TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DE PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

ANÁLISE COMPARATIVA DOS DIFERENTES MÉTODOS

USO DE TRAÇADORES RADIOATIVOS

RAUL ODEMAR PITTHAN

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA (M.Sc.)

Aprovada por:

RUI CARLOS VIEIRA DA SILVA - COPPE-UFRJ
Presidente

JOÃO SÉRGIO CAJARDO ROLDÃO - COPPE-UFRJ

JOSÉ DE JÚLIO ROZENTAL - CNEN

RIO DE JANEIRO
ESTADO DA GUANABARA - BRASIL
SETEMBRO DE 1973

AGRADECIMENTOS

À COPPE, instituição jovem, mas já de marcante presença e importância no desenvolvimento nacional, pela oportunidade que oferece a estudantes, professores e empresas, no campo do ensino e da pesquisa.

Ao BNDE, pelo financiamento deste trabalho.

Ao IEN, pelo apoio. Ao IPR e ao IEA, pelo preparo dos radioisótopos.

Ao Prof. A. B. Zuber, "expert" da I.A.E.A., pela orientação da tese, durante os 13 meses de permanência no Brasil.

Ao Prof. Rozental, pelo incentivo constante e pela biblioteca que colocou à disposição.

Ao Prof. Theóphilo, pelas críticas e sugestões.

Aos que participaram dos trabalhos de campo, sem os quais seria impossível realizar qualquer coisa; em especial, João Sérgio (COPPE), Roberto, Francischini, Emídio e Pujol (IEN), sempre presentes nos dias de espera de chuvas fortes, a qualquer hora do dia ou da noite, mesmo nos fins de semana.

A todos da COPPE e IEN que colaboraram, em diversas ocasiões, cujos nomes são aqui omitidos, para não se cometer injustiças por algum provável, mas indesejável esquecimento.

R E S U M O

No Brasil, a maioria das pequenas bacias hidrográficas não possue postos e dados fluviométricos. A previsão de cheias é feita por variados métodos. Em todos eles, o tempo de concentração é um parâmetro fundamental. É estimado, geralmente, por fórmulas empíricas, já que os métodos mais precisos requerem um razoável número de dados e hidrogramas que, no caso, não existem.

Essa inexistência, por falta de recursos, pessoal, material e mesmo um período mínimo de anos para que se façam os históricos, deverá perdurar ainda por dezenas de anos.

Neste trabalho, faz-se um levantamento e análise das principais fórmulas. Introduz-se um novo método no Brasil - o uso de traçadores - para futuras seleções, correções ou mesmo elaboração de novas fórmulas, mais coerentes com a realidade regional.

Estuda-se a dispersão do traçador no curso d'água, a quantidade a injetar nas experiências (entre um mínimo detetável e um máximo permissível pelas normas), os tipos de injeção e deteção e os problemas de segurança química e radioativa.

Dentre os radioisótopos, seleciona-se e testa-se com sucesso a ^{110m}Ag, em forma de complexo aniônico de alta estabilidade, ideal, pela alta meia-vida de 253 dias, para regiões como a Guanabara, onde as adequadas tempestades podem demorar muito tempo para ocorrer.

Dentre os corantes, o ideal, neste caso, é a Rodiamina WT, por apresentar reduzidas perdas no trajeto injeção-detecção, ser de baixo custo, ter alta detetabilidade e não oferecer sérios riscos à saúde.

Faz-se um balanço técnico-econômico entre os corantes e radioisótopos, concluindo-se ser, provavelmente, mais aconselhável o uso dos primeiros, neste tipo de trabalho.

SYNOPSIS

The majority of the small hydrographic basins, in Brazil, are not equipped with measuring stations and therefore there is no data available in this respect. The estimation of floods is being achieved by various methods, in all of which the "time of concentration" is a fundamental parameter, normally calculated by means of empiric formulae. This because more precise methods require a reasonable number of data and hydrograms which in this case do not exist.

This lack of data, because of the lack of resources, of personnel and material, and also of a minimum number of years to identify the pattern, shall continue for dozens of years.

This paper presents the study and analysis of the main formulae. A new method is introduced in Brazil - the use of tracers - for future selection, correlation or even development of new formulae, more suitable to the local conditions.

The dispersion of the tracer in the water stream, the quantities to be injected during the tests (between a minimum, for detection, and a maximum permitted by the standards), the types of injection and detection and the problems of chemical and radioactive safety are discussed here.

Among the radioisotopes, the ^{110m}Ag was selected and tested with success in form of an anionic complex of high stability, ideal because of its long half-like of 253 days, for areas like Guanabara, where adequate storms may take a long time to occur.

Among the dyes, Rodiamina WT is ideal in this case, because of its low losses during the circuit injection-detection, its low cost, high detectability and the fact that it does not offer great riscs to health.

A technical-economical comparison is made between dyes and radioisotopes, indicating that probably the first ones present advantages over the latter, in this kind of work.

INDICE GERAL

Páginas

1. INTRODUÇÃO 1

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - "Tempo de concentração"

2.1.1 - Definições 4

2.1.2 - Método de George Ribeiro 5

2.1.3 - Métodos do "Bureau of Reclamation - U.S.A." 9

2.1.4 - Fórmulas diversas 14

2.1.5 - Tempo de ascensão do hidrograma.. 21

2.1.6 - Traçadores 22

2.1.7 - Métodos gráficos 23

2.1.8 - Considerações iniciais 23

2.2 - Princípios gerais dos métodos de determinação de tempos de trânsito com traçadores

2.2.1 - Dispersão 26

2.2.2 - Determinação de tempos de trânsito 33

2.2.2.1- Tipos de injeção e detecção 33

2.2.2.2- Interpretação dos gráficos resultantes 35

2.2.3 - Conservação de massa do traçador. 41

2.2.4 - Quantidade a injetar 49

2.2.5 - Propriedades de diferentes tipos de traçadores 55

2.2.5.1- O traçador ideal 55

2.2.5.2- Sais 56

2.2.5.3- Corantes 57

2.2.5.4- Radioisótopos 61

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1- Vantagens e desvantagens gerais no uso de traçadores 65

3.2- Seleção dos traçadores 68

3.3- Estudo comparativo técnico-econômico 76

3.4- Detalhes sobre os traçadores escolhidos 81

3.5- Equipamento 83

3.6- Material em geral 85

3.7- Preparo do traçador. Calibração do equipamento 92

3.8- Quantidade a injetar - estimativas 98

3.9- Problemas de segurança

3.9.1- Química 106

3.9.2- Radioatividade 108

3.9.3- Geral 114

4. RESULTADOS

4.1- Fórmulas empíricas 115

4.2- Tempo de ascensão do hidrograma 118

4.3- Radioisótopos 120

5. DISCUSSÃO 123

6. CONCLUSÕES 130

7. BIBLIOGRAFIA 133

8. NOMENCLATURA

8.1- Simbologia latina 140
8.2- Simbologia grega 145
8.3- Constantes 145
8.4- Entidades 146

Capitulo 1

INTRODUÇÃO

O antigo problema das enchentes na Guanabara atingiu caracteres alarmantes durante e após as catástrofes de 1966 e 1967. A partir daí, as atenções dos poderes e dos técnicos do Estado se voltaram para a resolução dos problemas surgidos, ou sejam, os efeitos provocados pelos excepcionais temporais. O elevado escoamento superficial, inundando a cidade, o deslizar de encostas, o rolar de grandes blocos, a destruição de prédios, o desabrigo de grande parte da população, e, o que é pior, a perda de vidas humanas foram as consequências das calamidades.

Procurou-se, então, realizar obras aqui e ali, onde houve acidentes ou nos locais em que a prevenção se fêz imediata, e, ainda, proibir as construções que pudessem provocar riscos futuros.

Todavia, não se tem notícias, até hoje, de que as causas tenham sido profundamente estudadas, especialmente nos campos da Hidrologia, Mecânica dos Solos e Mecânica das Rochas.

Em Hidrologia, um dos aspectos, a previsão de enchentes na Guanabara, tem sido considerado com base em alguns fatores, como a "chuva máxima provável", a "chuva de projeto", o "tempo de concentração da bacia", "vazão de projeto", "volume de cheia", etc.

A determinação do tempo de concentração das pequenas bacias tem sido feita, quase sempre, por dois diferentes métodos, descritos nos trabalhos de ALCANTARA[1] e MILLER e CLARK[2]. Ambos têm por base fórmulas internacionais, perfeitamente válidas nas regiões de origem, mas, que, ao serem aqui aplicadas, podem conduzir os resultados a erros elevados, dadas as diferentes características de solos, vegetação e clima, de um país para outro.

Por outro lado, na maioria dos países desenvolvidos, muitos dos problemas hidrológicos têm sido solucionados, hoje em dia, com o auxílio de traçadores, sejam eles sais, corantes ou radioisótopos. O traçador é escolhido em função da precisão que se deseja obter e da viabilidade técnico-econômica do trabalho. Os radioisótopos e os corantes têm sido largamente usados na Europa e nos Estados Unidos. No Brasil, apenas há pouco tempo começaram a ser realizados alguns trabalhos, principalmente com radioisótopos, em medição de vazões, sedimentologia e poluição costeira.

Levando-se em conta essas considerações iniciais, apresenta-se, a seguir, os objetivos deste trabalho:

a)- estudo comparativo dos métodos de cálculo do tempo de concentração de pequenas bacias (caso de quase todas da Guanabara); análise da aplicabilidade à realidade local;

b)- realização de experiências com traçadores;

c)- balanço das aplicações e custos dos traçadores em geral;

d)- apresentação das possibilidades e dificuldades, na Guanabara, quanto ao preparo dos traçadores, existência de equipamentos e análise dos rios cariocas, por seus acessos, postos hidrológicos, etc., e,

e)- possibilidades de aplicação deste trabalho e sugestões para futuras pesquisas.

Capítulo 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - "Tempo de Concentração"

2.1.1 - Definições

MILLER e CLARK[2] - É o tempo em que uma partícula de água percorre a bacia, do ponto hidraulicamente mais afastado ao ponto de estudo.

RIBEIRO[3] - É o tempo gasto por uma gota de chuva, para ir do ponto mais remoto da bacia, onde ela cai, ao ponto de interesse para projeto.

LINSLEY e FRANZINI[4] - É o tempo necessário para que haja equilíbrio entre a precipitação e o escoamento superficial, ou seja, é o tempo a partir do qual toda a chuva que se precipita é superficialmente escoada.

PILGRIM[5 e 6] - Os tempos de trânsito de partículas líquidas em pequenas bacias variam de uma tempestade para outra. "Tempo de concentração" é o menor tempo de trânsito possível, para que uma partícula d'água precipitada vá, superficialmente, do ponto hidraulicamente mais desfavorável ao de estudo. O ponto mais desfavorável não é, obrigatoriamente, o mais remoto, topograficamente.

As definições, acima apresentadas, são, em parte, semelhantes, mas a de PILGRIM[5] caracteriza mais corretamente o conceito de tempo de concentração.

PFAFSTETTER[7], no trabalho "Deflúvio Superficial-III", explica serem as enchentes influenciadas pelo clima e pelas

características das bacias. Fatores climáticos: intensidade, duração e distribuição no tempo e no espaço das precipitações; condições antecedentes a elas. Características da bacia: área, natureza do solo, cobertura vegetal, declividade e conformação dos leitos, forma da bacia, disposição da rêde de drenagem.

Com a simples observação desses fatores, se pode afirmar imediatamente que cada bacia deve ser estudada, sempre que possível, isoladamente, de acordo com suas próprias características e o clima local, e, que a transposição de fórmulas empíricas de uma região para outra pode levar a erros grosseiros.

2.1.2 - Método de George Ribeiro

RIBEIRO[3] modificou e adaptou as fórmulas de Bransby Williams e Kerby, para tempo de concentração, chegando às seguintes conclusões:

a) - A partir do início do leito do rio (O), até o ponto de estudo (E), a água demora nesse trajeto o tempo T:

$$T = \frac{0,257\,L'}{K_r (100S)^{0,0388}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

onde:

- T = tempo em horas;
- L' = comprimento horizontal do trajeto, em km;
- K_r = coeficiente tabelado pelo autor, com base na porcentagem de vegetação da bacia (tabela 1);
- S = declividade média do leito principal.

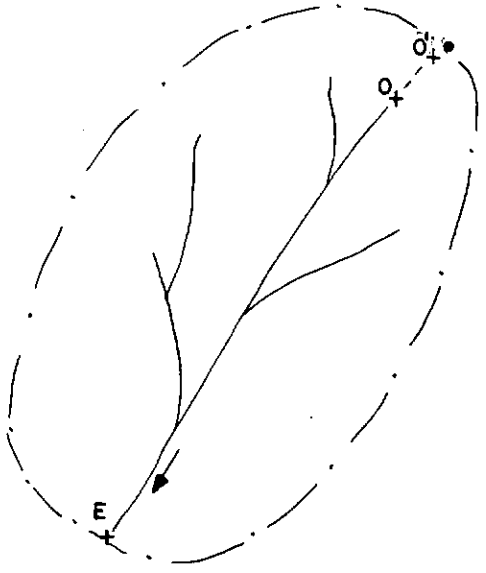


Fig. (1) - Bacia hidrográfica e pontos de estudo

Tabela (1) - Valores de K_r - Fórmula de George RIBEIRO[3]

Valores de K_r	Características
1,05	"Terrenos desnudos. Bacias sem mata."
1,02	"Vegetação pouco densa. 15% de área coberta de mata".
1,00	"Vegetação normal. 25% de área coberta de mata".
0,95	"Vegetação abundante. 50% de mata".
0,90	"Vegetação densa. 75% de mata".
0,85	"Vegetação cerrada. 100% coberta de mata".

b) - Antes de chegar ao ponto de início (0) do leito, a gota de chuva caída em (0'), gasta um tempo t':

$$t' = 1{,}44\left(\frac{1'k}{\sqrt{S'}}\right)^{0{,}4673} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

em que:

- t'= tempo em minutos;
- S'= declividade média, no trecho $\overline{0'0}$;
- k = coeficiente tabelado por Kerby, com base na vegetação da área do trecho;
- 1'= distância horizontal, em m.

Tabela (2) - Valores de k (RIBEIRO[3])

Valores de k	Características
0,02	"Superfície lisa e impermeável".
0,10	"Terreno endurecido e desnudo".
0,20	"Pasto ralo. Terreno cultivado em renques e superfície desnuda e moderadamente áspera".
0,40	"Pasto ou herval médio".
0,60	"Mata de árvores decíduas".
0,80	"Mata de coníferas ou de árvores decíduas, tendo o solo coberto de espessa camada de detritos vegetais ou herva espessa".

Em resumo, tem-se, para o tempo de concentração:

$$T_c = \frac{0,257L'}{K_r(100S)^{0,0388}} + \frac{1,44}{60}\left(\frac{1'k}{\sqrt{S'}}\right)^{0,4673} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

sendo:

$$T_c = T + t' \quad \text{(em horas)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

ALCANTARA[1] apresenta, em seu trabalho sobre galerias pluviais, essa fórmula com pequenas variações (T_c em minutos):

$$T_c = \frac{16\,L}{(1,05-0,2p)(100S)^{0,04}} + 1,44\left(\frac{k1'}{\sqrt{S'}}\right)^{0,47} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Em (5):

$$K_r = 1,05-0,2p \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

sendo p a porcentagem de vegetação na área da bacia e L a distância real em km, do ponto mais afastado ao de estudo.

2.1.3 - Métodos do "Bureau of Reclamation - U.S.A."(MILLER e CLARK[2])

a) - A partir das características hidráulicas da corrente

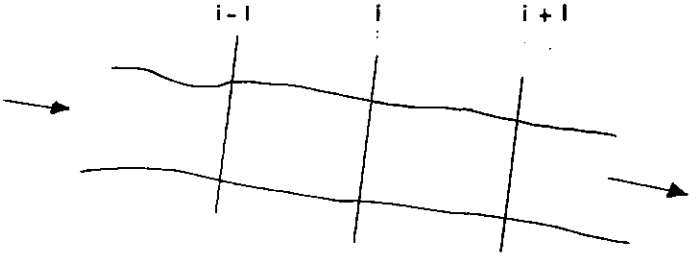


Fig. (2) - Divisão do curso d'água em trechos

Divide-se o rio em trechos, conforme figura (2).Em cada seção transversal, determina-se a vazão máxima possível. Cada vazão máxima pode ser calculado pela conhecida fórmula de Manning:

$$Q_{máx.} = \frac{A_{máx.}}{n} r_{máx.}^{2/3} S^{1/2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

onde:

r = raio hidráulico (r=A/p');
p'= perímetro molhado da seção transversal;
n = coeficiente de Manning

A partir daí, tem-se diversas velocidades, U_i , para as seções transversais:

$$Q_i = A_i U_i \quad \therefore \quad U_i = \frac{Q_i}{A_i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Sendo:

Q_i = vazão máxima possível, na seção i;

A_i = área molhada máxima da seção i.

Com as diversas Ui, tem-se as velocidades médias nos trechos entre as secções:

$$\overline{U}_{i,i+1} = \frac{U_i + U_{i+1}}{2}$$

Com esse valor e $L_{i,i+1}$ (comprimento do rio entre as secções i e i+1, tem-se:

$$t_{i,i+1} = \frac{L_{i,i+1}}{\overline{U}_{i,i+1}}$$

O tempo de trânsito será a soma dos diversos tempos parciais:

$$T = \sum_{i=o}^{i=n} t_{i,i+1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

A esse tempo, apresentado por MILLER e CLARK[2], deve - se acrescentar o tempo em que a água percorre os sulcos do terreno, antes de atingir a parte de canalização definida, desde o ponto mais desfavorável, hidraulicamente.

O S.C.S.[8] (Soil Conservation Service), em reedição recente do "National Engineering Handbook - Section 4-Hydrology", apresenta, no capítulo 15, duas maneiras para se obter esse tempo t'.

Com base em valores regionais, foram determinados dois gráficos, cada qual representando um método de cálculo.

Pelo primeiro, pode-se, sabendo-se o valor da declividade média no trecho (calculada diretamente pela razão: diferença de cotas/distância entre os dois pontos) e as características locais de solo e vegetação, estimar a velocidade média da água que, associada ao comprimento do percurso, fornecerá o tempo t'.

Já pelo segundo método, deve-se introduzir, no gráfico, os valores do comprimento do percurso, da declividade média e do fator CN ("hidrologic soil cover complex number" - tabelado em função do solo, da vegetação e do uso ou não da terra, para agricultura, estradas, etc.). Obtém-se, então, o valor do "lag" t_L, definido como o tempo de retardo entre o instante correspondente à metade da duração do excesso de precipitação que provoca um determinado "run-off" e o do pico deste. O tempo t' advém da relação empírica:

$$t' = \frac{t_L}{0,6} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

O tempo de concentração será:

$$T_c = T + t' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

O cálculo de t', por uma dessas duas maneiras, e a fórmula (11) são válidos também nos casos (b) e (c), a seguir.

O segundo método é válido para o cálculo do T_c de afluentes do curso principal no extremo superior da bacia. No ponto de convergência, o t' da equação (10) já representará diretamente o T_c devido ao afluente. O maior deles, dentre o T_c

do curso principal até esse ponto e o do afluente, deverá ser o usado nos estudos.

b) - A partir de tabelas

Há tabelas que fornecem velocidades médias, em função de declividades, etc. Não é aconselhável o uso dos valores de tabelas desse tipo, de vez que, em geral, a aplicação é muito restrita às regiões de origem. Além disso, como nos exemplos abaixo, os autores omitem detalhes quanto à maneira em que foram determinadas as declividades médias, dificultando ainda mais a aplicação.

Tabela (3) - Valores da velocidade média de cursos d'água, em função da declividade média (MILLER e CLARK[2])

U. S. NAVY NAVDOCKS	
Declividade média (%)	Velocidade média U (ft/s)
1 a 2	2,0
2 a 4	3,0
4 a 6	4,0
6 a 10	5,0

Tabela (4) - Valores da velocidade média de cursos d'água, em função da declividade média (MILLER e CLARK[2])

TEXAS HIGHWAY DEPARTMENT			
Declividade média (%)	Velocidade média U (ft/s)		
	Bosques	Pastos	Leito natural não muito bem definido
0 - 3	1,0	1,5	1,0
4 - 7	2,0	3,0	3,0
8 - 11	3,0	4,0	5,0
12 - 15	3,5	4,5	8,0

O tempo de trânsito será, portanto:

$$T = \frac{L}{U} \quad \ldots\ldots\ldots\

c) - Nomograma ou fórmula do "Soil Conservation Service - U.S.A."

Usa-se a fórmula empírica:

$$T = \left(\frac{11,9L^3}{H} \right)^{0,385} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

onde:

T: em horas;
L: em milhas;
H: diferença de nível, entre o ponto mais alto e o de estudo, em ft.

Essa fórmula deu origem a um nomograma do "Soil Conservation Service", reproduzido no trabalho de MILLER e CLARK[2].

2.1.4 - Fórmulas diversas

a) - Fórmula de Izzard

Para LINSLEY e FRANZINI[4], o tempo de concentração é a combinação dos tempos de percurso no terreno, com e sem forma de canal.

Para a parte não canalizada, IZZARD[4], em 1946, apresentou a seguinte fórmula:

$$t' = \frac{41\ b1^{1/3}}{(CI)^{2/3}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

onde:

$$b = \frac{0,0007I+C_r}{(s')^{1/3}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

em que:

- C = coeficiente de "run-off";
- l = comprimento do percurso, em pés;
- I = intensidade da chuva, em pol/hora;
- C_r = coeficiente de retardo.

A aplicação da fórmula, segundo LINSLEY e FRANZINI[4], só é possível quando $\underline{I.l}$ for menor que $\underline{500.C}$ e $\underline{C_r}$ estão tabelados por IZZARD[4].

O tempo de percurso no canal é calculado por:

$$T = \frac{L}{U} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

em que:

- U = velocidade média no canal (dividido em trechos), com o nível d'água máximo possível.

O tempo de concentração será, portanto:

$$T_c = t' + T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (17)$$

Outra apresentação da fórmula de IZZARD é feita por FLEMING e FRANZ[9]:

$$t'_c = \frac{2,46L^{1/3}}{S^{1/3}(CI)^{2/3}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (18)$$

A fórmula está em unidades inglesas.

b) - BRUCE e CLARK[10] apresentam a seguinte fórmula de Hathaway:

$$T_c = \frac{2Ln}{3\sqrt{S}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (19)$$

em que:

- L - em milhas;
- n = coeficiente de rugosidade ou de Manning, tabelado;
- T_c= em horas.

c) - BELL e OMKAR[11] apresentam a fórmula de Ramser-Kirpich:

$$T_c = 0,00013L^{0,77}.S^{-0,39} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (20)$$

em que:

- L - em milhas;
- T_c- em horas;

d) - PFAFSTETTER[12] apresenta as fórmulas de Ventura:

$$T_c = 0,0127\sqrt{\frac{A'}{S}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (21)$$

e de Pasini:

$$T_c = 0,023\sqrt{\frac{A'L}{S}} \quad :\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (22)$$

sendo:

- T_c- em horas;
- L - em km;
- A'- em km^2.

e) Já SUPINO[13], em um dos mais antigos livros que trataram do assunto, divulgou outras fórmulas:

- de Turazza: $T_c = 1{,}085\sqrt{A'}$ .....(23)

- de Ventura: (variante da anterior):

$$T_c = 0{,}315\sqrt{A'} \quad \text{.....(24)}$$

- de Pasini (idem):

$$T_c = \frac{0{,}0045}{\sqrt{S}} (A'L)^{1/3} \quad \text{.....(25)}$$

sendo:

$$\sqrt{S} = \frac{L}{\frac{L_1}{\sqrt{S_1}} + \frac{L_2}{\sqrt{S_2}} + \ldots} \quad \text{.....(26)}$$

L_1, L_2, ..., e S_1, S_2 ... são os comprimentos parciais dos percursos (L é o total) e suas correspondentes declividades.

As unidades das três fórmulas são:

- T_c - em dias;
- A' - em km^2;
- L_i - em km.

f) Em SOUZA PINTO[14] e outros, tem-se as de:

- Picking : $T_c = 5,3\left(\frac{L}{S}\right)^{2}{}^{1/3}$ ..... (27)

e Ven Te Chow: $T_c = 25,20\left(\frac{L}{S}\right)$ ..... (28)

onde:

T_c - em minutos;

L - em km.

g) RICHARDS[15] mostra:

$$T_c = \left(\frac{C'L^2}{CIS}\right)^{1/3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (29)$$

sendo:

C' - coeficiente de Cheezy;

C - coeficiente de "run-off".

h) CHOW[16] apresenta, para áreas agrícolas:

$$T = \frac{L^{1,15}}{7,7\ H^{0,38}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (30)$$

em que:

T - em horas;

L e H - em ft.

