aproxime o quanto poss\u00edvel os valores observados dos calculados.

Esperava-se, ent\u00e3o, que as fun\u00e7\u00f5es (1) e (2) fossem mais adequadas. Ap\u00f3s os testes esta hip\u00f3tese foi confirmada e decidiu-se utilizar a fun\u00e7\u00e3o (2). Os testes tamb\u00e9m mostraram que quando a s\u00e9rie de dados apresentava vaz\u00e3o observada nula ($Q_{obs} = 0$), situa\u00e7\u00e3o que ocorre no sistema f\u00edsico, o denominador da fun\u00e7\u00e3o seria igual a zero, o que tornou inconveniente o uso da mesma. Diante disso, optou-se por outra fun\u00e7\u00e3o que considerasse no denominador al\u00e9m da Q_{obs} , tamb\u00e9m a vaz\u00e3o calculada. Assim a fun\u00e7\u00e3o objetivo ficou:

$$F.O = \sum \left[\frac{Q_{obs} - Q_{cal}}{\frac{Q_{obs} - Q_{cal}}{2}} \right]^2$$

No algoritmo computacional os eventos em que tanto Q_{obs} como Q_{cal} se anularam n\u00e3o foram computados.

Nesta fase da pesquisa termina a minha participa\u00e7\u00e3o como estagi\u00e1ria do projeto.

07 - CONCLUSÃO

Diante da necessidade de armazenar água e aumentar o escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas, os estudos desenvolvidos em bacias experimentais torna-se indispensável, pois permite conhecer as características físicas da bacia, o comportamento climático da região e a resposta da bacia a essas condições.

Os estudos realizados na Bacia Experimental de Sumé-PB., sem dúvida, representam um grande avanço no sentido do conhecimento de parâmetros que podem ser extrapolados e aplicados à regiões com características físico-climáticas semelhantes.

No estágio realizado pode-se acompanhar aspectos importantes de um estudo em bacias experimentais, desde o trabalho de campo à interpretação e síntese dos resultados. Destaco especialmente alguns aspectos:

- 1) Para que os resultados obtidos sejam de boa qualidade e representativos é necessário que todos os dispositivos experimentais sejam mantidos funcionando de acordo com as exigências da pesquisa;
- 2) A coleta de dados deve ser realizada corretamente, para que o processo de amostragem possa representar o comportamento da bacia.
- 3) Os dados sejam tratados e analisados rigorosamente, o que resultará numa representação mais significativa das características da bacia.

O estágio realizado foi de grande importância, contribuindo de forma significativa para minha formação profissional, além de despertar interesse e trazer incentivo para continuar trabalhando na área.

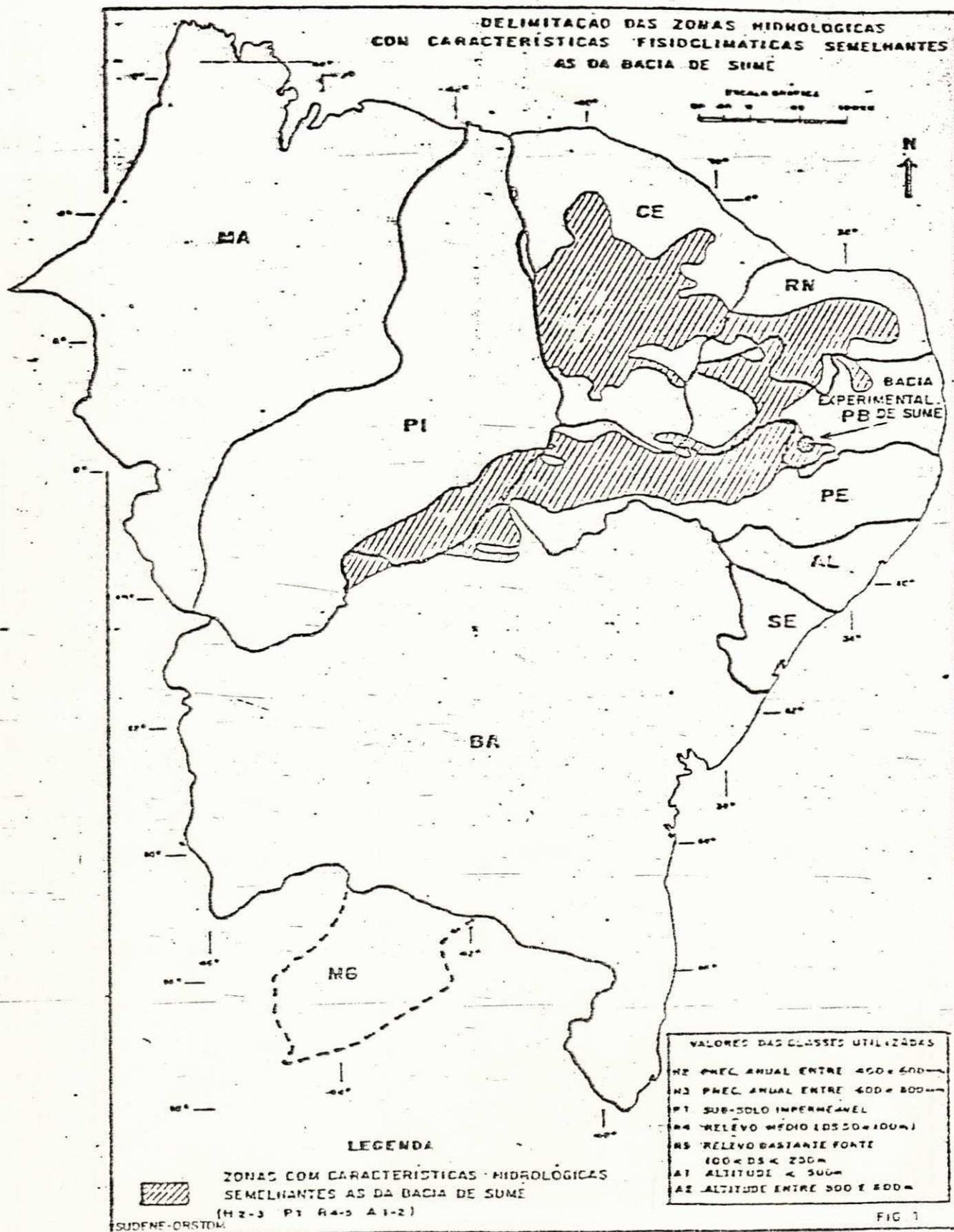
08 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - CADIER, Eric. - Bacia Experimental de Sumé, instalações e primeiros resultados, por Eric Cadier, Beronildo José de Freitas e Jean-Claude Leprun. Recife, SUDENE - Coord. Recursos Hídricos, 1983.
- 2 - CRUCIANI, Décio Eugenio. - A Drenagem na Agricultura. Editora Nobel. 4^a Edição, 1^a Reimpressão. São Paulo, 1987.
- 3 - GALVÃO, Carlos de Oliveira. - Modelagem do Escoamento Superficial e da Erosão do Solo em Microbacias Experimentais. Campina Grande, UFPB., 1989. (Plano de Dissertação de Mestrado).
- 4 - H.H. Rosenbrock (Constructors John Brow Ltda., Leatherhead, Surrey) An Automatic Method for Finding the Greatest or Least Value of s Function.
- 5 - Mathematical models in hydrology. By R.T. Clarke, fao consultant. Institute of hydrology Wallingford, U.K. Food and agriculture organization of the united nations. Rome, 1973.
- 6 - NELSON, L. de Souza Pinto. - Hidrologia Básica - Editora EDgard Blucher Ltda. São Paulo, 1976.
- 7 - Princípios de Hidrologia Aplicada e Previsão Fluvial por S.K. Glose Perito OMM/FE, 1971. Programa das Nações Unidas- Organiz. meteorolôfica mundial.

