

CETESB

L5.006

FLOCULAÇÃO

MÉTODO DE ENSAIO

SUMÁRIO

	<i>Páginas</i>
Introdução	1
1 Objetivo	1
2 Referências	2
3 Reagentes	2
4 Aparelhagem	3
5 Execução do Ensaio	3
Anexo A	7
Anexo B	9
Anexo C	10
Anexo D	15
Anexo E	17
Anexo F	19

INTRODUÇÃO

Os efeitos desejáveis de agentes coagulantes e auxiliares no processo de tratamento de água, justificam a existência de um ensaio de laboratório para sua determinação. Além disso, é através dos resultados de ensaios de floculação que se obtêm dados fundamentais para projetos de construção ou reabilitação de estações de tratamento de água.

Esta Norma apresenta a técnica a ser usada para a obtenção de informações através do ensaio de floculação, porém a programação do mesmo depende fundamentalmente do problema a ser estudado e nenhuma norma poderia estipular dosagens a ensaiar, agentes auxiliares a serem usados, tempos de retenção, gradientes de velocidade e velocidades de sedimentação, pois estes parâmetros variam de água para água e de instalação para instalação.

A realização do ensaio de floculação é rotineira nos laboratórios, porém a técnica é bastante variável tornando impossível a reprodução na estação de tratamento dos resultados obtidos em laboratório. Tal disparidade faz com que o ensaio seja desacreditado. Mesmo conscientes de que não será possível reproduzir totalmente no ensaio de floculação as condições da produção, deve-se buscar uma técnica que seja comum e que leve à obtenção da máxima reprodutibilidade.

1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma prescreve o método de ensaio de floculação (jar-test), visando a maior reprodutibilidade possível entre as condições de laboratório e as da estação de tratamento de água.

1.2 Aplica-se à determinação das dosagens ótimas de produtos químicos (ensaio de rotina) e para coleta de dados destinados a novos projetos, à reabilitação de unidades de tratamento ou a ensaios de novos produtos (ensaio especiais).

2 REFERÊNCIAS

Na aplicação desta Norma poderá ser necessário consultar as seguintes normas da CETESB:

- L5.117 - Determinação de Cor em Águas - Método de Comparação Visual.
- L5.145 - Determinação de pH em Águas.
- L5.156 - Determinação da Turbidez em Águas - Método Nefelométrico.

3 REAGENTES

3.1 Na produção de água para abastecimento público, as concentrações das soluções dos produtos químicos adicionados são geralmente elevadas, tendo-se em vista o volume de água a ser tratado. O emprego de soluções diluídas torna-se impraticável devido a exigir grandes volumes para obtenção da dosagem requerida. Como no ensaio de laboratório são manipulados pequenos volumes de água, não se pode trabalhar com a mesma concentração da escala de produção sem incorrer em erros significativos. Assim, utilizam-se os seguintes reagentes:

- a) Sulfato de Alumínio a 1% (um por cento) em massa por volume - Esta solução deve ser agitada perfeitamente antes da pipetagem e desprezada, no máximo, após uma semana de uso;
- b) Hidróxido de Cálcio - Este reagente pode ser utilizado na forma de suspensão a 0,5% em massa por volume ou na forma de solução saturada. No caso de suspensão, agitá-la perfeitamente antes da pipetagem e pipetar os volumes individualmente para cada frasco do aparelho. Esta suspensão deve ser desprezada após o término dos ensaios. No caso de solução saturada, cuidar para não agitar o frasco, pipetando apenas a parte sobrenadante, que realmente se trata da solução; tomar o cuidado de recompor o volume do frasco que contém o reagente após o dia de trabalho;
- c) Outros - No caso de existirem outros produtos, tais como polieletrólitos, sílica ativada, outros coagulantes ou alcalinizantes, deve-se procurar uma concentração tal que possibilite trabalhar com volumes que possam ser medidos com pipetas convencionais, sem incorrer em erros significativos.

NOTA: Em todos os ensaios, devem ser utilizados os mesmos produtos comerciais empregados no sistema de tratamento de água.

4 APARELHAGEM

Para a realização do ensaio de floculação é necessário dispor, no mínimo, dos equipamentos apresentados de 4.1 a 4.4.

4.1 Aparelho para ensaio de floculação

Este aparelho deve ter como requisitos mínimos:

- a) dispositivo de controle das rotações aplicadas (erro máximo de 5%);
- b) possibilidade de correlacionamento das rotações aplicadas com o gradiente de velocidade;
- c) sistema para coletar amostras em profundidade definida, da maneira mais si multânea possível, em todos os frascos (ver sugestões no Anexo B);
- d) aplicação dos produtos químicos em todos os frascos, da maneira mais simul tânea possível.

4.2 Aparelho para determinação da turbidez

O aparelho e método para a determinação da turbidez são os da CETESB L5.156.

4.3 Equipamento para determinação da cor

Os aparelhos e métodos para a determinação da cor são os da CETESB L5.117.

4.3 Equipamento para determinação do pH

Os aparelhos e métodos para a determinação do pH são os da CETESB L5.145.

5 EXECUÇÃO DO ENSAIO

5.1 Ensaio de rotina

Para a realização deste ensaio são necessárias as informações básicas abaixo, as quais devem ser obtidas na própria instalação de tratamento.

5.1.1 Produtos químicos utilizados

Seguir as instruções do item 3.

5.1.2 Ordem de adição

De acordo com as condições da instalação de tratamento, deve-se estabelecer a or dem de adição dos produtos, bem como definir os tempos em que tais adições deve m ocorrer.