E, para áreas urbanas:

$$T = \frac{(J')^{1/e}}{(CA'C'')^{e'} T_r^{e',e''}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (31)$$

onde:

$$J' = \frac{1}{F_f \cdot F_h \cdot F_s} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (32)$$

F_f= "fator de forma do canal";

F_h= "fator hidráulico do canal";

F_s= "fator de declividade do canal";

T_r= tempo de recorrência (anos), para que uma chuva de intensidade I (pol/h) seja igualada ou excedida;

C = coeficiente de "run-off";

A'= área da bacia, em milhas;

T = em minutos;

e, e', e" e C" = coeficientes tabelados, em função da localização geográfica e das características da bacia.

Não há, na publicação citada, detalhes explicativos quanto à determinação dos novos fatores e coeficientes apresentados.

A parcela t', segundo CHOW, pode ser calculada pela fórmula de Izzard (14) ou por tabelas ou gráficos empiricamente determinados para a região.

CHOW[16] ressalta, ainda, que, no caso de convergência de dois canais drenantes A e B, deve-se ajustar o tempo de concentração pela equação:

$$T_c = \frac{T_{CA} \cdot q_A + T_{CB} \cdot q_B}{q_A + q_B} \qquad \text{.....(33)}$$

sendo q_A e q_B as vazões contribuintes, oriundas de A e B.

i) Dos estudos de Kirpich, no Tennessee, resultou a fórmula transcrita por ROUSE[17]:

$$T = 0{,}0078 \left(\sqrt{\frac{L^3}{H}} \right)^{0{,}77} \qquad \text{.....(34)}$$

estando:

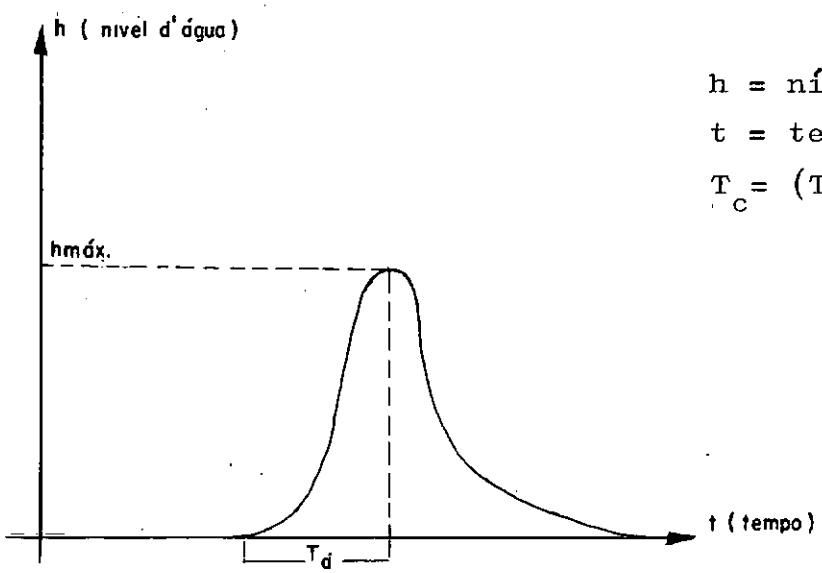
- T - em minutos;
- L e H - em ft.

Esta fórmula é uma variante da apresentada por CHOW[16], para áreas rurais (30).

j) - Há diversas outras fórmulas, além dessas, todas elas mais ou menos com as mesmas variáveis.

2.1.5 - Tempo de ascensão do hidrograma (PILGRIM[6])

Este método se baseia na comparação de diversos hidrogramas, obtidos em posto linigráfico, para diferentes e pesadas chuvas. O menor tempo de ascensão é considerado como o tempo de concentração da bacia, no local.



h = nível d'água do rio

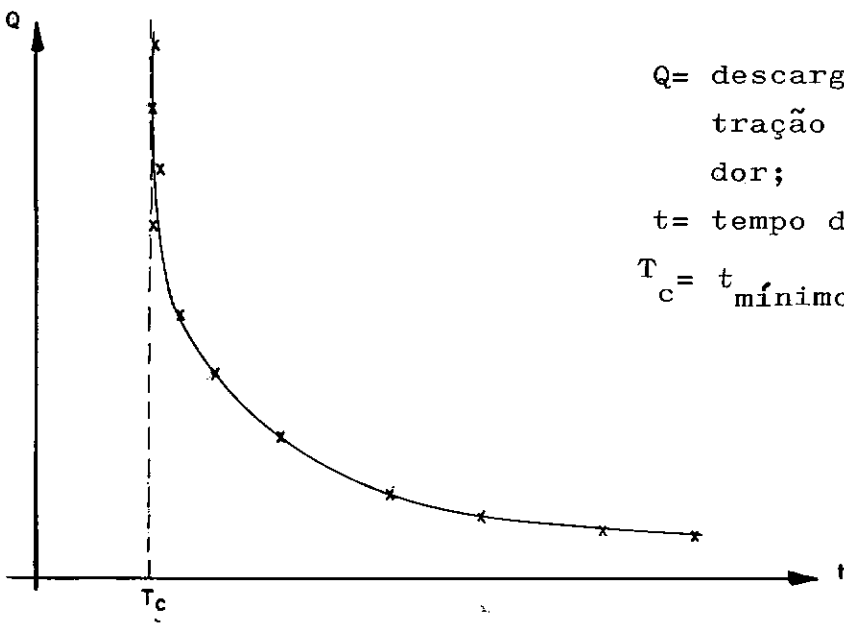
t = tempo.

$T_c = (T_a)$ mínimo ...(35)

Fig. (3) - Tempo de ascensão do hidrograma (linígrafo)

2.1.6 - Traçadores

PILGRIM[5e6], em 1966, introduziu um novo método para a determinação do tempo de concentração. Com o uso de traçadores radioativos, após injetar uma determinada quantidade na nascente do rio, detetou-se a passagem da nuvem radioativa a jusante, no ponto de interesse. Várias chuvas fortes forneceram, como resultados, diferentes descargas e tempos de trânsito, originando-se um gráfico semelhante a este:



Q= descarga para a concentração máxima do traçador;

t= tempo de trânsito.

$T_c = t_{mínimo}$ ..... (36)

Fig. (4) - Correlação Q x t, para diversas tempestades.

Analisando-se os resultados, verificou-se que, a partir de uma determinada vazão - função da maior ou menor intensidade da chuva, e, consequentemente, do maior ou menor escoamento superficial-, o tempo de trânsito era praticamente o mesmo, T_c. Esse T_c, menor tempo de trânsito possível, foi, então, definido por PILGRIM[5e6] como o tempo de concentração da bacia.

2.1.7 - Métodos gráficos

Há métodos gráficos, pelos quais se pode determinar, com boa precisão, o tempo de concentração. Para tal, é necessário um razoável número de dados de precipitações e escoamentos (hidrogramas) superficiais consequentes.

Neste trabalho, não serão apresentados e discutidos esses métodos, norteando-se os estudos para o caso de pequenas bacias hidrográficas com poucos ou sem dados hidrológicos. Esse é o caso da maioria das pequenas bacias brasileiras.

2.1.8 - Considerações iniciais

a) Várias das fórmulas apresentadas não levam em conta a parcela t' do tempo de concentração T_c, ou seja, o percurso da água antes da parte de forma canalizada definida.

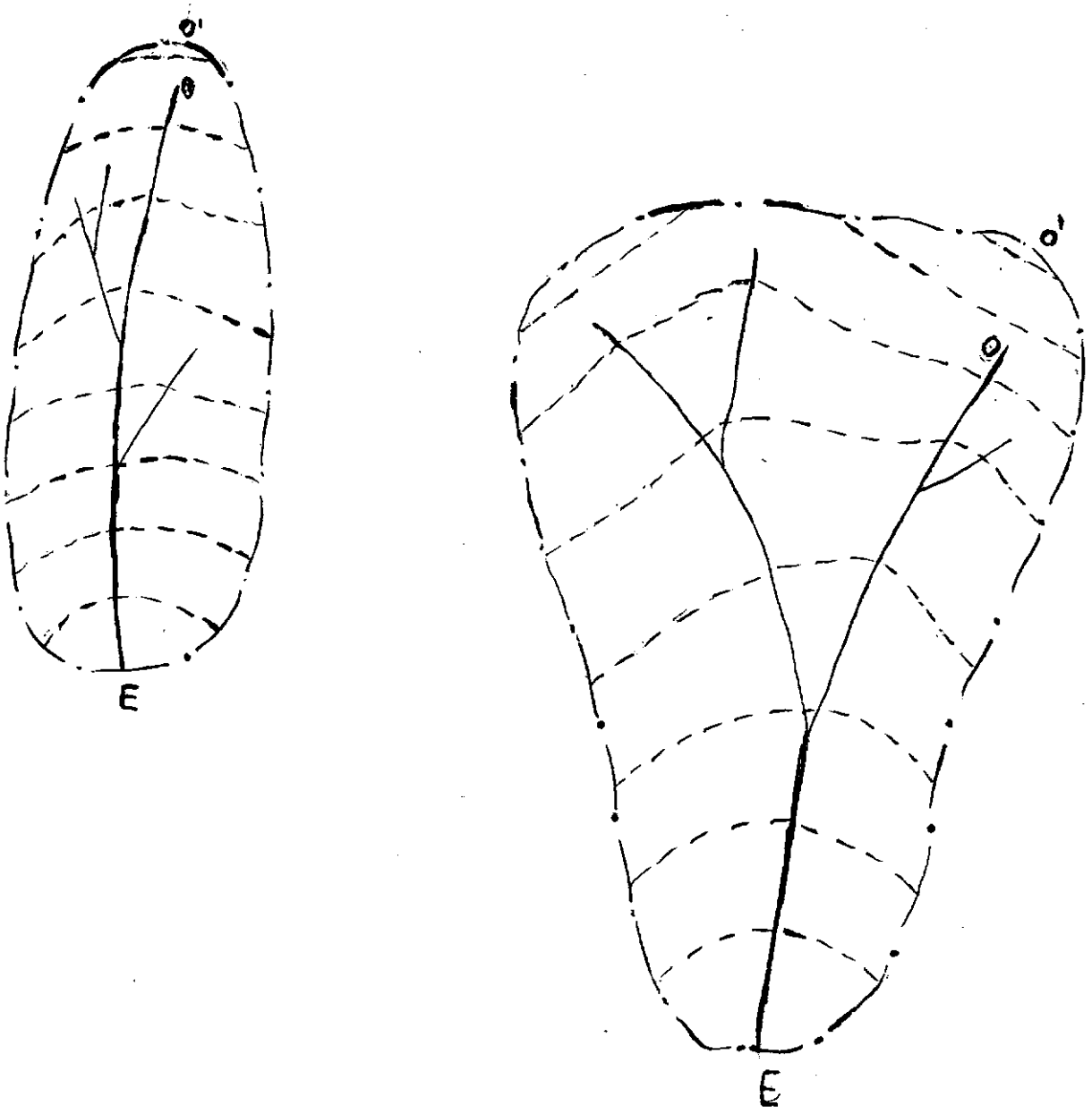
Para o caso de grandes bacias, não há problemas, pois, t' pode ser considerado desprezível. Já em pequenas bacias hidrográficas, t' pode, às vezes, ser até superior à outra parcela T, o que poderá provocar erros elevados nos estudos.

b) Antes de se fazer qualquer estudo, deve-se pesquisar qual o ponto que oferece as mais desfavoráveis condições hidráulicas, O', em relação ao ponto considerado de saída na bacia (E).

Há casos simples, como o da fig. (5). Outros, como o da fig. (6), podem suscitar dúvidas. Deve-se construir, estimativamente, as isócronas da bacia (curvas de igual tempo de concentração). A estimativa é feita pela suposição de estar a bacia saturada e sujeita, uniformemente, a uma chuva máxima provável. Calcula-se, então, os tempos de trânsito de diversos pontos à saída E. A união dos pontos de igual tempo de trânsito fornece as isócronas (SUPINO[13] e RÉMÉNIÉRAS[18]).

c) Há diversos métodos de previsão de cheias. Podem eles ser divididos em três grupos: estatísticos, racionais e funcionais (estes últimos de acordo com a mecânica do escoamento).

Não se entrará em detalhes, neste trabalho, sobre esses métodos, apresentados e discutidos, em diversas publicações (ref. 8 a 18). Entretanto, é bom lembrar que o tempo de concentração é de fundamental importância em quase todos os métodos racionais e funcionais.



— · — Limites da bacia

——— Curso d'água

– – – Isócronas

Figs. (5) e (6) - Exemplos de bacias hidrográficas com as redes de isócronas.

2.2 - Princípios gerais dos métodos de determinação de tempos de trânsito com traçadores

2.2.1 - Dispersão

A dispersão de um traçador solúvel em um líquido é matematicamente tratada, considerando-se que a concentração dele varia com o espaço e com o tempo, desde o momento em que a injeção é feita, instantânea ou continuamente, até um determinado instante e/ou espaço fixo.

A seguir, se apresentará o tratamento teórico da dispersão do traçador, as soluções mais conhecidas para a equação da dispersão longitudinal e a validade dessas soluções.

a) - Tratamento teórico

$$\frac{\partial c}{\partial t}+U_x\frac{\partial c}{\partial x}+U_y\frac{\partial c}{\partial y}+U_z\frac{\partial c}{\partial z}=K_x\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}+K_y\frac{\partial^2 c}{\partial y^2}+K_z\frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad \ldots\ldots\ldots (37)$$

onde:

- c = concentração do traçador; c=f (x, y, z, t);
- t = tempo (variável);
- x, y, z = espaço (variáveis);
- U_x, U_y, U_z= velocidades, segundo x, y e z;
- K_x, K_y, K_z= coeficientes de dispersão turbulenta, segundo x, y e z.

Considerando-se:

$$U_y \tilde{=} 0 \text{ e } U_z \tilde{=} 0$$

e, ainda, que, após uma determinada distância da injeção, a partir da qual a concentração estará homogeneamente distribuida em cada seção transversal, os efeitos laterais de dispersão tenderão a se anular, passando a ter realmente importância apenas os efeitos de dispersão longitudinal, pode-se escrever:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U\frac{\partial c}{\partial x} = K\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (38)$$

em que:

- $U = U_x$
- $K = K_x$

Geralmente, no estudo de tempos de trânsito, a injeção é instantânea. A solução, nesse caso, é bastante conhecida e apresentada em diversos livros e publicações, como, por exemplo, em GARDNER e ELY[19]:

$$c(x,t) = \frac{M}{A(4\Pi Kt)^{1/2}} \cdot \exp.\left[-\frac{(x-Ut)^2}{4Kt}\right] \quad \ldots \quad (39)$$

onde:

- M = massa ou atividade do traçador = $C_i . V_i$
- C_i = concentração da injeção;
- V_i = volume de injeção;
- A = área molhada da seção transversal.

Essa solução é válida para a condição $V_i \tilde{=} 0$. Na prática, deve-se ter:

$$V_i \tilde{=} A.\ \Delta x$$

sendo: X = distância injeção-deteção;

$\Delta x \lll X$.

LENDA e ZUBER[20] apresentam uma nova solução para a equação (38), considerando-se ainda o caso de injeção instantânea:

$$C(x,t)=\frac{Mx}{AU(4\pi Kt^3)^{1/2}} \exp.\left[-\frac{(x-Ut)^2}{4Kt}\right] \ldots\ldots\ldots \quad (40)$$

As soluções para o caso de injeção contínua, com concentração C_o, são:

- mais conhecida:

$$C(x,t)=\frac{C_o}{2}\left[1-\operatorname{erf}\left(\frac{x-Ut}{2\sqrt{Kt}}\right)\right] \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (41)$$

- outra solução usual:

$$C(x,t)=\frac{C_o}{2}\left[1-\operatorname{erf}\left(\frac{x-Ut}{2\sqrt{Kt}}\right)\right] + e^{\frac{Ux}{K}}\left[1-\operatorname{erf}\left(\frac{x+Ut}{2\sqrt{Kt}}\right)\right] \ldots (42)$$

O termo em acréscimo dessa solução, em relação à anterior, se refere aos casos em que não se tem:

$$\frac{K}{UX} \lll 1.$$

Este fato foi comprovado na prática, por OGATA e BANKS, conforme apresentam LENDA e ZUBER[20] que também testaram e aprovaram essa solução.

GLOVER[21], desenvolvendo os estudos em correntes, naturais ou não, apresenta a seguinte característica de dispersão longitudinal:

$$\frac{K}{U} = 20,2r\frac{\sqrt{g}}{C'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (43)$$

em que, como se definiu anteriormente:

- r = raio hidráulico;
- g = aceleração da gravidade;
- C'= coeficiente de Cheezy.

Na realidade, o tempo correspondente à concentração máxima do traçador, ao passar por um ponto fixo, distante X da injeção, é menor que o tempo de trânsito médio. Dos estudos de LENDA e ZUBER[20], pode-se concluir, para o caso de injeção instantânea, que:

$$\frac{t_{pico}}{\bar{t}} = \sqrt{1+\left(\frac{K}{UX}\right)^2} - \frac{K}{UX} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (44)$$

para a solução normal, e,

$$\frac{t_{pico}}{\bar{t}} = \sqrt{1+\left(3\,\frac{K}{UX}\right)^2} - 3\,\frac{K}{UX} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (45)$$

para a nova solução.

Com os valores teóricos de K/U (43) e variando-se X, pode-se obter duas curvas teóricas de $t_{pico}/\bar{t}$, em função de K/UX. A observação de K/U em experiências levadas a efeito pelo Convênio IEN-COPPETEC, em tubulações de grande diâmetro da PETROBRÁS, apresentaram resultados bem mais próximos da nova solução (40), como se mostra, esquematicamente, a seguir:

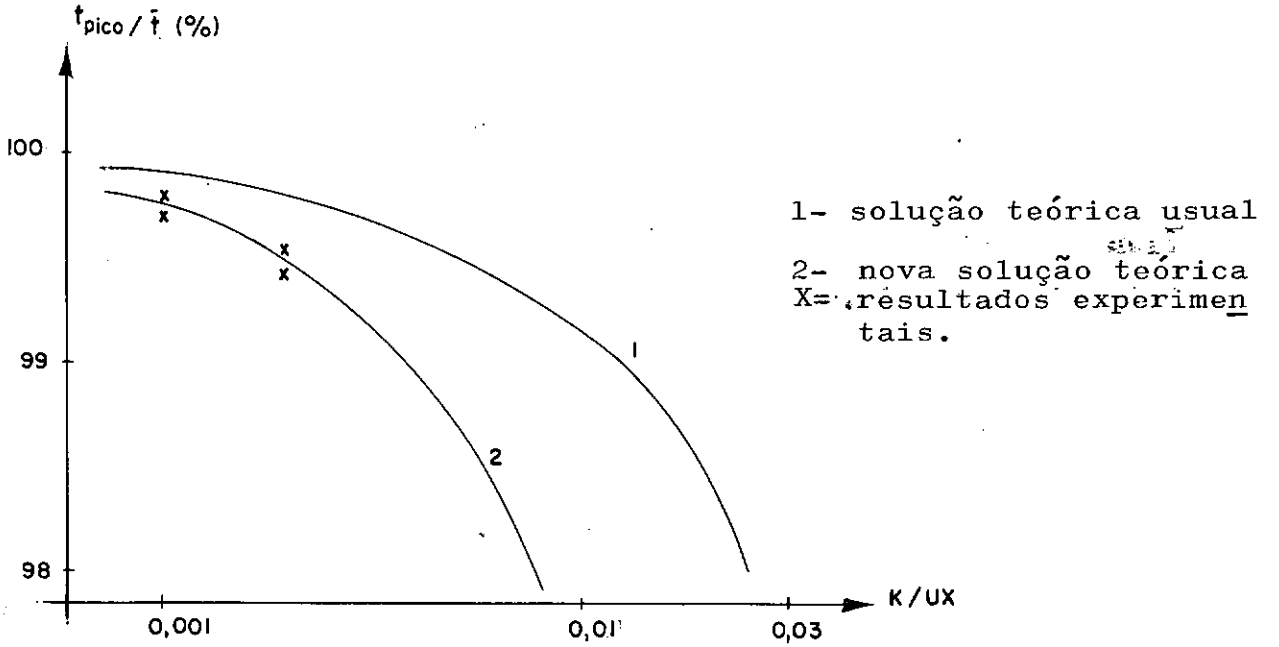


Fig. (7) - Correlações entre $t_{pico}/\bar{t}$ e K/UX (esquema)

Observe-se que quando $K/UX \ll 1$, $t_{pico}/\overline{t}$ vai tendendo a 1, para ambas as soluções. Nesse caso, pode- se fazer: $t_{pico} \simeq \overline{t}$, o que leva a:

$$\overline{t} = \frac{X}{U} \simeq t_{pico}, \text{ ou: } X \simeq U.t_{pico}$$

Em (39) e (40) se terá a exponencial reduzida a um, e:

$$c(X,t_{pico}) \simeq \frac{M}{A(4\Pi \frac{K}{U} X)^{1/2}} \simeq C_{pico} \quad \ldots\ldots (39)'$$

$$c(X,t_{pico}) \simeq \frac{\sim M}{A(4\Pi \frac{K}{U} X)^{1/2}} \simeq C_{pico} \quad \ldots\ldots (40)'$$

Como se vê: (39)=(40), para o caso de se ter a distância fixa X e a aproximação $\overline{t} \simeq t_{pico}$

No caso da <u>injeção contínua</u> em rios, se tem:

$\frac{K}{UX} \ll 1$, e, para $\overline{t} \simeq \frac{X}{U}$, por exemplo, em (41), se terá:

$$c(X,\overline{t}) \simeq \frac{C_o}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (46)$$

b) - <u>Validade das soluções apresentadas</u>

As soluções teóricas apresentadas, relativas à equação (38), tanto para o caso de injeção instantânea, como

o de contínua, são válidas para o caso de, no trecho em estudo:

- haver conservação de massa do traçador injetado;
- não haver alteração na vazão Q de escoamento;
- não haver alteração considerável no "background" (concentração do traçador, já existente naturalmente no curso d'água).

2.2.2 - Determinação de tempos de trânsito

2.2.2.1 - Tipos de injeção e deteção

Há dois tipos de injeção do traçador: singular ou instantânea e contínua, como já se falou anteriormente. A deteção pode ser feita de várias maneiras: coletando-se a mostras e analisando-se-as em Laboratório, uma a uma, ou, instalando-se, no campo, aparelhos que respondam proporcionalmente à concentração do traçador, ao passar a nuvem pelo posto. Pode-se adaptar aos aparelhos um registrador, obtendo-se, assim, diretamente, o gráfico de passagem do traçador. Se não se tiver tal aparelho, pode-se fazer leituras periódicas e construir a curva.

Ter-se-á, portanto, para a injeção instantânea:

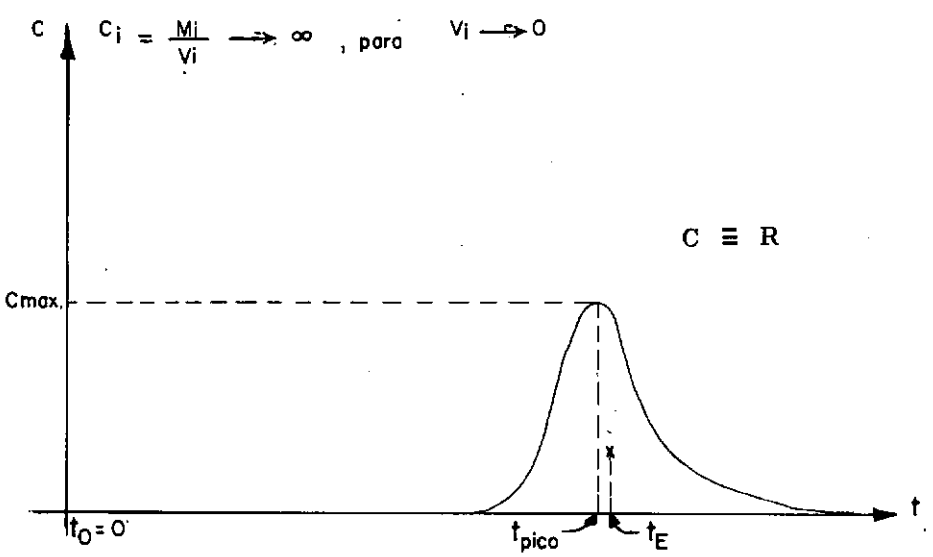


Fig. (8) - Traçadores: injeção instantânea

em que:

- R = taxa de contagens ou leituras do detetor;
- t_o = hora da injeção;
- t_E = hora da determinação do tempo médio de trânsito do traçador, a discutir em um dos capítulos seguintes.