- 8 - Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, 7^o, e Simpósio Luso Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos 3^o, Salvador (BA), 1987. Anais do VII Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos e III Simpósio Luso Brasileiro de Hidráulica e Recursos Hídricos, Salvador, 8 a 13 de novembro de 1987. São Paulo, ABRH, 1987. Vol. 2.
- 9 - Um Estudo Experimental do Escoamento Superficial e Erosão na Região Semi-Árida Paraibana. Por: H.P. Gomes, V.S. SRINIVASAN, E. Cadier e C. de O. Galvão.
- 10 - VIANA, Francisco Lopes - Comportamento Hidrológico das Pequenas bacias do Nordeste. Fortaleza, UFC- Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Área de Concentração Recursos Hídricos, 1986. Bacia Representativa de Tauá. Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial. NUTEC II. Título III - Série.
- 11 - VILLELA, Swani Marcondes, 1936 - Hidrologia Aplicada (por) Suani M. Villela (e) Arthur Matos. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.

A N E X O S

FIGURA 1



Bacia experimental de Sumé
 CRONO DE LOCALIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES

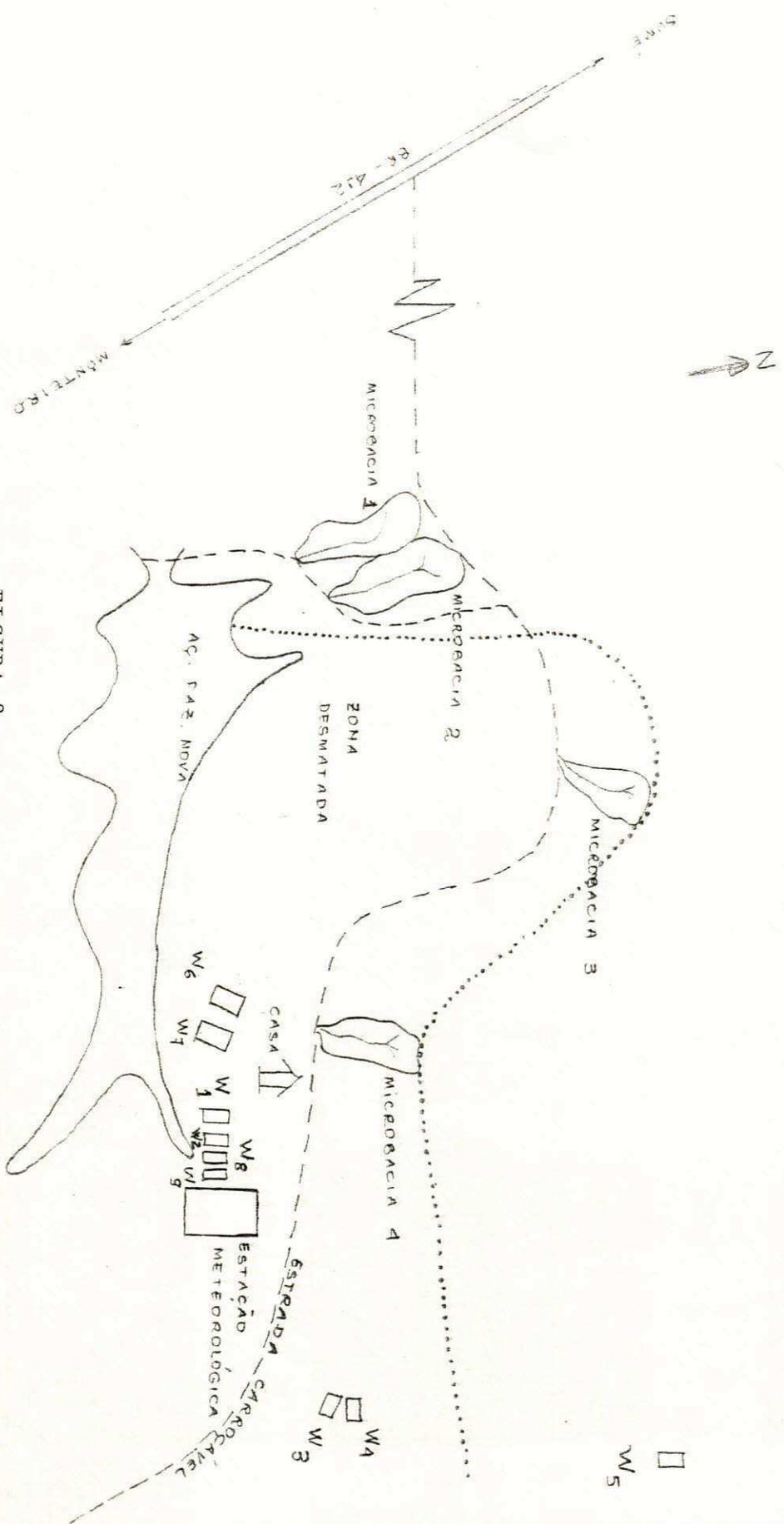
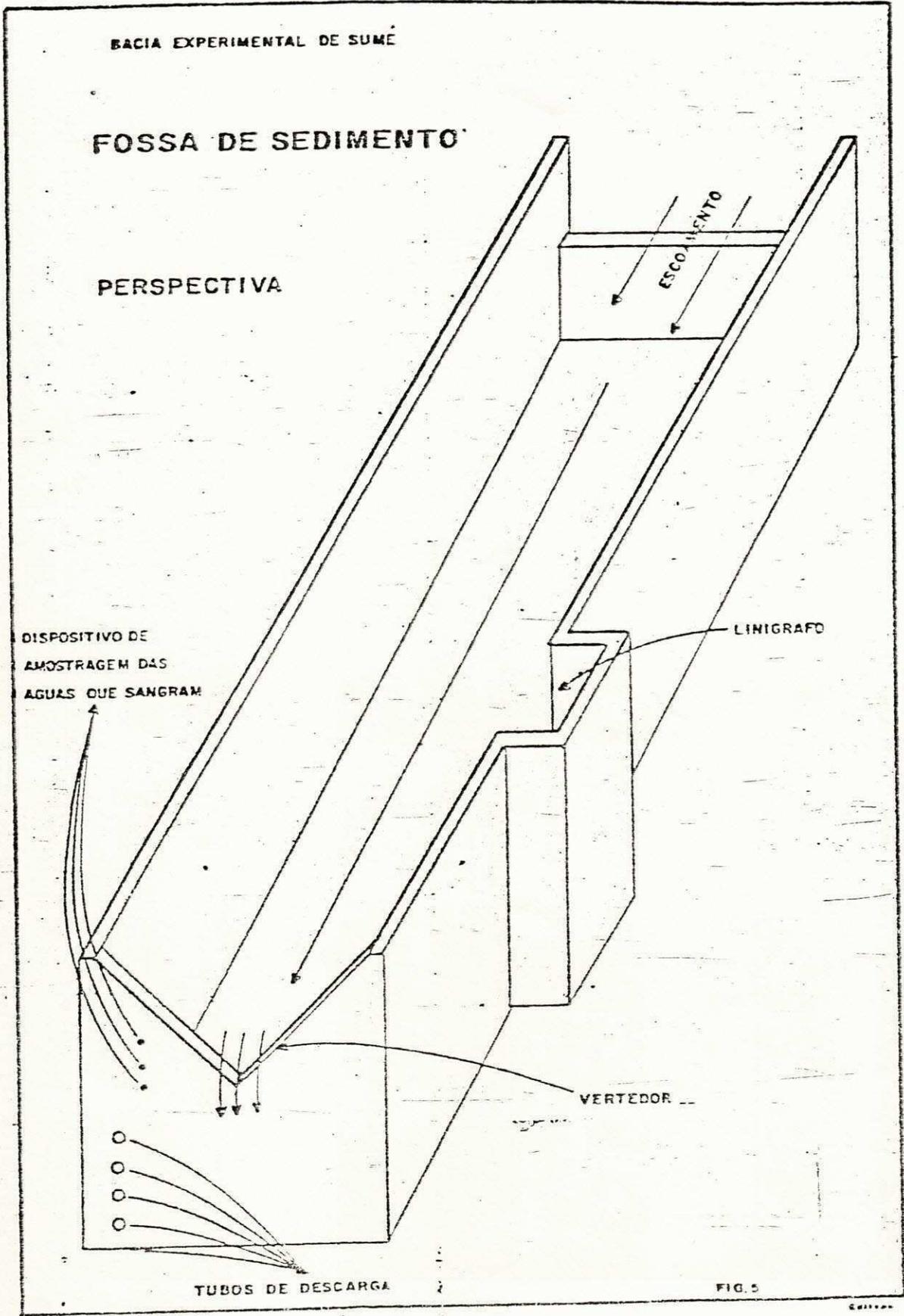


