Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado de Engº José Luiz ANDRADE TEIXEIRA defendida por ele e aprovada pela Comissão Julgadora em 10 (dez) de março de 1989.

Campinas, 10/5/89

ORIENTADOR

JOSÉ LUIZ ANDRADE TEIXEIRA DA COSTA
Engº Civil, Universidade de Luanda (Angola), 1973

CONTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS, POR ÁREAS AGRÍCOLAS, DEVIDA A EVENTOS PLUVIOSOS

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Campinas para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr Evaldo Miranda Colado.
Professor do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Unicamp.

LIMEIRA
1988

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

Aos meus pais, "in memoriam"
À América minha esposa,
À Neusa e Sônia, minhas filhas, dedico.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Ao Presidente da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - CODEVASF

Dr. Eliseu Roberto de Andrade Alves

cujo espírito esclarecido de cientista nos proporcionou a concretização de um velho sonho.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Evaldo Miranda Coiado, cuja orientação concisa e segura tornou possível a efectivação deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Hidráulica e Saneamento nas pessoas do anterior Chefe Professor Dr. Dirceu Brasil Vieira e do atual Chefe Professor Dr. Abel Maia Genovez, pelas sugestões e amizade oferecidas.

Ao Professor Dr. Morency Arouca pelo apoio e estímulo.

Aos técnicos do Departamento de Hidráulica e Saneamento:

Antônio Roberto Siviero, Fernando Chang de Oliveira e Geraldo Dragoni Sobrinho responsáveis por toda a parte laboratorial deste trabalho,

Benedito Dragoni e Paulo Aparecido Cintra que construíram e montaram os dispositivos e aparelhos de campo,

Tarcísio de Lima Ribeiro que, com dedicação, colheu todos os dados de campo,

Adilson Luis Zorzetti, Antônio Silvio Morais, Carlos Alberto Alcaide e Orlando Fazenaro pela colaboração,

À Vera Inez de Sousa Puzone e restante do pessoal da Secretaria pelo auxílio que nos prestaram.

Às encarregadas do curso de pós-graduação:

Neuza Maria de Carvalho e Rita de Cássia Fiori de Carvalho sempre prontas a resolverem nossos problemas.

Ao pessoal da biblioteca, na pessoa de Silvana Moreira da Silva Soares, que nos auxiliou na parte de bibliografia.

Ao pessoal do Setor Gráfico, na pessoa de Gilberto Aparecido Leonel, sempre prestimoso.

Ao Professor Daniel Luiz Soler que nos forneceu a parte topográfica do trabalho.

Aos colegas da pós-graduação Danilo, Edson, Glacir e Vanice, pela troca de idéias e sobretudo pela amizade.

E, finalmente, aos colegas da CODEVASF:

Francisco José Barbosa de Oliveira que, além de suas valiosas sugestões, se esmerou nos desenhos,

João Jaques Madureira que, pacientemente, resolveu todas as pequenas dificuldades,

Maria de Fátima Athaide Versiani que, com muita competência, efetuou a datilografia.

RESUMO

O ano de 1988 foi trágico para o meio ambiente no Brasil. Desmatamentos, queimadas por todo o território e principalmente na Amazônia, desmonte de cascalho nos rios, com incorporação de mercúrio para extração de ouro, ocupação urbana de encostas muito inclinadas, fabricação de carvão vegetal com as árvores dos cerrados são alguns dos atos cometidos contra a natureza.

A engenharia civil no Brasil, nos próximos anos, vai enfrentar muitos problemas de deslizamento de encostas, inundações causadas pela redução do leito dos rios, assoreamentos de lagos de barragens, abrasão nas turbinas, erosão generalizada.

É necessário o uso racional das áreas agrícolas que circundam os reservatórios.

Este trabalho visou o estudo da gênese da erosão. Numa pequena bacia de 1,25 ha, numa linha de água de primeira ordem, foi montada uma seção de controle que mediu, durante um ano hidrológico, as chuvas, o escoamento, a turbidez da água e a carga de fundo. A terra foi gradeada e semeado milho.

Foram analisados os dados de campo e fez-se uma comparação com a equação universal de perda de solo.

SUMMARY

1988 was very tragic for the environment in Brazil. Deforestations, burning of trees through all country and mainly in Amazon, mining operations in the rivers with mercury incorporation for gold extraction, urban occupation of steepy hillslopes, transformation of the trees "cerrados" in charcoal are some of the acts against nature.

In the next years civil engineering in Brazil will probabily have several problems concerning to landslides, floods due to bed reduction, sediment deposition in the reservoirs, turbines abrasion, generalized erosion.

Rational use of lands near the reservoirs is necessary.

This work aimed at the study of erosion's origin.

In a small watershed (1,25 ha), in a first order stream, it was set up a control section where it was computed, during one hydrological year, the rain, run-off, wash load and bed load. Land was tilled and corn was sowed.

Data land were analysed and a comparison with the universal soil loss equation was done.

ÍNDICE

CAPÍTULO FOLHA

NOTAÇÃO E NOMENCLATURA .....
LISTA DE FIGURAS .....
LISTA DE TABELAS .....
LISTA DE QUADROS .....
LISTA DE FOTOS .....

1. INTRODUÇÃO 01

2. EROSÃO 08
2.1. Erosão Normal e Erosão Acelerada 08
2.2. Agentes da Erosão 08
2.2.1. Vento 08
2.2.2. Água 08
2.2.3. Gravidade 08
2.2.4. Gelo 08
2.3. Tipos de Erosão 09
2.3.1. Erosão Eólica 09
2.3.2. Erosão Hídrica 09
2.3.3. Erosão por Gravidade 09
2.3.4. Erosão por Degelo 11
2.4. Erosão Hídrica Pluvial 11
2.4.1. Desagregação 11
2.4.2. Transporte 16
2.4.3. Deposição 19
2.5. Sedimentos 21
2.6. Problemas de Erosão 21
2.6.1. Erosão Geológica 21
2.6.2. Erosão Acelerada 22
2.6.3. Atividades Agrícolas 22
2.6.4. Urbanização 23
2.6.5. Construção de Rodovias e Aeroportos 23
2.6.6. Mineração 24
2.6.7. Estruturas Hidráulicas 24
2.6.8. Qualidade da Água 25

FOLHA

2.7. Quantificação da Erosão 25

3. EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO (EUPS) .....

3.1. Introdução 28

3.1.1. História 28

3.1.2. Primeiras Equações 28

3.1.3. Equação Final 30

3.2. Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) .....

3.2.1. Definições Básicas 30

3.2.2. Fator Erosivo da Chuva ou Erosividade R 31

3.2.3. Erodibilidade K 41

3.2.4. Fator Topográfico LS 44

3.2.5. Fator Uso e Manejo do Solo C 53

3.2.6. Fator Prática Conservacionista P 53

3.3. Aplicações da EUPS em Engenharia Civil 57

3.3.1. Locais de Construção 57

3.3.2. Fator R 57

3.3.3. Fator K 57

3.3.4. Fator LS 59

3.3.5. Fator C 59

3.3.6. Fator P 60

3.3.7. Planos Alternativos 60

3.4. Considerações Sobre a EUPS 61

3.4.1. Aplicações da EUPS 61

3.4.2. Perdas de Solo em Chuvas Individualizadas 62

3.4.3. Perdas de Solo Anuais 62

3.4.4. Conclusões 63

4. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS .....

4.1. Generalidades 65

4.2. Bacia Hidrográfica 65

4.2.1. Localização 65

4.2.2. Acessos 65

4.2.3. Geomorfologia 69

4.2.4. Vegetação e Solo 69

4.2.5. Clima 72

4.3. Dispositivos e Aparelhos 76

FOLHA

4.3.1. Seção de Controle 76
4.3.2. Aparelhos de Meteorologia 78
4.3.3. Laboratório 78
4.4. Métodos e Técnicas 78
4.4.1. Chuvas 78
4.4.2. Vazões 83
4.4.3. Sedimentos 85

5. ANÁLISE DOS DADOS DE CAMPO .....
5.1. Chuvas 86
5.2. Vazões 96
5.3. Cobertura do Solo 135
5.4. Transporte Sólido 136
5.5. Carga de Fundo 143
5.6. Relações com a EUPS 151
5.6.1. Erosividade R 151
5.6.2. Erodibilidade K 157
5.6.3. Fator Topográfico LS 157
5.6.4. Fator Uso e Manejo do Solo 158
5.6.5. Fator Práticas Conservacionistas P 158
5.7. Previsão de Perda de Solo Através da EUPS 158
5.8. Espessura de Solo Perdido 159

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 160
6.1. Conclusões 160
6.2. Recomendações 161
6.2.1. Alterações na Seção de Controle 161
6.2.2. Trabalhos Similares 163

BIBLIOGRAFIA 164

NOTAÇÃO E NOMENCLATURA

A	–	Perda de solo anual na equação universal de perda de solo (EUPS)
a	–	ano
Ab	–	área de uma bacia hidrográfica
Abi	–	área parcial de uma bacia hidrográfica
C	–	fator uso e manejo do solo na equação universal de perda de solo
C_e	–	coeficiente de escoamento de uma bacia hidrográfica
Cf	–	taxa da carga de fundo
Ci	–	fator uso e manejo do solo correspondente a um dado período
D	–	duração de uma chuva
d	–	equidistância entre curvas de nível
$\bar{d}$	–	diâmetro médio das gotas da chuva
E	–	energia de uma chuva
e	–	energia específica de uma chuva
EI_{30}	–	índice de erosão de uma chuva
em	–	energia específica máxima de uma chuva
Ep	–	perda de solo na equação de MUSGRAVE
EUPS	–	equação universal da perda de solo
exp	–	exponencial, número e = 2,718

F - fator que depende do coeficiente de não uniformidade m_1 e do tempo de duração D de uma chuva

G - fator que depende do coeficiente de não uniformidade m_1 e da intensidade i de uma chuva

h - hora

I - erodibilidade na equação de MUSGRAVE

i - intensidade de uma chuva

I_{30} - máxima intensidade de uma chuva em 30 min na EUPS

imax - intensidade máxima de uma chuva

$\bar{i}$ - intensidade média de uma chuva

ip* - quociente específico de uma chuva

It - intervalo de tempo

K - erodibilidade do solo na EUPS

KE > 25 - fator erosivo da chuva segundo HUDSON (21)

Ki - erodibilidade em uma fração de uma bacia hidrográfica

l - comprimento da vertente

L - comprimento relativo de uma vertente

Lc - comprimento total das curvas de nível de uma área

LS - fator topográfico na EUPS

Lt - comprimento total dos canais de uma bacia hidrográfica ou de um talvegue.

m - massa de uma partícula

m_1 – coeficiente de não uniformidade da intensidade de uma chuva

m_2 – expoente na relação do comprimento L de uma vertente na EUPS

min – minutos

P – fator práticas de conservação do solo na EUPS

p – altura de precipitação

Pe – precipitação total

P_{30} – intensidade máxima da chuva em 30 min na equação de MUSGRAVE

$\bar{Q}$ – vazão média

Qp – vazão máxima

R – erosividade ou fator energético da chuva na EUPS

Rc – fator referente à cobertura vegetal na equação de MUSGRAVE

Ri – erosividade referente a um dado período

S – declividade de uma vertente em percentagem média

s – segundos

T – tolerância da perda de solo

t – intervalo de tempo, tempo

T_s – taxa de transporte sólido em suspensão

Ve – volume escoado numa bacia

v – velocidade terminal de uma gota de chuva

Vp – volume precipitado numa bacia

V_r	–	precipitação total no método BROWN & FOSTER (7)
V_{CF}	–	volume anual da carga de fundo
V_{Ts}	–	volume anual do transporte sólido em suspensão
V_t	–	volume anual total de sedimentos
α	–	expoente de L na relação de ZINGG
β	–	expoente de S na relação de ZINGG
ϵ	–	espessura média anual de solo perdido
θ	–	ângulo médio de inclinação de uma vertente

LISTA DE FIGURAS

Figura nº		Folha
Capítulo 1		
1.1.	Evolução das curvas de solo necessário, solo existente e solo disponível	5
Capítulo 2		
2.1.	Erosão eólica no mundo	10
2.2.	Relação entre o diâmetro das gotas e a velocidade terminal na queda	15
2.3.	Erosão hídrica pluvial no mundo	17
2.4.	Modelo geomorfológico erosão x deposição	20
Capítulo 3		
3.1.	Diagrama da equação universal da perda de solo	32
3.2.	Relação entre a intensidade da chuva e a energia cinética provocada	38
3.3.	Ábacos para determinação de F e G	40
3.4.	Ábaco para determinação do fator de erodibilidade do solo K.	43
3.5.	Ábaxo para o cálculo do fator topográfico LS	47
3.6.	Vertentes numa bacia hidrográfica	48
3.7.	Exemplos de vertentes	49
Capítulo 4		
4.1.	Localização da bacia experimental	67
4.2.	Planta topográfica da bacia experimental	68
4.3.	Esquema dos acessos à bacia experimental	70
4.4.	Curva granulométrica	73
4.5.	Curva granulométrica	74
4.6.	Curva granulométrica	75
4.7.	Seção de controle (planta e cortes)	79
4.8.	Seção de controle (vista frontal e corte longitudinal)	80
4.9.	Curva chave do vertedor	84
Capítulo 5		
5.1.	Distribuição das chuvas em Limeira	95
5.2.	Hietograma e hidrograma 05-10-87	97
5.3.	Hietograma e hidrograma 16-10-87	98

Figura nº | Folha

Capítulo 5

5.4. Hietograma e hidrograma 25-11-87 99
5.5. Hietograma e hidrograma 04-12-87 100
5.6. Hietograma e hidrograma 12-12-87 101
5.7. Hietograma e hidrograma 17-12-87 102
5.8. Hietograma e hidrograma 17-12-87 103
5.9. Hietograma e hidrograma 29-12-87 104
5.10. Hietograma e hidrograma 30-12-87 105
5.11. Hietograma e hidrograma 15-01-88 106
5.12. Hietograma e hidrograma 30-01-88 107
5.13. Hietograma e hidrograma 04-02-88 108
5.14. Hietograma e hidrograma 07-02-88 109
5.15. Hietograma e hidrograma 09-02-88 110
5.16. Hietograma e hidrograma 10-02-88 111
5.17. Hietograma e hidrograma 17-02-88 112
5.18. Hietograma e hidrograma 18-02-88 113
5.19. Hietograma e hidrograma 19/20-02-88 114
5.20. Hietograma e hidrograma 29-02-88 115
5.21. Hietograma e hidrograma 01-03-88 116
5.22. Hietograma e hidrograma 02-03-88 117
5.23. Hietograma e hidrograma 02-03-88 118
5.24. Hietograma e hidrograma 02-03-88 119
5.25. Hietograma e hidrograma 03-03-88 120
5.26. Hietograma e hidrograma 17-03-88 121
5.27. Hietograma e hidrograma 18-03-88 122
5.28. Hietograma e hidrograma 18-03-88 123
5.29. Hietograma e hidrograma 18-03-88 124
5.30. Hietograma e hidrograma 19-03-88 125
5.31. Hietograma e hidrograma 07-04-88 126
5.32. Hietograma e hidrograma 13-04-88 127
5.33. Hietograma e hidrograma 14-04-88 128
5.34. Hietograma e hidrograma 14-04-88 129
5.35. Hietograma e hidrograma 17-05-88 130
5.36. Hietograma e hidrograma 21-05-88 131
5.37. Hietograma e hidrograma 29-05-88 132

Figura nº | Folha

Capítulo 5

5.38. Hietograma e hidrograma 30-05-88 133
5.39. Hietograma e hidrograma 03-06-88 134
5.40. Cronograma chuvas x cobertura vegetal 137
5.41. Cronograma da turbidez 141
5.42. Curva granulométrica 147
5.43. Curva granulométrica 148
5.44. Curva granulométrica 149
5.45. Curva granulométrica 150

Capítulo 6

6.1. Alterações na seção de controle 162

LISTA DE QUADROS

Quadro nº — Folha

Capítulo 2

2.1. Escala de Classificação expedita da erosão hídrica 27

LISTA DE TABELAS

Tabela nº — Folha

Capítulo 2

2.1. Características das gotas de chuva para diferentes tipos de chuva 12
2.2. Características das gotas de chuva 14
2.3. Velocidades terminais das gotas de chuva 14

Capítulo 3

3.1. Energia específica de uma chuva 35
3.2. Frações de perdas de solo de segmentos sucessivos, de igual comprimento, numa vertente uniforme 51
3.3. Valores de C - Vegetação natural e pastos 54
3.4. Valores de C - Florestas 55
3.5. Valores do Fator P 58
3.6. Valores do Fator P 58

Capítulo 5

5.1. Eventos Pluviosos - 8 folhas 87/94
5.2. Chuvas Erosivas - 2 folhas 154/155

LISTA DE FOTOS

Foto nº	Folha
Capítulo 4	
4.1. Vista da bacia a 1 km de distância	66
4.2. Vista da bacia a 300 m de distância	66
4.3. Vegetação natural	71
4.4. Área gradeada	71
4.5. Vista lateral da seção de controle	77
4.6. Vista longitudinal da seção de controle	77
4.7. Linígrafo	81
4.8. Bóia do linígrafo	81
4.9. Posto meteorológico	82
4.10. Pluviômetro e pluviógrafo	82
Capítulo 5	
5.1. Vertedor com fluxo de água	138
5.2. Vertedor com fluxo de água	138
5.3. Amostras de água com turbidez máxima	139
5.4. Amostras de água com turbidez mínima	139
5.5. Amostras de água com turbidez máxima	140
5.6. Amostras de água com turbidez mínima	140
5.7. Vista frontal da caixa no início das atividades	144
5.8. Vista frontal da caixa no término das atividades. Observa-se o acúmulo de sedimentos provenientes da carga de fundo	144
5.9. Vegetação natural	145
5.10. Sedimentos retidos na segunda caixa	145
5.11. Seção de controle no início das atividades	146
5.12. Seção de controle no término das atividades. Observa-se um acúmulo de sedimentos em redor da primeira caixa, motivo porque se procedeu à elevação das abas	146
5.13. Sedimentos retidos na primeira caixa após uma chuva pouco erosiva	152
5.14. Sedimentos retidos na primeira caixa após uma chuva muito erosiva	152
5.15. Esvaziamento das caixas	153
5.16. Carga de fundo após o esvaziamento	153

1. INTRODUÇÃO

> ..." a destruição do solo, isto é, a perda da substância apropriada à vegetação, deve acelerar-se à medida que a terra é mais cultivada e os habitantes mais industriosos consomem em quantidade muito maior seus produtos de toda a espécie".
>
> JEAN JACQUES ROUSSEAU - Discurso sobre a origem e os fundamentos da desigualdade entre os homens - 1755

Água, ar e solo é a tríada sobre a qual assenta a vida na terra. A degradação de qualquer destes componentes traz sérias implicações em todas as formas de vida. Mas sempre houve uma degradação natural intrínseca das transformações da biosfera. A poluição da água, devida às grandes enchentes, a poluição do ar devida aos incêndios naturais e vulcões e a perda lenta do solo foram sempre fenômenos naturais ligados à vida da terra. Só a partir da etapa industrial, que originou as fábricas, as grandes cidades, a mecanização da agricultura e as terraplenagens, é que os processos de contaminação, poluição e erosão se aceleraram e tomaram proporções tais que originaram a ruptura brusca do equilíbrio, até então existente.

As primeiras preocupações generalizadas incidiram sobre a água e o ar por serem componentes de utilização direta.

O solo, por ser de utilização indireta e restrita, não mereceu, de imediato as devidas atenções. A degradação do solo começou a merecer as primeiras atenções no célebre mês de maio de 1934. DORST (10) faz a seguinte descrição:

"Em 1931, no momento da famosa depressão econômica americana, surgiu uma terrível seca que se prolongou nos anos seguintes. O solo ressecado totalmente degradado, privado de toda e qualquer proteção vegetal, converteu-se em poeira finíssima arrastada pelos tufões. O dia 12 de maio de 1934, especificamente, permanecerá nos anais da utilização das terras como um dia de luto, pois as grandes planícies foram vítimas de um cataclismo, sem precedentes na história americana. Com efeito, os ventos arrancaram violentamente as terras reduzidas a poeira de uma vasta zona estendendo-se sobre o Kansas, o Texas, o Oklahoma e a parte oriental do Colorado, arrastando-

as para leste em nuvens negras e fazendo-as atravessar dois terços do continente americano. Uma parte dessa poeira caiu sobre o leste dos Estados Unidos, escurecendo o céu de Washington e de Nova York; uma outra parte foi transportada até ao Atlântico. A região de onde toda essa terra foi retirada, chamada desde então bacia da poeira ("dust bowl") foi vítima de uma erosão eólica cujos estragos se repetiram por várias vezes durante esse mesmo período".

A origem deste autêntico desastre ecológico foi imputada somente à ação do homem, que contrariou as mais elementares leis naturais. A cobertura vegetal, sobretudo de gramíneas, foi eliminada nas grandes planícies dos Estados Unidos e substituída por campos de cereais, cujo poder protetor, em relação ao solo, é bastante reduzido. As grandes planícies, com chuvas escassas, sujeitas a grandes tufões, ficaram altamente vulneráveis à erosão eólica.

Devido a este desastre foi criado nos Estados Unidos o serviço de conservação do solo que serviu de modelo, embora infelizmente não copiado, para todo o mundo.

O Brasil, sem as características da zona central dos Estados Unidos, está sujeito à erosão hídrica que é mais devastadora do que a erosão eólica.

Estão se perpretando na Amazônia crimes maiores do que aqueles praticados nas planícies centrais dos Estados Unidos.

Infelizmente, entre nós, ainda prevalece a velha teoria de que as florestas devem ser convertidas em pastos ou culturas "porque é preciso alimentar o mundo". O desmatamento é sinal de progresso. Terras desmatadas significam que a propriedade está "aproveitada", que não vai ficar exposta à reforma agrária. A floresta é um entrave ao progresso.

Desmatamentos, fogos, práticas agrícolas feitas por quem não entende e não quer aprender, pisoteio excessivo, transformação dos cerrados em carvão vegetal, são algumas das violências cometidas contra os nossos solos.

As restrições ou até proibições ao mau uso do solo não são aceitas. O que interessa é agradar ao povo, deixando proliferar os meios predatórios de ocupação do solo, através de uma agricultura oportunista, de um pastoreio indiscriminado, de loteamentos irracionais, de mineraçoes mais do que discutíveis.

DUMONT (11) apodou esta agricultura oportunista de " agricultura

mineradora" devido ao seu objetivo imediato de tirar o máximo rendimento com um mínimo de despesa, sem levar em conta o futuro, por analogia com a mineração que explora recursos não renováveis.

Desmata-se "morro acima" e planta-se capim "morro abaixo". O excesso de pastoreio esgota o solo e em pouco tempo a terra está escalvada.

Os loteamentos, sem qualquer critério técnico, são, tanto ou mais perniciosos, do que as atividades anteriores. Abrem-se ruas segundo as linhas de maior declive e,em pouco tempo, são canais de erosão.

As minerações não se preocupam com os mananciais ou com a paisagem.

Mas se no Brasil a situação não é alentadora no resto do mundo não está melhor. À excepção de poucos países desenvolvidos, onde a preocupação pela salvaguarda dos três componentes vitais é uma constante, nota-se uma violenta deterioração dos solos, com perda dos recursos essenciais à agricultura. Esta deterioração inclue a erosão do solo, a compactação,aumento de salinização das terras irrigadas, perda de bons solos em favor do desenvolvimento urbano, danos nas colheitas devidas à poluição do ar e água, extinção de espécies vegetais.

A deterioração dos solos está ocorrendo rapidamente nos países subdesenvolvidos, com o aumento de condições propícias para desertificação nas regiões áridas e grande erosão nas áreas mais úmidas.

Prevê-se que a taxa estimada de desertificação poderá aumentar cerca de 20% até ao ano 2000. Mas, infelizmente, quanto mais seca for a região maiores pressões se exercerão sobre as terras necessárias para as culturas. As Nações Unidas já identificaram áreas, somando dois milhões de hectares, susceptíveis de desertificação. Estas terras somam duas vezes e meia a atual área dos desertos. Como muito severos encontram-se bolsões na parte central da Argentina, e na Califórnia. Muito preocupantes são as terras que abrangem o sul de Angola, a Namíbia, grande parte da África do Sul, o sul de Madagascar, e a parte norte tropical da África, conhecida por Sahel. Nenhuma providência está sendo tomada. Cabe aqui referir, como exceção , a atitude do malogrado presidente de Burkina Faso (ex- Alto Volta) Thomas Sankara que tentou reduzir, drasticamente para um quinto, o rebanho da nação, porque as terras estão sendo sujeitas a um hiper pastoreio acelerando o processo de desertificação do país.

Os países desenvolvidos, onde se mantém já uma apreciável mentalidade conservacionista, perdem, no entanto, milhares de hectares para o

desenvolvimento urbano.

A civilização urbana está devorando solos aráveis em rítmo alucinante. DUMONT (11) cita que na Califórnia, por cada 1000 habitantes, perde-se para a agricultura quase 1 km² de boas terras agrícolas. Cada habitante novo ocupa um espaço urbanizado entre 800 e 1700 m². O mesmo DUMONT finaliza: "é preciso, pois, imperiosamente, reservar à agricultura, as planícies férteis, o fundo dos vales, os setores irrigáveis, todas as zonas de maiores potencialidades".

O zoneamento das terras, levando em conta a vocação agrícola, reservaria as áreas mais pobres para a urbanização e estradas.

Todos estes fatos levaram o Clube de Roma a apresentar em seu relatório (28) um sugestivo gráfico (Figura 1.1) sobre a evolução das curvas de aumento de população e de carência de solos. No mundo existem quase quatro bilhões de hectares de terras para a agricultura. Cada pessoa, ao nível atual de produção, necessita de 4000 m² de solo cultivável.

No gráfico da (Figura 1.1) observa-se que a curva de solo necessário à agricultura, que coincide com a curva da população, manteve-se constante ao longo dos séculos. Ela começou sofrendo uma inflexão nos meados do séc. XIX, precisamente com o advento da industrialização. Ao nível atual de produtividade a curva tem tendência a verticalizar-se e colidirá com a curva de solo arável existente, no início do séc. XXI. A curva de solo arável disponível para a agricultura manteve-se constante até meados do séc. XX, onde sofreu uma inflexão. Duplicando a produtividade a colisão dar-se-á por volta de 2025, quadruplicando a produtividade ela dar-se-á em 2050.

Existem várias maneiras de atenuar este quadro:

1) estabilização da população mundial, através de planejamento familiar. O traço mais fino, na (Figura 1.1) indica que se está considerando o aumento, segundo as taxas registradas em 1970, o que infelizmente não sofreu reversão.

2) aumento da produtividade, por intermédio de técnicas modernas de conservação e correção do solo, irrigação etc.

3) alternativas de alimentação baseadas em produtos sintéticos.

4) criação e seleção de novas sementes através da biogenética.

5) zoneamento urbano e rural destinando as melhores terras para a agricultura. A urbanização, cada vez mais, terá que ser vertical.

Até há pouco tempo a erosão foi exclusiva preocupação da agronomia, em razão da perda de fertilidade nas culturas. A engenharia civil pou

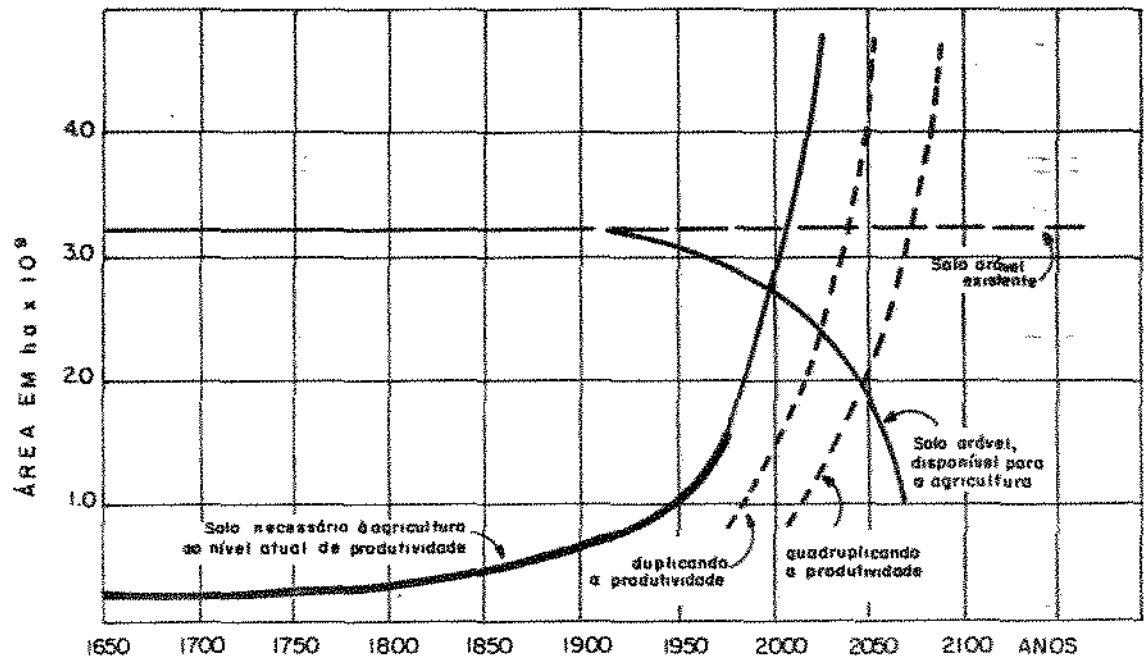


FIG. 1.1 _ Evolução das curvas de solo necessário, solo existente e solo disponível.

FONTE: Os limites do crescimento, 1972

co se preocupou com a degradação do solo. Nas terraplenagens nunca houve a preocupação de repor a cobertura vegetal. É frequente, especialmente ao longo das estradas, depararmos com antigos locais de empréstimos de aterros, totalmente erodidos e sem drenagem, com inestéticos taludes de cortes onde não se vislumbra o mínimo interesse em seu revestimento vegetal. A terra vegetal, proveniente das limpezas iniciais, chamada de expurgo é, na maioria das vezes, descartada.

A engenharia civil, por onde passa, deixa "feridas" na paisagem.

As prefeituras permitem toda a espécie de loteamento, sem a responsabilidade de um técnico.

Os desmatamentos brutais que se estão efetuando no Brasil vão alterar drasticamente os cursos de água. Nos próximos anos os engenheiros vão enfrentar grandes problemas com assoreamentos e inundações.

A engenharia civil viu-se obrigada a dedicar especial atenção, nas últimas décadas, aos problemas de deslizamento de encostas, e ao assoreamento de rios e reservatórios. Há barragens que estão comprometidas antes de atingido o seu limite de vida útil. Em usinas hidrelétricas vai sendo comum o problema de abrasão nas turbinas.

Existem meios de computar a entrada de sedimentos, carreados pelos rios, nos lagos das barragens. Mas, muitas vezes, as áreas circundantes dos lagos não são levadas em conta. Em princípio estas áreas deveriam ser preservadas. A boa técnica conservacionista aconselha a manter-se uma faixa incólume, circundando os lagos, de no mínimo 500 m. Salvo em barragens para abastecimento de água de cidades, onde algumas empresas conseguem impor a boa técnica de conservação de mananciais, a regra é o cultivo nas margens dos lagos. Nas barragens, para fins de irrigação, é uma norma, oriunda de pressões políticas.

As áreas circundantes dos reservatórios contribuem com grandes quantidades de sedimentos que não são passíveis de mensuração e, ao se acumularem, não seguem os perfis batimétricos usuais nos rios que desembocam nos lagos.

Como se pode estimar a perda de solo destas áreas independentes que fogem ao usual controle de sedimentos?

A resposta a esta pergunta levou-nos a efetuar esta dissertação. Nela procuramos estudar o fenômeno da erosão, em sua gênese. Como se comporta uma pequena área onde tem início a erosão, quais as diferenças entre um solo coberto de vegetação e desnudado, como se pode estimar a perda de

solo de uma pequena área, são assuntos abordados neste trabalho.

Esta dissertação consta de seis capítulos.

O Capítulo 2 descreve a erosão, principais definições e problemas.

O Capítulo 3 aborda a equação universal de perda de solo, um instrumento valioso para a medição da erosão em pequenas áreas.

O Capítulo 4 descreve os aparelhos e dispositivos, instalados no campo, destinados a medir " in situ " e "in tempore" todos os fenômenos que intervêm no processo da erosão. Também são descritas as técnicas e metodologias adotadas.

No Capítulo 5 são apresentados os dados de campo e sobre eles são feitas análises. É feita uma previsão da perda de solo através da equação universal da perda de solo. Seu valor é comparado com a taxa obtida nas coletas experimentais.

Finalmente o Capítulo 6 explana conclusões sobre o trabalho e faz recomendações para a melhoria do sistema implantado e sua extensão a outras áreas.

2. EROSÃO

2.1 Erosão Normal e Erosão Acelerada

A erosão, sendo um fenômeno natural, é a principal causa da modelagem atual da terra. A existência de solos férteis é devida aos fenômenos erosivos que se processaram ao longo de milhões de anos. Segundo GOTTSCHALK apud CHOW (8) "erosão é o desgaste da terra".

Um modelo simplificado da erosão compreende a desagregação, o transporte e a deposição do solo, que podem ser executadas por diversos agentes.

Quando o modelo se processa ao longo de um tempo apreciável estabelece-se um estado de equilíbrio, e a erosão não traz danos ao meio ambiente, pelo contrário, até contribue para a vida e reprodução de animais e plantas. É a erosão normal, lenta ou geológica. A turbidez dos rios, causada pela erosão normal, proporciona alimento aos peixes além de aumentar a fertilidade dos solos a jusante. Todas as grandes civilizações do passado basearam suas economias nas planícies aluviais compostas de sedimentos muito férteis.

A terra, desde sua gênese, tem experimentado sempre este tipo de erosão e sua modelagem atual a ele deve ser imputado.

Quando o modelo se processa em tempo muito curto, há uma ruptura brusca do equilíbrio, com arrastamento exagerado de materiais e suas conseqüências são danosas para o meio ambiente. É a erosão anormal ou acelerada que é, unicamente, provocada pelo homem.

2.2 Agentes da Erosão

A erosão é provocada pelos seguintes agentes:

2.2.1 Vento, que dá origem à erosão eólica.

2.2.2 Água, que origina a erosão hídrica, a mais comum e de maiores efeitos.

2.2.3 Gravidade, responsável pelo movimento de solos e rochas.

2.2.4 Gelo, existente só nos climas frios, que provoca enormes desmoronamentos e esmagamentos, devido às diferenças de temperatura.

2.3 Tipos de Erosão

2.3.1 Erosão eólica

O vento é o principal agente da erosão nas regiões áridas ou semi-áridas. Nestas regiões, em áreas muito planas com solos de pouca coesão, a ação do vento é demolidora. Como já foi citado, foi um desastre ecológico, relacionado com erosão eólica, que provocou o despertar de consciências para o fenômeno da perda de solo.

Conforme o seu diâmetro os sedimentos podem percorrer apenas alguns metros ou atingir áreas situadas a centenas de quilômetros.

As regiões do mundo, sujeitas à erosão eólica, são o centro dos E.U.A., o norte da África, o interior da União Soviética e China, a peninsula Arábica, o Irã, o sul de Angola e toda a Namíbia, o centro da África do Sul e a parte central da Austrália, (Figura 2.1).

2.3.2 Erosão Hídrica

A erosão hídrica pode ser:

a) pluvial quando provocada pelas chuvas.
b) fluvial quando se processa nos rios e córregos.
c) lacustre quando se verifica em lagos ou reservatórios de barragens.
d) marinha quando originada pela água do mar.

Estas erosões podem aparecer combinadas, como por exemplo uma chuva intensa pode provocar uma enxurrada que, após sua entrada no rio, se associará à erosão fluvial desenvolvida pela correnteza. A água das chuvas, ao infiltrar-se em áreas declivosas, pode originar drenagens subterrâneas que, associadas ao peso dos solos,levam ao deslizamento de encostas.

2.3.3 Erosão por Gravidade

Quando o peso do material excede as forças de resistência, representadas pelo atrito entre o solo e as rochas, ocorre a erosão por gravidade. Estas forças de resistência ficam muito fracas quando há um aumento de infiltração provocado pela destruição da cobertura vegetal ou quando se efe

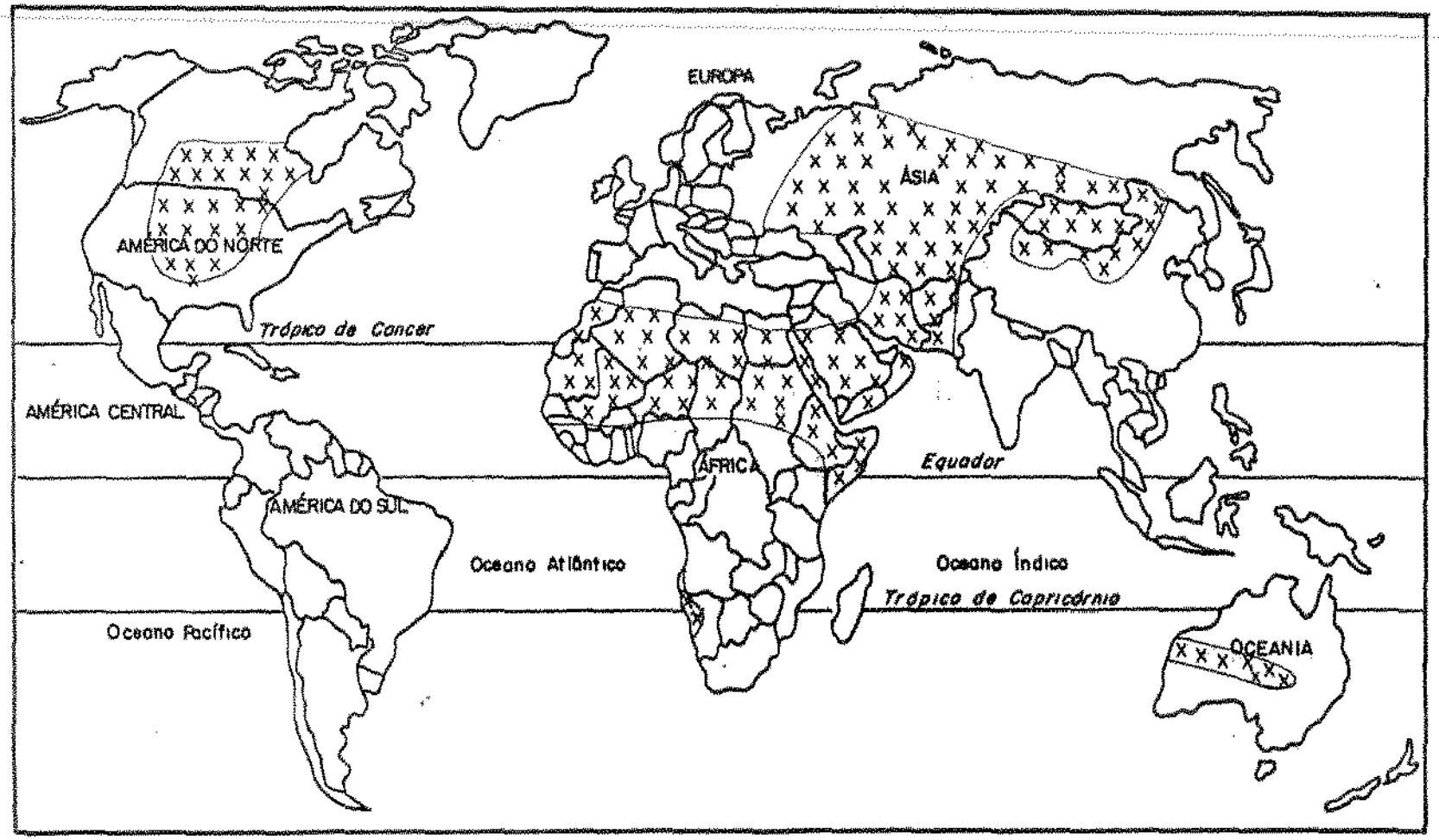


FIG. 2.1 — EROSÃO EÓLICA NO MUNDO

tuam cortes que não levam em conta a estabilidade dos taludes.

A erosão por gravidade inclue os deslizamentos de encostas e o afundamento de áreas planas, às vezes fora da época das chuvas.

A queda das terras situadas nas margens dos rios é, também, um tipo de erosão por gravidade, conhecida popularmente como desbarrancamento.

O deslizamento de encostas, infelizmente, vai-se tornando comum, à medida que se fazem loteamentos, ou invasões "morro acima", sem quaisquer critérios técnicos e muito menos com preocupações de segurança.

A erosão por gravidade está, regra geral, ligada com a erosão hídrica subterrânea.

2.3.4 Erosão por degelo

O congelamento da água, em fraturas e fendas, provoca a desintegração das rochas. As grandes massas de gelo (glaciares) podem triturar os materiais transformando-os em pequenos blocos que são arrastados pelas águas do degelo. Além da própria erosão local, estes materiais irão provocar mais erosões a jusante.

2.4 Erosão Hídrica Pluvial

Por ser o escopo desta dissertação abordaremos, detalhadamente, este tipo de erosão.

A chuva é o agente da erosão hídrica pluvial e o seu trabalho compreende a desagregação, o transporte e a deposição dos sedimentos.

2.4.1 Desagregação

A agressão ao solo é feita pelo impacto das chuvas, que provoca a sua desintegração. O bombardeio intenso, por milhões de gotas de chuva (Tabela 2.1), destaca partículas de solo, que são projetadas aleatoriamente, podendo atingir alturas até 0,5m e extensões horizontais até 2,0 m.

A energia cinética, na sua forma mais simples, é igual ao semi-produto da massa de uma gota pelo quadrado de sua velocidade. Esta, em queda livre, aumenta inicialmente até se estabilizar em torno de um valor limite (velocidade terminal).

LENARD, LAWS, GUNN & KINZER, apud LINSLEY (27) fizeram estudos vi

TABELA 2.1

CARACTERÍSTICAS DAS GOTAS DE CHUVA PARA DIFERENTES TIPOS DE CHUVAS

GOTAS		NÚMERO DE GOTAS POR m^2 E POR SEGUNDO								
		A		B	C	D	E	F	G	H
DIÂMETRO EM mm	VOLUME EM mm^3	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,5	0,065	1000	1600	129	60	0	100	514	679	7
1,0	0,524	200	120	100	280	50	1300	423	524	233
1,5	1,77	140	60	73	160	80	500	359	347	113
2,0	4,19	140	200	100	20	150	200	138	295	46
2,5	8,18	0	0	29	20	0	0	156	205	7
3,0	14,10	0	0	57	0	200	0	138	81	0
3,5	22,40	0	0	0	0	0	0	0	28	32
4,0	33,50	0	0	0	0	50	0	0	20	39
4,5	47,70	0	0	0	0	0	200	101	0	0
5,0	65,40	0	0	0	0	0	0	0	0	23
	TOTAL :	1480	1980	488	540	500	2300	1829	2179	502
INTENSIDADE DA CHUVA :										
mm por minuto		0,06	0,07	0,10	0,04	0,31	0,72	0,57	0,36	0,25
mm por hora		3,6	4,2	6,0	2,4	18,6	43,2	34,2	22,8	15,0

A - CHUVAS PARECENDO NORMAIS
B - CHUVAS COM INTERRUPÇÕES DURANTE AS QUAIS BRILHA O SOL
C - COMEÇO DE UM AGUACEIRO CURTO
D - CHUVA SÚBITA PROVENIENTE DE UMA PEQUENA NUVEM
E - CHUVA VIOLENTA, COM PINGOS GROSSOS COM UM POUCO DE GRANIZO
F - PERÍODO MAIS INTENSO DE UMA CHUVA
G - PERÍODO MENOS INTENSO DE UMA CHUVA
H - PERÍODO FINAL DE UMA CHUVA CONTÍNUA

FONTE: L'Hydrologie de l'ingénieur, G. RÉMÉNIÉRAS, Eyrolles 1972

sando a determinação da velocidade terminal das gotas de chuva.As tabelas 2.1, 2.2) apresentam algumas características de chuvas de diversos tipos e durações e na (Tabela 2.3) podemos obter as velocidades terminais das gotas de chuva, segundo vários autores.

Há um consenso, entre os pesquisadores, de que uma gota de chuva raramente ultrapassa o diâmetro de 6mm, porque, com este diâmetro, ela é instável e tende a fraccionar-se em outras de diâmetros menores, devido à tensão superficial.A(Figura 2.3) relaciona o diâmetro das gotas com a respectiva velocidade terminal.

A altura de precipitação de uma chuva expressa-se em mm ou cm. Esta unidade provém do quociente entre o volume precipitado e a área sobre a qual ele caiu. A precipitação total nada nos diz sobre a força erosiva da chuva.

Uma chuva caracteriza-se por três componentes principais: intensidade, duração, frequência. Pela intensidade (expressa em mm/h ou cm/h) de uma chuva pode-se aquilatar qual o seu grau de erosividade. Uma chuva de 12mm em 10 minutos é de muito maior poder destruidor do que uma chuva de 50 mm em 24 horas. A frequência das chuvas determina o grau de umidade de um solo. Num solo encharcado é alto o coeficiente de escoamento e consequentemente chuvas de fracas intensidades podem dar origem a grandes enxurradas. O produto da intensidade pela duração resulta na altura de precipitação.

A erosão provocada pelo bombardeio do solo pelas gotas da chuva denomina-se erosão por salpicos, por impacto ou por embate.

A erosão por impacto é a de maior poder destruidor e a principal forma de desgaste do solo. Em áreas muito planas há uma atenuação do impacto, devida ao fato de se acumular água que,aotomar uma certa espessura, cobre o solo e serve de colchão para o amortecimento da energiadas gotas.A erosão por impacto é mais severa em vertentes muito inclinadas e desprovidas de vegetação, justamente as condições mais frequentes na construção de estradas, nas minerações, nos loteamentos turísticos e de lazer.

Uma vegetação densa anula toda a energia cinética das gotas, motivo porque é de fundamental importância não se abandonar um solo desnudado.Em geral quanto mais baixa for a densidade de vegetação maior é a erosão, mas esta lei pode ser controlada pelo uso do solo. Nas regiões equatoriais, onde as chuvas são intensas e frequentes, registram-se taxas baixas de erosão em virtude da cobertura vegetal possuir uma alta densidade e um rápido poder de recuperação.

TABELA 2.2

CARACTERÍSTICAS DAS GOTAS DE CHUVA

TIPO DE PRECIPITAÇÃO	INTENSIDADE EM mm / h	DIÂMETRO MÉDIO DAS GOTAS (mm) $\bar{d}$	VELOCIDADE DE QUEDA (m/s) PARA O DIÂMETRO $\bar{d}$
1 - GAROA	0,25	0,2	
2 - CHUVA LIGEIRA	1 a 5	0,45	2,0
3 - CHUVA FORTE	15 a 20	1,50	5,5
4 - CHUVA MUITO VIOLENTA	100	3,0	8,0

FONTE: Réméniéras G., L'hydrologie de l'ingenieur, Paris Eyrolles, 1972, 456 p.

TABELA 2.3

VELOCIDADES TERMINAIS DAS GOTAS DE CHUVA m/s

DIÂMETRO DAS GOTAS mm	Lenard a)	Laws a)	Gunn e Kinzer b)
0,5	3,51		2,06
1,0	4,39		4,03
1,5	5,70	5,52	5,41
2,0	5,92	6,59	6,49
3,0	6,89	8,05	8,06
4,0	7,71	8,87	8,83
5,0	7,99	9,24	9,09
5,5	7,99	9,30	9,15
6,0	7,81	9,30	

FONTE: a) LINSLEY, RAY K. Jr., et al. Applied Hydrology, Mc Graw-Hill Book Company, 1949, 689 p.

b) LINSLEY, RAY K. Jr., et al. Hydrology for Engineers, Mc Graw-Hill Book Company, 1975, 482 p.

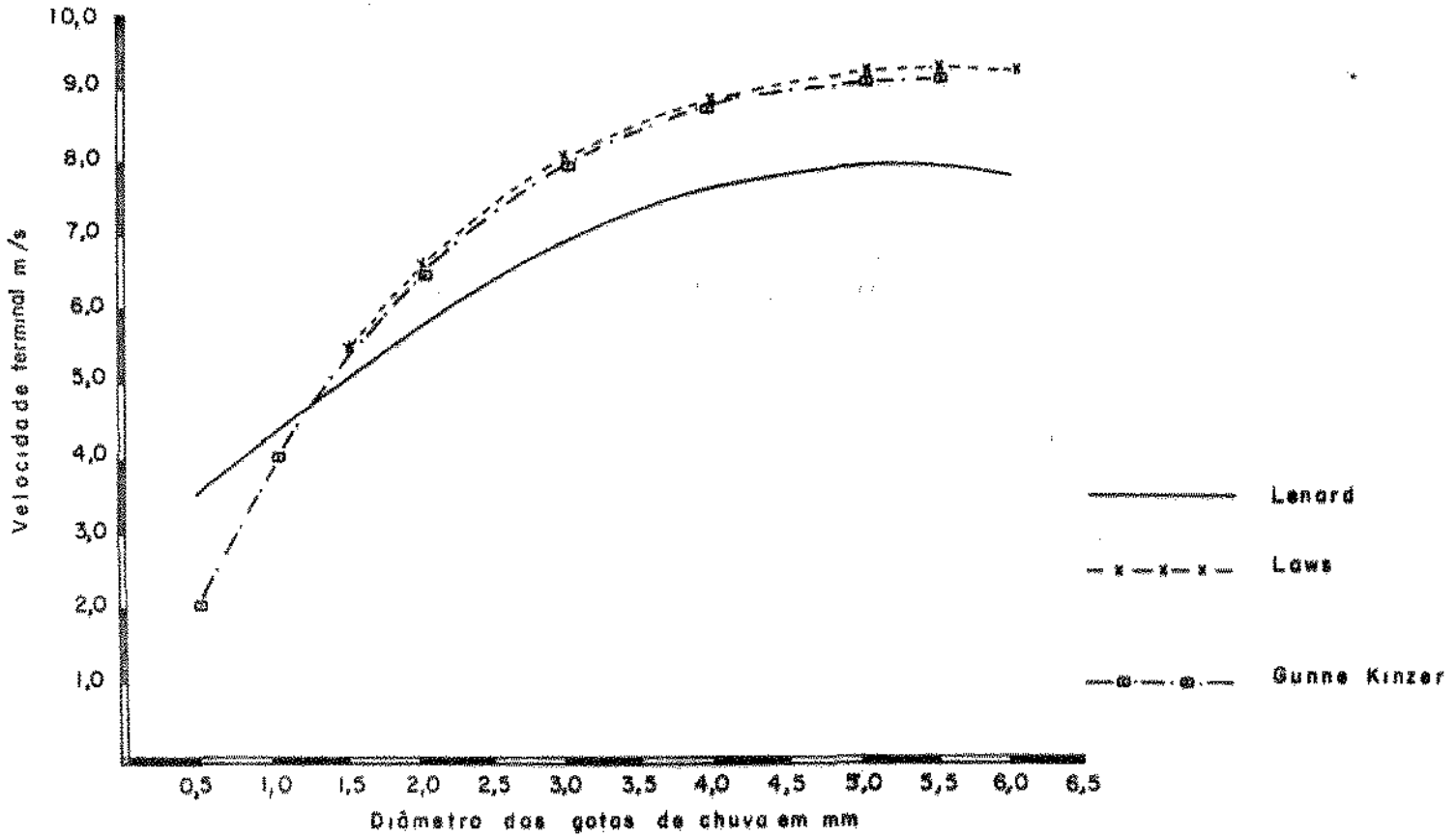


Fig. 2.2 Relação entre o diâmetro das gotas e a velocidade terminal na queda
(Vide Tab. 2.3)

A destruição da massa verde equatorial através de fogo ou meios químicos, que inibem sua recomposição, está acelerando o processo de erosão em terras que, naturalmente, nunca viriam a sofrer tal fenômeno. A composição do solo também é um fator importante para o contrôle da erosão, solos contendo alto teor de matéria orgânica, associada com silte e argila, oferecem uma maior resistência à desagregação. A areia e o silte são facilmente erodíveis.

As regiões mais sujeitas à erosão por impacto são aquelas onde as chuvas anuais se situam de 400 a 1.000 mm. Em regiões de poucas chuvas (abaixo de 400 mm) não há condições para a erosão hídrica, porque o solo se encontra ressecado e absorve a chuva de imediato. Estas regiões, quando a topografia é plana, sofrem violenta erosão eólica.

Já as regiões, cuja precipitação anual está entre 400 e 1.000 mm, são as mais vulneráveis à erosão. As chuvas não são suficientemente abundantes e frequentes para a ocorrência de grandes e densas massas vegetais, como no equador, mas o volume das chuvas é suficiente para ultrapassar o grau de ressecamento do solo e originar escoamentos apreciáveis.

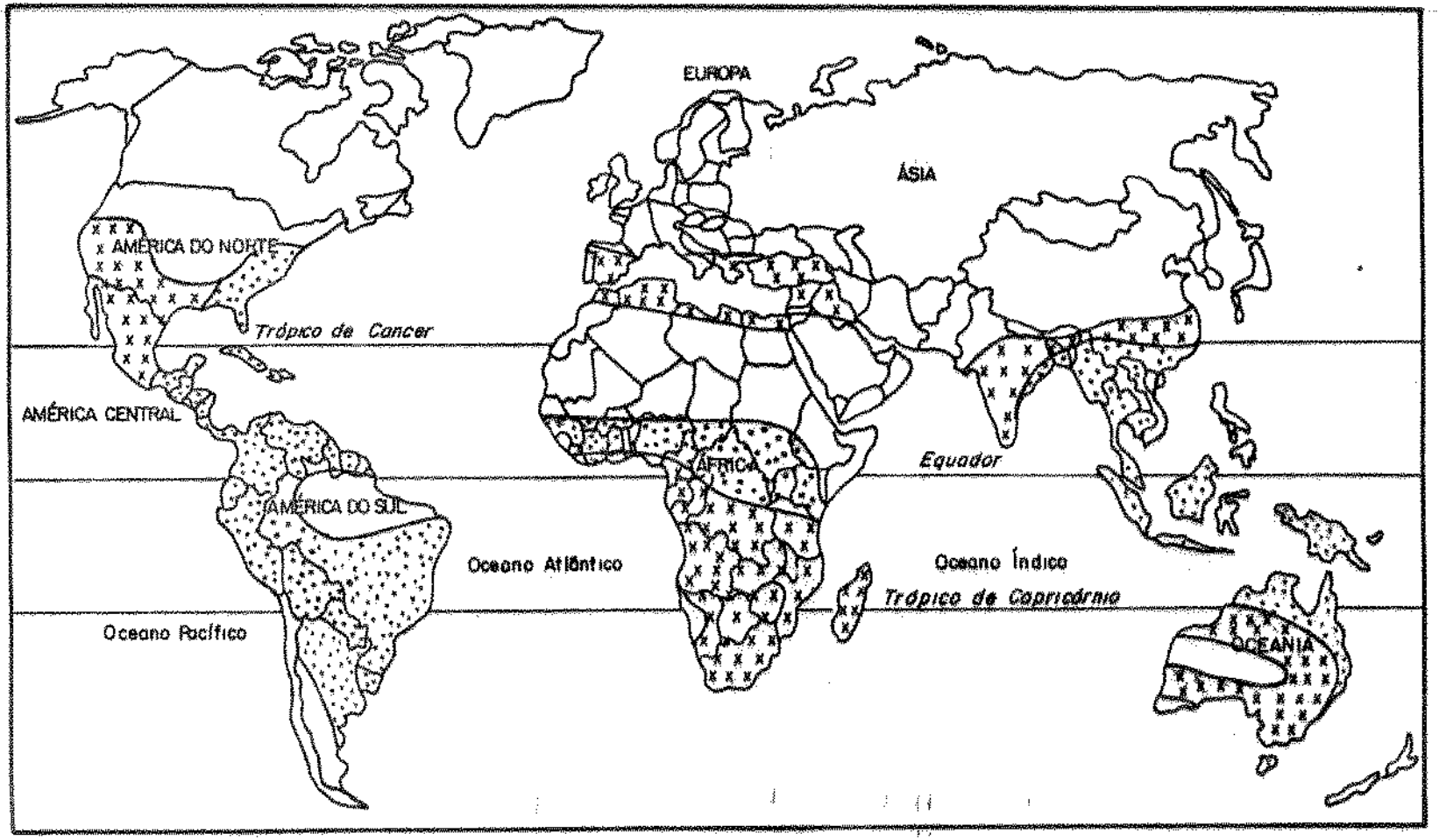
As áreas no mundo mais sujeitas à erosão hídrica pluvial, mesmo com vegetação natural, são: o México, o sul da península Ibérica, norte da África, os países africanos situados nos trópicos e no sul do continente, a Índia, o centro este da Austrália.

As regiões no mundo, sujeitas à erosão hídrica, após retirada da cobertura vegetal, são: a América Central, Venezuela, Colombia, Equador, Peru, Brasil, Uruguai, parte da Argentina, os países equatoriais da África, o sudeste asiático, incluindo a Indonésia, a parte norte da Austrália (Figura 2.3).

A verificação de que o impacto é o fator fundamental, nos processos erosivos, é muito recente. Na antiguidade fracassaram todas as tentativas de defesa contra a erosão porque não se tinha conhecimento de tal fato. Podemos admitir que foram esses fracassos que contribuíram para o colapso das antigas civilizações, que tinham suas bases na agricultura.

2.4.2 Transporte

Quando a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração do solo, a água acumula-se na sua superfície e depois escoa vertente abaixo, com alturas muito irregulares.



REGIÕES SUJEITAS À EROSÃO APÓS A RETIRADA DA COBERTURA VEGETAL.

REGIÕES SUJEITAS À EROSÃO MESMO SEM A RETIRADA DA COBERTURA VEGETAL.

FIG. 2.3 — EROSÃO HÍDRICA PLUVIAL NO MUNDO

A altura e velocidade da água, que aumentam com o percurso, são geradas pelo excesso de precipitação, de tal maneira que a força aplicada ao terreno pela água é suficiente para vencer a resistência do solo à erosão. A intensidade da erosão é função da altura de água e do declive da vertente . Este tipo de erosão denomina-se erosão por lençol ou erosão laminar.