As equações e soluções válidas para este caso, já anteriormente apresentadas e discutidas, são: (38), (39), (40), (43), (44) e (45).

Para o caso da injeção contínua - equações e soluções (38), (41), (42), (43) e (46) - ter-se-á:

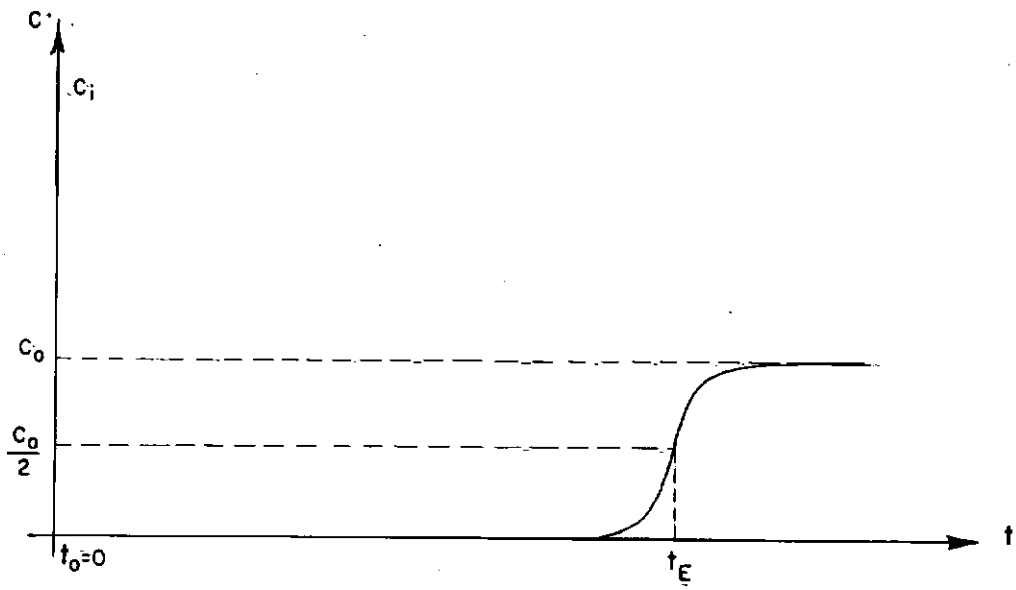


Fig. (9) - Traçadores: injeção contínua

c_i, concentração da solução injetada, e, c_o, concentração do traçador no rio, no ponto inicial, serão discutidas, posteriormente. t_o, aqui, representa o início da injeção contínua.

2.2.2.2 - Interpretação dos gráficos resultantes

Considerando-se não ser usual o tipo de injeção contínua, em estudos de tempo de trânsito, devido à dificuldade de se saber qual a hora da injeção que gera o tempo t_E (figura 9), só se procurará, nesta parte, tratar da interpretação dos gráficos resultantes de injeções instantâneas.

a) - Pesquisa por tentativas da curva teórica de melhor adaptação à curva experimental

Roteiro:

- Assume-se um valor inicial de $\overline{t}$, próximo do valor que pareça ser o de tempo médio de trânsito;
- Arbitra-se $\frac{K}{U}$, obtendo-se $\frac{K}{UX}$;
- Passa-se (39) ou (40) para a forma normalizada; por exemplo, (39):

$$c(X,\overline{t}) = \varphi\left(\overline{t}, \frac{K}{UX}\right) = \frac{M}{AX\left(4\Pi \frac{K}{UX} \cdot \frac{t}{\overline{t}}\right)^{1/2}} \exp.\left[\frac{-\left(1-\frac{t}{\overline{t}}\right)^2}{4\frac{K}{UX}\cdot\frac{t}{\overline{t}}}\right] \quad ..(47)$$

onde se aplica $\overline{t}$ e $\frac{K}{UX}$ (arbitrados) e M, A, X (conhecidos), para diversos valores de t, obtendo-se $c(X,\overline{t})$.

- Com a S_e, sensibilidade do equipamento, definida por (61), a posteriori, se obtem os diversos:

$$R_i = S_e . c(X, \bar{t});$$

R_i varia com t_i.

- Plota-se os pontos (R_i, t_i) na mesma folha do desenho da experiência;

- Arbitra-se, sucessivamente, novos $\bar{t}$ e K/UX, de maneira que os novos pontos (R_i, t_i) resultantes se aproximem dos (R_i, t_i) experimentais.

Obs.: Supõe-se ter S_e calculada em laboratório nas condições que se espera para o campo. Se, após as tentativas feitas, se tiver, como resultado, uma curva teórica semelhante à experimental, porém com picos bem diferentes, deve-se ir corrigindo S_e, por tentativas, até se ter o perfeito ajustamento. Ocorre, nesse caso, que as condições geométricas diferiram, do laboratório para o campo, e, consequentemente, com S_e também se passa o mesmo fato.

Ao terminarem as tentativas, se terá:

- $\bar{t}$ = tempo médio de trânsito;
- $\frac{K}{U}$ = característica da dispersão longitudinal.

b) - Definição de tempo médio de trânsito

Tem-se, conforme definição apresentada por LJUNGREN[22], em um trabalho de revisão sobre os métodos de uso de traçadores:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^\infty t.c(t)dt}{\int_0^\infty c(t)dt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (48)$$

Se forem tomados pontos a intervalos infinitesimais, pode-se, na prática, fazer:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i.c(t_i)}{\sum_{i=1}^{n} c(t_i)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (49)$$

LENDA e ZUBER[20] provam que $\bar{t}$, tempo médio de trânsito do traçador, é igual ao t_w, tempo médio de trânsito do fluido.

O tempo $\bar{t}$, apresentado em (48), é o momento de primeira ordem de uma função do tipo: c=c(X,t)=c(t), em que X é fixo. Representa a média.

A variância, ou momento de segunda ordem, será:

$$\sigma^2 = \frac{\int_0^\infty (t-\bar{t})^2.c(t)dt}{\int_0^\infty c(t)dt} = \frac{\int_0^\infty t^2.c(t)dt}{\int_0^\infty c(t)dt} - \bar{t}^2 \ldots\ldots\ldots (50)$$

ou:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i^2.c(t_i)}{\sum_{i=1}^{n} c(t_i)} - \bar{t}^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (51)$$

Considerando-se a dispersão nula, no caso de injeção instantânea, no ponto inicial se terá:

$$\sigma_o^2 = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (52)$$

Entre a injeção e a deteção se terá, ainda segundo LJUNGGREN[22]:

$$2\frac{K}{UX} = \frac{\sigma_E^2 - \sigma_o^2}{\bar{t}^2}$$

E daí:

$$\frac{K}{U} = \frac{\sigma_E^2 \cdot X}{2\bar{t}^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (53)$$

K/U pode ser considerada como a característica da dispersão longitudinal, a obter a partir dos dados experimentais.

c) - Método simplificado de LENDA e ZUBER[20]

Sequência:

- Tem-se o gráfico da experiência; a 1/F do pico traça-se uma horizontal que intercepta a curva em dois pontos A e B. F é arbitrário, podendo ser 2, 3, 4, etc., de acordo com o bom senso do analista; geralmente, usa-se 2 ou 3;

- Arbitra-se um $\bar{t}$ que pareça ser próximo do real;

- Calcula-se $t_A/\bar{t}$ e $t_B/\bar{t}$;

- No gráfico experimental de LENDA e ZUBER[20], da página seguinte, entra-se com $t/\bar{t}$, ou sejam, $t_A/\bar{t}$ e $t_B/\bar{t}$; se os valores obtidos para K/UX forem os mesmos para os casos de t_A e o de t_B, tem-se o valor final de $\bar{t}$. Caso contrário, vai-se rearbitrando $\bar{t}$ e se aproximando os resultados. Quando $(K/UX)_A=(K/UX)_B$, ter-se-á os resultados finais:

$\bar{t}$ e K/U.

No exemplo do gráfico, tem-se:

$$\frac{t_A}{\bar{t}} = 0,8 \quad \text{——} \quad \left(\frac{K}{UX}\right)_A \simeq 0,0096$$

e

$$\frac{t_B}{\bar{t}} = 1,2 \quad \text{——} \quad \left(\frac{K}{UX}\right)_B \simeq 0,089$$

Deve-se, portanto, alterar $\bar{t}$, e, daí $t_A/\bar{t}$ e $t_B/\bar{t}$, até se obter a igualdade em K/UX .

Este modo de interpretação é de grande importância nos casos em que o início ou o fim da curva não estão bem definidos, fato que impossibilita o uso dos processos anteriores, dada a necessidade do uso de todos os pontos da curva experimental.

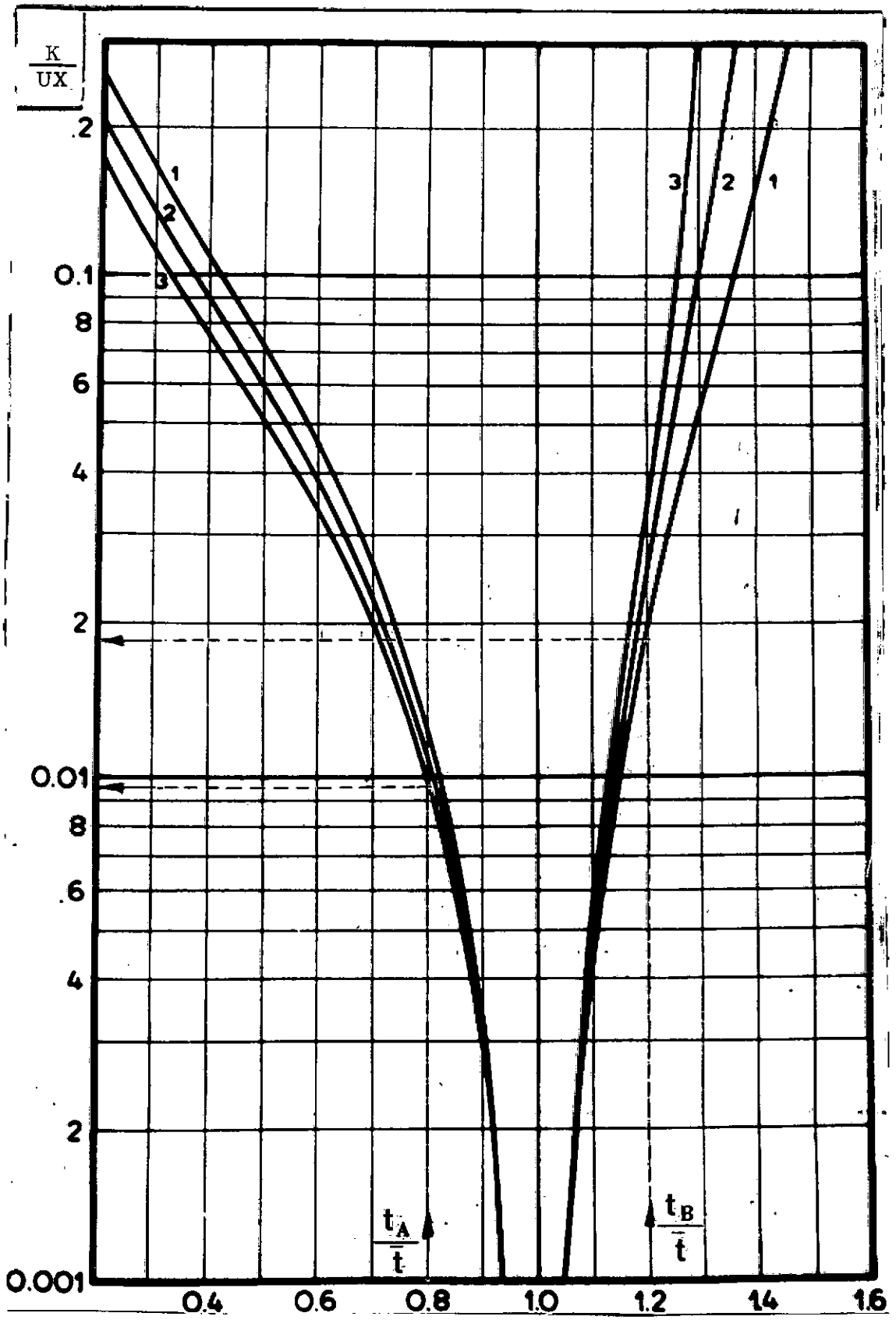


Fig.(10) - Correlações entre K/UX e t/ $\bar{t}$, segundo LENDA e ZUBER[20]

d) Tempo correspondente ao pico

$$\bar{t} \simeq t_{pico} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (54)$$

Este valor é aproximado, como já se viu e discutiu em (2.2.1), ao se fazer o estudo da dispersão do traçador.

2.2.3 - Conservação da massa do traçador

a) Medição de vazões

Os tipos de injeções, neste caso, são os mesmos anteriormente citados.

A deteção pode ser feita de várias maneiras, com ou sem coleta de amostras.

Não se entrará em detalhes aqui sobre o assunto, por não ser a finalidade principal deste trabalho. Ressalte-se, todavia, que, qualquer que seja o método, dois fatores são importantes:

- conservação de massa do traçador, ou seja, em termos práticos, perdas desprezíveis no percurso injeção-deteção. Este aspecto limita essa distância a um máximo;
- distância de boa mistura, ou seja, local a partir do qual todos os pontos de uma seção transversal considerada têm a mesma concentração, em cada instante t. Este segundo aspecto limita a distância injeção-deteção a um mínimo.

Atualmente, o método mais usual e preciso, no caso de injeção instantânea, é o da coleta periódica de amostras (GUIZERIX[23] e DINCER[24]). Consiste na coleta, a intervalos de tempos reduzidos (Δt), de amostras representativas da passagem de toda a nuvem do traçador.

Tem-se, pelo princípio de conservação da massa , que a quantidade injetada deve ser igual à detetada:

$$M=\int_o^A \int_o^\infty c(a,t).U(a.t)dadt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (55)$$

onde:

M= quantidade injetada (massa ou atividade);
A= área da seção transversal;
a,t= variáveis: área e tempo;
U = velocidade do traçador;
c = concentração do traçador (massa ou atividade por volume).

Durante a experiência, ter-se-á instantes t, para os quais a velocidade média na seção é a mesma:

$$U(a,t)=U(a) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (56)$$

Após a "boa mistura", a concentração é a mesma para todos os pontos da mesma seção transversal, no instante t:

$$c(a,t)= c(t) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (57)$$

Daí, vem:

$$M= \int_o^A U(a)da. \int_o^\infty c(t)dt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (58)$$

Mas:

$$\int_o^A U(a)da=Q \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (59)$$

Assim:

$$Q = \frac{M}{\int_0^{\infty} c(t)dt} = \frac{M}{\int_{t_1}^{t_2} c(t)dt} = \frac{M}{\bar{c}(t_2-t_1)} \quad \ldots\ldots \quad (60)$$

pois, conforme figura (11):

$$\int_{t_1}^{t_2} c(t)dt=\bar{c}(t_2-t_1)$$

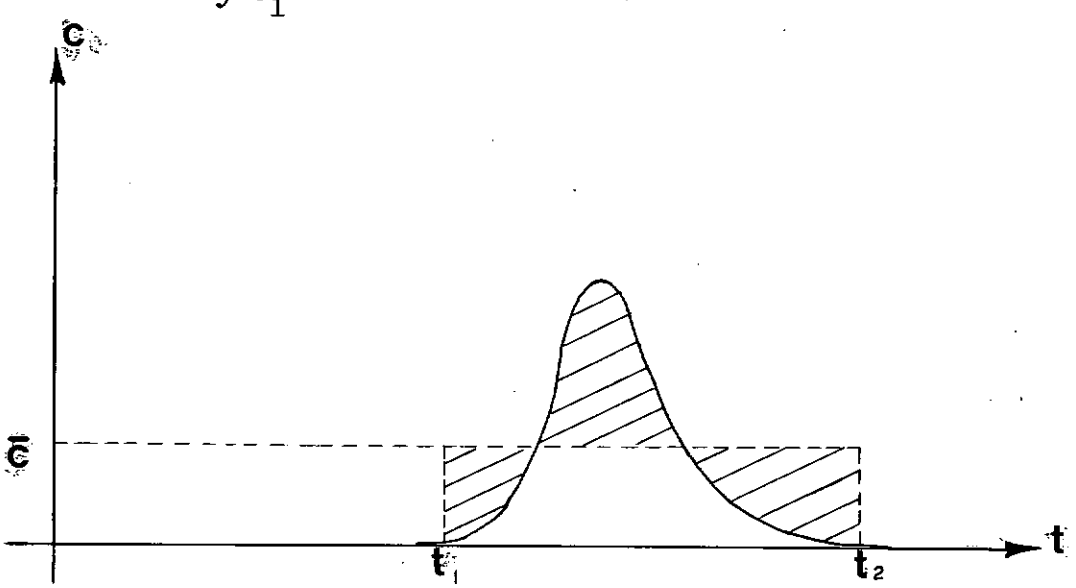


Fig. (11) - Determinação de $\bar{c}$ (método da coleta periódica de amostras)

sendo:

t_1= hora de início da coleta de amostras;

t_2= hora do fim.

A aparelhagem deve ser calibrada em Laboratório, tomando-se uma fração da massa (ou atividade) do traçador a injetar ($\underline{fM}$), diluindo-se-á em um volume de calibração $\underline{V_c}$ e obtendo-se, após o bom misturamento de $\underline{fM}$ em $\underline{V_c}$ as leituras $\underline{R_c}$ no equipamento.

A sensibilidade do equipamento é definida por:

$$S_e = \frac{\text{Leituras}}{\text{Concentração}} \quad \therefore \quad S_e = \frac{R_c}{fM/V_c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (61)$$

onde:

$fM = M_c$ (massa ou atividade de calibração)

Neste método, deve-se misturar bem todo o volume coletado para que se tenha a concentração média $\underline{\bar{c}}$ e se extraia dele o volume $\underline{V_c}$. As novas leituras devem ser feitas exatamente nas mesmas condições geométricas e com a mesma aparelhagem usada na calibração.

A sensibilidade do equipamento é, dessa forma, a mesma, na calibração e na análise do volume coletado:

$$S_e = \frac{R_s}{C_s} = \frac{R_s}{\bar{C}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (62)$$

R_s = novas leituras, relativas à amostragem.

Comparando-se (61) e (62) e levando-se a (60), tem-se a fórmula final:

$$Q = \frac{R_c \cdot V_c}{fR_s(t_2 - t_1)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (63)$$

Quanto à distância de boa mistura, a partir da qual as amostras podem ser coletadas, há várias fórmulas empíricas estimativas.

Com sais, como traçadores, CALKINS[25] usou a fórmula de Fischer:

$$L_{bm}=\frac{2,98B^2}{r^{5/6}.n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (64)$$

onde: r=raio hidráulico;
n=coeficiente de Manning.

B = metade da largura da seção transversal média do trecho em estudo.

Para corantes, KILPATRICK[26] usou as fórmulas de Yotsukura:

- injeção no centro do rio: $L_{bm}=1,3U\frac{w^2}{Z}$ .... (65)

- injeção nas margens: $L_{bm}=2,6U\frac{w^2}{Z}$ ... (66)

onde:

U = velocidade média estimada, no trecho;
w = largura média da seção transversal no trecho;
z = profundidade média.

Para radioisótopos, GUIZERIX[27] aconselha o uso em cursos d'água de valores experimentalmente determinados.

Nos casos de dificuldade de determinação, GUIZERIX[23] sugere o uso da fórmula de Rimmar:

$$L_{bm}=0,13n' \frac{W^2}{Z} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (67)$$

onde:

$$n'= \frac{C'(0,7C'+6)}{g} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (68)$$

C'= coeficiente de Cheezy;
g = aceleração da gravidade.

No caso de injeção contínua, não usada em medições de tempos de trânsito, mas bastante usual em medições de vazões, as considerações apresentadas anteriormente quanto à conservação de massa do traçador e a distância de boa mistura são ainda válidas.

Considerando-se que:

- q - vazão da injeção contínua do traçador;
- Q - vazão do curso d'água;
- C_{BKG}- concentração natural do traçador do rio;
- C_i- concentração da solução injetada;
- C_E- concentração de equilíbrio, no ponto de detecção;

ter-se-á a equação de balanço do traçador, de conhecimento amplo, conforme apresenta COBB e BAYLEY[28]:

$$Q.C_{BKG}+q.C_i=(Q+q)C_E \quad \therefore \quad Q=\left[\frac{C_i-C_E}{C_E-C_{BKG}}\right]q \quad \ldots\ldots\ldots \quad (69)$$

Geralmente:

$$C_i \ggg C_E \quad e \quad C_E \ggg C_{BKG}$$

Daí:

$$Q = \frac{C_i}{C_E} q \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (70)$$

Observe-se que a concentração do traçador no rio, logo após a injeção, no ponto inicial, fig. (9), é:

$$C_o = \frac{C_i . q}{Q+q} \quad , \text{ sendo } C_o \neq C_i, \text{ portanto.}$$

b) Porcentagem de recuperação do traçador nas medições de tempos de trânsito

No caso de medição de vazões, é possível satisfazer-se à condição de conservação de massa do traçador, fazendo-se as coletas logo após à estimada distância de boa mistura.

Todavia, na prática, no caso de medição de tempos de trânsito, não se tem a mesma quantidade injetada passando pelo posto de deteção, por causa das perdas nos, normalmente, longos trajetos. Esse fato não altera os resultados relativos a $\bar{t}$, de maneira considerável se as perdas forem mínimas.

Interessante, entretanto, é saber-se qual a percentagem de recuperação do traçador:

$$J=\frac{M_d}{M_i} \quad \ldots\ldots\ldots\

$$J = \frac{f Q \bar{R}_s (t_2 - t_1)}{R_c V_c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (75)$$

para o caso de Q constante, e,

$$J = \frac{f \bar{Q} \bar{R}_s (t_2 - t_1)}{R_c V_c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (76)$$

para Q variáveis, usando-se a vazão média $\bar{Q}$, durante a coleta de amostras. Nestas estimativas, de "recuperação", as vazões são fornecidas pelos métodos usuais.

É óbvio que, para medições de vazões com radioisótopos, a vazão deve ser constante durante as medições e o princípio de conservação da massa forçará o valor de J em (75) a ser praticamente igual a 100%.

2.2.4 - Quantidade a injetar

a) Introdução

Há varias maneiras de se calcular a quantidade de traçador a injetar, com base em estudos teóricos, fórmulas empíricas ou considerações de ordem prática. Todas elas conduzem a valores estimativos, como se verá a seguir.

É importante frizar que a concentração máxima do traçador, no ponto de deteção, $C_{máx.}$, deve ser:

$$CM_iD \leq C_{máx.} \leq CM_xP \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (77)$$

em que:

CM_iD= concentração mínima detetável;
CM_xP= concentração máxima permissível.

As "CM_xP" podem ser extraídas das normas nacionais ou internacionais que as limitam, levando-se em conta o local e o tipo da água em estudo: limpa ou poluída, de uso potável ou por banhistas; etc.

Já os valores mínimos, "CM_iD", segundo ZUBER e LENDA[20], assim são obtidos, a partir da taxa de contagens média do "background" de traçador no rio, $\overline{R}_{BKG}$:

$$CM_iD = \frac{10\,\sigma(\overline{R}_{BKG})}{S_e} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (78)$$

onde:

$\sigma(\overline{R}_{BKG})$= desvio padrão;

S_e= sensibilidade do equipamento.

Maiores detalhes sobre os limites superiores, "CM_xP", são apresentados no item 2.2.5, e, os inferiores, "CM_iD", em 3.8, a seguir.

A $C_{máx.}$ desejada, $C_{des.}$, obedecendo a esses limites, pode ser calculada de duas maneiras.