FIGURA 2

W - Parcelas de Wischmeier

FIGURA 3

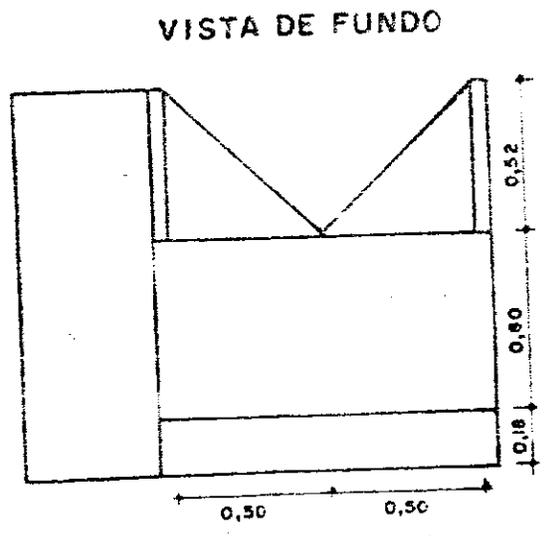
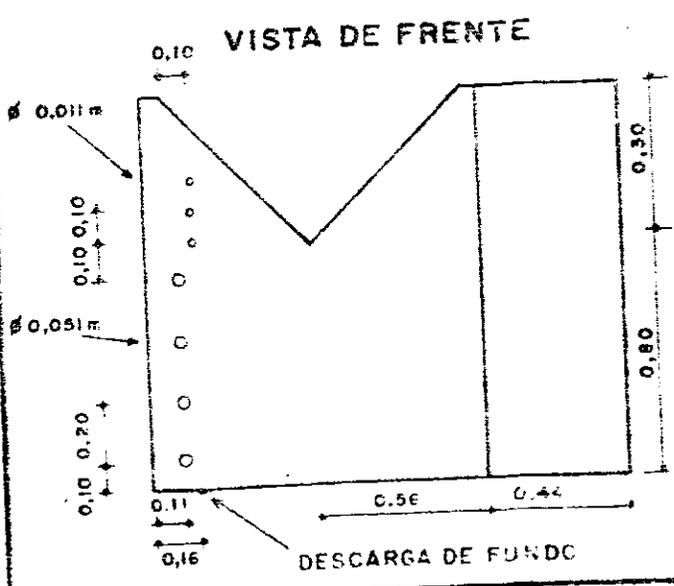
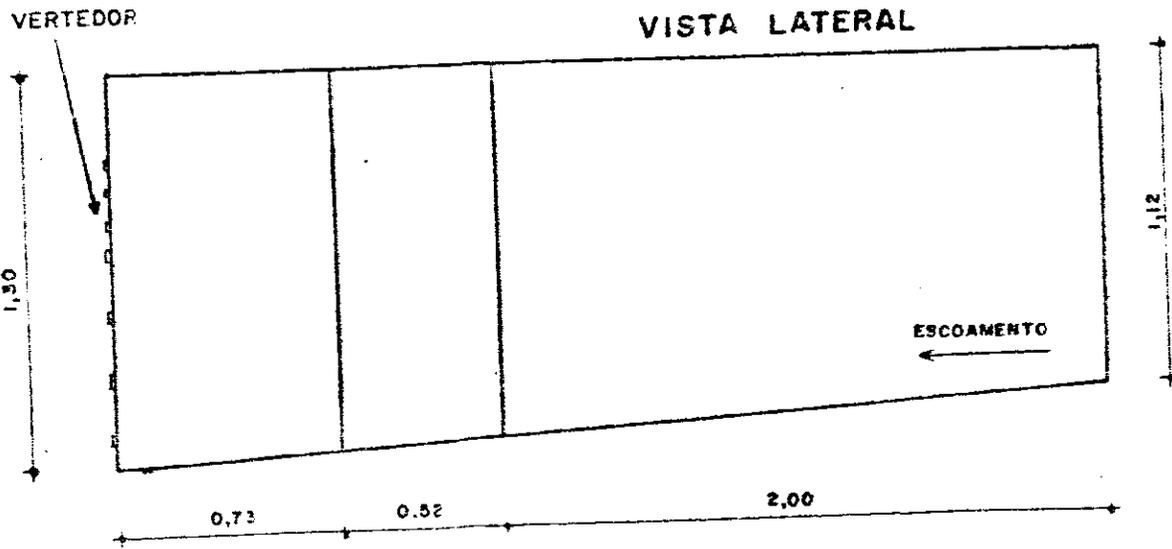
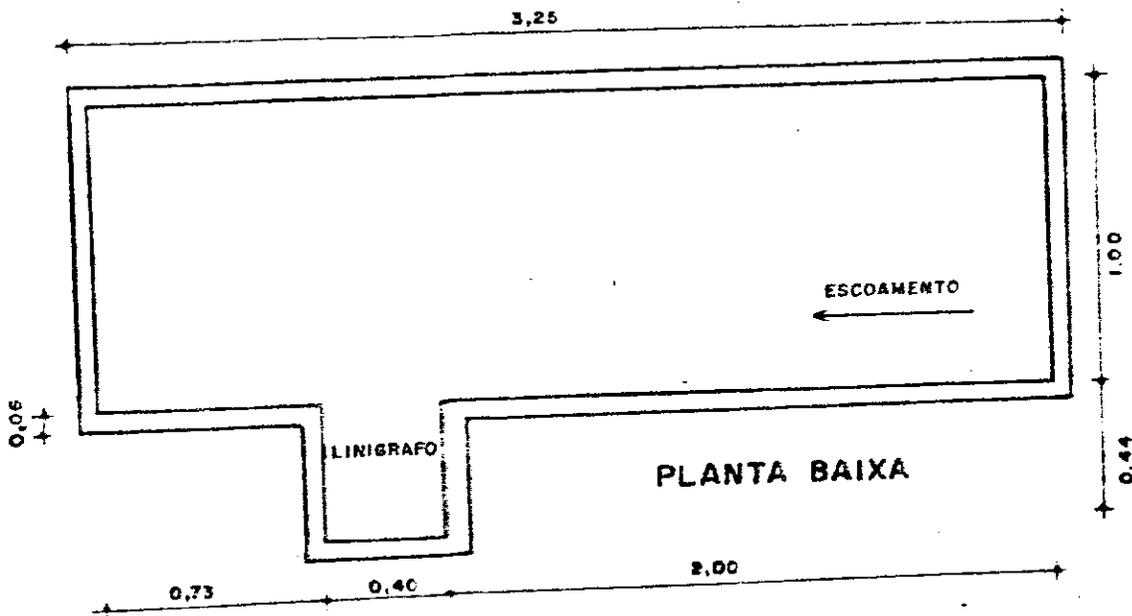