Onde o terreno é sensivelmente plano, a força da água é menor do que a resistência à erosão, há pouco movimento de água e tendência para a formação de poças. A lâmina, que se forma, atenua ou anula a erosão por impacto. Com o aumento da declividade a força de água torna-se maior do que a resistência do solo e a água flue gerando a erosão laminar. Finalmente, no sopé da encosta, decresce a declividade, diminui a velocidade com aumento da altura da lâmina, e há tendência para a deposição do material.

É raro encontrar-se um modêlo perfeito, de erosão laminar, na prática. A água tem tendência a formar minúsculos filetes, de maior ou menor altura, que descem aleatoriamente durante o escoamento. Idealizou-se o modelo de erosão laminar, por analogia com o que se passa numa área sujeita a erosão intensa, que apresenta, ao fim de uns anos, uma camada sensivelmente regular de solo perdido.

Em vertentes com baixas taxas de infiltração e velocidades , a erosão laminar é predominante, não esquecendo que, para a mobilização do solo, a erosão por impacto é o fator mais importante. A combinação das duas erosões pode ser confirmada ao observar-se um escoamento, com a chuva em declínio, as gotas vencendo a altura dos filetes colidem com o solo. Também se podem observar pequenos cordões de sedimentos no sentido do escoamento.

No momento em que os filetes de água se reunem, abrindo caminhos preferenciais, a erosão laminar dá origem à erosão por sulcos. A concentração do escoamento nos sulcos aumenta a eficiência de erosão. As máquinas agrícolas têm condições de ultrapassar os sulcos, eliminando-os, e repondo o solo nas condições anteriores, todos os anos.

Quando os sulcos se aprofundam, de tal maneira que as máquinas agrícolas não os conseguem eliminar, aparece a erosão por ravinas, barrocas ou voçorocas. As voçorocas começam com larguras e profundidades de 30 cm podendo atingir dezenas de metros em altura e podendo desenvolver-se ao longo de dezenas de quilômetros.

O total de solo, carreado pelo voçorocamento, é geralmente pequeno, quando comparado com a contribuição dos materiais erodidos por lençol ou

sulcos, mas o processo, mesmo assim, causa grandes danos à topografia natural, às linhas de água e à paisagem.

DUNNE & LEOPOLD (12), 1966, numa pequena bacia com pastagens, na região semi-árida de Santa Fé (E.U.A.) verificaram que 1,4% dos sedimentos provieram da erosão por voçorocas, 0,7% foram imputados a deslizamentos e 97,8% tiveram sua origem nas erosões laminar e por sulcos.

BRUNE apud DUNNE (12), 1950, numa bacia agricultada em Illinois, computou contribuições de 3,4% a 4,0% de erosão por voçorocamentes e 79% a 96% de erosões por lençol e sulcos.

Perante estes números vale ratificar a importância da cobertura vegetal na atenuação da perda de solo. Se as erosões laminar e por sulcos forem eliminadas, também o voçorocamento se extinguirá, quando na sua primeira fase.

O transporte de solo perdido, através das voçorocas, onde se define um escoamento hidráulico mais ou menos estável, compreende duas modalidades: transporte sólido em suspensão e carga do leito ou carga do fundo. O transporte sólido em suspensão diz respeito ao material que se incorpora na água, dando origem a soluções (quando o material é muito fino) ou suspensões. A carga de fundo refere-se ao material que é arrastado sobre o terreno, num constante movimento, sujeito a atritos. Este transporte é totalmente aleatório e depende de vários fatores entre os quais avulta a força do fluxo.

2.4.3 Deposição

Quando a declividade decresce há tendência para a deposição dos materiais. A deposição pode dar-se na própria encosta, quando a topografia for favorável, ou dar-se-á mais adiante, numa voçorosa totalmente degradada cujo talvegue tem pouca inclinação, ou em alguma linha de água mais a jusante.

Quanto maior o diâmetro das partículas mais rapidamente elas se depositam. A deposição será mais rápida à medida que diminui a velocidade da água. Esta depende da declividade e da cobertura vegetal.

A (Figura 2.4) apresenta um modêlo geomorfológico de erosão versus deposição.

EROSÃO

① EROSÃO LAMINAR E POR SULCOS.

② SULCOS E PEQUENAS VOÇOROCAS.

③ VOÇOROCAS.

④ LAGOAS DE VAZANTE.

⑤ DEGRADAÇÃO DO LEITO DO RIO.

⑥ DESBARRANCAMENTO.

DEPOSIÇÃO

⑦ DEPOSIÇÃO NO SOPÉ DAS ENCOSTAS (COLUVIÃO).

⑧ DEPOSIÇÃO NO VALE.

⑨ BANCO DE AREIA.

⑩ AGRADAÇÃO DO LEITO DO RIO.

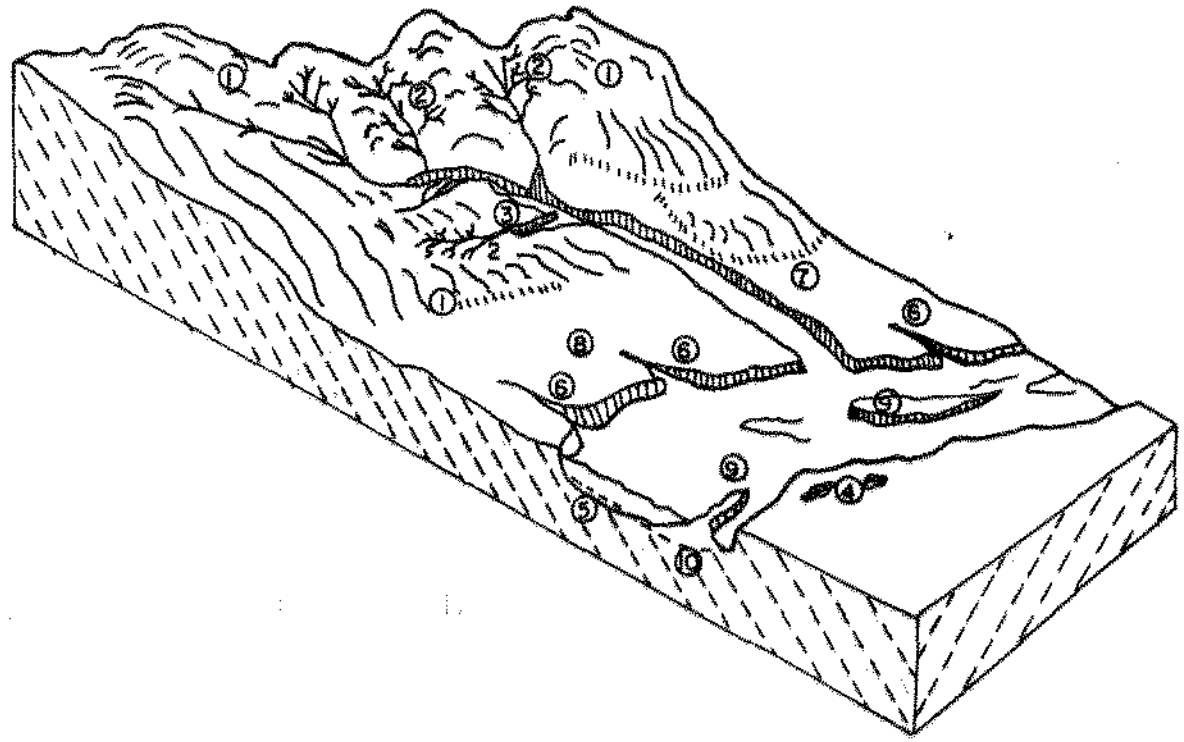


FIG. 2.4 – MODELO GEOMORFOLÓGICO EROSÃO ⇨ DEPOSIÇÃO
Segundo PIEST & MILLER (43)

2.5 Sedimentos

Os produtos gerados pela erosão denominam-se sedimentos.

Sedimento é uma pequena partícula de solo, de origem inorgânica, que devido à força dos agentes erosivos, se desprende e é transportada para locais geralmente mais baixos, incorporada na água, arrastada ou rolada sobre o terreno ou até alçada para o ar, onde pode ficar em suspensão por longo tempo.

Quando o sedimento é produzido pela água, o material pode ficar em suspensão ou solução. Um material está em solução quando há dificuldade na separação. As argilas e siltes apresentam-se incorporadas na água em solução, fazendo com que esta se apresente turva; quando o material é mais grosseiro (areias) fica em suspensão e sua separação faz-se através de simples decantação, em contraste com a solução, em que é necessário que se dê uma evaporação.

Denomina-se erosão bruta a quantidade total de sedimentos desagregados e transportados pelos agentes erosivos, numa certa área e num determinado tempo. Quando esta erosão se mede numa seção de referência costuma designar-se por produção de sedimentos.

Taxa de erosão é a relação entre uma unidade de volume ou de massa e as unidades de área e de tempo.

2.6 Problemas de Erosão

2.6.1 Erosão Geológica

O grande capeamento, formado por rochas sedimentares, evidencia os grandes fenômenos erosivos, ocorridos durante as eras geológicas, constituídos pelo binário erosão versus deposição. A erosão não é um processo de origem recente nem, tão pouco, está restrita ao passado. A erosão geológica existe hoje, como também existiu num passado remoto. Ela varia de lugar conforme as diferenças estruturais das rochas, de climas e de vegetação. Onde as rochas são fracas e as condições meteorológicas muito adversas, a taxa de erosão geológica é alta.

O contrôle de erosão geológica é de difícil execução porque as condições naturais, que prevaleceram ao longo de milhares de anos, podem não ter mudado significativamente. A erosão geológica pode ser atenuada mas a

maior dificuldade reside no aspecto econômico. As regiões afetadas por grandes erosões geológicas geralmente estão abandonadas, como é o caso das "bad lands" nos Estados de Dakota nos E.U.A., ou são de baixo valor agrícola. A justificação de tomada de medidas anti-erosão geológica filia-se apenas no fato de se poderem reduzir as deposições a jusante.

2.6.2 Erosão Acelerada

Erosão acelerada é definida como o aumento da taxa de erosão, acima da normal ou geológica, provocando perda rápida de fertilidade, drenagens excessivas com rebaixamento do nível freático e assoreamentos excessivos a jusante. Esta erosão é unicamente provocada pelo homem, ou seja, é a erosão antrópica.

Há conhecimento da existência de taxas de erosão acelerada cem vezes superiores às taxas de erosão normal. As atividades que mais contribuem para a produção de sedimentos são as agrícolas, a urbanização, a construção de rodovias e aeroportos, mineração e estruturas hidráulicas (erosões localizadas a jusante dos vertedouros).

2.6.3 Atividades Agrícolas

São as que ocupam a maior área na terra e consequentemente detêm, também, a maior percentagem na formação da erosão. Historicamente, pode dizer-se, a erosão acelerada começou com o uso agrícola da terra, ou seja há uns 7.000 anos. Data desse tempo, embora tivesse passado despercebido aos antigos historiadores, o declínio de numerosas civilizações, devido ao fato de que, com as terras severamente deterioradas pela erosão, não foi mais possível a produção de alimentos.

DELE & CARTER apud DORST (10) asseveram-nos que as civilizações do passado apenas sobreviviam, em média, de quarenta a sessenta gerações, sendo forçadas depois a procurarem novas terras. Por se situarem em planícies não erodíveis, que recebiam novos sedimentos nas chuvas anuais, só as civilizações dos rios Indo, Amarelo, Tigre, Eufrates e Nilo conseguiram manter-se durante muitos séculos. Podemos até afirmar que, em outros contextos, sobrevivem até hoje.

A abertura de novas fronteiras agrícolas, traz, inexoravelmente, a destruição do equilíbrio prevalecente durante séculos. As florestas naturais são impiedosamente aniquiladas por corte, fogo ou arrancadas com correntes,

enquanto a vegetação rasteira é queimada, gradeada ou esterilizada com produtos químicos.

Em áreas onde a camada de terra vegetal é fraca e muito pouco profunda, como é o caso dos solos tropicais, em pouco tempo o solo não é mais utilizável e é abandonado. Das florestas originais dos cedros do Líbano, DORST (10) diz-nos que só existe um pequeno pedaço em contraste com a parte que foi destinada à agricultura e que hoje não é mais do que uma terra desolada, desnuda e erodida.

Estudos feitos nos E.U.A. (43) indicam que a remoção da floresta, para conversão em terra agrícola, pode acelerar a erosão entre 100 a 1.000 vezes a erosão normal. A transformação de gramados em terras cultivadas pode aumentar a erosão de 10 a 50 vezes.

2.6.4 Urbanização

Outros tipos de atividades originam problemas de erosão, não tão importantes quanto os agrícolas, por serem mais localizados. Um deles é o efeito da urbanização na erosão acelerada. As áreas urbanizadas, quando total e tecnicamente bem concluídas contribuem com baixa taxa de sedimentos porque uma grande parte da terra está protegida contra a erosão, através dos telhados, ruas, parques gramados e arborizados, lagos e sistemas eficientes de esgotos pluviais.

Durante a construção, contudo, as taxas de erosão são altas, como conseqüência da remoção das árvores e cobertura vegetal, e das terraplenagens. Segundo HOLMAN & GEIGER apud VANONI (43) a urbanização, envolvendo grandes conjuntos residenciais e lojas, aparece já como uma das grandes preocupações, semelhantes às atividades agrícolas, porque grandes áreas de solo ficam expostas à erosão por períodos de dois ou três anos, antes do término e estabilização das obras. Edifícios isolados usualmente são completados em três ou quatro meses e não constituem motivo para preocupações.

2.6.5 Construção de Rodovias e Aeroportos

Durante a construção de rodovias podem ocorrer problemas graves de erosão, quando a vegetação natural é removida e os cortes e aterros são deixados desprotegidos. Estas erosões originam sérios assoreamentos na respectiva rede de drenagem. Mas o maior perigo não reside nas grandes rodovias que

são produtoras de sedimentos apenas durante a construção. Uma grande rodovia recebe, no final da construção, um bom acabamento de vegetação. As estradas vicinais, especialmente as que se encontram abandonadas, são grandes focos de produção de sedimentos. Algumas chegam a transformar-se em verdadeiros canais de erosão. Também as antigas estradas de canteiros de obras são grandes focos de erosão.

2.6.6 Mineração

As operações de mineração injetam volumes consideráveis de sedimentos diretamente nos córregos e rios. Expurgos de escavações, trincheiras de exploração e minas abandonadas, continuam sendo erodidos durante muitos anos.

O desmonte do cascalho dos leitos dos rios, para extração de ouro, é uma fonte de erosão. O leito dos rios é rebaixado e os sedimentos, que se encontram depositados num processo de equilíbrio natural, são violentamente incorporados no fluxo, provocando enormes assoreamentos a jusante. Para piorar este quadro registra-se, ainda, a incorporação de mercúrio, quando se trata da exploração de ouro.

2.6.7 Estruturas Hidráulicas

Estruturas hidráulicas têm influência ou aceleram erosões ao longo dos rios. Qualquer obra hidráulica, que mude a direção do escoamento, ou aumente a profundidade, a direção ou a velocidade de escoamento, pode resultar em erosão. A retificação dos rios, técnica ultrapassada que ainda hoje tem defensores, aumentando o gradiente e a velocidade, dá origem a um canal de erosão . Do mesmo modo o estreitamento de uma seção do rio, provocando o aumento da velocidade e profundidade do fluxo, origina problemas de erosão. A degradação ou rebaixamento do leito de um rio resulta, também, no rebaixamento do leito de seus tributários. Algumas vezes tal rebaixamento pode ser benéfico, porque restaura a capacidade de carreamento dos canais levando-os às suas antigas condições. Mas onde os materiais intrínsecos do local são erodidos por novas condições hidráulicas, a degradação pode prosseguir além do greide natural, iniciando-se, então, um novo ciclo de erosão. Além de poderem ser destruídas terras produtivas, nas margens e bancos do rio, a degradação dos canais pode afetar seriamente o nível freático das terras marginais.

A construção de barragens influencia a estabilidade dos rios de duas maneiras:

1) retenção da carga de sedimentos a montante.
2) mudanças nas condições de fluxo a jusante, com erosões localizadas.

O fluxo e a carga de sedimentos são responsáveis pelas condições naturais do escoamento, antes da construção da barragem. A água clara, saída de um reservatório, imediatamente adquire uma nova carga de sedimentos se a vazão for suficiente para erodir o leito e efetuar o seu transporte. Quando esta condição se verifica há uma erosão do canal e rebaixamento do leito, que continuará até que o leito atinja um equilíbrio de acordo com as novas características do fluxo.

A degradação dos canais, a jusante de barragens, tem sido observada em quase todas as construções. A gravidade do problema depende da erodibilidade dos materiais do leito, em face das características hidráulicas originadas pelas vazões regularizadas pela barragem. Quando os materiais são resistentes a erosão se limita somente a poços, próximo das estruturas de saída. Mas se os materiais são facilmente erodíveis pelo fluxo, a erosão do canal pode ocorrer ao longo de quilômetros para jusante.

2.6.8 Qualidade da Água

O sedimento, além de ser o maior agente poluente em peso e volume, é também um catalisador, um transportador e um agente mantenedor de outras formas de poluição. Há alguns usos da água em que se torna desejável a presença de sedimentos. As planícies aluviais, que são inundadas anualmente, devem suas fertilidade à grande concentração de sedimentos, que arrastam nutrientes. Quanto maior for a concentração de sedimentos, mais pobre é a qualidade da água. Os sedimentos degradam a água, para abastecimento humano e animal, uso industrial, vida aquática e energia hidrelétrica. As turbinas hidráulicas chegam a ficar fora de serviço devido a problemas de abrasão originados por grande carga de sedimentos na água. Os produtos químicos e esgoto são facilmente assimilados pelos sedimentos. Existe troca de íons entre solutos e sedimentos, o que constitue uma preocupação no que concerne ao uso de pesticidas, fósforo, bactérias patogênicas e vírus.

2.7 Quantificação da Erosão

A medição da erosão, em pequenas áreas, faz-se através de métodos diretos. DUNNE & LEOPOLD (12) apresentam uma escala de classificação para di

versos tipos de erosão, segundo vários autores, (Quadro 2.1). Esta classificação é um bom instrumento para relatórios preliminares sobre o meio ambiente.

Um processo sugestivo, mas trabalhoso, consiste em cobrir a área com estacas metálicas enterradas no solo, contendo uma anilha em seu topo. Ao fim de um período longo as anilhas, devido à erosão, terão baixado. A distância entre o topo da estaca e a anilha corresponde à espessura do solo perdido. O tratamento estatístico de um grande número de pontos dá uma aproximação razoável da espessura de solo perdido. É um processo inviável em agricultura, podendo ser aplicado, apenas, em florestas ou áreas que não sofram tratos culturais.

O processo com maior precisão utiliza a medição das chuvas e da vazão de escoamento superficial. A água é recolhida em tanques, onde é medida a quantidade de solo arrastado.

Para se fazer uma estimativa de solo perdido costuma utilizar-se a equação universal da perda de solo, cuja descrição é efetuada a seguir.

QUADRO 2.1

ESCALA DE CLASSIFICAÇÃO EXPEDITA DA EROSÃO HÍDRICA

TIPO DE EROSÃO	CLASSE	DESCRIÇÃO	FONTE
Erosão laminar *	1	Nenhuma erosão aparente	SCS (1951) (12)
	2	Erosão fraca; menos de 25% de remoção do horizonte A.	
*Serve para erosão eólica.	3	Erosão moderada ; de 25% a 75% de remoção do horizonte A.	
	4	Erosão severa; remoção de mais de 75% do horizonte A.	
	5	Erosão muito severa ; remoção total do horizonte A e parcial de B e C.	
Erosão por Voçorocas.	1	Ocasional, menos de 3 voçorocas por ha ou separadas por mais de 30 m.	SCS (1951) (12)
	2	Freqüente; 10 ou mais por ha, 75% da área é drenada por voçorocas.	
	3	Muito freqüente ; grandes voçorocas.	
Erosão ao longo dos lados das estradas.	1	Erosão laminar; ocorrência ocasional de sulcos.	De Belle (1971) (12)
	2	Erosão por sulcos : sulcos até 15 cm de profundidade.	
	3	Erosão por voçorocas, inicial; numerosos sulcos de 15 a 30 cm de profundidade.	
	4	Erosão por voçorocas, acentuada, numerosos sulcos de 30 a 60 cm de profundidade.	
	5	Erosão avançada; sulcos ou depressões acima de 60 cm de profundidade.	

3. EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO (EUPS)

3.1 Introdução.

3.1.1 História

A perda de solo era um fenômeno que, até há poucas décadas, não preocupava os cientistas e muito menos os governos. Até o aparecimento das máquinas agrícolas e de terraplenagem a erosão anormal apenas se manifestava em partes isoladas e sem qualquer repercussão.

Pode afirmar-se que a ciência de conservação do solo apareceu há pouco mais de 50 anos, com a criação do Serviço de Conservação do Solo, nos E.U.A., logo após o célebre desastre ecológico no "Dust Bowl".

O pioneiro na conservação da água e do solo foi o alemão EWALD WOLLNY que, no último quartel do Sec. XIX, empreendeu investigações sobre as propriedades físicas do solo e sua erosão. Já naquele tempo ele levou em conta os fatores declive, cobertura vegetal, tipo de solo e seu uso. Suas investigações incidiram, também, sobre os fenômenos de percolação, transpiração e evaporação, tendo ainda estudado os efeitos de compactação do solo.

As primeiras medições de solo perdido começaram nos E.U.A. em 1912, em pastos super utilizados, na região de UTAH.

Em 1917, na Estação Agrícola Experimental de Missouri, MILLER e outros investigadores conduziram pesquisas em lotes experimentais.

Na década de 20 um nome avulta sobre os demais: HUGH HAMMOND BENNET que, através de seus escritos e palestras, alertou sobre os grandes perigos e prejuízos causados pela erosão. Por sua obra e suas permanentes preocupações ele é, justamente, considerado "o pai da Conservação do Solo".

BENNET acompanhou as pesquisas sobre erosão em dez estações experimentais, onde foram usadas e melhoradas as técnicas iniciadas por MILLER. Os dados foram publicados durante as décadas de 30 e 40. Nestas décadas outros pesquisadores se notabilizaram tais como:
H.E. MIDDLETON, J.F. LUTZ, R.E. HORTON, G.W. MUSGRAVE, L.D. BAUER, J.H. NEAL, J.O. LAWS, W.D. ELLISON e outros.

3.1.2 Primeiras equações

H.L. COOK em 1936 identificou as principais variáveis envolvidas

na erosão. Ele listou três fatores:

1 - A susceptibilidade que um solo apresenta à erosão.

2 - O potencial erosivo da chuva que incluía o declive e o comprimento da vertente.

3 - O grau de proteção oferecido pela cobertura vegetal.

A.W. ZINGG em 1940 publicou os resultados de um estudo sobre o efeito do declive e do comprimento da vertente l na perda de solo. Ele apresentou uma equação.

No ano seguinte D.D. SMITH acrescentou à equação de ZINGG um fator referente à cobertura vegetal e um fator que levava em conta as práticas de cultivo.

A equação de SMITH serviu para desenvolver um método gráfico que selecionava as práticas de conservação aplicáveis para os solos do Meio Oeste dos E.U.A.

BROWNING e outros adaptaram a equação de SMITH para uso em IOWA, mas a eclosão da 2ª guerra mundial protelou a sua publicação. Eles acrescentaram à referida equação os fatores de erodibilidade e de conservação, e prepararam tabelas para diferentes solos, rotações de culturas e comprimentos de vertentes.

Em Wisconsin foi apresentada uma equação, destinada a estimar a perda do solo, que levava em conta as práticas de conservação e declive.Seu sucesso originou uma revisão que incluiu o fator referente à chuva. Nasceu assim a equação de MUSGRAVE que tem a forma:

$$Ep = 0,02708.I.R_c.S^{1,35}.l^{0,35}.P_{30}^{1,75} \qquad (3.1)$$

sendo

Ep - perda de solo em mm.m²

I - erodibilidade em mm

Rc - fator referente à cobertura vegetal, adimensional

S - declividade em porcentagem

l - comprimento da vertente em m

P_{30} - intensidade máxima da chuva em 30 minutos, com uma frequência de 2 anos, em m

Esta equação dava perdas de solo médias, para prazos longos e áreas generalizadas. A equação de MUSGRAVE foi a precursora da atual equação universal de perda de solo.

3.1.3 Equação final

A síntese de todos os dados coletados nos E.U.A. foi feita em 1954 na Universidade Purdue, sob a orientação de W.H. WISCHMEIER. Em 1956 já existiam mais de 7000 dados anuais que foram registrados em cartões perfurados, na época o que de melhor existia na incipiente ciência da computação.

Entre 1956 e 1970 foram acrescentados milhares de dados adicionais, o que tornou mais válida a pesquisa.

As primeiras conclusões apresentaram uma equação que não levava em conta o fator referente à chuva.

Com a inclusão do fator a equação tomou a sua forma definitiva, em 1965. Posteriormente foi revisada e foram introduzidas as seguintes melhorias:

a) um fator erosivo referente às chuvas
b) um fator que levava em conta o manejo relacionado com o clima
c) um fator concernente à erodibilidade do solo
d) um método relacionando diversas variáveis, tais como produtividade, sequência de culturas e uso dos resíduos.

Depois desta revisão a equação pôde ser generalizada para outras regiões, adivindo daí o termo universal, em sua designação.

3.2 Equação Universal da Perda de Solo - EUPS

3.2.1 Definições Básicas

A E U P S tem a seguinte forma

$$A = R.K.LS.C.P. \qquad (3.2)$$

em que A é perda de solo prevista, por unidade de área, resultando do produto de 5 fatores da equação. A estimativa diz respeito à média anual da erosão, provocada pelas chuvas. Consideram-se apenas a erosão laminar e a erosão por sulcos. Ficam excluídas as erosões por voçorocamento, desbarrancamento das margens dos rios, degêlo ou vento, mas é incluída a erosão cujos sedimentos ficam depositados antes de atingirem as linhas de água ou re

servatórios à jusante.

A Figura (3.1) apresenta um diagrama da EUPS

Em análise dimensional $A = [ML^{-2}T^{-1}]$

R é a erosividade ou seja a capacidade potencial da chuva em provocar a erosão.

$R = [MLT^{-4}]$

K é a erodibilidade isto é a maior ou menor susceptibilidade que um solo apresenta à erosão.

$K = [L^{-3} T^{3}]$

L é o comprimento relativo da vertente

L = [Lº] É adimensional

Na prática L e S aparecem associados em um único valor LS.

S percentagem do declive da vertente. É adimensional

C uso e manejo do solo. É adimensional.

P prática conservacionista. É adimensional.

3.2.2 Fator erosivo da chuva ou erosividade R

O efeito de uma chuva sobre um solo, ou seja a capacidade que ela tem em provocar erosão, denomina-se erosividade da chuva.

A erosão, na sua forma inicial, é caracterizada pela desagregação do solo, dispersão das partículas e formação do fluxo superficial com arrastamento das partículas.

A desagregação não é mais do que um trabalho mecânico que consome uma determinada energia. A energia cinética da chuva provoca a erosão por

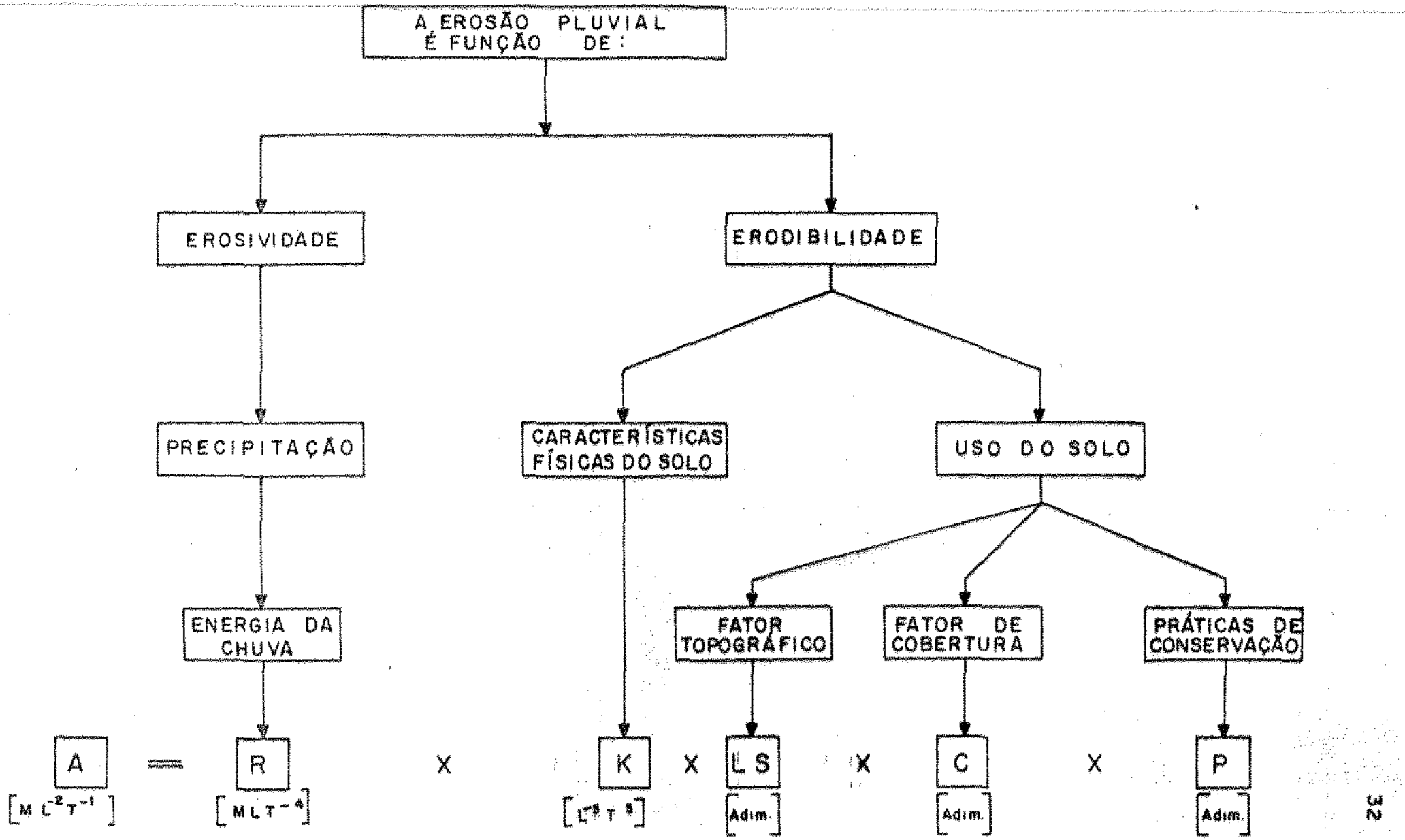


FIG. 3.1 – DIAGRAMA DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO

impacto ou embate que é um "bombardeio" das partículas do solo, com gotas de água. A erosão por impacto é a mais importante no processo erosivo e é a que consome mais energia.

Suponhamos que a massa de uma chuva é m e sua velocidade terminal v é de 8 m/s e portanto sua energia cinética é

$$0,5.m.v^2 = 32.m$$

No escoamento superficial subsequente, supondo um coeficiente de escoamento de 0,20, a massa ficará reduzida a 0,20.m e para uma veloc.média de 1,0 m/s a energia cinética estará reduzida a 0,1.m ou seja a energia da chuva é 320 vezes maior do que a energia de escoamento. Confirma-se, assim, que o impacto das gotas de chuva é o fator mais importante na erosão. Quanto mais intensa for uma chuva, maior será o seu poder erosivo.

Os primeiros experimentos de laboratório induziam que a erosividade dependia da energia cinética da chuva mas não se conseguia provar que esta hipótese era condizente com as perdas de solo causadas pela chuva. Deve-se a WISCHMEIER (55) a confirmação desta hipótese. Este cientista provou que é fraca a correlação entre perda de solo versus chuvas distintas, como também é fraca a correlação erosão versus intensidades de chuva (de 5,15 ou 30 minutos).

O melhor estimador para a perda de solo, provocada pela chuva, é um parâmetro composto que resulta do produto da energia cinética da chuva E pela sua intensidade máxima em 30 minutos I_{30}.

Este produto E I_{30} é conhecido como medida de erosividade ou índice de erosão. Pode-se calcular para chuvas individualizadas, podendo somar-se os valores achados, de modo a obterem-se valores semanais, mensais ou anuais.

A energia total calculada é

$$E = \int_0^D e.i.dt \qquad (3.3)$$

sendo e = energia específica da chuva [(energia/área.altura de chuva)]

i = intensidade da chuva (altura/tempo)

t = tempo

D = duração da chuva

A equação da energia específica da EUPS (WISCHMEIER E SMITH, 1978) convertida para o sistema métrico (16) é:

$$e = 0,119 + 0,0873.\log i \quad \text{para } i \leqslant 76 \text{ mm/h} \tag{3.4}$$

$$e = 0,283 \quad \text{para } i > 76 \text{ mm/h} \tag{3.5}$$

em que e é expresso em MJ/(ha.mm)

i tem como unidades mm/h

As equações (3.4) e (3.5), quando e vem expressa em [(t.m)/(ha. mm)] e i em mm/h transformam-se em

$$e = 12,14 + 8,88 \cdot \log i \quad \text{para } i \leqslant 76 \text{ mm/h} \tag{3.6}$$

$$e = 28,8 \quad i > 76 \text{ mm/h} \tag{3.7}$$

Consagrou-se o valor de 76 mm/h, como sendo o limite superior da chuva, por se ter verificado experimentalmente que as gotas não aumentam quando a intensidade da chuva excede o limite.

A Tabela (3.1) apresenta o cálculo de e para todas as intensidades de chuvas.

Para calcular a energia E de uma chuva com intensidade i multiplica-se o valor da energia específica e pela altura de chuva p.

$$E = e.p \tag{3.8}$$

Na prática, como a intensidade de uma chuva não se mantêm uniforme, divide-se a chuva em intervalos de intensidade uniforme e obtem-se um valor parcial de E para cada intervalo; a soma de todas as energias parci

TABELA 3.1

ENERGIA ESPECÍFICA DE UMA CHUVA

MJ /(ha. mm)

Intensidade I mm / h	ENERGIA ESPECÍFICA e DE UMA CHUVA									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0,119	0,145	0,161	0,172	0,190	0,187	0,193	0,198	0,202
10	0,206	0,210	0,213	0,216	0,219	0,222	0,224	0,226	0,229	0,231
20	0,233	0,234	0,236	0,238	0,239	0,241	0,243	0,244	0,245	0,247
30	0,248	0,249	0,250	0,252	0,253	0,254	0,255	0,256	0,257	0,258
40	0,259	0,260	0,261	0,262	0,262	0,263	0,264	0,265	0,266	0,267
50	0,267	0,268	0,269	0,270	0,270	0,271	0,272	0,272	0,273	0,274
60	0,274	0,275	0,275	0,276	0,277	0,277	0,278	0,278	0,279	0,280
70	0,280	0,281	0,281	0,282	0,282	0,283	0,283	0,283	0,283	0,283

$e = 0,119 + 0,0873 \cdot \log I$ para $I \leq 76$ mm / h

$e = 0,283$ para $I > 76$ mm / h

ais é a energia total.

Mas a energia, por si só, não representa o efeito erosivo, porque este é função do tempo e da vazão necessária para arrastar os sedimentos. O parâmetro E I_{30} é o que melhor traduz o fenômeno.

A erosividade para um dado período é:

$$R = \bar{E}_i \cdot I_{30i} \qquad (3.9)$$

Nos cálculos podem ser suprimidas as chuvas inferiores a 12,5 mm. São consideradas como individualizadas as chuvas com intervalos superiores a 6 horas.

No sistema métrico o fator R usualmente aparece com as dimensões

(MJ.mm)/(ha.h.a)

BROWN & FOSTER (7), 1987, apresentaram um estudo sobre a erosividade, usando as distribuições de intensidade segundo uma ordem decrescente. Cada distribuição foi caracterizada por um coeficiente de não uniformidade definido como sendo a relação entre a máxima e a média intensidade da chuva. Eles desenvolveram, também, uma equação de energia específica. Os valores encontrados ficaram muito próximos dos calculados pelos métodos da EUPS.

A equação (3.4), segundo WISCHMEIER & SMITH, para a energia específica

$$e = 0{,}119 + 0{,}0873 . \log i \qquad (3.4)$$

aproxima-se do infinito negativo quando a intensidade tende para zero, e é forçada para um nível assintótico, com a descontinuidade referida a 76 mm/h.

A nova equação, proposta por BROWN & FOSTER (7)

$$e = 0{,}20 . [1 - 0{,}72 . \exp (- 0{,}05 . i)] \qquad (3.10)$$

em que e - MJ/(ha.mm)

i - mm/h

é uma forma analítica superior por apresentar um valor finito positivo quando a intensidade é zero e aproximar-se assintòticamente como função contínua, quando i tendè para grandes valores.

Esta equação (3.10) dá valores em média 12% menores do que os obtidos pela equação (3.4), quando as intensidades variam entre 0,5 e 35 mm/h, e cerca de 2% maiores, quando as intensidades são superiores a 100 mm/h. A Figura (3.2) mostra as curvas relativas às duas equações.

Os mesmos autores (7) descrevem um método para se calcular a erosividade E I_{30}. O método foi desenvolvido trabalhando com 54 chuvas naturais e os valores foram comparados com o método da EUPS (WISCHMEIER & SMITH, (54), 1978). O cálculo da erosividade E I_{30}, de dados recolhidos das chuvas, é tedioso e demanda muito tempo. Contudo as análises que relacionam E I_{30} a dois simples parâmetros de chuva (altura e duração) são um meio de estimar E I_{30}, a partir de poucos dados de chuvas.

Aqueles pesquisadores acrescentaram um outro parâmetro de chuva, uma medida de não uniformidade m_i da intensidade.

Os objetivos principais da pesquisa foram:

a) determinar se as intensidades, numa chuva natural, podem ser reordenadas e descritas como equações analíticas que possam simplificar as computações da erosividade.

b) mostrar a utilidade de uma equação de energia específica revisada.

c) investigar a possibilidade de descrever chuvas num local através de um parâmetro, não uniforme de chuvas, que possa ser útil até em modelos de erosão.

A ordem de intensidade numa chuva não tem efeito, nem no cálculo da energia E, nem na intensidade I_{30}, quando a chuva for unimodal ou quando o maior pico se destacar, com relevância, sobre os demais. Uma chuva é definida como unimodal se suas intensidades versus tempo tiverem um único ponto de intensidade máxima.

Na EUPS I_{30} é a intensidade média para os 30 minutos contínuos que apresentam maior queda pluviométrica. Numa chuva, com muitos picos, I_{30} está geralmente colocado próximo do maior pico.

Mas se I_{30} for computado de intensidades, reordenadas em ordem decrescente, o máximo de 30 minutos é escolhido sem se olhar à continuidade do período de 30 minutos.

O parâmetro I_{30}, estimado de um reordenamento de intensidades nu

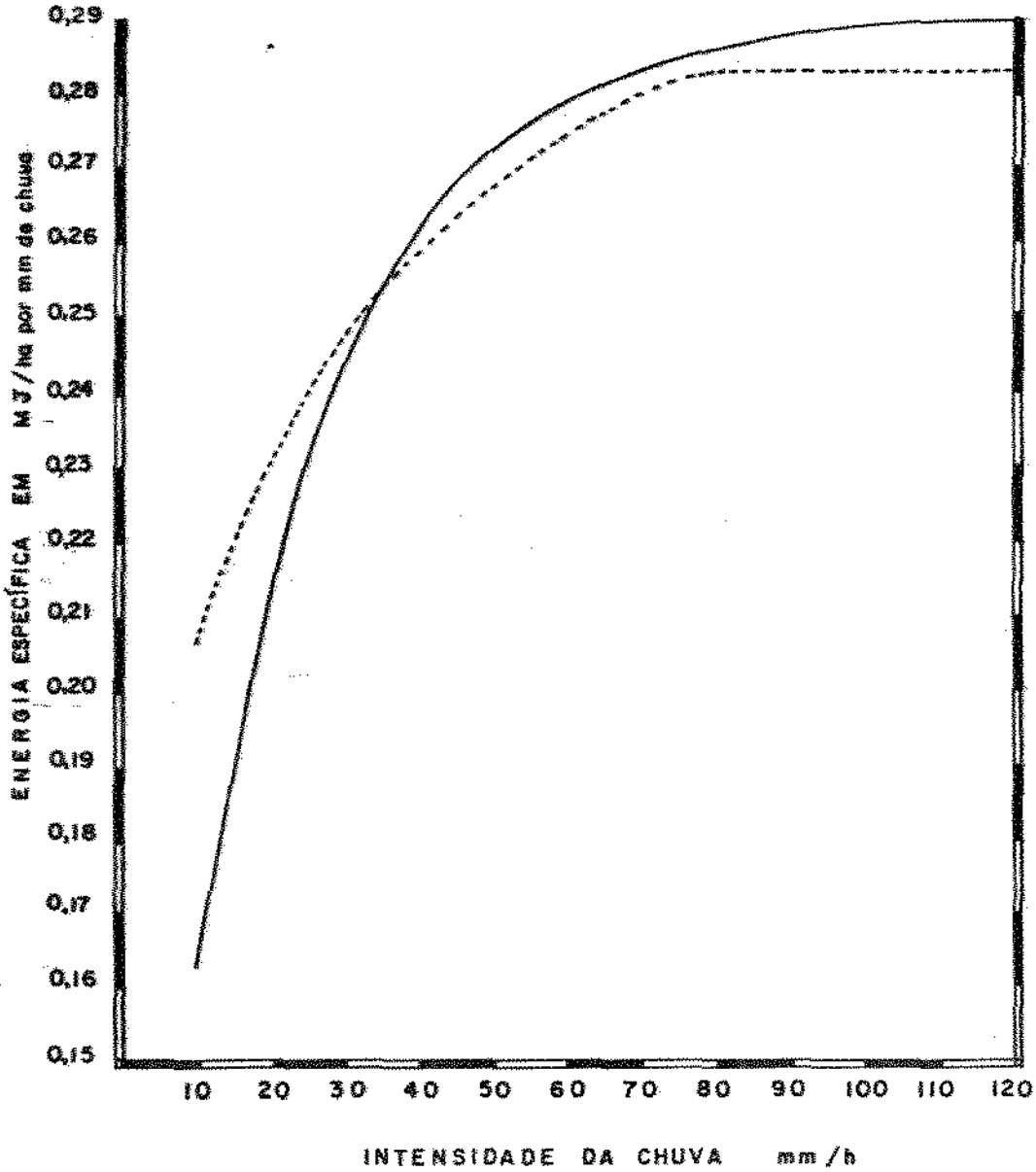


Fig. 3.2 Relação entre a intensidade da chuva e a energia cinética provocada.

——————— Brown & Foster 1987

- - - - - - - - - - - - - - - - Wischmeier & Smith apud Foster et al. 1981

ma chuva multimodal, pode ser maior do que aquele determinado pela EUPS.

Para o cálculo de E os autores apresentaram a seguite equação:

$$E = e_m . V_r . G \qquad (3.11)$$

sendo E - energia total de uma chuva

e_m - energia específica máxima

V_r - total da chuva em mm

G - fator menor do que 1, relativo à não uniformidade das chuvas, que se pode determinar pelo ábaco da Figura (3.3)

A determinação de I_{30} é feita através da equação:

$$I_{30} = 2.V_r.F \quad \text{(Brown \& Foster)} \qquad (3.12)$$

sendo V_r o total da chuva e F um fator que depende do coeficiente de não uniformidade m_1 e do tempo de duração da chuva em relação com 30 minutos. O cálculo de F faz-se pelo ábaco da Figura (3.3), tem dimensões h^{-1}.

Finalmente, por substituição de (3.11) e (3.12)

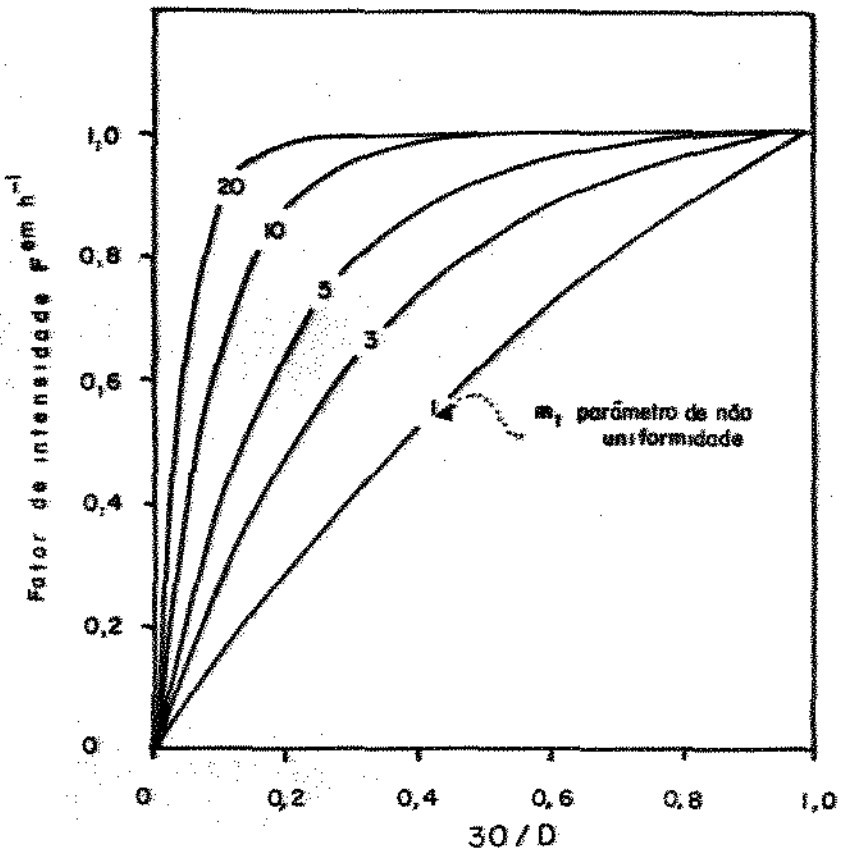
$$EI_{30} = 2. e_m . V_r^2 . G. F \qquad (3.13)$$

O fator m_1 é calculado pela seguinte equação, cuja complexidade exige métodos iterativos:

$$ip^* = [\, m_1/(1 - \exp(-m_1)) \,] \quad \text{(Brown \& Foster)} \qquad (3.14)$$

sendo $$ip^* = \frac{imax}{\bar{i}} \qquad (3.15)$$

HUDSON (21) fez vários estudos na África e concluiu que existe um



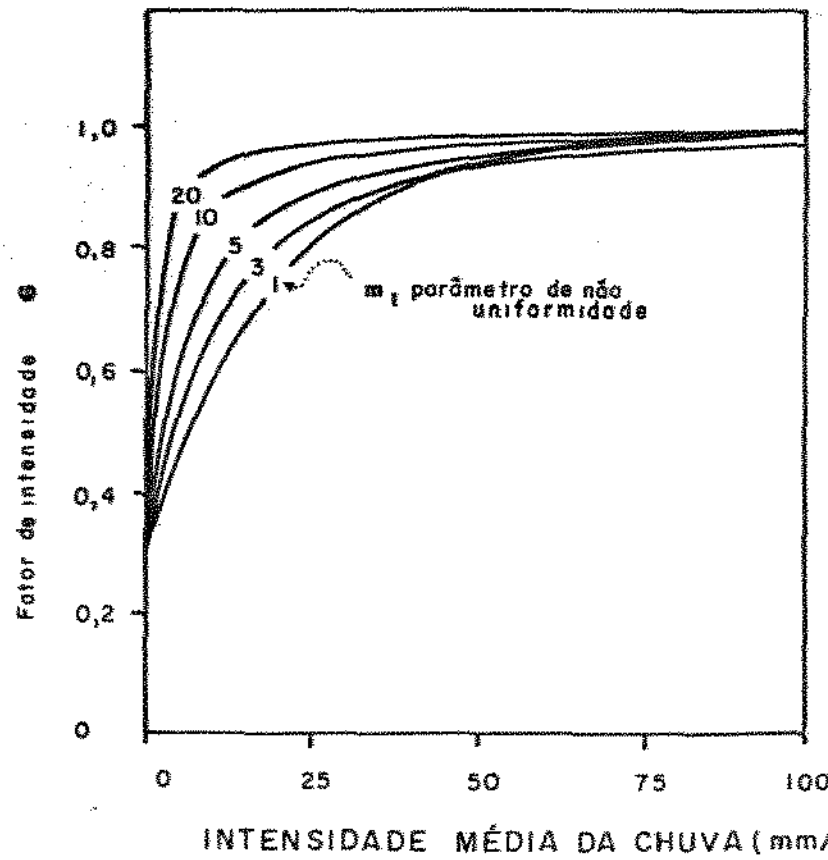


FIG. 3.3 — ÁBACOS PARA DETERMINAÇÃO DE F e G

valor limite de intensidade a partir do qual a chuva começa a ser erosiva . Aquele pesquisador argumenta que, a intensidades baixas, a chuva se compõe principalmente de gotas pequenas que caem com pouca velocidade e, portanto, com pouca energia. O valor achado para a África foi de 25 mm/h. Ao prescindir-se da chuva não erosiva obtem-se uma boa correlação entre a erosão por impacto e a energia cinética.

Nestas circunstâncias foi proposto um novo representante da chuva que se convencionou designar por KE>25 (de kinetic energy) que significa a energia cinética total da chuva que cai a intensidades maiores do que 1 pol./h (25 mm/h). O modo de emprego é semelhante ao EI_{30}, mas HUDSON (21) diz que é mais adequado para as chuvas tropicais e sub-tropicais.

A vantagem do método KE>25 sobre o EI_{30} é de que o primeiro não necessita de dados pluviométricos detalhados.

3.2.3 Erodibilidade K

Suponhamos que existem duas áreas com características semelhantes de declive, cobertura vegetal e práticas de conservação, mas com solos bem diferentes. Sobre elas incidem chuvas de iguais intensidades e durações. Uma das áreas sofrerá mais erosão do que a outra, devido ao fato dos solos apresentarem diferentes condições de coesão. A maior ou menor vulnerabilidade que um solo apresenta ao seu desgaste, pela água, denomina-se erodibilidade, que é o inverso da resistência à erosão.

Para um mesmo tipo de chuva, quanto maior for a erodibilidade maior será a perda de solo.

A erodibilidade depende de vários fatores que se podem reunir em dois grupos, um que diz respeito às características físicas ou edáficas e o outro que se relaciona com o uso e manejo do solo.

Como características físicas de um solo citaremos a textura, a estrutura, a porosidade, a permeabilidade, o teor em matéria orgânica, a capacidade de armazenamento e retenção de água e a drenagem interna, como as mais preponderantes. No uso do solo englobaremos a topografia, a cobertura vegetal e as práticas de conservação.

Em termos quantitativos o fator K é a razão da perda de solo por unidade do índice de erosão EI_{30}, medida em parcelas unitárias. Por parcela unitária entende-se um lote com 22 m de extensão, declive de 9%, sem cobertura vegetal e preparado segundo as linhas de maior inclinação. Estas condi

ções, que eliminam os efeitos protetores do solo, através da cobertura vegetal e das práticas conservacionistas, suprimem os valores LS, C e P na EUPS, porque são todos igualados à unidade.

De (3.2) e (3.9) vem

$$A = E.\ I.\ K \qquad K = \frac{A}{E.I_{30}} \tag{3.16}$$

As medidas diretas de K são onerosas e de difícil execução.

WISCHMEIER et al. (53), elaboraram um ábaco para solos que contenham menos de 70% de silte associado com areia fina. Para a entrada no ábaco é necessário conhecerem-se as percentagens de silte, areia fina, areia e matéria orgânica o que pode ser conseguido através da trivial curva granulométrica, obtida por ensaios de peneiramento e sedimentação. Também é necessário conhecer-se a estrutura do solo (através de um ensaio de caracterização visual-tátil) e a permeabilidade, que pode ser obtida por ensaio " in situ".

Em geral a erodibilidade tende a aumentar à medida que aumenta o teor de silte mais areia fina e tende também a aumentar quando cresce o teor de areia grossa.

Numa amplitude de 0 a 4%, de matéria orgânica, a erodibilidade tende a diminuir quando aumenta o teor de matéria orgânica.

A(Figura 3.4) apresenta um ábaco para determinação do fator de erodibilidade K.

O ábaco não leva em conta a espessura do horizonte superficial o que origina dados inferiores quando ele é pouco espesso.

No sistema métrico tem as seguintes unidades:

(t.ha.h) / (ha.MJ.mm) ou

(t.ha.h) / (t.m.ha.mm)

O fator erodibilidade, para uma bacia grande, é determinado ponderando os valores de K, de cada solo, de acordo com a sua área. O termo K é

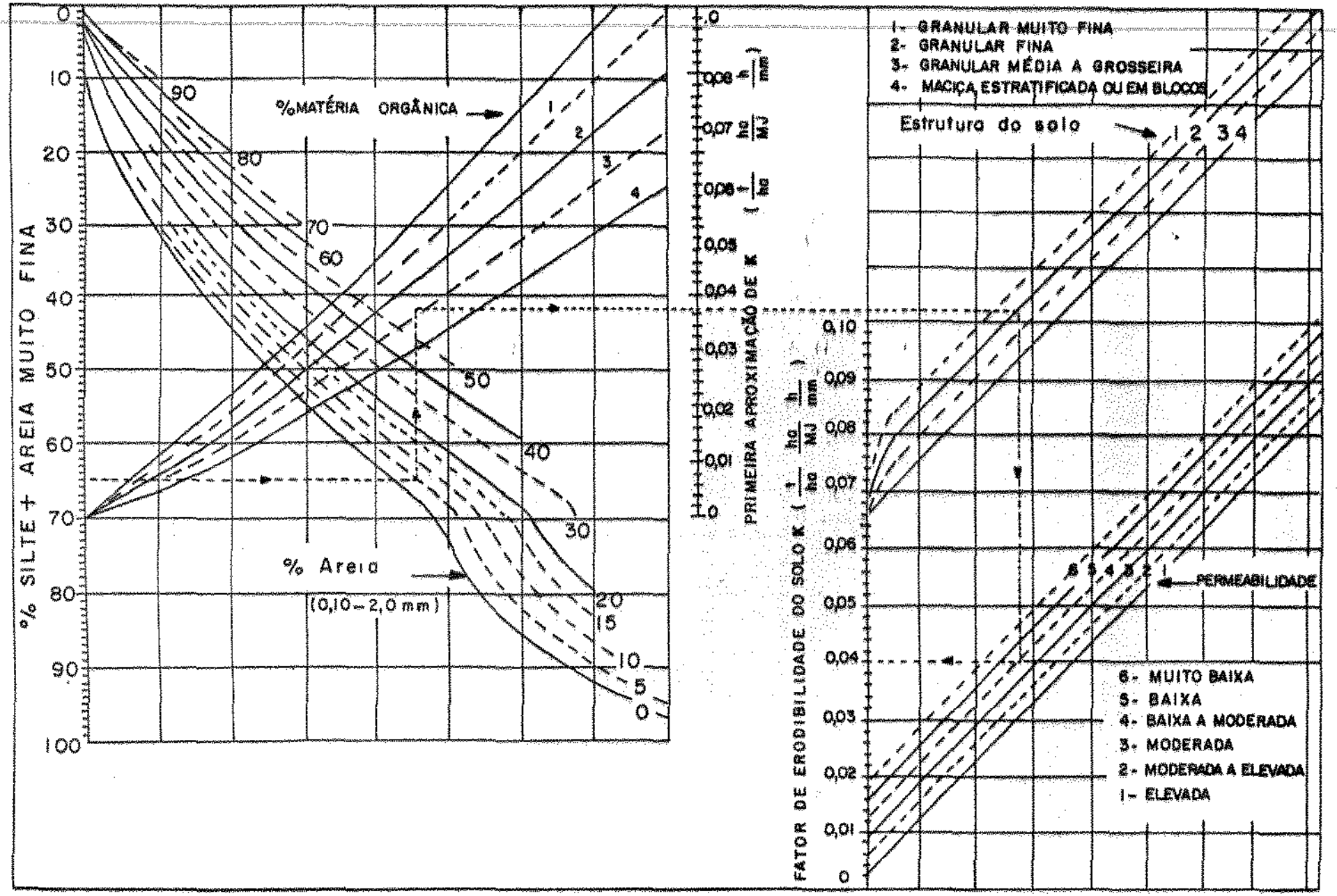


FIG. 3.4 – ÁBACO PARA DETERMINAÇÃO DO FATOR DE ERODIBILIDADE DO SOLO, K

computado assim:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ki.Abi}{Ab} \qquad (3.17)$$

sendo K - erodibilidade da bacia

K_i erodibilidade para um solo i

Abi área ocupada pelo solo i

Ab área total da bacia

n número de solos diferentes numa bacia

3.2.4 Fator Topográfico LS

O comprimento da vertente, e seu respectivo declive, influem fortemente na velocidade do escoamento superficial e consequentemente na erosão.

O comprimento L e o declive S foram estudados separadamente mas, nas aplicações práticas, são considerados como sendo um único fator LS.

L é definido como a distância, desde a origem do escoamento superficial, até ao ponto onde o declive decresce o suficiente para que haja deposição do material arrastado ou onde o escoamento entra num sulco ou canal, bem definidos, que fazem parte de um sistema de drenagem cada vez mais complexo - Figuras (3.6) e (3.7).

Regra geral a perda de solo, por área unitária, sofre um acréscimo quando aumenta L.

Ao expressar-se a perda de solo, em função do comprimento da vertente, tem que se fazer a distinção entre perda total de solo e perda de solo por área unitária, já que numa vertente mais longa se processará uma maior erosão.

ZINGG apud MEYER (29) achou uma relação entre a erosão total e o

comprimento da vertente.

$$E \propto L^{\alpha} \tag{3.18}$$

onde E é a perda de solo, L o comprimento da vertente e α um expoente que para ZINGG era igual a 1,6.