5.1.3 Tempo de detenção nos floculadores

O tempo de detenção nos floculadores deve ser calculado segundo a fórmula:

$$t = \frac{Vn}{60Q}$$

onde:

t = tempo de detenção, em minutos

V = volume da unidade de floculação em m³
 n = número de unidades de floculação
 Q = vazão total da estação de tratamento em m³/s

5.1.4 Gradiente aplicado nos floculadores

Esta informação é obtida no projeto de construção das unidades de floculação, podendo ser um único valor ou tratar-se de uma graduação.

5.1.5 Velocidade de sedimentação

A velocidade de sedimentação ou taxa de aplicação superficial dos decantadores é obtida através da seguinte fórmula:

$$V_s = \frac{6000 Q}{An}$$

onde:

V_s = velocidade de sedimentação em cm/min
 Q = vazão total da estação de tratamento em m³/s
 A = área da unidade de decantação em m²
 n = número de unidades de decantação

5.1.6 Coleta de água a ser ensaiada

A coleta de água a ser ensaiada deve ser feita de acordo com a técnica convencional de coleta para análise físico-química e em volume suficiente para proceder à toda a série de ensaios.

5.1.7 Programação do ensaio

Para facilitar a programação do ensaio, empregar modelo igual ao do Anexo C.

5.1.8 Realização do ensaio

5.1.8.1 A estipulação de uma faixa de dosagem a ensaiar é atribuição do analista, que deve conhecer o comportamento prévio da água, a fim de certificar-se de que a dosagem ótima procurada está contida na faixa considerada. No caso de existir mais de um produto a ensaiar, deve-se variar apenas a dosagem de um deles por vez, realizando-se tantos ensaios quantos forem necessários, a fim de se obter resultados suficientes para chegar a uma conclusão, na análise desses resultados. A ordem de adição, bem como os tempos, devem obedecer aos dados básicos obtidos na estação de tratamento, conforme 5.1.2.

5.1.8.2 O volume da amostra a ensaiar deve ser distribuída nos frascos, obedecendo ao volume estipulado pelo equipamento para ensaio de floculação, possibilitando observar a correlação de rpm e gradiente de velocidade.

5.1.8.3 Pipetados os volumes dos produtos a ensaiar, procede-se à agitação rápida, colocando-se os mesmos mais simultaneamente possível nos frascos e respeitando-se a ordem e os tempos estabelecidos em 5.1.2. No processo de coagulação-floculação, a primeira fase é chamada de agitação rápida. O valor do gradiente de velocidade nesta etapa é muito elevado nas instalações de tratamento, sendo bastante difícil sua representação em escala de laboratório. Assim, na falta de dados mais precisos, adotar um valor de gradiente mínimo de 150 s⁻¹ durante um minuto.

5.1.8.4 Após a agitação rápida, inicia-se o processo de floculação. A duração bem como o gradiente de velocidade aplicado devem obedecer aos dados em 5.1.3 e 5.1.4.

5.1.8.5 Após o processo de floculação, inicia-se a decantação. O tempo de decantação bem como a profundidade da coleta da amostra devem ser tais que, dividindo-se a profundidade em cm pelo tempo em minutos, seja encontrado um valor igual ao da velocidade de sedimentação ou taxa de aplicação superficial dos decantadores, conforme 5.1.5. O coletor de amostras deve ser construído em tubo rígido, com diâmetro interno não superior a 4 mm, com uma curvatura na ponta e escala conforme a Figura 1.

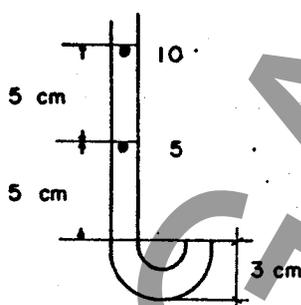


FIGURA 1 - Coletor de Amostras

Assim posicionado o coletor com a marca 5 ou 10 coincidindo com o nível da água, coletam-se amostras a 5 ou 10 cm de profundidade. Com uma das opções escolhidas basta determinar em que tempo se deve processar a coleta. Para o funcionamento do coletor deve-se aplicar um sifonamento durante o processo de floculação e mantê-lo através da colocação de uma pinça ou torneira que feche um tubo plástico que leva a amostra do coletor para o frasco de recepção. A coleta deve ser realizada de maneira simultânea nos seis frascos. Um volume inicial de cerca de 10 ml deve ser desprezado, recolhendo-se, a seguir, não mais do que 200 ml da amostra e cuidando-se para que o volume de amostragem seja igual para todos os frascos.

5.1.8.6 A frequência da realização deste ensaio deverá ser coerente com a variação das condições da qualidade da água a ser tratada.

6 RESULTADOS

6.1 Após a realização das análises, deve-se preencher a tabela apresentada no Anexo C (Ver Figura 3) e construir gráficos dos resultados obtidos, colocando em abscissas a variação da dosagem e, em ordenadas, os resultados das análises.

6.2 Deve-se construir tantos gráficos quantos forem necessários para expressar a variação de cada um dos parâmetros (pH, cor, turbidez, etc.) em função da variação das dosagens (Sulfato de alumínio, cal, etc.). Exemplos de gráficos encontram-se no Anexo C (Ver Figura 4 a 6).

6.3 A análise dos gráficos obtidos fornecerá as dosagens recomendadas, bem como uma idéia da qualidade esperada da água tratada. Pode-se, ainda, com base nos resultados, elaborar novas programações de testes, buscando sempre a otimização do tratamento.

/Anexo A

RENOVOGADN

ANEXO A - ENSAIO ESPECIAL

A-1 INFORMAÇÕES INICIAIS

A-1.1 Para a realização de um ensaio especial é necessário definir objetivos que são básicos para sua programação. Trata-se, em essência, de um ensaio análogo ao de rotina, porém com maior número de variáveis.