FOSSA DE SEDIMENTO

MICRO BACIA

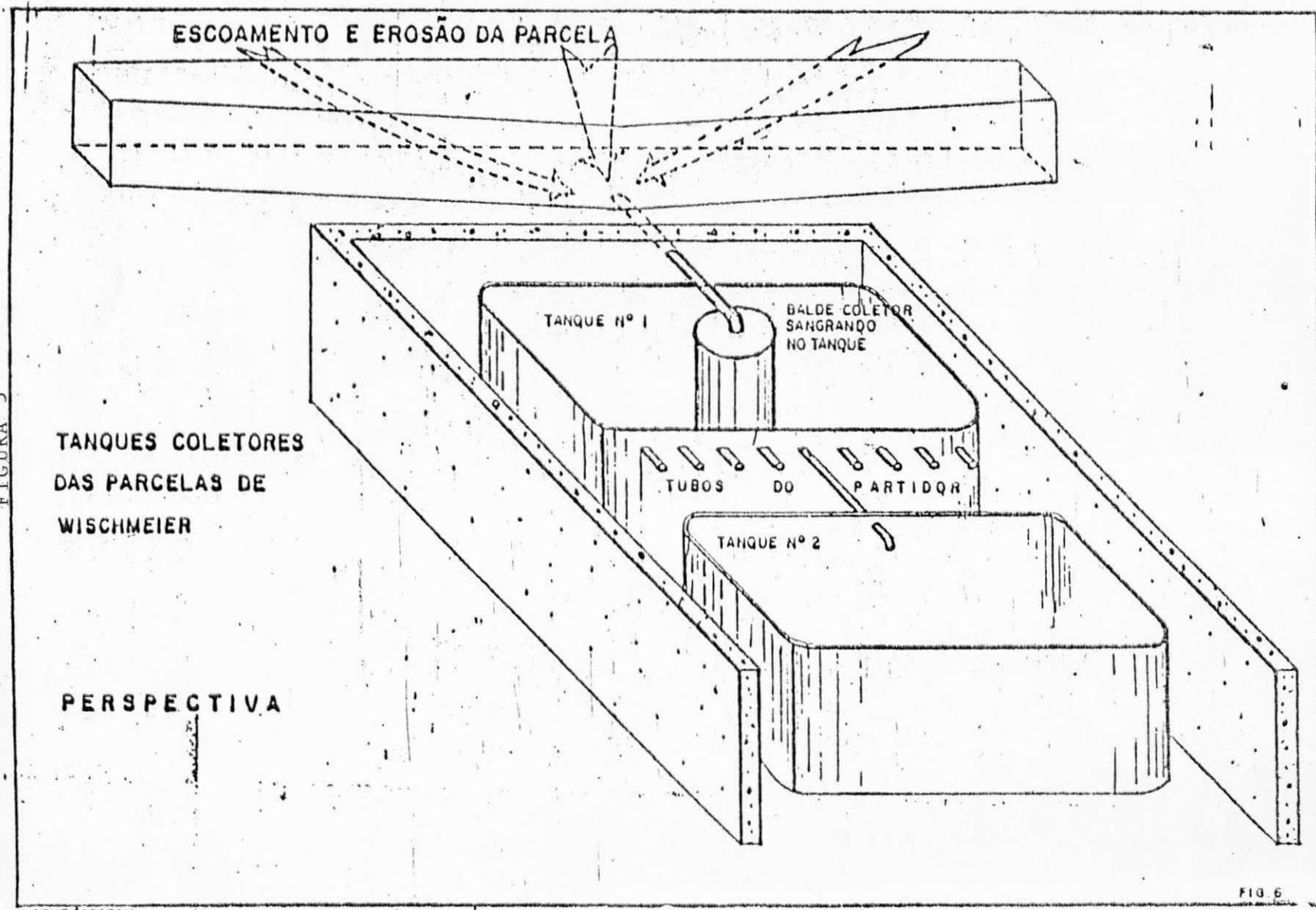
BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ

Esc. 1:25

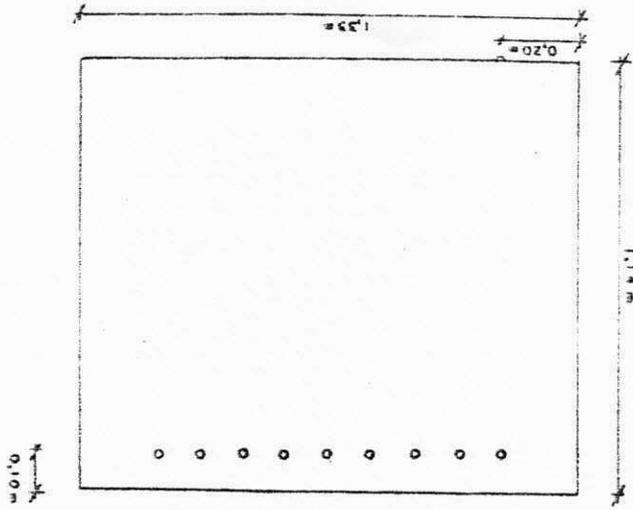


2300
2000
1500
1000
Volume em litros

FIGURA 5

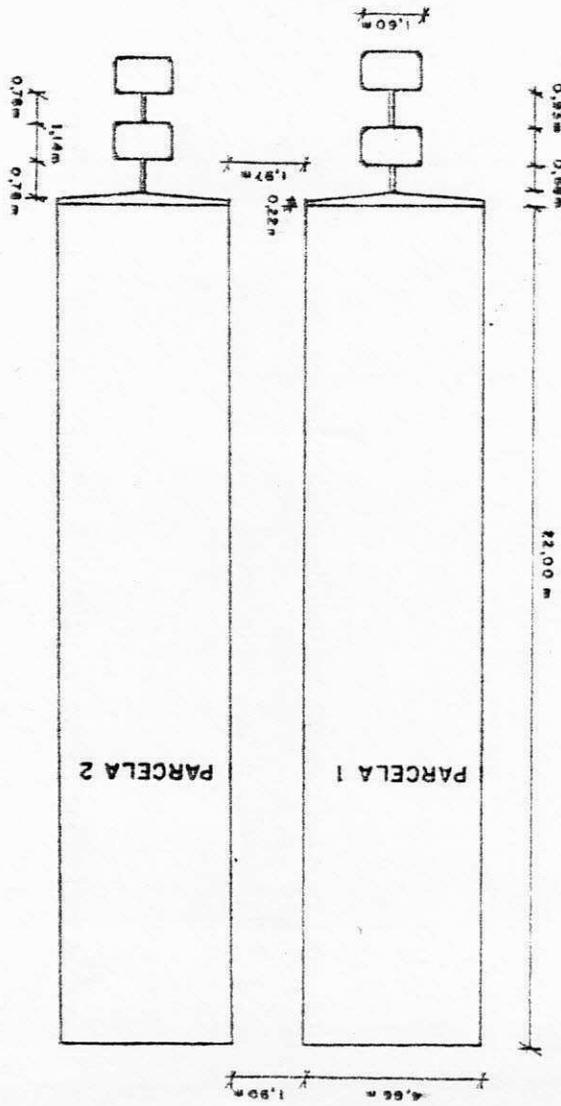


CAIXA ETERNIT DE 1.000 l



ESCALA 1:20

Visão de frente



ESCALA 1:200

Visão de cima

FIGURA 7,
 9.21 - BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ

FORMULÁRIO PARA COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA. CHEIA Nº _____
 MICRO-BACIA Nº _____