Há os que consideram:

$$C_{des.} = G.(CM_iD) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (79)$$

onde:

$10 \leqslant G \leqslant 100$

Outros, conhecendo S_e e R_{BKG}, assim calculam a $C_{des.}$:

$$S_e = \frac{R_c}{C_c} = \frac{R_c}{M_c/V_c}$$

O índice c nos valores da taxa de contagens R_c, concentração C_c, massa do traçador M_c e volume V_c, se refere à calibração do equipamento, no campo ou em Laboratório, em condições semelhantes às das experiências.

Na deteção, deve-se ter m vezes o R_{BKG}, para perfeita caracterização gráfica da passagem do traçador. Daí, tem se a regra de três:

M_c/V_c ——— R_c

$C_{des.}$ ——— $m.R_{BKG}$

ou

$$C_{des.} = \frac{(M_c/V_c).m.R_{BKG}}{R_c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (80)$$

b)- Base: teorias da dispersão

De (40)', se tem:

$$M_i \simeq \left(2A\sqrt{\pi \frac{K}{U}X}\right).C_{des.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (81)$$

Com os valores de $C_{des.}$ fornecidos por (79) e (80), levados a (81), se tem dois meios de obtenção de M_i, quantidade a ser injetada. Na realidade - vide BANSAL[29] - os estudos teóricos de dispersão se referem a distribuições normais da concentração do traçador, mantendo-se o princípio de conservação de massa. Tal fato não acontece: parte do traçador reage com o leito, as margens e as partículas suspensas. Ou é retida, simplesmente. Essas perdas é que devem ser consideradas, no cálculo de $C_{des.}$, usando-se coeficientes de segurança (no caso, G ou m), para que o traçador não chegue ao ponto de medição sem condições de ser detetado.

c)- Base: estimativa do volume de dispersão

Supõe-se que o traçador se disperse por todo o volume do trecho injeção-deteção. Ter-se-á:

$$V_d = \frac{1}{3}WZX \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (82)$$

O cálculo, dessa forma, é bastante impreciso. Serve, todavia, como uma estimativa preliminar, antes das primeiras injeções.

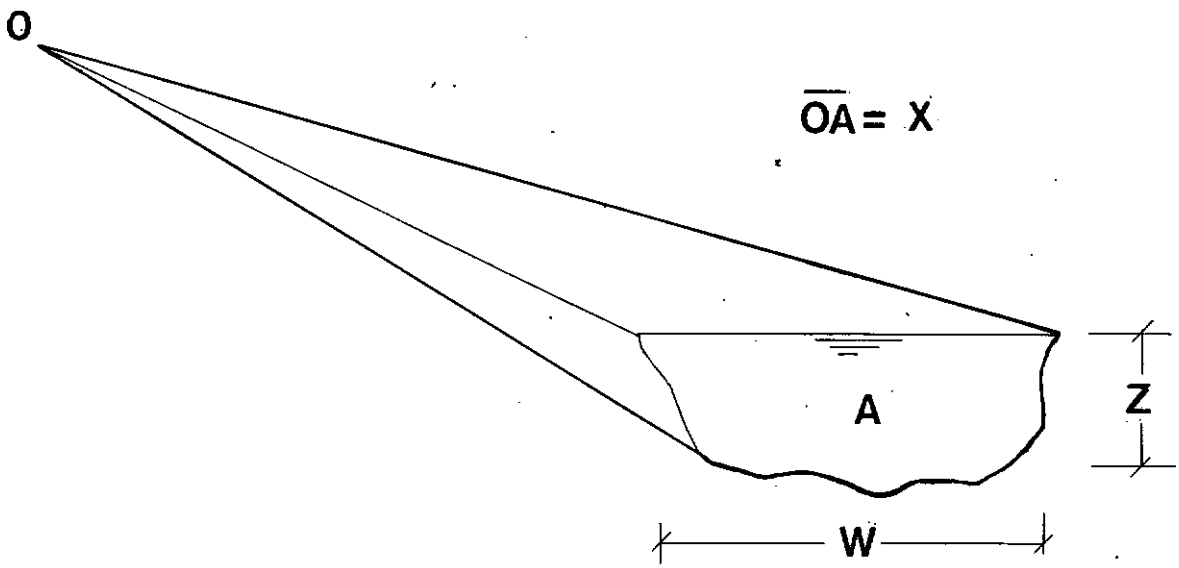


Fig. (12) - Determinação, por estimativa, do volume de dispersão

A massa a injetar é, por definição:

$$M_i = V_d \cdot C_{des.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (83)$$

$C_{des.}$ é obtida, novamente, por (79) e (80), completando-se, assim, os quatro principais métodos de cálculo de M_i.

d)- Fórmulas empíricas

d.1) - KILPATRICK[26], com base em estudos com Rodiamina WT, segundo ele "o melhor corante para estudos de tempos de trânsito, em rios", apresenta uma variante da fórmula

anterior, considerando-se aqui as perdas estimadas de traçador:

$$V_i = 3,4 \times 10^{-4} \left(\frac{Q_{máx.} \, X}{U} \right)^{0,93} . C_{des.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (84)$$

em que:

V_i = volume a injetar, em l;
X, em milhas; U, em fps; $Q_{máx.}$, em cfs; $C_{des.}$, em g/l.

Em massa se tem:

$$M_i = 2,62 V_i$$

sendo M_i em pounds e 1 pound=453,6g.

KILPATRICK[26] apresenta um gráfico da variação proporcional de V_i em função de $\frac{Q_{máx.} X}{U}$, para a Rodiamina WT.

d.2)- Desenvolvendo-se a fórmula de HULL, apresentada por DINCER[24], para escoamento em cursos d'água, se chega a:

$$M_i = \frac{QN}{S_e} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (85)$$

onde:

N = número total de contagens que se deseja;
M_i = atividade a injetar.

O valor de N é função do tempo de passagem da nuvem radioativa e deve ser bem maior que o valor correspondente às contagens de BKG, durante esse tempo. Q é estimada.

2.2.5 - Propriedades de diferentes tipos de traçadores

2.2.5.1 - O traçador ideal

Um "traçador ideal" deve satisfazer às seguintes condições, segundo GUIZERIX[23], GOMEZ[30], WILSON[31], CLAYTON[32] e PLATA[33]:

a) ter grande solubilidade em água, não formando precipitados, não reagindo com partículas do leito ou em suspensão, nem com material orgânico do rio;

b) não contaminar o meio, durante muito tempo, para que não haja interferências em experiências futuras;

c) não existir na água ou estar presente nela em concentrações tão baixas que não interfiram nos resultados; poder ser injetado em quantidade tal que não mude, significativamente, a densidade, a viscosidade e a temperatura da água, não alterando, assim, o fluxo natural; ser suscetível a deteminações quantitativas, em baixa concentração;

d) não causar problemas à saúde humana, nem danos à flora e à fauna locais; ter baixa toxi-

cidade química e radiológica; estar dentro das concentrações permissíveis pelas normas internacionais e pelas próprias normas locais;

e) ter baixo custo; e,

f) ser fácil de obter ou preparar.

2.2.5.2 - Sais

Das experiências e informações de CALKINS[25], GOMEZ[30], GARCIA[34] e ANDRE[35], pode-se resumir:

Tabela(5)- Sais mais usados como traçadores

Traçador	Mínima concentração detetável (g/g)	Algumas características gerais
NaCl (Cloreto de sódio)	10^{-5} a 10^{-6}	Análise por condutimetria. Muito usado nos U.S.A.
$Na_2Cr_2O_7$ (Dicromato de sódio)	10^{-6}	Análise colorimétrica. Muito usado na França.
NaI (Iodeto de sódio)	10^{-9} a 10^{-10}	Análise por ativação.
LiCl (Cloreto de lítio)	10^{-6}	Análise por espectrometria. Uso recente, na França.

Dos sais, segundo PLATA[33], o melhor é o NaCl, de adsorção nula e determinação possível no campo, por condutimetria. Todavia, apresenta o inconveniente de se encontrar sempre presente na água ("background" muito alto), o que obriga a injeções de elevadas quantidades de sal, alterando o

escoamento, na maioria das vezes, e conduzindo os resultados a erros consideráveis. Esse fato, além da falta de equipamento adequado, forçou a eliminação do uso dos sais nestes estudos.

2.2.5.3 - Corantes

Das observações de GOMEZ[30], WILSON[31], ANDRE[35] e FEUERSTEIN-SELLECK[36], se tem:

Tabela(6)- Corantes mais usados como traçadores

Traçador	Concentração mínima detetável em água limpa (g/g)	Algumas características gerais
Fluoresceina	$5,8x10^{-11}$ (Bastante afetada se a água for poluida)	Baixa adsorção, por solos. Alto decaimento fotoquímico. Baixa toxicidade.
Pontacyl Pink	$1,5x10^{-10}$	Baixa adsorção, por solos. Baixo decaimento fotoquímico. Baixa toxicidade.
Rodiamina B	$6,6x10^{-11}$	Razoável adsorção. Baixo decaimento fotoquímico. Acentuada toxicidade.
Rodiamina WT Rodiamina BA	$\sim 4x10^{-11}$	Baixa adsorção. Baixo decaimento fotoquímico. Baixa toxicidade.
Uramina	$\sim 4x10^{-11}$	Baixa adsorção. Alto decaimento fotoquímico.

A concentração máxima permissível para corantes em água de abastecimento é de 10^{-5}g/l (KILPATRICK[26]) ou, considerando-se a massa específica da água igual a 1g/cm^3:

$$CMP_{corantes}=10^{-5}g/l=10^{-8}g/g$$

PROPRIEDADES DOS CORANTES (WILSON[31])

- Fluorescência: é uma luminescência, emissão de luz não diretamente atribuída ao calor. As substâncias fluorescentes emitem radiação imediatamente após a irradiação de uma fonte externa. Se a fonte é removida, a emissão cessa; no caso das substâncias fosforescentes, a emissão permanece, mesmo após a remoção.

A sequência normal do processo é:

- absorção de energia de uma fonte externa, como o Sol ou uma lâmpada ultra-violeta;
- excitação de alguns dos elétrons da substância fluorescente;
- emissão de energia, fótons, voltando os elétrons à posição normal.

- Efeitos de temperatura: Se a temperatura diminue, a fluorescência aumenta. Deve-se ter curvas de correção de temperatura, para o corante a usar.

- Solubilidade: Há uma grande variação na solubilidade, de acordo com o solvente. Normalmente, se usa água e a solubilidade de cada corante é tabelada, nesse caso.

- Variações com o pH: Se o pH varia para fora do intervalo 5-10, a fluorescência cai.

- Decaimento fotoquímico: A luz solar faz com que a fluorescência decaia, efeito que vai aumentando com o tempo de exposição. O corante mais afetado é a Fluoresceina.

- Adsorção (retenção sobre a superfície) e absorção (retenção por toda a massa): Partículas do leito ou suspensas e plantas aquáticas podem reter parte do corante, por adsorção ou absorção.

- Decaimento por outras substâncias: Há determinadas substâncias que podem captar a fluorescência, enfraquecendo o traçador.

- Efeitos biológicos: Em altas concentrações, os corantes oferecem sério risco à saúde, especialmente à pele. Todavia, nos rios, não reduz o teor de O_2 dissolvido, não afetando as plantas e os peixes.

- Características espectrais: Os corantes tem dois espectros de excitação e emissão. Para os comprimentos de onda de 550 a 600 mμ, tem-se as mais altas energias de excitação e emissão.

- Deteção: O fluorímetro mais usual e melhor, segundo o U.S. Geological Survey, para estudos de Hidrologia, é o "TURNER Model 111-003", da G. K. Turner Associates.

2.2.5.4 - Radioisótopos

Das informações de GOMEZ[30], PLATA[33], HEATH[37] e da C.N.E.N[38] se apresenta a tabela 7:

Tabela 7 - Radioisótopos mais usados (tempo de trânsito)

Traçador	Meia-vida	IMP* (μci/ano)	CMP(μci/m³)		*** Abundância (%)	*** γ Principais (MeV)	Composto químico usual
			CNEN*	IAEA**			
$^{82}_{35}Br$	35,7h	$2,1x10^2$	262	300	329	0,55 0,78	NH_4Br
$^{110m}_{47}Ag$	253d	$2,4x10$	30	30	318	0,66 0,89	$K[Ag(CN)_2]$
$^{24}_{11}Na$	15h	$1,5x10^2$	188	200	200	2,75 1,57	Na_2CO_3
$^{46}_{21}Sc$	83,8d	$3,0x10$	37,5	40	198	1,12 0,89	EDTA-Sc
$^{51}_{24}Cr$	27,8d	$1,3x10^3$	1.625	2.000	9	0,32	EDTA-Cr
$^{131}_{53}I$	8,07d	1,6	2	2	99	0,36 0,64	NaI ou KI
$^{198}_{79}Au$	65h	$4,1x10$	51	50	98	0,41	$HAuCl_4$
$^{203}_{80}Hg$	47d	$2,4x10^2$	300	300	83	0,28	K_2HgI_4 (****)

* _____ Bibl. 38

** _____ Bibl. 33

*** _____ Bibl. 37

**** _____ Informações pessoais (Prof. A. ZUBER)

PROPRIEDADES DOS RADIOISÓTOPOS

- Atividade: Os radioisótopos geralmente usados em estudos de tempos de trânsito são artificialmente ativados em reator, passando a emitir radiações γ. A atividade é medida em Ci (Curies), definida por uma amostra que apresenta $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo.

- Decaimento radioativo: A atividade dos radioisótopos decai exponencialmente, segundo:

$$At = Ao\ e^{-\lambda t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (86)$$

At= atividade, após o tempo t;
Ao= atividade no instante 0;
λ = constante de decaimento, variável de um radioisótopo a outro.

-"Meia-vida" : É o tempo necessário para que o número de átomos radioativos de um elemento se reduza à metade (em outras palavras, que a atividade se reduza à metade). Varia de um elemento a outro.

-"Abundância" : É, aqui, o número de radiações gama (γ) emitidas, para cada 100 desintegrações. Assim, uma abundância de 329%, por exemplo, significa que, em 100 desintegrações radioativas, foram emitidas 329 radiações gama. Quanto maior a abundância, mais detetável será o radioisótopo.

- Energia de emissão: As emissões são feitas por meio de radiações dotadas de energia. Esta é mensurável, normalmente, em MeV ou eV, sendo o eletronvolt (eV) a energia ganha por um elétron (1e), ao ser acelerado pela diferença de potencial de um volt (1V).

- Atenuação: Os radioisótopos usados em determinações de tempos de trânsito e medições de vazão são emissores de radiação γ de grande penetração na matéria. A atenuação da radiação segue uma lei exponencial:

$$\frac{I'_d}{I'_o} = \exp.\left[-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho\ d\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (87)$$

onde:

I'_o = intensidade inicial de radiação;

I'_d = intensidade de radiação, ao passar por um material de densidade ρ e espessura d;

μ = coeficiente de absorção linear da radiação γ na matéria;

$\frac{\mu}{\rho}$ = coeficiente de absorção da massa. As tabelas e gráficos apresentam μ ou $(\frac{\mu}{\rho})$.

- Concentração: Normalmente, a concentração de um traçador é apresentada em massa/volume (ex.: g/l). Para os radioativos, usa-se atividade/volume (ex.: mCi/m^3). Pode-se

transformar atividade para massa, pela conhecida relação (a presentada, por exemplo, em PLATA[33]):

$$M=\frac{A_o \cdot t_{1/2} \cdot m'}{0,693 \times 6,02 \times 10^{23}} \text{(em gramas)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (88)$$

A_o = atividade em Ci, no instante considerado;

$t_{1/2}$ = meia-vida do elemento em estudo, em dias;

m' = número de massa do elemento.

- Características químicas: Quimicamente, os radioisótopos funcionam como se fossem um traçador salino, de acordo com as propriedades de cada composto, isoladamente e no meio em que for injetado.

- Deteção: Há diversos tipos de detetores de radiações. Atualmente, o mais moderno e usual consiste no uso de uma sonda de cintilação (detetora), associada a um "rateme-ter" (contador) e a um registrador (que fornece diretamente o gráfico das contagens).

3 - MATERIAL E MÉTODO

3.1 - Vantagens e desvantangens gerais no uso dos traçadores

Das observações de RAAEN[39], apresenta-se os seguintes quadros:

Quadro I - Radioisótopos - Principais vantagens e desvantagens

Nº	VANTAGENS
1	Máxima sensibilidade e caracterização, em baixas concentrações;
2	Estabilidade química e física;
3	Taxa de decaimento constante e conhecida; não causa contaminação constante;
4	Menores adsorção e absorção;
5	Possibilidade de uso de traçador com características práticamente iguais às do fluido;
6	Facilidade em diversos estudos com o traçador, inclusive em modelos reduzidos.

Nº	DESVANTAGENS
1	Necessidade de aprovação e licença dos órgãos governamentais especializados (isto, em geral; no Brasil, por ex., basta que se sigam as normas da CNEN);
2	Despesas com a licença e as precauções quanto à segurança;
3	Possibilidade de reação pública adversa;
4	Perigos à saúde e efeitos desastrosos, se houver acidentes;
5	Falta de pessoal técnico especializado;
6	Possibilidade de retardo na produção e na entrega dos radioisótopos.

Quadro 2 - Corantes - Principais vantagens e desvantagens

Nº	VANTAGENS
1	Facilidade de manuseio;
2	Menor perigo à saúde, se houver acidentes;
3	Não há reação pública adversa, nem necessidade de licença;
4	Fácil de obter e preparar;
5	Não exige pessoal altamente especializado.
Nº	**DESVANTAGENS**
1	Decaimento indefinido: depende do ambiente, da luz solar, etc.;
2	Interferências nas medições e resultados, devidas a algas, turbidez, pH, etc.;
3	Variação com a temperatura: há necessidade de correções;
4	Instabilidade na presença de oxidantes químicos e sedimentos suspensos;
5	Sensibilidade menor, havendo necessidade de maiores concentrações (em geral).

Observe-se, ainda, que ambos os equipamentos, para corantes e radioisótopos, têm a vantagem de serem portáteis, e, por isso, facilmente transportáveis e instaláveis no campo. Os custos de equipamentos e acessórios são, aproximadamente, i-

guais, para ambos os tipos de traçador.

Pelo que se pode ver pelos quadros, e, julgando-se pelas publicações existentes, há duas alternativas viáveis no campo dos traçadores, conforme se analise as vantagens e as desvantagens de um ou do outro tipo. Nos Estados Unidos, por exemplo, a preferência parece recair nos corantes. Já diversos países europeus preferem os radioisótopos.

Importante, aqui, é salientar que a escolha do tipo e do próprio traçador deve ser em função de:

- grau de precisão que se deseja;
- facilidades na obtenção, preparação e deteção do traçador;
- consequências do uso do mesmo;
- equipamento disponível;
- quantidade a injetar;
- custo total do trabalho.

A seguir, procurar-se-á, primeiramente, selecionar quais os melhores corantes e radioisótopos, dentro de cada grupo. Posteriormente, se fará um estudo final, comparando-se, apenas, os selecionados.

3.2 - Seleção dos traçadores

a) CORANTES

KILPATRICK[26], com base nas experiências realizadas pelos especialistas do U. S. Geological Survey, durante vários anos, aconselha o uso da RODIAMINA WT, nos estudos de determinação de tempos de trânsito, pelos seguintes motivos, em relação aos outros corantes:

- as perdas são menores;
- o custo unitário pode parecer maior, mas, levando-se em consideração a menor percentagem de perdas e daí a necessidade de menor quantidade a injetar, o custo total é, consequentemente, menor;
- a RODIAMINA WT é facilmente manuseável, sem problemas;
- a toxicidade química é reduzida;
- há boa difusão na água;
- há possibilidade de alta detetabilidade.

Em escala decrescente, ter-se-ia, segundo o autor citado, a RODIAMINA BA e a RODIAMINA B. Todavia, de acordo com informações (por cartas-resposta) da representante paulista* do fabricante americano**, a RODIAMINA BA deixou de ser produzida, por ter sido gradativamente substituida por corantes melhores, como a RODIAMINA WT.

Ressalta KILPATRICK[26] que diversos testes comparativos foram feitos, para se chegar a essas conclusões.

(*) União Química Paulista S.A.
(**)E.I. DUPONT de Nemours Co.

b) RADIOISÓTOPOS

Há, no Brasil, três reatores em operação e produzindo radioisótopos. O Instituto de Engenharia Nuclear, na Guanabara, não tem condições de produzir radioisótopos em atividades suficientes para trabalhos de Hidrologia. É um reator de finalidades didáticas. O Instituto de Pesquisas Radioativas, de Belo Horizonte, tem um reator em superiores condições que o I.E.N., podendo produzir, principalmente, ^{82}Br, em altas atividades e ^{110m}Ag. Não tem produção normal de outros radioisótopos, como ^{131}I, ^{46}Sc, ^{192}Ir, etc. Esses dois institutos pertencem à C.B.T.N. O terceiro, Instituto de Energia Atômica, pertence à Universidade do Estado de São Paulo. É o de maior capacidade de produção, em altas atividades, menor tempo e maiores variedades de radioisótopos. Todavia, como se verá a seguir, dadas as finalidades empresariais do mesmo, o custo dos radioisótopos (I.E.A.) se torna muito elevado, para trabalhos de pesquisa, sem finalidades lucrativas. Em alguns casos, é bem superior ao do mercado internacional.

As tabelas (8) e (9) ilustram melhor as observações que serviram para a escolha dos radioisótopos.

Observações sobre a tabela (9), a seguir:

1 - Símbolos

IEA - Instituto de Energia Atômica (São Paulo)
IPR - Instituto de Pesquisas Radioativas (Belo Horizonte)
Am. - Amersham/Searle Corporation (U.S.A. e Inglaterra)

2 - Os valores apresentados na tabela (9) foram deduzidos das informações fornecidas, por carta, ao IEN, pelos outros institutos e pela "Amersham".

3 - Os custos totais aproximados dos produtos da "Amersham" foram obtidos com o dólar a Cr$6,00 e uma taxa de importação, gastos de transporte e recebimento de Cr$1.000,00, para cada tipo de radioisótopo. Esse valor é meramente estimativo. Os preços do IPR são, apenas, para trabalhos de pesquisa, em colaboração com o IEN. No custo total, se incluem: produto químico, irradiação e transporte.

4 - O radioisótopo passou a ser considerado de custo elevado, nesta experiência, a partir de Cr$1.500,00.

5 - Na coluna "Análise-resumo", se encontram os motivos de escolha ou rejeição de um radioisótopo. Observe-se que as condições podem variar muito, de um a outro produtor, principalmente, o custo e o tempo de preparo e entrega.

6 - As M_{nec}, massas necessárias aproximadas, foram obtidas com base no valor calculado para a ^{110m}Ag, no item 3.8, a posteriori.

Se, para a ^{110m}Ag que tem "abundância" de 318%, se necessita de uma atividade "M_{nec}", para um outro radioisótopo, de abundância $\hat{A}$%, se precisará $\frac{318}{\hat{A}} . M_{nec}$ de atividade, na experiência, conforme tabela (8).

Por ex.: para o caso do ^{203}Hg:

$$M'_{nec} = \frac{318}{83} x 30 \tilde{=} 115 mCi/experiência$$

Não se leva em conta, neste caso, as diferenças causadas nas sensibilidades - pela existência de diferentes energias nos espectros, com abundâncias iguais ou não. Considera-se, apenas, a variação das abundâncias, obtendo-se, assim, uma estimativa bastante aceitável das "M_{nec}".

Tabela (8) - Atividades necessárias aproximadas de traçadores, para uma experiência (M_{nec}) isolada

Radioisótopo	Abundância (%)	Estimativa de M_{nec} (mCi) (por experiência)
^{82}Br	329	29
^{110m}Ag	318	30
^{46}Sc	198	48
^{131}I	99	96
^{203}Hg	83	115

7 - T' é o tempo máximo, a partir do qual a atividade M', inicial, da coluna 3, estará abaixo da necessária M_{nec}.

Se a encomenda for de 200mCi de ^{203}Hg, por exemplo, e, se for considerado o decaimento exponencial, segundo a equação (87), poder-se-á aguardar o dia da experiência, durante 37 dias, aproximadamente. Após esse período, a atividade ficará menor do que os 115mCi, não sendo mais suficiente para o trabalho.