A-1.2 Neste tipo de estudo, pode-se determinar tempo ótimo de floculação, gradiente de velocidade ótimo, taxa de aplicação superficial nos decantadores e outras variáveis.

A-2 ENSAIO PRELIMINAR

A-2.1 Para efetuar os ensaios que definem tempo de floculação, gradiente de velocidade e velocidade de sedimentação, devem-se fixar outras variáveis, caso contrário a definição através da análise dos resultados seria bastante difícil, devido ao grande número de ensaios que seriam necessários.

A-2.2 Em primeiro lugar, deve-se determinar as dosagens dos produtos químicos que mostram melhores resultados para tempo de floculação, gradiente e velocidade de sedimentação fixados em valores predeterminados, a saber:

- a) tempo de floculação = 30 minutos;
- b) gradiente de velocidade = 35 s^{-1}
- c) velocidade de sedimentação = 2 cm/min.

A-2.3 Com estes valores pré-fixados, determinar a melhor dosagem do agente coagulante com ou sem uso de cal.

A-2.4 No caso de usar-se alcalinizante, adicioná-lo 5 minutos antes da adição do agente coagulante, homogeneizando bem a amostra.

A-3 TEMPO DE FLOCULAÇÃO

A-3.1 Definidas as dosagens ótimas para as condições descritas em 5.2.2, realizar ensaio observando os seguintes requisitos:

- a) dosagens pré-determinadas;
- b) gradiente de velocidade = 35 s^{-1}
- c) velocidade de sedimentação = 2 cm/min;
- d) tempo de floculação variável.

A-3.2 Será necessário realizar duas séries de ensaios de seis frascos em cada uma, perfazendo um total de doze frascos, a fim de reduzir a probabilidade de erro e possibilitar a obtenção de maior número de pontos a considerar.

A-3.3 A seguir, aplicar a agitação rápida do ensaio de rotina e as dosagens predeterminadas dos produtos químicos, dando-se início ao processo de floculação em todos os frascos simultaneamente. Após 5 minutos de floculação, cessar a agitação no frasco nº 1, coletar a amostra, respeitando a velocidade de sedimentação de 2 cm/min.

A-3.4 Repetir esta operação em seqüência, obedecendo ao intervalo de 5 minutos. Isto feito, obtêm-se os dados para preenchimento de uma tabela (ver Anexo D).

A-3.5 Com os valores da Tabela 1 do Anexo D, constrói-se um gráfico em papel milimetrado, contendo, em ordenadas, os valores da cor e turbidez e, em abscissas, o tempo de floculação. No corpo do gráfico deverão constar as especificações de todas as condições aplicadas (ver Anexo D).

A-4 GRADIENTE DE VELOCIDADE E VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO

A-4.1 Para a realização desta série de ensaios, observar as condições:

- a) dosagens predeterminadas;
- b) tempo de floculação correspondente ao valor médio da faixa determinada;
- c) gradiente de velocidade variável;
- d) velocidade de sedimentação de 5,0, 3,0 e 1,0 cm/min.

A-4.2 Será utilizado apenas um frasco por vez, já que serão ensaiados valores de gradiente de velocidade variáveis, o que quer dizer diferentes rpm.

A-4.3 Quando o trabalho é feito com mais de um frasco, pode-se, também, variar o tempo de floculação.

A-4.4 Programados os valores dos gradientes de velocidade a ensaiar, o ensaio se processará de forma análoga aos ensaios anteriores, porém coletando amostras em velocidades de sedimentação de 5,0, 3,0 e 1,0 cm/min, o que se consegue pelo posicionamento adequado do coletor e coleta em tempos predeterminados. Com os dados assim obtidos, preenche-se a tabela do Anexo E.

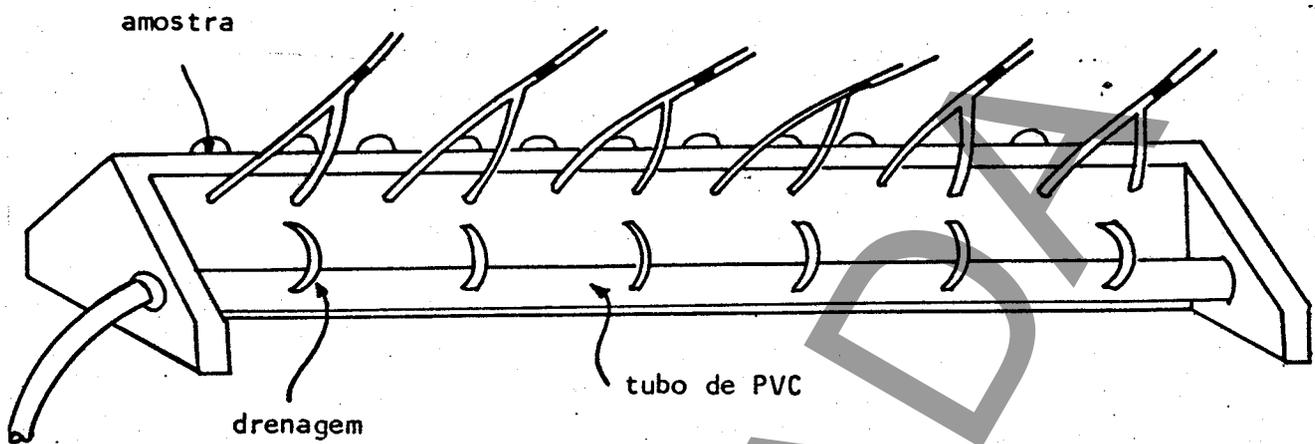
A-4.5 Com os valores da tabela 2 do Anexo E, constrói-se um gráfico em papel milimetrado, contendo, em ordenadas, os valores da turbidez e, em abscissas, o gradiente de velocidade. Para cada valor imposto de velocidade de sedimentação constrói-se a curva correspondente (ver Anexo E).