Para os trópicos, segundo HUDSON (21) α assume valores maiores do que 1,6.

O fator L na EUPS é a relação entre a perda de solo de uma parcela com outra cujo comprimento de vertente é igual a 22 m.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22} \right)^{m_2} \tag{3.19}$$

onde λ é o comprimento no terreno e m_2 toma os seguintes valores, em função do declive S:

$m_2 = 0,5$ $\quad S \geqslant 5,0\%$

$m_2 = 0,4$ $\quad 3,5\% \leqslant S \leqslant 4,5\%$

$m_2 = 0,3$ $\quad 1,0\% \leqslant S \leqslant 3,0\%$

$m_2 = 0,2$ $\quad S < 1,0\%$

O declive tem efeitos semelhantes aos do comprimento.

O aumento de declive origina maior velocidade do escoamento e consequentemente um incremento na erosão.

A erosão acha-se ligada ao declive pela expressão

$$E \propto S^{\beta} \tag{3.20}$$

ZINGG determinou para β o valor 1,49.

Nos trópicos, ainda segundo HUDSON (21), os valores de β são em

torno de 2.

O fator S, na EUPS, foi calculado pela seguinte expressão empírica:

$$S = 65{,}41 . \text{sen}^2\ \theta + 4{,}56 . \text{sen}\ \theta + 0{,}065 \qquad (3.21)$$

em que θ é o ângulo de inclinação.

Ao expressar-se o fator S, como função do send do ângulo de inclinação, ao invés da tangente, obteve-se mais precisão porque o impacto das gotas de chuva se dá ao longo da superfície e as tensões de cisalhamento são funções dos senos.

LS é a relação entre as perdas de solo de uma área, com qualquer declive, e de uma área unitária com 22 m. de comprimento e 9% de declive, sob as mesmas condições de chuva. Esta relação, para vários comprimentos e declives, pode ser determinada diretamente do ábaco da Figura (3.5). Este ábaco dá valores para terrenos com inclinações uniformes. Para encostas não uniformes, convexas, côncavas ou complexas, os valores achados necessitam de ser ajustados. Para declives convexos o fator LS subestima a perda de solo e para declives côncavos superestima os valores encontrados.

O ábaco foi derivado a partir da seguinte equação

$$LS = \frac{\sqrt{l}}{100} . (1{,}36 + 0{,}97.S + 0{,}1385.S^2) \quad (6) \qquad (3.22)$$

sendo l - comprimento da vertente em m.

S - declive em percentagem

BERTONI & LOMBARDI (6), baseando-se em dados de perdas de erosão, obtidos em vários tipos de solos do estado de São Paulo e diversas condições de escoamento, em dez anos de observações, chegaram à seguinte equação

$$LS = 0{,}00984 . l^{0{,}63}\ S^{1{,}18} \quad (6) \qquad (3.23)$$

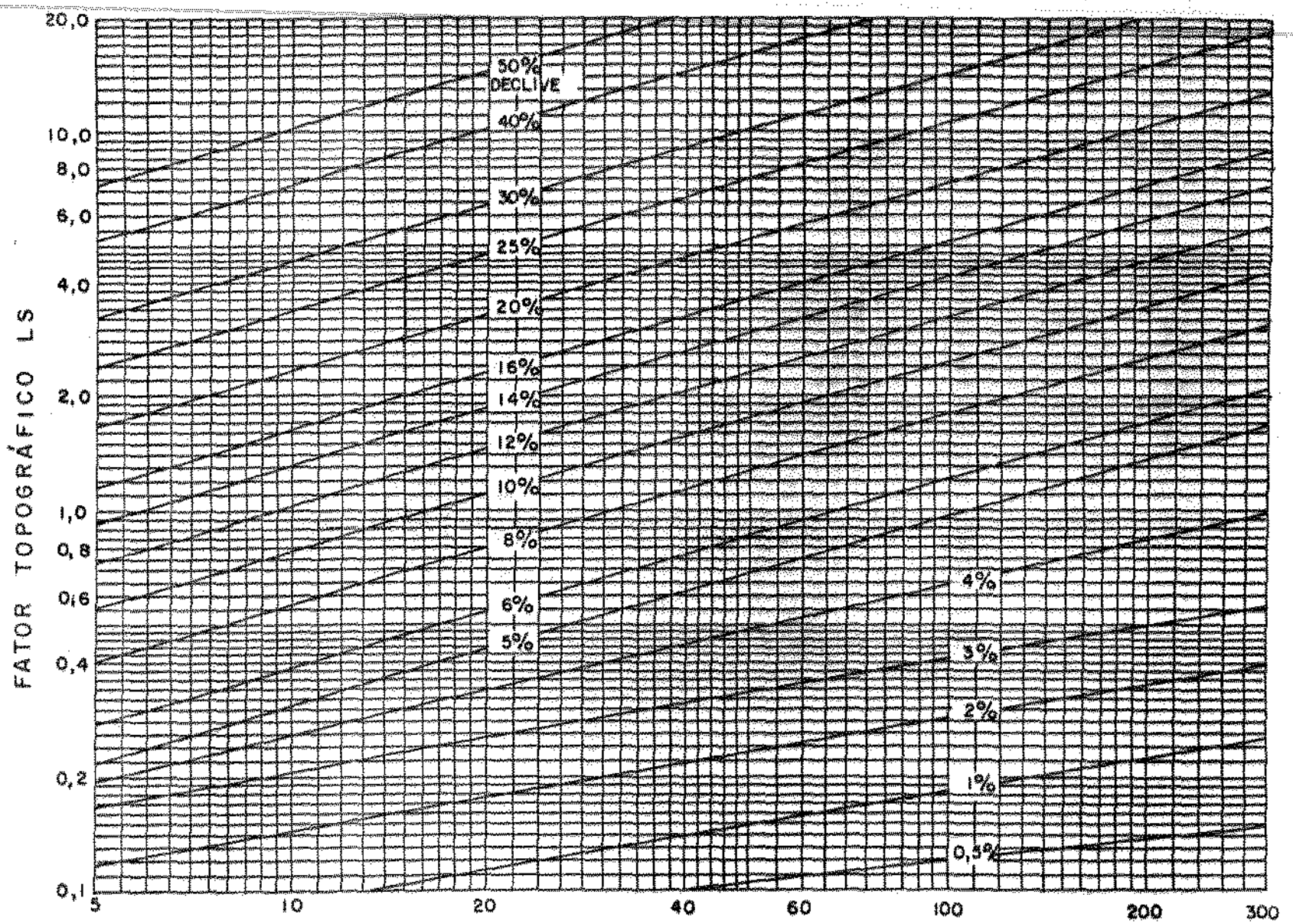


FIG. 3.5 - ÁBACO PARA O CÁLCULO DO FATOR TOPOGRÁFICO LS

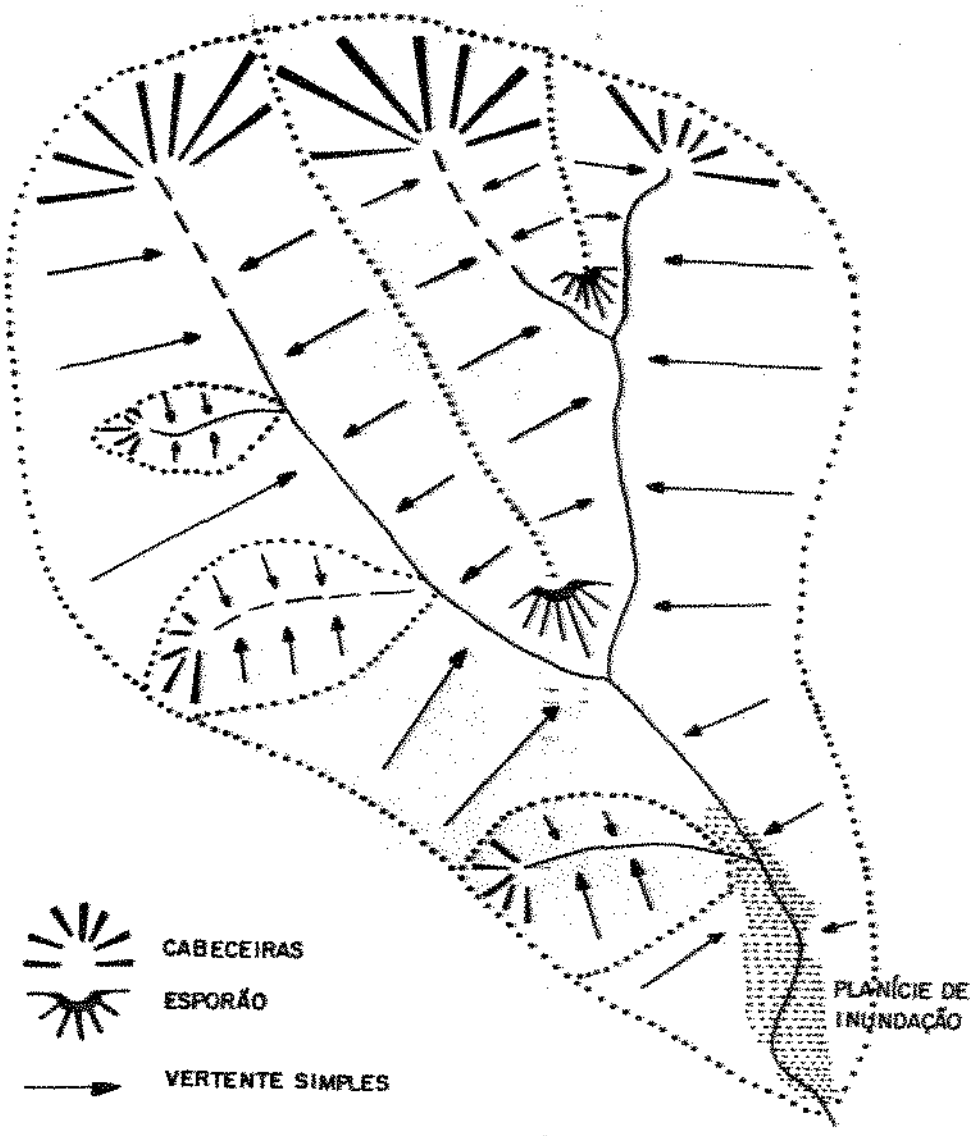
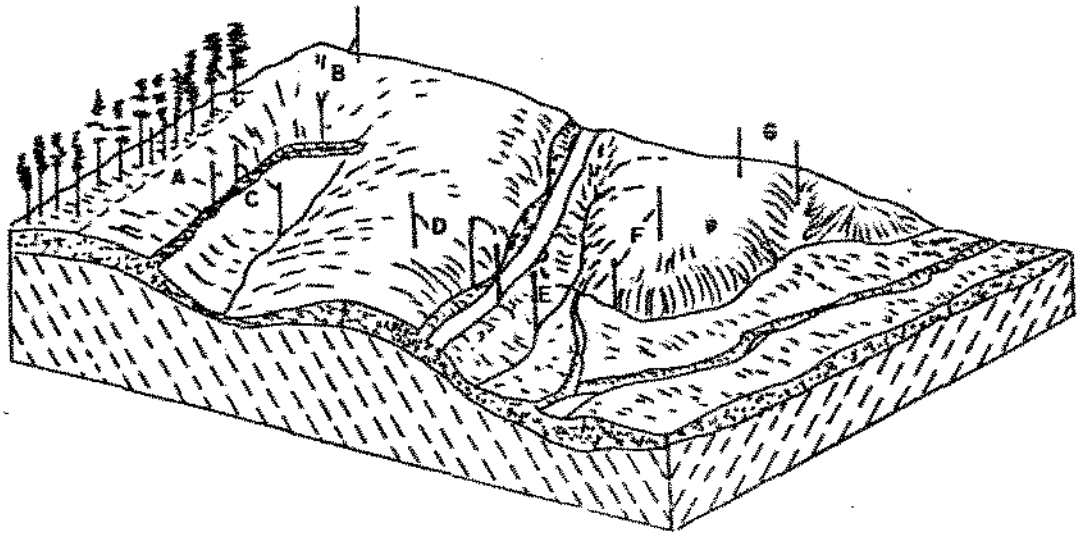


FIG. 3.6 – VERTENTES NUMA BACIA HIDROGRÁFICA
Segundo Wilson J. P. (51)



VERTENTE A - Se a floresta evitar o escoamento a vertente tem início no seu limite e desenvolve-se até ao cordão de vegetação, onde se verifica uma concentração do fluxo de água.

VERTENTE B - Desde o ponto de origem até ao cordão de vegetação se o escoamento nele se concentrar.

VERTENTE C - Do cordão de vegetação até ao talvegue.

VERTENTE D - Do ponto de origem do fluxo até à estrada onde ele se concentra.

VERTENTE E - Da estrada até a planície fluvial onde ocorre a deposição de materiais.

VERTENTE F - Do topo da colina até a planície fluvial onde ocorre a deposição.

VERTENTE G - Do ponto de origem até ao pequeno talvegue onde o escoamento se concentra.

(Figura 3.7 - Exemplos de Vertentes
Segundo Wilson J.P. (51)

em que LS - fator topográfico, adimensional

l - comprimento em m.

S - declive em percentagem

As vertentes irregulares são divididas em segmentos uniformes, com o mesmo declive, mas estes não podem ser tomados como independentes quando o escoamento flue de um para outro segmento. Todavia, quando se verifique que as mudanças de inclinação não são suficientes para causar deposição do material, os segmentos podem ser associados e LS pode ser determinado com o uso do ábaco.

Quando a vertente é muito complexa procede-se da seguinte maneira:

Dividem-se as vertentes convexas em segmentos de igual comprimento e listam-se os comprimentos, numa ordem de ocorrência, começando pelo mais elevado.

Entra-se no ábaco com o comprimento total da vertente e acham-se os valores parciais de LS a partir das respectivas inclinações. Estes valores são multiplicados pela percentagem da Tabela (3.2). A soma dos produtos parciais dará o LS final.

Para as vertentes côncavas os segmentos são tomados em ordem inversa, isto é, o segmento com maior elevação ocupará a última posição.

O termo l, comprimento da vertente, é a média dos comprimentos das vertentes da bacia. Para determinar l considera-se uma área retangular com um canal no centro, ao longo de toda a bacia. A largura da bacia é igual à área dividida pelo comprimento do canal. Como o canal está localizado no centro da bacia o comprimento da vertente é metade da largura. Então, o comprimento pode ser calculado.

$$l = \frac{0,5.Ab}{L_t} \qquad (3.24)$$

em que l - é o comprimento da vertente.

TABELA 3.2

FRAÇÕES DE PERDAS DE SOLO DE SEGMENTOS SUCESSIVOS, DE IGUAL COMPRIMENTO, NUMA VERTENTE UNIFORME.

NÚMERO DE SEGMENTOS	SEQÜÊNCIA DO NÚMERO DE SEGMENTOS	FRAÇÃO DA PERDA DE SOLO		
		$m_2 = 0,5$	$m_2 = 0,4$	$m_2 = 0,3$
2	1	0,35	0,38	0,41
	2	0,65	0,62	0,59
3	1	0,19	0,22	0,24
	2	0,35	0,35	0,35
	3	0,46	0,43	0,41
4	1	0,12	0,14	0,17
	2	0,23	0,24	0,24
	3	0,30	0,24	0,28
	4	0,35	0,33	0,31
5	1	0,09	0,11	0,12
	2	0,16	0,17	0,18
	3	0,21	0,21	0,21
	4	0,25	0,24	0,23
	5	0,28	0,27	0,25

$$\text{Fração} \quad f = \frac{j^{m_2+1} - (j-1)^{m_2+1}}{N^{m_2+1}}$$

j = número do segmento na seqüência

m_2 = expoente de L

N = número de segmentos

Ab - área da bacia

L_t - comprimento total de canais na bacia

O termo S, inclinação da vertente, pode ser determinado através de um mapa ou planta topográfica com curvas de nível.

O prof. WILKEN (48) descreve dois métodos para cálculo de declividade média. O primeiro foi apresentado por HORTON e é muito trabalhoso porque tem que se medir o comprimento das curvas de nível da bacia. A declividade média é

$$S = \frac{d.Lc}{Ab} \qquad (3.25)$$

sendo d - equidistância entre as curvas de nível

Lc - comprimento total das curvas de nível

Ab - área da bacia

O segundo método é mais fácil e consiste em cobrir-se a planta altimétrica da bacia com um papel transparente, sobre a qual estão traçadas as linhas de uma grelha com malhas quadradas.

Os lados das quadrículas deverão ter 4 cm. de lado.

O papel transparente é posto sobre a planta de modo a obter - se, dentro dela, o maior número possível de vértices da grelha. As declividades em cada vértice são calculadas, medindo-se, na planta, a distância que separa as duas curvas de nível entre as quais se encontra o ponto; a declividade será o quociente entre a equidistância das curvas de nível e a distância medida na planta.

Em seguida organiza-se uma tabela onde as declividades são ordenadas por classes e por número de ocorrências . A declividade média será a média ponderada dos valores encontrados.

Este método, que é o mais expedito, é conhecido por método da grelha.

3.2.5 Fator Uso e Manejo do Solo C

A erosão é mais fácil num solo nu do que num solo com vegetação, onde as plantas absorvem grande parte da energia da chuva.

As perdas de solo, numa área sempre sem vegetação, podem ser estimadas através do produto dos fatores R.K.LS. O fator C é a relação entre as perdas de solo de uma área vegetada e as perdas de solo da área mantida continuamente descoberta. Entre os dois casos extremos ocorrem diversas situações e interações que levam a uma variação de C. Este fator indica, portanto, a influência das culturas, ou de qualquer outra cobertura vegetal, no processo da erosão.

O valor de C é adimensional e varia de 0 a 1 conforme o solo está totalmente protegido por vegetação ou completamente desnudado.

A cobertura de um solo varia com o estado das culturas e também ao longo do ano. A distribuição das chuvas tropicais é bimodal, com os dois picos relacionados com a culminação zenital do sol (que é função da latitude). Nos meses de máxima intensidade devem ser evitados os preparos que originam a desproteção vegetal.

O valor composto de C é calculado pela expressão

$$C = \sum C_i . R_i \qquad (3.26)$$

onde C_i é o fator uso e manejo do solo correspondente ao período i

R_i é a proporção da erosividade R referente ao mesmo período.

WISCHMEIER & SMITH (56) desenvolveram tabelas completas, para o cálculo de C, mas referidas às culturas nos E.U.A. As Tabelas (3.3) e (3.4) fornecem valores de C generalisados que podem ser utilizados, com o devido bom senso, em qualquer região.

No Brasil o Instituto Agronômico de Campinas já tem tabelas referidas ao nosso clima e culturas.

BERTONI & LOMBARDI (6) apresentam o cálculo de C, para uma rotação de 4 anos, na região de Campinas.

3.2.6 Fator Prática Conservacionista P

TABELA 3.3

VALORES DE C — VEGETAÇÃO NATURAL E PASTOS [56]

a) b)

TIPO DE COBERTURA	Altura média da queda (m)	% da área coberta	Revestimento do solo	% de solo revestido					
				0	20	40	60	80	95 a 100
Pouca vegetação			E	0,45	0,20	0,10	0,042	0,013	0,003
			L	0,45	0,24	0,15	0,090	0,043	0,011
Ervas ou mato rasteiro	0,5	25	E	0,36	0,17	0,05	0,038	0,012	0,003
			L	0,36	0,20	0,13	0,022	0,041	0,011
	0,5	50	E	0,26	0,13	0,07	0,035	0,012	0,003
			L	0,26	0,16	0,11	0,075	0,039	0,014
	0,5	75	E	0,17	0,10	0,06	0,031	0,011	0,003
Mato denso	2,0	25	E	0,40	0,18	0,09	0,040	0,013	0,003
			L	0,40	0,22	0,14	0,085	0,042	0,011
	2,0	50	E	0,34	0,16	0,085	0,038	0,012	0,003
			L	0,34	0,19	0,13	0,081	0,041	0,011
	2,0	75	E	0,28	0,14	0,08	0,036	0,012	0,003
			L	0,28	0,17	0,12	0,077	0,040	0,011
Árvores, pouco mato rasteiro	4,0	25	E	0,42	0,19	0,10	0,041	0,013	0,003
			L	0,42	0,23	0,14	0,087	0,042	0,011
	4,0	50	E	0,39	0,18	0,09	0,040	0,013	0,003
			L	0,39	0,21	0,14	0,085	0,042	0,011
	4,0	75	E	0,36	0,17	0,09	0,030	0,012	0,003
			L	0,36	0,20	0,13	0,083	0,041	0,011

a) Altura média da queda das gotas de chuva, depois de terem sido interceptadas pela vegetação.

b) E — Revestimento de ervas ou capim rasteiro com, pelo menos, 5 cm de espessura.
L — Revestimento de pequenos arbustos com folhas largas.

TABELA 3.4

VALORES DE C - FLORESTAS [56]

% da área ocupada pelas copas das árvores	% da área coberta por vegetação morta com mais de 5 cm de espessura	Cobertura vegetal	C
100 - 75	100 - 90	Pasto moderado Pasto intenso	0.001 0,003 - 0,011
70 - 40	80 - 75	Pasto moderado Pasto intenso	0,002 - 0,004 0,01 - 0,04
35 - 20	70 - 40	Pasto moderado	0,003 - 0,009
< 20	Considera-se	como área agrícola ou pastagem.	

O fator P é da mesma natureza de C e leva em conta o modo como se trabalha o próprio solo.

BERTONI & LOMBARDI (6) descrevem as seguintes práticas de conservação e sistemas de manejo:

a) Práticas de Caráter Vegetativo

- florestamento e reflorestamento
- pastagem
- cultura em faixas
- cordões de vegetação permanente
- alternância de capinas
- ceifas do mato
- cobertura morta
- faixas de bordadura e quebra-ventos

b) Práticas de Caráter Edáfico

-controle do fogo
- adubação verde
- adubação química
- adubação orgânica
- calagem

c) Práticas de Caráter Mecânico

- distribuição racional dos caminhos
- plantio em contorno
- terraceamento
- sulcos e camalhões em pastagem
- canais escoadouros

As práticas de conservação, mais usuais, são o plantio em contorno ou cultivo em curvas de nível, o plantio em faixas e o terraceamento.

O fator P é adimensional, varia de 0 a 1, e representa a relação entre as perdas, com determinada prática de conservação, e as perdas quando as culturas se desenvolvem no sentido da maior inclinação da encosta (cultura morro abaixo).

As (Tabelas 3.5 e 3.6) apresentam valores de P relacionando a declividade com a prática de conservação.

3.3 Aplicações da EUPS em Engenharia Civil

3.3.1 Locais de Construção

Os processos e dados obtidos da EUPS referem-se às perdas por erosão de áreas específicas de culturas e servem para determinar as alternativas pelas quais as perdas se situam dentro das tolerâncias admitidas. Tolerância é a máxima erosão permitida para que se possa obter uma produtividade econômica nas culturas e manter boas condições de fertilidade para o futuro.

Estes processos podem ser adaptados às condições do solo em rodovias, áreas de empréstimos de aterros, terraplenagens para indústrias, aeroportos ou loteamentos.

A EUPS pode mostrar-nos, a priori, qual a produção de sedimentos numa área que vai ser submetida a terraplenagens e também ajudar o projetista a arranjar meios de evitar a erosão, ou pelo menos contê-la em níveis aceitáveis, a fim de se prevenir o excessivo volume de terras carreado para dentro dos talvegues ou reservatórios de barragens.

A avaliação dos fatores da erosão, nos locais de construção, é discutida a seguir.

3.3.2 Fator R

Para um projeto de construção, que se estenda por vários anos, o valor médio anual R, para o local, pode ser obtido através das cartas isoerodentes.

Para períodos de construção, menores do que 1 ano, é usual aplicar-se o processo de previsão de perda de solo como se fosse para uma cultura.

3.3.3 Fator K

A superfície do solo, em locais de construção, fica mais desprotegida do que nas culturas, e portanto este fator adquire maior importância. O ábaco é bastante valioso, nos locais de construção, porque nos indica a

TABELA 3.5

VALORES DO FATOR P [56]

Declive da vertente %	Práticas de conservação		
	CULTIVO EM CURVAS DE NÍVEL	CULTIVO EM FAIXAS	CULTIVO EM TERRAÇOS
2 - 7	0,50	0,25	0,10
8 - 12	0,60	0,30	0,12
13 - 18	0,80	0,40	0,16
19 - 24	0,90	0,45	0,18

TABELA 3.6

VALORES DO FATOR P [56]

PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS	P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + Plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

erodibilidade de qualquer horizonte. Alguns solos, logo abaixo da superfície, são mais erodíveis do que o horizonte A.

O projetista pode, usualmente, obter uma descrição detalhada dos sucessivos horizontes, através de cartas específicas ou, na falta delas o que é o mais comum, recorrendo às sondagens a trado. As informações sobre os valores de K dos diversos horizontes, que serão calculados separadamente no ábaco, são de grande utilidade, porque nos indicam se é conveniente utilizar a camada superficial sobre o horizonte final de terraplenagem.

Quando se utiliza um aditivo para estabilizar um solo de modo a torná-lo menos erodível, o valor de K é o produto do valor do ábaco por um coeficiente de eficiência.

3.3.4 Fator LS

Sob certos limites, o valor LS pode ser obtido pelo ábaco da (Figura (3.5). Quando a vertente é côncava ou convexa, o valor de LS é determinado pelo processo já indicado.

O planejamento pode incluir medidas para baixar o LS reduzindo, assim, a produção de sedimentos.

O efeito de diminuir o comprimento de L, através do desvio das águas ou construção de canais escoadouros, é obtido entrando no ábaco com os novos valores provenientes desta prática conservacionista.

Uma vertente, com o greide flectindo para baixo (côncavo), perderá menos solo do que uma outra que flecte para cima (convexo).

Reduções ou aumentos na perda de solo podem ser conseguidos utilizando o processo de declives irregulares.

Não existem dados disponíveis para se avaliar LS em taludes de estradas, com inclinações de 1:2 (50%) e 1:3 (33%), em relação às características do solo e chuva. O melhor disponível para se obter LS, para estes taludes, é através da EUPS, mas os valores são especulativos porque a equação foi derivada de dados obtidos em inclinações menores do que 20%.

3.3.5 Fator C

As terraplenagens removendo, violentamente, toda a vegetação, incluindo a zona das raízes, tornam a superfície do local totalmente sem proteção.

Esta situação é pior do que aquela já mencionada de cultura segundo as linhas de maior declive ou cultivo morro abaixo, onde C = 1. Raízes e resíduos de vegetação morta reduzem substancialmente a erosão, fazendo com que C seja menor do que um. A aplicação imediata dos restos de vegetação, sobre terraplenos desnudados, que não vão ser utilizados de imediato, reduz bastante o valor de C.

Mas o mais racional é programar-se um terraplenagem, de tal modo que a área final remanescente possa ser gramada no mais curto espaço de tempo. O gramado deverá atingir o seu clímax nos meses de maior erosividade. Um bom gramado reduz o valor de C para 0,01.

Para o cálculo rotineiro de C, nos locais de construção, valem os processos utilizados para as culturas. Regra geral, os locais são desnudados sem qualquer preocupação com a erosão, pelo que é conveniente adaptar-se para C o valor mais severo ou seja a unidade.

3.3.6 Fator P

Nos locais de construção este fator é tomado, sem mais delongas, como a unidade. A diminuição dos efeitos da erosão é conseguida através da redução dos fatores L e S, como já se viu anteriormente.

Se a parte mais baixa de uma vertente, com vegetação natural, se mantiver intocada, enquanto a parte mais alta é terraplenada, o processo indicado para computar LS e C, em vertentes irregulares, é aplicável e a deposição de sedimentos, na parte incólume, deve ser computada separadamente. Para períodos longos de construção devem ser providenciados " amortecedores de erosão", isto é, cordões de vegetação natural, gramados provisórios, cordões de palha ou cobertura morta ou até mantas artificiais, de modo a provocar a deposição dentro da área, reduzindo a velocidade de escoamento. Esta deposição, antes de chegar ao talvegue, além de evitar o assoreamento reduz também a turbidez da água.

3.3.7 Planos Alternativos

Quando os valores numéricos dos cinco fatores da erosão são combinados, seu produto é a perda de solo estimada para uma área específica , usualmente em t/ha. Δt sendo Δt o intervalo para o qual R foi calculado. Com as informações fornecidas pelas tabelas e ábacos, os valores dos 5 fatores

podem ser derivados de cada plano alternativo possível. As sucessivas soluções da equação dão-nos as estimativas de solo que nos ajudam a tomar decisões.

3.4 Considerações Sobre a EUPS

3.4.1 Aplicações da EUPS

O maior objetivo do processo de previsão de perda de solo é fornecer métodos específicos seguros para se escolherem as melhores práticas de controle da erosão, seja em campos agrícolas, seja em locais de construção. O processo vale também para se calcular a erosão em sua gênese, isto é, nos pontos mais elevados, o primeiro passo para a previsão das taxas de assoreamento das bacias hidráulicas das barragens ou das cargas de leito nos rios. Os fatores da EUPS tornam-se de mais difícil avaliação à medida que aumenta a área da bacia hidrográfica.

A EUPS dá-nos meios para satisfazer os seguintes objetivos.

1 - Previsão da média anual de movimento do solo de um dado terreno, sujeito a um determinado uso.

2 - Orientação para escolha das práticas de conservação mais convenientes para um local. Para este propósito usa-se o conceito de tolerância, para a perda anual de solo. O produto R.K . LS determina um índice básico de erosão. O máximo valor de C é T/R.K.LS e estabelece qual o tipo de cobertura que não carece do suporte das práticas conservacionistas. Se forem introduzidas práticas, tais como curvas de nível ou cordões, o máximo valor de C permissível é aumentado por um fator 1/P.

3 - Previsão da redução de perda de solo que se pode conseguir em em várias alternativas de cultivo.

4 - Determinação do máximo comprimento de vertente cultivada, sem que ela apresente sinais de erosão.

5 - Previsão da perda de solos em locais de construção,pastagens, florestas, áreas de recreio, loteamentos, estradas, aeroportos etc. Para este caso os valores de C não são tão precisos quanto para as condições agrícolas.

3.4.2 Perdas de Solo em Chuvas Individualizadas

Os fatores da EUPS, determinados através de cartas ou ábacos, representam as médias para períodos longos, motivo porque a equação não é recomendada para eventos simples. Se ela for aplicada para uma chuvada específica, usando o fator EI em vez de R, e o respectivo valor de C referente à cultura, obteremos um resultado que representa um grande número de chuvas de igual porte, que podem ocorrer naquele local e em iguais condições.

Contudo a perda de solo de qualquer um destes eventos pode diferir substancialmente da respectiva média, devido às interações com variáveis cujos valores flutuam aleatoriamente ao longo do tempo.

Quando a chuva cai em solo seco, lavrado recentemente, registra-se uma grande infiltração, antes que comece o escoamento, resultando uma perda muito baixa, por unidade de EI, para esta chuva. Qaundo a chuva cai em solo encharcado dá-se o imediato escoamento. Estas chuvas geralmente produzem perda de solo acima da média, por unidade de EI. Algumas chuvas são acompanhadas por ventos fortes que aumentam a energia do impacto das gotas, outras ocorrem numa atmosfera calma. Algumas chuvas começam com grande intensidade e selam rapidamente a superfície, de tal maneira que as gotas seguintes têm uma baixa taxa de infiltração. Em outras chuvas as intensidades moderadas precedem as altas intensidades.

Em determinadas épocas o solo é cultivado quando se encontra úmido e fica cheio de torrões; em outras é cultivado em seco e fica pulverizado. Um sub-solo argiloso ou siltoso pode influenciar a permabilidade numa época úmida e contudo não ter influência nas taxas de infiltração durante chuvas intensas em solo seco.

As flutuações irregulares podem influenciar substancialmente as perdas de solo numa chuva específica. Contudo elas não invalidam a EUPS, no que se refere à previsão para longos períodos, para áreas específicas e para condições de manejo. Os seus efeitos, positivos e negativos, tendem a equilibrar-se e estão refletidos nas tabelas e ábacos.

3.4.3 Perdas de Solo Anuais

Num ano qualquer o EI anual e as distribuições mensais podem diferir das medidas locais. Todavia os valores de R das cartas iso-erodentes, e os valores de EI determinados segundo a percentagem anual, podem não refle

tir corretamente os valores específicos das variáveis.

O processo mais preciso é computar EI para cada chuva, através do pluviograma, para cada local e ano. Os valores das chuvas são somados para cada período do cultivo e os sub-totais são combinados com as taxas de perda de solo referentes a cada estágio da cultura, estimando-se, assim, a perda de solo para cada período . O somatório reflete os efeitos da possível distribuição anual EI, bem como o valor correto de R para o ano.

As flutuações irregulares nas variáveis são imputadas às anormalidades das chuvas. Os maiores e menores efeitos na perda de solo podem não influenciar a média de um ano, mas influenciam as perdas específicas anuais. Estas influências não são avaliadas pela EUPS.

3.4.4 Conclusões

A EUPS é a mais desenvolvida técnica, ao serviço dos planejadores, para se avaliar a erosão. Ela proveio de mais de 10.000 experimentos , feitos em parcelas disseminadas em 50 regiões de 24 estados dos E.U.A., durante mais de 50 anos.

A EUPS ultrapassou as deficiências de suas precessoras. Sua forma é similar à equação de MUSGRAVE, mas os conceitos, relações e processos relacionados com a erosão são diferentes. As maiores diferenças são:

1) Cada fator é representado por um simples número.

2) Há independência entre os fatores da equação, de tal maneira que a mudança de um ou mais fatores pode ser mensurada com precisão.

3) Existência de um índice de erosão que reune o potencial erosivo e o escoamento da chuva para a respectiva região.

4) Existência de um fator relativo ao solo (erodibilidade) que é avaliado, diretamente, através de pesquisas.

5) Uma equação ou um ábaco são capazes de nos indicarem as erodibilidades , para numerosos solos.

6) Um método inclue os efeitos e interações entre culturas e manejo do solo.

7) Um método incorpora os efeitos da chuva local padrão, ao longo do ano e tendo em conta as condições específicas de cultivos na cobertura e uso do solo.

O uso do termo universal tem sido criticado por muitos técnicos . WISCHMEIER apud MEYER (29) explica que a introdução do termo universal é um meio de se distinguir a EUPS de outras antecessoras, cujos defeitos eram o de serem altamente regionalisadas.

A EUPS não apareceu subitamente. Ela culmina várias décadas de pesquisas, por cientistas de inegável valor científico.

Seus trabalhos são hoje de inestimável valor e grande utilidade, agora que a mentalidade conservacionista está, finalmente, saindo do círculo restrito dos pesquisadores e invadindo todas as áreas das atividades humanas.

4. ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

4.1 Generalidades

Durante um ano hidrológico - Agosto 1987 a Agosto 1988 -foram medidas as quantidades de sedimentos transportados e arrastados por chuvas individualisadas, que, por sua vez também foram medidas simultaneamente.

Foi escolhida uma pequena bacia hidrográfica que faz parte do sistema do rio Piracicaba. Nela foi instalada uma seção de controle composta por uma caixa de coleta de sedimentos, com um linígrafo e um vertedor triangular. Foram utilizados os dados meteorológicos, provenientes do posto da CESP, situado a 300 m do local.

As(Fotos 4.1 e 4.2) mostram vistas da bacia.

4.2 Bacia Hidrográfica

4.2.1 Localização

A bacia hidrográfica situa-se na margem esquerda do Ribeirão do Pires que é um afluente na margem direita do rio Jaguarí que, por sua vez, é um tributário da margem direita do rio Piracicaba, e nele desagua a cerca de 3,5 km. A bacia está a 300 m da usina hidrelétrica Tatu, operada pela CESP, a 11 km NE Americana e a 16 km SE de Limeira.

Um ponto próximo da bacia tem as seguintes coordenadas:

Geográficas.....	Latitude 22°39'45"	S
	Longitude47°16'43"	W
Retangulares UTM	7942 km	N
	266 km	E

A(Figura 4.1) apresenta a localização da bacia

A(Figura 4.2) refere-se à planta topográfica da bacia experimental.

4.2.2 Acessos

Vindo de São Paulo, pela via Anhanguera toma-se um desvio à direita a 3,5 km após a ponte sobre o rio Piracicaba. Segue-se por estrada terrea, em 5 km, até à usina Tatu.

Foto (4.1) - Vista da bacia a 1 km de distância

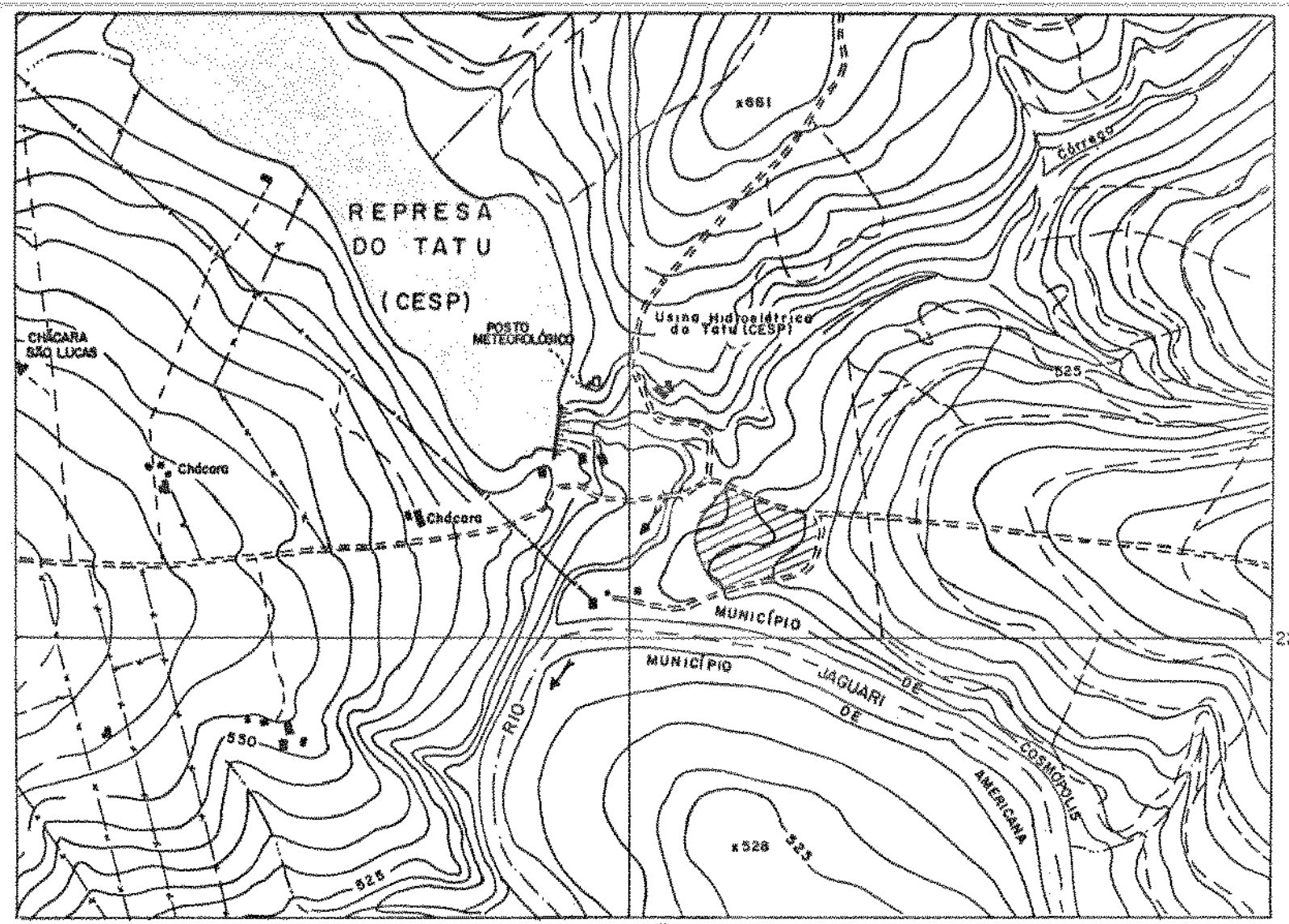
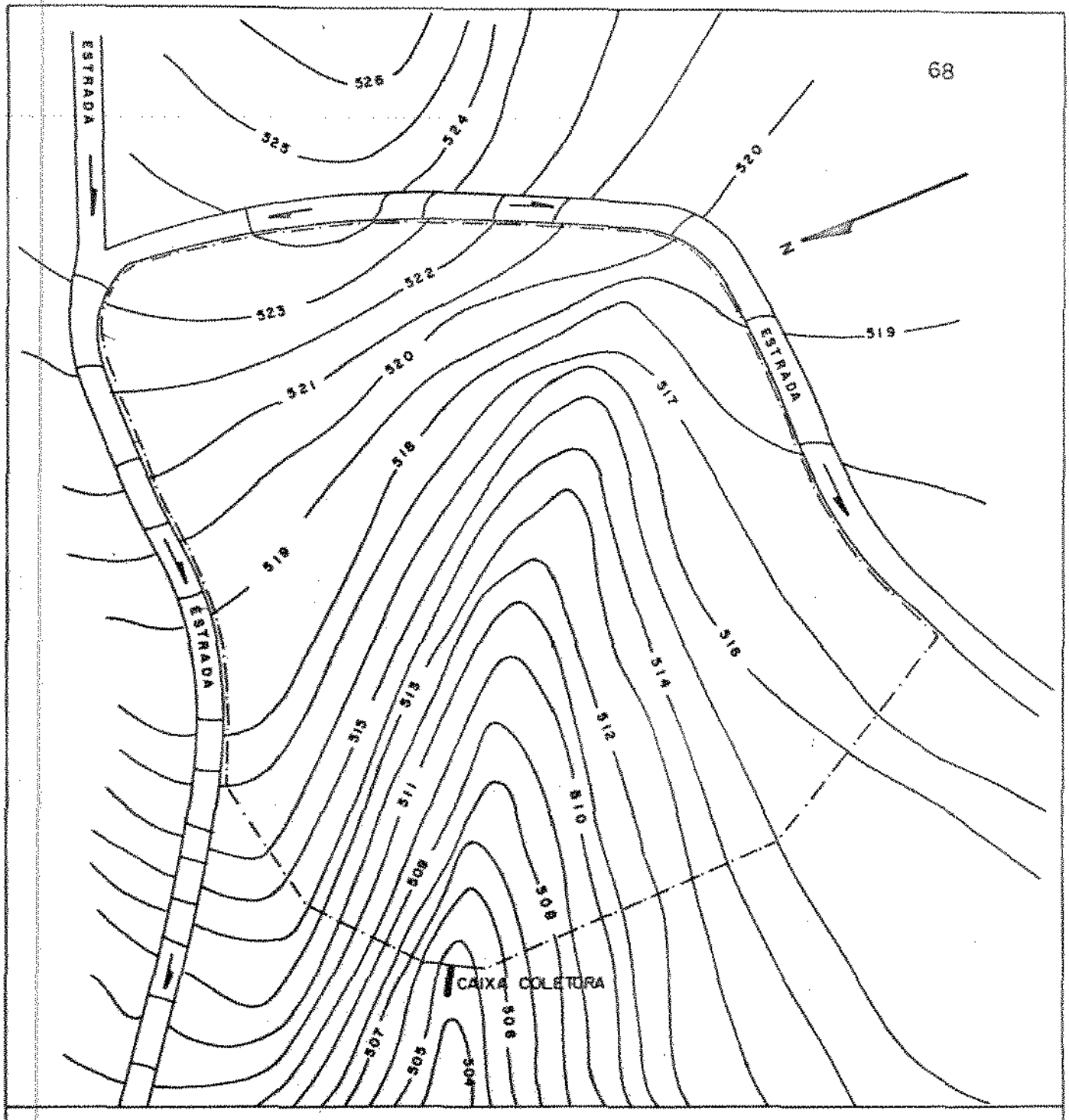


FIG. 4.1 . Localização da bacia experimental



ÁREA : 12 564 m²

SENTIDO DAS ÁGUAS PLUVIAIS EXTERNAS

10 20 30 40 50 m

Escala: 1/1000

FIG. 4.2 - PLANTA TOPOGRÁFICA DA BACIA EXPERIMENTAL

Vindo de Limeira toma-se a estrada para Cosmópolis (asfaltada) em 5,3 km; à direita, por estrada terrea em 4,8 km até à usina.

A(Figura 4.3) esquematiza os acessos à bacia experimental.

4.2.3 Geomorfologia

A região situa-se a SE do Estado de São Paulo e faz parte da Depressão Periférica na zona denominada por Almeida da Zona do Médio Tietê (34).

A bacia hidrográfica está inserida numa topografia regional caracterizada por relevo suave ondulado a ondulado com declives inferiores a 7% e raramente ultrapassando 20%. O relevo, no topo das colinas, é quase aplainado.

A bacia experimental tem o feitio de um livro aberto, com um talvegue, ao centro. É circundada por estradas vicinais. As estradas provocaram o isolamento artificial da bacia que ficou, em relação à seção de controle, com os seguintes dados geométricos:

Área	12.564 m²
Perímetro	425,0 m
Desnível máximo	19,5 m

Talvez porque o talvegue se situa acima do nível freático da região, a bacia não tem escoamento de base, uma das razões porque foi escolhida para este trabalho.

Segundo a classificação de HORTON-STRAHLER apud LINSLEY(27) trata-se de uma linha de água de primeira ordem.

4.2.4 Vegetação e Solo

A região está sendo, quase totalmente, ocupada com atividades agropastoris. Existem poucos remanescentes da vegetação natural.

Na bacia experimental, onde já foi cultivado milho por três vezes, a vegetação natural primitiva, constituída por mata litofolíada tropical, já não existe mais. Em seu lugar apareceu um mato denso, com arbustos de pequeno e médio porte, chegando a atingir mais de dois metros de altura. Predomina o capim conhecido como picão. O solo é fértil e por isso a atual vegetação natural é pujante.(Fotos 4.3 e 4.4)

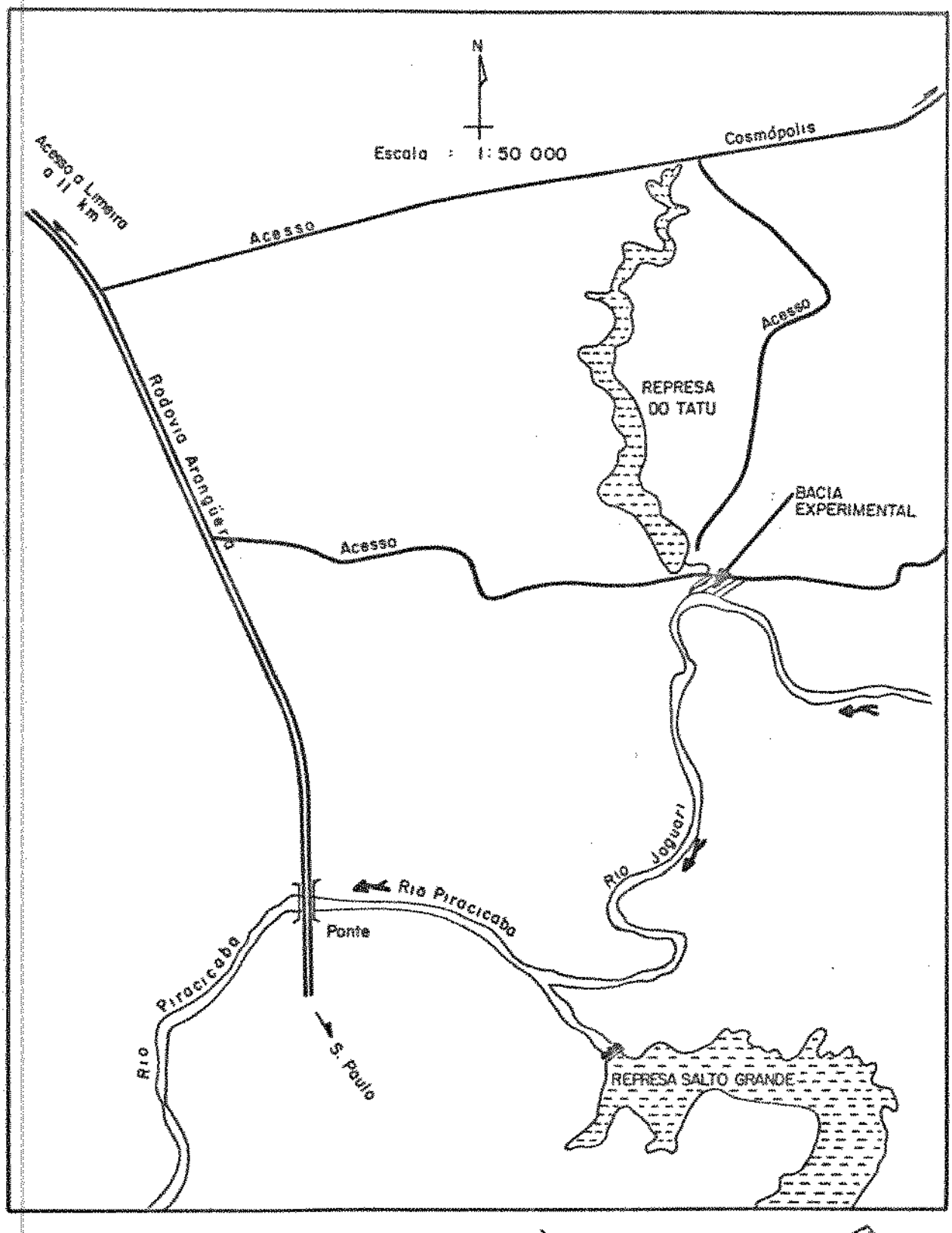


FIG. 4.3 - ESQUEMA DOS ACESSOS À BACIA EXPERIMENTAL

Foto (4.3) - Vegetação natural

Foto (4.4) - Área gradeada

No levantamento pedológico semi-detalhado da quadrícula de Campinas (34) a área insere-se na Unidade Valinhos (PV-6) de textura argilosa . Contudo, a bacia, por se situar próxima de três rios, apresenta um solo de constituição arenosa de cor vermelho amarelo. Foram colhidas três amostras do solo da bacia, a profundidades de 30 cm, e traçadas as respectivas curvas granulométricas (Figuras 4.4, 4.5 e 4.6).

Por elas verifica-se que o solo é areno-siltoso mal graduado.

4.2.5 Clima

Os dados climatológicos foram extraídos do levantamento pedológico semi-detalhado (34) e dizem respeito à Fazenda Santa Elisa do Instituto Agronômico de Campinas.

A região, referente à quadrícula de Campinas, apresenta os seguintes dados climatológicos.

A distribuição pluvial tem o regime típico das zonas tropicais de baixa altitude caracterizado por verão chuvoso e inverno seco. Há uma estação seca de inverno (21% das precipitações) de abril a setembro, e outra chuvosa de verão, de outubro a março (79% das precipitações).

As temperaturas apresentam valores inferiores a 18ºC durante o inverno e superiores a 22ºC durante o verão. Junho é o mês mais frio (17,1ºC) e janeiro o mais quente (23,1ºC).

De acordo com a classificação de Köppen o clima é do tipo CWa, clima mesotérmico de inverno seco.

Há um déficit de água de 15 mm, durante os meses de junho, julho, agosto e setembro, para 125 mm no balanço feito pelo método de Thornthwaite.

A precipitação e temperatura médias, referidas a dezenove anos de observações, (1956 - 1974) é a seguinte:

Meses	Precipitação (mm)	Temperatura(ºC)
janeiro	242	23,1
fevereiro	213	23,0
março	137	22,5
abril	62	20,8
maio	52	18,3
junho	47	17,1
julho	33	17,3

FACULDADE ENGENHARIA DE LIMEIRA

DEP. HIDRÁULICA E SANEAMENTO

LABORATÓRIO HIDROLOGIA

UNICAMP

LOCAL CAPIN

PONTO Amostra 3 , Janeiro 1988 PROFUNDIDADE Superficial

CLASSIFICAÇÃO SOLO Franco

$U = D_{60}/D10$ _____ $C = D_{30}^2/D10\ D_{60}$ _____

PORCENTAGEM DOS GRÃOS

PEDREGULHO (MAIOR QUE 2,0mm)	--
AREIA GROSSA (2,0 – 0,2 mm)	4,0 %
AREIA FINA (0,2 – 0,05 mm)	36,0 %
SILTE (0,05 - 0,002mm)	50,0 %
ARGILA (MENOR QUE 0,002mm)	10,0 %

CURVA GRANULOMÉTRICA

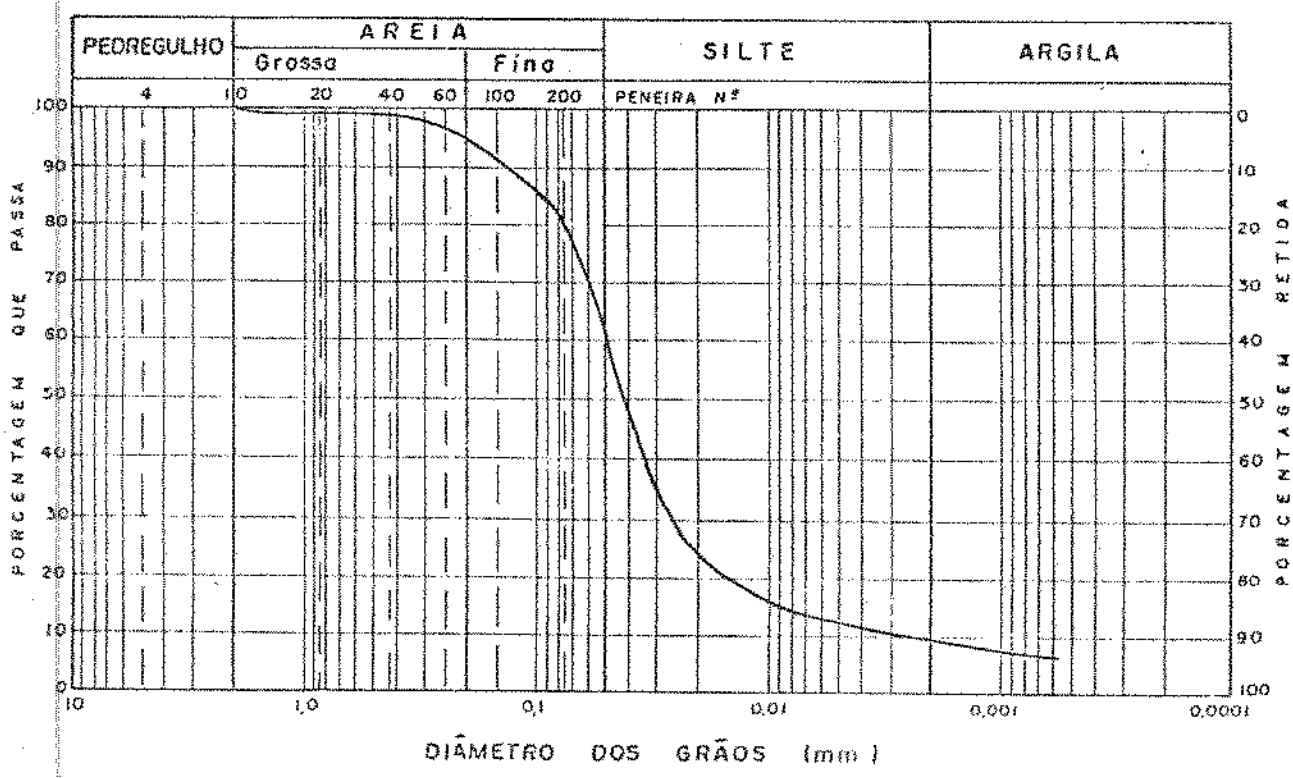


Fig. 4.4 - CURVA GRANULOMÉTRICA

FACULDADE ENGENHARIA DE LIMEIRA

DEP. HIDRÁULICA E SANEAMENTO

LABORATÓRIO HIDROLOGIA

74

UNICAMP

LOCAL CAPIN

PONTO Amostra 4 Janeiro 1988 PROFUNDIDADE Superficial

CLASSIFICAÇÃO SOLO FRANCO ARENOSO

U= $D_{60}/D10$ _____ C= $D_{30}^2/D10\,D_{60}$ _____

PORCENTAGEM DOS GRÃOS

PEDREGULHO (MAIOR QUE 2,0mm)		--
AREIA GROSSA (2,0 - 0,2 mm)		13,0 %
AREIA FINA (0,2 - 0,05 mm)		55,0 %
SILTE	(0,05 - 0,002mm)	25,0 %
ARGILA	(MENOR QUE 0,002mm)	7,0 %

CURVA GRANULOMÉTRICA

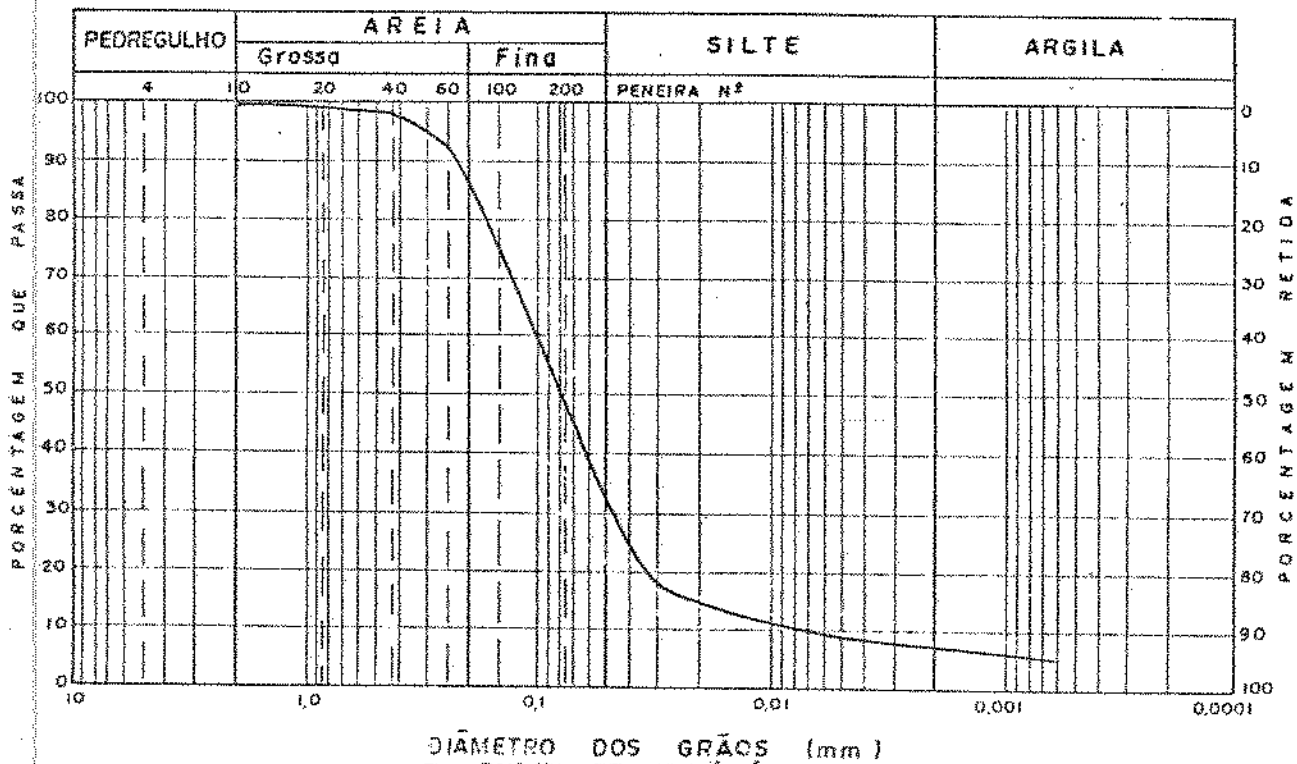


Fig. 4.5 - CURVA GRANULOMÉTRICA

FACULDADE ENGENHARIA DE LIMEIRA

DEP. HIDRÁULICA E SANEAMENTO

LABORATÓRIO HIDROLOGIA

UNICAMP

LOCAL CAPIN

PONTO Amostra 5 janeiro 1988 PROFUNDIDADE Superficial

CLASSIFICAÇÃO SOLO FRANCO

U= $D_{60}/D10$ _____ C= $D_{30}^2/D10\,D_{60}$ _____

PORCENTAGEM DOS GRÃOS

PEDREGULHO (MAIOR QUE 2,0mm)	--
AREIA GROSSA (2,0 - 0,2 mm)	10,0 %
AREIA FINA (0,2 - 0,05 mm)	32,0 %
SILTE (0,05 - 0,002mm)	46,0 %
ARGILA (MENOR QUE 0,002mm)	12,0 %

CURVA GRANULOMÉTRICA

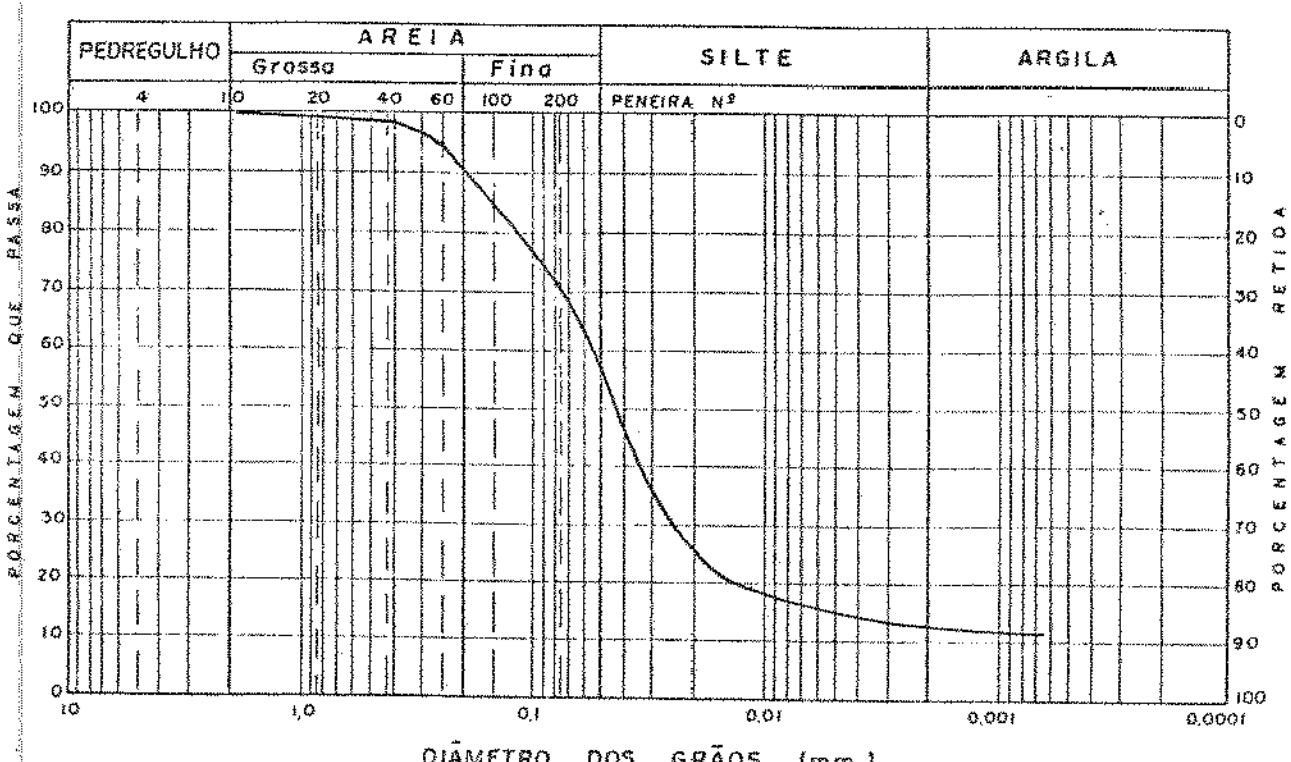


Fig.4.6 -CURVA GRANULOMÉTRICA

Meses	Precipitação (mm)	Temperatura(ºC)
agosto	37	18,8
setembro	59	20,7
outubro	135	21,2
novembro	131	21,8
dezembro	216	22,4

4.3 Dispositivos e Aparelhos

4.3.1 Seção de Controle

A seção de controle ficou posicionada de modo a fechar o talvegue fazendo com que todo o escoamento nela pudesse ser recolhido e mensurado . Foi construída com tijolos de concreto e tijolos maciços, assentes numa laje de concreto, com armadura dupla,(Fotos 4.5 e 4.6).