Coleta de Amostra: Hora _____ Dia _____ Mês _____ Ano _____

Chuva: _____ mm Hora _____ Dia _____ Mês _____ Ano _____

Cota inicial: _____ mm V_1 _____ l

Sifonagem pelos tubos

Amostra nº _____ 5 litros

$$g_1 = \text{_____ g/l}$$

$$C_1 = \text{_____ g/l}$$

Cota depois da sifonagem _____ mm

$$V_2 \text{ _____ } P_1 = C_1 \times (V_1 - V_2) = \text{_____ g}$$

Filtragem

Amostra Nº _____ 1.000 cc

$$g_2 \text{ _____ g}$$

$$C_2 \text{ _____ g/l}$$

Cota depois da filtragem _____ mm

$$V_3 \text{ _____ l}$$

$$P_2 = C_2 \times (V_2 - V_3) = \text{_____ g}$$

Fundo da fossa

1ª Amostra nº _____ 1.000 cc

$$g_3 = \text{_____ g}$$

$$C_3 = \text{_____ g/l } C_{34} = \frac{C_3 + C_4}{2} = \text{_____ g/l}$$

2ª Amostra nº _____ 1.000cc

$$g_4 = \text{_____ g}$$

$$C_4 = \text{_____ g/l } P_3 = C_{34} \times V_3 = \text{_____ g}$$

Vertedor - Volume _____

$$g_5 = \text{_____ g}$$

Amostra Nº _____

$$C_5 = \text{_____ g/l}$$

Amostrador Automático

Depósito nº 1

$$g_6 = \text{_____ g}$$

Volume _____ 5 litros

$$C_6 = \text{_____ g/l}$$

Amostra Nº _____

Depósito Nº 2

$$g_7 = \text{_____ g}$$

Volume _____ 5 litros

$$C_7 = \text{_____ g/l}$$

Amostra nº _____

$$P_{\text{sangr.}} = \frac{C_5 + C_6 + C_7}{3} \times V_{\text{sangr.}} = \text{_____ g}$$

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_{\text{sangr.}} = \text{_____ g}$$