A-5 OUTROS ENSAIOS

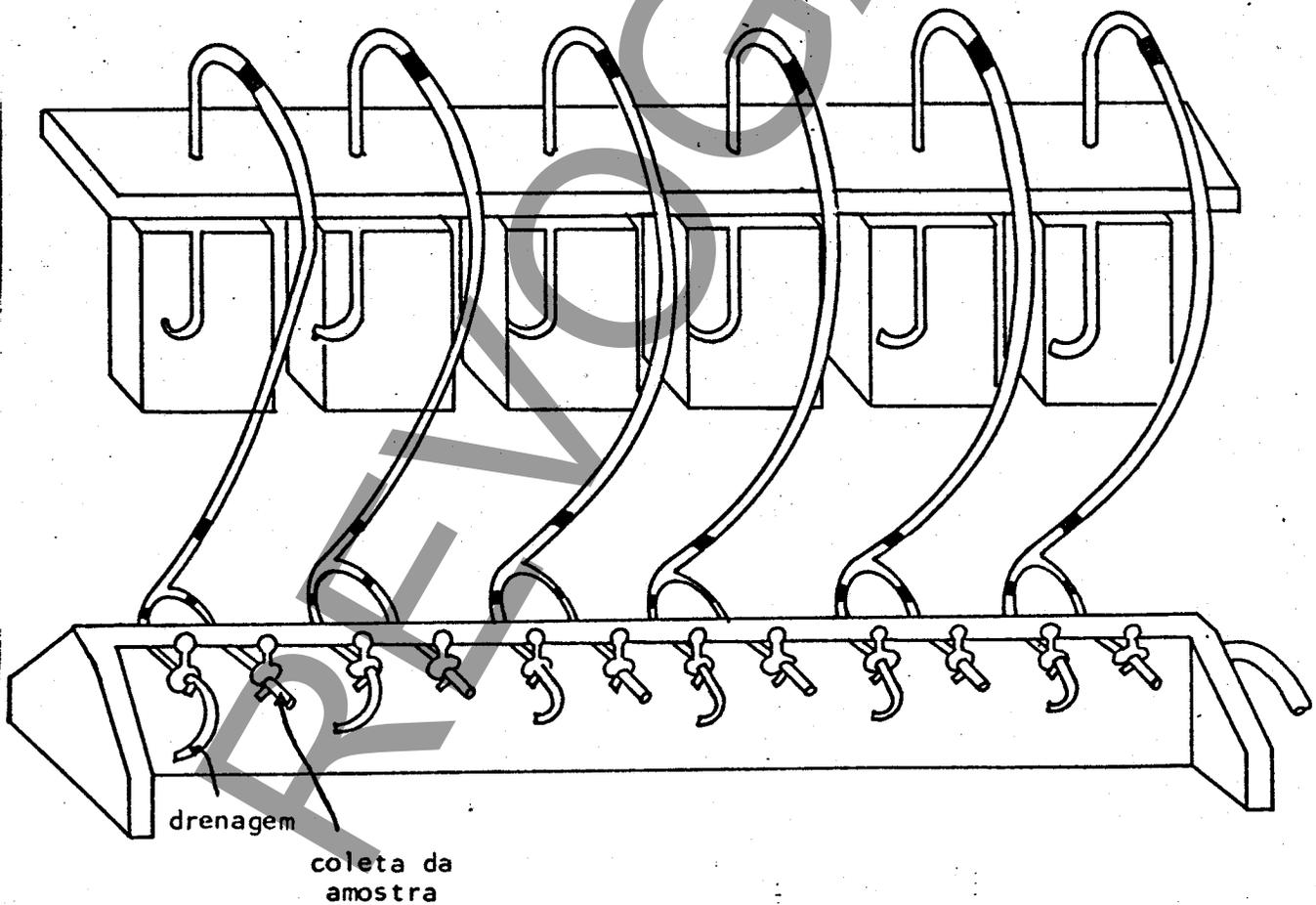
É possível realizar uma série de outros ensaios, aplicando-se sempre a técnica preconizada nesta Norma, como, por exemplo, utilização de auxiliares de coagulação-floculação, pontos de aplicação destes auxiliares, ensaiar não só um valor de gradiente isolado como também gradação do mesmo, etc.

ANEXO B

SISTEMA PARA COLETAR AMOSTRAS



a) Vista do sistema de drenagem



b) Vista frontal do conjunto

FIGURA 2 - Sugestão de sistema para coletar amostras

ANEXO C.

RELATÓRIO DE UM ENSAIO DE FLOCULAÇÃO

ETA _____ DATA _____ / _____ / _____ ANALISTA _____

FRASCO Nº	SULFATO	CAL			TURBI- DEZ
	mg/l	mg/l	mg/l	pH	COR	
1	8	-	-	6,5	30	18,0
2	16	-	-	6,2	25	9,4
3	24	-	-	5,9	15	3,0
4	32	-	-	5,7	5	2,0
5	40	-	-	5,2	10	5,6
6	48	-	-	4,7	20	8,2

ANÁLISE DE ÁGUA BRUTA

pH _____ 6,7

COR _____ 30

TURBI DEZ _____ 10,5

CRT _____ 1,7

CRL _____ 1,0

CONDIÇÕES DO ENSAIO

CONDICÕES DO ENSAIO		
tempo (min)	Rotação (rpm)	Gradiente (s^{-1})
agitação rápida 1	100	180
floculação 30	32	25
velocidade de sedimentação (cm/min) = ordem de adição e tempos.....		

OBS.: Amostra coletada já clorada

FIGURA 3 - Modelo de tabela

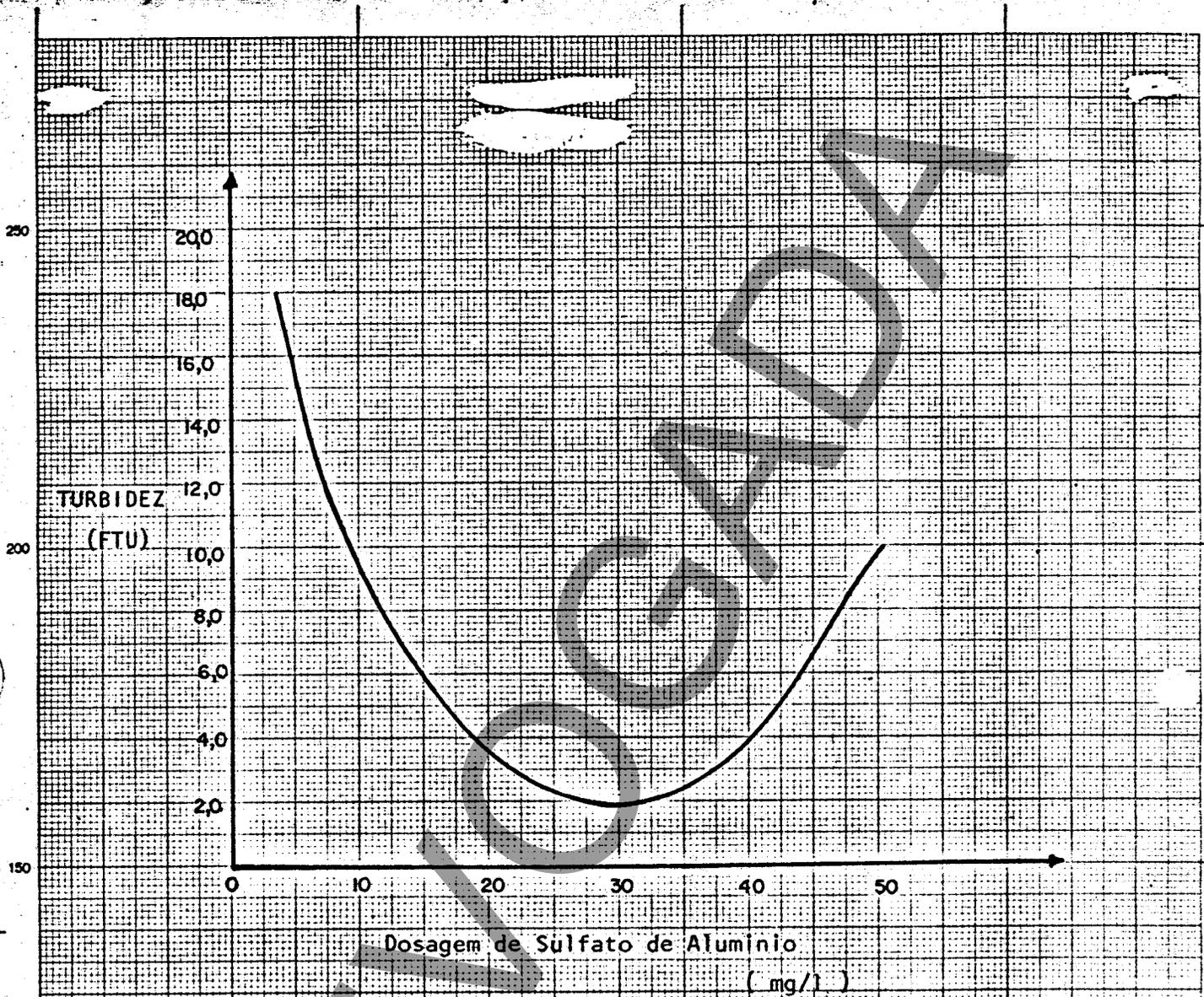


FIGURA 4 - Exemplo de representação gráfica da determinação da melhor dosagem em ensaio de rotina considerando a variação de valores de turbidez em função da dosagem aplicada.

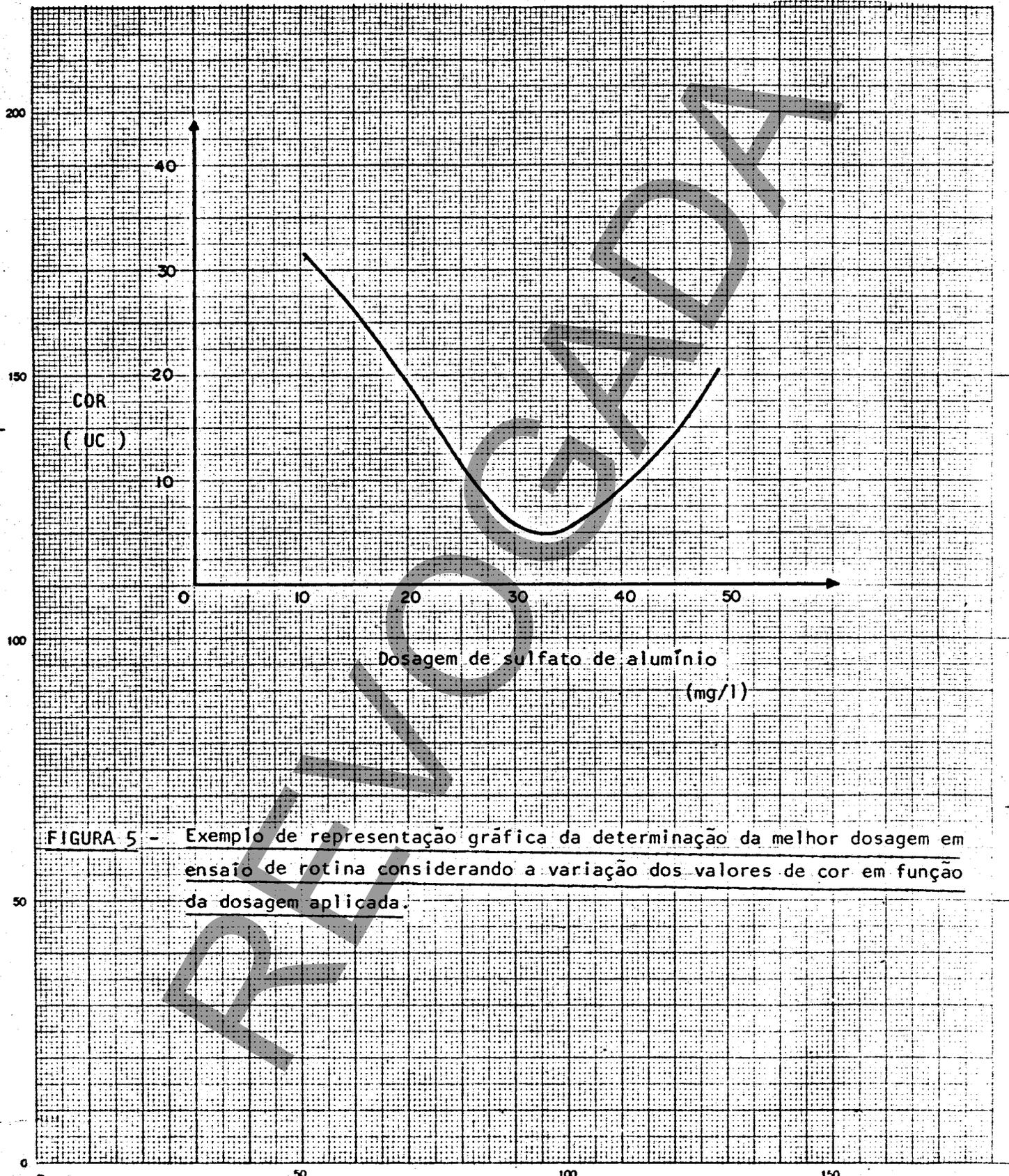


FIGURA 5 - Exemplo de representação gráfica da determinação da melhor dosagem em ensaio de rotina considerando a variação dos valores de cor em função da dosagem aplicada.

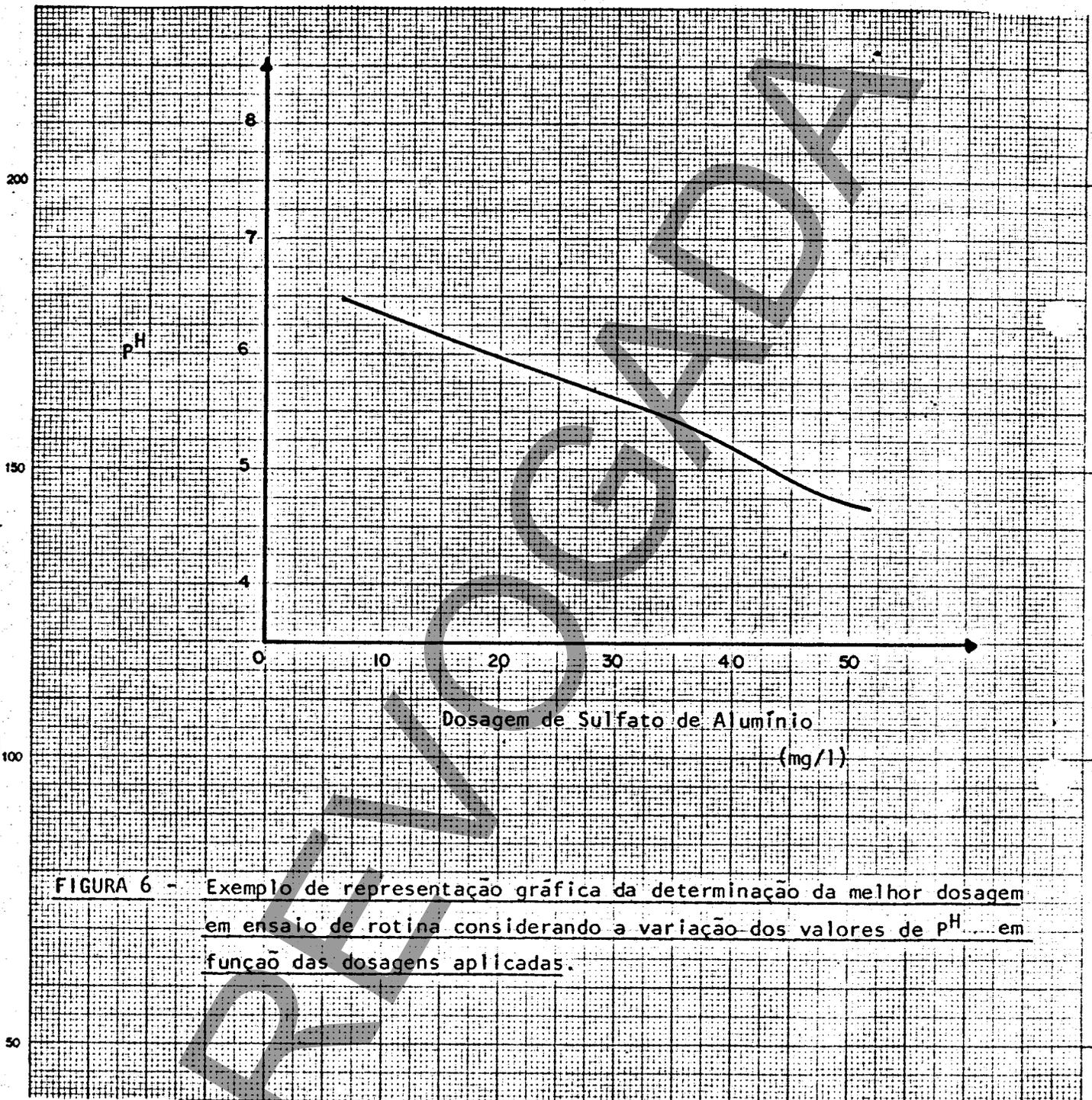


FIGURA 6 - Exemplo de representação gráfica da determinação da melhor dosagem em ensaio de rotina considerando a variação dos valores de pH em função das dosagens aplicadas.

ANEXO D

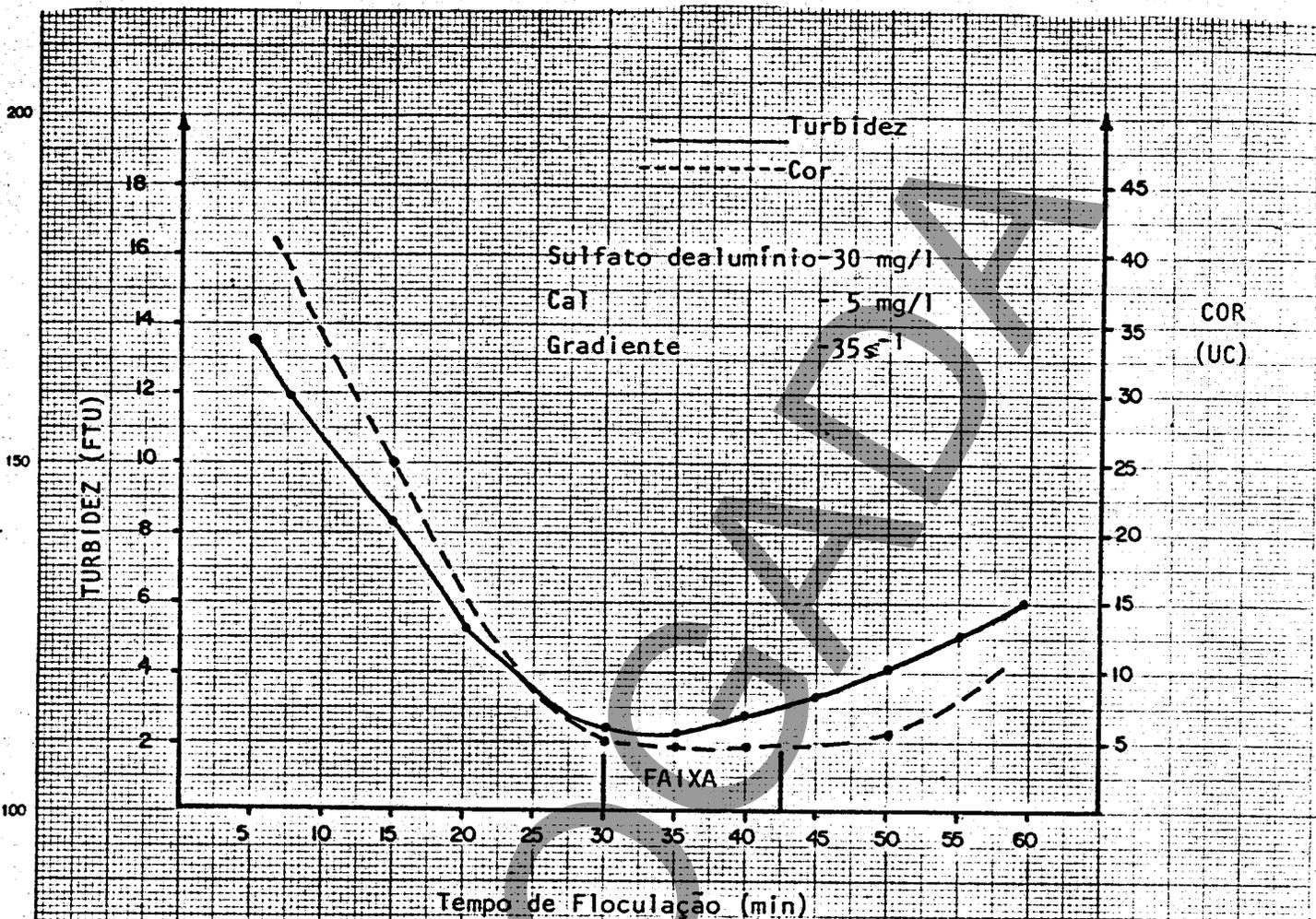


FIGURA 7 - Exemplo de representação gráfica da determinação da melhor faixa para tempo de floculação.

TABELA 1 - Dados para o gráfico da Figura 7

FRASCO Nº	TEMPO (min)	TURBIDEZ (FTU)	COR (UC)
1	5	13,6	40
2	10	11,8	40
3	15	8,5	25
4	20	5,2	10
5	25	3,3	5
6	30	2,4	5
7	35	2,3	5
8	40	2,9	5
9	45	3,1	5
10	50	4,2	10
11	55	4,8	10
12	60	6,0	10

Rorenham 8942-1 8942-2
 marrom azul
 81000 - São Paulo, S. P.

ANEXO E

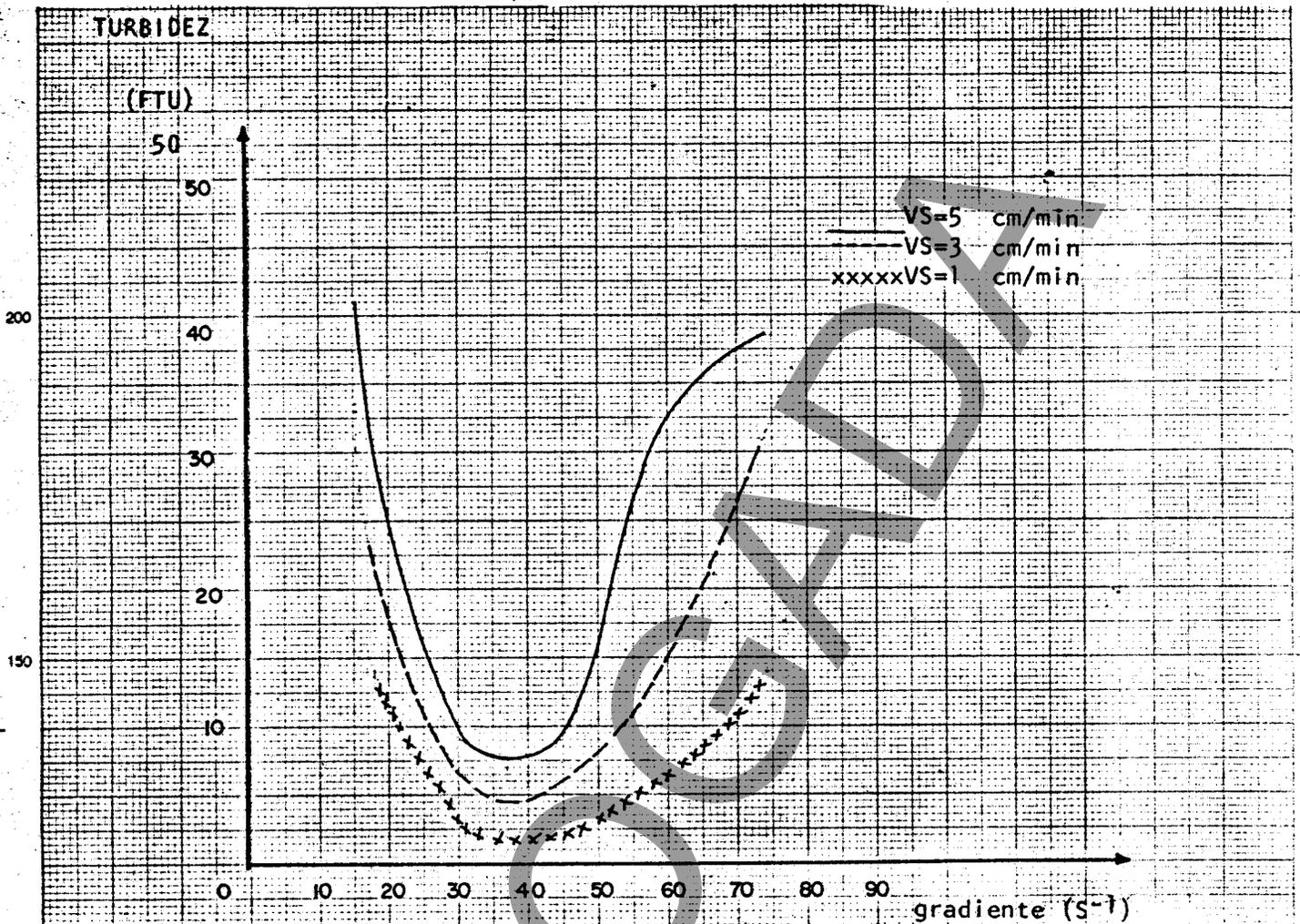


FIGURA 8 - Exemplo de representação gráfica da determinação do gradiente ótimo de floculação em função da remoção de turbidez e da velocidade de sedimentação.

TABELA 2 - Dados do gráfico da FIGURA 8	GRADIENTE Seg ⁻¹	TURBIDEZ (FTU)		
		VS=5	VS=3	VS=1
	15	44,0	36,0	18,0
	30	8,0	6,0	3,0
	45	10,0	6,5	2,5
	60	35,0	15,0	5,2
	75	40,0	35,0	20,0

Tempo de floculação 30 min

DOSAGENS 30 mg/l de sulfato de alumínio
8 mg/l de cal

ANEXO F - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

F-1 RUEY J. LAI, H.E. HUDSON JR., J.E. SINGLEY - "Velocity Gradient Calibration of Jar Test Equipment" - Journal AWWA, Vol. 67, nº 10, out. 1975.

F-2 R.J. TEKIPPE E R.K. HAM - "Velocity Gradient Paths in Coagulation" - Journal AWWA, fev. 1971.

F-3 ANTONIO CARLOS ROSSIN - "Teste de Jarros (Jar Test)" - Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água - Vol. 11, 1974.

F-4 THOMAS R. CAMP E GERARD F. CONKLIN - "Towards a Rational Jar Test for Coagulation" - Journal NEWWA 84:324, 1970.

F-5 AWWA - "Water Quality and Treatment" - 3ª ed., 1971.

F-6 J. DAVID GRIFFITH E ROBERT G. WILLIAMS - "Application of Jar Test Analysis at Phoenix, Ariz" - Journal AWWA, dez. 1972.