A seção consta de duas abas laterais com 3,05 m na margem direita e 3,10 na margem esquerda, com altura de 0,50 m. Na aba direita foi previsto um "stop-log" que será retirado quando a seção não estiver funcionando . Na parte central situam-se três caixas com as seguintes características:

primeira - caixa enterrada no solo, antes das abas, com 1.00x0.80x0.60 m³ , que recebe toda a água escoada.

segunda - caixa semi-enterrada, logo após as abas, com 1.00x0.80x1.00 m³, que se comunica com a primeira caixa através de uma parede constituída por tijolos furados.

terceira - caixa assente no solo, com 2,00 x 0,80 x0.80m³,comunicando com a segunda caixa através de uma passagem inferior, regulável com vigotas de madeira. A parte posterior desta caixa tem um vertedor triangular com ângulo de abertura de 90º, tipo Thomson. A seguir às vigotas, do lado esquerdo e a 2,00 m do vertedor, encontra-se o poço onde funciona um linígrafo. O poço se comunica com a terceira caixa através de um tubo de 50 mm de diâmetro.

Para esvaziar as caixas foi colocado um tubo de PVC de 100 mm de diâmetro e 3,00 m de comprimento, com um "cap" rosqueado na estremidade. Para evitar a fuga de sedimentos, durante o esvaziamento, foi previsto um dispositivo, na entrada do tubo, com 25 cm de altura e dois tubos de 10 mm de diâmetro, em níveis diferentes, proporcionando assim, um esgotamento muito lento após a descida da água, quando esta fica com 25 cm de altura.

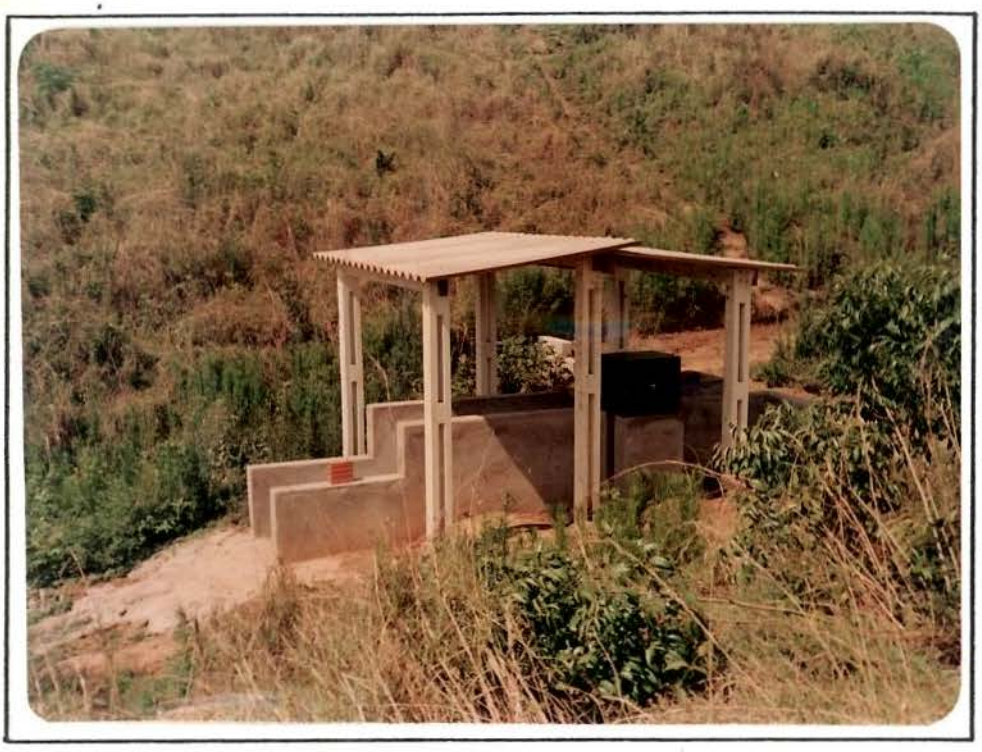


Foto (4.5) - Vista lateral da seção de controle

Foto (4.6) - Vista longitudinal da seção de controle

A(Figura 4.7) apresenta a planta da seção, com três cortes. O corte AA é feito antes das abas. O corte BB foi feito entre a 1ª caixa e as vigotas de madeira ou "stop logs". O corte CC foi efetuado entre o poço do linígrafo e o vertedor.

A Figura (4.8) oferece uma vista frontal, onde se pode ver o vertedor, o poço do linígrafo e sua caixa de proteção. O corte DD, também na (Figura 4.8) desenvolve-se no sentido longitudinal.

Apresentam-se diversas fotografias da seção de controle que foi instalada na bacia experimental.

4.3.2 Aparelhos de Meteorologia

A 300 m da seção de controle encontra-se instalado um posto de meteorologia pertencente à CESP e operado pela UNICAMP. O posto está equipado com a seguinte aparelhagem:

. Um jogo de termômetros de máximas e mínimas
. Um anemômetro
. Um tanque de evaporação classe A
. Um heliógrafo
. Um pluviômetro
. Um pluviógrafo

Neste trabalho foram utilizadas as leituras do pluviômetro e do pluviógrafo.

4.3.3 Laboratório

O laboratório do D.H.S. da UNICAMP em Limeira efetuou todas as análises para determinação da concentração de sedimentos existentes na água ou lama. O laboratório de solos traçou todas as curvas granulométricas.

4.4 Métodos e Técnicas

4.4.1 Chuvas

Através dos pluviogramas foi possível obter os hietogramas de cada chuva. A escala mínima de tempo registrada nos pluviogramas é de 10 minutos, podendo estimar-se, visualmente, um tempo de 2,5 minutos. A amplitu

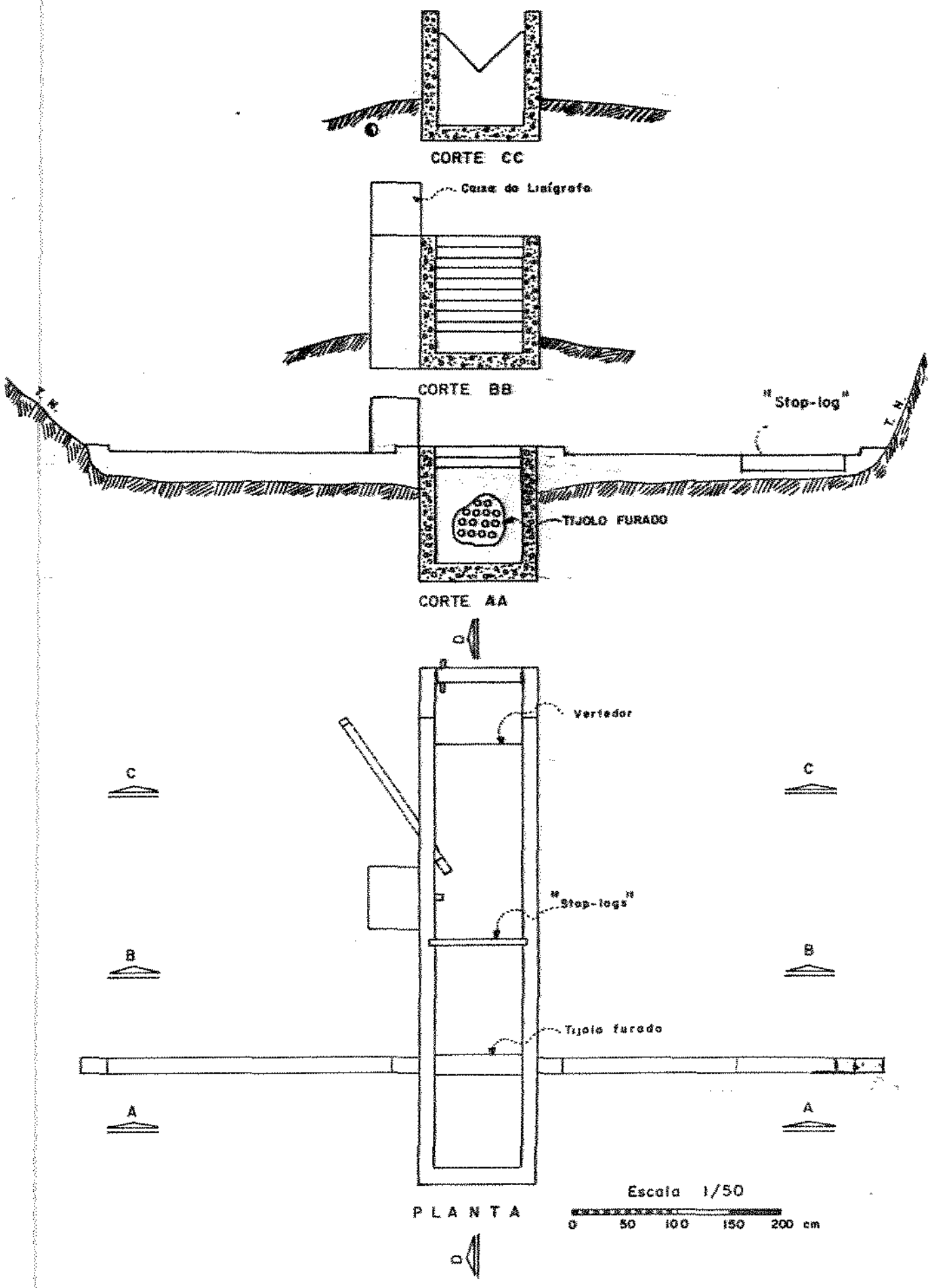
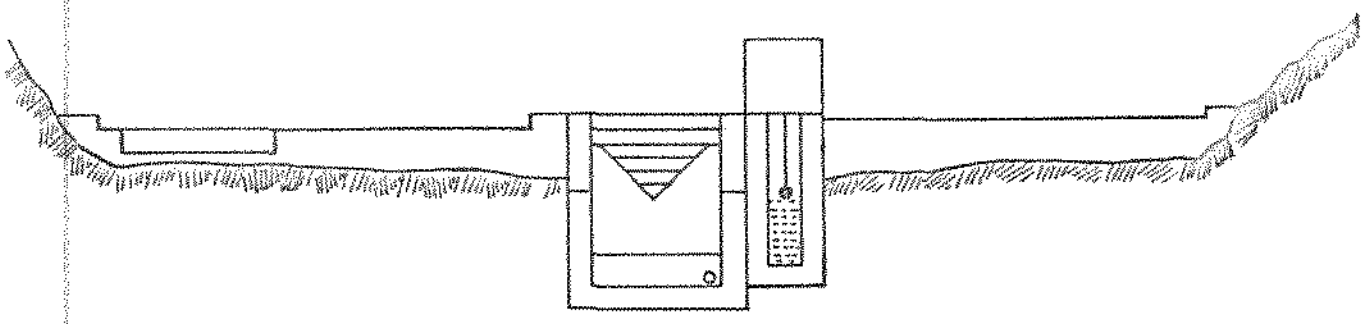


Fig. 4.7 - SEÇÃO DE CONTROLE



VISTA FRONTAL

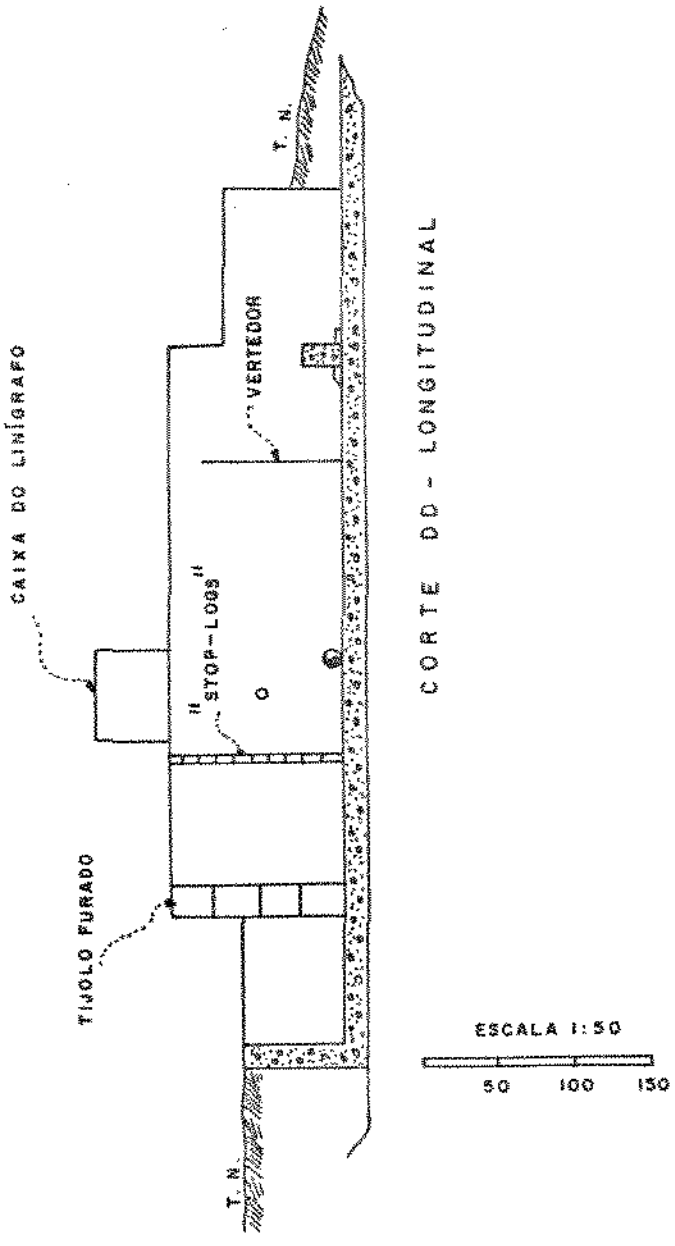


Fig. 4.8- Seção Controle

Foto (4.7) - Linígrafo

Foto (4.8) - Bóia do linígrafo

Foto (4.9) - Posto meteorológico

Foto (4.10) - Pluviômetro e pluviógrafo

de do tambor é de 10 mm (registrando na prática até 9 mm de chuva) e o tempo máximo é de 24 horas. O pluviográfo é de descarga instantânea, quando é atingida a maior amplitude do tambor.

Todos os dias, às 9 horas, o pluviógrafo era ajustado para nova rodada de 24 horas, mantendo-se o mesmo gráfico.

Quando se registrava uma chuva o gráfico era retirado e substituído por outro novo.

Para salvar as avarias do pluviógrafo foi utilizado um pluviômetro que serviu, também, para confirmar as leituras daquele. Vale dizer que as leituras nunca foram coincidentes, havendo sempre uma diferença para menos, em relação ao pluviógrafo.

4.4.2 Vazões

A seção de controle do escoamento possui, lateralmente, um poço onde se acha instalado um linígrafo. Este poço recebe o nível de água da caixa através de um tubo de 50 mm de diâmetro.

O linígrafo é constituído por um cilindro no qual se enrola um papel escala dividido em 24 horas, abrangendo cada hora cinco traços, correspondentes a 10 minutos. Pode-se estimar, visualmente, um tempo de 2,5 minutos. A largura do papel é de 20 cm mas a amplitude do linígrafo abrange uma altura de água de 40 cm. A pena de inscrição no tambor cilíndrico desliza, num movimento de subida e descida, devido à sua ligação com uma bóia que se acha dentro de um tubo, permanentemente com água, existente no poço.

A saída da água faz-se através de um vertedor triangular com ângulo de abertura de 90º. O vertedor é de chapa de aço, de 5 mm de espessura, com largura de 80 cm, altura de 53 cm desde o fundo da terceira caixa até ao vértice. A altura do triângulo é de 30 cm. Os bordos do vertedor são biselados, de aço inoxidável. A vazão mede-se pela seguinte fórmula:

$$Q = 0{,}014\ H^{2{,}5}$$

com Q - l/s

H - cm

A (Figura 4.9) apresenta a curva desta equação, com a altura variando de 0 a 10 cm.

Os fluviogramas eram substituídos sempre que se registrava qual

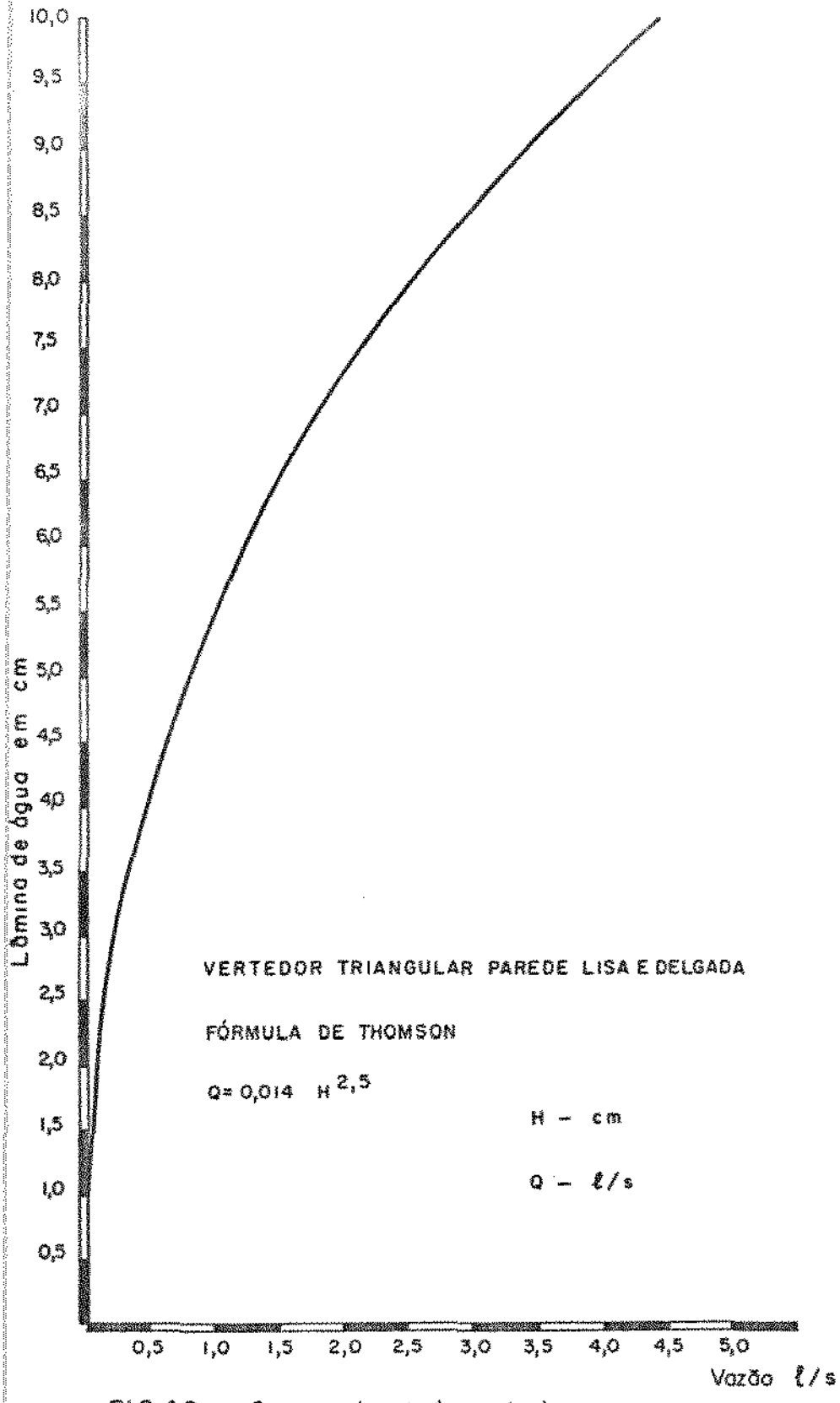


FIG.4.9 - Curva chave do vertedor

quer precipitação. Todas as manhãs às 9 horas, e em concordância com o pluviógrafo, se ajustava o tambor do linígrafo.

4.4.3 Sedimentos

A coleta de sedimentos obedeceu à metodologia que se descreve a seguir.

Turbidez - sempre que havia escoamento eram retiradas amostras, aleatoriamente, através de frascos na saída do vertedor, registrando-se o dia e hora. Procurou-se obter duas amostras em cada chuva, mas nem sempre foi possível, dado o tipo de bacia caracterizada por picos rápidos e imprevistos. As amostras eram remetidas para o laboratório onde se efetuavam as análises para determinar a concentração de sedimentos, em peso, por litro de água. Todas as concentrações foram obtidas por evaporação, conseguida em estufas.

Carga de fundo - no término de uma chuva a caixa era esvaziada e deixada em repouso por um dia, findo o qual eram adotados os seguintes procedimentos:

a) quando o resíduo era pequeno, com espessuras inferiores a 2 cm, a carga de fundo era raspada, o volume determinado em latas aferidas, secada em estufa e pesada.

b) quando a carga era grande media-se seu volume, dentro das caixas e retiravam-se duas amostras cujas concentrações de sedimentos, por litro, eram determinadas em laboratório.

Em virtude do dispositivo de esvaziamento não ser o ideal, verificou-se uma perda em redor dos tubos de saída. Quando a carga era grande, esta perda era considerada na medição do respectivo volume; quando era pequena considerou-se um acréscimo de 10%, valor médio obtido por amostragem.

Em chuvas individualizadas, mas dentro de um mesmo período de 24 horas, só foi possível efetuar a medição em conjunto com outras, como por exemplo nos eventos 50 e 51.

5. ANÁLISE DOS DADOS DE CAMPO

5.1 Chuvas

No início do ano hidrológico 1987-1988 começou a coleta de dados de campo. Em 23-09-87 caiu a primeira chuva com 9,4 mm, durante 1 h 50 min. Não houve escoamento.

Foram computados 85 eventos pluviosos(Tabela 5.1). A última chuva ocorreu em 03-06-88 com 8,6 mm em 20 min, com escoamento.

O total da precipitação foi de 1079 mm, valor abaixo da média anual que é de 1364 mm. As chuvas apresentaram as seguintes diferenças em relação à média(Figura 5.1):

Meses	1987-1988	Média Anual	Diferenças
	mm	mm	mm
setembro	18	59	- 41
outubro	76	135	- 59
novembro	95	131	- 36
dezembro	196	216	- 20
janeiro	101	242	- 141
fevereiro	182	213	- 31
março	188	137	+ 51
abril	125	62	+ 64
maio	88	52	+ 36
junho	10	47	- 37
julho	-	33	- 33
agosto	-	37	- 37
TOTAL	1079	1364	- 284

Foi um ano seco devido à ausência de chuvas durante a primeira metade da época pluviosa. Naqueles meses verificou-se um déficit, em relação à média, de 328 mm. Nos meses seguintes março, abril e maio houve um supéravit de 150 mm. Em junho, julho e agosto voltou a verificar-se uma diferença, para menos, de 107 mm.

Ocorreu escoamento em 42 eventos. Nos eventos 14, 18, 27, 31, 38 e 73 não houve passagem de água através do vertedor, tendo havido apenas re

TABELA 5.1

EVENTOS PLUVIOSOS

EVENTO	DIA	DURAÇÃO	PRECIP. TOTAL mm	SOLO ANTES DA CHUVA	VOLUME PRECIPIT. m^3	VOLUME ESCOADO m^3	VAZÃO MÁXIMA l/s	TRANSPORTE SÓLIDO kg	CARGA DO FUNDO kg	I_{30} mm / h	COBERTURA DO SOLO	OBSERVAÇÃO
1	23-09-87	1 h 50 min	9,4	seco	118,1					8	vegetação natural	
2	27-09-87	5 h 20 min	8,9	seco	111,8					6		
3	01-10-87	3 h 10 min	5,7	seco	71,6					4		
4	05-10-87	1 h 40 min	28,9	seco	363,1	44,0	38,5	39,6	20,2	56		
5	16-10-87	50 min	27,3	seco	343,0	37,0	43,5	33,0	3,2	43		
6	17-10-87	1 h 30 min	0,6	úmido	7,5							
7	19-10-87	4 h 50 min	9,7	seco	121,9					4		
8	20-10-87	30 min	0,4	seco	5,0					1		
9	24-10-87	5 h 40 min	1,2	seco	15,0					1		
10	28-10-87	35 min	2,0	seco	25,1					2		
11	06-11-87	2 h	3,2	seco	40,2					2		

UNICAMP BIBLIOTECA CENTRAL

TABELA 5.1

EVENTOS PLUVIOSOS

EVENTO	DIA	DURAÇÃO	PRECIP. TOTAL mm	SOLO ANTES DA CHUVA	VOLUME PRECIPIT. m^3	VOLUME ESCOADO m^3	VAZÃO MÁXIMA ℓ/s	TRANSPORTE SÓLIDO kg	CARGA DO FUNDO kg	I_{30} mm / h	COBERTURA DO SOLO	OBSERVAÇÃO
12	09-11-87	10 min	0,3	seco	3,8							
13	14-11-87	7 h 45 min	17,3	seco	217,3					8		
14	15-11-87	16 h 15 min	28,2	úmido	354,0	2,2		2,2	1,0	12		
15	15-11-87	4 h	4,6	úmido	57,8					3		
16	16-11-87	10 min	2,9	úmido	36,4							
17	21-11-87	5 h 45 min	5,4	seco	67,8					7	gradeado 18-11	
18	24-11-87	1 h 20 min	13,7	seco	172,1	3,0		3,7	0,5	26		
19	25-11-87	1 h	4,5	ench.	56,5					1		
20	26-11-87	23 min	9,0	úmido	119,1	12,3	4,6	83,6	3,0	18		
21	26-11-87	10 min	5,8	úmido	72,8							
22	02-12-87	4 h 30 min	4,3	úmido	54,0					5		

TABELA 5.1

EVENTOS PLUVIOSOS

3

EVENTO	DIA	DURAÇÃO	PRECIP. TOTAL mm	SOLO ANTES DA CHUVA	VOLUME PRECIPIT. m^3	VOLUME ESCOADO m^3	VAZÃO MÁXIMA ℓ/s	TRANSPORTE SÓLIDO kg	CARGA DO FUNDO kg	I_{30} mm / h	COBERTURA DO SOLO	OBSERVAÇÃO
23	04-12-87	20 min	8,6	úmido	108,0	21,6	24,4	69,1	1,2	9		
24	05-12-87	1 h	1,7	úmido	21,3					2		
25	06-12-87	6 h 20 min	8,9	úmido	111,8					4		
26	09-12-87	2 h 25 min	6,7	úmido	84,1					8		
27	09-12-87	4 h 55 min	9,3	ench.	116,8	3,1		9,0	2,8	6		
28	12-12-87	20 min	19,0	úmido	238,7	31,7	43,0	57,0	7,1	38		
29	17-12-87	1 h	12,3	seco	154,5	13,6	9,0	50,3	→	24		
30	17-12-87	1 h 35 min	19,2	úmido	241,2	27,8	22,0	19,4	→	-		pluviômetro
31	18-12-87	30 min	8,6	úmido	108,0	1,8		1,3	5,5	17		
32	28-12-87	2 h 15 min	9,2	seco	115,6					13		
33	29-12-87	20 min	16,4	úmido	206,0	28,1	41,0	27,4	284,2	32		

→ Em conjunto com a chuva seguinte.

T A B E L A 5.1

E V E N T O S P L U V I O S O S

EVENTO	DIA	DURAÇÃO	PRECIP. TOTAL mm	SOLO ANTES DA CHUVA	VOLUME PRECIPIT. m^3	VOLUME ESCOADO m^3	VAZÃO MÁXIMA l/s	TRANSPORTE SÓLIDO kg	CARGA DO FUNDO kg	I_{30} mm / h	COBERTURA DO SOLO	OBSERVAÇÃO
34	30-12-87	20 min	4,1	úmido	50,2	7,2	13,9	8,0	→	8		
35	30/ 31-12-87	17 h 20 min	53,5	ench.	672,1	48,0	0,01	53,0	→	4		verteu 1 h 20 min * $\bar{Q}$=0,01 1/s
36	31-12-87	4 h 50 min	14,0	ench.	175,9	21,0	0,01	23,1	1257,0			verteu 35 min * $\bar{Q}$=0,01 1/s
37	05-01-88	1 h 55 min	4,9	úmido	61,5					8		
38	06-01-88	10 min	9,2	úmido	115,6	3,0		2,1	32,0			
39	07-01-88	7 h 40 min	9,0	úmido	113,0					2		
40	10-01-88	2 h	6,3	úmido	79,1					4		
41	15-01-88	40 min	17,0	úmido	213,6	11,6	13,2	5,5	254,4	30		
42	22-01-88	30 min	5,8	seco	72,9					11	gradeado em 18-01	
43	24-01-88	4 h 20 min	7,0	seco	87,9					10	semeadura 19-01	
44	28-01-88	3 h	5,0	seco	62,8					7		

TABELA 5.1

EVENTOS PLUVIOSOS

EVENTO	DIA	DURAÇÃO	PRECIP. TOTAL mm	SOLO ANTES DA CHUVA	VOLUME PRECIPIT. m^3	VOLUME ESCOADO m^3	VAZÃO MÁXIMA l/s	TRANSPORTE SÓLIDO kg	CARGA DO FUNDO kg	I_{30} mm / h	COBERTURA DO SOLO	OBSERVAÇÃO
45	29-01-88	1 h 20 min	0,9	seco	11,3							
46	30-01-88	2 h	35,7	seco	448,5	119,0	71,5	142,8	1336,5	36		
47	04-02-88	2h 10 min	11,1	seco	139,5	8,2	26,0	48,4	284,7	22	milho c/ 0,10 m	
48	07-02-88	40 min	15,5	seco	194,7	10,1	26,1	54,5	162,7	30		
49	09-02-88	50 min	0,9	seco	11,3							
50	09-02-88	40 min	7,5	úmido	94,2	13,9	29,0	13,9	→	15		
51	10-02-88	1 h 30 min	27,9	úmido	350,5	109,0	53,0	76,3	403,4	35	milho c/ 0,15 m	
52	14-02-88	2 h 15 min	5,2	seco	65,3					4		
53	17-02-88	40 min	17,6	seco	221,1	28,9	29,5	31,8	181,2	28		
54	18-02-88	10 min	1,2	seco	15,0							
55	18-02-88	20 min	11,5	úmido	144,5	33,6	61,5	33,6	→	23		

TABELA 5.1

EVENTOS PLUVIOSOS

EVENTO	DIA	DURAÇÃO	PRECIP. TOTAL mm	SOLO ANTES DA CHUVA	VOLUME PRECIPIT. m^3	VOLUME ESCOADO m^3	VAZÃO MÁXIMA l/s	TRANSPORTE SÓLIDO kg	CARGA DO FUNDO kg	I_{30} mm / h	COBERTURA DO SOLO	OBSERVAÇÃO
56	19/ 20-02-88	7 h 20 min	38,4	úmido	482,4	131,9	82,5	277,0	2692,6	51		
57	20-02-88	4 h	3,9	úmido	49,0					2	milho c/ 0,20m	
58	29-02-88	2 h	41,2	seco	517,6	82,2	60,5	12,0	321,3	36		
59	01-03-88	4 h 50 min	29,5	ench.	370,6	111,3	63,5	9,0	10,3	26	milho c/ 0,60m	
60	02-03-88	2 h 20 min	16,7	ench.	209,8	88,1	90,0	47,0	→	20		
61	02-03-88	2 h 30 min	42,7	ench.	536,5	250,3	93,0	144,9	1949,0	76		
62	03-03-88	2 h 40 min	7,8	ench.	98,0	6,7	1,8	1,0	0,0	6		
63	17-03-88	1 h 20 min	11,8	seco	148,2	28,3	32,0	11,3	21,0	20	milho c/ 0,80m	
64	18-03-88	1 h 50 min	18,2	úmido	228,7	31,5	68,5	9,5	→	26		
65	18/ 19-03-88	15 h 15 min	61,0	ench.	766,4	297,8	54,0	136,0	363,0			pluviômetro
66	07-04-88	2 h	36,2	seco	454,8	48,8	43,0	12,0	172,0	40	milho c/ 1,00m	

TABELA 5.1

EVENTOS PLUVIOSOS

EVENTO	DIA	DURAÇÃO	PRECIP. TOTAL mm	SOLO ANTES DA CHUVA	VOLUME PRECIPIT. m^3	VOLUME ESCOADO m^3	VAZÃO MÁXIMA l/s	TRANSPORTE SÓLIDO kg	CARGA DO FUNDO kg	I_{30} mm / h	COBERTURA DO SOLO	OBSERVAÇÃO
67	13-04-88	2 h 40 min	15,7	seco	197,2	54,2	53,0	16,2	→	18		
68	14-04-88	6 h 20 min	29,3	úmido	368,1	33,6	11,2	5,0	→			
69	14-04-88	1 h 30 min	10,3	enxarc	129,4	30,1	17,5	7,2	112,0	10		
70	16-04-88	1 h 10 min	9,9	úmido	124,4					11		
71	18-04-88	5 h 30 min	4,6	úmido	57,8					3		
72	19-04-88	3 h 40 min	4,5	úmido	56,5					2		
73	20-04-88	10 min	9,8	úmido	123,5	2,2		1,4	3,2			
74	29-04-88	2 h 10 min	5,2	seco	65,3					7		
75	04-05-88	30 min	6,8	seco	85,4					14		
76	13-05-88	3 h 20 min	3,4	seco	42,7					4		
77	14-05-88	10 min	1,00	seco	12,5							

TABELA 5.1

EVENTOS PLUVIOSOS

EVENTO	DIA	DURAÇÃO	PRECIP. TOTAL mm	SOLO ANTES DA CHUVA	VOLUME PRECIPIT. m^3	VOLUME ESCOADO m^3	VAZÃO MÁXIMA l/s	TRANSPORTE SÓLIDO kg	CARGA DO FUNDO kg	I_{30} mm / h	COBERTURA DO SOLO	OBSERVAÇÃO
78	17-05-88	2 h 10 min	16,0	seco	201,0	17,8	0,9	8,9	3,7	12		
79	21-05-88	20 min	17,8	seco	221,1	18,4	22,0	18,4	9,7	36		
80	22-05-88	10 min	4,2	úmido	52,7							
81	24-05-88	30 min	1,2	seco	15,0					2		
82	29/ 30-05-88	10 h 40 min	30,0	seco	376,9	62,6	28,0	25,0	10,3			pluviômetro
83	30/ 31-05-88	13 h 25 mih	7,5	ench.	94,2							
84	03-06-88	2 h 10 min	1,8	úmido	22,6							
85	03-06-88	20 min	8,6	ench.	108,0	27,2	22,0	8,2	1,2	17		
	TOTAL		1079,0		13556,7	1962,7		1638,6	9909,9			

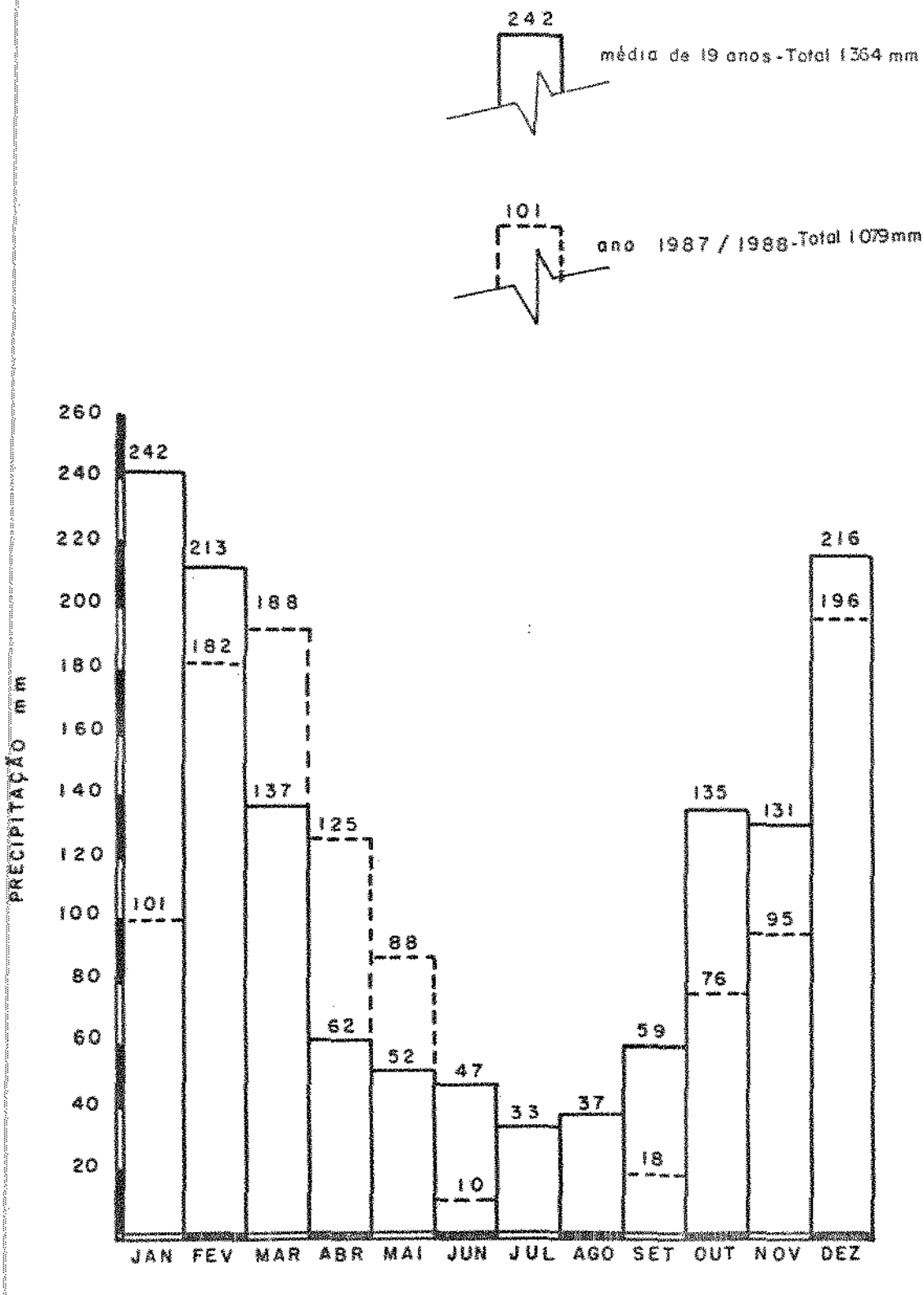


FIG. 5.1 - DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS EM LIMEIRA

tenção nas caixas. Os eventos 35 e 36 apresentaram vazão pequena e constante durante 1 h 20 min e 35 min respectivamente. Os eventos restantes constam das(Figuras 5.2 a 5.39). Nestas são apresentados os hietogramas e respectivos hidrogramas originados por chuvas individualizadas. Considera - se chuva indidualizada toda a precipitação que se encontra separada de outras anteriores e/ou posteriores por um intervalo maior de 6 horas, de acordo com a metodologia de WISCHMEIER & SMITH (56). Entre os eventos 64 e 65 não existem 6 horas de diferença, mas optou-se pela separação porque o primeiro apresentou-se bem significativo, em contraste com o segundo que teve seu início com chuva de baixa intensidade.

O evento 65 apresentou a maior precipitação - 61,0 mm em 15 h 15 min - com intensidade média $\bar{I}$ = 4 mm/h. Infelizmente não se obteve o pluviograma completo devido a uma avaria no aparelho.

As maiores intensidades registraram-se nos seguintes eventos:

Evento nº	Intensidade mm/h	Tempo min
61	118	5
4	114	5
41	106	3
5	96	5
56	94	5

5.2 Vazões

As maiores vazões verificaram-se nos seguintes eventos:

Evento nº	Vazão Máxima Q_p l/s
61	93,0
60	90,0
56	82,5
46	71,5
64	68,5

Todos os hidrogramas são caracterizados pela existência de um pi

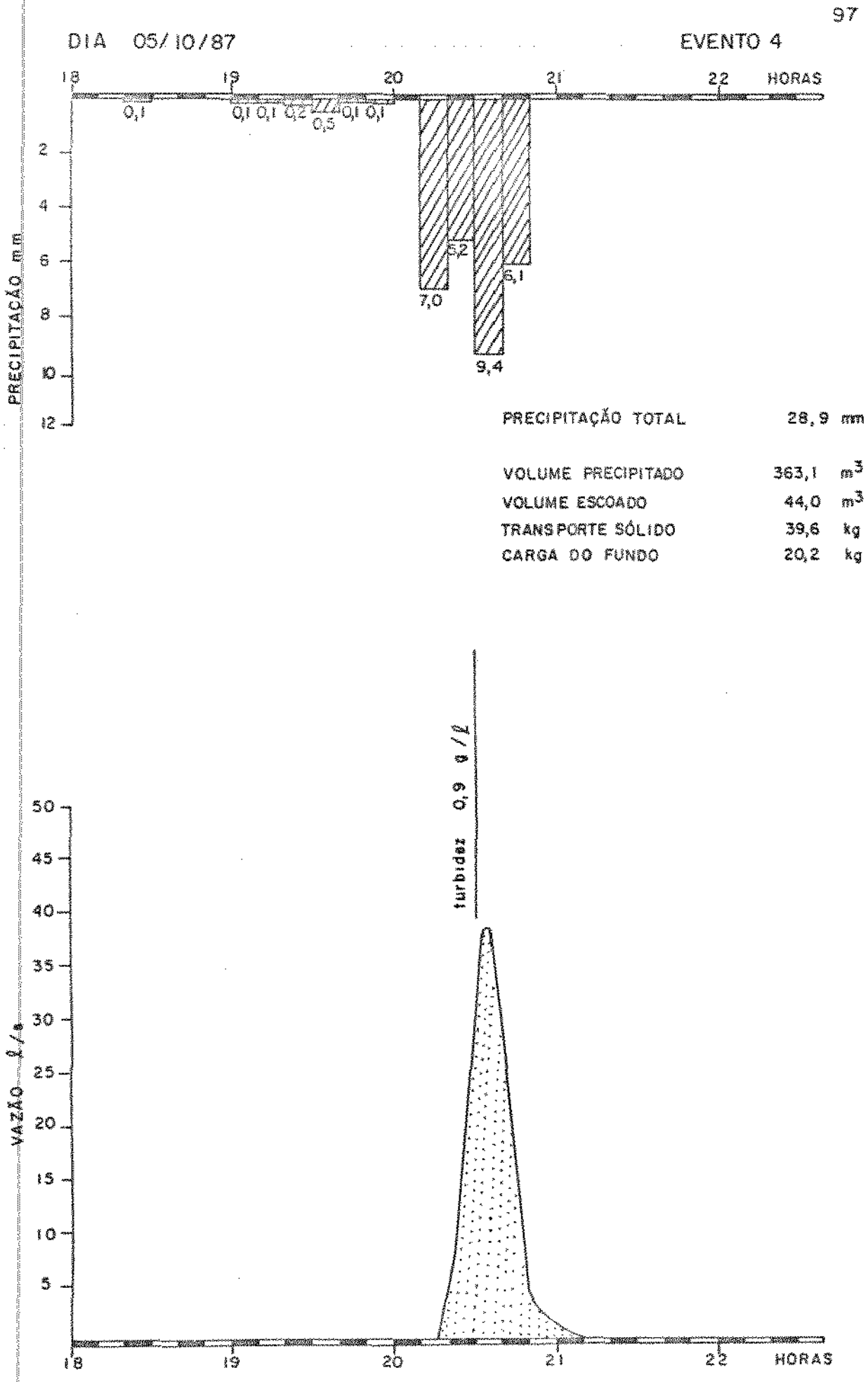
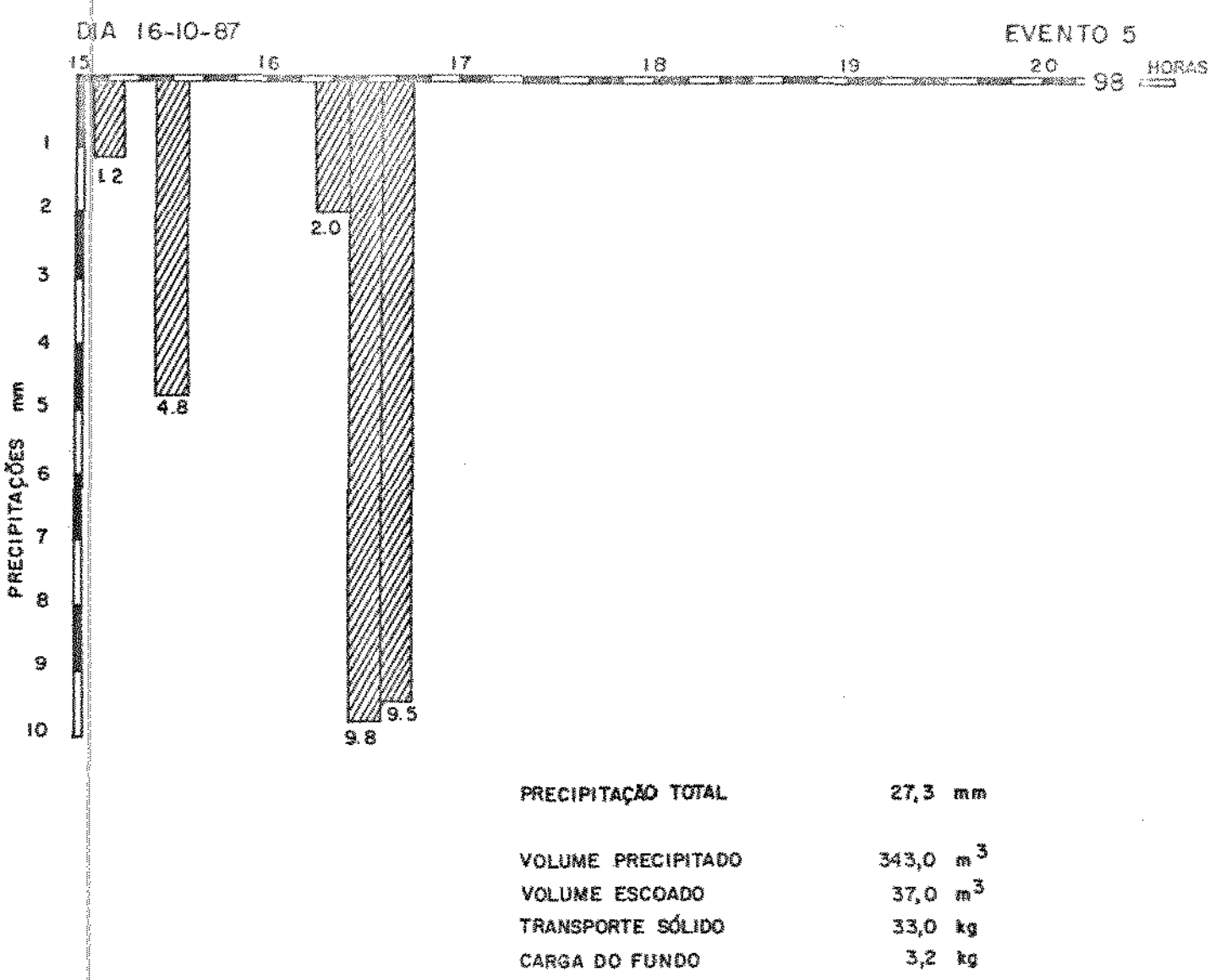


FIG. 5.2 -HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 05/10/87



PRECIPITAÇÃO TOTAL	27,3	mm
VOLUME PRECIPITADO	343,0	m^3
VOLUME ESCOADO	37,0	m^3
TRANSPORTE SÓLIDO	33,0	kg
CARGA DO FUNDO	3,2	kg

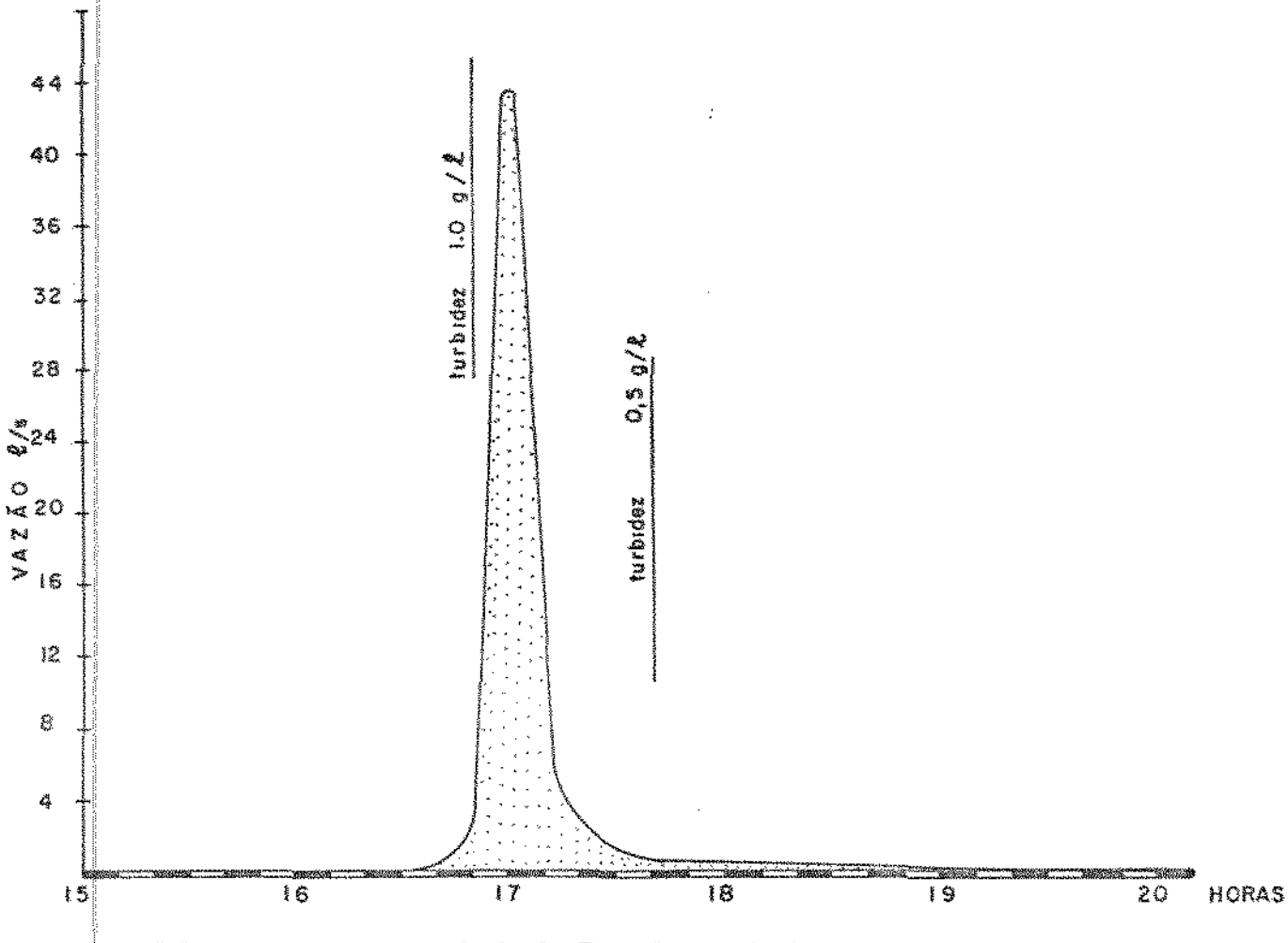
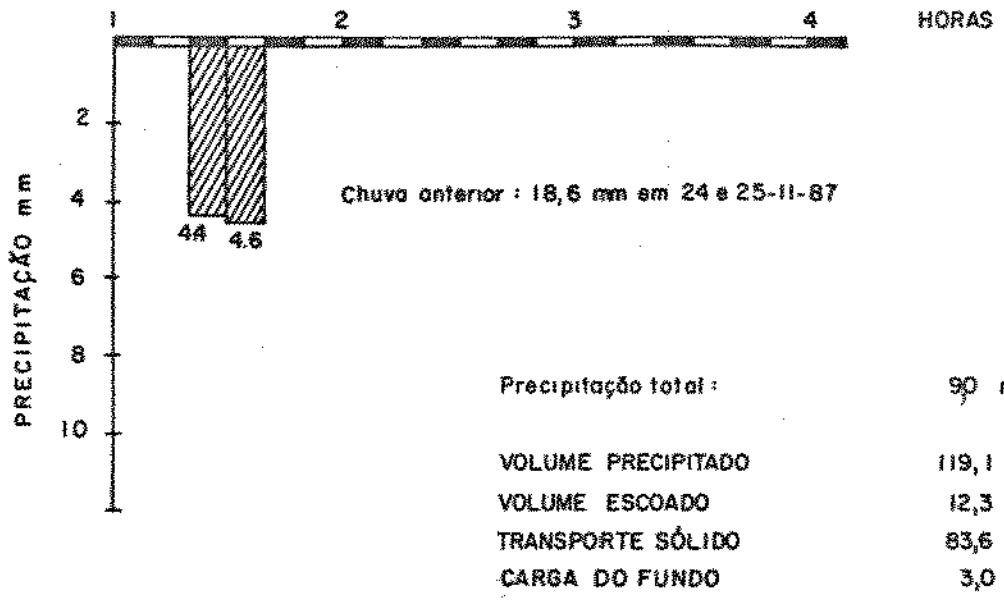