FIGURA 8
BACIA EXPERIMENTAL DE SUMÉ

9.23 - FORMULÁRIO PARA COLETA DE AMOSTRAS DE ÁGUA. CHEIA Nº _____

PARCELA DE WISCHMEIER Nº _____

Coleta de Amostra: Hora _____ Dia _____ Mês _____ Ano _____

Chuva: _____ mm Hora _____ Dia _____ Mês _____ Ano _____

BALDE

Volume V = _____ l
Amostra nº _____ 1.000 cc
Amostra nº _____ 1.000 cc

CÁLCULO DE ESCRITÓRIO

$g_1 =$ _____ g
 $C_1 =$ _____ g/l
 $g_2 =$ _____ g
 $C_2 =$ _____ g/l

$$P_1 = V \times \frac{C_1 + C_2}{2} = \text{_____ g}$$

TANQUE Nº 1

Cota inicial: _____ mm

$V_1 =$ _____ l
 $\Delta V = V_1 - V_2 = \text{_____ l}$

Sifonagem do tanque: Amostra nº _____ 5 litros

$g_3 =$ _____ g
 $C_3 =$ _____ g/l

$$P_2 = V \times C_3 = \text{_____ g}$$

Cota depois da sifonagem: _____ mm

$V_2 =$ _____ l