8 - Aos valores da coluna M', atividades arbitradas de encomendas, foram fornecidos os preços. A variação no arbitramento dos valores é função da meia-vida do radioisótopo, da M_{nec} e do provável preço. Quanto menor a meia-vida, maior deve ser a atividade a encomendar, para que se possa estocá-la durante o tempo necessário. Observe-se, por exemplo, que, para o ^{131}I, com meia-vida de 8,07 dias, se a encomenda fosse de 300mCi, a atividade necessária só se manteria por 13 dias, devido ao decaimento. Outro caso mais difícil seria o do ^{82}Br: os 2.000mCi iniciais só seriam suficientes até nove dias após a saída do reator.

Tabela (9) - Comparação dos radioisótopos selecionados *

Radioisótopo e meia-vida (dias)	Atividade de encomenda (M') e necessária (M_{nec}) por experiência (mCi)	Tempo de espera-T' (dias)	Preparo e entrega - T_{pe} (dias)	Custo total aproximado (Cr$)	Produtor	Análise - resumo
^{82}Br	2.000	~9	7	2.500,00	IEA	Meia-vida curta
			7	750,00	IPR	
1,5	29		-	-	Am.	
^{110m}Ag	50	~186	49	15.000,00	IEA	Preço-"pesquisa" IPR-Bom. Meia vida longa
			15	1.100,00	IPR	
253	30		30	2.650,00	Am.	
^{46}Sc	100	~89	35	8.000,00	IEA	Custo elevado. Produção demorada.
			Não Produz		IPR	
83,8	48		30	4.200,00	Am.	
^{131}I	300	~13	7	2.500,00	IEA	Custo elevado. Meia - vida curta.
			Não Produz		IPR	
8,07	96		30	2.250,00	Am.	
^{203}Hg	200	~37	105	25.000,00	IEA	Custo elevado. Produção demorada.
			50	1.500,00	IPR	
47	115		30	12.000,00	Am.	

(*) Os preços do I.E.A. foram fornecidos para massas reduzidas (até 1g), em função, principalmente, do número de horas de irradiação. Para estudos hidrológicos, com maiores massas, o tempo de irradiação diminue e o custo se reduz consideravelmente.

Análise da tabela (9)

1 - Pelo custo elevado, se eliminam:

^{46}Sc, ^{131}I e ^{203}Hg

Da mesma forma, não entrou em cogitações o ^{51}Cr, usado por PILGRIM[5 e 6], que, por ter pequena abundância (9%), necessitaria de alta atividade para boas deteções, e, assim, um preço muito alto:

$$M_{nec} = \frac{318}{9} \times 30 \tilde{=} 1.060 mCi/experiência.$$

2 - Pela meia-vida curta, não se pode pensar em:

^{82}Br, ^{131}I, ^{198}Au e ^{24}Na. Estes dois últimos, além disso, são cations, e, por isso, têm grande tendência a serem absorvidos pelo meio.

3 - Pela demora na produção e entrega, saem de cogitações:

^{203}Hg e ^{46}Sc.

4 - Por serem produzidos no mercado nacional, restrições severas não permitem a importação de:

^{82}Br, ^{131}I e ^{110m}Ag.

5 - Pesando-se esses e outros fatores, abaixo relacionados, escolheu-se a ^{110m}Ag, porque:

- tem meia-vida longa (253 dias), excelente para o caso da Guanabara, onde há necessidade, às vezes, de longa estocagem do radioisótopo, enquanto se aguarda uma adequada tempestade;

- o custo do material, da irradiação e do transporte é baixo (± Cr$1.100,00), desde que preparado pelo IPR, de Belo Horizonte, com a finalidade de pesquisa;
- a produção da atividade desejada é, relativamente, rápida (cerca de 15 dias), e,
- em forma de complexo -K $\left[Ag(CN)_2\right]^-$ - tem reduzidas perdas, ao entrar em contato com sedimentos.

LALLEMAND e GRISON[40] realizaram estudos de absorção e adsorção, comparando diferentes traçadores e concluiram ser a prata ativada, usada em forma de complexo aniônico, $\left[^{110m}Ag(CN)_2\right]^-$, excelente para estudos hidrológicos. A recuperação do traçador variou de 90 a 100%, nas experiências.

6 - Eventualmente, se poderá usar ^{82}Br, excelente traçador em Hidrologia, de vez que o IEN e a COPPETEC realizam trabalhos com o mesmo, periodicamente, para entidades como a PETROBRÁS, e, por questões de segurança, a atividade solicitada é sempre superior à necessária. Este é o motivo pelo qual, além da ^{110m}Ag, se analisará, mais detalhadamente, a seguir, o ^{82}Br.

7 - Em locais (Belo Horizonte e São Paulo, por ex.) onde haja reatores que tenham condições de irradiar, em algumas horas, altas atividades de ^{82}Br, este radioisótopo passa a ser o ideal. Não é este, infelizmente, o caso da Guanabara.

3.3 - Estudo comparativo técnico-econômico

Apresenta-se, a seguir, uma análise comparativa, técnica e econômica, do uso dos traçadores selecionados.

a) Mínima concentração detetável

Da tabela (11), no item 3.8 (posterior), se extraíram os valores:

- Rodiamina WT (semelhante à Rodiamina B, em limites de detetabilidade), em fluorímetro TURNER-111:

  $CM_iD = 3,5 \times 10^{-4} g/m^3 = 3,5 \times 10^{-10} g/cm^3$

- Radioisótopos

  Equipamento: conjunto SPP-3 e registrador ETP-3 (ver item 3.5)

  Tempo de contagem: 9 minutos (valor médio, escolhido para as comparações)

  ^{82}Br - $0,459 \mu Ci/m^3 \simeq 4,6 \times 10^{-10} mCi/cm^3 = CM_iD$

  ^{110m}Ag - $0,478 \mu Ci/m^3 \simeq 4,8 \times 10^{-10} mCi/cm^3 = CM_iD$

- Relações corantes x radioisótopos, em detetabilidade

  $\frac{\text{Rodiamina WT}}{^{82}Br} = \frac{3,5g}{4,6mCi}$ ∴ 0,76g Rodiamina WT ≡ 1mCi ^{82}Br

  $\frac{\text{Rodiamina WT}}{^{110m}Ag} = \frac{3,5g}{4,8mCi}$ ∴ 0,73g Rodiamina WT ≡ 1mCi ^{110m}Ag

b) Toxicidade química - limites em água potável

Rodiamina WT - 10^{-2} g/m^3 (KILPATRICK[26]);

Bromo - não há grandes restrições;

Prata - 5×10^{-2} g/m^3 (ROSENCRANCE[41])

c) Toxicidade radiológica - limites em água potável

Rodiamina WT - não é radioativa;

^{82}Br - 262 μCi/m^3 (CNEN[38]);

^{110m}Ag - 30 μCi/m^3 (CNEN[38]).

d) Adsorção e absorção

Em termos de números, não se obteve detalhes a respeito das perdas por adsorção e absorção, nos estudos de tempos de trânsito em cursos d'água. Sabe-se, todavia, que são reduzidas, tanto para a Rodiamina WT, como para a ^{110m}Ag (na forma de complexo aniônico) e o ^{82}Br, especialmente este último.

e) Obtenção

Há fabricação nacional de $AgNO_3$ e NH_4Br. Além disso, alguns laboratórios importam e revendem esses compostos. A Rodiamina WT é produzida pela "DUPONT" americana, e, no Brasil, pode ser importada por uma empresa paulista. Não foi possível obtê-la, com facilidade, na Guanabara. Já a Rodiamina B e outros corantes são vendidos por diversos laboratórios cariocas.

f) Preparação química

A Rodiamina WT e o NH_4Br já vêm, praticamente, preparados.

O $K[Ag(CN)_2]$ provem da reação de $AgNO_3$ com KCN, a ser estudada posteriormente. A preparação é bastante simples, a frio, e não requer cuidados especiais. Pode-se, também, receber-la preparada, diretamente do produtor, gastando-se um pouco mais.

g) Quantidade a injetar, por experiência

Dos cálculos feitos em 3.8, por diferentes métodos, partindo-se de um valor estimativo médio para a ^{110m}Ag e da relação comparativa do item (a), ter-se-á:

^{110m}Ag ____ $M_i \tilde{=} 30mCi$;

^{82}Br ____ $M_i \tilde{=} 29mCi$;

Rodiamina WT __ $M_i \tilde{=} 22g$

h) Precisão

Os estudos com radioisótopos são, geralmente, mais precisos que os com corantes, pois estes sofrem mais perdas e decaimentos indefinidos (especialmente pela luz solar), variam com a temperatura e necessitam de maior quantidade a injetar (na maioria dos casos) em massa, fato este que pode alterar as condições do escoamento.

i) Custo total, por experiência (validade: Janeiro/1973)

Rodiamina WT* - 110g (importação)... Cr$64,00

^{110m}Ag ** - 100 g de $AgNO_3$ ...	Cr$	175,00
80 g de KCN ...	Cr$	25,00
Irradiação (IPR)..	Cr$	250,00
Transporte e pessoal	Cr$	650,00
Custo total(30mCi)	Cr$	1.100,00

(*) - O preço foi fornecido para uma solução 20%. Dessa forma, deve-se encomendar uma quantidade cinco vezes maior que a calculada, para se ter, realmente, as 22g de Rodiamina WT. No custo total, estão incluidos os gastos relativos à importação, com o dólar a Cr$6,00 e um prazo de espera de 30 a 40 dias.

(**)- Os preços dos compostos são médios e foram fornecidos pelos laboratórios. Os gastos de transporte e pessoal podem ser reduzidos, se o radioisótopo vier por via aérea, em cerca de Cr$400,00, passando o total a, aproximadamente, Cr$700,00 (setecentos cruzeiros). Não se discutiu, aqui, o custo do ^{82}Br, pois, com a meia-vida curta que tem, não pode entrar em estudos comparativos de preços, sendo usado apenas eventualmente, no caso de sobras de outras experiências e haver a coincidente tempestade na ocasião.

j) Equipamento

Radioisótopos - A COPPE e o IEN possuem todo o equipamento necessário. Há seis conjuntos "sonda-ratemeter" disponíveis, bem como dois registradores e alguns "scalers".

Rodiamina WT - Nem a COPPE, nem o IEN têm um fluorímetro adaptável a estudos de Hidrologia, como o "TURNER-111-003". Não foi possível localizar, na Guanabara, tal aparelho, quer na SURSAN, quer no DNPVN, no Laboratório da CNEN da Praia Vermelha, etc. Neste último, há dois fluorímetros, mas, sem os filtros acessórios que lhes aumentem o limite de deteção, tornando-os compatíveis com as necessidades das experiências hidrológicas. O IEA, de São Paulo, importou o "TURNER-111-000". É idéia da COPPE importar o equipamento completo, com todos os acessórios necessários, em 1973.

1) Conclusões

ATUAIS - Tendo em vista a não existência do equipamento para corantes, a análise comparativa fica, momentaneamente, prejudicada. A melhor solução atual é, portanto, o uso de radioisótopos.

FUTURAS - Quanto à detetabilidade, à obtenção, à preparação e ao equipamento (se já houver), tanto um tipo como outro satisfaz às experiências.

Deve-se pesquisar as perdas por absorção, adsorção, retenção e decaimento fotoquímico, para se prever melhor a quantidade a injetar, sem se esquecer das normas, observando-se, principalmente, a utilização da água e os limites máximos de toxicidade.

A precisão que se deseja também deve entrar em discussão, para cada tipo de experiência, isoladamente.

Após considerar esses fatores, poder-se-á ter, então, o custo total, para cada caso, mais corretamente.

Todavia, com base nos estudos feitos e no levantamento aproximado de custo, conforme item(i), a tendência futura parece aconselhar o uso de corantes, pelo menos neste tipo de experiências.

3.4 - Detalhes sobre os traçadores escolhidos

Os espectros do ^{82}Br e da ^{110m}Ag apresentam as seguintes energias-gama e respectivas percentagens de aparecimento nas desintegrações:

Tabela (10) - Abundância de ^{82}Br e ^{110m}Ag

^{82}Br Energia (MeV)	%	^{110m}Ag Energia (MeV)	%
0,090	0,40	0,658	100.
0,221	2,30	0,678	10.
0,273	1,20	0,687	7.
0,554	73.	0,707	10.
0,619	43.	0,764	24.
0,698	27.	0,818	8.
0,776	83.	0,885	74.
0,828	24.	0,937	33.
1,044	29.	1,384	22.
1,084	0,40	1,476	4.
1,318	28.	1,505	11.
1,475	17.	1,563	1,20
1,651	0,80	Outras	13.80*
1,778	0,12	-	-
1,874	0,05	-	-
1,959	0,05	-	-
2,056	0,02	-	-
ABUNDÂNCIA TOTAL	329,34%	ABUNDÂNCIA TOTAL	318,00%*

(*) ZUBER[42] - Total extraído de tabelas mais recentes, de acordo com informações pessoais do autor e durante o Curso de Bangkok.

Pela tabela (10), pode-se observar:

- tanto o ^{82}Br como a ^{110m}Ag têm alta abundância de energia gama ($>300\%$), o que oferece grande sensibilidade à aparelhagem , maior que para os outros radioisótopos questionados na tabela (7); as maiores abundâncias dos outros são para o ^{46}Sc-198% e ^{24}Na-200%.

- as principais energias do ^{82}Br e ^{110m}Ag são altas:

^{82}Br : 83% - 0,776 MeV
73% - 0,554 MeV

^{110m}Ag :100% - 0,658 MeV
74% - 0,885 MeV

Isso facilita as deteções.

Outras características do ^{82}Br e ^{110m}Ag são:

- Incorporação máxima permissível (por pessoa) - ^{82}Br - $2,1 \times 10^{2} \mu Ci/ano$;
^{110m}Ag- $2,4 \times 10 \mu Ci/ano$;

- Concentração máxima permissível (em água potável) - ^{82}Br - $262 \mu Ci/m^3$;
^{110m}Ag- $30 \mu Ci/m^3$;

- Padrões permissíveis para água potável (ROSENCRANCE[41])
- Ag^{+} - $0,05 g/m^3$
- Br^{-} - não há grandes restrições

3.5 - Equipamento

O equipamento eletrônico usual e suas principais características são:

- Sonda de cintilação - É um detetor da mais elevada sensibilidade. A colocação ideal é a de geometria infinita, ou seja, com água em volta de seu cristal de NaI (Tl), em um raio de mais ou menos, 80cm. É do tipo SPP-3, frances, de 1.1/2x1.1/2" de cristal de NaI (Tl). A sensibilidade é superior a 3000cpm/μCi/m^3, em geometria infinita (KATO[43]). Se a geometria é outra, a sensibilidade tende a decair e deve ser previamente calculada, de acordo com a experiência.

- "Ratemeter"(contador) - Diretamente ligado à sonda, conta as deteções feitas por ela. Estas podem ser lidas no aparelho e/ou transmitidas ao registrador e/ou "scaler". Características principais: a) discriminador de energia - só conta as radiações acima de determinado limite: varia de 50KeV a 2.000KeV; b)variador de escalas - de 50cps a 15.000cps; c) constante de tempo ou constante de integração - varia de 0,12s a 12s: é o tempo que demora o aparelho para detetar e contar radiações. O aparelho usado é do tipo SPP-3, frances. Funciona com três pilhas comuns, de lanterna.

- Registrador - ETP-3, frances. Registra as contagens em um gráfico, simultaneamente às deteções. Característica principal: velocidade do papel - a escala é variável, de 1cm/h a 30cm/min. Funciona a bateria, carregada eletricamente, por acessório especial.

- "Scaler" - "Nuclear Chicago", americano.

Características principais: a) constante de tempo - tempo pré-fixado durante o qual o aparelho reproduz as contagens de conjunto "ratemeter"-sonda e para . Em seguida, inicia outra série de contagens, ao ser novamente acionado. Varia de 1/4 a 2 minutos; pode, todavia, manualmente, ser controlado, com cronôme - tro, durante o tempo que se queira. b) Voltagem - (H.V.).: varia de 300 a 1400V.

3.6 - Material em geral

Apresenta-se, a seguir, a lista do material complementar usado nas experiências, em Laboratório e no campo.

a) Laboratório:
- Recipiente de calibração, com tripé;
- Blocos de chumbo (blindagem);
- Luvas de borracha;
- Bandeja de aço inoxidável ou de PVC;
- Papel absorvente;
- Pinças;
- Beckers, provetas e pipetas;
- Bastão de vidro, como misturador;
- Recipientes para guardar as amostras de calibração e de injeção;
- "Containers" p/ guardar e transportar o radioisótopo.

b) Campo:

b.1) - Injeção:
- Tubo plástico injetor, c/funil e tripé;
- Luvas de borracha;
- Botas, capas e capacetes;
- Cronômetro;
- Recipiente p/ misturamento do traçador;
- Pinças;
- Bastão (misturador);
- "Containers" c/os recipientes de radioisótopos;
- Pedaços de plástico;
- Lanternas;
- Trena;
- Facão, machado, enxada.

b.2) - Deteção:

- Luvas de borracha;
- Coletores de amostras p/ radioisótopos;
- Cronômetro;
- Capas, capacetes e botas;
- Lanternas;
- Fixador da sonda;
- Barraco;
- Gerador (para fornecer luz, nas experiências noturnas).

b.3) - Comunicação:

- 1 par de"walkie-talkies", potente, de longo alcance.

- FOTOS -

Apresenta-se, nas páginas 89/91, algumas fotos relativas à parte experimental, com os locais de injeção e deteção, o material e o equipamento usados. Maiores detalhes foram e serão apresentados no texto.

- Foto 1 - página 89 - Injeção

Vista do local de injeção, no Sumaré, ao lado da TV Globo, no ponto mais alto da bacia. O funil, no tripé, ligado a um tubo plástico, conduz o radioisótopo (no recipiente pequeno, dentro do cilindro de chumbo, à direita) até a nascente do rio, alguns metros abaixo. Em complemento, vê-se pinças, bandeja, plástico, recipientes p/ misturamento e p/ lavagem do material e do local, etc.

- Foto 2 - página 90 - Deteção (1)

Da esquerda para a direita, tem-se: conjunto de calibração e análise, composto de tripé - "panela" - sonda-ratemeter - scaler; atrás desse conjunto: parte do gerador portátil a gasolina, para uso à noite; sobre e em frente ao caixote: conjunto de deteção, com fixador da sonda (tijolos de chumbo, amarrados) - sonda - ratemeter - registrador , "walkie-talkies" para comunicação com o pessoal da injeção; na margem do rio: pequeno recipiente para coleta periódica de amostras, funil e recipiente de armazenagem das coletas.

Obs.: A foto foi tomada em dia de estiagem. Normalmente,

em casos de cheia, a água chega a cobrir a área calçada apresentada. O equipamento é sempre instalado no interior do barraco que se vê, em parte, no fundo, à direita.

- Foto 3 - página 91 - Deteção (2)

A sonda, colocada no rio, é fixada por intermédio dos tijolos perfurados de chumbo, amarrados entre si. A parte mais larga do conjunto deve acompanhar a direção da corrente, para que as pressões hidráulicas sobre o mesmo sejam menores. A sonda é posta em posição invertida, de tal maneira que o cristal detetor fique na parte superior dela, em torno do nível médio da água no rio, durante a cheia. Dessa forma, a sensibilidade da sonda é maior, por se encontrar o detetor no centro da massa líquida ativa, captando radiações de todas as direções. A foto, apenas ilustrativa, foi tirada em dia de estiagem.

FOTO 1

FOTO 2 .90.

FOTO 3

3.7 - Preparo do traçador. Calibração do equipamento

a) Passagem do radioisótopo para a forma mais adequada

Diversos pesquisadores, dentre os quais LALLEMAND e GRISON[40], concluiram, após dezenas de experiências efetuadas, que as perdas de radioisótopos, no contato com sedimentos do leito ou das margens de um curso d'água, ou em suspensão, são bastante reduzidas, se os elementos ativados estiverem na forma de anions simples (ex.: $^{82}Br^-$ em $NH_4.Br$) ou ^{110m}Ag em $\left[Ag(CN)_2\right]^-$). Já os cations (ex.: Na^+) ou os complexos aniônicos de baixa estabilidade (ex.: $AuCl_4^-$) facilmente aderem aos sedimentos e provocam muitas perdas nos estudos de tempos de trânsito e medição de vazões. Aliás, o cloreto de ouro, em solução ácida, formando o $HAuCl_4$, é um dos mais importantes compostos usados nos estudos de sedimentologia. O ^{198}Au ativado, nessa forma, é incorporado à superfície ou à massa dos grãos, no processo denominado "marcação de sedimentos com soluções radioativas".

Nos casos em estudo neste trabalho, se tem:

- ^{82}Br, já preparado em $NH_4.Br$.
- ^{110m}Ag, em forma de complexo, obtida a partir da reação:

$$AgNO_3 + 2KCN \longrightarrow K\left[Ag(CN)_2\right] + KNO_3,$$

na qual se processa a transformação:

$$^{110m}Ag^+ \longrightarrow \left[^{110m}Ag(CN)_2\right]^-$$

b) Solubilidade e estocagem

De acordo com as condições de potência e de operação do reator produtor do radioisótopo, deverá este ser preparado pelo bombardeio de neutrons a maior ou menor massa do elemento a ativar. No caso do IEA-São Paulo, por ex. , algumas gramas são suficientes, ao passo que, no IPR-Minas Gerais, uma quantidade bem maior será exigida, por ser este último um reator de menor potência.

Surgem, por causa disso, dois fatores a serem estudados conjuntamente. Inicialmente, o radioisótopo deve ser preparado em Laboratório, solubilizando-se-o, no caso de ser sólido e/ou de necessitar de uma reação de formação do complexo aniônico de alta estabilidade (ex. já apresentado da ^{110m}Ag). Essa solubilização limita o volume da solução a um mínimo. Por outro lado, o número e a capacidade de "containers" existentes e disponíveis (cofres de isolamento do radiosótopo, atenuando as radiações) limitam esse volume a um máximo.

c) Representação esquemática dos dispositivos de calibração

A calibração, em Laboratório ou mesmo no campo, é feita segundo o esquema da figura na página seguinte:

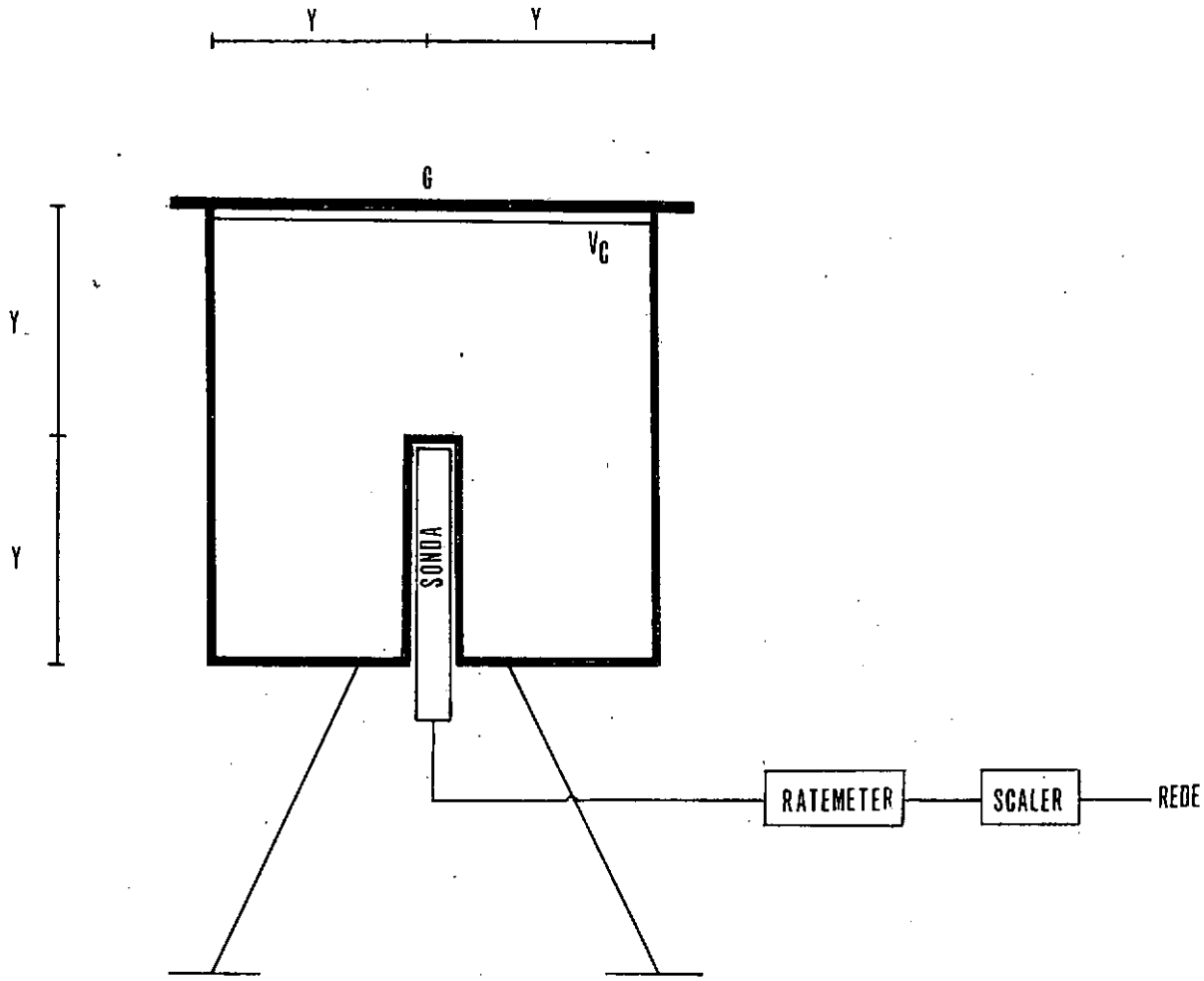


Fig. (13) - Calibração (esquema)

O "scaler" é alimentado por energia de gerador portátil ou de bateria (campo) ou de empresa concessionária (Laboratório).