FIG. 5.3 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA - 16-10-87

DIA 26-11-87 EVENTO 20



Precipitação total :	9,0	mm
VOLUME PRECIPITADO	119,1	m^3
VOLUME ESCOADO	12,3	m^3
TRANSPORTE SÓLIDO	83,6	kg
CARGA DO FUNDO	3,0	kg

A área foi lavrada parcialmente (0,7ha) em 18.11.87

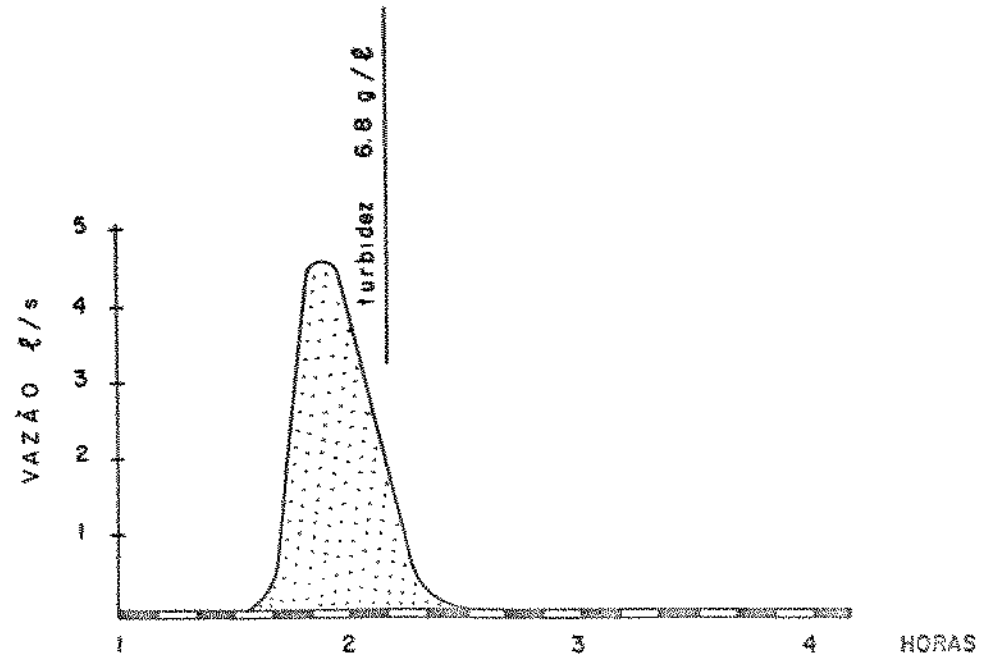
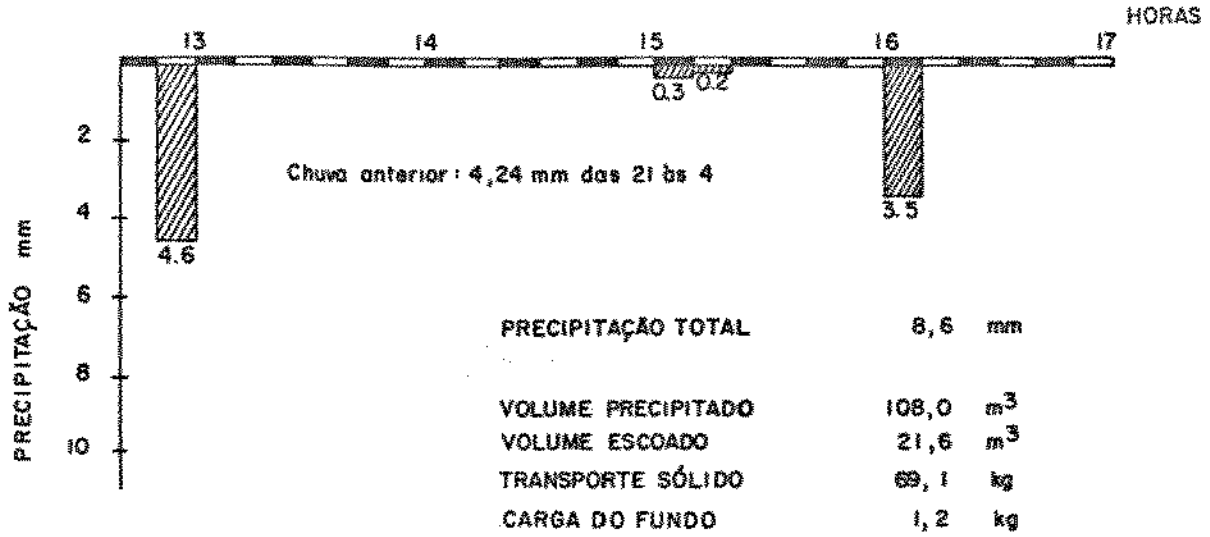


FIG. 5.4 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA - 25-11-87

DIA 4-12-87

EVENTO 23



PRECIPITAÇÃO TOTAL	8,6	mm
VOLUME PRECIPITADO	108,0	m^3
VOLUME ESCOADO	21,6	m^3
TRANSPORTE SÓLIDO	69,1	kg
CARGA DO FUNDO	1,2	kg

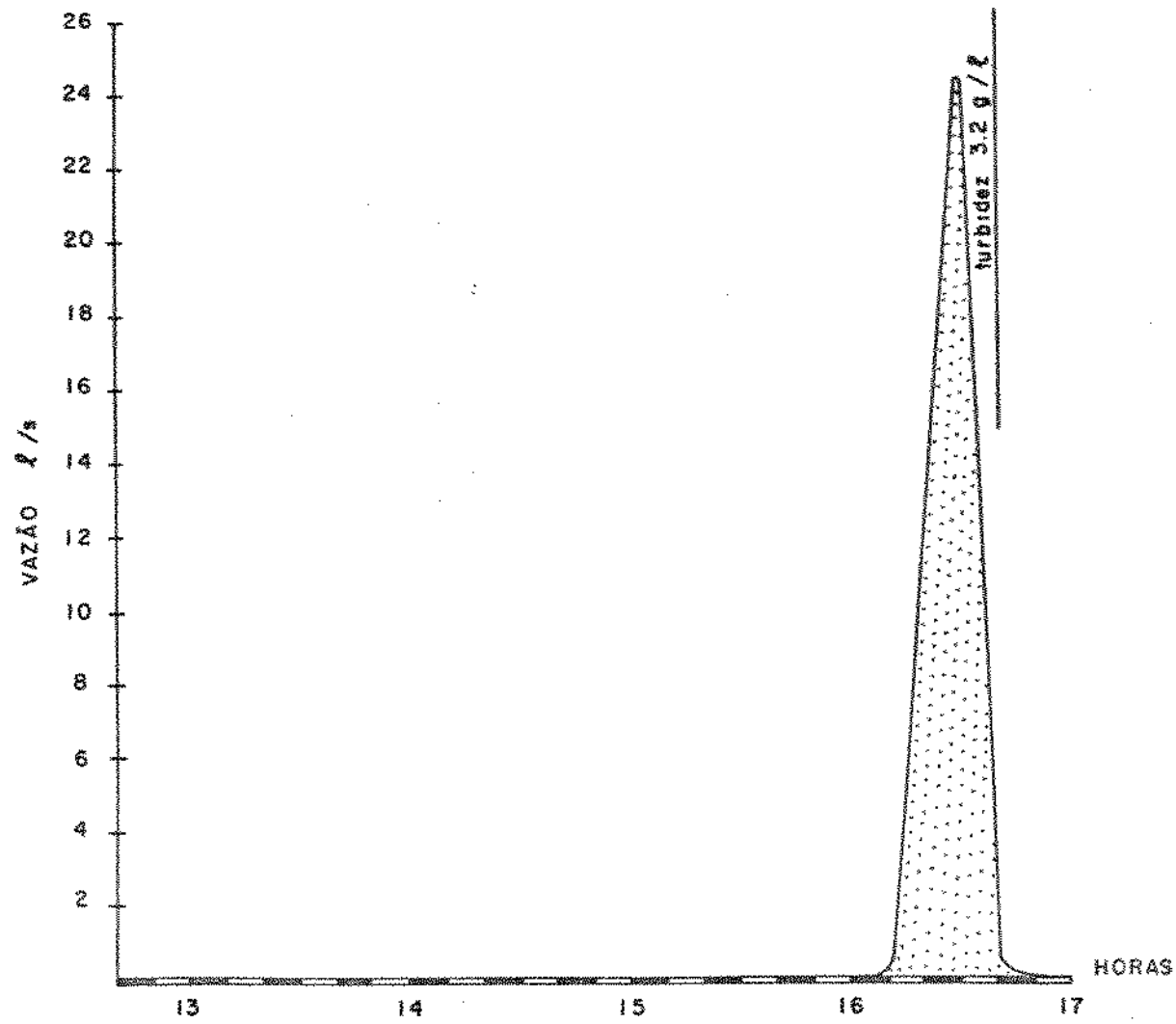
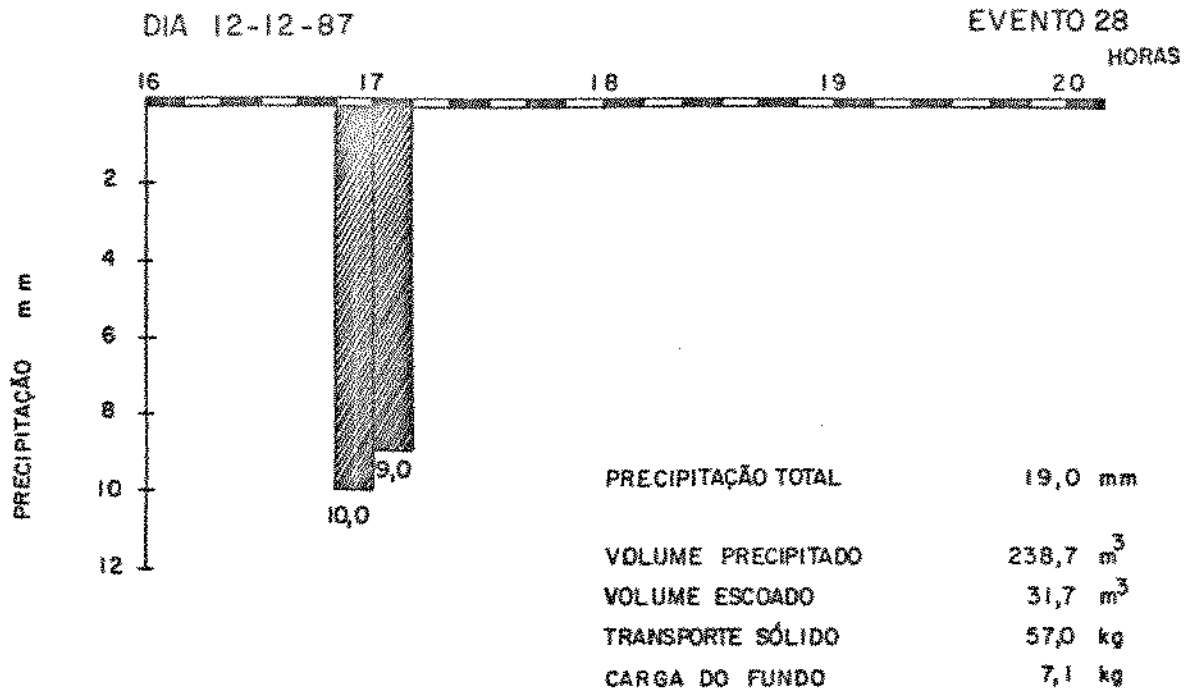


FIG. 5.5 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA - 4-12-87



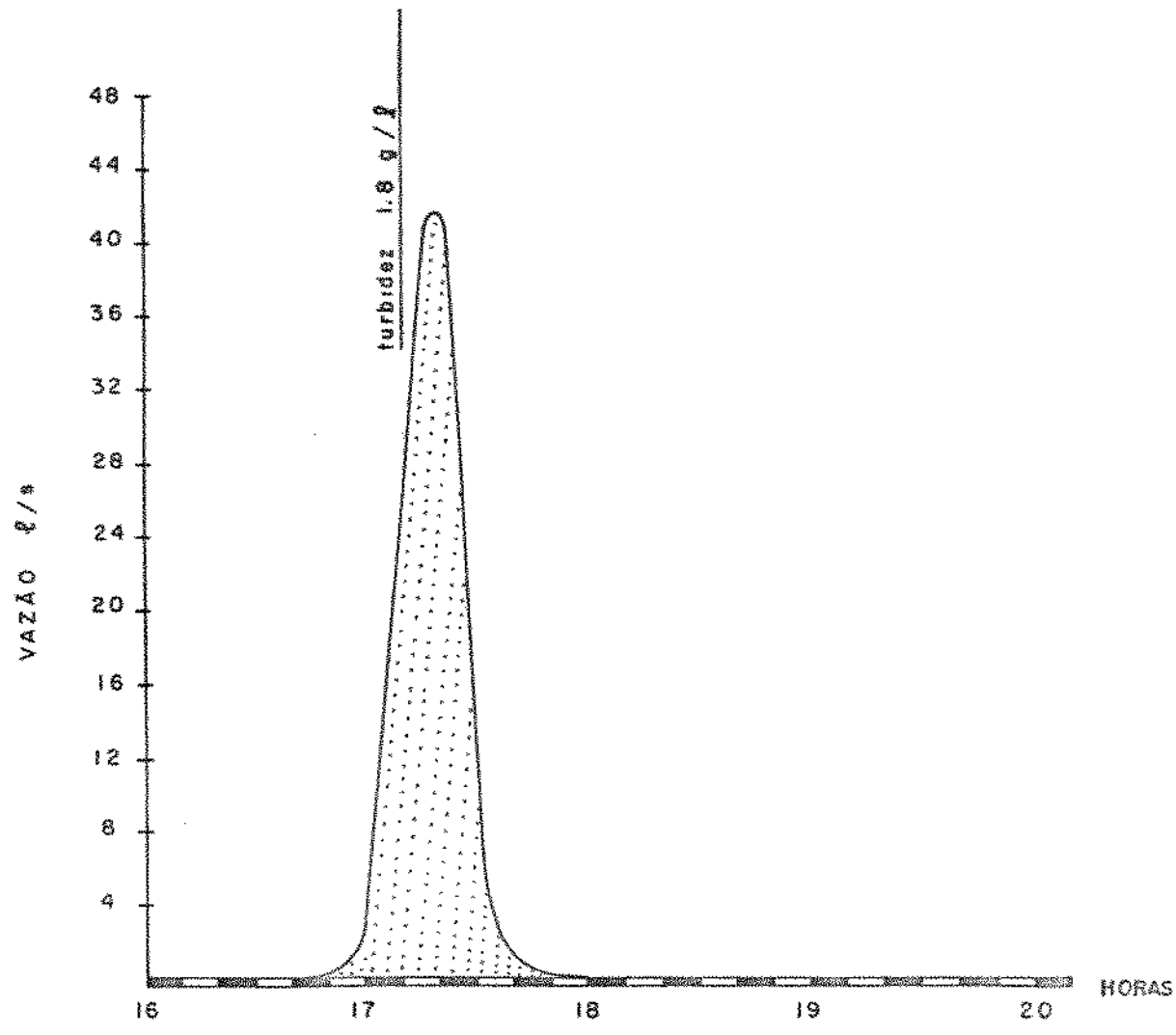
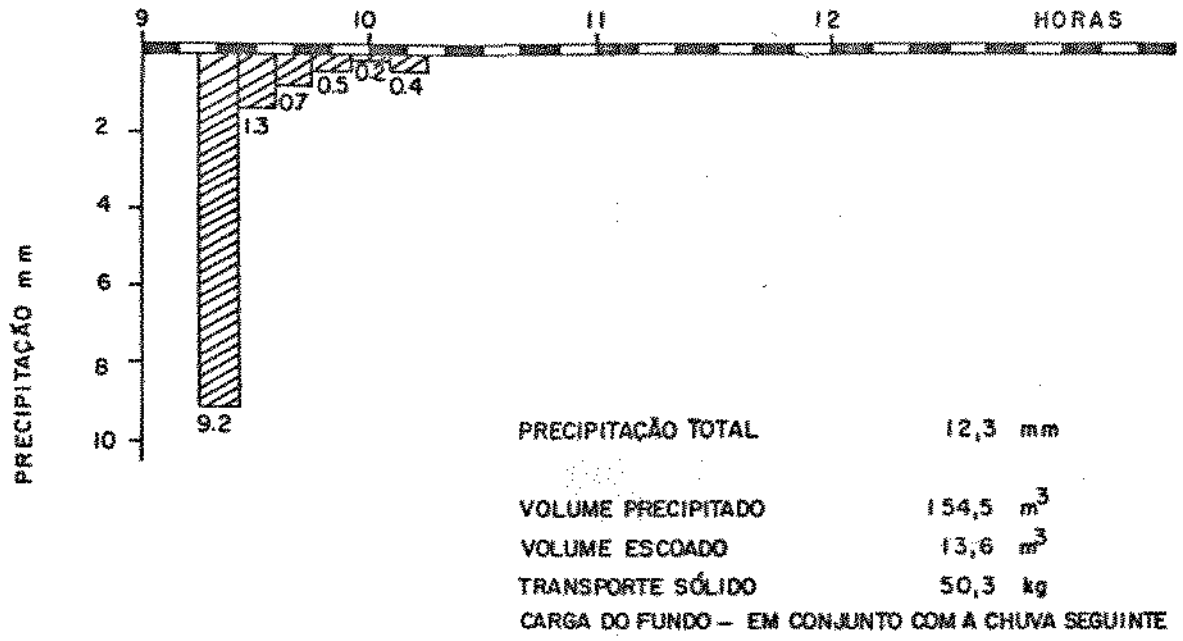


FIG. 5.6 — HIETOGRAMA E HIDROGRAMA - 12-12-87

DIA 17-12-87 EVENTO 29



PRECIPITAÇÃO TOTAL	12,3	mm
VOLUME PRECIPITADO	154,5	m^3
VOLUME ESCOADO	13,6	m^3
TRANSPORTE SÓLIDO	50,3	kg

CARGA DO FUNDO – EM CONJUNTO COM A CHUVA SEGUINTE

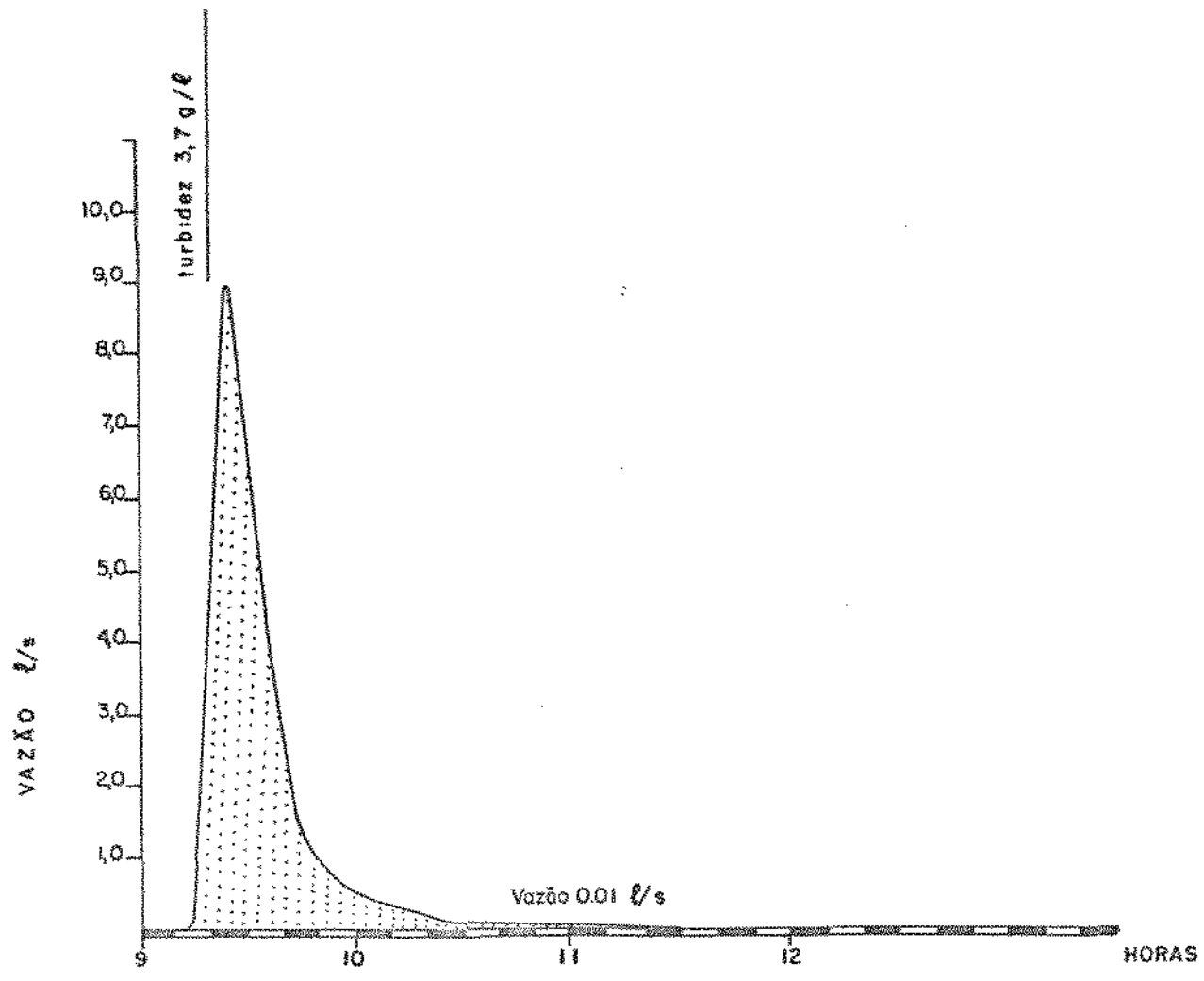
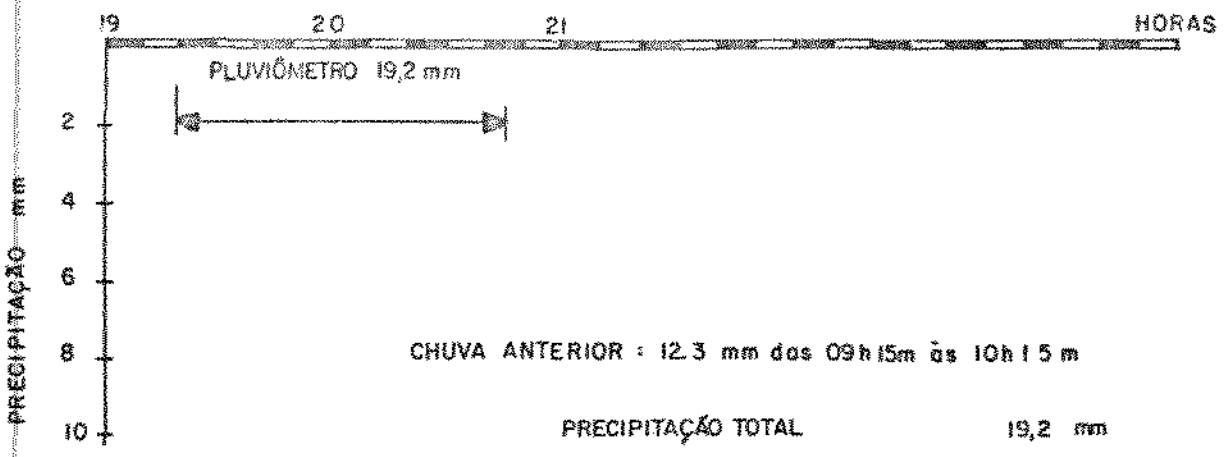


FIG. 5.7 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 17-12-87

DIA 17-12-87 EVENTO 30



CHUVA ANTERIOR : 12.3 mm das 09h15m às 10h15m

PRECIPITAÇÃO TOTAL	19,2	mm
VOLUME PRECIPITADO	241,2	m^3
VOLUME ESCOADO	27,8	m^3
TRANSPORTE SÓLIDO	19,4	kg
CARGA DO FUNDO	5.5	kg

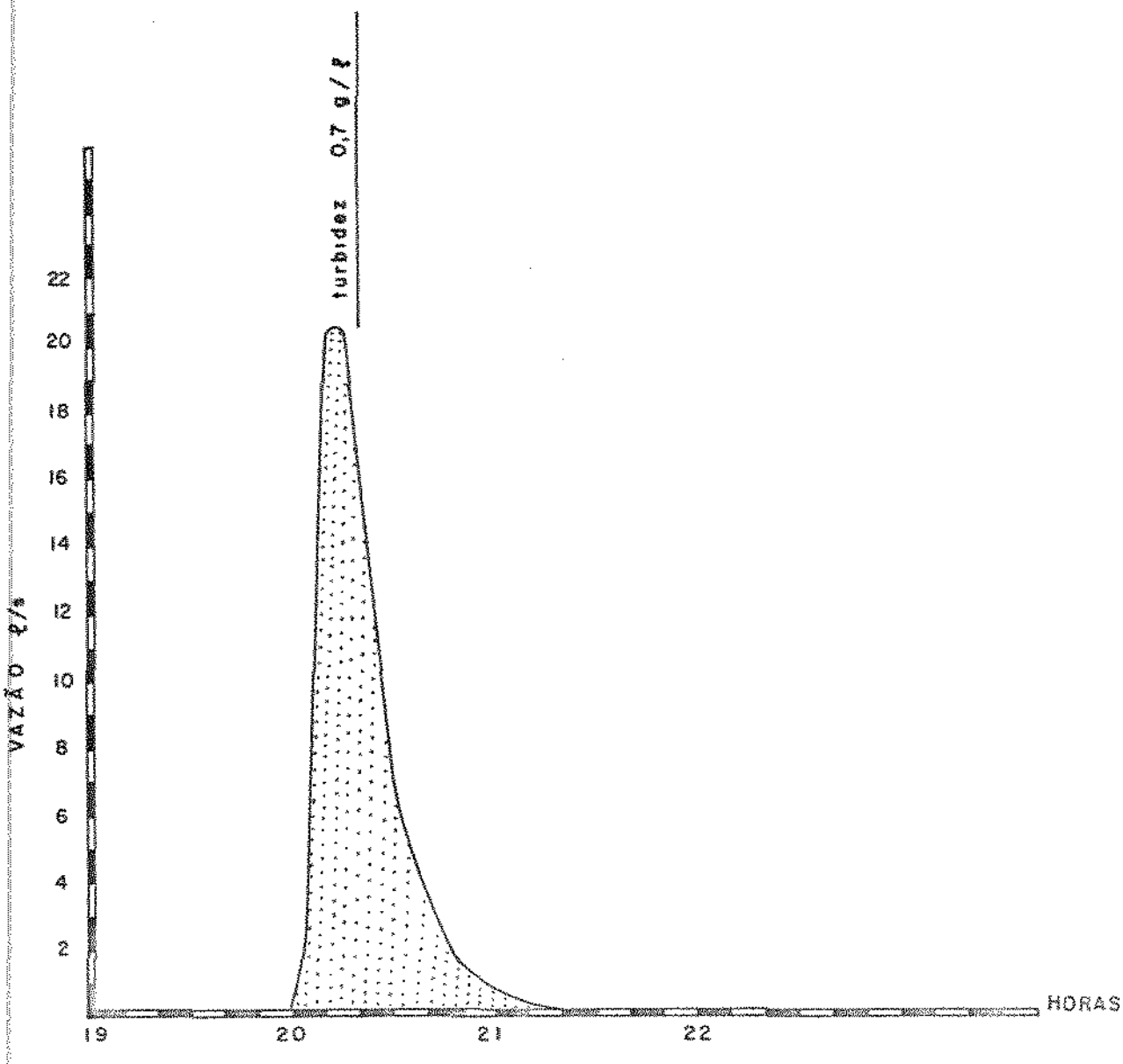
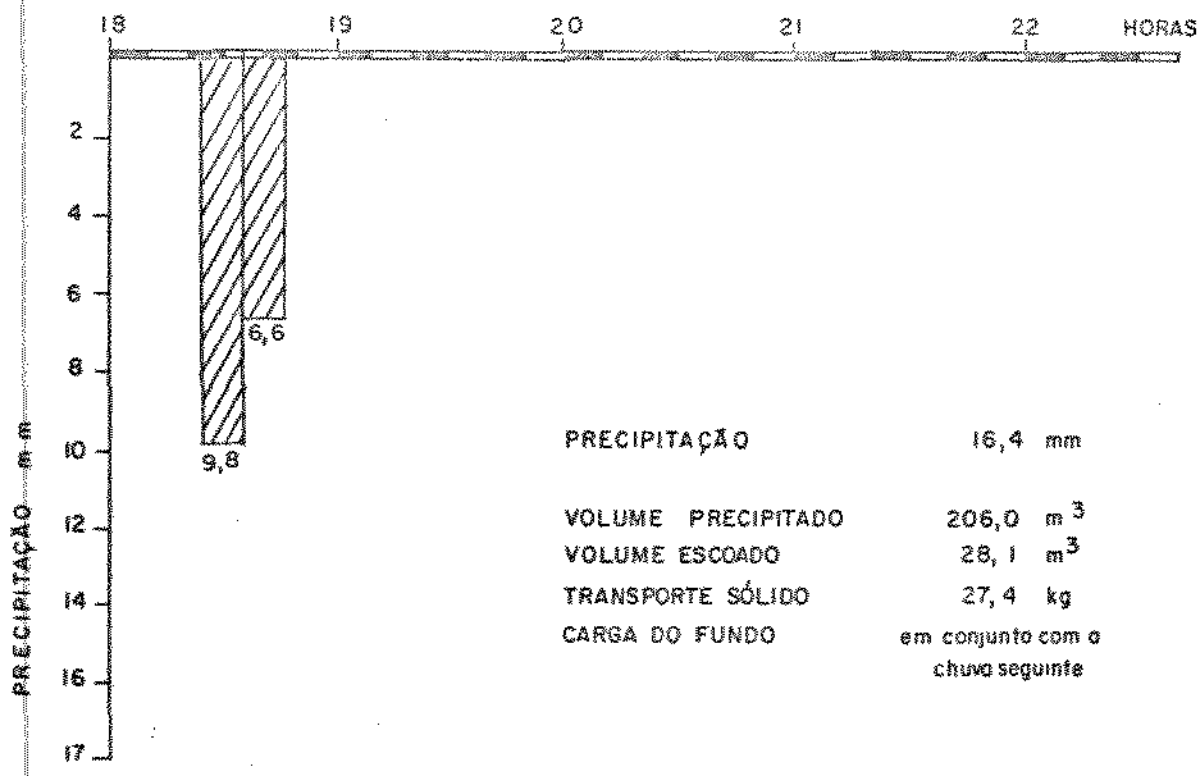


FIG. 5.8 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA - 17-12-87

DIA 29-12-87 EVENTO 33



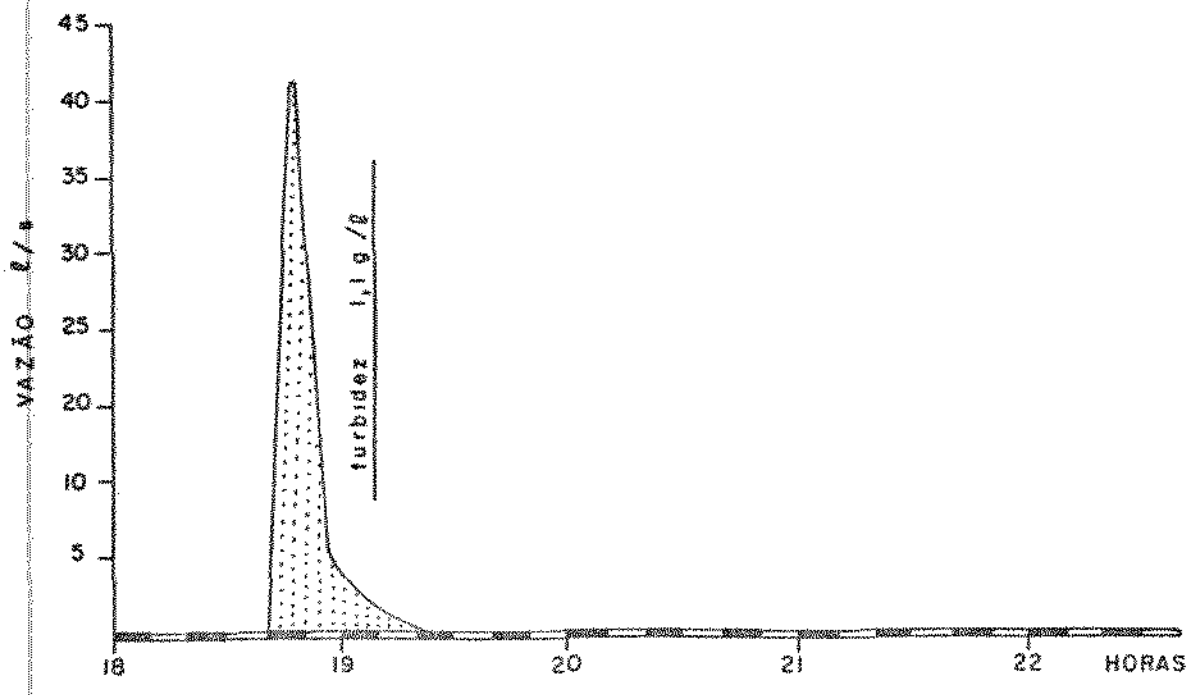
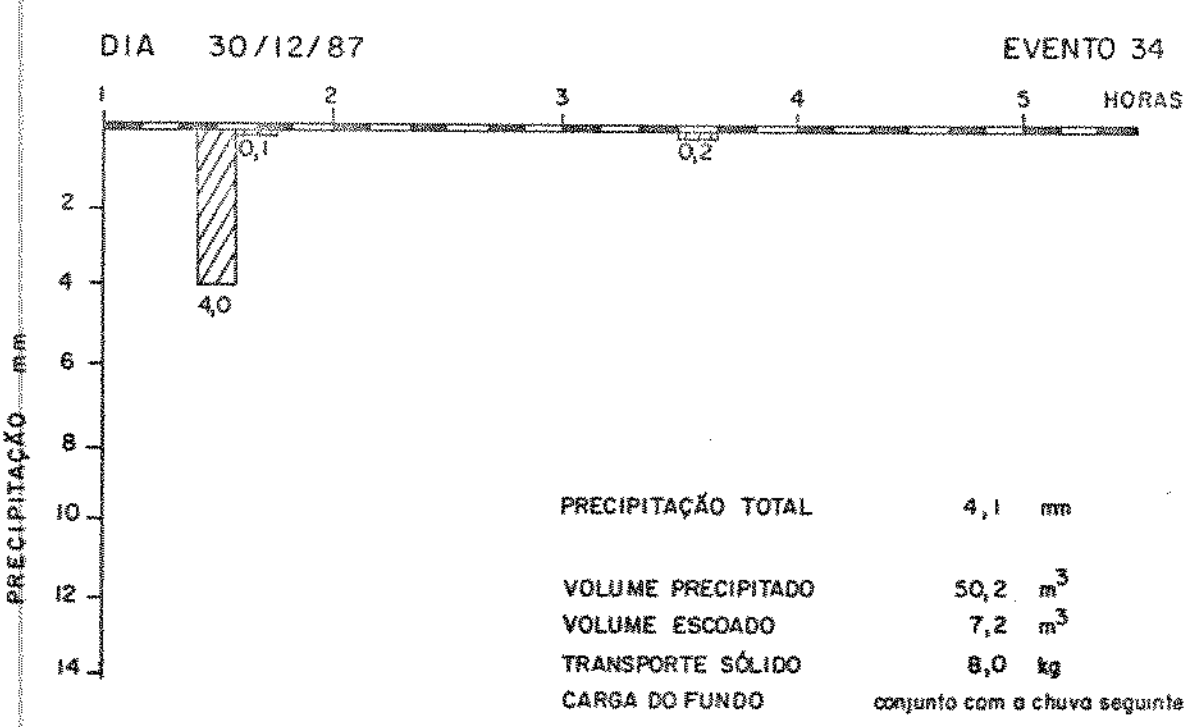


FIG. 5.9 HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 29/12/87



Adotou-se a turbidez da chuva anterior 1,1 g/ℓ

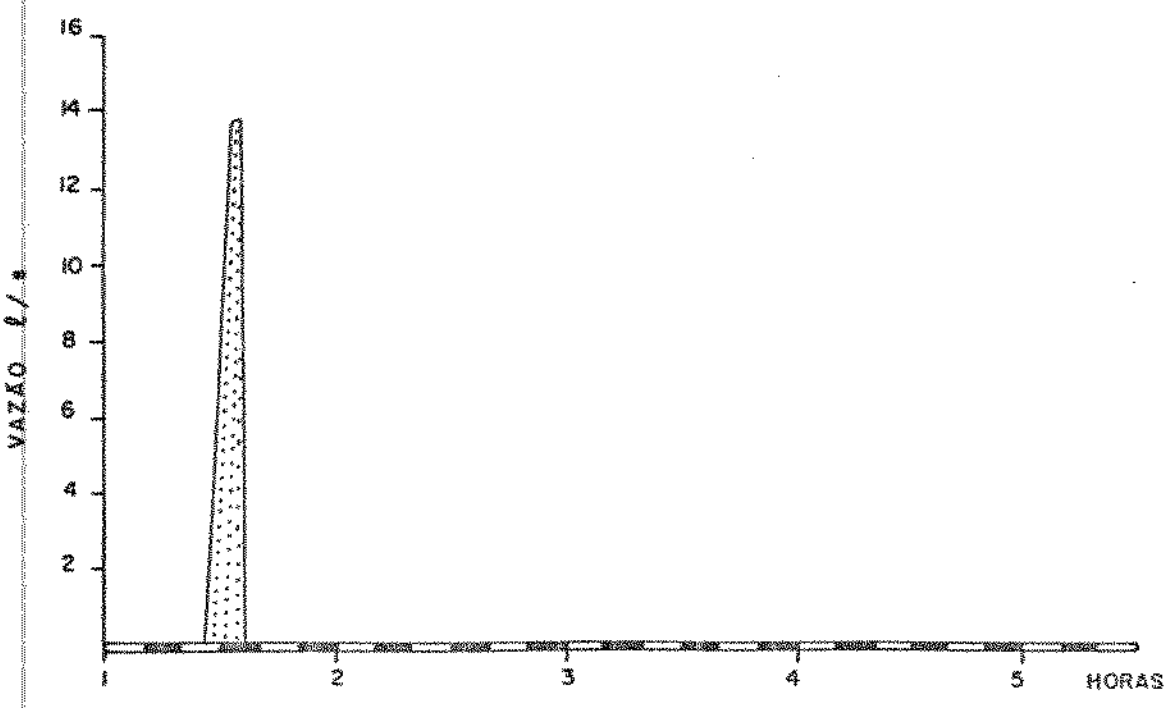


FIG. 5.10 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 30/12/87

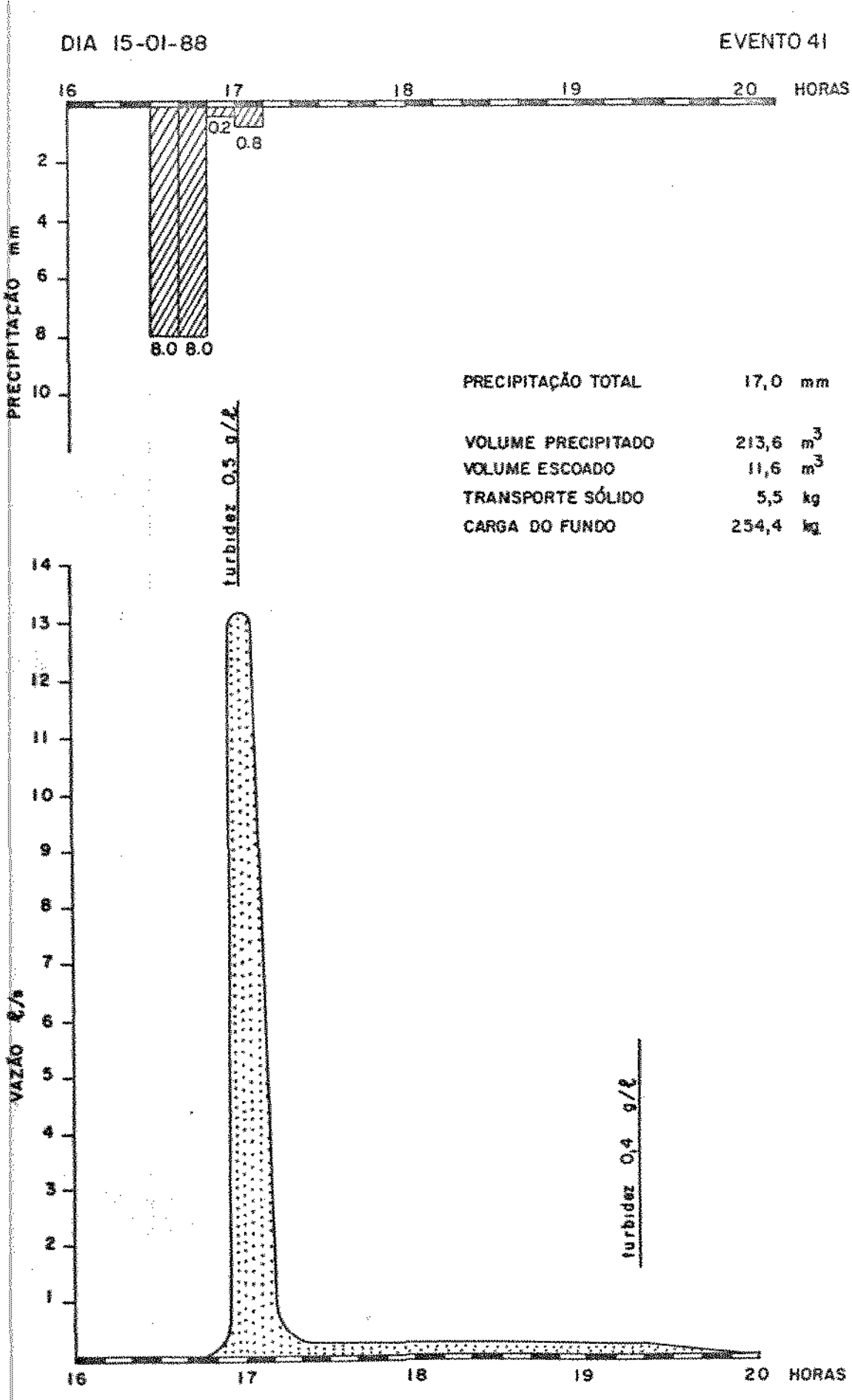
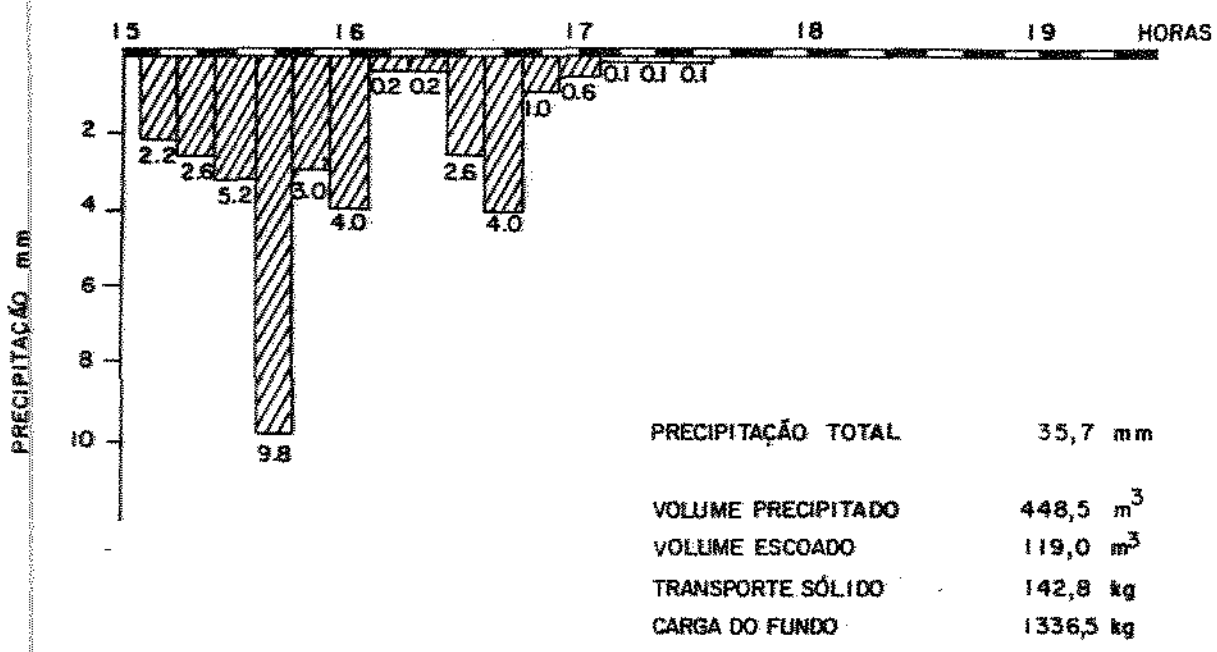


FIG. 5.11 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA - 15-01-88

DIA 30-01-88 EVENTO 46



PRECIPITAÇÃO TOTAL	35,7 mm
VOLUME PRECIPITADO	448,5 m^3
VOLUME ESCOADO	119,0 m^3
TRANSPORTE SÓLIDO	142,8 kg
CARGA DO FUNDO	1336,5 kg

TERRA GRADEADA EM 18/01/88
SEMEADO MILHO 19/01/88

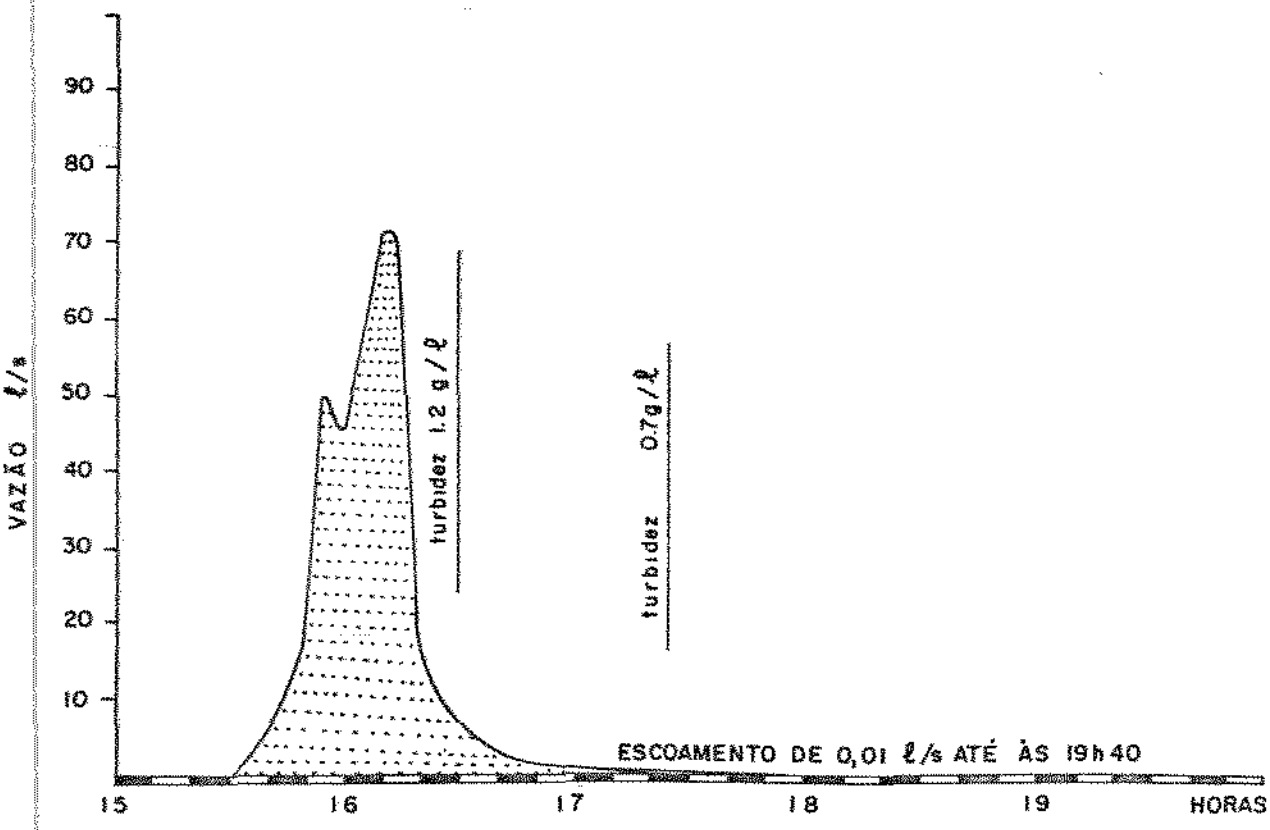


FIG. 5.12 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA - 30/01/88

DIA 04-02-88

EVENTO 47

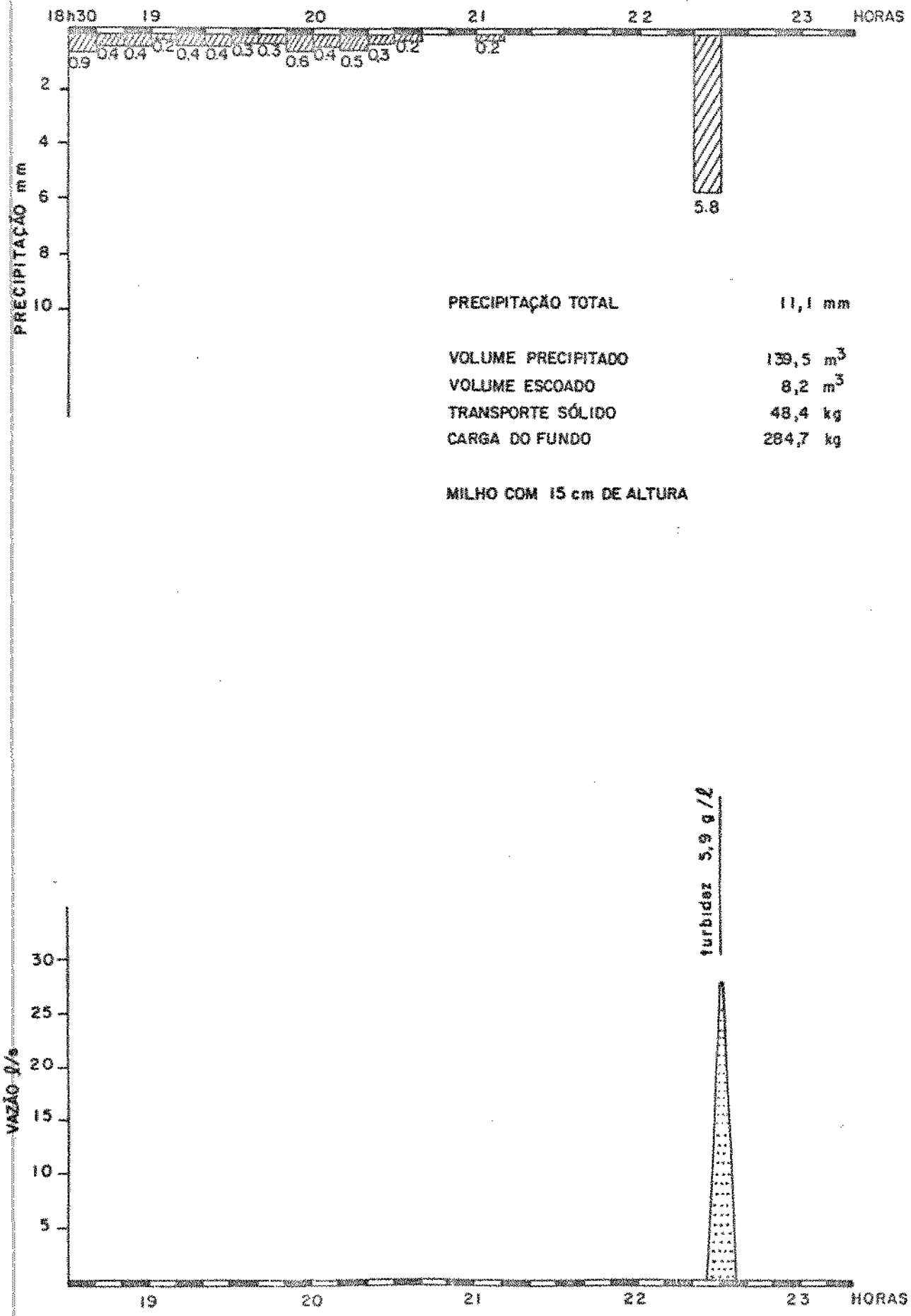
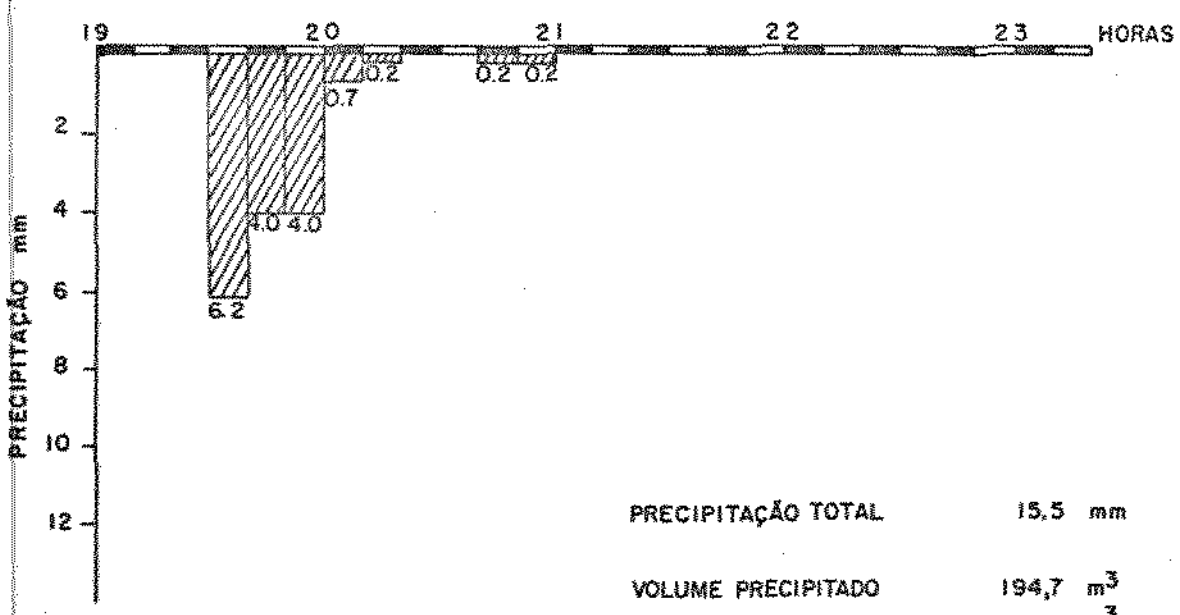


FIG. 5.13 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 04-02-88

DIA 07-02-88 EVENTO 48



PRECIPITAÇÃO TOTAL	15,5	mm
VOLUME PRECIPITADO	194,7	m^3
VOLUME ESCOADO	10,1	m^3
TRANSPORTE SÓLIDO	54,5	kg
CARGA DO FUNDO	162,7	kg