Fundo 1ª Amostra nº _____ 1.000 cc do

$g_4 =$ _____ g
 $C_4 =$ _____ g/l

$$C_{45} = \frac{C_4 + C_5}{2} = \text{_____ g/l}$$

tanque 2ª Amostra Nº _____ 1.000 cc

$g_5 =$ _____ g
 $C_5 =$ _____ g/l

$$P_3 = V_2 \times C_{45} = \text{_____ g}$$

$$P_4 = P_2 + P_3 = \text{_____ g}$$

TANQUE Nº 2

Cota: _____ mm
1ª Amostra Nº _____ 1.000 cc

$V_3 =$ _____ l
 $g_6 =$ _____ g
 $C_6 =$ _____ g/l

$$C_{67} = \frac{C_6 + C_7}{2} = \text{_____ g/l}$$

2ª Amostra Nº _____ 1.000 cc

$g_7 =$ _____ g
 $C_7 =$ _____ g/l

$$P_5 = 9 \times C_{67} \times V_3 = \text{_____ g}$$

$$P_T = P_1 + P_4 + P_5 = \text{_____ g}$$

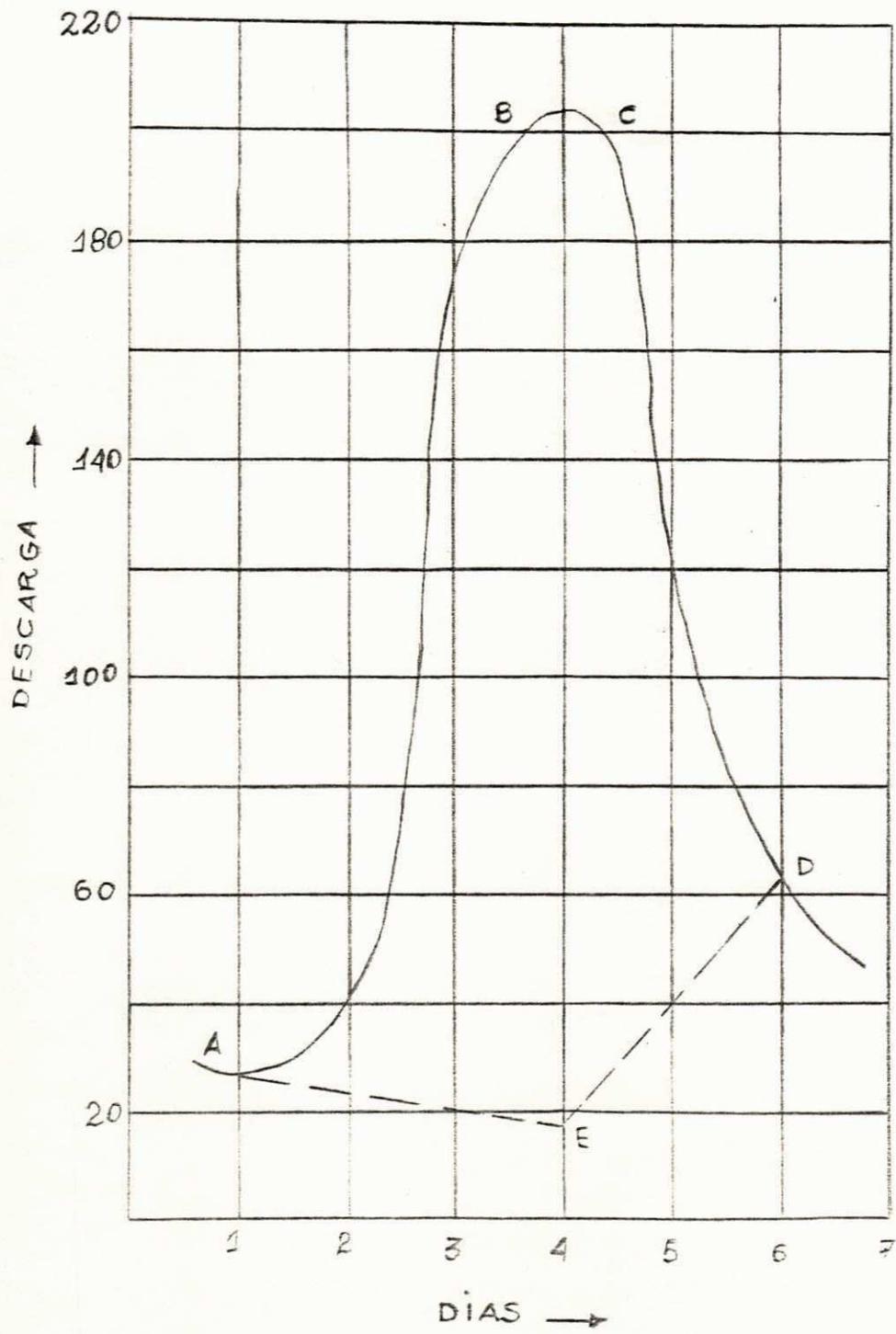


FIGURA 9 - HIDROGRAMA TEÓRICO

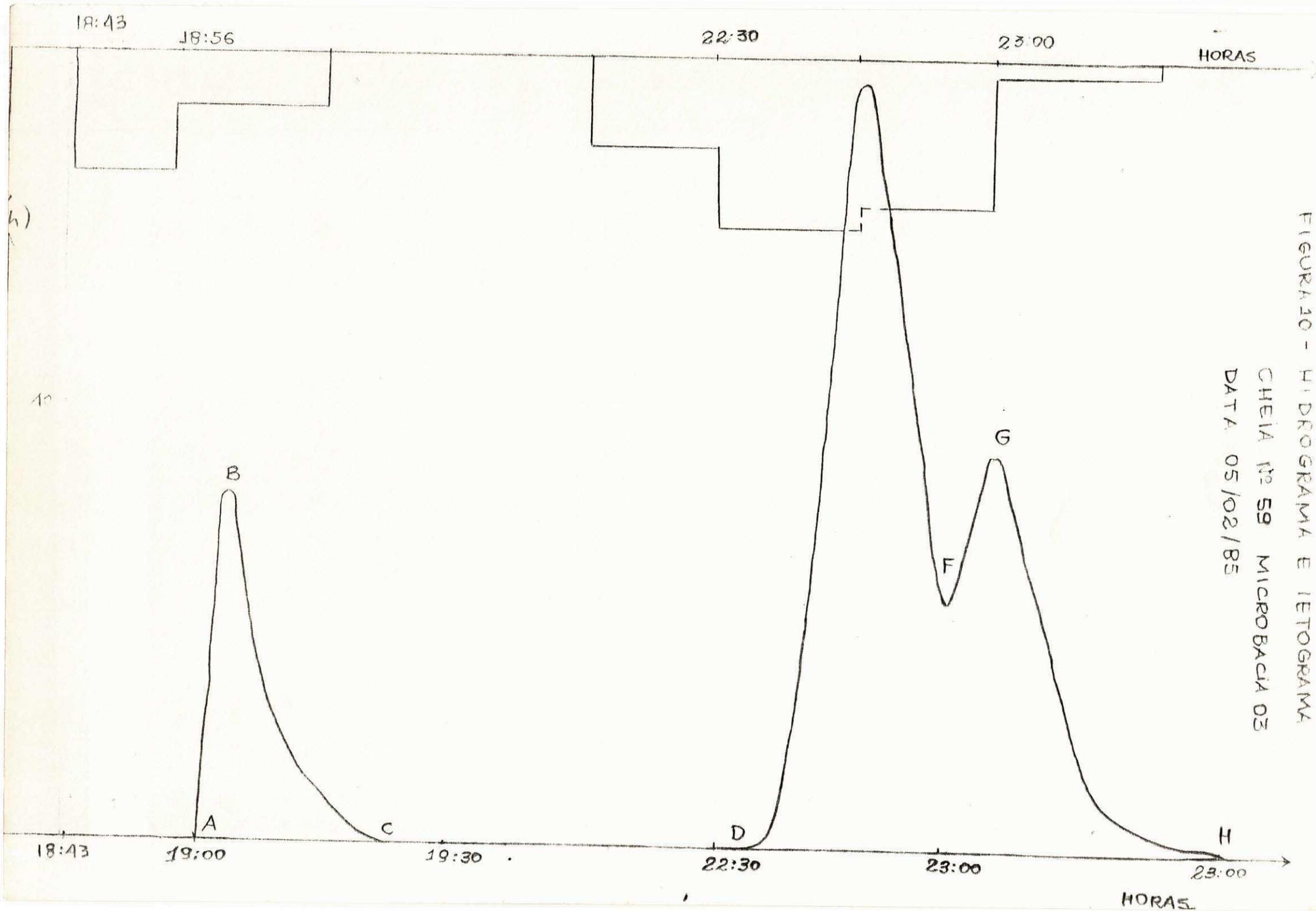
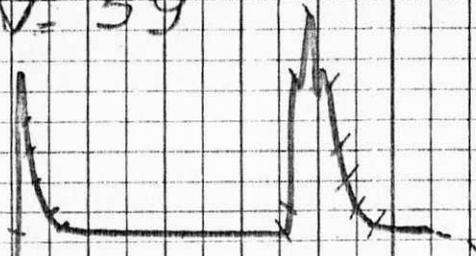