Há duas séries de leituras. Primeiramente, para a calibração. Depois, para a análise das amostras do campo , se houver interesse na determinação do fator de recuperação ou da vazão.

Em ambos os casos, deve-se repetir exatamente as mesmas condições do dia da calibração, para o dia da análise. A aparelhagem, o local, o volume líquido, enfim, tudo deve ser reproduzido. Ocorre, então, um fato complementar: o mesmo equipamento, às vezes, não funciona exatamente da mesma maneira, nas duas diferentes ocasiões.

A correção é feita com o uso de "amostras-padrão " que podem ser:

- um pequeno volume da solução a injetar, que, colocado em G, fornece R_{G_c} (contagens no dia da calibração e R_{G_A} (contagens no dia da análise).

  O coeficiente de correção será:

  $$K_c = \frac{R_{G_c}}{R_{G_A}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (89)$$

  Esse valor deverá ser multiplicado pelos resultados das contagens das amostras, para que o dia de referência seja o da calibração.

  O valor correto das contagens será, após obter-se R'_s :

  $$R_s = K_c R'_s = \frac{R_{G_c}}{R_{G_A}} R'_s \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (90)$$

  Não há necessidade de se corrigir o decaimento , porque se teria duas correções simplificadoras entre si:

  $$R_s = \frac{R_{G_c} . R'_s . e^{-\lambda t}}{R_{G_A} . e^{-\lambda t}} = \frac{R_{G_c}}{R_{G_A}} . R'_s$$

- uma fonte de meia - vida longa, como o ^{137}Cs

Neste caso, além do fator de correção de funcionamento do aparelho, deve-se corrigir o decaimento do radioisótopo usado na experiência, dado o intervalo de tempo t da data da calibração à da deteção:

$$K_c = \frac{R_{G_c}}{R_{G_A}} \cdot e^{-\lambda t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (91)$$

Da mesma forma, se terá:

$$\overline{R}_s = K_c R'_s = \frac{R_{G_c}}{R_{G_A}} \cdot R'_s \cdot e^{-\lambda t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (92)$$

Ao multiplicar-se por $\frac{}{e^{-\lambda t}}$, a referência é feita em relação ao dia da calibração.

d) Determinação da sensibilidade dos conjuntos

A sensibilidade do equipamento é função das condições experimentais, da aparelhagem, do local e do radioisótopo que se está usando. Se qualquer desses fatores variar, a sensibilidade também sofrerá alterações.

Deve-se realizar, na determinação de S_e:

- algumas leituras de "BKG", até estabilizar-se o funcionamento do conjunto; obtém-se $\overline{R}_{BKG}$;

- diluição e misturamento do radioisótopo, na cuba de calibração; a atividade A_c e o volume V_c devem produzir a concentração média de campo;
- comprovação do misturamento, ao se observar a repetição estatística das taxas de contagens;
- leituras relativas à presença do radioisótopo; obtém-se $\overline{R}_{TOTAL}$;
- lavagem cuidadosa do recipiente de calibração e do misturador, antes de se usar outro elemento para calibração.

A sensibilidade será:

$$S_e = \frac{\overline{R}_{TOTAL} - \overline{R}_{BKG}}{A_c/V_c} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (93)$$

Os resultados foram, usando-se um volume de calibração de 10 l, o conjunto DAR-001 (sonda-ratemeter) e o "scaler" 007, pertencentes ao IEN e à COPPE:

^{82}Br : A_c=0,749 μCi-S_e=436cpm/μCi/m^3 .....(94)

^{110m}Ag: A_c=0,641 μCi-S_e=418cpm/μCi/m^3 .....(95)

e) Estocagem

O radioisótopo "já preparado" foi estocado no próprio local da injeção, em barraco-depósito da TV GLOBO, no Sumaré, para cada experiência.

O radioisótopo "a preparar" foi estocado na Sala de Fontes da DAR-IEN, e, na medida das necessidades, "preparado" e guardado no barraco do Sumaré.

3.8 - Quantidade a injetar - Estimativas

A sequência dos cálculos estimativos da quantidade de traçador a injetar, como se viu em (2.2.4), é apresentada a seguir.

a)- Dados de campo

Com base no "Levantamento Aerofogramétrico", feito em 1961, para o Estado da Guanabara e apresentado em planta, na escala 1/5.000, tem-se os dados topográficos abaixo, complementados por observações locais e informações do Serviço de Hidrologia da SURSAN:

- Cota do ponto de injeção: 720m;
- Cota do ponto de deteção: 110m;
- Distância injeção-deteção: 1.600m;
- Perímetro molhado médio: 3m (previsão para dia de cheia, no ponto de deteção);
- Seção transversal média: $1m^2$ (idem);
- Raio hidráulico médio: 0,333m (idem);
- Declividade média: 38%
- Largura média: 2m;
- Profundidade média: 0,5m.

De VEN TE CHOW[45], tem-se o coeficiente de Cheezy:

$$C \leftarrow \frac{1}{n} r^{1/6} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (96)$$

Esta fórmula empírica pode gerar bastante confusão no uso, de vez que C' não é adimensional. Há diversas tabelas de C', sem referência de sistema. Neste caso, o sistema é o M.K.S.

Tem-se, ainda:

$$n=(n_o+n_1+n_2+n_3+n_4)n_5 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (97)$$

Sendo n_o, n_1 ... n_5 tabelados, de acordo com as características da bacia, em termos de vegetação, sinuosidades do curso d'água principal, variações da seção transversal, etc. (adimensionais).

Dessa forma, obteve-se, para o rio Trapicheiro:

$$n=(0,020+0,020+0,010+0,050+0,050)1,00=0,150$$

e $C' \tilde{=} 6$

b)- Característica da dispersão (teórica) longitudinal

De (43):

$$\frac{K}{U} = 20,2r\frac{\sqrt{g}}{C'}$$

vem:

$$\frac{K}{U} \tilde{=} 4m \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (98)$$

c)- Máxima atividade a injetar

Tem-se, em (81):

$$M_i \cong 2A\left(\sqrt{\Pi \cdot \frac{K}{U} \cdot X}\right) \cdot C_{pico} \quad \therefore \quad M_i \tilde{=} 300\ C_{pico}$$

Usando-se os valores anteriormente apresentados em "dados de campo", o resultado de (98) e os máximos permissíveis pe

1a C.N.E.N., tabela (7), para a concentração de pico, se obterá:

$$^{82}Br \quad - M_{máx.} \tilde{=} 100mCi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (99)$$

$$^{110m}Ag - M_{máx.} \tilde{=} 10mCi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (100)$$

No local, pode-se observar que o rio é desviado do reservatório da CEDAG, a partir da ocorrência de chuvas de intensidade média. Pode-se afirmar, com certeza, que nem 10% da água do rio penetra no reservatório, o que permitiria multiplicar os valores de $M_{máx.}$ por 10. Todavia, com grande margem de segurança, o coeficiente 3 foi o usado aqui, obtendo-se:

^{82}Br - 300mCi

^{110m}Ag- 30mCi

d)-"Background"

Medições "in loco" forneceram:

$$\overline{R}_{BKG} \tilde{=} 3.600cpm \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (101)$$

e)- Mínima concentração detetável

Com base no trabalho de FEUERSTEIN e SELLECK[36], no que diz respeito a corantes, nas informações e observações feitas, em 1972, no campo e em laboratório, pelas equipes da COPPE e DARIEN, se construiu a tabela (11) a seguir.

A respeito dessa tabela, deve-se preliminarmente, observar:

- Símbolos (alguns já citados anteriormente):

  $\overline{R}_{BKG}$ - taxa de contagens para o "background";

  S_e - sensibilidade do equipamento;

  Δt - intervalo de tempo de contagens, para o qual se determinará o σ;

  $\sigma\left(\overline{R}_{BKG}\right)$ - desvio padrão das contagens do "background";

  CM_iD - mínima concentração detetável;

- Corantes - Em termos de detetabilidade, a Rodiamina B, estudada por FEUERSTEIN e SELLECK[36], é similar à Rodiamina WT. Os valores apresentados, na tabela, até a coluna $\sigma\left(\overline{R}_{BKG}\right)$, foram extraídos da referida publicação, por não se ter, no momento, um fluorímetro adequado para as medições.

- Radioisótopos - Os valores de $\overline{R}_{BKG}$ e S_e foram determinados, como já se viu anteriormente. Tem-se:

$$\sigma\left(\overline{R}_{BKG}\right) = \sqrt{\frac{\overline{R}_{BKG}}{t}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (102)$$

Usou-se os valores de 4, 9 e 16 minutos, para Δt, por mera simplificação de cálculos, e, daí, obteve-se, os $\sigma\left(\overline{R}_{BKG}\right)$. Frize-se que o fenômeno de desintegrações radioativas é estatístico e variável com o tempo de contagens (KOHL[44]).

- Geral - As mínimas taxas de contagens detetáveis do traçador devem, para clareza do gráfico, ser (ZUBER e LENDA[20]):

$$R(CM_iD) \simeq 10\sigma\left(\overline{R}_{BKG}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (103)$$

A CM_iD , será então, conforme fórmula (78):

$$CM_iD = \frac{R(CM_iD)}{S_e} = \frac{10\,\sigma\left(\overline{R}_{BKG}\right)}{S_e}$$

Tabela (11) - Determinação das mínimas concentrações detetáveis

Traçador	S_e	Δt (min)	$\sigma_{\overline{R}_{BKG}}$	$R(CM_iD)$	CM_iD
^{82}Br	436cpm/μCi/m^3	4	30cpm	300cpm	0,688μCi/m^3
		9	20cpm	200cpm	0,459μCi/m^3
		16	15cpm	150cpm	0,344μCi/m^3
^{110m}Ag	418cpm/μCi/m^3	4	30cpm	300cpm	0,718μCi/m^3
		9	20cpm	200cpm	0,478μCi/m^3
		16	15cpm	150cpm	0,359μCi/m^3
Rodiamina WT	1 un.fl.*/5x10^{-5}g/m^3 *-Unidade na escala do fluorímetro	-	0,7un.fl.	7un.fl.	3,5x10^{-4}g/m^3

f)- Concentrações desejadas

f.1)- A partir da CM_iD, fórmula (79) e tabela (11)

A concentração desejada de pico deve ser definida com base em experiências já realizadas. Há autores que aconselham o uso de até cem vezes a CM_iD .

Neste trabalho, os cálculos serão feitos, para 10,50 e 100 vezes os valores mínimos detetáveis, para se ter uma idéia do que ocorre.

f.2)- A partir da S_e e da $\overline{R}_{BKG}$, fórmula (80)

Variando-se o valor m, número de vezes o "background" (que se quer para as contagens) e usando-se a sensilidade S_e, obtida na calibração em Laborátório, se terá as C_{des} .

Para visualização melhor das possíveis variações, usou-se aqui, m=2, 3, 4, 5 e 10.

Os resultados obtidos se encontram nas tabelas - (12) e (13), a seguir.

g)- Atividades a injetar

O volume de dispersão pode, conforme equações(81) e (82) ser calculado de duas maneiras distintas:

- Teorias da dispersão:

$$Vd \tilde{=} \left(2A\sqrt{\pi \frac{K}{U} X}\right) = 300m^3$$

- Estimativa:

$$Vd \tilde{=} \frac{1}{3} ZWX \tilde{=} 540m^3$$

Com os valores calculados para C_{des}. e Vd, combinados com a tabela (11), se construiu as tabelas (12) e (13), a seguir.

Tabela (12)- Quantidade de traçador a injetar, em função da CM_iD

TRAÇADOR	CM_iD da tabela (11)	$C_{des.}$ A- $10CM_iD$ B- $50CM_iD$ C-$100CM_iD$	M_i (aproximada)	
			Teorias da dispersão $Vd=300m^3$	Estimativa do volume de dispersão $Vd=540m^3$
^{82}Br	0,688 $\mu Ci/m^3$	6,88 34,40 68,80	2,1 10,3 20,6	3,7 18,6 37,2
	0,459 $\mu Ci/m^3$	4,59 22,95 45,90	1,4 6,9 13,8	2,5 12,4 24,8
	0,344 $\mu Ci/m^3$	3,44 17,20 34,40 $\mu Ci/m^3$	1,0 5,2 10,3 mCi	1,9 9,3 18,6 mCi
^{110m}Ag	0,718 $\mu Ci/m^3$	7,18 35,90 71,80	2,2 10,8 21,5	3,9 19,4 38,8
	0,478 $\mu Ci/m^3$	4,78 23,90 47,80	1,4 7,2 14,3	2,6 12,9 25,8
	0,359 $\mu Ci/m^3$	3,59 17,95 35,90	1,0 5,4 10,4	1,9 9,7 19,4
RODIAMINA WT	$3,5x10^{-4}$ g/m^3	$35x10^{-4}$ $175x10^{-4}$ g/m^3 $350x10^{-4}$	1,1 5,3 g 10,5	1,9 9,5 g 18,1

Tabela (13) - Quantidade de traçador a injetar, em função da S_e e da $\overline{R}_{BKG}$

V_d	m (nº de vezes o "BKG")	$m.\overline{R}_{BKG}$ (cpm)	^{82}Br		^{110m}Ag	
			C ($\mu Ci/m^3$)	M_i (mCi)	C ($\mu Ci/m^3$)	M_i (mCi)
Teorias da dispersão $300m^3$	2	7.200	16,6	5,0	17,2	5,2
	3	10.800	24,9	7,5	25,8	7,7
	4	14.400	33,2	10,0	34,4	10,3
	5	18.000	41,5	12,5	43,0	12,9
	10	36.000	83,0	24,9	86,0	25,8
Estimativa $540m^3$	2	7.200	16,6	8,9	17,2	9,2
	3	10.800	24,9	13,4	25,8	13,9
	4	14.400	33,2	17,9	34,4	18,5
	5	18.000	41,5	22,4	43,0	23,2
	10	36.000	83,0	44,8	86,0	46,4

Analisando-se os resultados dos cálculos, resolveu - se, experimentalmente, usar, no caso da ^{110m}Ag, valores em torno de $50.CM_iD$ (tabela 12) e 5 a 10 vezes o "background"(tabela 13).

Somente a realização de diversas experiências poderá fornecer , com menor intervalo de variação, a quantidade a injetar. Pode-se, todavia, afirmar que esses valores estão entre o mínimo detetá - vel e o máximo permissível pelas normas.

3.9 - Problemas de segurança

3.9.1 - Química

Devem ser tomados certos cuidados, em laboratório e no campo, quanto à contaminação do meio, à perda de material, ou à ocorrência de reações químicas perigosas.

No caso especial do brometo de amônio, deve-se dissolvê-lo em solução de tiossulfato de sódio, na proporção de 10 a 20% em relação ao peso do brometo, para se evitar as perdas do bromo que se ioniza, após a ativação no reator, e, em contato com a água, se liberta. Isso representaria atividade perdida (CLAYTON e SMITH[32]).

Além disso, a toxicidade dos reagentes é outro ponto de estudo, especialmente, se a água for para abastecimento.

O limite admissível de presença de certos radicais na água potável é dado por ROSENCRANCE[41]:

Ag^+ - $0,05 g/m^3$
CN^- - $0,2 g/m^3$
NH_4^+, Br^-, K^+ - sem altas restrições.

O volume de dispersão, anteriormente calculado por estimativa, é de, aproximadamente, $540 m^3$, até o ponto de deteção. A CEDAG tem um reservatório no local, a cerca de 2.100m do ponto de injeção, o que permite o cálculo de um volume de dispersão de $700 m^3$, para esse ponto. Se toda essa água que escoasse em dia de chuva forte fosse usada para abastecimento - fato inverídico, pois, nesses dias, o rio sofre um natural desvio, em relação ao pequeno reservatório da CEDAG (de volume aproximado de $300 m^3$) - só haveria problemas se a injeção fosse em quantidades superiores a:

- Ag^+ - $0,05g/m^3 x700x3=105g$;
- CN^- - $0,2g/m^3$ x700x3=420g.

O fator 3, apresentado em (3.8.C) foi novamente usado aqui.

Pelos cálculos feitos, com base na reação do nitrato de prata com o cianeto de potássio, seriam injetados, no máximo (frascos A_1, A_2 e A_3, ao mesmo tempo):

- Ag^+ - 64g;
- CN^- - 44g.

Esses valores, pode-se observar, são bem menores que os máximos calculados.

Ressalte-se que, em forma de complexo, o problema se torna menor e maiores quantidades poderiam ser injetadas.

Portanto, a experiência foi feita com segurança, do ponto de vista químico.

3.9.2 - Radioatividade

Da tabela (7), tem-se as concentrações máximas permissíveis ("CMP" da C.N.E.N.):

^{82}Br - 262 $\mu Ci/m^3$;
^{110m}Ag- 30 $\mu Ci/m^3$.

Há varios aspectos a considerar. Um, a segurança após o radioisótopo ter sido injetado, especialmente do ponto de deteção em diante. Outros, os cuidados em Laboratório (preparo), na armazenagem, no transporte e na injeção. Durante a experiência, não deve ser usada, para consumo, a água, desde a injeção até o ponto em que se tenha atingido valores iguais ou inferiores aos máximos permissíveis pelas normas.

Quanto ao primeiro, conforme se calculou anteriormente(item 3.8.C), poder-se-ia injetar até 300mCi de ^{82}Br ou 30mCi de ^{110m}Ag, valores bem acima dos que foram calculados para as injeções. Além disso, tem-se as mesmas considerações quanto ao desvio do rio e o reservatório da CEDAG, feitos no item anterior, "Química". Observe-se ainda que essa análise é feita com base na conservação do traçador, da injeção à deteção, sem se considerar as perdas, fator que favorece, ainda mais, a segurança.

O trabalho, diretamente com o radioisótopo, deve ser feito com luvas e pinças. Estas evitam a contaminação das mãos pela permanência de partículas sólidas ou líquidas, dotadas de radioatividade. Isso para o caso de fontes abertas ou "não seladas", ou seja, não envolvidas por material isolante ou protetor. No caso de compostos voláteis, como os que contém ^{82}Br, ^{131}I, etc., deve-se usar máscaras.

Além disso, deve-se guardar uma certa distância do radioisótopo, evitar-se um tempo de exposição prolongado, e, sempre que possível, atenuar as irradiações diretas com o uso de tijolos de chumbo.

As considerações a seguir foram extraidas de GARDNER e ELY[19], CNEN[38] e ROZENTAL e COELHO[46].

As unidades usuais, na análise da segurança, são:

Roentgen (r) - "exposição de radiações X ou γ que produz, em $1cm^3$ de ar nas CNPT (0^oC e 760mm Hg), ionização equivalente a 1 unidade eletrostática de carga, positiva ou negativa."

Rad(rad) - "absorção de qualquer radiação nuclear, equivalente à liberação de 100 ergs por grama de material absorvente".

Rem(rem) - "quantidade de radiação de qualquer tipo que produza, no corpo humano, os mesmos efeitos que os resultantes da absorção de 1r de radiação X ou γ".

O rem foi introduzido para que se tenha idéia do efeito biológico da radiação nuclear absorvida. É, ainda, definido por:

$$\text{Dose em rems} = (\text{Dose em rads}).EBR \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (104)$$

sendo:

EBR="eficácia biológica relativa".

Para radiações X, γ e β, EBR=1.

Apesar de, mesmo para essas radiações, não se ter equivalência entre r e rad, ERWALL[47] e outros afirmam:

"Medições e cálculos que são feitos para assegurar uma proteção contra as radiações não requerem alto grau de precisão. Podemos concluir que, para radiações X, γ e β, o r, o rad e o rem podem ser considerados como se fossem iguais".

As observações seguintes se referem a uma fonte de irradiação semelhante a um ponto, onde toda a atividade esteja concentrada. DMP é a máxima dose permissível acumulada.

Em geral, deve-se ter sempre em mente os seguintes limites:

DMP=100mr/semana,
ou 1,3r/trimestre, ou 5r/ano.

A "dose" é dada por:

$$D_o = \frac{(DRF).M}{L_f^2} . T_e . e^{-\mu d} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (105)$$

onde:

M=atividade, em Ci;
L_f=distância operador-fonte, em m;
T_e= tempo de exposição, em horas;
$e^{-\mu d}$= atenuação por blindagem, conforme fórmula (87).

DRF é o fator-dose obtido por tabelas ou calculado. É apresentado, geralmente, em r/h, para 1m de uma fonte pontual de 1Ci.

A C.N.E.N.[38] apresenta esse fator, tabelado para alguns elementos, mas, sugere "cautela" no uso dos valores calculados,pois, eles estão "sujeitos a correções". Isso se explica pelas pesquisas anualmente publicadas, a respeito de novas energias de radiações gama descobertas, ou alterações nas abundâncias anteriormente determinadas. A influência desses fatos se verá a seguir.

GARDNER e ELY[19], no capítulo "Radiation Safety", explicam como calcular esse fator.

Tem-se:

$$DRF = \mu \Phi E' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (106)$$

em que:

Φ - fluxo de fótons, por cm^2, por segundo;

E' - energia do fóton, em MeV;

DRF- em $(MeV/cm^3.seg)$

Em r/h, se terá:

$$DRF = 5,33 \times 10^{-2} \mu \Phi E' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (106')$$

em que $5,33 \times 10^{-2}$ é o fator de transformação das unidades.

Para o ar, μ varia de $2,6 \times 10^{-5}$ a $3,5 \times 10^{-5} cm^{-1}$, para fótons de 0,06 a 3 MeV. Na prática, pode-se considerar esse fator como constante e igual a $3,5 \times 10^{-5} cm^{-1}$, donde:

$$DRF \simeq 1,87 \times 10^{-6} \Phi . E' \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (107)$$

(DRF em r/h)

Para uma fonte pontual, a uma distância L_f, se tem:

$$\Phi = \frac{M}{4 \pi L_f^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (108)$$

em que:

M - atividade em dps;

L_f- distância em cm.

Considerando-se M=1Ci e L_f=100cm, em (108) e, além disso, que:

1Ci=$3,7 \times 10^{10}$dps, se terá, em (107):

$$DRF = \frac{1,87 \times 10^{-6} \times 3,7 \times 10^{10}}{4 \pi (100)^2} \left[E'_i . \Delta_i + E'_2 \Delta_2 + \ldots \right] \quad (109)$$

em que:

E'_i= diversas energias dos fótons, em MeV(tabelas);

Δ_i= abundâncias dessas energias E'_i, em percentagens (tabelas).

Em resumo, tem-se:

$$DRF=0,551 \sum_{i=1}^{n} E'_i \cdot \Delta_i \quad \ldots\ldots\ldots \quad (110)$$

Na tabela (10), tem-se as energias e abundâncias do ^{82}Br e da ^{110m}Ag.

Após os cálculos, obtem-se:

Radioisótopo	C.N.E.N.	CÁLCULOS
^{82}Br	1,423	1,442
^{110m}Ag	-	1,332

Os valores são dados em r/h , a uma distância de 1m, de uma fonte de 1Ci.