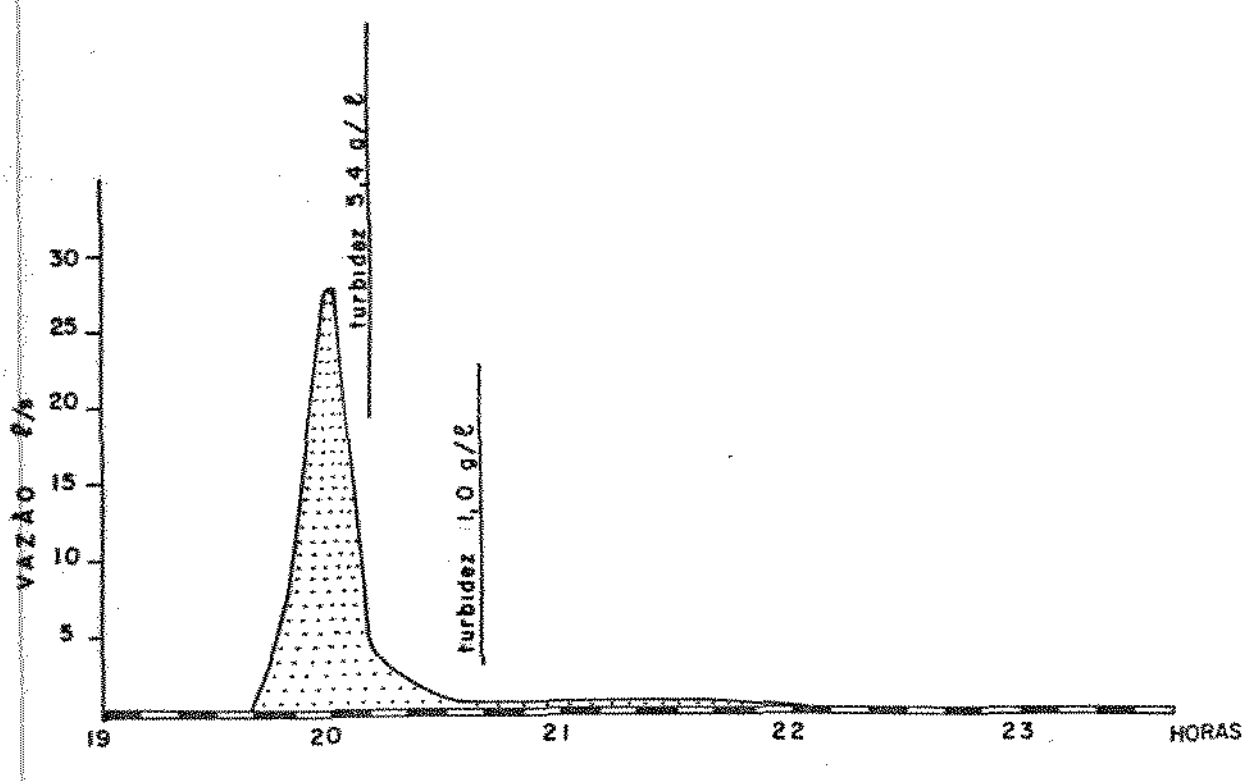


FIG. 5.14 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA - 07-02-88

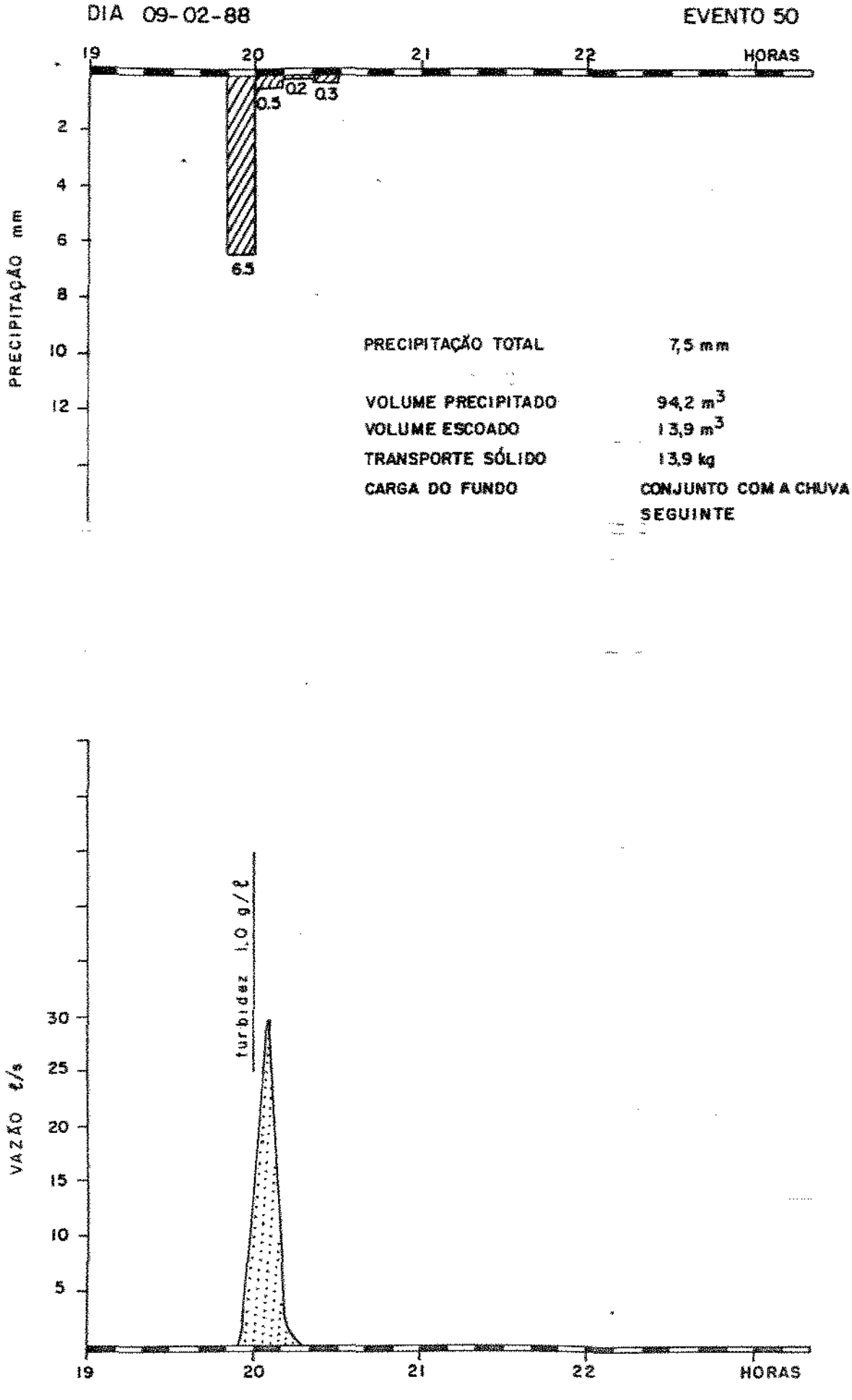
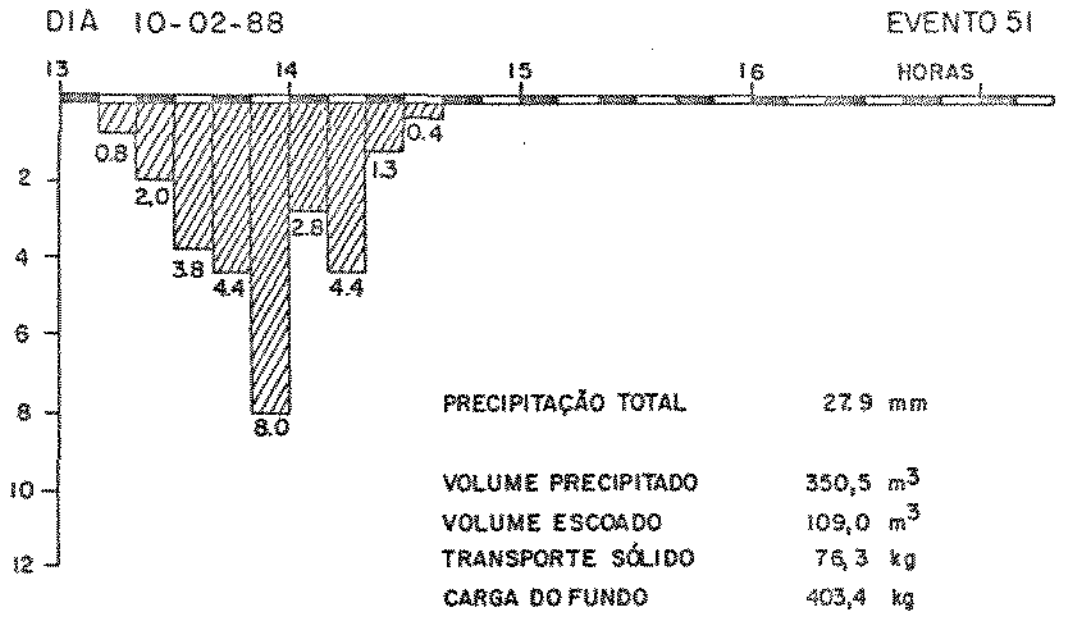


FIG. 5.15 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 09-02-88



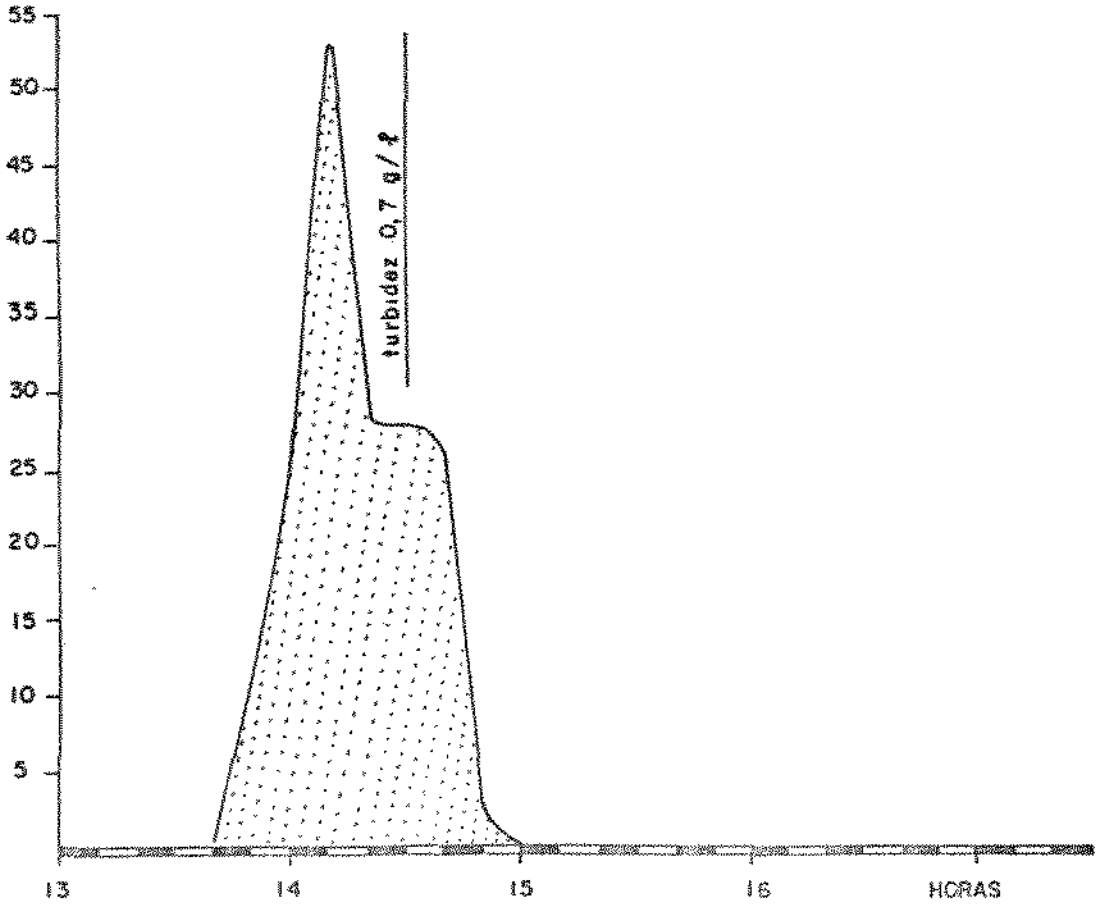


FIG. 5.16 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 10-02-88

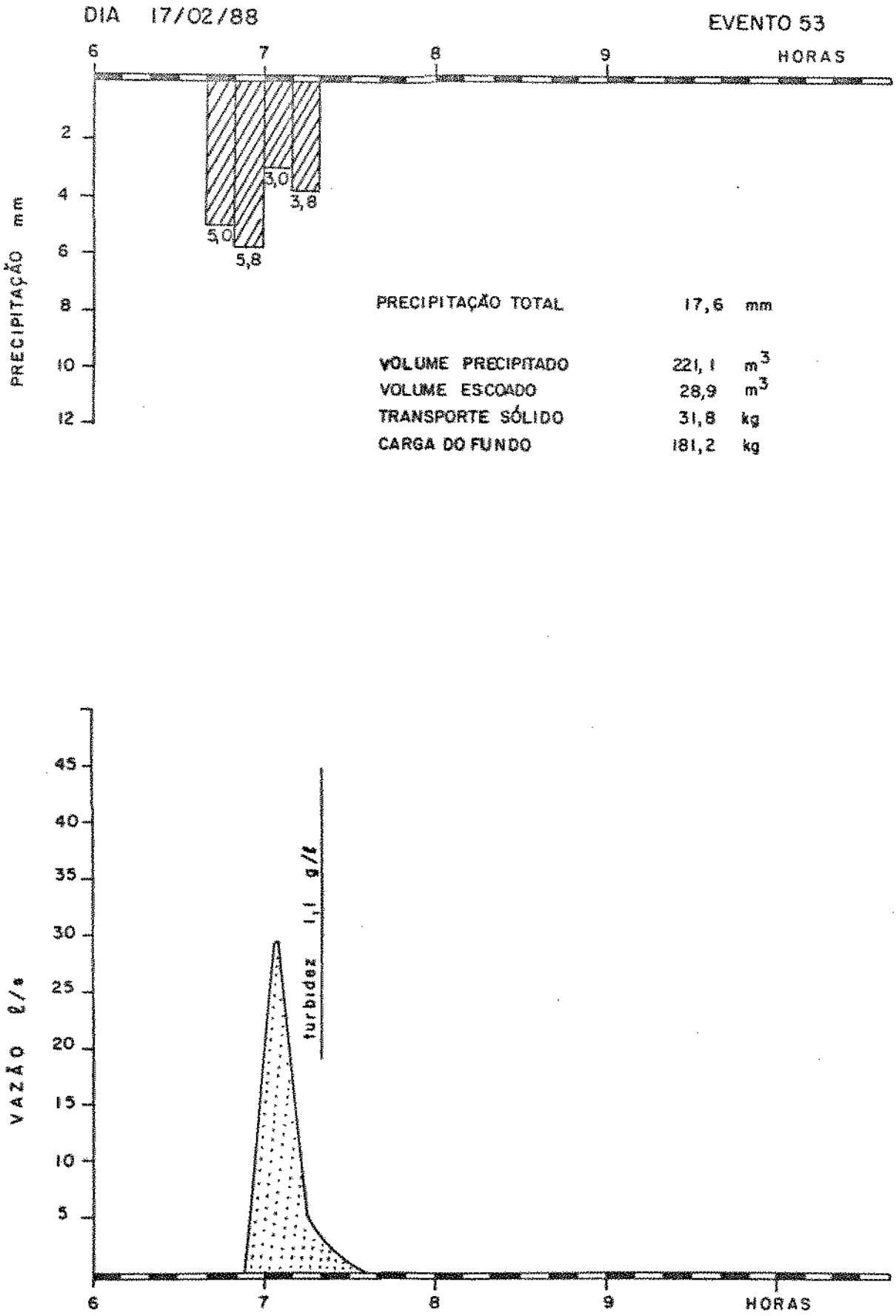


FIG. 5.17 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA – 17/02/88

DIA 18-02-88 EVENTO 55

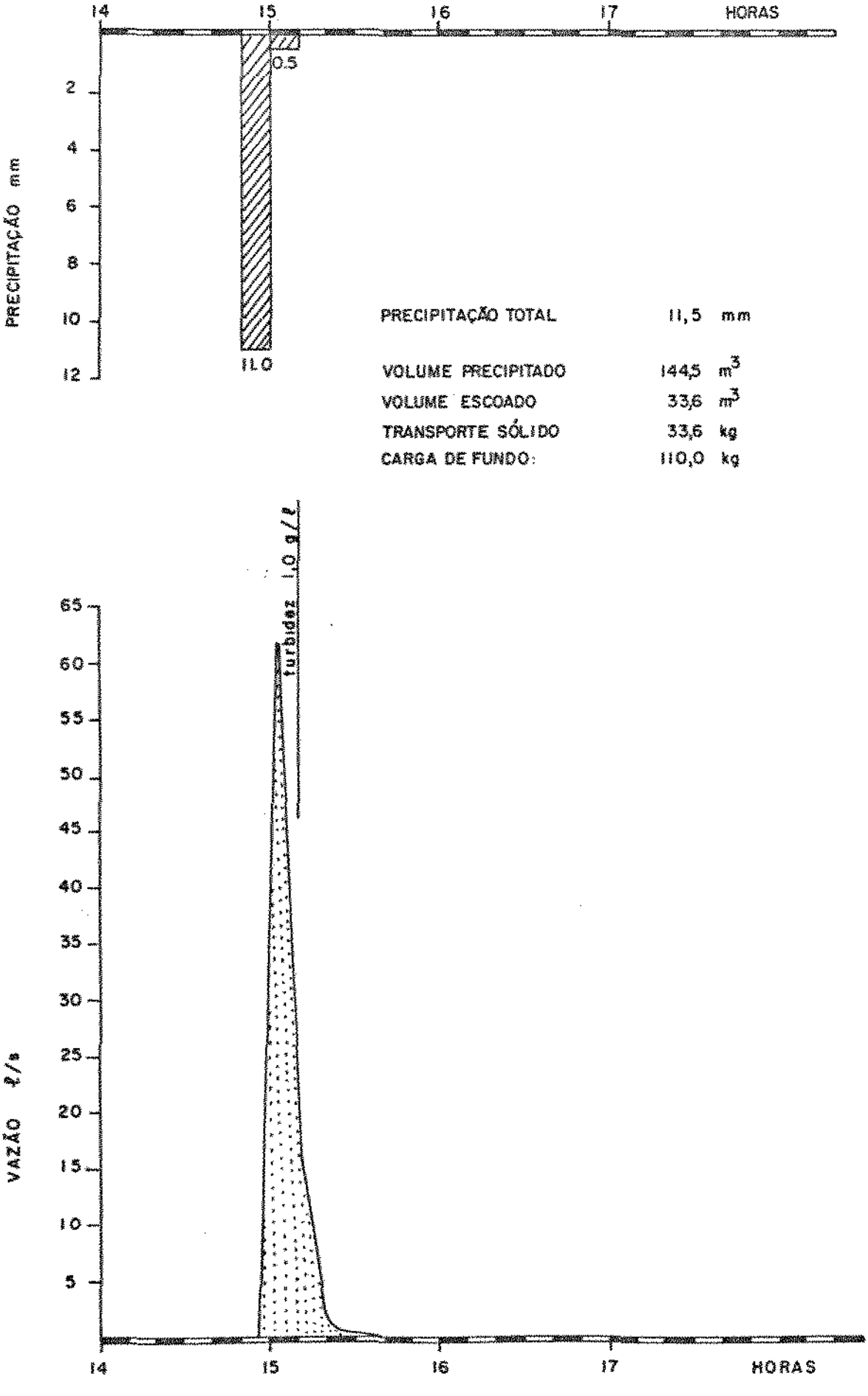


FIG. 5.18 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 18-02-88

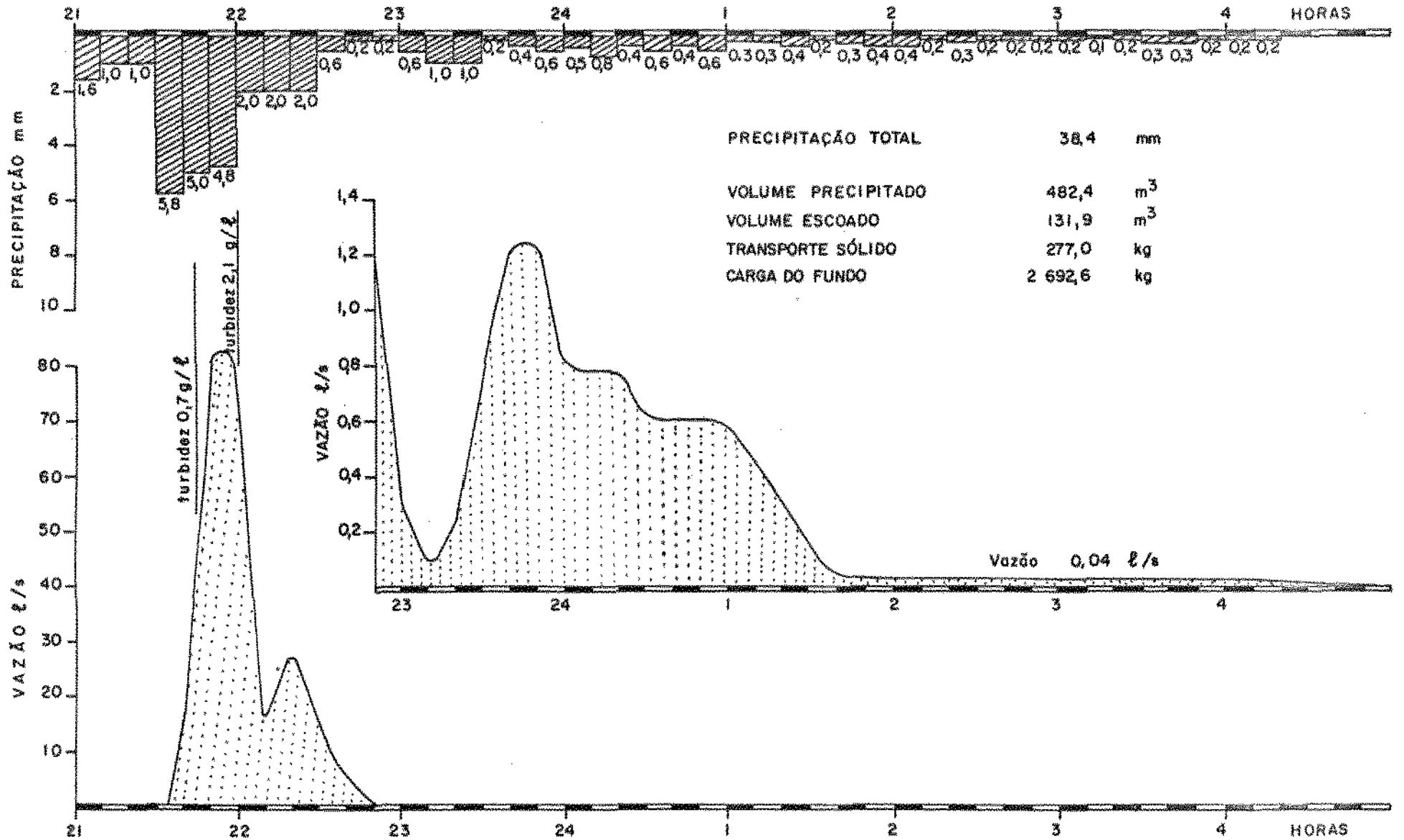


FIG. 5.19 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 19/20-02-88

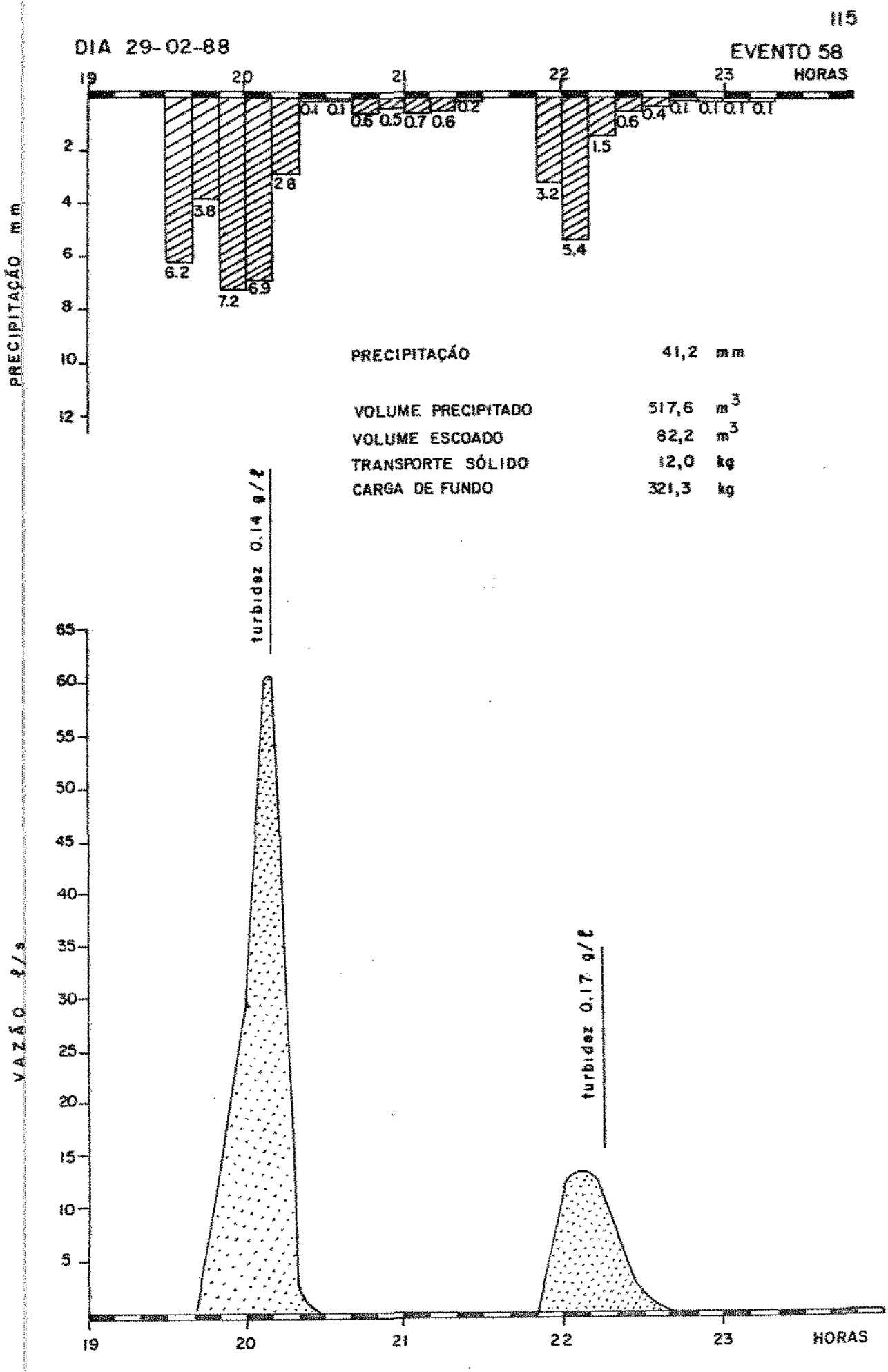


FIG. 5.20 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 29-02-88

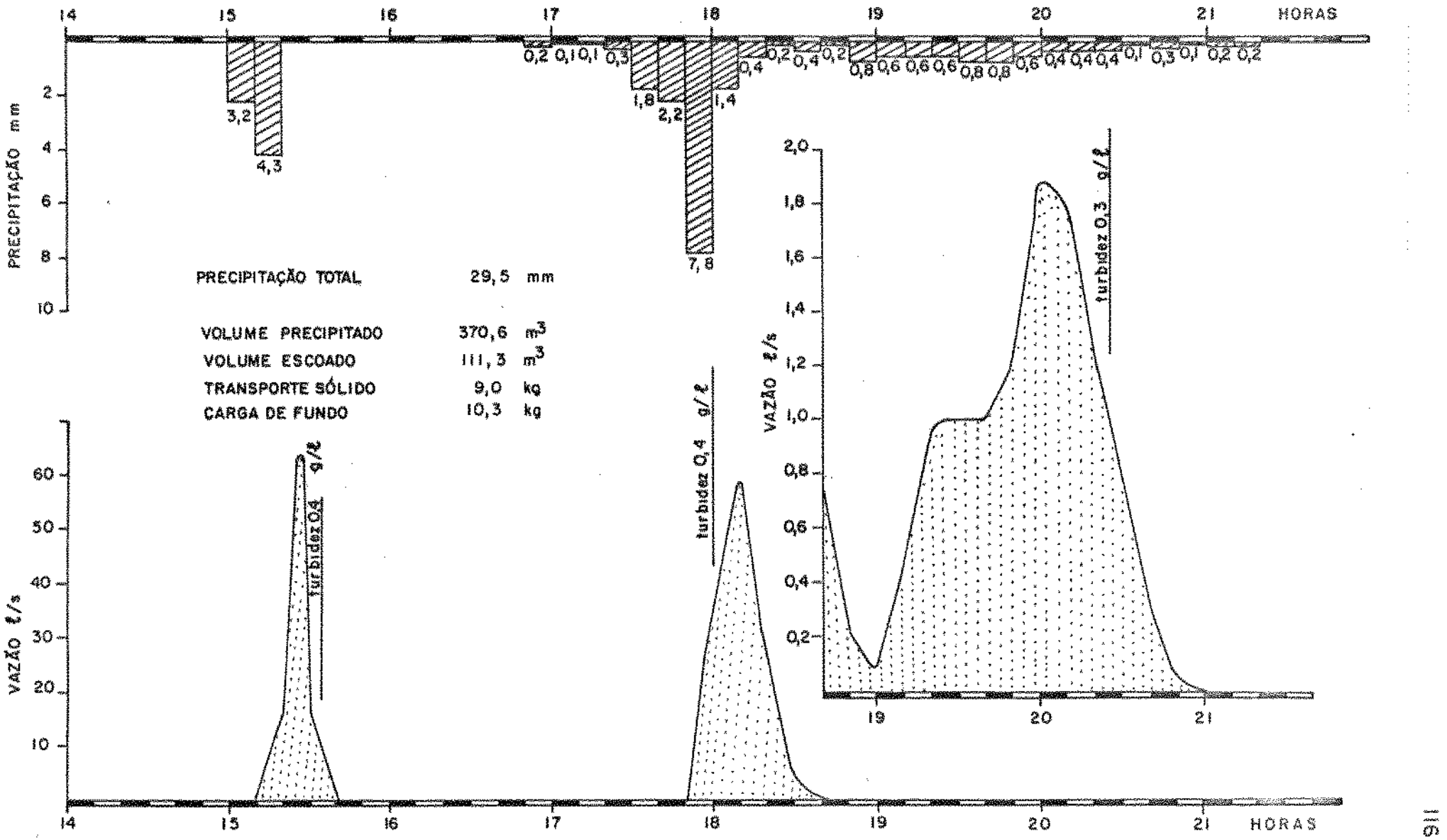
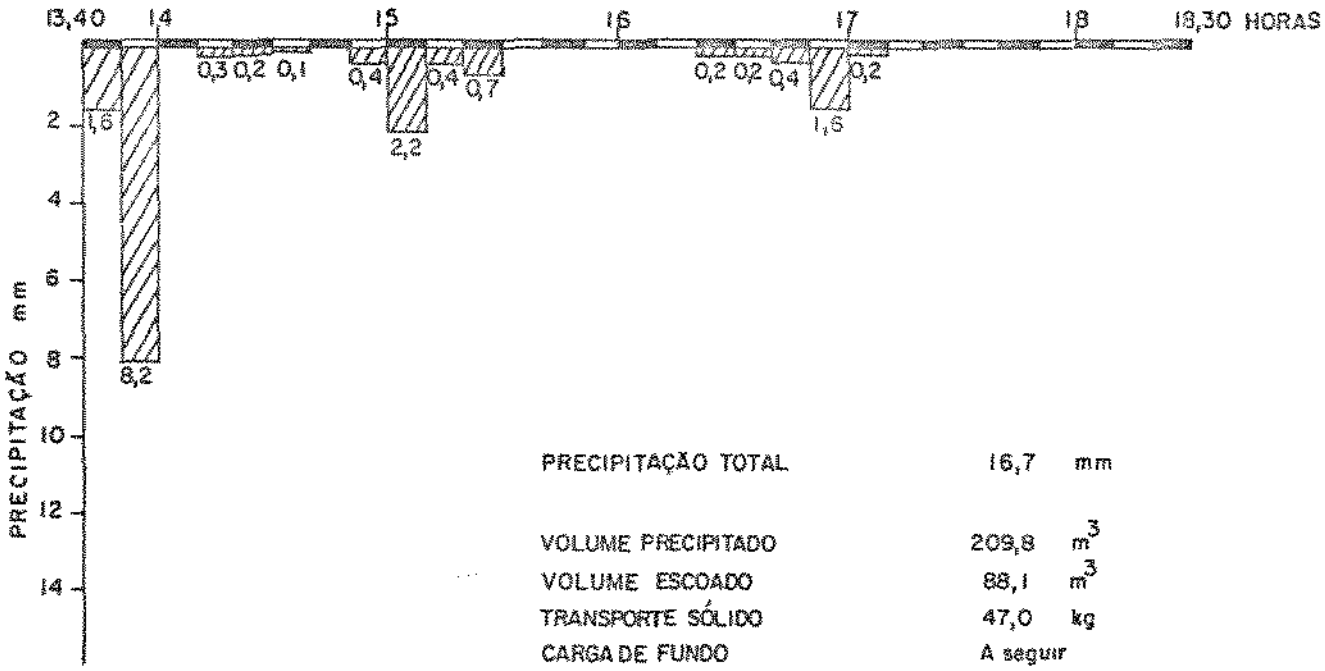


FIG. 5.21 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 01-03-88

DIA 02-03-88 EVENTO 60



PRECIPITAÇÃO TOTAL	16,7	mm
VOLUME PRECIPITADO	209,8	m^3
VOLUME ESCOADO	88,1	m^3
TRANSPORTE SÓLIDO	47,0	kg
CARGA DE FUNDO	A seguir	

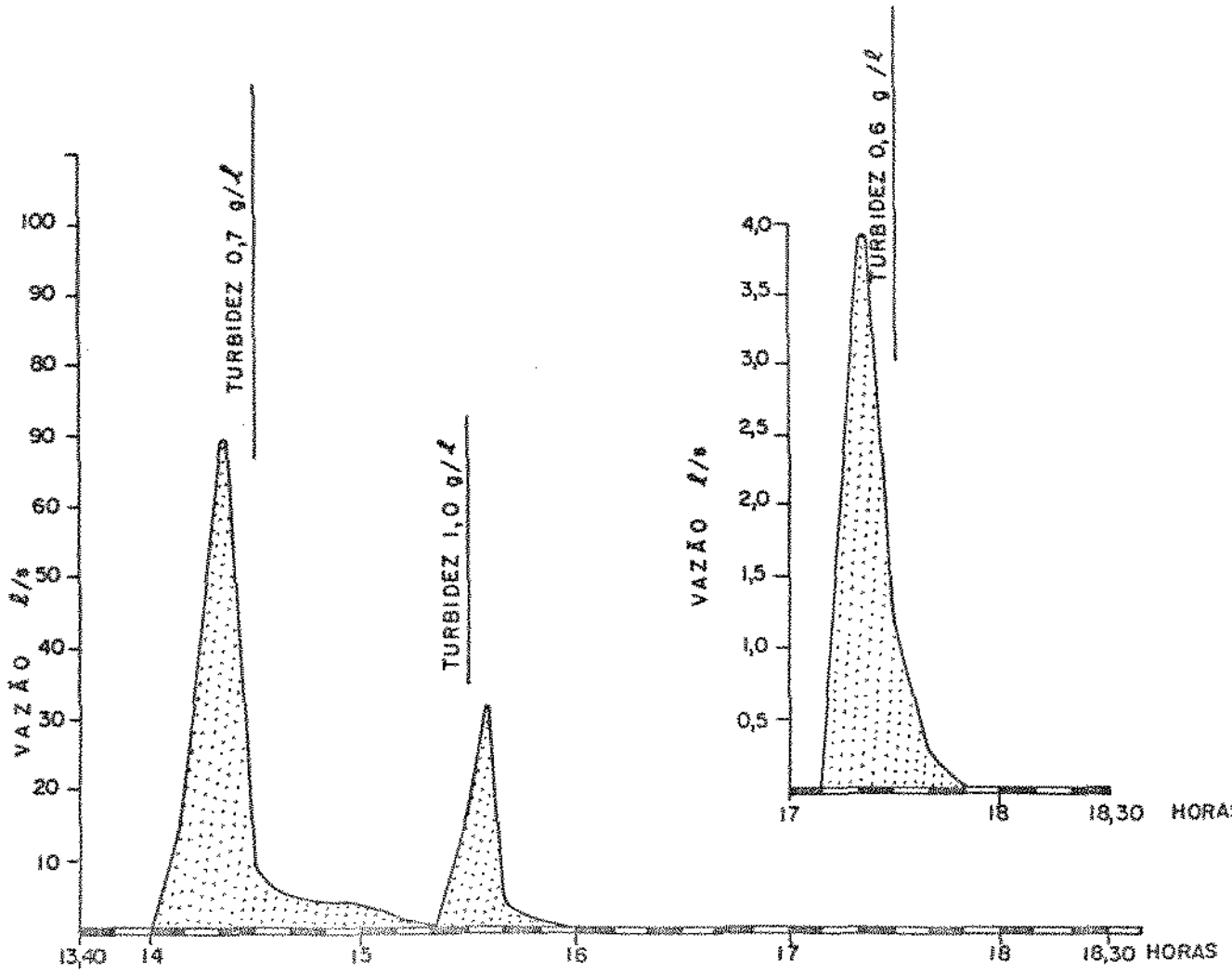


FIG. 5.22 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 02-03-88

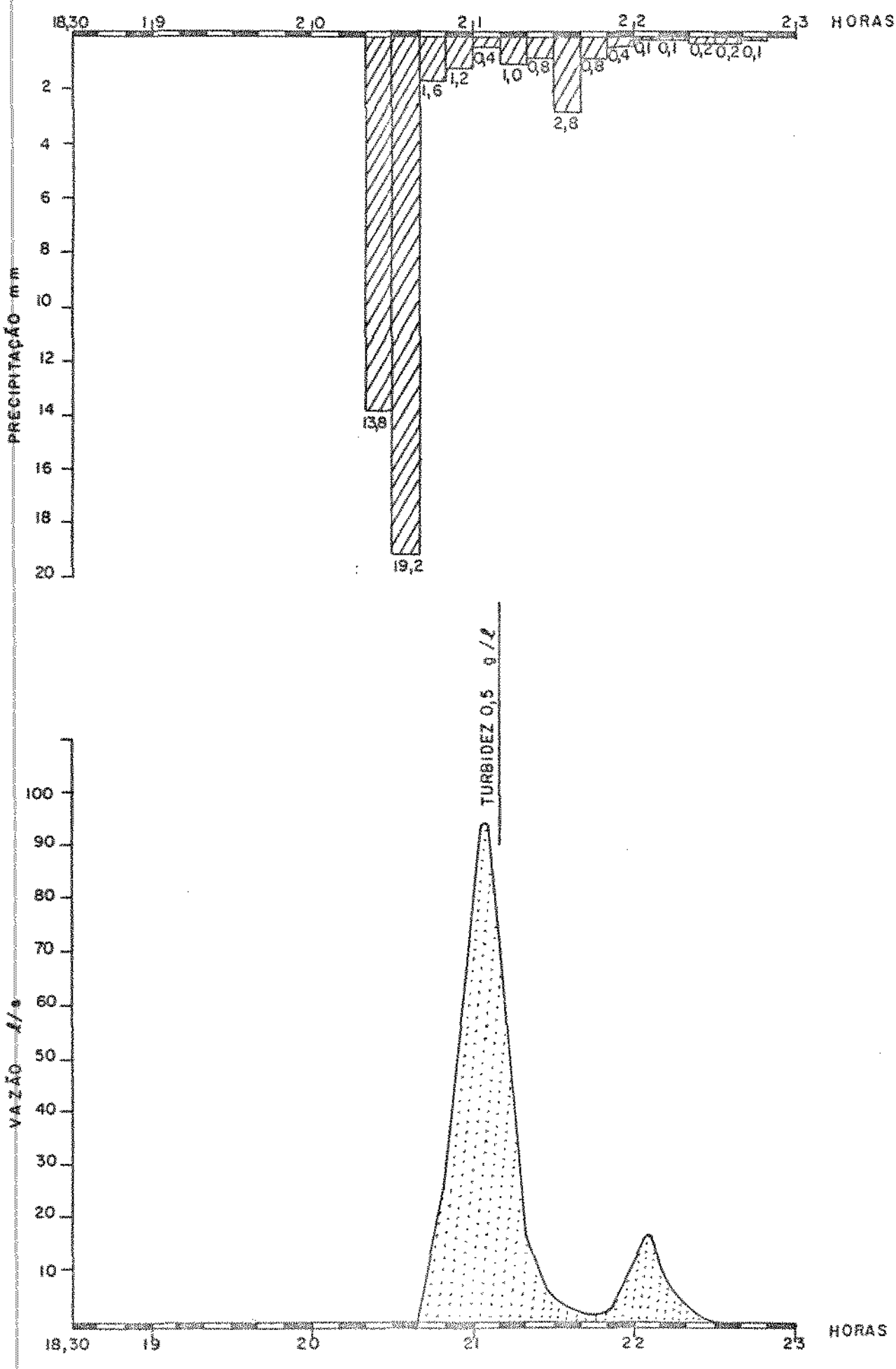


FIG. 5.23 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 02-03-88

DIA 02-03-88

EVENTO 61

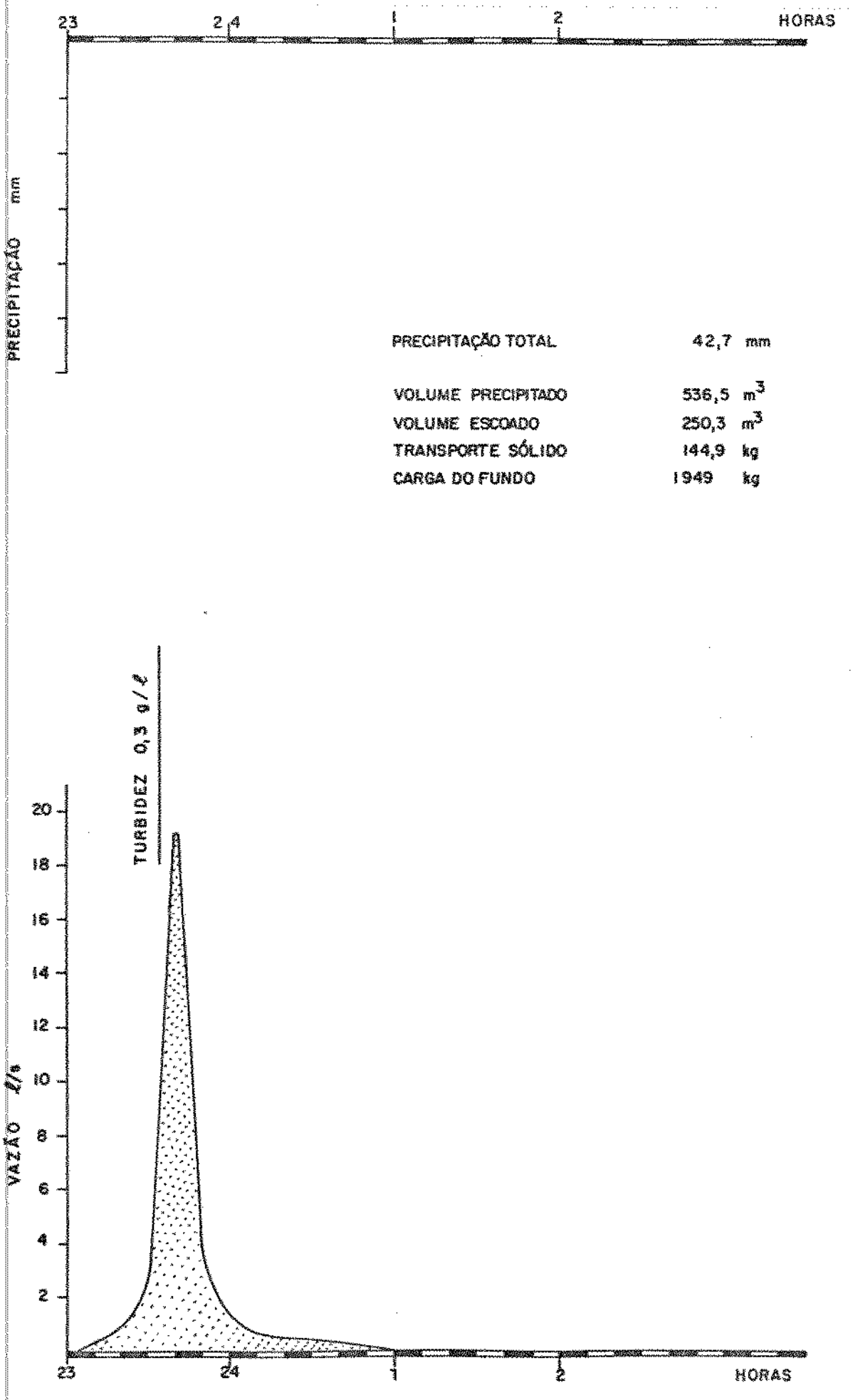


FIG. 5.24 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 02-03-88

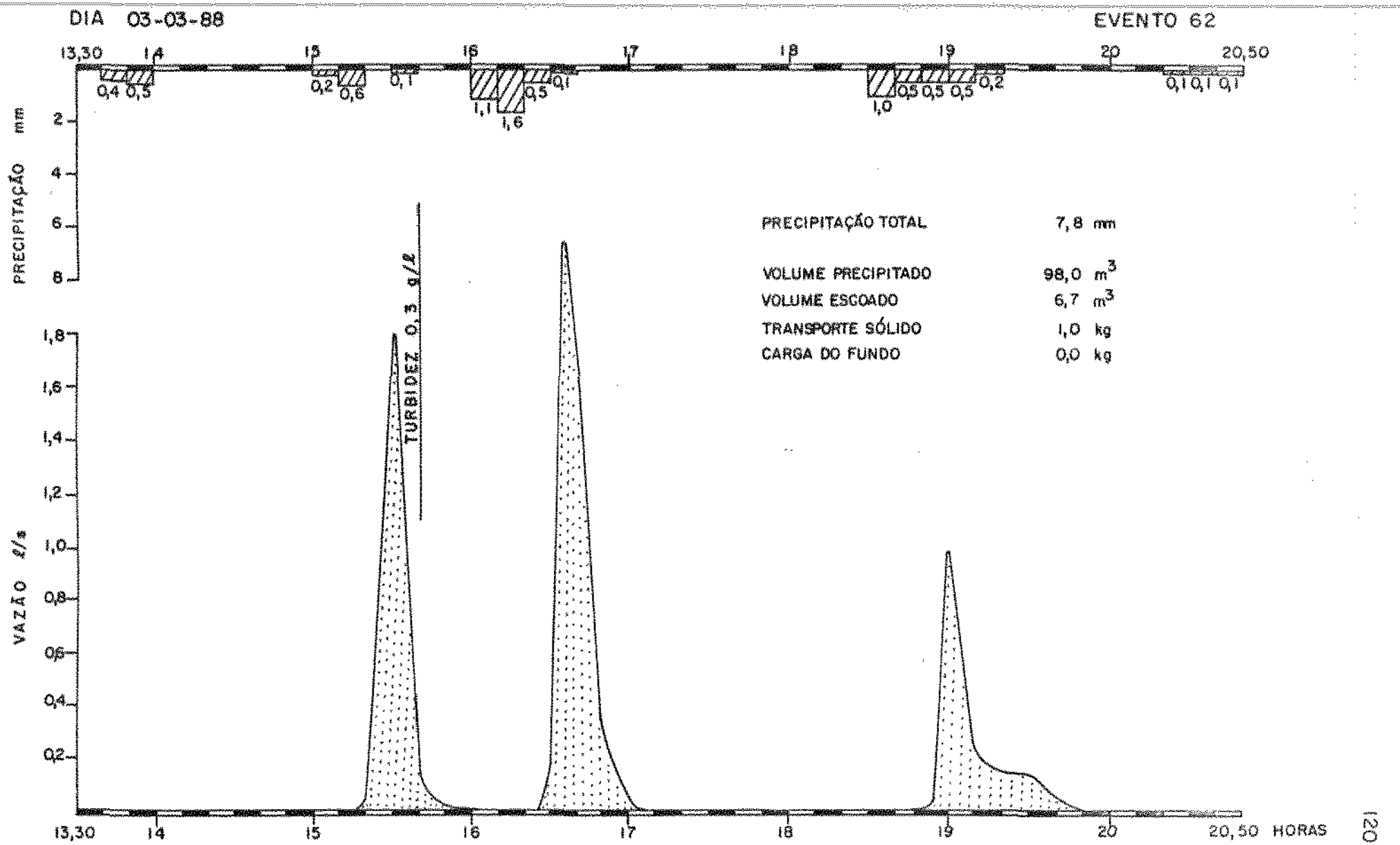


FIG. 5.25 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA - 03-03-88

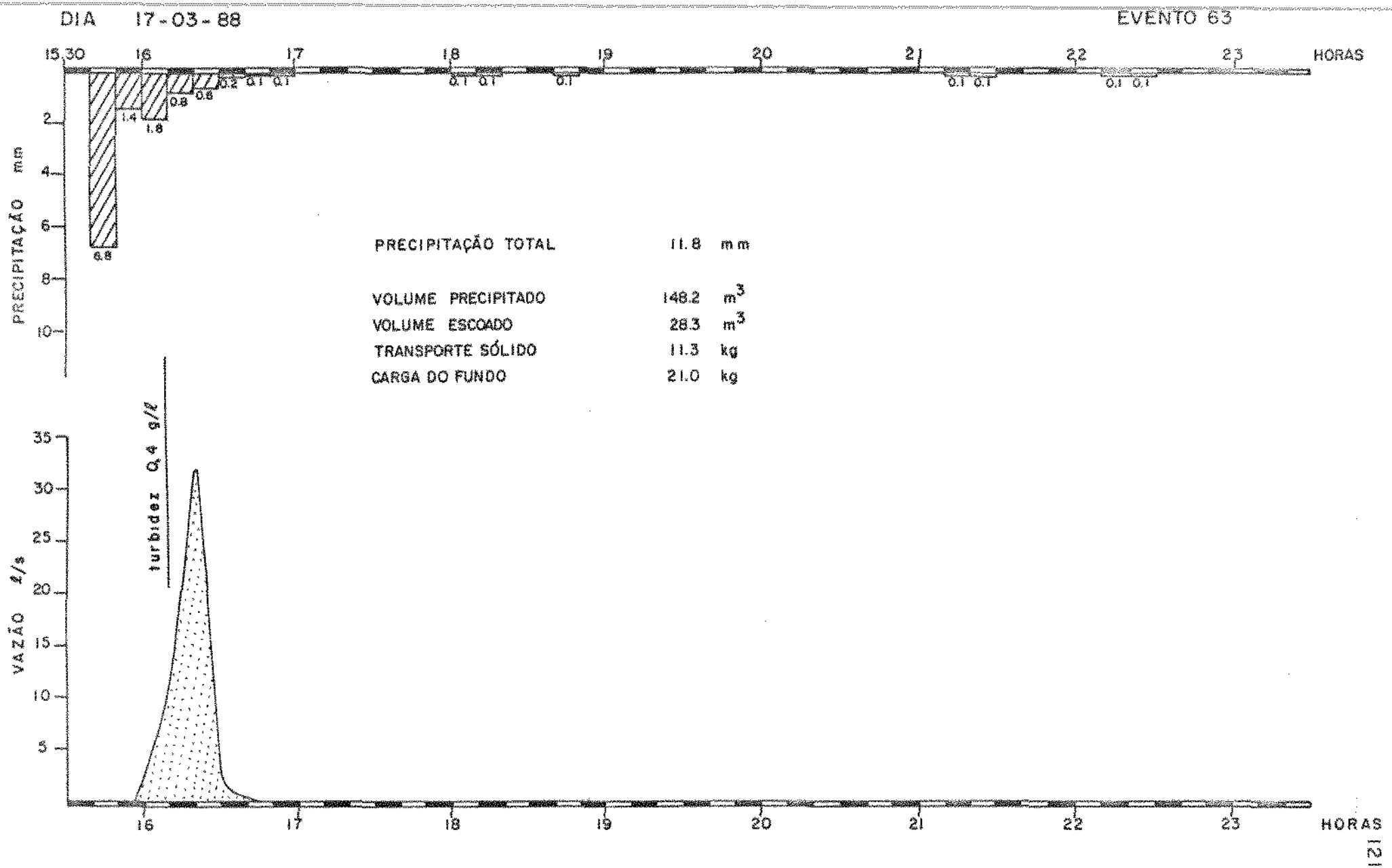


FIG. 5.26 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 17-03-88

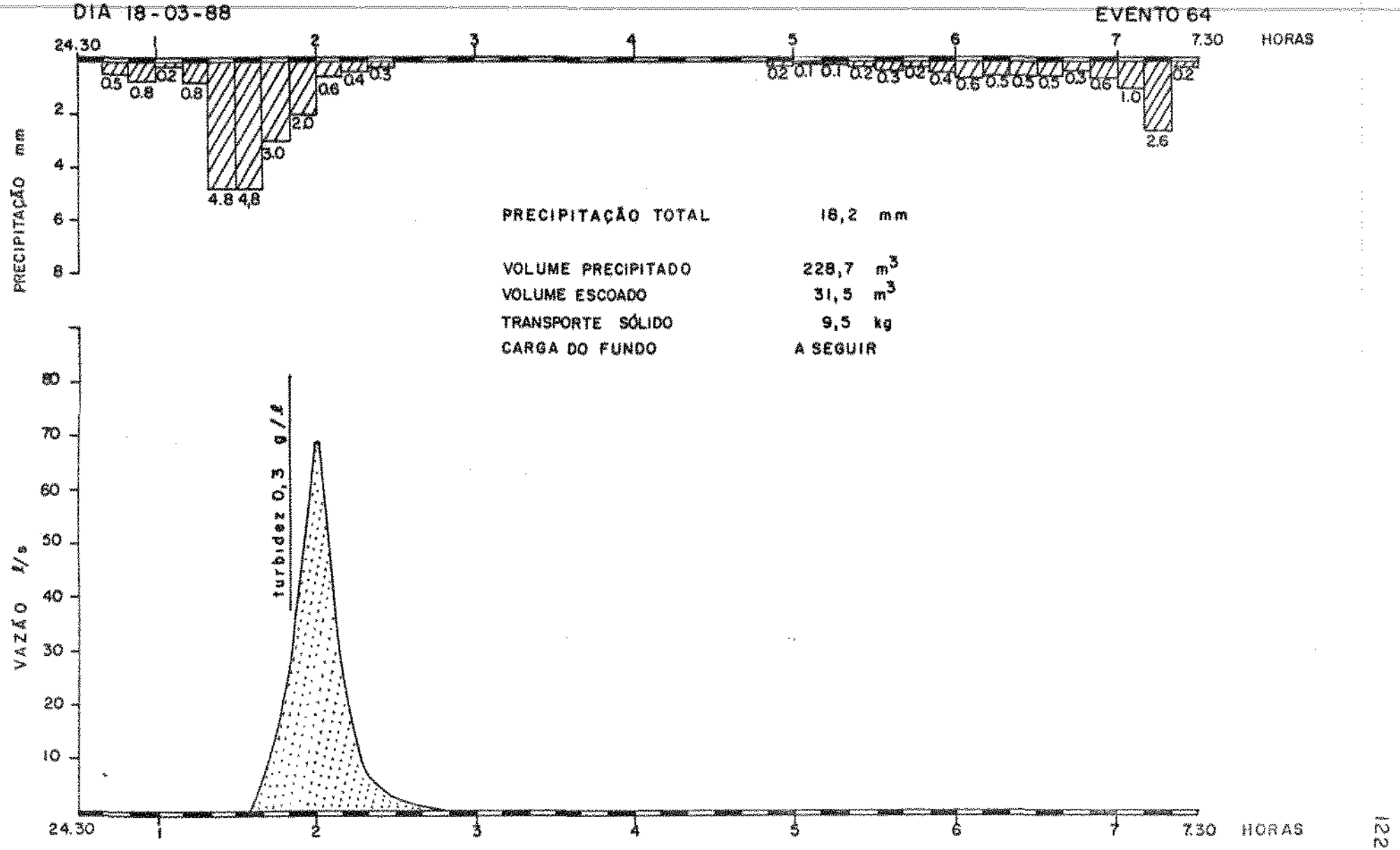


FIG. 5.27 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 18-03-88

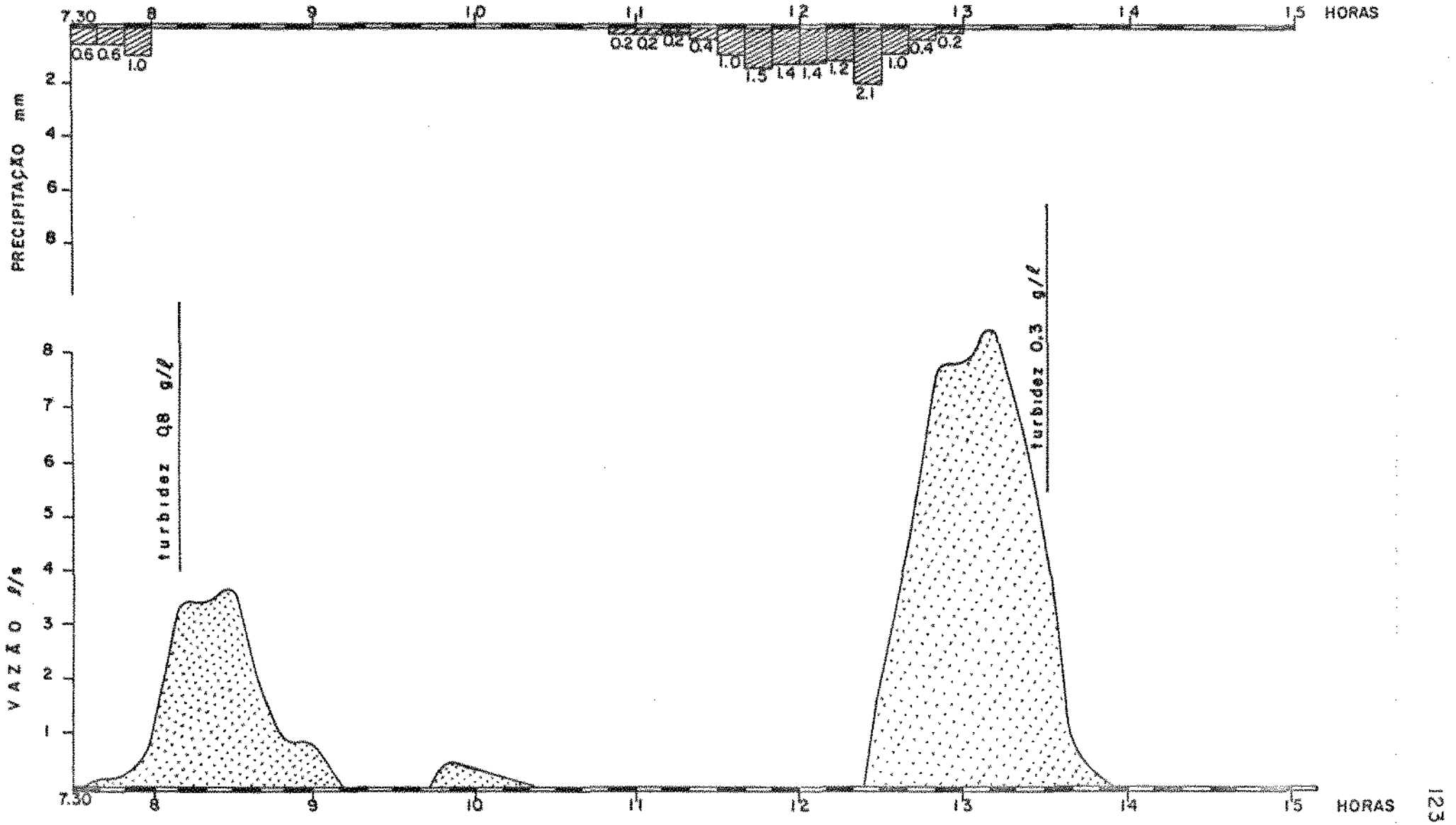


FIG. 5.28 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 18-03-88 (Continua...)