FIGURA 30 - HI DROGRAMA E IETOGRAMA
 CHEIA Nº 59 MICROBACIA 03
 DATA 05/02/85

FIGURA 11- LINIGRAMA

N= 59



19:02
 19:05
 19:10
 19:15
 19:20
 19:30
 19:40
 20:00
 22:35
 22:40
 22:45
 22:50
 23:00
 23:05
 23:10
 23:15
 23:30
 23:45
 20:00

19:02	⇒	0	
19:05	⇒	22	- 31,8
19:10	⇒	15	- 12,2
19:15	⇒	11	- 5,6
19:20	⇒	6	- 1,2
19:30	⇒	2	- 0,08
19:40	⇒	1	- 0,01
20:00	⇒	0	
22:35	⇒	0	
22:40	⇒	3	- 0,22
22:45	⇒	20	- 25,0
22:50	⇒	30	- 69,0
23:00	⇒	19	- 22,0
23:05	⇒	23	- 35,5
23:10	⇒	19	- 22,0
23:15	⇒	12	- 7,0
23:30	⇒	3	- 0,22
23:45	⇒	1	- 0,01
20:00	⇒	0	

06-01-85
 19:15

FIGURA 12
 LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA - CAMPUS II - UFPB
 RESULTADO DA CONCENTRAÇÃO DE SEDIMENTO DAS AMOSTRAS

CHEIA Nº	DATA DE ENTRADA	/	/	NOME DO POSTO: BACIA EXP. DE SUMÉ	ANÁLISE Nº
DATA DA CHEIA	/	/			
NÚMERO DA AMOSTRA					
NÚMERO DA PARCELA					
NÚMERO DA MICROBACIA					
PESO DO SEDIMENTO BRUTO(g)					
TARA					
PESO DO SEDIMENTO LÍQUIDO(g)					
CHEIA Nº	DATA DE ENTRADA	/	/	NOME DO POSTO: BACIA EXP. DE SUMÉ	ANÁLISE Nº
DATA DA CHEIA	/	/			
NÚMERO DA AMOSTRA					
NÚMERO DA PARCELA					
NÚMERO DA MICROBACIA					
PESO DO SEDIMENTO BRUTO(g)					
TARA					
PESO DO SEDIMENTO LÍQUIDO(g)					

VISTO: _____

CAMPINA GRANDE, / /

VISTO: _____

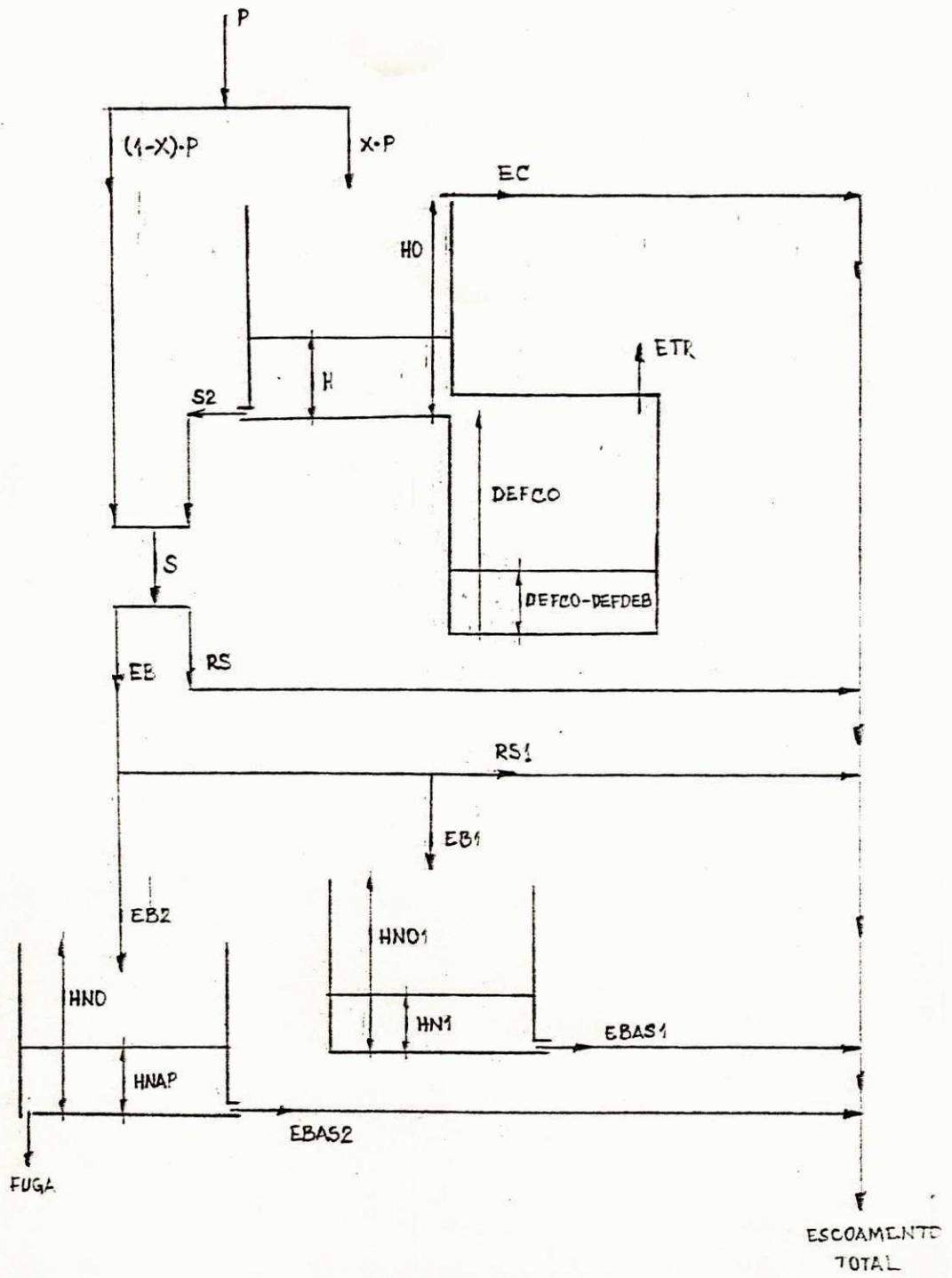


DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO MODELO IBIZA.

FIGURA 13

FIGURA 14