Dessa forma, ter-se-á, neste trabalho:

a) ^{82}Br-DRF=1,442r/h, para 1Ci, a 1m

Com: $A \tilde{=} 30mCi=0,030Ci$ e $L_f=0,050m$; tem-se a taxa de:

$$DR=\frac{1,442(0,03)}{(0,50)^2}=0,173r/h$$

Para a "DMP" semanal, ter-se-á o tempo de exposição T_e:

173mr ____ 1h

100mr ____ T_e

$$T_e=\frac{100}{173}=0,578h \tilde{=} 35min.$$

b) ^{110m}Ag-DRF=1,332r/h, para 1Ci a 1m

Com: A$\tilde{=}$30mCi=0,030Ci e L_f =0,50m:

$$DR = \frac{1,332(0,03)}{(0,50)^2} = 0,159 r/h$$

"DMP" semanal:

159mr _____ 1h
100mr _____ T_e

$\therefore$ T_e=0,629h$\tilde{=}$42min.

Portanto, 35min., para o ^{82}Br, e, 42min., para a ^{110m}Ag, são os tempos máximos de exposição a que uma pessoa poderá estar sujeita nesta experiência, trabalhando a 0,5m da fonte. Se tal fato ocorresse, a pessoa teria recebido a dose máxima da semana, devendo ausentar-se de qualquer local de trabalho com radioisótopos, durante um tempo a ser determinado pelo Serviço de Rádio - Proteção. Em alguns casos especiais, não discutidos aqui, doses mais altas são permissíveis (GARDNER e ELY[19]). Observe-se, ainda, que não se levou em conta a colocação de tijolos de chumbo que serviriam para atenuar as radiações e aumentar esses tempos de exposição.

3.9.3 - Geral

Vários são os outros cuidados, de ordem geral, a serem tomados nos trabalhos com radioisótopos (IPR-DAR[48]). Torna-se importante destacar:

- a simulação prévia da experiência com material não radioativo;
- não beber, comer ou fumar ao manipular os radioisótopos;
- só manter, no local de trabalho, o radioisótopo a ser imediatamente utilizado;
- se portador de feridas, não trabalhar com radioisótopos;
- evitar a produção de grandes rejeitos;
- conferir, com aparelhagem e dosímetros apropriados, os níveis de radiação do ambiente e das pessoas, periodicamente.

4 - RESULTADOS

4.1 - Fórmulas empíricas

Selecionou-se algumas das fórmulas apresentadas anteriormente, dentre as mais usuais.

Na Guanabara, a SURSAN[49], por intermédio do Departamento de Rios e Canais (DRC), apresentou, em 1.970, as normas que "fixam critérios para elaboração de projetos de esgotamento pluvial e condicionam sua apresentação para licenciamento e aceitação das obras de drenagem no Estado da Guanabara".

A determinação do tempo de concentração, no caso de haver pequena bacia a montante do primeiro poço de entrada das águas pluviais, deve, pelas "Normas...", ser feita de acordo com a fórmula apresentada por ALCÂNTARA[1], eliminando-se o tempo t',* pelos sulcos do terreno até o início do leito (fórmula de RIBEIRO[3]).

Em resumo, teve-se, por dados gerais (Figura 14):

- L' = 1.504m (trajeto horizontal injeção-deteção, lido em planta na escala 1/5.000, com curvímetro)
- H ≅ 610m (diferença de nível)
- L = 1.622m (trajeto real)

$S = \frac{H}{L'} = 0,406$ (declividade média)

$A' = 1,157\ km^2$ (área da bacia, da injeção à deteção, medida em planta na escala 1/5.000, com planímetro)

$A'' = 1,972 km^2$ (área da bacia, da injeção até o posto linigráfico da SURSAN-DRC, nas mesmas condições de medição)

n = 0,236 (coeficiente de Manning, calculado anteriormente)

* Observações no rodapé da página 121

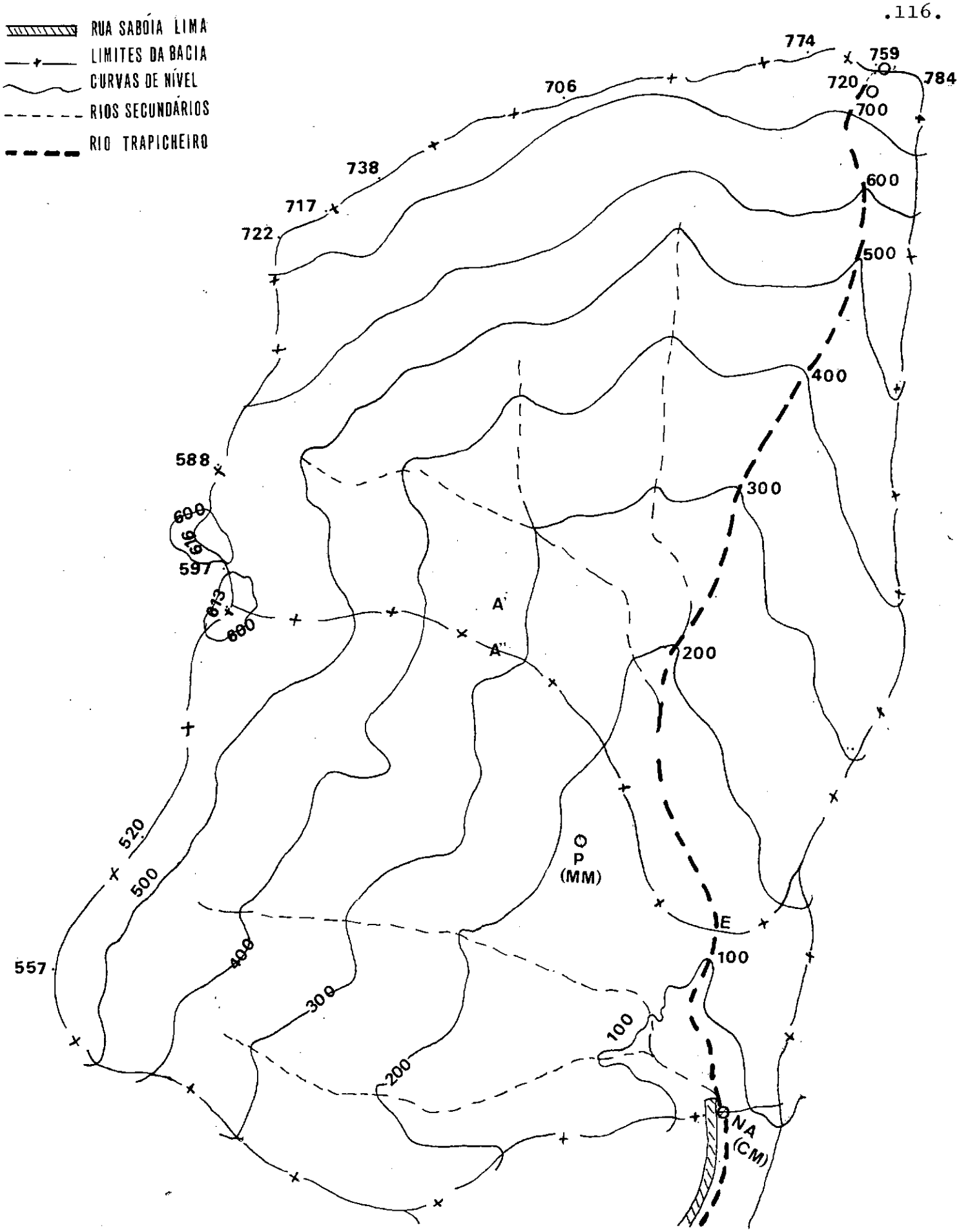


Fig.(14)- Bacia do rio Trapicheiro - Detalhes (Fonte: redução da planta da GB de 1961, na escala de 1/5.000).

p = 0,90 (percentagem de vegetação na bacia).

Obteve-se os resultados:

Tabela (14) - Tempo de concentração: cálculo por fórmulas empíricas - Rio Trapicheiro

Nº	AUTOR	FÓRMULAS para Tc	UNIDADES	Tc(min.)
5	RIBEIRO	$\frac{16L}{(1,05-0,2p)(100S)^{0,04}}$	L - km Tc- minutos	25,73
13	SOIL CONSERVATION SERVICE	$\left(\frac{11,9L^3}{H}\right)^{0,385}$	L - milhas H - ft Tc- horas	8,42
19	HATHAWAY	$\frac{2Ln}{3\sqrt{S}}$	L - milhas Tc- horas	14,95
20*	RAMSER - KIRPICH	$0,00013L^{0,77}.S^{-0,39}$	L - ft* Tc-horas	8,20
21	VENTURA	$0,0127\sqrt{\frac{A'}{S}}$	A'-km^2 Tc-horas	1,28
22	PASINI	$0,023\sqrt{\frac{A'L}{S}}$	L - km A'- km^2 Tc- horas	2,96

* - está em ft, porque o valor em milhas como apresentam

BELL e OMKAR[11], foge completamente da realidade (resultado menor do que 1 minuto), no caso de rios deste tipo.

4.2 - Tempo de ascensão do hidrograma

De acordo com o que foi apresentado em 2.1.5, o menor tempo de ascensão do hidrograma(Ta), historicamente verificado nos dados existentes, é o que se pode considerar o tempo de concentração da bacia.

Analisando-se os gráficos do linígrafo, desde a inauguração do posto Sabóia Lima, em março de 1.967, até dezembro de 1.972, obteve-se, de acordo com a escala de operação do linígrafo e a precisão de leituras gráficas:

$$Tc = 29 \pm 2{,}4 \text{ minutos}$$

Esse mínimo Ta verificou-se duas vezes, em condições diferentes uma com precipitação intensa e isolada (28.03.71), a outra com precipitação prolongada e vários hidrogramas (26.02.71).

Tabela (15) - Rio Trapicheiro - Tempos de ascensão dos hidrogramas (selecionados)

DIA	P - Precipitação (mm) até o pico	Duração de P	Nível d'água (m)	Ta (min.)	Obs.
28.03.71	78,8	70 min.	0,80	29	Ta=Tc
26.02.71	417,0	22 horas	0,56	29	Ta=Tc
27.03.69	60,0	100 min.	0,75	38	-
11.10.71	62,0	90 min.	0,51	38	-
17.03.68	114,0	9 horas	0,32	43	-

Os valores de "nível d'água" se referem à escala máxima do linígrafo para o hidrograma que forneceu o menor Ta. Há casos, no mesmo dia, de se ter outros hidrogramas, como maiores picos, mas menores Ta. Ex.: em 26.02.71, há outros hidrogramas, um dos quais com 0,81m de nível d'água. Outro fato a ressaltar : no dia 15.02.68, tem-se o registro de 1,18m (máximo), com Ta= 168 minutos.

Esses Ta são relativos ao trajeto injeção-linígrafo - (2.122m). Em média, se teria a velocidade:

$$\frac{2.122}{29} \simeq 73\text{m/min.}$$

Para o trecho injeção-deteção, se teria, aproximadamente:

$$\frac{1.622}{73} \simeq 22 \text{ min.}$$

O valor que se usará nas comparações será, portanto:

$$Tc=Ta_{mín.}=22 \text{ minutos}$$

4.3 - Radioisótopos

De maio de 1972 a junho de 1973, período no qual se dispos de, pelo menos, uma quantidade de radioisótopo preparada e estocada, as mais altas precipitações pluviais, e, consequentemente, os maiores níveis d'água, segundo o S.H.-D.R.C. - SURSAN, foram os da tabela a baixo.

Tabela (16) - Rio Trapicheiro em Sabóia Lima - Dados hidrológicos - Maiores níveis d'água - Maio/72 a Junho/73.

Ordem	Dias	Precipitação pluvial (mm)		Nível d'água Linígrafo (m)	OBSERVAÇÕES
		Total	Até o pico do hidrograma		
1	07.02.73	31,4	30,0	0,60	Experiência com radioisótopos. Chuva intensa. Bacia saturada (dia anterior).
2	06.02.73	69,0	51,0	0,45	Saturação dos lençóis.
3	17.01.73	83,6	60,0	0,40	Primeira chuva forte do ano.
4	23.03.73	68,0	48,0	0,30	Após vários dias sem chuva (lençóis descarregados).

A única experiência, realizada no dia 07.02.73, refere-se às condições mais críticas dos últimos dois anos. Lembre-se, todavia, que a própria história do posto no rio Trapicheiro (inaugurado em 23.03.67) já registrou um caso extremamente crítico, no dia 15.2.68, quando o nível d'água ascendeu a 1,18m.

Na experiência feita, (figura 15), obteve-se o resultado de 62,2 minutos para o tempo médio de trânsito, correspondendo ao nível d'água de 0,40m (recesso do hidrograma) e a consequente descarga de $1,40 m^3/s$ extraída da curva-chave. Essa relação cota-descarga foi traçada com os dados de medição de vazão pelo processo dos molinetes, de 1969 a 1973, para o posto. Esse tempo, como é fácil ver pela figura (4), não representa o tempo de concentração da bacia. Para tal, ter-se-ia que realizar mais experiências com níveis d'água e descargas maiores.

Pode-se, no momento, unicamente afirmar que:

$$T_c < 62,2 \text{ minutos}$$

---

* No caso particular do rio Trapicheiro, esta eliminação de t' é permissível, pois, como se pode ver pela fig. (14), pág. (116), a área contribuinte entre os limites que passam por O' e O é desprezível, em relação à area entre os de O e E. Dessa forma, pode-se considerar, com razoável precisão, ser T_c=T, neste caso, em todos os métodos. Todavia, em muitas ocasiões, especialmente em pequenas bacias hidrográficas, t' deve ser devidamente pesquisado e calculado.

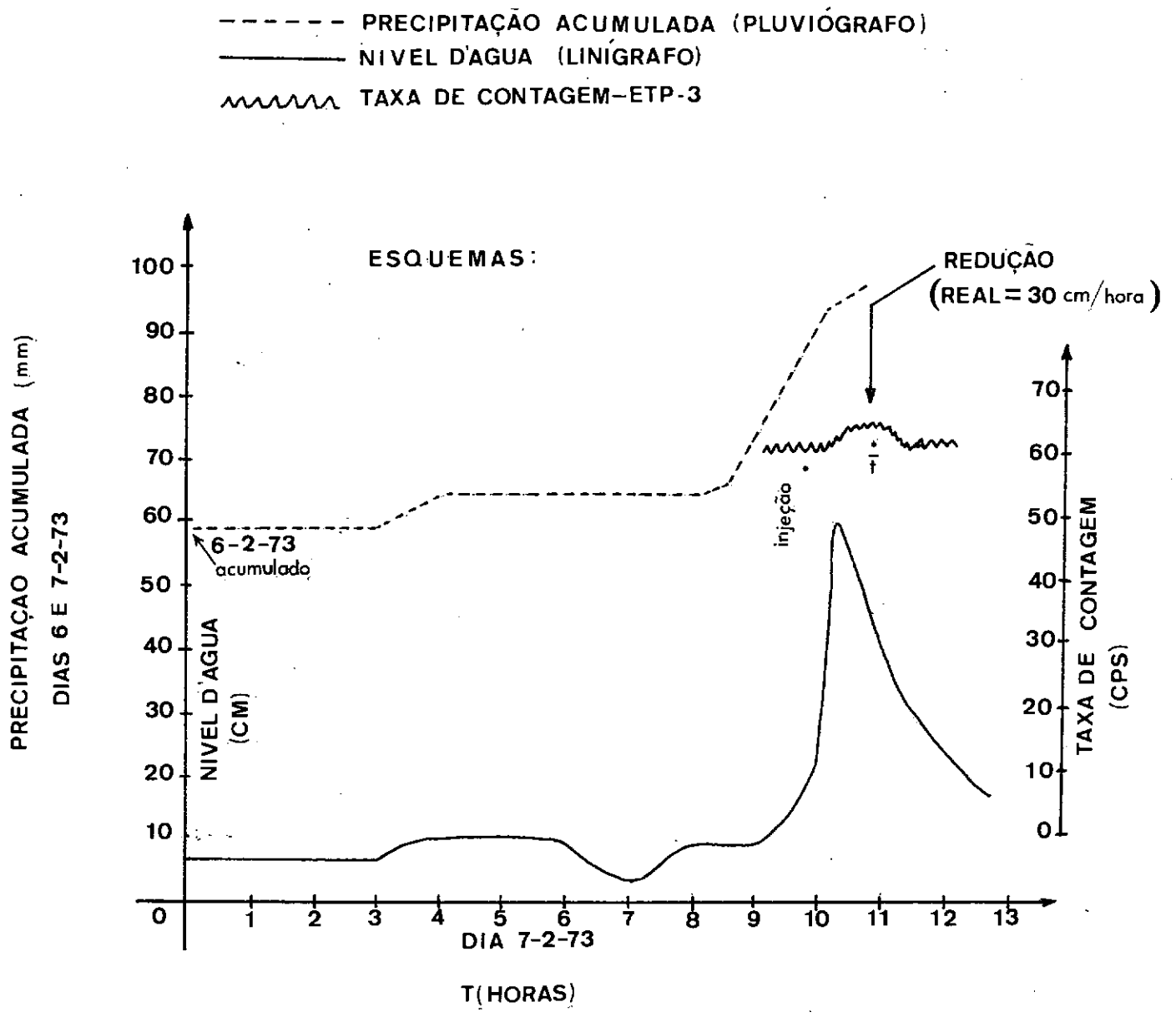


Fig.(15)- Experiência com radioisótopos - 7/2/73 - Detalhes

5 - DISCUSSÃO

A)- RESULTADOS

a) Sobre as fórmulas

Analisando-se os resultados das principais fórmulas (tabela 14), pode-se verificar as grandes divergências entre as mesmas. Obras e orçamentos completamente diversos poderão ser as consequências do uso de fórmulas diferentes.

A SURSAN, oficialmente, adota a fórmula de Ribeiro, mas há outra corrente, na própria instituição, que prefere a do S.C.S. De uma para outra, no caso do rio Trapicheiro, a diferença é de cerca de 200%: 25,73 minutos para a primeira, 8,42 para a segunda!

Qual das duas, ou melhor, qual de todas a mais aplicável ao Trapicheiro e a outros rios da Guanabara? Somente a pesquisa, com um método bastante preciso, poderá elucidar a questão, com a adoção, correção ou mesmo elaboração de novas fórmulas.

Todavia, pode-se afirmar que as fórmulas de Ventura, Pasini e Ramser-Kirpich (com L em milhas, segundo BELL e OMKAR[11]; bastante citada em livros de Hidrologia) são inaplicáveis a rios do tipo - Trapicheiro, por conduzirem a resultados inferiores a 3 minutos, o que foge a qualquer lógica. A água, nesse caso, deveria escoar mais de $20m^3/s$, com velocidade média em torno de 10m/s, o que, pelas próprias características de forma, declividades, solos e vegetação da bacia, é impossível.

b) Sobre o menor T_a, tempo de ascensão do hidrograma

O resultado obtido por este método - não muito usual no Brasil - de 22 minutos, se aproximou muito do adotado pela SURSAN , de ± 25 minutos.

Contudo, não pode, realmente, ser este método transformado em rotina, nos casos em discussão, aqui, ou sejam os de pequenas bacias hidrográficas, sem dados fluviométricos. Por outro lado, o simples fato de apresentar, para o Trapicheiro, um resultado próximo ao de uma das fórmulas, não é suficiente para considerá-la a melhor, nem de que o método seja bastante preciso para testes comparativos. Entretanto, por ser o $T_a=T_c$, assim obtido, originário de gráficos reais, deve-se, futuramente, analisar cuidadosamente os resultados em outras bacias similares, e, possivelmente, conseguir se valiosas conclusões sobre elas.

c) Sobre a experiência com radioisótopos

A experiência com radioisótopos não conduziu a pesquisa, ainda,a resultados definitivos. Obteve-se, apenas,um limite, abaixo do qual se tem o T_c. Novas experiências deverão ser feitas para que sejam determinados pontos de curva Qxt (figura 4).Não há necessidade,porém, de se realizar dezenas de experiências. Basta que se as faça com níveis superiores a 0,60m, para se citar o caso do rio Trapicheiro, e se obtenha, para duas diferentes vazões, o mesmo tempo de trânsito: esse será, com certeza, o tempo de concentração da bacia no ponto considerado.

Os métodos de interpretação dos gráficos resultantes são vários, como se viu em (2.2.2.2). Neste trabalho, em que não se pode,por motivos de segurança, injetar altas atividades,e, além disso, pela grande dispersão que o traçador sofreu, a curva resultante foi do tipo "quebrada"e os valores máximos não se distanciaram muito do "background".Na ocasião,a sonda foi "deitada"no leito do rio,em posição talqque a sensibilidade de deteção se reduziu consideravelmente. A idéia inicial era amarrá-la às arvores e ao barraco próximo, mas, isto não foi possível, dada a violência do temporal,a rapidez do mesmo e a inexperiência do pessoal da equipe para fazer vários trabalhos quase que ao mesmo tempo. Para novas experiências,

poder-se-á usar o novo sistema da foto (3), página (91), com o cristal da sonda na posição de máxima sensibilidade, captando radiações de todas as direções. Tendo em vista esses fatos, o uso da definição de tempo médio de trânsito pareceu ser a interpretação mais fácil e precisa. Dessa forma, o primeiro ponto ativo atingiu a seção de estudo 28,8 minutos após a injeção do traçador e o tempo médio de trânsito, calculado pela fórmula (49), foi de 33,4 minutos, para a curva. No total, teve-se o tempo de trânsito de 62,2 minutos.

A dispersão longitudinal, calculada pelas fórmulas (51) e (53) forneceu a seguinte característica:

$$\left(\frac{K}{U}\right)_{experimental} \simeq 286m$$

Esse valor prático é bem diferente dos valores teóricos obtidos pela fórmula de GLOVER[21] para rios americanos e que serviram de base para os cálculos estimativos da quantidade de traçador necessária para a injeção:

$$\left(\frac{K}{U}\right)_{teórico} \simeq 4m$$

Considerando-se a fórmula (81):

$$M_i \simeq \left(2A\sqrt{\pi \frac{K}{U} X}\right).C_{des}$$

e mais os resultados acima, pode-se observar que, para se ter a mesma prevista concentração C_{des}, dever-se-ia injetar uma atividade $(\sqrt{286/4})$ vezes maior. A atividade máxima permissível para a injeção também seria acrescida na mesma proporção (± 8 vezes mais).

Um aspecto muito importante a ressaltar, é, ainda, a noção que se deve ter da hora da injeção. Pode-se concluir, pelo que se viu "in loco" e pela figura (4), que a injeção, para que a experiência não se perca, só deve ser concretizada após se ter a certeza de

que a bacia esteja saturada. Assim, a precipitação pluvial não mais se infiltra, nem é retida ou evapo-transpirada pelos reservatórios naturais e pelo binômio solo-planta. Em outras palavras, toda a chuva que cai se escoa superficialmente. Além disso: o nível d'água deve já ter atingido um mínimo valor crítico e a chuva deve estar ainda se precipitando, tanto no ponto de injeção como no de estudo. Pelos dados existentes, o nível mínimo crítico que se pré-fixou foi de 0,40m. Observações de campo levaram a concluir que a bacia do Trapicheiro, para ficar saturada, após alguns dias sem chover acentuadamente, necessita de, pelo menos, 40mm de precipitação. Já com um intervalo de1dia ou menos, chuvas inferiores a 20mm podem saturar a bacia e provocar a imediata ascensão dos níveis d'água superficiais.

B)- O NOVO MÉTODO

a) Seleção de traçadores

Como já se apresentou no capítulo (3), quanto às vantagens e desvantagens de radioisótopos e corantes, a escolha se deve baseiar nos aspectos: precisão desejada, facilidades de obtenção,preparo e deteção, consequências do uso, equipamento disponível, quantidade a injetar e custo total do trabalho. Todos esses aspectos foram já exaustivamente discutidos e as conclusões se acham na página (80).

Em resumo, pode-se afirmar que, para a Guanabara, a prata, na forma de $K\left[^{110m}Ag(CN)_2\right]$ é satisfatória para este tipo de trabalho. Funciona como se fosse o próprio fluido e tem longa meia via (253 dias), podendo ser estocada durante muito tempo. Entretanto, pela grande diferença de custo entre o uso do radioisótopo / ^{110m}Ag e o do eficientemente comprovado corante Rodiamina WT, deve-se preferir este último, desde que se tenha equipamento adequado.

b) Dificuldades

Várias são as dificuldades técnicas e administrativas, para a aplicação do novo método. Dentre elas:

- ter-se locais protegidos para estocar o radioisótopo ou o corante e o equipamento, nos pontos de injeção e deteção;
- comunicar-se com a equipe, para a ida, a qualquer hora do dia ou da noite, em qualquer dia da semana, para o campo; no momento, são necessárias duas pessoas no ponto de injeção e mais duas no de deteção;
- dirimir-se as dúvidas de que se a "chuva que está vindo" será motivo de ida ou não ao campo;
- ter acesso ao ponto de injeção; neste caso,as estradas do Sumaré facilitaram bastante, mas, em outros, o acesso só é possível com helicóptero;
- ir ao campo, em tempo suficiente para preparar e executar o trabalho;
- saber-se a adequada hora para a injeção;
- contar com a boa-vontade e o espírito científico de compreensão da equipe, nas idas infrutíferas ao campo, por motivos alheios aos desejos humanos;
- existência de postos pluviográfico e linigráfico na bacia, para as necessárias correlações.