DIA 18-03-88 EVENTO 65

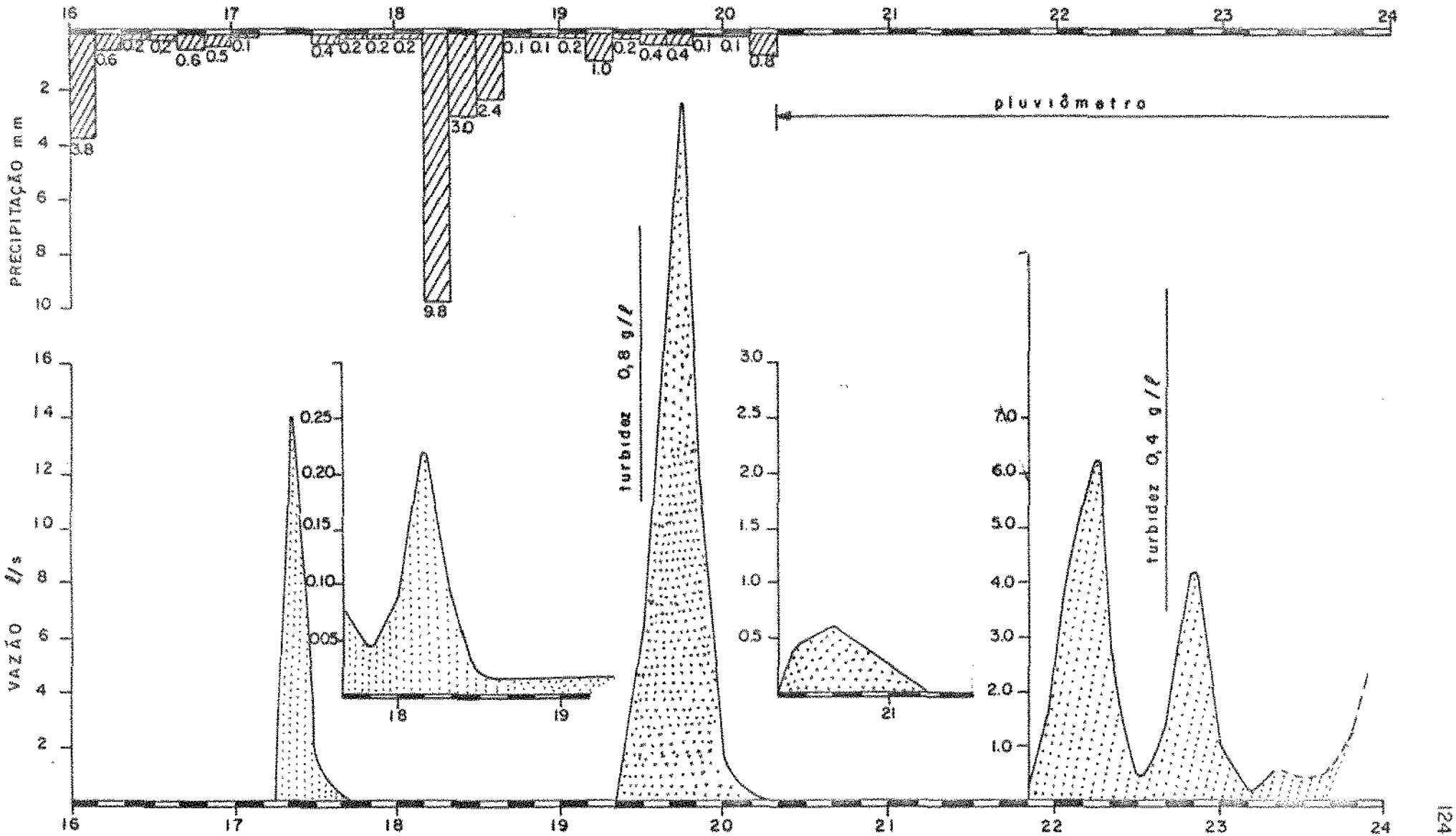


FIG. 5.29 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 18-03-88 (continua...)

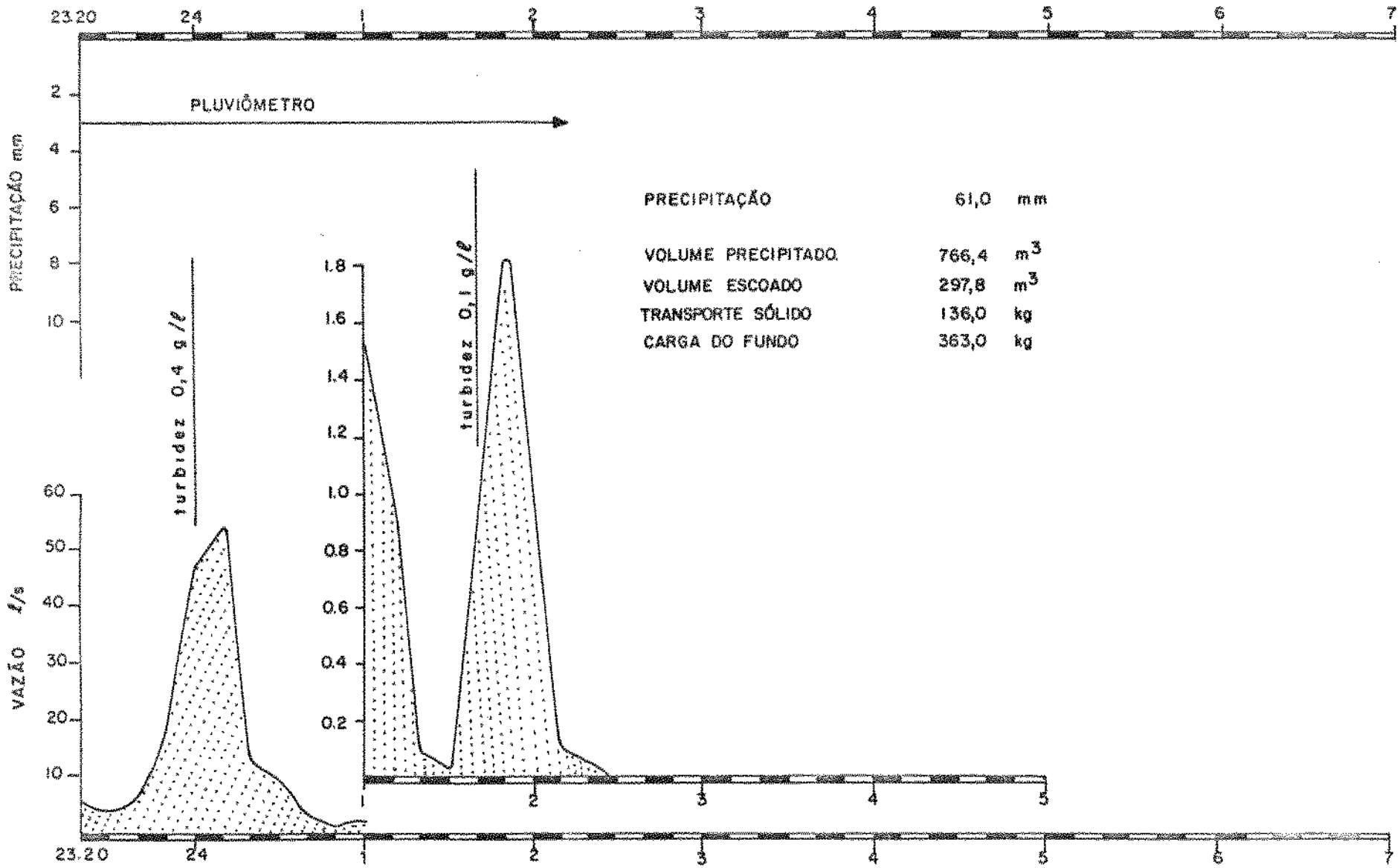
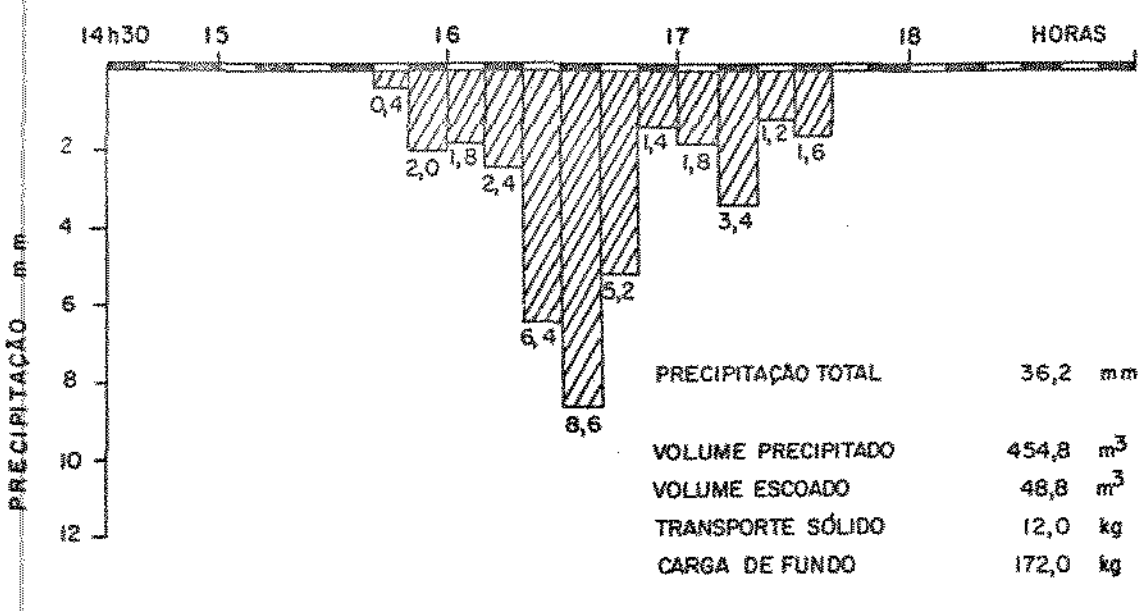


FIG 5.30 – HIDROGRAMA 19-03-88 – (...Continuação)

DIA 07-04-88 EVENTO 66



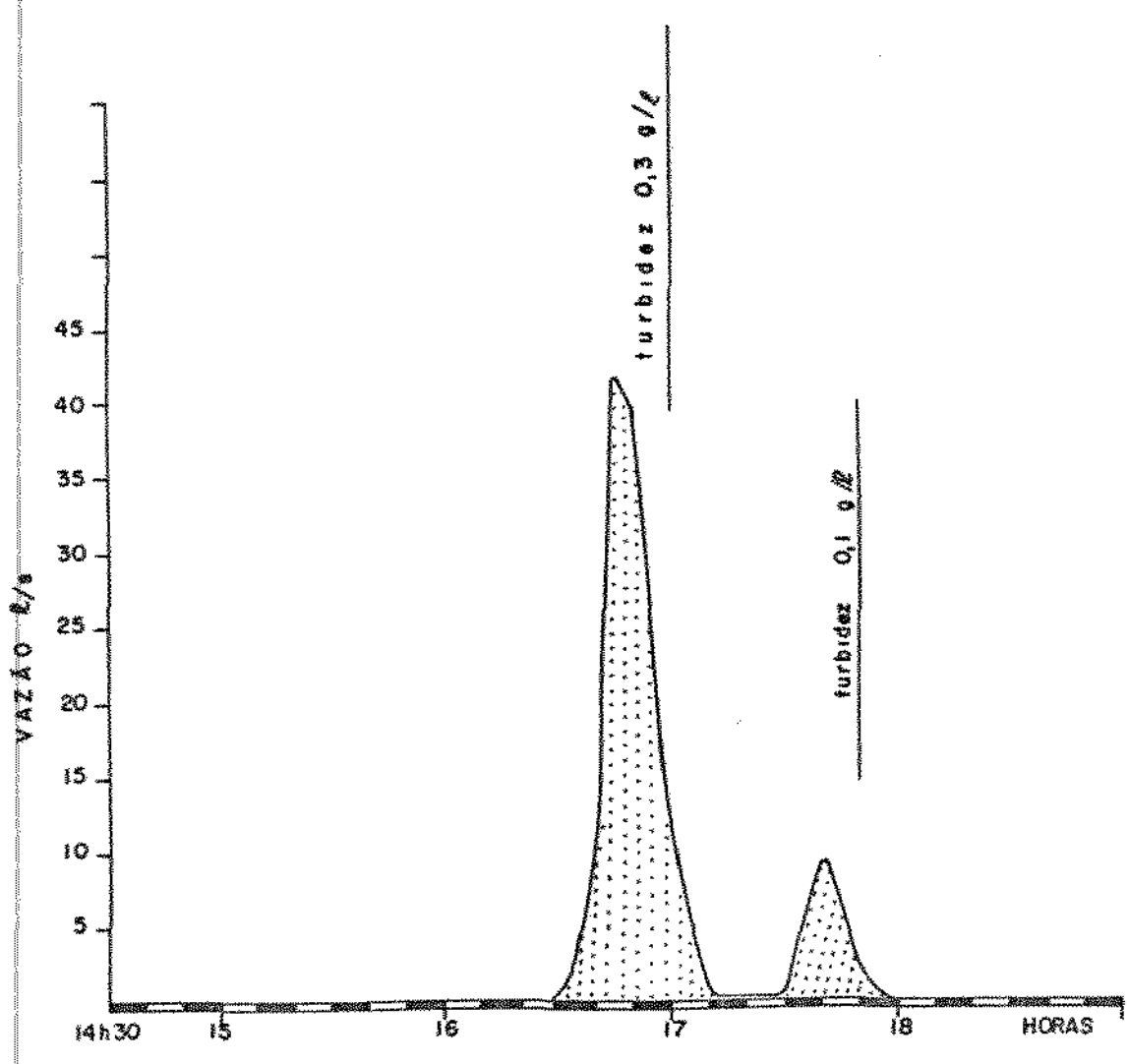


FIG. 5.31 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 07-04-88

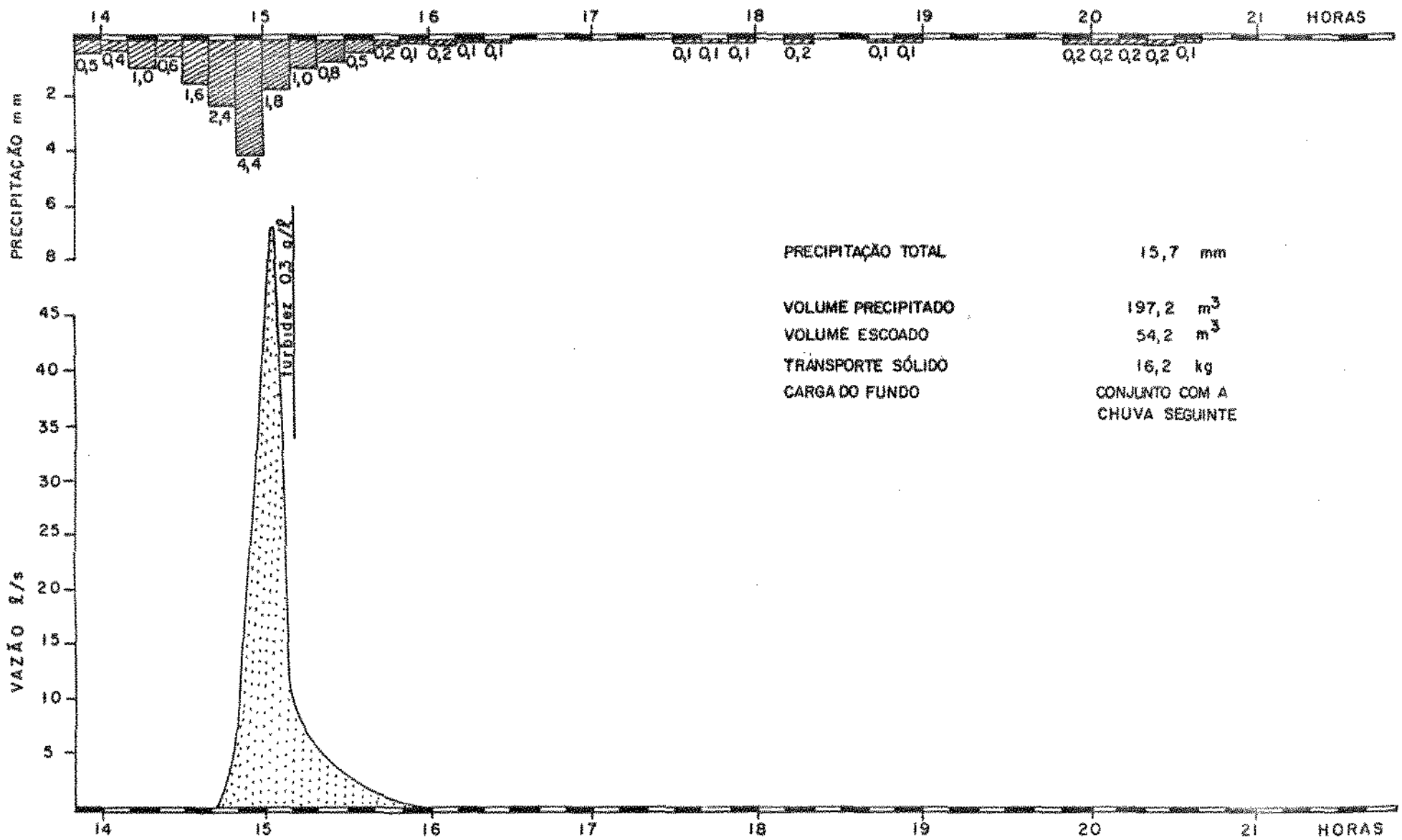


FIG. 5.32 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA - 13-04-88

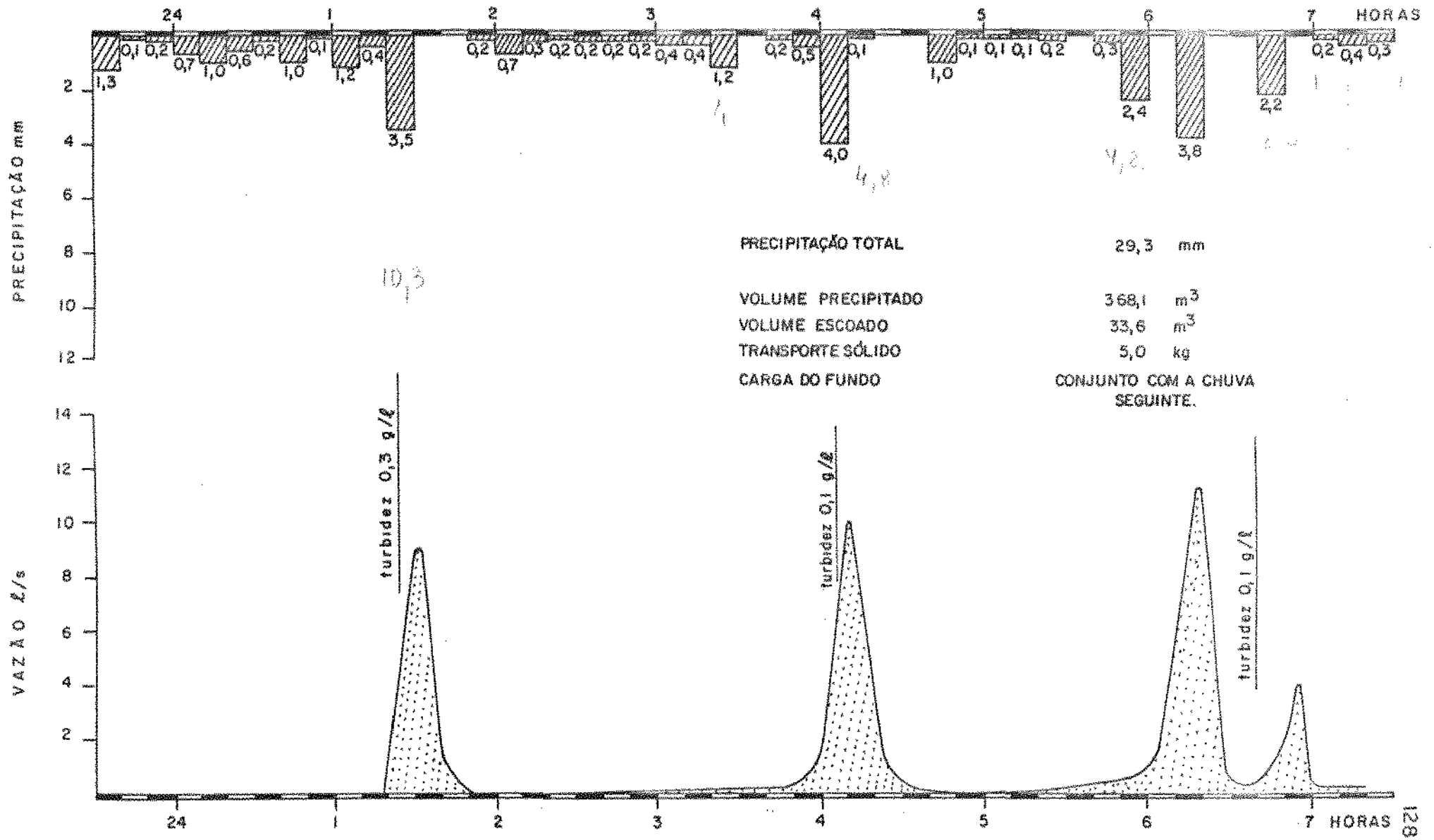
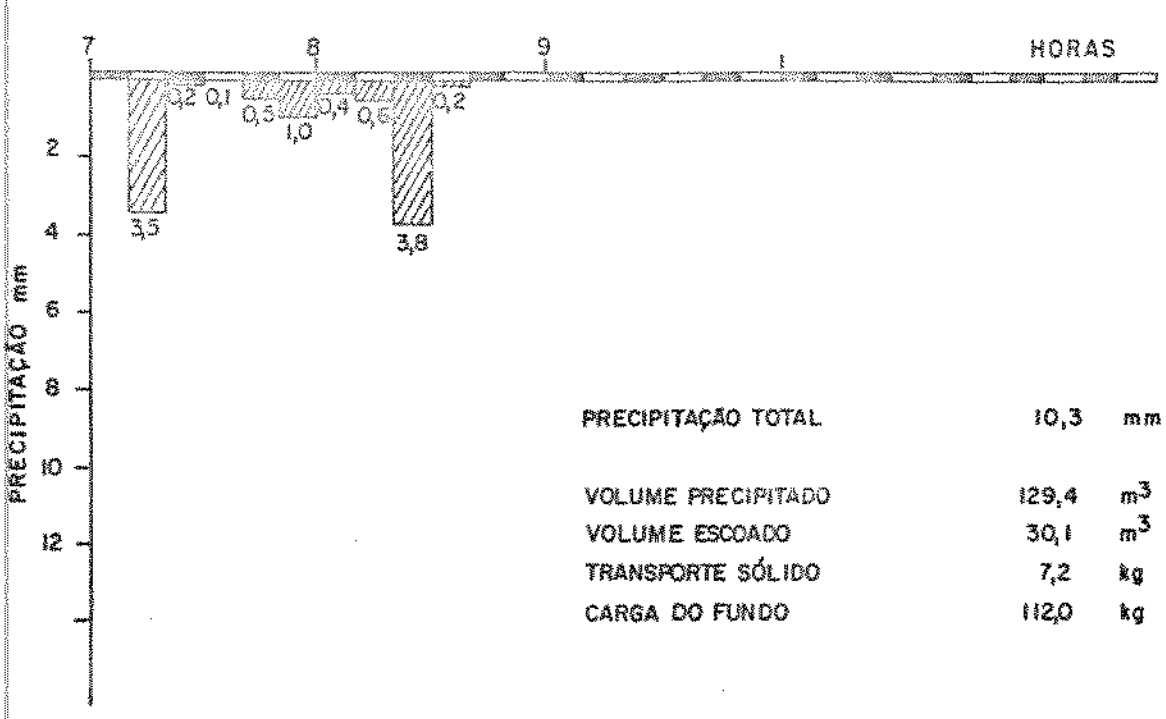


FIG. 5.33 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 14-04-88

DIA 14-04-88 EVENTO 69



PRECIPITAÇÃO TOTAL	10,3	mm
VOLUME PRECIPITADO	129,4	m^3
VOLUME ESCOADO	30,1	m^3
TRANSPORTE SÓLIDO	7,2	kg
CARGA DO FUNDO	112,0	kg

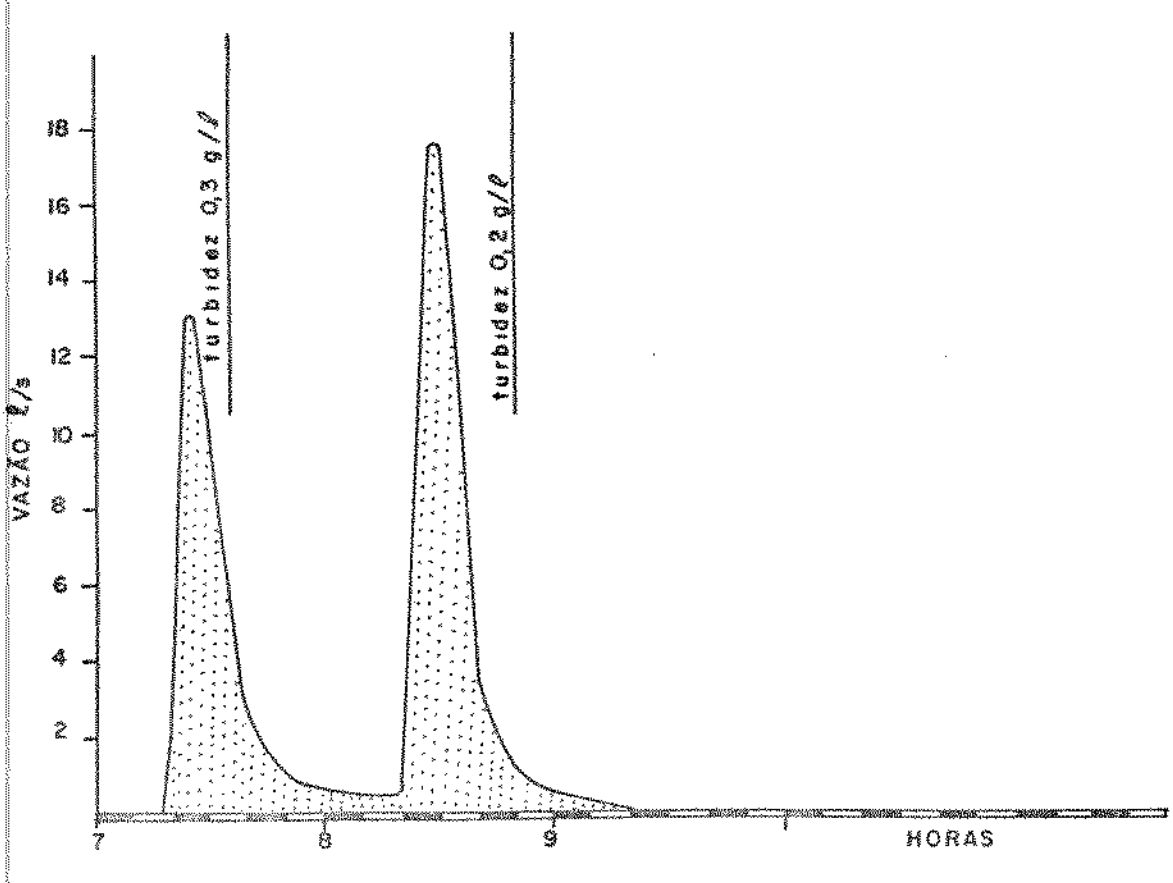


FIG. 5.34 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 14-04-88

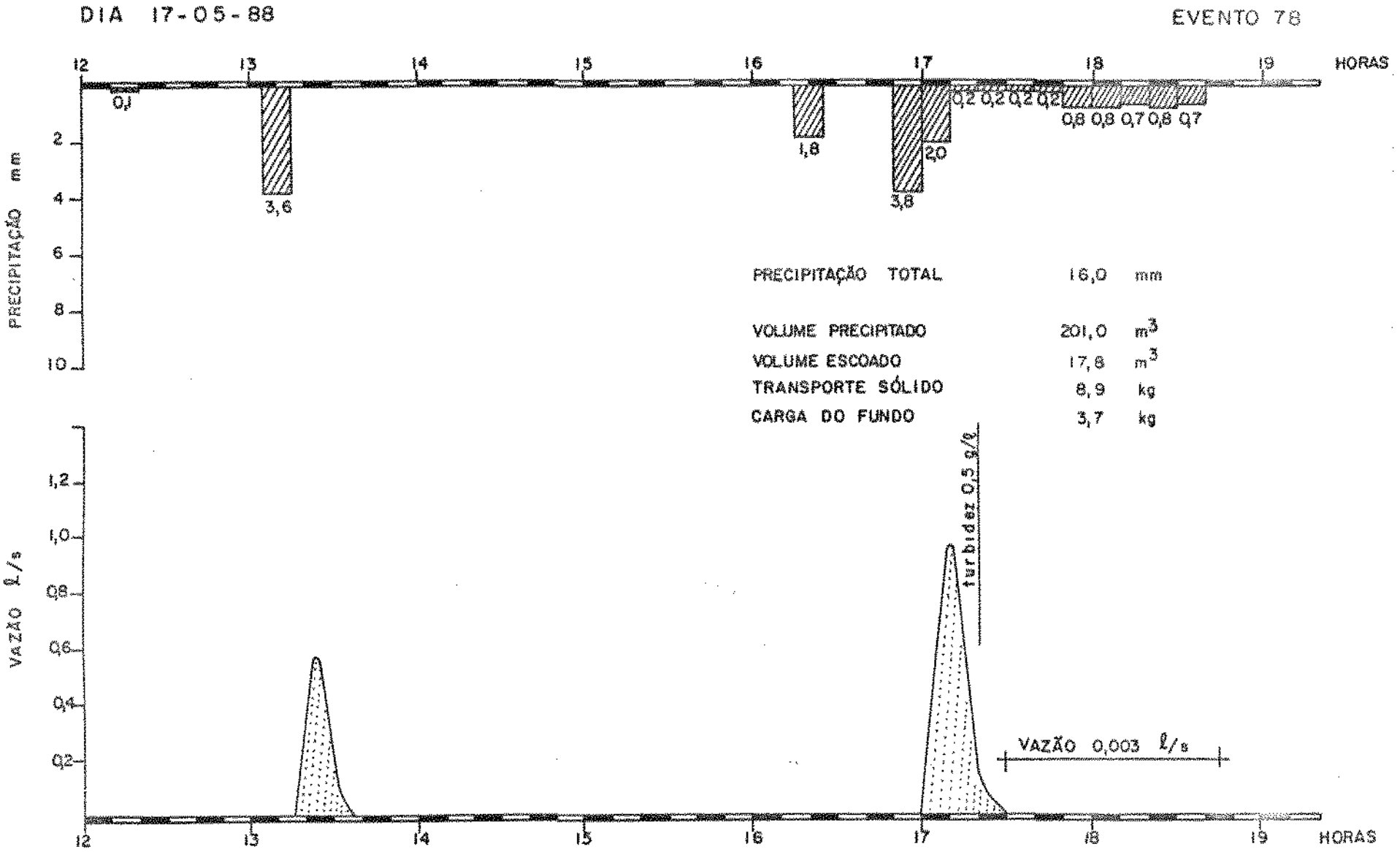
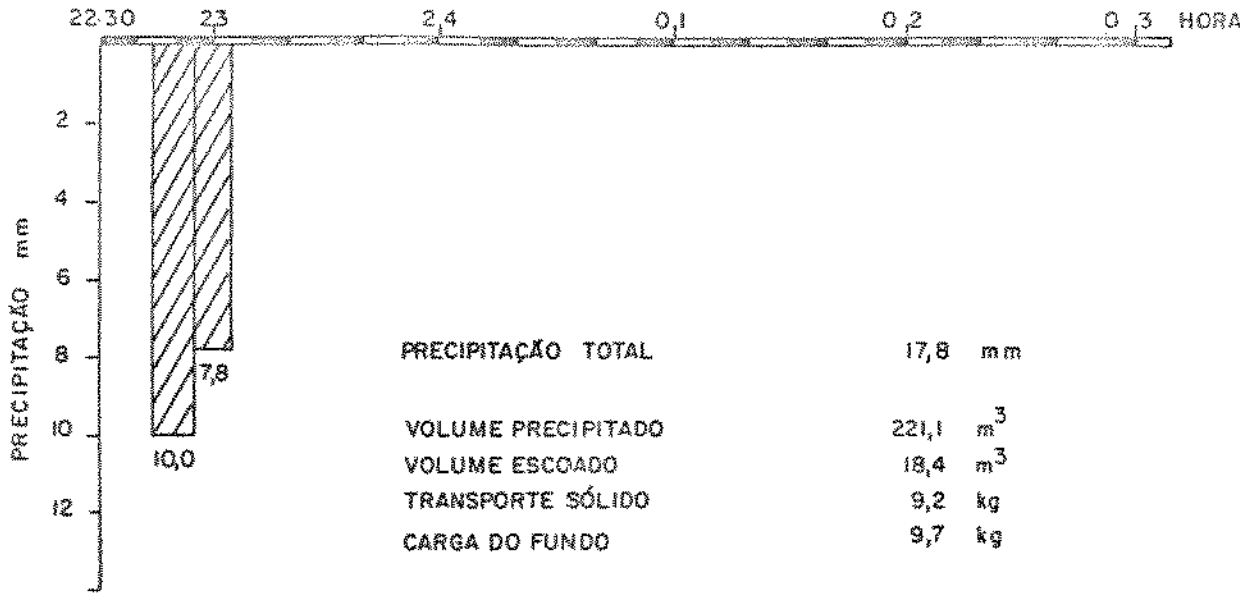


FIG. 5.35 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 17-05-88

DIA 21/05/88 EVENTO 79



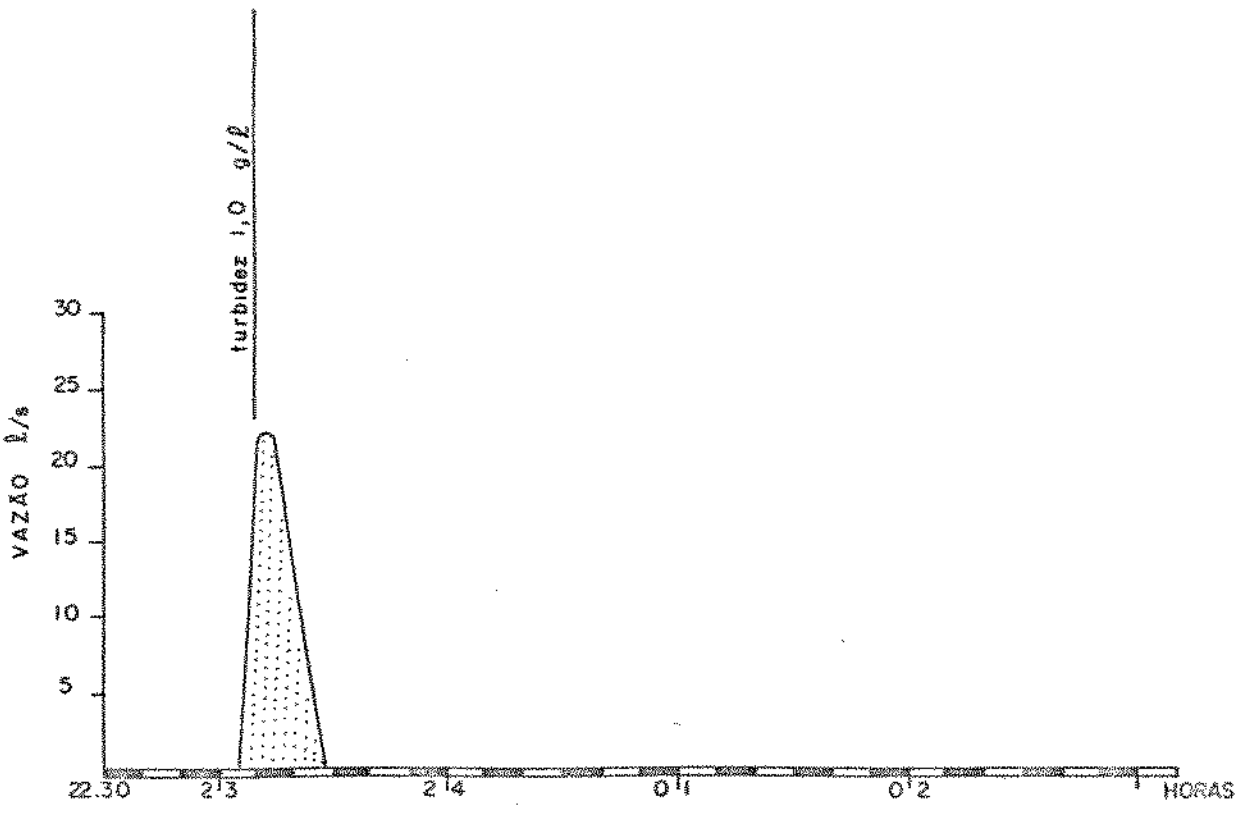


FIG. 5.36 - HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 21/05/88

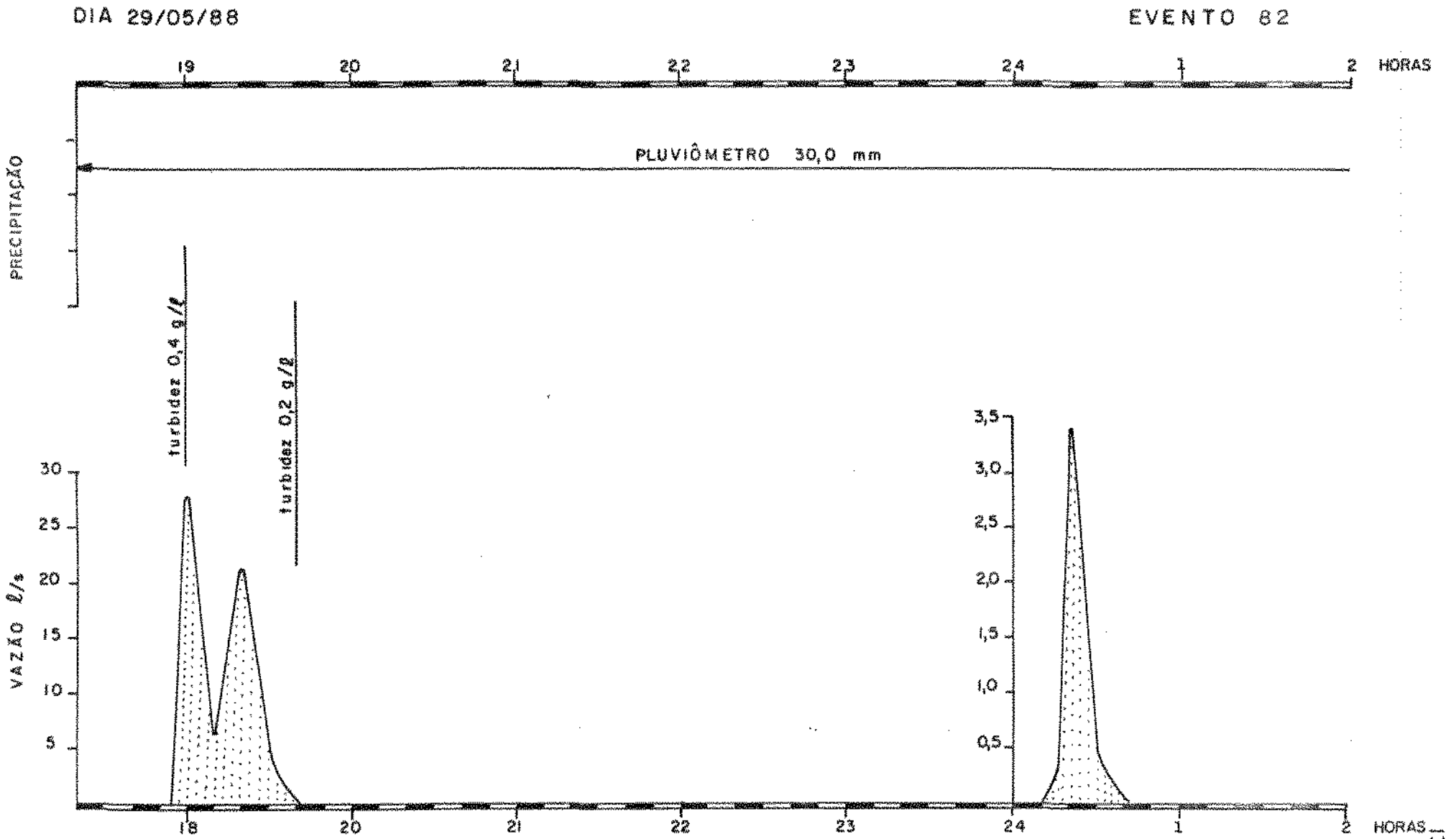
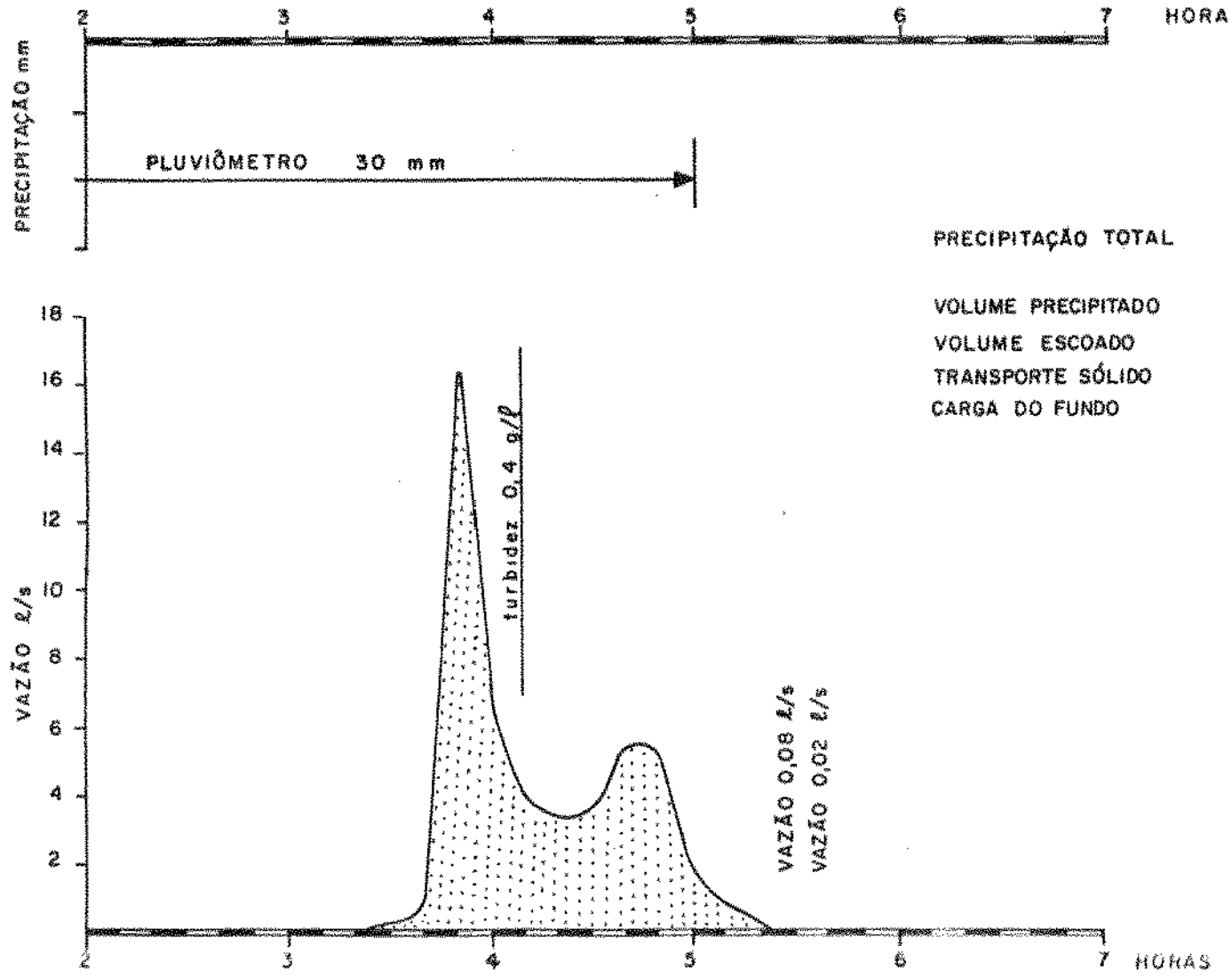


FIG. 5.37 – HIDROGRAMA 29/05/88

DIA 30/05/88

EVENTO 82



PRECIPITAÇÃO TOTAL	30,0	mm
VOLUME PRECIPITADO	376,9	m^3
VOLUME ESCOADO	62,6	m^3
TRANSPORTE SÓLIDO	25,0	kg
CARGA DO FUNDO	10,3	kg

FIG. 5.38 - H I D R O G R A M A 30/05/88

DIA 03/06/88 EVENTO 85

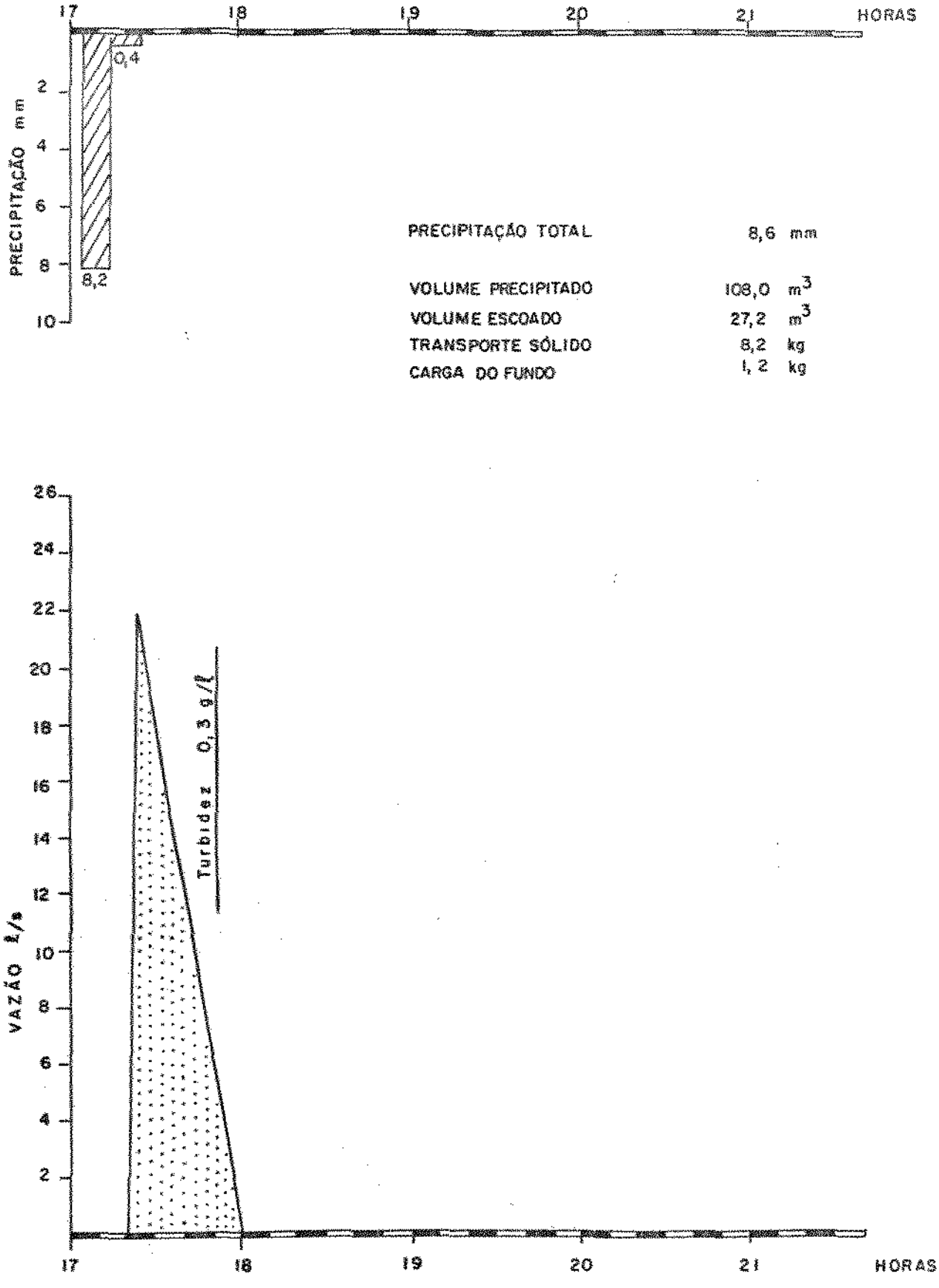


FIG. 5.39 – HIETOGRAMA E HIDROGRAMA 03/06/88

co muito rápido característico de bacias muito pequenas. A bacia é de resposta imediata, não apresentando qualquer tempo de retardamento.

Pelo hidrogramas foi possível calcular o volume escoado.

Os maiores volumes se verificaram nos seguintes eventos:

Evento nº	Volume Escoado Ve - m³
65	297,8
61	250,3
56	131,9
46	119,0
59	111,3

Foram apurados os seguintes dados anuais da bacia:

Precipitação Pe ..... 1079 mm
Volume precipitado Vp ..... 13556,7 m³
Volume escoado Ve ..... 1962,7 m³
Coeficiente de escoamento Ce 0,144

Os coeficientes de escoamento variaram de 0,05 no evento 48 até 0,47 no evento 61.

Agrupando as chuvas, conforme as condições de umidade do solo, obtiveram-se os seguintes valores para o coeficiente de escoamento:

Solo seco	média	$\bar{C}_e = 0,13$
	desvio padrão	$\sigma = \pm 0,06$
Solo úmido	média	$\bar{C}_e = 0,17$
	desvio padrão	$\sigma = \pm 0,06$
Solo encharcado	média	$\bar{C}_e = 0,35$
	desvio padrão	$\sigma = \pm 0,10$

Estas médias estão coerentes com os princípios gerais hidrológicos.

5.3 Cobertura do Solo

A cobertura vegetal da bacia obedeceu ao cronograma mostrado na (Figura 5.40). Desde o início da época pluviosa até 18-11-87 manteve-se a cobertura vegetal natural, constituída por capim (com relevância para o picão), ervas rasteiras, pequenos e médios arbustos. A vegetação é pujante, densa, proporcionando uma boa cobertura vegetal.

Em 18-11-87 a terra foi gradeado como é mostrada na(Foto 4.4).Em duas semanas, por terem caído chuvas fracas e prolongadas, o solo ficou com vegetação natural até 5 cm, nas duas semanas posteriores voltou a ter a mesma cobertura vegetal.

Em 18-01-88 a terra voltou a ser gradeada e recebeu uma semeadura de milho. Voltaram a prevalecer as condições anteriores, isto é, durante duas semanas o solo ficou desprotegido, nas duas semanas seguintes ficou com a vegetação em crescimento e depois, para efeitos de proteção, readquiriu boas condições de cobertura.

Não se procedeu a capinas, mas a produção não se ressentiu.

Para efeitos de erosão foram considerados os seguintes períodos , referentes à cobertura vegetal:

solo protegido - 75% do período chuvoso

de 01-08-87 a 18-11-87

de 25-12-87 a 18-01-88

de 25-02-88 a 31-07-88

solo desprotegido - 25% do período chuvoso

de 18-11-87 a 25-12-87

de 18-01-88 a 25-02-88

No final das chuvas apareceram dois sulcos com profundidade média de 10 cm e extensão de 20 m.

5.4 Transporte Sólido em Suspensão

Sempre que se verificou escoamento através do vertedor, (Fotos 5.1 e 5.2) foram colhidas duas amostras de água em cada chuva. (Fotos 5.3, 5.4, 5.5 e 5.6).

O cronograma da turbidez é mostrado na(Figura 5.41). Há grande coerência entre a turbidez e a cobertura vegetal. Com efeito, vê-se que nos períodos em que o solo ficou sem cobertura vegetal a turbidez teve aumentos de até cinco vezes.

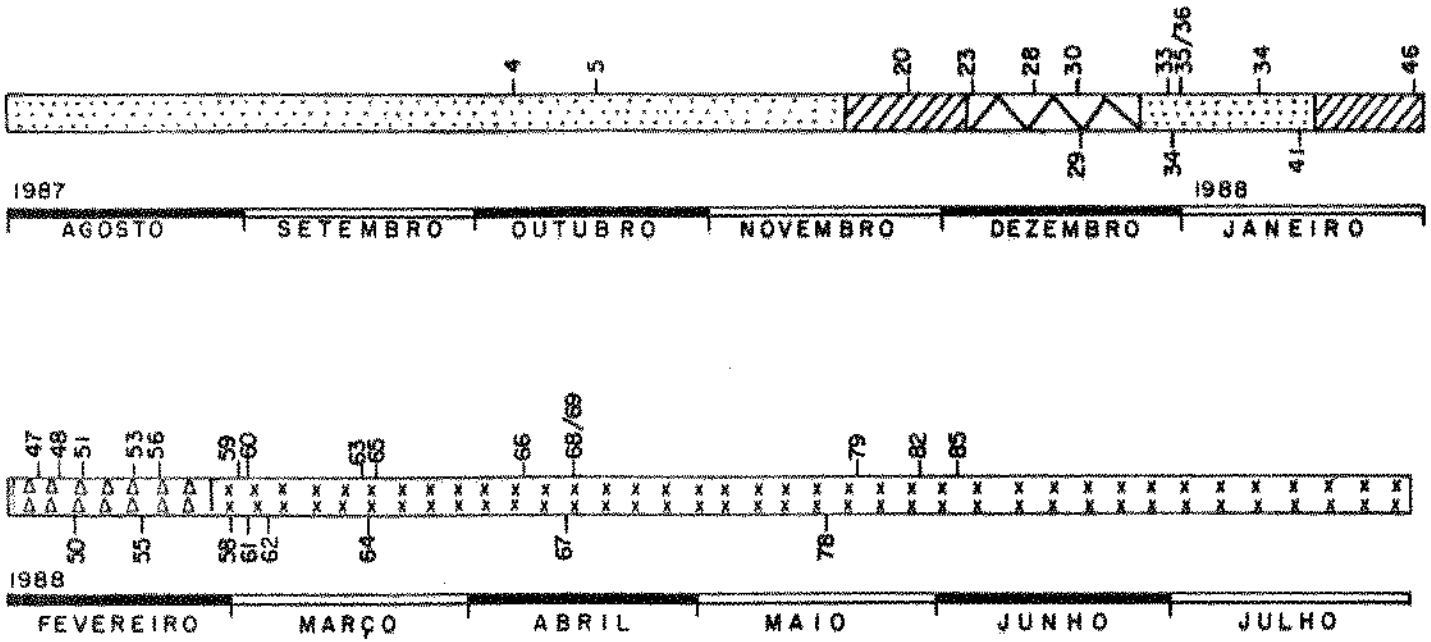


FIG. 5.40 – CRONOGRAMA CHUVAS X COBERTURA VEGETAL

Foto (5.1) - Vertedor com fluxo de água

Foto (5.2) - Vertedor com fluxo de água

Foto (5.3) - Amostras de água com turbidez máxima

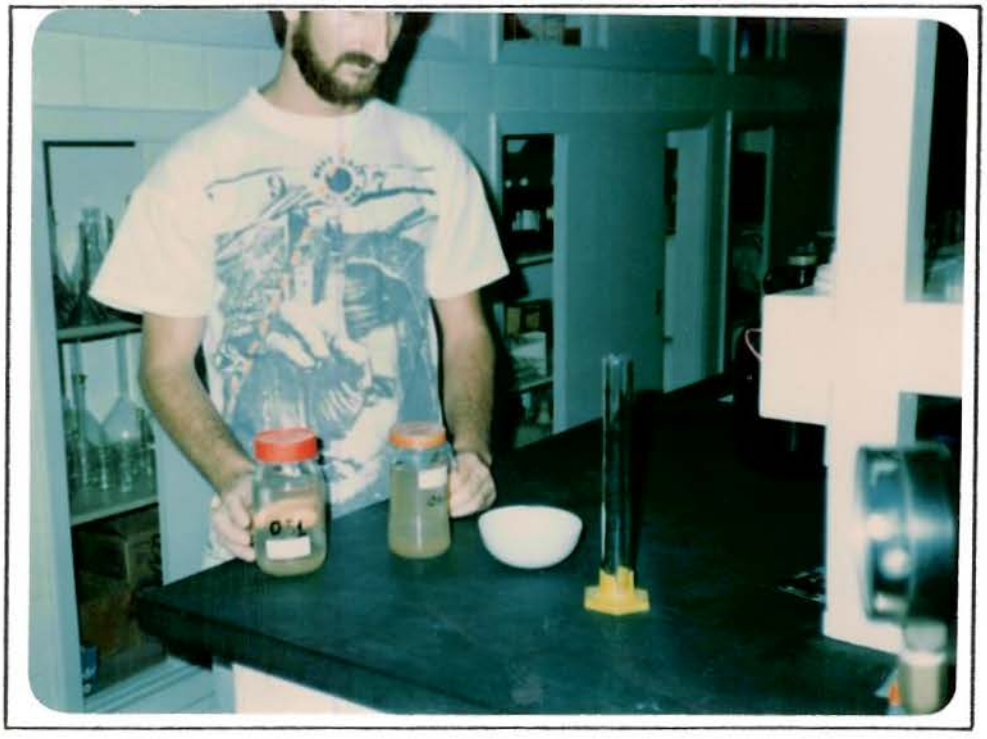


Foto (5.4) - Amostras de água com turbidez mínima

Foto (5.5) - Amostras de água com turbidez máxima

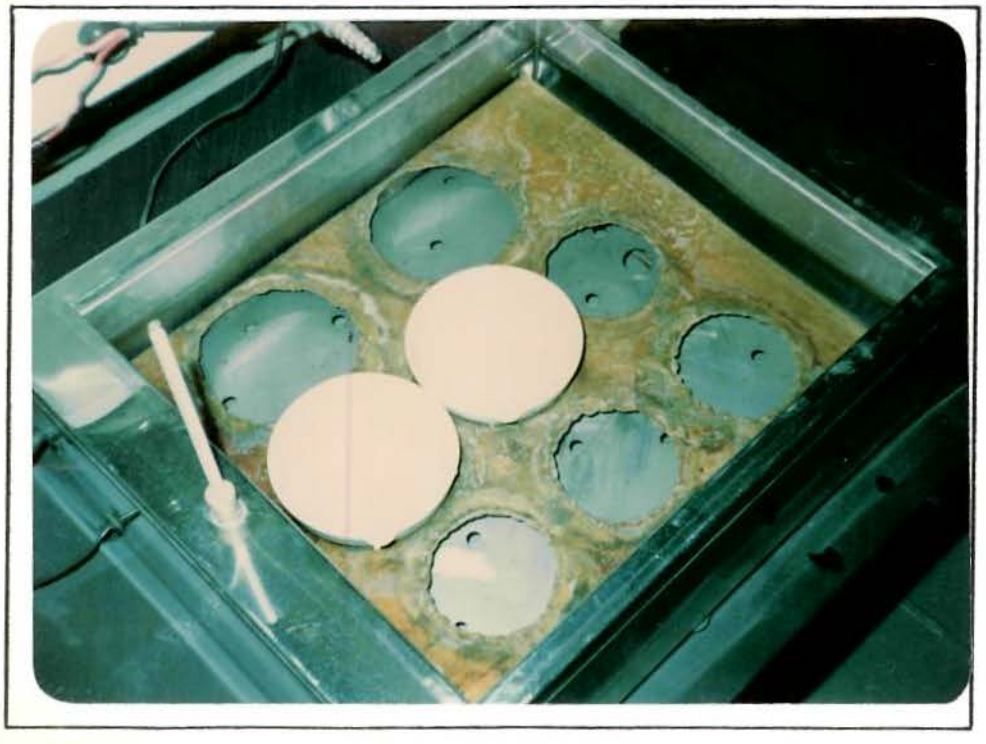


Foto (5.6) - Amostras de água com turbidez mínima

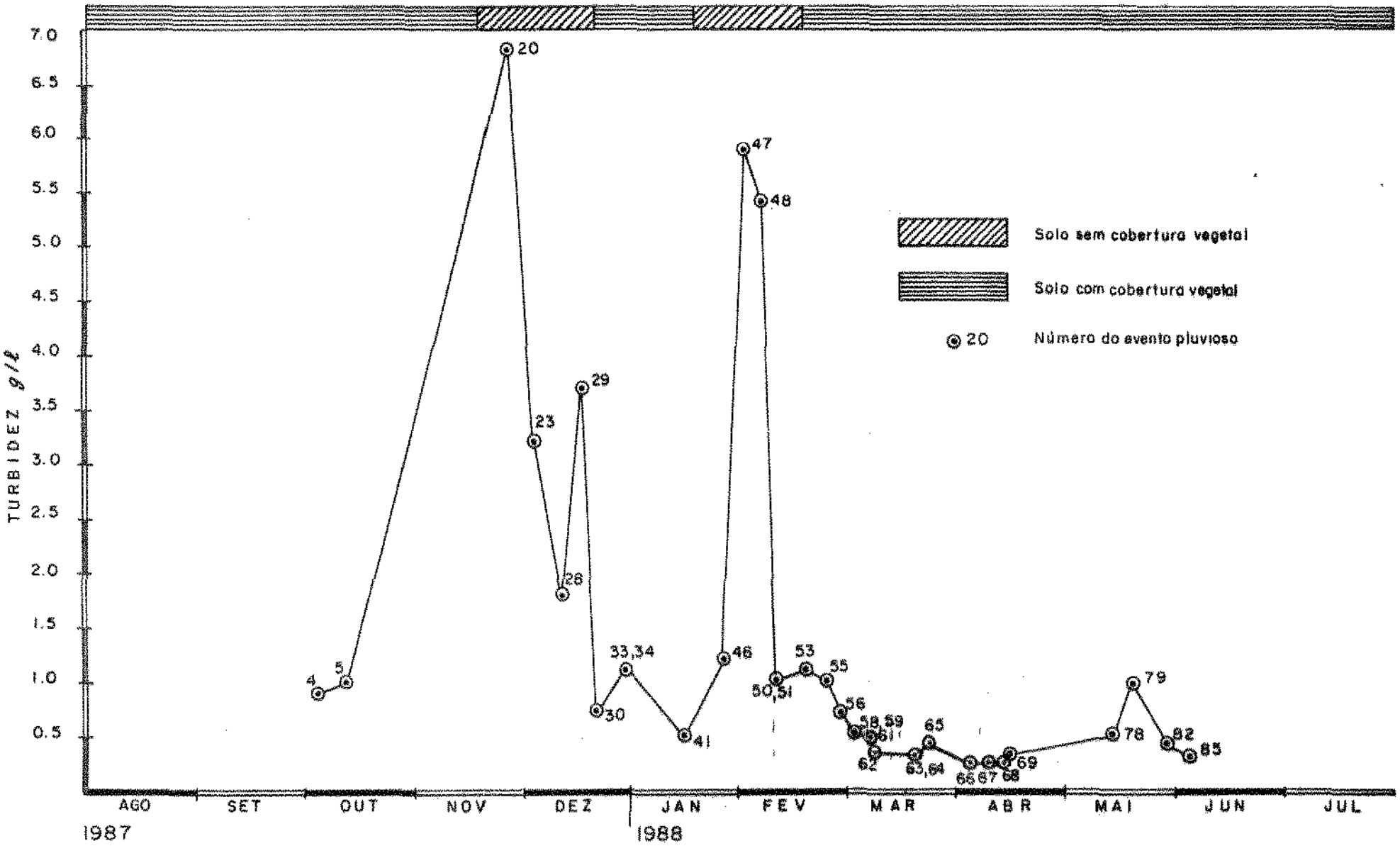


FIG. 5.41 — CRONOGRAMA DA TURBIDEZ

A turbidez apresentou os seguintes valores médios:

solo protegido	média	0,52	g/l
	desvio padrão ±	0,29	g/l
solo desprotegido	média	2,55	g/l
	desvio padrão ±	2,12	g/l

A turbidez foi transformada em transporte sólido em suspensão(kg) conforme foi descrito no item (4.4.3).

Após ser calculada a carga do transporte sólido em suspensão esta foi dividida pela área da bacia (1,25 ha) obtendo-se a taxa de transporte sólido em suspensão Ts (kg/ha).

As maiores turbidezes verificaram-se nos seguintes eventos:

Evento nº	Concentração g/l
20	6,8
47	5,9
48	5,4
29	3,7
23	3,2

Os maiores transportes sólidos em suspensão verificaram-se nas seguintes chuvas:

Evento nº	kg	Taxa Ts - kg/ha
56	277,0	221
61	144,9	116
46	142,8	114
65	136,0	109
20	83,6	67

O total de transporte sólido em suspensão foi de 1638,6 kg com uma taxa de 1,3 t/ha.a.

No transporte sólido em suspensão predominaram os finos (silte e argila) motivo porque, só através de evaporação, se conseguiram apurar as concentrações.Apenas nos eventos de maiores turbidezes verificou-se a presença de areias.

5.5 Carga de Fundo

A carga de fundo foi obtida de conformidade com a metodologia descrita no Item (4.4.3). Depois de calculada a carga de fundo obteve-se a respectiva taxa dividindo-se esta pela área da bacia (1,25 ha).

Em algumas chuvas só foi possível medir suas cargas em conjunto com as das chuvas seguintes. Por exemplo, o evento 29 é individualizado e encontra-se separado do evento 30 por mais de 6 horas. No entanto a chuva 29 ocorreu depois da mudança do gráfico e juntou-se com a chuva 30 que ocorreu entre as 19 e as 20 horas do mesmo dia. O esvaziamento das caixas só foi feito no dia seguintes. Sucedeu, "mutatis mutandis" com os eventos 29/30/31, 35/36, 50/51, 55/56, 64/65, 67/68/69. Por tal motivo a análise da carga de fundo sofre sérias restrições.

O total da carga de fundo foi de 9.909,9 kg para uma taxa de 8,0 t/ha.

A montante da seção de controle e em redor da primeira caixa ficou retida uma quantidade apreciável de sedimentos que não caiu nela (Fotos 5.11 e 5.12). Esta carga foi estimada em 1,2 t, mas não é computada na taxa de erosão da bacia.

As maiores cargas de fundo ocorreram nos seguintes eventos:

Evento nº	Carga de Fundo - kg	Taxa Cf-kg/ha
56	2692	2154
61	1949	1559
46	1336	1069
33/36	1257	1005
51	403	323

Todos estes eventos ocorreram sobre o solo desprotegido, à exceção dos eventos 33/36.

Foram colhidas quatro amostras de solo na seção de controle:

evento 33 - dez 87 - caixa 1 - curva granulométrica - (Figura 5.42)
evento 33 - dez 87 - caixa 3 - curva granulométrica - (Figura 5.43)
evento 61 - mar 88 - caixa 1 - curva granulométrica - (Figura 5.44)
evento 61 - mar 88 - caixa 3 - curva granulométrica - (Figura 5.45)

As curvas são praticamente iguais. Há predominância de areia.

Foto (5.7) - Vista frontal da caixa, no início das atividades.

Foto (5.8) - Vista frontal da caixa no término das atividades. Observa-se o acúmulo de sedimentos provenientes da carga de fundo.

Foto (5.9) - Vegetação natural.

Foto (5.10) - Sedimentos retidos na segunda caixa.

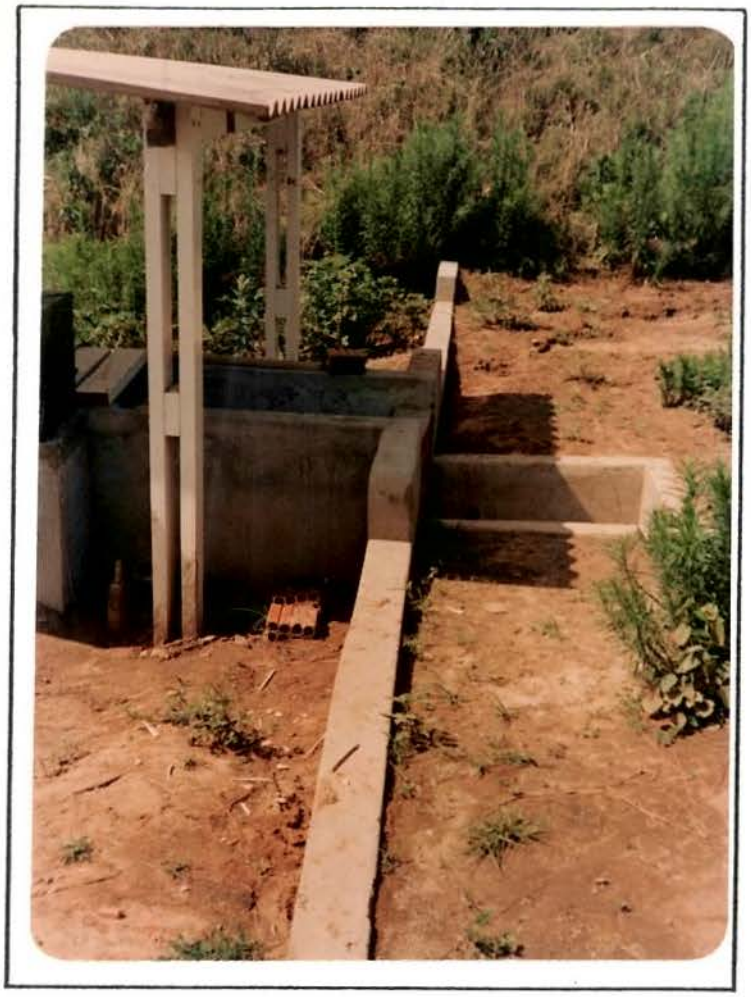


Foto (5.11) - Seção de controle no início das atividades.

Foto (5.12) - Seção de controle no término das atividades. Observa-se um acúmulo de sedimentos em redor

FACULDADE ENGENHARIA DE LIMEIRA
DEP. HIDRÁULICA E SANEAMENTO
LABORATÓRIO HIDROLOGIA

147

UNICAMP

LOCAL CAPIN

PONTO Caixa 1 Dezembro 87 PROFUNDIDADE Amostra 2

CLASSIFICAÇÃO SOLO ARRIA FRANCA

$U = D_{60}/D10$ _____ $C = D_{30}^2/D10\,D_{60}$ _____

PORCENTAGEM DOS GRÃOS

PEDREGULHO	(MAIOR QUE 2,0 mm)	--
AREIA GROSSA	(2,0 - 0,2 mm)	28,0 %
AREIA FINA	(0,2 - 0,05 mm)	53,0 %
SILTE	(0,05 - 0,002 mm)	12,0 %
ARGILA	(MENOR QUE 0,002 mm)	7,0 %

CURVA GRANULOMÉTRICA

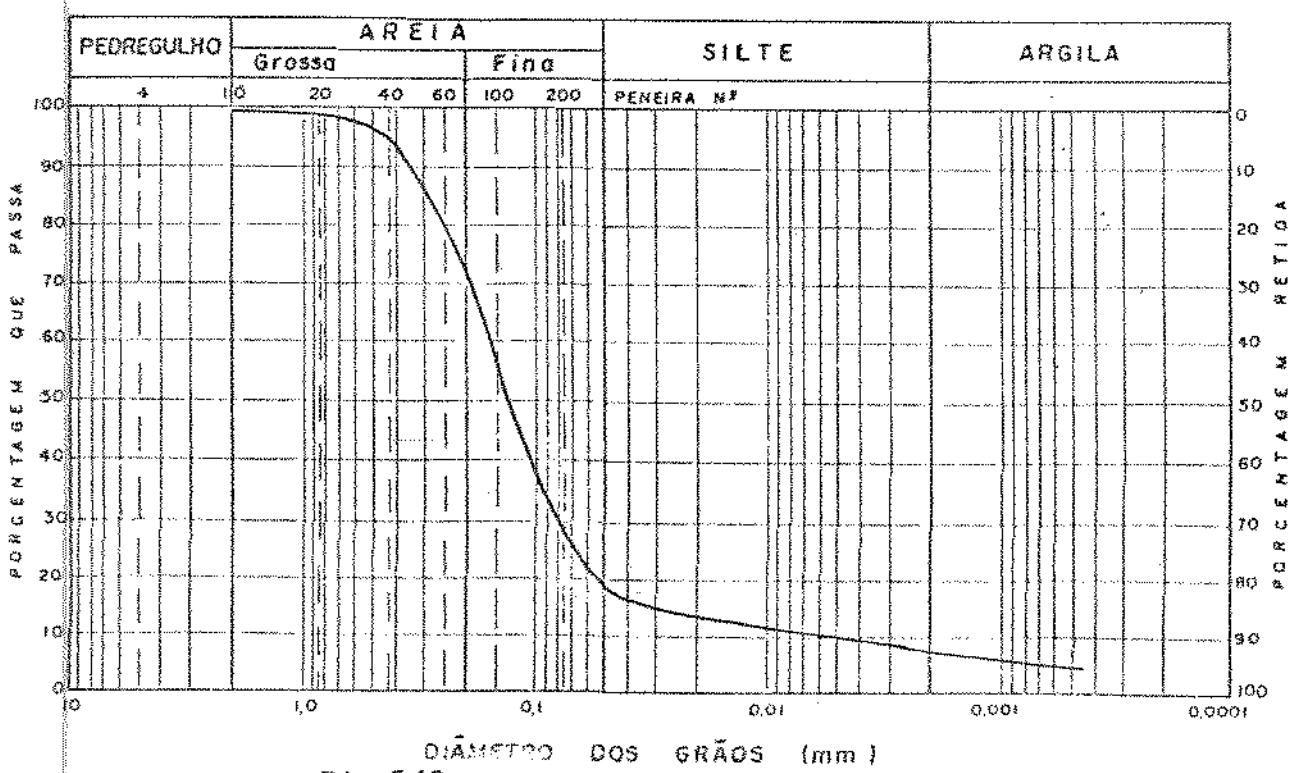


Fig. 5.42 - CURVA GRANULOMÉTRICA

FACULDADE ENGENHARIA DE LIMEIRA

DEP. HIDRÁULICA E SANEAMENTO

LABORATÓRIO HIDROLOGIA

148

UNICAMP

LOCAL CAPIN

PONTO Caixa 3 Dezembro 87 PROFUNDIDADE Amostra 1

CLASSIFICAÇÃO SOLO AREIA FRANCA

U= $D_{60}/D10$ _____ C= $D_{30}^2/D10\,D_{60}$ _____

PORCENTAGEM DOS GRÃOS

PEDREGULHO	(MAIOR QUE 2,0mm)	-
AREIA GROSSA	(2,0 - 0,2 mm)	30,0 %
AREIA FINA	(0,2 - 0,05 mm)	50,0 %
SILTE	(0,05 - 0,002mm)	15,0 %
ARGILA	(MENOR QUE 0,002mm)	5,0 %

CURVA GRANULOMÉTRICA

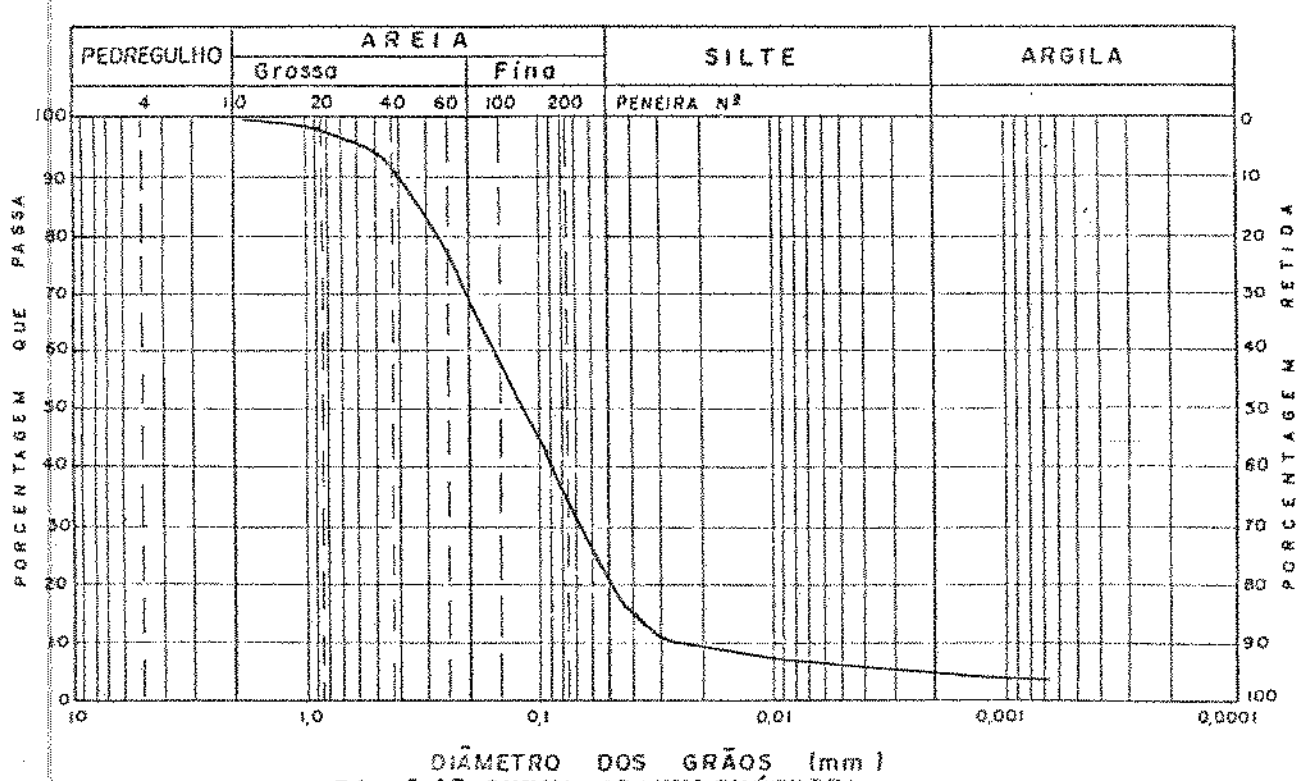


Fig. 5.43 - CURVA GRANULOMÉTRICA

FACULDADE ENGENHARIA DE LIMEIRA
DEP. HIDRÁULICA E SANEAMENTO
LABORATÓRIO HIDROLOGIA

149

UNICAMP

LOCAL CAPTN

PONTO Caixa 1 Março 88 PROFUNDIDADE Amostra 6

CLASSIFICAÇÃO SOLO AREIA FRANCA

U= $D_{60}/D10$ _____ C= $D_{30}^2/D10\,D_{60}$ _____

PORCENTAGEM DOS GRÃOS

PEDREGULHO	(MAIOR QUE 2,0mm)	--
AREIA GROSSA	(2,0 - 0,2 mm)	40,0 %
AREIA FINA	(0,2 - 0,05 mm)	42,0 %
SILTE	(0,05 - 0,002mm)	10,0 %
ARGILA	(MENOR QUE 0,002mm)	8,0 %

CURVA GRANULOMÉTRICA

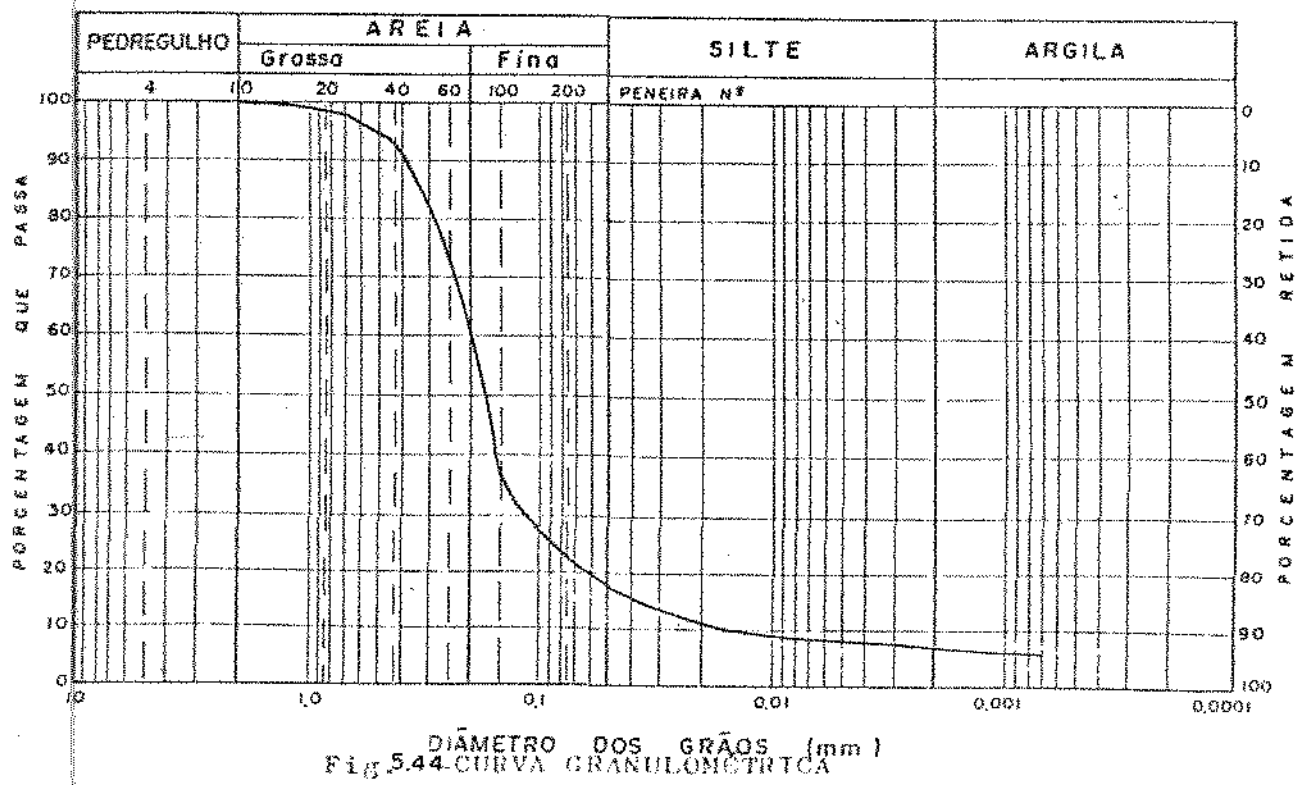


Fig 5.44 CURVA GRANULOMETRICA

FACULDADE ENGENHARIA DE LIMEIRA

DER HIDRÁULICA E SANEAMENTO

LABORATÓRIO HIDROLOGIA

150

UNICAMP

LOCAL CAPIN

PONTO Caixa 3 , março 1988 PROFUNDIDADE Amostra 7

CLASSIFICAÇÃO SOLO Areia Franca

U= $D_{60}/D10$ _____ $C = D_{30}^2/D10\,D_{60}$ _____

PORCENTAGEM DOS GRÃOS

PEDREGULHO	(MAIOR QUE 2,0mm)	--
AREIA GROSSA	(2,0 - 0,2 mm)	13,0 %
AREIA FINA	(0,2 - 0,05 mm)	64,0 %
SILTE	(0,05 - 0,002mm)	16,0 %
ARGILA	(MENOR QUE 0,002mm)	7,0 %

CURVA GRANULOMÉTRICA

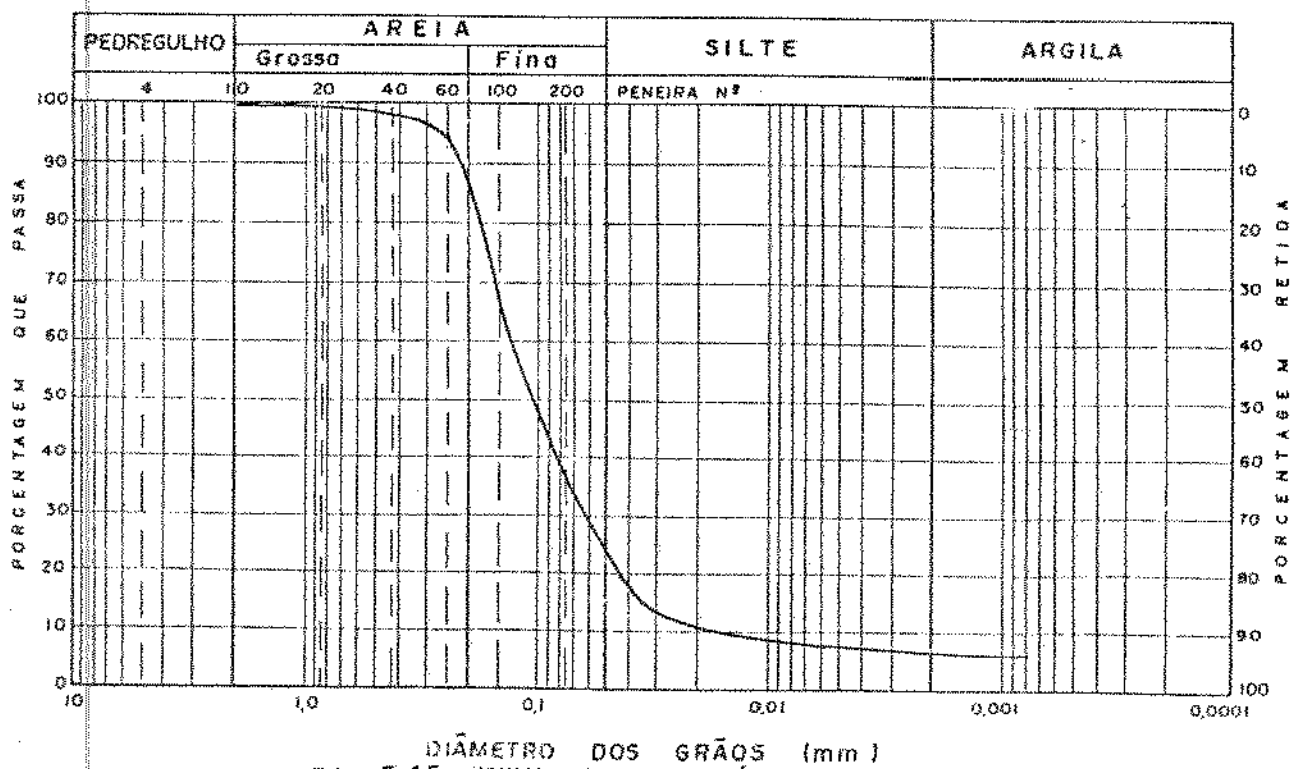


Fig. 5.45 – CURVA GRANULOMÉTRICA

Comparando com as curvas do solo antes de ser arrastado (Figuras 4.4, 4.5 e 4.6), pode-se observar:

	Bacia	Seção de Controle
areia %	50	81
silte %	40	13
argila %	10	6

Infere-se que na carga de fundo é maior a percentagem de areia e são menores as percentagens de finos (silte e argila), isto é, no arrastro de solo por chuvas muito erosivas predominam os materiais grosseiros. Nas (Fotos 5.13 e 5.14) pode verificar-se esta asserção.

5.6 Relações com a EUPS

5.6.1 Erosividade R

Estamos considerando que, sempre que houve escoamento, registrou-se perda de solo. Esta consideração, respaldada em observações de campo, é confirmada pela teoria.

WISCHMEIER & SMITH (56) adotaram como limites, para o cálculo da erosividade, os seguintes valores:
chuvas maiores do que 12,5 mm separadas de outros períodos por um mínimo de 6 horas, com exceção daquelas que apresentem, pelo menos, 6 mm de precipitação em 15 min.

Excetuando os eventos 23, 27, 31, 34, 62 e 69 todas as chuvas,com escoamento, foram erosivas e situaram-se além dos limites preconizados por aqueles autores.

Segundo HUDSON (21) são consideradas chuvas erosivas as que apresentarem intensidades maiores do que 25 mm/h. É o conceito KE $>$ 1 já referido no Capítulo 3. Os eventos 31, 34, 62 e 69 tiveram intensidades abaixo de 25 mm/h.

A (Tabela 5.2) apresenta as chuvas erosivas ordenadas segundo uma ordem decrescente dos valores do índice erosivo EI_{30}. Vemos que as chuvas 69, 23, 34, 62 foram de erosividade muito fraca e apresentaram Pe $<$ 12,5 mm ou chuvas inferiores a 6 mm em 15 min. O transporte sólido e a carga de fun

Foto (5.13) - Sedimentos retidos na primeira caixa após uma chuva pouco erosiva.

Foto (5.14) - Sedimentos retidos na primeira caixa após uma chuva muito erosiva.

Foto (5.15) - Esvaziamento das caixas.

Foto (5.16) - Carga de fundo após o esvaziamento.

- T A B E L A 5.2

C H U V A S E R O S I V A S

1

nº EVENTO	PRECIPITAÇÃO mm Pe	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO Ce	VAZÃO MÁXIMA Qp ℓ/s	TRANSPORTE SÓLIDO Taxa Ts kg/ha	CARGA DE FUNDO Taxa Cf kg/ha	I_{30} mm/h	E I_{30} (MJ-mm)/(ha-h)
61	42,7	0,47	93,0	116	1559	76	858
56	38,4	0,27	82,5	221	2154	51	433
4	28,9	0,12	38,5	31	16	56	427
58	41,2	0,16	60,5	10	257	36	351
66	36,2	0,11	43,0	9	137	40	342
46	35,7	0,26	71,5	114	1069	36	312
5	27,3	0,11	43,5	26	3	43	304
51	27,9	0,31	53,0	61	323	35	229
28	19,0	0,13	43,0	45	6	38	191
65	61,0	0,39	54,0	109	290	30	178
79	17,8	0,08	22,0	15	8	36	178
59	29,5	0,30	63,5	7	→	26	172
33	16,4	0,14	41,0	22	1005	32	140
41	17,0	0,05	13,2	4	203	30	132
53	17,6	0,13	29,5	25	145	28	120
48	15,5	0,05	27,5	44	130	30	116
64	18,2	0,14	68,5	7	→	26	105
29	12,3	0,09	9,0	40	→	24	72
68	29,3	0,09	11,2	4	→	18	70
TOTAL							

- T A B E L A 5.2

C H U V A S E R O S I V A S

2

Nº EVENTO	PRECIPITAÇÃO mm Pe	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO Ce	VAZÃO MÁXIMA Q_p ℓ/s	TRANSPORTE SÓLIDO Taxa Tx kg/ha	CARGA DE FUNDO Taxa Cf kg/ha	I_{30} mm/h	E I_{30} (MJ-mm)/(ha-h)
60	16,7	0,42	90,0	37	→	20	69
47	11,1	0,06	26,0	38	228	22	69
55	11,5	0,23	61,5	27	88	23	68
67	15,7	0,27	53,0	13	→	18	58
63	11,8	0,19	32,0	9	17	20	52
20	9,0	0,10	4,6	67	2	18	42
85	8,6	0,25	22,0	6	1	17	39
78	16,0	0,09	0,9	7	3	12	39
50	7,5	0,15	29,0	11	→	15	30
69	10,3	0,23	17,5	5	89	10	21
23	8,6	0,20	24,4	55	1	9	19
34	4,1	0,14	13,9	4	→	8	8
62	7,8	0,04	1,8	0	0	6	6
TOTAL							5250

do, destas chuvas, foram considerados no cômputo geral.

Para o cálculo do índice de erosão EI_{30} seguiu-se a metodologia da EUPS proposta por FOSTER et al (16).

Pela leitura do pluviograma cada chuva foi separada em frações, segundo o critério do segmento uniforme. Este critério considera como uniforme toda a fração de uma chuva que cai com a mesma intensidade ou seja apresenta a mesma inclinação no pluviograma. Quanto maior a inclinação maior será a intensidade. A energia específica foi calculada pelas Fórmulas (3.4 e 3.5).

$e = 0{,}119 + 0{,}0873 . \log i \qquad i \leq 76$ mm/h (3.4)

$e = 0{,}283 \qquad i > 76$ mm/h (3.5)

com e expresso em MJ/(ha.mm)

Para o cálculo da energia da chuva E usou-se a Fórmula (3.8)

$E = e.p$ (3.8)

sendo E - energia da chuva MJ/ha

e - energia específica MJ/(ha.mm)

p - altura da fração da chuva mm

O índice de erosão é considerado o melhor parâmetro para medir a força erosiva de uma chuva. Foi determinado pelo produto $E.I_{30}$ sendo E a energia da chuva e I_{30} a intensidade máxima de uma fração da chuva durante 30 min. Esta intensidade determina-se por observação do pluviograma.

A maior chuva erosiva verificou-se no evento 61 que apresentou , também, a maior intensidade (118 mm/h) por duas vezes durante 5 min Item (5.1) e a maior vazão 93 l/s Item (5.2).

A erosividade R, somatório de todos os valores de EI_{30}, resultou em 5250 (MJ.mm)/(ha.h.a).

Vale referir que o valor EI_{30} do evento 65 é parcial, em virtude de se ter avariado o pluviógrafo. É provável que seja maior, uma vez que aconteceu uma vazão de 54,0 l/s na parte não registrada.

Os primeiros sete eventos, que representam 17% dos dados, somam 3027 (MJ.mm)/ha.h, ou seja mais de metade do valor total. Três eventos (9%) somam 1718 (MJ.mm)/ha.h. ou seja 33% do total. O índice de erosão do evento

61 (2%) é igual a 16% do total. Isto confirma as observações feitas por ATESHIAN (3) que assevera que o EI_{30} de uma chuva de grande intensidade pode representar até 31% da erosividade anual. LITTLE apud HUDSON (21) apresentou um caso extremo em que uma única chuva, na estação experimental de Bethany (Missouri), causou metade da erosão referente a um período de cinco anos. De acordo com HUDSON (21) em Mazoe, atual Zimbabwe, registraram-se casos de erosão anual causados por apenas uma ou duas chuvas mais intensas. O valor de R é muito contingente e pode ser definido por um número restrito de chuvas erosivas.

5.6.2 Erodibilidade K

Pelas curvas granulométricas das(Figuras 4.4, 4.5 e 4.6) o solo superficial da bacia experimental recebe a seguinte distribuição:

silte + areia fina 80%
areia grossa 9%
matéria orgânica 2%
estrutura granular média
permeabilidade moderada

Pelo ábaco da (Figura 3.4) o fator de erodibilidade K do solo é 0,06 [(t.ha.h)/(ha.MJ.mm)]

5.6.3 Fator Topográfico LS

Considerando para o talvegue da bacia um comprimento de 128 m obtem-se pelo Item (3.2.4).

$$L = \frac{0,5.Ab}{Lt} \qquad (3.24)$$

sendo Ab - área da bacia 12564 m²

Lt - comprimento do talvegue 128 m

l - comprimento médio da vertente 49 m

Para o cálculo de S tem-se, de acordo com o Item (3.2.4):

$$S = \frac{d.Lc}{Ab} \qquad (3.25)$$

sendo d - equidistância das curvas de nível 1 m

Lc- comprimento das curvas de nível 1858 m

Ab- área da bacia 12564 m²

S = 14,7%

Entrando no ábaco da Figura (3.5) determina-se o valor LS = 3,2

5.6.4 Fator Uso e Manejo do Solo C

Onze chuvas erosivas encontraram o solo desprotegido. Vamos considerar uma percentagem de 25% referente aos períodos em que o solo esteve desprotegido. DUNNE (12), para uma cultura de milho, indica os valores de C = 0,36 durante o preparo do solo, C = 0,63 para a época de sementeira e C = 0,50 durante o crescimento. Adotaremos a média C = 0,49.

Classificaremos o solo protegido, uma vez que se não notou variação na perda de solo com a cultura de milho, como mato denso com 50% de área coberta e 40% de solo revestido com pequenos arbustos (Tabela 3.3), para 75% do tempo, C = 0,12. Então C = 0,21.

5.6.5 Fator Práticas Conservacionistas P

A bacia já foi cultivada três vezes em curvas de nível e por isso apresenta uma certa conformação terraceada. A (Tabela 3.5) para um declive de 15% e cultivo em curvas de nível preconiza o valor P = 0,80. A (Tabela 3.6) para plantio em contorno dá o valor P = 0,50. Adotaremos P = 0,60.

5.7 Previsão de Perda de Solo Através da EUPS

A EUPS tem a seguinte forma:

A = R.K.LS.C.P

sendo

R = 5250 (MJ.mm)/(ha.h.a)

K = 0.06 [(t.ha.h)/(ha.MJ.mm)]

LS= 3,2

C = 0,21

P = 0,60

obtem-se

A =(5250. 0,06. 3,2. 0,21. 0,60)/ 9,8= 12,7 t/ha.a

O valor medido no campo foi de 9,3 t/ha.a

A diferença entre os dois valores é bastante razoável atendendo à grande subjetividade na adoção dos valores de C e P.

Se considerarmos o valor 1,2 t, de material que ficou próximo da primeira caixa, a massa de solo passará para 10,5 t/ha.a.

5.8 Espessura de Solo Perdido ϵ

Considerando que o peso específico seco dos sedimentos, obtido por amostragem, é 1.470 kg/m³ obtém-se a espessura de solo perdido durante o ano.

Volume correspondente ao Tã VTs = 1638,6/1470 = 1,11 m³

Volume correspondente à Cf VCf = 11219,9/1470 = 7,63 m³

Volume total dos sedimentos Vt = 1,11 + 7,63 = 8,74 m³

Espessura ϵ = Vt/Ab = 8,74/12564 = 0,7 mm

Não é preocupante este número. Para uma projeção de 100 anos há a esperar, nas condições atuais de uso, uma perda teórica de 7 cm.

O levantamento pedológico semi-detalhado (34) diz que "O relevo pouco acidentado, o emprego de práticas conservacionistas, as propriedades físicas dos solos, em geral boas nas áreas mais intensamente agricultadas, favorecem a retenção da água pelo solo, dificultando a formação de enxurradas e consequentemente da erosão".

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

O ano hidrológico 1987/1988 apresentou chuvas abaixo da média anual. A erosividade R calculada a partir de dados de campo foi de 5250(MJ.mm)/(ha.h.a) valor abaixo da erosividade média R da região, em torno de 6000 (MJ.mm/ha.h.a).

Registraram-se 42 chuvas com escoamento e consequentemente transportaram (através da turbidez da água) e arrastaram solo (através da carga de fundo).

A maior vazão que passou pelo vertedor foi de 93,0 l/s, correspondendo a uma taxa de 74 l/s.ha, atingida uma única vez.

Todos os hidrogramas apresentaram um pico de extrema agudeza, característico da exiguidade da área da bacia.

O maior coeficiente de escoamento registrado foi de 0,47. O coeficiente de escoamento médio anual foi de 0,14. Este valor está coerente com os coeficientes encontrados nos manuais de hidrologia.

Os coeficientes de escoamento dos grupos das chuvas que caíram sobre solo seco, solo úmido e solo encharcado foram 0,13, 0,17 e 0,35 respectivamente. Estes valores também são coerentes com o que se observa na prática.

A turbidez aumentou durante os períodos em que o solo ficou desnudado. A concentração média da turbidez, para solo descoberto foi de 2,55 g/l, e para solo coberto foi de 0,52 g/l. Em solo descoberto a turbidez aumentou cinco vezes.

O transporte sólido caracterizou-se pela presença de finos, em muitas poucas vezes apresentando areias.

A taxa de transporte sólido em suspensão foi de 1,3 t/ha.a.

Não foi possível, em alguns eventos, apurar a carga de fundo individualizada.

As maiores cargas de fundo foram carreadas, regra geral, pelas chuvas mais erosivas, e caracterizaram-se pela predominância de areias.

A taxa de carga de fundo foi de 8,0 t/ha.a.

Confirmaram-se as proposições de WISCHMEIER & SMITH (56) que fixaram os valores de 12,5 mm ou 6 mm em menos de 15 min como representativo das chuvas erosivas.

Também se confirmou o critério KE >25, proposto por HUDSON (21) que fixou como erosivas as chuvas que apresentem intensidades maiores do que 25 mm/h.

Um único evento (2% do total) apresentou 16% da erosividade e sete eventos (17%) apresentaram mais de metade da erosividade, confirmando a proposição de ATESHIAN (3).

A previsão feita pela EUPS foi de 12,7 t/ha.a valor acima do medido em campo 9,3 t/ha.a em 37%.

Considerando o valor estimado de 1,2 t, referente a sedimentos que ficaram retidos a montante da seção de controle a diferença passa a ser de 21%.

A taxa da carga de fundo 8,0 t/ha.a foi seis vezes maior do que a taxa de transporte sólido em suspensão 1,3 t/ha.a.

A densidade relativa dos sedimentos é 1,47. Para uma contribuição anual de 12858,5 kg obtemos 8,74 m^3.

A espessura teórica do solo perdido, durante o ano hidrológico de 1987/1988 é:

ε = 0,7 mm

6.2 Recomendações

6.2.1 Alterações na Seção de Controle

Algumas sugestões fazem-se necessárias, acerca dos trabalhos de campo.

A seção de controle apresentou algumas deficiências que passaremos a expor. A vazão máxima, permitida pelo vertedor, foi excedida por quatro vezes motivo porque, para prosseguimento dos trabalhos, torna-se necessária sua substituição por outro cujo triângulo tenha uma altura de 50 cm. Isto obrigará ao alargamento da terceira caixa e à substituição do linígrafo por outro de maior amplitude (50 cm) ou amplitude infinita.

A coleta de amostras de turbidez poderá ser feita automaticamente através de frascos providos com bóias, mas convém sempre retirar amostras aleatórias.

A seção de controle deverá sofrer as seguintes modificações (Figura 6.1):

- alteamento dos muros e das abas laterais

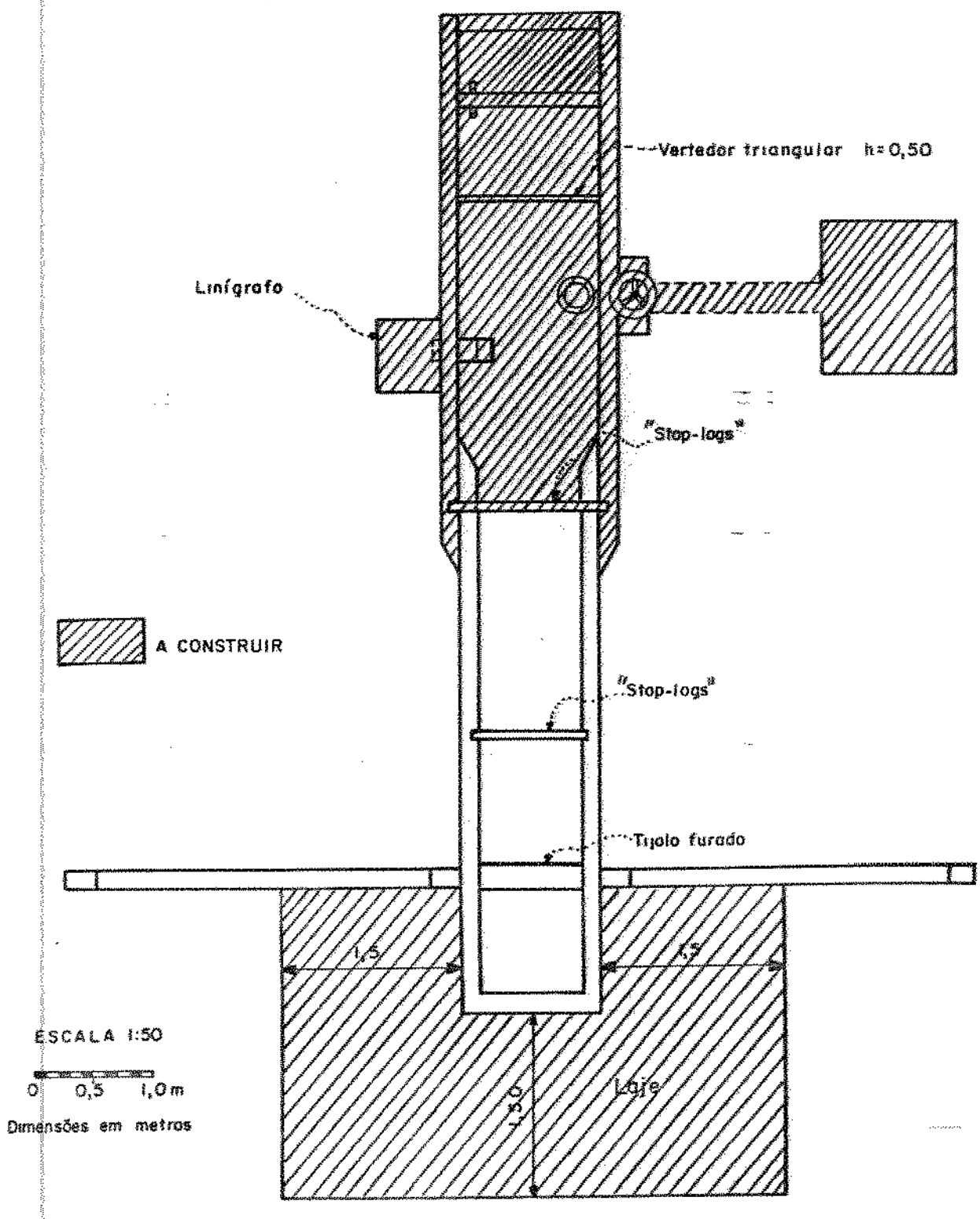


FIG. 6.1 – ALTERAÇÕES NA SEÇÃO DE CONTROLE.

- nivelamento da entrada da primeira caixa com uma laje de concreto, circundante.
- construção de outra caixa, mais a jusante, para instalação do novo vertedor.
- substituição do tubo de 50 mm de diâmetro, que comunica com o poço da bóia do linígrafo, por outro com diâmetro de 200 mm.
- substituição do tubo de descarga de 100 mm de diâmetro por outro com 250 mm de diâmetro com instalação de uma comporta tipo Barbará.
- instalação de um dispositivo de esvaziamento tipo "tulipa" feito com anéis de 250 mm de diâmetro e alturas de 5 cm.

Para se conseguir a carga de fundo de cada chuva, eliminando as dificuldades citadas atrás, pode construir-se uma outra seção de controle. Após uma chuva significativa fechar-se-á a seção que funcionou e abrir-se-á a outra seção.

Poderá ser feita uma captação direta da barragem, com tubo de 50 mm de diâmetro, a fim de abastecer um reservatório cuja água servirá para limpeza das caixas. Aproveitando esta água poderá ser instalada uma bateria de carneiros hidráulicos que, além de sua função de recalque, poderá servir como modelo didático.

Poderá ser feita uma pequena dependência onde se guardarão todos os apetrechos necessários para se fazerem as pesagens do material da carga de fundo.

6.2.2 Sugestões de Novas Pesquisas

- continuação deste trabalho, variando o tipo de cultura.

- continuação deste trabalho, variando o tipo de proteção do solo.

- medições de perda de solo em outras áreas de declividades diferentes e culturas diferentes.

- medições de perda de solo em dois grandes taludes, um em corte e outro em aterro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AL-DURRAH & BRADFORD, I.M. The Mechanism of raindrop splash on soil surfaces. Journal of Soil Science, 46 : 1086-1090, 1982.

2. AMPHELETT, M.B. Measurement of soil loss from experimental bassins in Malawi. In: HARARE SYMPOSIUM, Harare, 1984 - Proceedings. Harare, IPS, 1984. p. 351-362.

3. ATESHIAN, I.K.H. Estimation of rainfall erosion index. Journal of the irrigation and drainage division, 100 (3) : 293-307, 1974.

4. BARNETT, A.P. How intense rainfall affects runoff and soil erosion. Agricultural engineering, 39 (3) : 703-711, 1958.

5. BARNETT, A.P. et al. Erodibility of selected tropical soils. Transactions of the ASAE, 14 (3) : 496-499, 1971.

6. BERTONI, J. & LOMBARDI F. Conservação do solo. Piracicaba, Livroceres,-1985. 392 p.

7. BROWN, L.C. & FOSTER, G.R. Storm erosivity using idealized intensity distributions. Transactions of the ASAE, 30 (2) : 379-386, 1987.

8. CHOW, V.T. Handbook of applied hydrology. New York, Mc Graw Hill, 1964. 952 p.

9. COIADO, E.M. Transporte de sedimentos. s.n.t. (notas de aula).

10. DORST, J. Antes que a natureza morra. São Paulo, Blücher, 1973. 394 p.

11. DUMONT, R. O crescimento da fome. Lisboa, Beira Douro, 1977. 158 p.

12. DUNNE, T. & LEOPOLD, L.B. Water in environmental planing. New York, W. H. Freeman, 1978. 818 p.

13. ELWELL, H.A. & STOCKING, M.A. Parameters for estimating annual runoff and soil loss from agricultural lands in Rodhesia. Water Resources Research, 2 (4) : 601-605, 1975.

14. FENDRICH, R. et al. Drenagem e controle da erosão urbana. Curitiba, Universidade Católica do Paraná, 1984. 395 p.

15. FOSTER, G.R. et al. A runoff erosivity fator and variable slope length exponents for soil loss estimates. Transactions of the ASAE, 20 (4) : 683-687, 1977.

16. FOSTER, G.R. et al. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. Journal of soil and water conservation, 36 (6) : 355-395, 1981.

17. FOSTER, G.R. et al. Evaluation of rainfall-runoff erosivity factors for individual storms. Transactions of the ASAE, 25 (1) : 124 - 129 , 1982.

18. GRAF, W.H. Hydraulics of sediment transport. New York, Mc Graw Hill, 1971. 513 p.

19. GREGORY, J.M. Time of concentration determination for small watersheds. Transactions of the ASAE, 25 (3) : 686-688, 1982.

20. HAMLETT, J.M. et al. Runoff and sediment transport within and from small agricultural watersheds. Transactions of the ASAE, 27 (5) : 1355-1363, 1984.

21. HUDSON, N. Conservacion del suelo. Barcelona, Reverté, 1982. 335 p.

22. ISTOK, J.D. et al. Effect of rainfall measurement interval on EI calcu lation. Transactions of the ASAE, 29 (3) : 730-734, 1986.

23. JOHNSON, C.W. et al. Rangeland erosion measurement for the USLE. Tran sactions of the ASAE, 27 (5) : 1313-1320, 1984.

24. JOHNSON, C.W. et al. Northwest rangeland sediment yield analysis by the MUSLE. Transactions of the ASAE, 28 (6) : 1889-1895-1985.

25. LENCASTRE, A. & FRANCO, F.M. Lições de hidrologia. Lisboa, Universida de Nova de Lisboa, 1982. 451 p.

26. LENCASTRE, A. Manual de hidrâulica geral. São Paulo, Blücher, 1972. 411 p.

27. LINSLEY, J.R. et al. Applied hydrology. New York, Mc Graw Hill, 1949. 689 p.

28. MEADOWS, D.H et al. Os limites do crescimento. Lisboa, D.Quixote , 1972, 245 p.

29. MEYER, L.D. Evolution of the universal soil loss equation. Journal of soil and water conservation, 2 : 99-104, 1984.

30. MILLS, W.C. et al. Estimating soil loss probabilities for southern Pie dmont cropping-tillage systems. Transactions of the ASAE, 29 (4) : 948 955, 1986.

31. MURPHREE, C.E. & MUTCHLER, C.K. Sediment Yield from a flatland watershed. Transactions of the ASAE, 24 (4) : 966-969, 1981.

32. MURPHREE, C.E. et al. Sediment yield from 259 - ha flatlands watershed. Transactions of the ASAE, 28 (4) : 1120-1123, 1985.

33. MUTCHLER, C.K. & CARTER, C.E. Soil erodibility variation during the year. Transactions of the ASAE, 24 (4) : 1102-1108, 1983.

34. OLIVEIRA, J.Bertoldo de ; MENK, J.R. & ROTTA, C.L. Levantamento pedológico semi-detalhado dos solos do Estado de São Paulo: quadrícula de Campinas. Rio de Janeiro, SUPREN, 1979. 72 p. (série recursos naturais e meio ambiente 5).

35. RÉMÉNIÉRAS, G. L'hydrologie de l'ingénieur. Paris, Eyrolles, 1972.

36. RICHARDSON, C.W. et al. Estimation of erosion index from daily rainfall amount. Transactions of the ASAE, 24 (1) : 153-160, 1983.

37. SARDINHA, A.M. & MACEDO, F.W. Hidráulica florestal. Vila Real, Instituto Universitário de Trás os Montes e Alto Douro, 1981. 378 p.

38. SHERIDAN, J.M. et al. Sediment delivery ratios for a small coastal plain agricultural watershed. Transactions of the ASAE, 25 (3) : 610-615, 1982.

39. SILVEIRA, G.L. Erosão do solo na região da encosta do planalto no Estado do Rio Grande do Sul: representatividade dos parâmetros de chuva e influência da área cultivada, da declividade e do uso do solo na produção de sedimentos. Dissertação (M.S.) IPH-UFRGS, 1982.

40. SINGH, V.P. Applied modeling in catchment hydrology. Littleton, Water Resources, 1982. 563 p.

41. SINGH, V.P. Statistical analysis of rainfall and runoff. Littleton , Water Resources, 1982. 700 p.

42. TIPLER, P.A. Física. 2.ed. Rio de Janeiro, Guanabara Dois, 1984. V. 1, 305 p.

43. VANONI, V.A., ed. Sedimentation engineering New York, Headquarters of the society, 1975. 745 p.

44. VARGAS, M. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo, Mc Graw Hill, 1979. 509 p.

45. VIEIRA, D.B. Engenharia de irrigação. Limeira, Faculdade de Engenharia de Limeira, 1983. v.1, 222 p.

46. VIEIRA, J.F. Estudos dos processos erosivos mais extensivos. Dissertação de mestrado, Escola Politecnica da USP, 1980. São Paulo, Escola Politécnica-USP. 1980. 202 p. Dissertação (M.Sc) - Escola Politécnica USP.

47. WALKER, R.D. A quick way to estimate your soil erosion losses. Journal of soil and water conservation, 33 (1) : 11-14, 1980.

48. WILKEN, P.S. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo, Cetesb, 1978. 478 p.

49. WILLIAMS, J.R. & BERNDT, H.D. Sediment yield computed with universal equation. Journal of the hydraulics Division, 98 (12) : 2087-2098, 1972.

50. WILLIAMS, P.S. & BERNDT, H.D. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Transactions of the ASAE, 20 (6) : 1100-1104, 1977.

51. WILSON, J.P. Estimating the topographic factor in the universal soil loss equation for watersheds. Journal of soil and water conservation, 39 (1) : 179-183, 1986.

52. WONNACOTT, R.J. & WONNACOTT, T.A. Fundamentos de estatística. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1985. 356 p.

53. WISCHMEIER, W.H. et al. A soil erodibility nomograph for farmland and constructions sites. Journal of soil and water conservaction, 26 (5) : 189-193, 1971.

54. WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Washington, DC, USDA, 1965. 47 p. (handbook, 282).

55. WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Use and misuse of the universal soil loss equation. Journal of soil and water conservation, 31 (1) : 5-9,1976

56. WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide planning. Washington DC, USDA, 1978. 58 p. (Handbook, 537).