Algumas dessas dificuldades são de difícil resolução, especialmente as que dependem das imprevisíveis reações humanas.

Atualmente, acha-se em fase de execução, no IEN, o projeto de um novo tipo de injetor para estes trabalhos,o "tele-injetor" (projetista: Engº Eletrônico Arnaud Soulié, frances, do IEN). A idéia básica consiste em que o aparelho receba sinais emitidos por "walkie-talkies", distinga-os de ruidos eletrônicos, coman de uma série de operações (como abrir e fechar válvulas, inje tar o traçador em volumes variados) e confirme a execução das mesmas.

O "tele-injetor" resolverá alguns problemas, como o de a cesso ao ponto de injeção, nos dias de chuva forte. Com a esto cagem do traçador e o comando da injeção à distância, no ponto de deteção, economizar-se-á tempo e pessoal (pelo menos, meia hora e duas pessoas). Solucionar-se-á, por outro lado, o pro blema da impossibilidade de acesso a algumas cabeceiras, por falta de helicóptero, nos dias de tempestade.

c) Aplicabilidade do método

Sendo caro e de resultados a médio e longo prazo, não é es te método o ideal para a determinação de tempos de concentração em diferentes bacias. Nesse caso, seria preferível instalar-se postos hidrológicos nas bacias e analisar-se os dados por ou tros métodos, como o da hidrógrafa unitária e os estatísticos.

Ocorre, todavia, que, por falta de recursos para se insta lar esses postos em todas as bacias, o parâmetro tempo de con centração e os métodos racional e do hidrograma unitário sinté- tico ainda serão úteis durante dezenas de anos.

A aplicação do método não deve ser, portanto, rotineira, mas, sim, em alguns rios da região, para que se escolha, se a dapte, se corrija ou se elabore fórmulas para uso enquanto exis tirem bacias hidrográficas sem um razoável número mínimo de a nos de observações.

d) O desenvolvimento da pesquisa no Brasil

Apesar de ser este um método de pesquisa importante na resolução de problemas de cheias urbanas, não oferece ele resultados passíveis de publicidade política a curto prazo, nem é fonte de futuras vantagens lucrativas.

Esses fatos poderão concorrer com o desinteresse no investimento de recursos, e, consequentemente, na concretização dos objetivos do método, de maneira similar ao que ocorrem em outros campos de pesquisa, nos países em desenvolvimento.

6 - CONCLUSÕES

a) Sobre o cálculo de T_c

- A inexistência de dados fluviométricos em inúmeras bacias hidrográficas, motivada pela falta de recursos e pela impossibilidade de instalação de postos em todas elas, concorrerá para que os métodos racional e do hidrograma unitário sintético exerçam capital importância nos estudos de previsão de cheias, durante dezenas de anos. O tempo de concentração, T_c, é um parâmetro fundamental nos dois métodos.

b) Sobre o uso de fórmulas

- O cálculo de T_c, pelas existentes fórmulas empíricas, pode conduzir os resultados a elevados erros.

- As fórmulas de Pasini, Ventura e Ramser-Kirpich, por exemplo, são inaplicáveis a rios do tipo-Trapicheiro. As fórmulas de Ribeiro e do "Soil Conservation Service", discutidas e adotadas na Guanabara, diferem em 200% (duzentos por cento!) no caso do rio Trapicheiro.

c) Sobre o T_a

- O método do menor tempo de ascensão do hidrograma, T_a, é inaplicável, por fugir à própria essência da existência dos métodos, usuais em pequenas bacias hidrográficas, sem dados fluviométricos. Além disso nada se pode afirmar sobre a precisão dos resultados.

d) Sobre o novo método, com traçadores

- O método dos traçadores é o mais preciso na determinação

de T_c. Todavia, por requerer alguns anos de pesquisas, não pode ser usado rotineiramente. É o único, entretanto, que pode conduzir à seleção, correção, adaptação ou elaboração de fórmulas empíricas aplicáveis à realidade regional.

- No caso do rio Trapicheiro, para o ponto de estudo E, figura (14), pode-se, com certeza, afirmar, no momento, que:

$$T_c < 62,2 \text{ minutos.}$$

- Para não se perder a experiência, o traçador só deve ser injetado na hora em que a bacia estiver saturada, houver um nível crítico mínimo para a água, no ponto de estudo, e, ainda, que a chuva continue a se precipitar intensamente, tanto nas cabeceiras, como no local de deteção.

- Após mais algumas poucas experiências em condições bastante críticas, poder-se-á, ao se obter para diferentes vazões o mesmo tempo de trânsito, concluir-se ser esse o tempo de concentração da bacia, relativo ao ponto de estudo. ($T_c \tilde{=} T$; $t' \tilde{=} 0$). Em bacias diferentes, t' deve cuidadosamente ser pesquisado.

- A dispersão do traçador, na experiência realizada, foi bastante elevada: 286m é a característica da dispersão longitudinal, K_x/U.

- A interpretação da curva pela definição de tempo médio de trânsito é a mais prática e precisa.

- O radioisótopo ideal seria o ^{82}Br, se a meia-vida dele não fosse tão curta (36 horas); por esse motivo, na Guanabara, por causa do problema de estocagem durante o tempo de espera da tempestade adequada, o melhor radioisótopo passou a ser a ^{110m}Ag (253 dias), na forma de complexo aniônico de alta estabilidade.

- O melhor corante para estudos de tempos de trânsito é a Rodiamina WT, pelos reduzidos decaimento fotoquímico, adsorção, toxicidade e custo.

- A COPPE deve importar um fluorímetro e acessórios do tipo "TURNER-111-000", para esses e outros trabalhos em águas superficiais.

- Em alguns campos, como os de transporte sólido em canais e litorais e o da poluição, a solução "radioisótopos" é praticamente soberana; já nestes estudos de tempos de concentração, a solução "corantes" parece fornecer também boa precisão e ser bem mais econômica.

- A idéia da atual construção de um "tele-injetor" é consequência dos problemas de acesso e falta de pessoal que este trabalho suscitou: dentro de pouco tempo, a COPPE disporá de um aparelho que receba sinais, distinga-os de ruídos eletrônicos, injete a quantidade de traçador que se preparar e estocar e confirme o êxito da injeção.

7 - BIBLIOGRAFIA

1 - ALCANTARA, Ulysses M. A. de - Roteiro para o projeto de galerias pluviais de seção circular - Revista Engenharia Sanitária, ano I, nº 1, págs. 17/66, 1.962, Rio de Janeiro.

2 - MILLER, D. L. e CLARK, R. A. - Diseño de presas pequeñas - Cap. 2: Estudio de Avenidas - Págs. 53/95, Bureau of Reclamation, 1965, Washington.

3 - RIBEIRO, George - Acerca do cálculo da vazão de obras d'arte - Tempo de concentração - Revista do Clube de Engenharia, nº 294, págs. 16/19, 1961 e nº 296, págs. 27/30, 1961, Rio de Janeiro.

4 - LINSLEY, Ray K. e FRANZINI, Joseph B. - Water Resources Engineering - McGrawHill Book Co., Inc., 654 págs., 1964, Nova York.

5 - PILGRIM, D. H., - Radioactive tracing of storm - runoff on a small catchment - I - Experimental technique - Journal of Hydrology, págs. 289/305, nº 4 (1966), Amsterdam.

6 - PILGRIM, D. H., - Radioactive tracing of storm runoff on a small catchment - II - Discussion of results - Journal of Hydrology, págs. 306/26, nº 4, (1966), Amsterdam.

7 - PFAFSTETER, Otto - Deflúvio superficial III - Revista Saneamento, nº 42, ano 25, págs. 38/53, 1971, Rio de Janeiro.

8 - S.C.S. - National Engineering Handbook - Section 4 - Hydrology, U.S. Department of Agriculture, 600 págs. , 1972, Washington.

9 - FLEMING, George e FRANZ, Delbert D. - Flood frequency estimating techniques for small watersheds- Journal of Hydraulics Division, A.S.C.E., HY9, págs. 1441/1460,Set. 1971, Washington.

10 - BRUCE, J.P. e CLARK, R.H. - Introduction to Hydrometeorology - Pergamon Press, 319 págs., 1969, Oxford.

11 - BELL, Frederick C. e OMKAR, Songthara - Characteristic response times in design flood estimation - Journal of Hydrology 8, Págs. 173/196, (1969), Amsterdam.

12 - PFAFSTETTER, Otto - Deflúvio Superficial - IV - Revista Saneamento, nº 43, ano 26, págs. 27/49, 1972, Rio de Janeiro.

13 - SUPINO, G. - Le Reti Idrauliche - Nicola Zanichelli Editore, 392 págs., 1938 - Bologna.

14 - SOUZA PINTO, N.L., HOLTZ, A.C.T. e MARTINS, J.A. - Hidrologia de Superfície - Ed. Edgar Blücher, 179 págs., 1973, Curitiba.

15 - RICHARDS, B.D. - Flood estimation and control - Chapman & Hall Ltd., 187 págs., 1955, Londres.

16 - CHOW, Ven Te - Handbook of Applied Hydrology - Cap. 14, 20 e 21 - McGraw - Hill Book Co., 1964, New York.

17 - ROUSE, Hunter - Engineering Hydraulics - John Wiley & Sons, Inc., 1039 págs., 1950, New York.

18 - RÉMÉNIÉRAS, G. - L'Hydrologie de l'Ingénieur - Ed. Eyrolles, 413 págs. - 1960, Paris.

19 - GARDNER, Robin P. e ELY Jr., Ralph L. - Radioisotope measurement applications in engineering - 483 págs., Reinhold Publishing Corporation, 1967, New York.

20 - LENDA, A. e ZUBER, A. - Tracer dispersion in ground - water experiments - Isotope Hydrology 1970 - I.A.E.A., págs. 619/641, 1970, Viena.

21 - GLOVER, Robert E. - Dispersion of dissolved or suspended materials in flowing streams - Transport of radionuclides by streams - Geological Survey Professional Paper 433 B, 32 págs., 1964, Washington.

22 - LJUNGGREEN, K. - Review of the use of radioactive tracers for evaluating parameters pertaining to the flow of material in plant and natural systems - Radioisotope tracers in Industry and Geophysics - pág. 303/348, I.A.E.A., 1967, Viena.

23 - GUIZERIX, J., GRANDELÉMENT, G., HOURS, R., ANDRÉ, H., WOLF, R. e PEREZ, R. - Les mesures de débits effectuées en France à l'aide de traceurs radioactifs par la méthode d'intégration - Radioisotopes in Hydrology I.A.E.A., págs. 255/281, 1963, Viena.

24 - DINCER, T. - Application of radioatracer methods in streamflow measurements - Isotopes in Hydrology - I.A. E.A., págs. 93/113, 1966, Viena.

25 - CALKINS, D. e DUNNE, T. - A salt tracing method for measuring channel velocities in small mountain streams - Journal of Hydrology - 11, págs. 379/392, 1970, Amsterdam.

26 - KILPATRICK, F.A., MARTENS, L. A. e WILSON Jr., J.F. - Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey - Book 3 - Applications of Hydraulics - Chapter A 9 - Measurement of time of travel and dispersion by dye tracing - 25 págs., 1970, Washington.

27 - GUIZERIX, J. - Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology - Measurements of rate of flow - págs. 32/42 , Tech. Rep. Series 91, 1969, Viena.

28 - COBB, E.D. e BAILEY, J.F. - Surface Water Techniques of the United States Geological Survey - Book 1 - Hydraulic Measurement and Computation - Chapter 14 - Measurement of discharge by dye dilution methods, 27 págs., 1965, Washington.

29 - BANSAL, Mahendra K. - Dispersion in natural streams - Journal of the Hydraulics Division, A.S.C.E., HY11,págs. 1.867/1.886, Nov. 1971, Washington.

30 - GOMEZ, Héctor R. - Trazadores radioactivos em hidrogeologia - Rezeña teórico-practica - C.N.E.A., EN. 19/51, 163 págs., 1971, Buenos Aires.

31 - WILSON Jr., J.F. - Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey - Book 3 - Applications of Hydraulics - Chapter A 12 - Fluorometric procedures for dye tracing - 31 págs., 1968, Washington.

32 - CLAYTON, C.G. e SMITH, D.B. - A comparison of radioisotope methods for river flow measurement - Radioisotopes in Hydrology - I.A.E.A. - págs. 1/24, 1963, Viena.

33 - PLATA, Antonio - Isotopos en Hidrologia - Ed. Alhambra, 328 págs., 1972, Madrid.

34 - GARCIA, A. Rivas - Metodos y equipos para el aforo de corrientes de agua libre por medio de radiotrazadores - 20 págs., Simposio sobre Aplicaciones de los Radioisotopos, 1967, Madrid.

35 - ANDRÉ, H. - Méthodes par traceurs utilisés em 1969 pour la mesure des débits des liquides - La Houille Blanche, págs. 535/9, nº 5, 1969, Grenoble.

36 - FEUERSTEIN, Donald. L. e SELLECK, Robert E. - Fluorescent tracers for dispersion measurements - Journal of the Sanitary Engineering Division - A.S.C.E. - Vol.89, SA 4, Proc. Paper 3586, pp 1/21, 1963, Washington.

37 - HEATH, R.L. - Table of the Isotopes - Handbook of Chemistry and Physics - Págs. B 245 a B 541, The Chemical Rubber Co., 1970/71, Ohio.

38 - CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - Normas básicas de segurança para proteção contra as radiações - 103 págs., 1970, Rio de Janeiro.

39 - RAAEN, H. P. - Comparison of radioisotopes and fluorescent dyes for estuary pollution-control studies - Review Isotope Technology Development, págs. 385/8 , Vol. 8-4, 1971, Washington.

40 - LALLEMAND, A. e GRISON, G. - Contribuition a la selection de traceurs radioactifs pour l'Hydrogeologie - Isotope Hydrology 1970 - I.A.E.A. - págs. 823/833, 1970, Viena.

41 - ROSENCRANCE, James E. - Manual de Laboratório de Química da Água, 63 págs., U.S.A.I.D., 1966, Rio de Janeiro.

42 - ZUBER, A. - Tracer in wells - Regional Training Course on the Application of Isotope Techniques in Hydrology - I.A.E.A., 1971, Bangkok.

43 - KATO, M. e SATO, O. - A study in river engineering based on the results of field measurements of flow velocities with radioisotopes in the Sorachi River , Japan - Radioisotopes in Hydrology - I.A.E.A., págs. 89/110, 1963, Viena.

44 - KOHL, J., ZENTNER, R.D. e LUKENS, H.R. - Radioisotope Applications Engineering - D. Van Nostrand Co., Inc., 1961, Nova York.

45 - CHOW, Ven Te - Open-channel hydraulics - McGraw-Hill Book Co., 680 págs., 1959, Nova York.

46 - ROZENTAL, J.J. e COELHO, A.P. - Interação da radiação com a matéria e Efeitos biológicos das radiações - C;N.E.N.-I.E.N., 51 págs., 1970, Rio de Janeiro.

47 - ERWALL, L.G., FORSBERG, H.G. e LJUNGGREN, K. - Industrial Isotope Techniques, Munksgaard, 338 págs., 1964, Copenhague.

48 - IPR-DAR - Curso de Aplicação de Radioistótopos - Parte Básica , 97 págs., 1968, Belo Horizonte.

49 - SURSAN - D.R.C. - Normas para projeto de esgotamento pluvial, 66 págs., 1970, Rio de Janeiro.

8. NOMENCLATURA

8.1 - Simbologia latina*

a - variável: área da seção transversal do curso d'água;

A - área molhada da seção transversal do curso d'água;

A'- área da bacia hidrográfica;

A_c - atividade usada na calibração do equipamento;

A_d - atividade detetada;

A_i - área molhada da seção transversal i do curso d'água;

A_o - atividade inicial do radioisótopo;

A_t - atividade do radioisótopo, após o tempo t;

b - coeficiente de IZZARD[4];

B - metade da largura da seção transversal média;

BKG - "background": presença natural do traçador no ambiente;

c - variável: concentração - c=f(x, y, z, t);

C - coeficiente de "run-off";

C'- coeficiente de Cheezy;

$\bar{c}$ - concentração média do traçador, no ponto de deteção (injeção instantânea);

$\bar{c}_E$ - concentração de equilíbrio, no ponto de deteção (injeção contínua);

c_i - concentração da solução injetada;

$\bar{c}_o$ - concentração do traçador no rio, logo após a injeção contínua, no ponto inicial;

$\bar{c}_{BKG}$ - concentração natural do traçador no curso d'água;

$C_{des}=C_{pico}$ - concentração desejada para o pico, na detecção;

---

* OBS. - No texto, onde não houver referências, as unidades devem ser consideradas como pertencentes ao sistema - M.K.S.

C''-coeficiente (Chow, fórmula 31);

$C_{máx}$-concentração máxima, na deteção;

CM_iD-concentração mínima detetável;

$CMP=CM_xP$ - concentração máxima permissível do traçador, em água potável;

C_r - coeficiente de retardo (tabelado por IZZARD[4]);

C_s - concentração das amostras coletadas;

CNPT-condições normais de pressão e temperatura;

d - espessura de material;

D_o - dose (usualmente, em rems);

DMP- dose máxima permissível (usualmente, em r/h);

DR - "dose rate" (usualmente, em r/h);

DRF- "dose rate factor" (usualmente, em $r/h/m^2/Ci$);

e,e',e"- coeficientes (Chow, fórmula 31);

E - ponto de estudo, ou de deteção, ou de interesse para projeto;

E' - energia de fóton;

E_i - energias da radiação gama;

f - fator de diluição ou fração da massa (ou atividade) do traçador, usada para calibração;

F_f, F_h, F_s- fatores "de forma, hidráulico e de declividade" (Chow, fórmula 31);

g - aceleração da gravidade;

G - número, variável de 10 a 100;

h - nível d'água do rio, em uma determinada seção;

H - diferença topográfica de nível;

I - intensidade pluviométrica;

I'_o, I'_d - intensidades da radiação, antes e após atravessar o máterial de espessura d;

IMP- incorporação máxima permissível do traçador no corpo humano;

J'- fator (Chow, fórmula 31);

J - % de recuperação do traçador;

k - coeficiente de KERBY;

$K=K_x$- coeficiente de dispersão longitudinal;

K_c- fator de correção das contagens, do dia da calibração ao dia da análise das amostras;

K_r- coeficiente de RIBEIRO[3], com base na % de vegetação da bacia;

K_x, K_y, K_z - coeficientes de dispersão, segundo os eixos x, y e z;

l - distância, pelos sulcos da terra, do ponto mais alto da bacia, até atingir o rio;

l'- idem a l, mas, horizontalmente;

L=X - distância do ponto mais afastado da bacia ao de estudo ao longo do rio; distância injeção - detecção;

L'- idem a L, mas, horizontalmente;

L_{bm}- distância de "boa mistura" do traçador;

L_f- distância operador-fonte, nas experiências;

$L_{i,i+1}$- distância real entre duas seções transversais consecutivas, i e i+1;

m - número, variável de 2 a 10;

m'- número de massa do elemento;

M - massa ou atividade do traçador;

M'- massa ou atividade encomendada;

M_c- massa ou atividade de calibração;

M_d- massa ou atividade detetada;

$M_{máx}$- atividade ou massa máxima permissível para a injeção;

$M_i=M_{nec}$- massa ou atividade necessária para a injeção;

n - coeficiente de rugosidade ou de Manning;

n'- coeficiente de RIMMAR[17];

N - número total das contagens detetadas;

N'- idade humana;

O - ponto de injeção ou de início do leito do curso d'água principal;

O'- ponto mais afastado, no extremo superior da bacia ou de início do sulco mais longo;

p - % de vegetação da bacia;

p'- perímetro molhado da seção transversal do rio;

q - vazão da injeção contínua do traçador;

q_A, q_B - vazões originárias de dois canais drenantes A e B;

Q - vazão;

Q_i- vazão pela seção transversal i;

r - raio hidráulico (r=A/p');

R - taxa de contagens detetadas (em geral);

R_{BKG}- idem, para o "background";

R_c- idem, na calibração;

R_{GA}- idem, para a "amostra-padrão", no dia da análise das amostras coletadas no rio, durante a experiência;

R_{GC}- idem, para a "amostra padrão", no dia da calibração;

R_S - idem, na análise do volume coletado, com a correção K_c do decaimento;

R'_s - idem, idem, sem K_c ;

R_{TOTAL} - taxa total de contagem, incluindo o "background" (R_{BKG});

S - declividade média do rio;

S' - declividade média do trecho mais elevado do rio, antes da parte de forma canalizada bem definida;

S_e - sensibilidade do equipamento;

t - variável: tempo;

t', T - parcelas de T_c, antes (t') e no trecho de forma canalizada bem definida (T);

T'- tempo em que a atividade do radioisótopo decai, mas ainda é suficiente para a experiência;

$\overline{t}$ - tempo médio de trânsito do traçador;

t_A, t_B- pontos escolhidos para interpretação dos resultados, segundo o método de LENDA e ZUBER[20];

t_0, t_E- horas da injeção e da deteção;

t_L-"lag" - intervalo de tempo entre o correspondente à metade da duração do excesso de precipitação e o pico do hidrograma correspondente;

t_{pico}- tempo relativo à passagem da concentração máxima;

t_W - tempo médio de trânsito do fluido;

t_1, t_2- horas do início e do fim da coleta de amostras;

$t_{1/2}$ - "meia-vida" do radioisótopo;

T_a - tempo de ascensão do hidrograma;

T_c - tempo de concentração da bacia;

T_e - tempo de exposição ou de trabalho com radioisótopos;

T_{pe}- tempo de preparo e entrega de um radioisótopo, após a solicitação ao produtor;

T_r - período de recorrência;

$U=U_x$- velocidade média longitudinal;

U_i - velocidade média na seção transversal $\underline{i}$;

U_x, U_y, U_z- velocidades, segundo os eixos $\underline{x}$, $\underline{y}$ e $\underline{z}$;

V_c - volume de calibração;

V_d - volume de dispersão do traçador;

V_i - volume de injeção;

W - largura média da seção transversal molhada;

x -- variável: espaço;

$X=L$ - distância injeção-deteção;

y - variável: espaço;

z - variável: espaço;

Z - profundidade média da seção transversal molhada.

8.2 - Simbologia grega

γ - radiação gama;

Δ - abundância total de radiações gama do radioisótopo;

Δ_i - abundância da radiação gama de energia E_i;

Δ_t - intervalo de tempo de uma coleta de amostra para a seguinte;

λ - constante de decaimento do radioisótopo;

μ - coeficiente de absorção linear da radiação gama na matéria;

ρ - densidade do material em estudo;

σ, σ^2 - desvio padrão e variância;

Φ - fluxo de fótons, na unidade de área e de tempo.

8.3 - Constantes

e = 2,71828 ...

Π ou π = 3,1416...

8.4 - Entidades (abreviadas no texto)

ASCE - American Society of Civil Engineers;

CBTN - Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear;

CEDAG- Companhia de Águas do Estado da Guanabara;

CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear;

COPPE- Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da U.F.R.J.

COPPETEC- Programa de Tecnologia da COPPE;

DAR - Divisão de Aplicação de Radioisótopos do IEN;

IAEA - International Atomic Energy Agency;

IEA - Instituto de Energia Atômica - São Paulo;

IEN - Instituto de Engenharia Nuclear - Rio de Janeiro;

IPR - Instituto de Pesquisas Radioativas - Belo Horizonte;

PETROBRÁS - Petróleo Brasileiro S.A.;

SCS - Soil Conservation Service - U.S.A.

SH-DRC - Serviço de Hidrologia do Departamento de Rios e Canais da SURSAN;

SURSAN - Superintendência de Urbanização e Saneamento de Guanabara;

USGS - United States Geological Survey;

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro.