

MÉTODOS DE NEUTRALIZAÇÃO DE ÁGUAS ÁCIDAS  
PROVENIENTES DA BACIA CARBONÍFERA DE SAN  
TA CATARINA.

José Medeiros de N. Pessoa (\*)

Porto Alegre, fevereiro de 1979

(\*) Engenheiro Civil (U F C)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

MÉTODOS DE NEUTRALIZAÇÃO DE ÁGUAS ÁCIDAS  
PROVENIENTES DA BACIA CARBONÍFERA DE  
SANTA CATARINA

TRABALHO APRESENTADO COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

M E S T R E E M H I D R O L O G I A  
A P L I C A D A

Autor: JOSE MEDEIROS DE NORONHA PESSOA

Orientador: CEFERINO ALVAREZ FERNANDEZ

Examinadores:

CEFERINO ALVAREZ FERNANDEZ

AMADEU DA ROCHA FREITAS

WALDEMAR CANTERGI

Data do exame: 22/02/79

Aprovado: (

\_\_\_\_\_  
Presidente da Banca



MINISTERIO DA EDUCACAO E CULTURA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS

ATA DE DISSERTACAO

Às 08:30 horas do dia 22 de fevereiro de 1979, no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, reuniu-se a Comissão Examinadora de Dissertação do candidato ao grau de Mestre em Hidrologia Aplicada, José Medeiros de Noronha Pessoa para apreciação de seu trabalho entitulado "

MÉTODOS DE NEUTRALIZAÇÃO DE ÁGUAS ÁCIDAS PROVENIENTES DA BACIA CARBONÍFERA DE SANTA CATARINA".

Abertos os trabalhos sob a presidência de Amadeu da Rocha Freitas

e presente o candidato, foi-lhe dada a palavra para uma exposição sobre as premissas, estrutura e resultados do trabalho apresentado. A seguir foi o mesmo arguido, sucessivamente, pelos examinadores, sobre diferentes aspectos provocados pelo exame do texto e pela exposição precedente. Encerrados os trabalhos desta fase, após as respostas do candidato, reuniu-se a Comissão Examinadora, sem a presença do candidato e das demais pessoas que compareceram à fase inicial, para atribuir seu julgamento, que é transcrito a seguir:

	Examinador	Conceito
-	Prof. Ceferino Alvarez Fernandez	A
-	Prof. Amadeu da Rocha Freitas	A
-	Prof. Waldemar Cantergi	A
-		
-		
-		

Resultou dos conceitos atribuídos o juízo final APROVADO, conceito final A, (Excelente).

Observações:

O candidato terá o prazo de 60 (sessenta) dias para apresentação do trabalho final, com as correções exigidas pela Banca Examinadora,

Ato contínuo, foi lavrada a presente ATA, que eu, Ceferino Alvarez Fernandez, secretário da Comissão Examinadora, assino juntamente com a mesma Comissão.

Porto Alegre, 22 de fevereiro de 1979.

-  
-  
-  
-  
-  
-

## *Advertência*

*A fama ou a vida?  
O que mais se deseja?  
A vida ou a riqueza?  
O que vale mais?  
Os fortes apegos geram grandes sacrifícios  
O acúmulo de bens é a fonte de grandes perdas.  
Aquêles que estão contentes, não se envergonha  
Aquêles que sabem parar, estão livres do perigo  
e vivem longamente.*

*Lao Tsé (570 a.C)*

*À minha família*



## AGRADECIMENTOS

Desejamos, ao concluir este trabalho, expressar nossos agradecimentos às entidades e às pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram para nossa formação em Hidrologia A plicada e para a realização desta dissertação.

Ao Professor Ceferino Alvarez Fernández, Dr, perito da UNESCO, que na qualidade de orientador nos apoiou e incenti vou, em inúmeras ocasiões, até o fim deste trabalho.

Ao Professor Amadeu da Rocha Freitas, Dr, por seu espí rito de solidariedade humana concedidas nos momentos mais di fíceis do curso e também por suas valiosas contribuições no tocante aos desenvolvimentos químicos presentes neste traba lho.

Ao Professor Rolf Deininger, Dr, consultor da UNESCO, por seu interesse, dedicação e incentivo na orientação geral desta dissertação.

Ao Professor Erny Stein, Eng<sup>o</sup>. civil e químico e ao quí mico Julio Zeitter, pelas suas contribuições prestadas no de correr dos ensaios de laboratório.

Ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, pela o portunidade de realização deste curso.

As mineradoras de carvão e as firmas produtoras de cal cário e cal, que muito colaboraram no fornecimento de amos

tras de seus produtos, sem as quais não seria possível a realização deste trabalho.

Aos colegas de curso, professores, engenheiros, secretárias, técnicos, tradutora, bibliotecárias, desenhistas, motoristas e, de um modo geral a todos os funcionários do IPH, que de uma forma ou de outra participaram da elaboração desta dissertação.

MÉTODOS DE NEUTRALIZAÇÃO DE ÁGUAS ÁCIDAS  
PROVENIENTES DA BACIA CARBONÍFERA DE  
SANTA CATARINA

Autor: José Medeiros de Noronha Pessoa  
Orientador: Ceferino Alvarez Fernandez

S I N O P S E

A poluição dos cursos d'água causada pela drenagem dos efluentes das minas de carvão em regiões carboníferas, podem ser um problema crítico quando esses rios não têm capacidade para diluir esses efluentes, em geral ácidos.

Este estudo visa caracterizar este tipo de efluente, seus efeitos no meio ambiente e alguns processos de tratamentos que podem ser aplicados para diminuir o nível de poluição.

A metodologia consistiu na utilização e avaliação dos processos de neutralização, troca iônica e osmose reversível para o tratamento dos referidos efluentes.

A Bacia Carbonífera de Santa Catarina contribuiu com um volume poluente significativo para a deteriorização dos recursos naturais desta região. Com dados desta região foi aplicado o processo neutralização, utilizando-se amostras de águas ácidas de algumas minas e os reagentes mais frequentes ali encontrados. Uma análise econômica dos métodos dos ensaiados foi desenvolvida com o objetivo de obter alternativas viáveis para o tratamento.

Concluiu-se, com base nos reagentes utilizados, calcário e cal, que o método que usa a cal se apresenta mais exequível em relação ao calcário, através do tratamento por neutralização do efluente ácido das minas de carvão de Santa Catarina.

(\*) Tese para obtenção do grau de Mestre em Hidrologia Aplicada, (área de concentração - Saneamento), Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, fevereiro de 1979.

METHODS OF NEUTRALIZATION OF ACIDIC  
WATER THE CARBONIFEROUS BASIN OF  
SANTA CATARINA

Author: José Medeiros de Noronha Pessoa

Advisor: Prof. Ceferino Alvarez Fernandez

A B S T R A C T

The pollution of water courses caused by the drainage of coal mine effluent in carboniferous regions can be a critical problem when these rivers do not have capacity to dilute the effluents which are in general acidic.

This study has the objecture to characterize the ty pes of effluent, their effects on the enviroment and some treatmet processes that can be applied to reduce the level of pollution.

The method consisted of utilization and avaluation of processes of neutralization, ion exchange and reversible os mosis for treatment of the above effluents.

The carboniferous basin of Santa Catarina contribu - ted a singnificant pollutent volume causing deterioration of the natural resources in the region. The neutralization pro cess was applied, with data from the region, utilizing sam ples of acid water from some mines and reagents most fre - quantly encountered localy . An economic analysis of the methods utilized was developed with the objective of obtain - ing viable alternatives for treatment.

It was concluded that, on the basis of the reagents used, lime and limestone, the method that used lime is more feasible, in relation to that using limestone for treatment by neutralization of the acid mine effluents fo Santa Catari - na.

(\*) Thesis for a Master Degree in Appçied Hydrology (Speciali ty - Sanitary Engineering), Institute of Hidraulic Rese - arch of the Federal University of Rio Grande do Sul, Por - to Alegre, Februry , 1979.

## SUMÁRIO

	Página
1. Introdução.....	1
2. Objetivo e metodologia da pesquisa .....	4
3. Pesquisa bibliográfica.....	6
3.1. Características físicas e químicas do carvão...	6
3.2. Qualidade das águas drenadas das minas de carvão.....	8
3.3. Análise dos parâmetros mais significativos.....	12
3.3.1. Propriedades físicas e Químicas.....	13
3.3.1.1. Acidez, alcalinidade e pH.....	13
3.3.1.2. Sólidos suspensos totais.....	16
3.3.1.3. Ferro .....	17
3.3.1.4. Manganês.....	18
3.3.1.5. Sulfatos.....	19
3.3.1.6. Amônia .....	21
3.3.1.7. Fluoretos.....	22
3.3.1.8. Alumínio.....	23
3.4. Principais processos de tratamento para águas ácidas.....	24
3.4.1. Tratamento por neutralização.....	25
3.4.1.1. Neutralização com hidróxido de cálcio (cal hidratada).....	27
3.4.1.2. Neutralização com carbonato de cálcio (calcário).....	29
3.4.1.3. Neutralização combinada - calcário e cal.....	33
3.4.1.4. Neutralização com hidróxido de sódio (soda cáustica).....	36
3.4.1.5. Neutralização com carbonato de sódio .....	38
3.4.1.6. Neutralização com reagente dolomítico.....	39
3.4.2. Tratamento por troca iônica.....	39
3.4.3. Tratamento por osmose reversível.....	41
4. Ensaio no laboratório.....	44
4.1. Parâmetros empregados.....	44
4.2. Campo de amostragem.....	48
4.2.1. Coleta de amostras d'água.....	49
4.2.2. Coleta de amostra de calcário e cal.....	51
4.3. Valores iniciais dos parâmetros empregados.....	55
4.3.1. Indicadores da qualidade da água.....	55
4.3.2. Indicadores da qualidade dos reagentes..	58
4.4. Descrição dos ensaios.....	59

	Página
4.5. Equipamentos empregados.....	63
4.5.1. Agitador.....	63
4.5.2. Medição dos parâmetros.....	67
4.6. Resultados obtidos nos ensaios.....	69
5. Análises dos resultados obtidos nos ensaios.....	76
5.1. Experiências com calcário.....	76
5.2. Experiências com cal.....	90
5.3. Influência do grau de turbulência mantido na massa líquida sobre as reações de neutralização	99
5.4. Análise do lodo produzido nas reações.....	106
5.4.1. Velocidade de sedimentação.....	106
5.4.2. Volume produzido.....	113
5.4.3. Concentração em peso (g/l).....	119
6. Conclusões dos ensaios com neutralização.....	123
6.1. Neutralização com calcário.....	123
6.2. Neutralização com cal.....	127
7. Anteprojeto da unidade de tratamento por neutraliza ção.....	131
7.1. Introdução.....	131
7.2. Formulação teórica das etapas do processo.....	132
7.2.1. Misturador.....	132
7.2.2. Sedimentador.....	133
7.3. Dimensionamento da unidade de tratamento.....	145
7.3.1. Neutralização com calcário.....	145
7.3.2. Neutralização com cal.....	158
7.4. Custos de implantação e gasto anual de cada eta pa do processo.....	164
7.4.1. Custo de implantação para a neutraliza ção <del>de</del> calcário.....	165
7.4.2. Custo de implantação para a neutraliza ção com cal.....	170
7.4.3. Custo anual da unidade de tratamento com reagente calcário.....	175
7.4.4. Custo anual da unidade de tratamento com reagente cal.....	178
8. Conclusões do estudo técnico-econômico.....	182
9. Recomendações .....	184
10. Bibliografia.....	186
11. Anexos.	

## RELAÇÃO DAS TABELAS

	Página
1. Variação de alguns parâmetros quando afetados por águas ácidas.....	10
2. Valores de alguns parâmetros medidos em rios pertencentes a bacia carbonífera de Santa Catarina.....	11
3. Valores iniciais dos indicadores da qualidade da água.....	57
4. Valores dos indicadores da qualidade dos reagentes.	58
5. Resultados da neutralização da água de mina de Lauro Müller com calcários Tomio e Cimenvale.....	71
6. Resultados da neutralização da água do pré-lavador da mina de Urussanga com calcários Tomio e Cimenvale..	72
7. Resultados da neutralização da água da mina de Urussanga com calcários Tomio e Cimenvale.....	73
8. Resultados da neutralização da água da mina de Siderópolis com calcários Tomio e Cimenvale.....	74
9. Resultados da neutralização com cal.....	75
10. Dados do comportamento do lodo - ensaios com água da mina de Lauro Müller .....	107
11. Dados do comportamento do lodo - ensaios com água do pré-lavador da mina de Urussanga.....	108
12. Dados do comportamento do lodo - ensaios com água da mina de Urussanga .....	109
13. Dados do comportamento do lodo - ensaios com água da mina de Siderópolis.....	110
14. Valores do coeficiente de atrito.....	137
15. Valores do tempo de detenção e agitação.....	143
16. Custo total de implantação da unidade de tratamento por neutralização.....	174
17. Custos das etapas do processo e reagente consumido/ano..	181

## RELAÇÃO DOS GRÁFICOS

	Página
1. Distribuição da granulometria do calcário Tomio....	60
2. Variação do pH com o tempo de agitação - ensaios com água da mina de Lauro Müller (reações com calcário)	78
3. Variação do pH com o tempo de agitação - ensaios com água do pré-lavador de Urussanga (reações com calcário).....	82
4. Variação do pH com o tempo de agitação - ensaios com água da mina de Urussanga (reações com calcário)...	87
5. Variação do pH com o tempo de agitação - ensaios com água da mina de Siderópolis (reações com calcário).	91
6. Variação do pH com o tempo de agitação - ensaios com água do pré-lavador de Urussanga (reações com calcário).....	102
7. Variação do pH com o tempo de agitação - ensaios com água do pré-lavador de Urussanga (reações com calcário)...	103
8. Variação do pH com o tempo de agitação - ensaios com água da mina de Lauro Müller (reações com cal).....	93
9. Variação do pH com o tempo de agitação - ensaios com água do pré-lavador de Urussanga (reações com cal).	95
10. Variação do pH com o tempo de agitação - ensaios com água da mina de Urussanga (reações com cal).....	97
11. Variação do pH com o tempo de agitação - ensaios com água da mina de Siderópolis (reações com cal).....	100
12. Curvas de sedimentação do lodo - ensaios com água do pré-lavador de Urussanga.....	112
13. Curvas de sedimentação do lodo - ensaios com água da mina de Lauro Müller.....	114



## RELAÇÃO DAS FIGURAS

	Página
1. Tratamento do com hidróxido de cálcio (cal).....	30
2. Tratamento com calcário .....	34
3. Tratamento combinado - calcário e hidróxido de cálcio (cal) .....	35
4. Tratamento com hidróxido de sódio.....	37
5. Tratamento por troca iônica .....	42
6. Localização das minas de carvão .....	52
7. Localização das jazidas produtoras de calcário e cal	56
8. Esquema do tanque de mistura e detalhe da turbina <u>im</u> pulsora .....	147
9. Esquema da bacia de sedimentação.....	156

## 1. INTRODUÇÃO

A atual crise de energia, provocada pela perspectiva de escassez do petróleo, como também a necessidade de um suprimento garantido de carvão metalúrgico (destinado a fabricação do coque) para o plano de expansão do ferro, motivaram uma importante renovação na indústria do carvão no Brasil. De modo que a intensificação da exploração de suas reservas, relativamente abundantes, vem se tornando um processo irreversível para o desenvolvimento do país.

Devido a esses efeitos combinados, a crise do petróleo e o programa de expansão da siderurgia provocaram, em 1974, a elevação do consumo do carvão produzido pelas indústrias brasileiras, causando, de imediato, a diminuição da produção do ferro pela siderurgia. De modo que, para o quinquênio 77/81, a capacidade das usinas instaladas no Brasil devem aumentar de 7.5 milhões de toneladas métricas, produzidas em 1974, para 22 milhões (ALVAREZ, F.C. et alii. 1978.p.24).

A bacia carbonífera de Santa Catarina é a única, no Brasil, que produz carvão metalúrgico. Ela será logicamente compelida a expandir, em cerca de 4 vezes, sua produção, a fim de atender essa demanda da siderurgia nacional. Geograficamente, ela está situada na região sudeste do Estado com comprimento de até 95 km e uma largura que varia de 15 a 20 km,

abrangendo os municípios de Grão-Pará, Órleães, Lauro Müller, Urussanga, Siderópolis, Criciúma, Içara, Nova Veneza, Maracajá e Araranguá.

Por outro lado, a industrialização de um modo geral, é na maioria dos casos, considerada como uma fonte de poluição ambiental, que se estende cada vez mais, devido, principalmente, a seus programas de expansão. Na indústria do carvão em Santa Catarina, tanto as minas a céu aberto como as subterrâneas, revelam-se como um importante foco de degradação da qualidade das águas superficiais, devido à oxidação da pirita ( $\text{FeS}_2$ ) contida no carvão e posterior lançamento, nos corpos receptores, dos poluentes formados, sem que antes, eles sejam submetidos a um processo adequado de tratamento. A destruição da vida aquática nos rios, lagos, etc. e a inutilização dessas águas para fins recreacionais e de abastecimento público, são alguns dos problemas mais comuns surgidos pela drenagem das águas de mina.

A poluição das águas em Santa Catarina constitui só uma parte de uma problemática maior que é a degradação do meio ambiente. De modo que a luta contra a poluição tem de ser considerada não como um freio ao desenvolvimento econômico, mas como uma carga suplementar imposta por uma taxa que servirá para cobrir os gastos dispendidos no combate aos efeitos negativos que surgirão. Dessa maneira, torna-se necessário, implantações de unidades de tratamento que funcionem pa

ralelamente ao processo de intensificação de exploração do carvão, para que, assim, sejam eliminados ou diminuídos esses efeitos.

## 2. OBJETIVO E METODOLOGIA DA PESQUISA

O estudo tem como objetivo principal pesquisar sobre os métodos de tratamento de águas provenientes da mineração do carvão, a fim de poder oferecer uma solução técnico-econômica aos problemas existentes na região carbonífera de Santa Catarina.

A primeira parte deste estudo se constitui de uma pesquisa bibliográfica onde se referenciam informações sobre as características físico-químicas do carvão, em particular, do carvão minerado em Santa Catarina e sobre a qualidade das águas drenadas em função dos compostos químicos envolvidos. Apresenta-se também a descrição dos indicadores mais importantes (parâmetros) da qualidade da água e a análise do impacto causado por essas águas nos corpos receptores. Finalmente, é feita uma descrição resumida dos principais processos de tratamento, aludindo-se ao rendimento e aos custos de operação de cada um, bem como os reagentes químicos usados nesses processos. Concluiu-se que, dentre os métodos mais utilizados para esse tipo de tratamento: - neutralização, troca iônica e osmose reversível - o tratamento através da neutralização é o mais empregado, principalmente, àqueles que usam calcário e cal como coadjuvante do processo.

Na segunda parte do estudo, descrevem-se as minas, tan

to as de carvão como de calcário e cal que forneceram amostras de seus produtos para realizar as experiências no laboratório. Expõe-se a metodologia do ensaio e faz-se a descrição dos equipamentos empregados. Os resultados obtidos são apresentados em Tabelas e em seguida as conclusões alcançadas.

Finalmente, na última parte, apresenta-se uma análise econômica do processo testado. Para isso, com base nos resultados obtidos nos experimentos, projetou-se uma unidade de tratamento por neutralização, para tratar as águas drenadas da mina de poço de Lauro Müller.

### 3. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Características físicas e químicas do carvão

O carvão é, segundo SCOTT (1975), "uma rocha sedimentar formada pela acumulação, alteração e compactação da matéria orgânica situada em um meio apropriado". A pressão dos sedimentos sobre a matéria orgânica faz com que se tenha diferentes tipos de transformações, criando diferentes qualidades de carvão. Na natureza, há os seguintes tipos de carvão, que decorrem das diferentes qualidades apresentadas por ele: lignita, sub-betuminoso e o betuminoso.

Associados ao carvão extraído estão os sulfetos, cuja fórmula geral é  $AmXn$ , onde "A", é o elemento metálico ou, algumas vezes, o arsênico, o antimônio e o bismuto; os elementos do sulfeto são:

A					X	
Ag	Fe	Pb	As	Ru*	S	As
Cu	Co	Hg	Sb	Sn	Se	Sb*
Tl*	Ni	Mn*	Bi	Mo*	Te	Bi
Au*	Zn	Ca*	Pt*	W*		

\* elementos raros.

Também associados ao carvão, estão os sais de enxofre que têm como fórmula geral  $AnBnXp$ ; os elementos mais comuns

são:

A		B		X
Cu	Pb	As	Bi	S
Ag	Sn	Sb	Sn	

Dentre os sulfetos, os mais comuns que ocorrem na natureza são os sulfetos de ferro - a pirita e a marcasita -. A pirita ( $\text{FeS}_2$ ) é o mais abundante dos sulfetos minerais conhecidos, enquanto que a marcasita está mais freqüentemente associada com o calcário e a argila.

O carvão das jazidas catarinenses e, em especial aquele da camada Barro Branco, é o único, no Brasil, a apresentar propriedades coqueificantes (CPRM. 1972), por isso, é utilizado, em grande escala, na indústria siderúrgica nacional. É classificado como sendo um carvão betuminoso.

As características físicas e químicas do carvão foram amplamente estudadas, sobretudo nas áreas de mineração (tanto nas antigas como nas de lavra atual), através de análises de laboratório. Entre outros registros deste tipo, pode-se citar o grande número de análise executada pelo DNPM no início da década de 1950, apresentadas no relatório PUTZER (1952), como também os numerosos ensaios de laboratório realizados no Lavador Capivari. De modo que o teor de cinzas formados pelos detritos inorgânicos, que se depositam junto aos restos vegetais, aumenta de leste para oeste, na percentagem mínima de 18% e máxima de até 30%. A pirita perfaz aproximada



mente 10% do carvão extraído, enquanto, o teor de enxofre varia de 2 a 4%. De 2% para o carvão metalúrgico (carvão destinado a fabricação do coque) e até 4% para o carvão destinado a produção de energia térmica (carvão vapor) (CPRM, 1972).

### 3.2. Qualidade das águas drenadas das minas de carvão

Há dois tipos de águas drenadas da mineração que devem ser encaradas separadamente, pois são diferentes suas contribuições para a poluição dos recursos hídricos:

- 1) das águas drenadas da lavagem do carvão
- 2) das águas drenadas diretamente da mina.

No primeiro tipo, após o carvão ser minerado, ele é transportado até os trituradores onde sua quebra é processada. Em seguida as impurezas são removidas pela lavagem. Durante essa operação de limpeza, o carvão fino fica em suspensão na água, ocorrendo, aí, um aumento considerável de sólidos e, conseqüentemente, um aumento no valor da turbidez das águas dos rios onde ocorrem as drenagens.

Nas águas drenadas diretamente das minas, somente ocorre a oxidação, através do ar, água e bactérias oxidantes do dissulfeto de ferro (pirita), resultando na formação de sulfato ferroso e ácido sulfúrico, conforme a equações que seguem

(NEMEROW, N.L. 1971):



mento, transformando-o em sulfato, que é, eventualmente convertido em ácido sulfúrico. Portanto, a formação de águas ácidas, nas minas de carvão, é devida a reações químicas e biológicas.

Desse modo, as características químicas e físicas dos cursos d'água receptores são substancialmente alterados. Quimicamente, pela adição de ferro, sulfatos, acidez e dureza, podendo também conter alumínio, manganês e outros metais pesados. Fisicamente, pela adição de sólidos em suspensão, tais como, argila, silte e sedimentos (finos do carvão).

Os dados apresentados na Tabela 1 dão uma indicação geral da variação dos parâmetros mais significativos, quando afetados por essas águas de mina (NEMEROW, N. L. 1971).

Tabela 1. Variação de alguns parâmetros quando afetados por águas ácidas.

Sólidos totais	5000 - 7000 mg/l
Acidez	0 - 50000 mg/l de $\text{CaCO}_3$
$\text{SO}_4$	100 - 50000 mg/l
Ferro	0 - 13000 mg/l
Cálcio	10 - 800 mg/l
Magnésio	0 - 50 mg/l
pH	1.2 - 7.2

A Tabela 2 apresenta resultados de análises efetuados pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), no período de

Tabela 2. Valores de alguns parâmetros medidos em rios pertencentes a bacia carbonífera de Santa Catarina.

LOCAL	Data da Coleta	pH	Acidez mg/l CaCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Sólidos totais mg/l	Condut. elétrica µmho x cm
MARACAJÁ	23/11/77	2,90	351,0	240,0	17,50	6,4	46,0	10,88	1,8	599,0	976,60
SÃO JORGE	23/11/77	2,54	1405,0	640,0	39,50	125,0	0,0	0,0	5,8	2332,50	2449,0
SÃO ROQUE	24/11/77	2,52	849,0	780,0	40,0	75,0	0,0	0,0	7,5	1992,0	2235,0
RIO MAINA	24/11/77	2,39	1722,0	580,0	31,0	150,0	56,0	26,54	3,7	3550,0	2528,0
ESPLANADA	01/12/77	2,76	361,0	240,0	11,0	7,0	32,0	6,48	1,5	725,0	1027,0
MORRO DA FUMAÇA	01/12/77	2,93	429,0	240,0	429,0	5,0	56,0	8,32	3,20	2040,0	987,50
BAIRRO DE VILA	25/11/77	2,61	698,0	440,0	20,0	23,0	26,0	2,33	3,90	1483,0	1477,30
RIO DO CARVÃO DE BAIXO	30/11/77	2,38	402,0	720,0	25,0	260,0	0,0	0,0	9,6	9166,50	2962,50
URUSSANGA	20/01/78	2,7	525,0	440	-	225,0	-	-	-	-	757,4
MÃE LUZIA	16/01/78	3,3	128,6	140	-	0,7	-	-	-	-	252,0
ARARANGUÁ	11/01/78	4,1	61,9	11,6	-	0,15	-	-	-	-	728,0
MINA SIDERÓPOLIS	13/01/78	3,2	703,5	650,0	-	130,0	-	-	-	-	822,0

Fonte: (ALVAREZ, F.C. et alii. 1978)

novembro de 1977 a janeiro de 1978, em águas superficiais da bacia carbonífera do estado de Santa Catarina. Nota-se que esses resultados encaixam dentro dos limites apresentados na Tabela 1.

### 3.3. Análise dos parâmetros mais significativos

A grande quantidade de parâmetros advindos da mineração, que através de seus poluentes respectivos podem alterar a qualidade dos cursos d'água, permite com suas determinações, ter-se uma orientação básica para se avaliar o grau de contaminação existente. Mas a determinação de todos eles, não é sempre possível, em particular, pelo alto custo das análises químicas. É, portanto, necessário seguir determinados critérios que permitam a seleção dos parâmetros mais significativos, no que tange a uma análise mais apurada dos efluentes de mina.

Apresenta-se a seguir uma seleção de parâmetros baseados nos seguintes critérios:

1) Os constituintes encontram-se com frequência, nas minas de carvão, em concentrações tais que afetam os organismos aquáticos;

2) Existe tecnologia para reduzir esses constituintes;

3) A proporção dos dados desses constituintes indicam concentrações que podem afetar o ecossistema aquático.

Os principais parâmetros são os seguintes:

Acidez, Alcalinidade e pH	Alumínio
Ferro	Níquel
Manganês	Zinco
Sulfatos	Sólidos totais
Amoníaco	Turbidez
Estrôncio	Fluoretos

### 3.3.1. Propriedades físicas e químicas

#### 3.3.1.1. Acidez, alcalinidade e pH

Originalmente a distinção entre um ácido e uma base era feita através de seus sabores, posteriormente, distinguiam-se pela maneira como eles afetavam determinados materiais que passaram a ser chamados indicadores. Somente em 1887, ARRHENIUS enunciou a teoria da ionização que veio a solucionar esse problema. Assim, os ácidos são considerados as substâncias que, dissociadas, produzem ions hidrogênio  $|H^+|$  e as bases são aquelas que, dissociadas, produzem ions hidroxila  $|OH^-|$  (SAWYER, C. N. 1967).

A concentração dos ions de hidrogênio se acha intimamente relacionada com a quantidade em que se dissociam as moléculas de água. A água pura se dissocia em ions hidrogênio e hidroxilas do seguinte modo (METCALF-EDDY, 1977).



Aplicando as leis da ação de massas, esta equação passa para

$$\frac{|H^+| |OH^-|}{H_2O} = k$$

onde os colchetes indicam a concentração dos constituintes em moles/litro.

Como a concentração da água em um sistema aquoso é essencialmente constante, esta concentração pode incorporar-se à constante de equilíbrio  $k$ , para dar:

$$|H^+| |OH^-| = K_w,$$

onde  $K_w$  é conhecida como constante de ionização. O produto iônico da água pura é aproximadamente igual a  $1 \times 10^{-14}$  a uma temperatura de  $25^\circ C$  e, quando dissociada a concentração de ions hidrogênio é igual a  $10^{-7}$  moles/l. SORENSON, em 1909, propôs expressar esse valor em função do logarítimo decimal com o sinal negativo e designar esse valor por pH, assim estabelecido:

$$pH = - \log_{10} |H^+| \text{ ou } pH = \log_{10} \frac{1}{|H^+|}$$

Portanto, o valor do pH expressa a condição alcalina ou ácida de uma solução.

Embora o pH não seja especificamente um poluente, ele está relacionado diretamente com a acidez e alcalinidade da seguinte forma:

- pH abaixo de 7 indica que a solução é ácida;

- pH acima de 7 a solução é alcalina.

A acidez, por outro lado, é definida como sendo a capacidade quantitativa da água em neutralizar íons hidroxila. É geralmente expressa em equivalentes de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) dos íons hidroxila neutralizados.

Não se deve, entretanto, confundir acidez com pH; acidez é a quantidade de íons de hidrogênio que podem ser liberados para neutralizarem íons de hidroxila; pH é uma medida dos íons de hidrogênios livres numa solução, no instante em que é feita a medição.

Águas com concentração elevada de acidez são altamente corrosivas a metais, concreto e provocam a morte de organismos vivos.

A alcalinidade é definida como sendo a medida da capacidade de uma solução em neutralizar íons de hidrogênio. Também é expressa em equivalentes de carbonato de cálcio dos íons de hidrogênio neutralizados. A alcalinidade nas águas naturais se deve à presença de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos de elementos como cálcio, magnésio, sódio, potássio e amoníaco. Destes, os mais frequentes são os bicarbonatos de magnésio e cálcio. A alcalinidade é muito importante em águas de abastecimento público, porque concentrações elevadas ( $\text{pH} > 9$ ) podem tornar as águas corrosivas prejudicando as instalações e produzindo nelas, um sabor desagradável.



### 3.3.1.2. Sólidos suspensos totais

SAWYER (1967) considera os sólidos como sendo toda matéria que, contida num meio líquido, permanece sob a forma de resíduos, após a evaporação completa do líquido, a uma temperatura de aproximadamente 105°C.

Sólidos suspensos incluem tanto materiais orgânicos como inorgânicos que possuam a capacidade de se sedimentarem sob ação da gravidade.

A fração inorgânica abrange as areias, argilas e sedimentos que, no caso das águas usadas na lavagem do carvão, são os finos do próprio carvão que permanecem em suspensão. A fração orgânica, que não é o caso das águas de mina, inclui materiais tais como graxas, óleos e produtos animais e vegetais. Os depósitos desses sólidos formados no fundo dos rios ou lagos são comumente chamados de lodo.

Quando a velocidade da corrente do curso d'água for elevada em relação ao peso específico dos sólidos suspensos contidos na água, grande parte desses sólidos, não se sedimentam, permanecendo em suspensão. Quando isso acontece, a turbidez na água aumenta consideravelmente, impedindo assim a penetração da luz, o que dificulta a atividade fotossintética das plantas aquáticas.

A determinação dos sólidos em suspensão é extremamente valiosa para análises de águas poluídas, quando se deseja

avaliar o grau de poluição dessas águas e medir a eficiência da unidade de tratamento.

Sólidos dissolvidos são aqueles que não possuem a característica de sedimentarem sob a ação da gravidade, estando normalmente sob a forma de colóides.

### 3.3.1.3. Ferro

O ferro é um metal abundante encontrado na crosta terrestre na forma de minérios, sendo os mais freqüentes (SCOTT, R. L. 1975).

- Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ );
- Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ );
- Geotita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ );
- Siderita ( $\text{FeCO}_3$ ).

O ferro, na sua forma pura, não é usado com freqüência para fins comerciais, estando geralmente ligado com outros metais, comumente o carbono sob a forma de sulfetos.

Nas águas provenientes da mineração do carvão, pode-se constatar a presença de ferro sob duas formas diferentes:

- 1) sob a forma ferrosa ( $\text{Fe}^{+2}$ ) que ao se oxidar, transforma-se na
- 2) forma férrica ( $\text{Fe}^{+3}$ ).

Para valores de pH abaixo de 4.5, a precipitação da forma ferrosa se dá muito lentamente e ocorre na condição de hi

dróxido ferroso, que produz na água uma coloração verde-azulada. Já a forma férrica, para estes níveis de pH, precipita-se mais rapidamente e ocorre sob a forma de hidróxido férrico, que produz, na água, uma coloração amarelada.

Concentrações elevadas destes íons (férrico e ferrosa) na água, podem provocar o extermínio da vida aquática e estimular o crescimento de bactérias oxidantes, as quais formam um visco que afeta o fluxo em condutos.

Ferro total é uma denominação dada à concentração dos íons férricos e ferrosos medidos conjuntamente.

Os padrões de águas potáveis no Brasil (ABNT-PB-19) toleram o teor de ferro total até níveis de 0,3 mg/l.

#### 3.3.1.4. Manganês

O manganês não é encontrado puro na natureza, mas seus minérios são muitos comuns. Dentre eles, os mais frequentes são os seguintes: óxidos, hidróxidos, carbonatos, silicatos, cloretos, nitratos e sulfatos. Os cloretos, nitratos e sulfatos são altamente solúveis na água, enquanto os outros são poucos solúveis.

Como o ferro, o manganês, ocorre na forma bivalente e trivalente. Os íons mangânicos ou manganosos raramente estão presentes em águas naturais de superfície, em concentrações acima de 1,0 mg/l (SAWYER, C. N. 1967). No entanto, em

águas subterrâneas, sujeitas a condições de redução através de percolações no solo, podem ocorrer em concentrações mais elevadas.

Para fins de abastecimento público são indesejáveis águas que contenham concentrações de manganês acima de 0,5 mg/l (ABNT-PB-19), principalmente, pelo surgimento de sabores de sagradáveis, descoloração e manchas nas roupas. Além disso elas ocasionam o crescimento de alguns microorganismos em reservatórios, filtros e sistemas de distribuição, acarretando a obstrução destes equipamentos. Em relação ao ser humano somente em concentrações muito alta (acima de 5 mg/l), é que se tornam perigosas.

No rio Carvão, que pertence à bacia carbonífera de Santa Catarina, encontraram-se concentrações de até 9,6 mg/l (vide Tabela 2).

#### 3.3.1.5. Sulfatos

Os sulfatos provenientes das águas ácidas das minas de carvão são formados, pela oxidação da pirita, conforme equação (HILL, R.D. 1974):



o sulfato ferroso formado pode ser ainda oxidado e formar sul

fato fêrrico:



o íon fêrrico quando hidrolizado libera íons de hidrogênio que produzem acidez e forma o hidróxido de ferro:



Nota-se, através dessas equações, que a quantidade de sulfato está ligada estequiometricamente à acidez. Essa relação, entretanto, não é linear apesar do sulfato e o ferro originarem-se de uma mesma fonte. A acidez gerada é uma função do estado de oxidação da pirita.

Concentrações de sulfatos acima de 250 mg/l (ABNT-PB-19), em águas de suprimento doméstico, produzem efeitos purgativos no ser humano e são indiretamente responsáveis por dois sérios problemas, em estações de tratamento de esgotos domésticos:

- 1) o surgimento de odores desagradáveis;
- 2) corrosão nas tubulações.

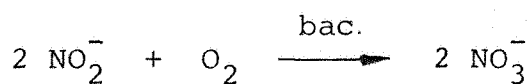
Os rios Sangão, Maina e Fluorita pertencentes à região carbonífera de Santa Catarina, se destacam pelos seus altos valores de sulfatos, chegando-se até a 580 mg/l, no Rio Maina (Vide Tabela 2).

3.3.1.6. Amônia (NH<sub>3</sub>)

Sendo a amônia um dos componentes do ciclo do nitrogênio, apresenta grande interesse na engenharia sanitária, devido à importância do nitrogênio nos processos de vida das plantas e animais. Ocorre em águas subterrâneas e superficiais, como resultado da decomposição da matéria orgânica nitrogenada.

A amônia em presença de oxigênio dissolvido é convertida em nitritos pelas bactérias nitrificadoras (grupo nitrosomonas) (SAWYER, C. L. 1967):

$$2 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \xrightarrow{\text{bac.}} 2 \text{NO}_2^- + 2 \text{H}^+ + 2 \text{H}_2\text{O}$$
 e em nitratos pelas bactérias do grupo nitrobactéria:



Até meados de 1945, não se atribuía grande significação sanitária aos nitratos em si, no tocante às águas potáveis. Naquele ano, verificou-se, em IOWA (U.S.A), que o uso de águas ricas em nitratos provocavam cianose, ou seja, descoloração na pele, quando ingeridas pelo ser humano, através dos alimentos.

A presença de concentrações de amônia, em determinadas águas, serve como indicador de poluição, devido ao fato de aumentar a demanda de cloro.

### 3.3.1.7. Fluoretos

O fluoreto é o mais reagente dos não metais e nunca é encontrado livre na natureza. É um componente da fluorina, da criolita e do fluoreto de alumínio e sódio. A ocorrência destes compostos na natureza é devida aos depósitos associados às rochas ígneas, sedimentares e hidrotermais. Para efeito de produção comercial as associações com depósitos hidrotermais são os mais explorados. Pelas suas origens, os fluoretos em concentrações elevadas não constituem um componente comum das águas superficiais naturais; contudo, podem ser encontradas em concentrações perigosas em águas subterrâneas (SCOTT, R.L. 1975).

Os fluoretos podem ser usados como um composto coadjuvante na fabricação do aço, para preservarem madeiras e mucas, como desinfetantes e em inseticidas.

Em águas de abastecimento público, as concentrações de fluoretos possuem um significado sanitário muito importante, porque, em concentrações elevadas ( $> 1.5 \text{ mg/l}$ ), o fluoreto provoca, no ser humano, manchas no esmalte do dente (fluorose dental) e, em concentrações abaixo de  $0.8 \text{ mg/l}$  provoca o enfraquecimento do esmalte, o que dá margem ao surgimento de cáries. Por isso, na unidade de tratamento é necessário um controle eficaz das dosagens de fluoretos.

Os fluoretos poderão ser prejudiciais em certas indus

trias, especialmente naquelas envolvidas na produção de alimentos, bebidas e produtos farmacêuticos.

Em águas de irrigação, concentrações elevadas (até 360 mg/l) podem causar prejuízos a certos tipos de cultura; os fluoretos são tóxicos e nocivos para os peixes, quando submetidos a concentrações superiores a 1.5 mg/l. (SAWYER, C.L. 1957).

Como o carvão é uma rocha sedimentar formada pela acumulação e compactação da matéria orgânica, presume-se que, as sociados a esta, haja compostos de fluoretos, devido, principalmente, às suas fontes de ocorrência; entretanto, para o carvão extraído no estado de Santa Catarina, nenhuma análise foi efetuada nesse sentido.

#### 3.3.1.8. Alumínio

O alumínio é um metal encontrado com abundância na natureza, porém nunca é encontrado livre. A bauxita  $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$  é o seu mineral mais comum, sendo, por isto, sua principal fonte de extração. A bauxita é formada pela degradação de rochas aluminosas tais como, rochas feldspáticas e rochas argilosas, que devem obedecer a determinadas condições para que haja formação dos compostos: clima tropical, precipitação abundante, rocha mãe com alta permeabilidade e uma boa drenagem superficial e, um longo período tectônico que proporciona o tempo de degradação necessária.



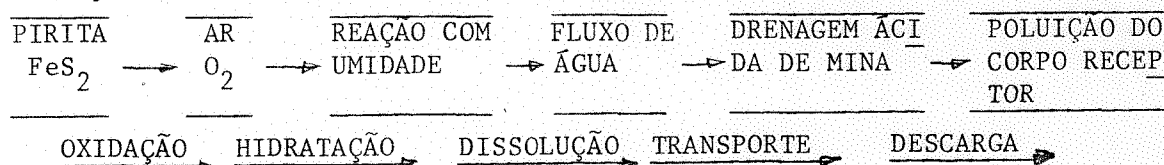
Embora o metal seja insolúvel, alguns de seus sais são facilmente solúveis, conseqüentemente, existem poucas possibilidades de que ele ocorra durante um longo período de tempo em águas de superfície, pois se precipita e se sedimenta ou é absorvido como hidróxidos e carbonatos de alumínio.

Não sendo um elemento tóxico ao homem e sendo de fácil trabalhabilidade, o alumínio tem várias aplicações práticas. Entre elas, as mais comuns são o seu uso em utensílios de cozinha e sua aplicação como coagulante no tratamento de água, sob a forma de sulfato de alumínio  $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}]$ .

### 3.4. Principais processos de tratamento para águas ácidas

Antes de qualquer aplicação de um processo de tratamento a essas águas de drenagem de minas de carvão, torna-se necessário que se tomem algumas medidas prévias, a fim de que seja diminuída a necessidade do próprio tratamento. Nesse sentido, deve ser reduzido, tanto quanto possível, o contato do material piritoso com a água e o oxigênio, a fim de que sejam diminuídas as reações de oxidação.

GURNHAM (1971) ilustrou, através de uma cadeia de seis ligações, a maneira como é formada a drenagem ácida de mina:



Assim, qualquer tratamento ou procedimento para diminuir o efeito da poluição causada pela drenagem ácida de mina, deve, necessariamente, quebrar esta cadeia em uma ou mais de suas ligações.

Existem numerosas publicações que enfocam procedimentos prévios para a diminuição da poluição.

Os principais processos de tratamento de águas ácidas compreendem os seguintes métodos:

- 1) neutralização
- 2) troca iônica
- 3) osmose reversível

Apresenta-se nos ítems subseqüentes uma descrição desses métodos.

#### 3.4.1. Tratamento por neutralização

Antes de definir o que seja, o tratamento por neutralização, examinaremos alguns conceitos químicos que facilitam sua compreensão.

Segundo PAULING (1969), íon é a caracterização de um átomo ou molécula, que não estejam eletricamente neutros. Ion positivo denota o fato de um elemento estar carregado positivamente, isto é, o número de elétrons presentes no íon é menor do que o número necessário para neutralizar a carga positiva do núcleo ou núcleos. Ion negativo, indica que o número

de elétrons presentes é maior do que o número necessário para neutralizar a carga positiva do núcleo ou núcleos. Denomina-se cátion a esses íons positivos e ânion aos negativos.

As reações de neutralização são, portanto, caracterizadas pelo retorno a esse equilíbrio iônico.

Durante a oxidação da pirita há liberação de íons de hidrogênio proporcionando um desequilíbrio iônico na solução. Este desequilíbrio se manifesta através da modificação da concentração da acidez. Esse equilíbrio somente é restaurado quando se reage essas águas com compostos que liberem íons hidroxila ou carboxila (ânions) que, teoricamente, possuem a mesma carga e são eletricamente opostos aos íons de hidrogênio. De modo que 1 íon hidroxila  $|\text{OH}^-|$  neutraliza 1 íon hidrogênio  $|\text{H}^+|$ . Assim os dois ânions, hidróxido e carbonato, constituem os reagentes fundamentais no tratamento por neutralização.

Os principais compostos capazes de liberarem estes íons - hidróxila e carboxila - são:

- carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ );
- óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ );
- hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ );
- carbonato de sódio ( $\text{NaCO}_2$ );
- hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ );
- carbonato de cálcio e magnésio ( $\text{CaCO}_3 \text{ MgCO}_3$ );
- dolomita calcinada ( $\text{CaO} \cdot \text{MgO}$ );

-dolomita hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgO}$ ).

Os processos de tratamento de águas ácidas por neutralização apresentam as seguintes vantagens (HILL, R. 1971):

- 1) elevação do pH;
- 2) remoção da acidez e adição de alcalinidade;
- 3) remoção de metais indesejáveis;
- 4) redução na concentração de ferro;

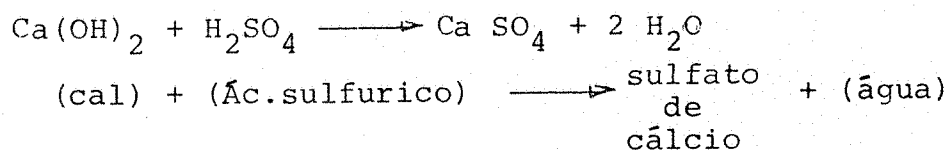
Por outro lado, tais processos apresentam as seguintes desvantagens:

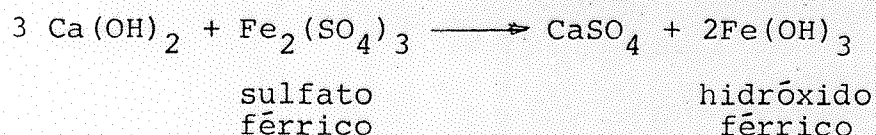
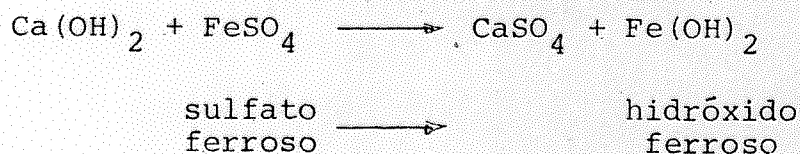
- 1) a dureza não é reduzida, podendo ser aumentada;
- 2) os sulfatos não são reduzidos;
- 3) há alta produção de lodo, em particular, quando se usa hidróxido de cálcio como reagente.

Nos itens subseqüentes, descrevem-se as maneiras mais adequadas de aplicação desse processo para fins práticos.

#### 3.4.1.1. Neutralização com hidróxido de cálcio (cal hidratada)

As reações de hidróxido de cálcio com efluentes ácidos de minas são as seguintes (WILMOTH, R. C. s.d)





A cal é um reagente versátil, devido ao seu alto poder reativo; rapidamente o pH é elevado a níveis superiores a 8.0, conforme dosagem empregada.

Atualmente a neutralização por cal é um método comumente aceito nos Estados Unidos, porém, segundo ainda WILMOTH, o processo apresenta algumas desvantagens:

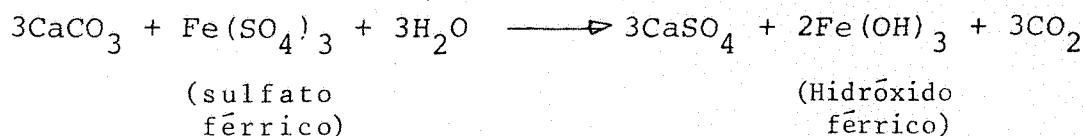
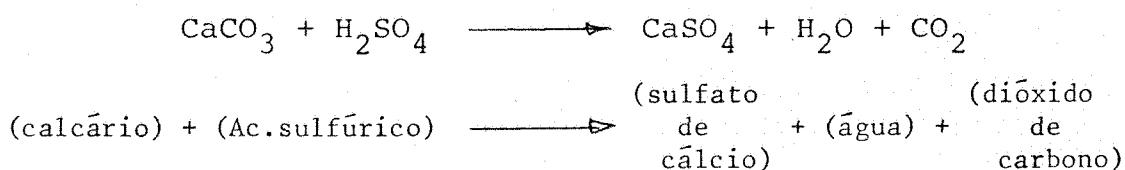
- 1) custos elevados da cal pelo fato de ser um produto refinado;
- 2) produção de lodo de baixa densidade e alto volume;
- 3) perda de materiais durante a operação, caso não haja um controle rigoroso, devido a natureza altamente reagente da cal.

A Figura 1 esquematiza, em linhas gerais, o procedimento no processo de neutralização por cal. O efluente ácido é descarregado diretamente em uma câmara de mistura rápida ou em um lago de retenção. A cal alimenta diretamente a câmara de mistura rápida, sob a forma de pasta ou material seco. Se a concentração de ferro ferrosa é baixa ( $\leq 50$  mg/l) o efluente

flui diretamente para a câmara de sedimentação. Se a concentração é elevada, o efluente passa para um tanque de aeração, no qual o sulfato ferroso é convertido em sulfato férrico, para depois dirigir-se à câmara de sedimentação.

#### 3.4.1.2. Neutralização com carbonato de cálcio (calcário).

Segundo WILMOTH (s.d.), as reações de calcário com efluentes ácidos de minas são:



Estas reações de neutralização com calcário são governadas pela taxa de solubilidade do mesmo, a qual varia de acordo com as propriedades físicas, por exemplo, o diâmetro da pedra; quanto menor, mais solúvel e o teor de  $\text{CaCO}_3$ .

Sendo o calcário menos solúvel que a cal, não se consegue, em aplicações práticas, elevar o pH acima de 7.0.

Por isso, ele é mais utilizado em efluentes que contenham

## TRATAMENTO COM HIDROXIDO DE CALCIO .-

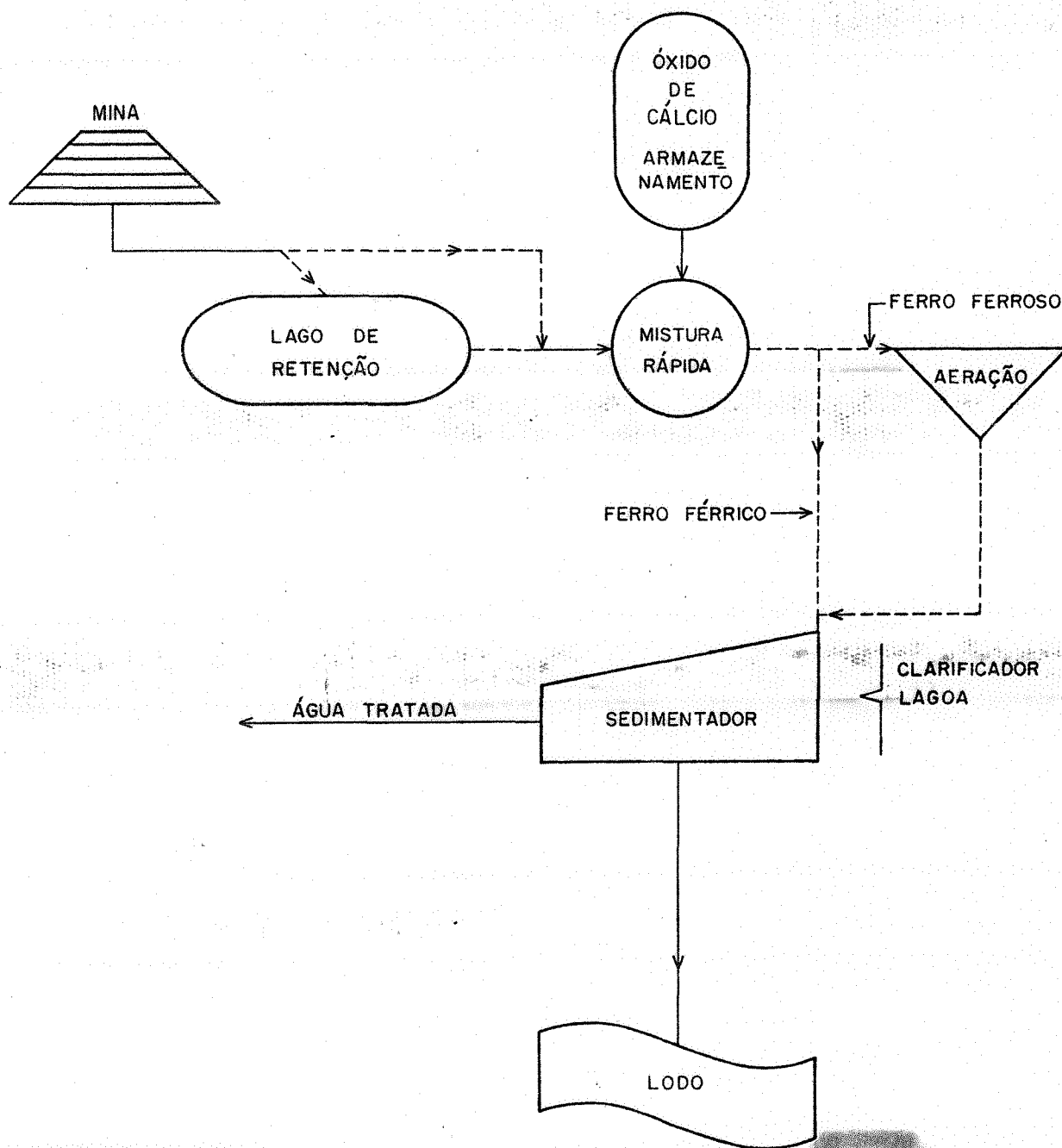


Figura 1

ferro em estado férrico devido a capacidade deste de precipitar-se em níveis de pH baixos ( $\pm 4.5$ ). Em razão desta característica de pouca salubilidade, o calcário não deve ser usado em reações de neutralização, que tenham, como objetivo secundário, a remoção do manganês, que somente se precipita a níveis de pH aproximadamente igual a 8.0 (WILMOTH, R.C.s.d).

HILL (1971) enumera as principais vantagens do uso do calcário em reações de neutralização:

- 1) produção de baixo volume de lodo;
- 2) lodos com elevados teores de sólidos suspensos;
- 3) produto de fácil armazenamento;
- 4) simplicidade no processo de aplicação;
- 5) não sendo um produto refinado, seu custo de aquisição é relativamente baixo.

Por outro lado, as desvantagens do uso de calcário seriam:

- 1) menos reativo do que outros reagentes mais solúveis;
- 2) O  $\text{CO}_2$  formado deve ser removido afim de estabilizar o pH;
- 3) por possuir uma característica argilosa, o lodo pode criar algumas dificuldades durante a operação.

Assim, dependendo da quantidade e do estado iônico do ferro no efluente, são usados vários métodos de aplicação do calcário. Apresentam-se, a seguir, alguns dos mais eficazes, segundo experiências feitas por HILL (1974) nos Estados Unidos.



### 1) Efluentes com concentração de ferro férrico

Mostram-se eficientes os processos por calcário pulverizado e o de tambores rotativos (Figura 2).

O primeiro consiste em introduzir-se calcário pulverizado, seco ou em pasta, numa câmara de mistura, durante um tempo adequado e, em seguida, transferir o efluente já neutralizado, para um tanque de sedimentação, a fim de remover-se o lodo. O segundo método consiste em colocar o calcário, na forma de grãos com diâmetros variados, num cilindro fechado e sujeito a um movimento de rotação. O efluente ácido penetra no cilindro no sentido longitudinal, onde é neutralizado. Em seguida, o fluxo é transportado para um tanque de sedimentação.

### 2) Efluentes com concentração de ferro ferroso

Se a concentração do íon ferroso for elevada, acima de 100 mg/l, o uso do calcário na neutralização não se mostra eficaz, porque, pela sua baixa solubilidade, seria necessário um tempo de aeração muito grande para oxidar o ferro ferroso e transformá-lo em férrico, elevando-se dessa forma os custos de operação. Também a grande quantidade de calcário necessário torna-o ante-econômico. Nestes casos, os processos mais viáveis são os que usam a cal como reagente neutralizador.

Para concentrações inferiores à 100 mg/l, aplicam-se os mesmos processos usados em efluentes que contenham ferro fér

rico.

### 3) Efluente com baixa concentração de ferro

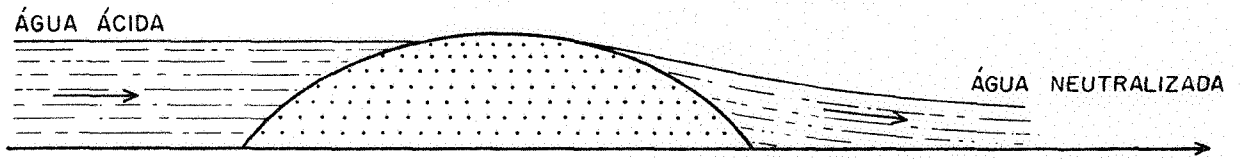
Se a concentração de ferro total for inferior a 100 mg/l, os processos que consistem na colocação do calcário no leito do curso d'água (Figura 2) a ser tratada, mostram-se eficientes e economicamente viáveis. Os outros processos, o de calcário pulverizado e o de tambores rotativos, são também aplicáveis.

#### 3.4.1.3. Neutralização combinada - calcário e cal (Figura 3)

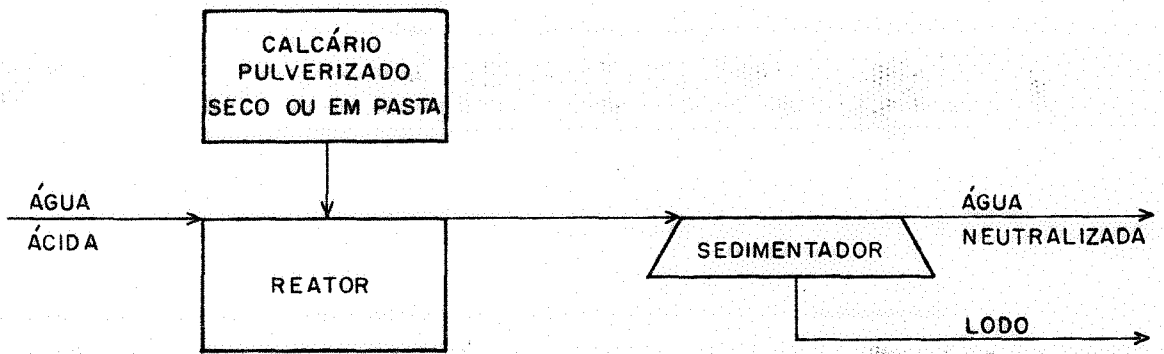
É o processo mais indicado, quando o efluente de mina contém concentração de ferro ferroso superior a 100 mg/l. Este processo apresenta consideráveis reduções nos custos em determinadas situações, se comparado ao do uso único do hidróxido de cálcio.

O processo divide-se em 3 estágios. No primeiro estágio a água ácida é neutralizada com calcário até a obtenção do pH em torno de 4.5, onde se dá a precipitação do íon férrico; no segundo, acrescenta-se cal e o pH é elevado até níveis em que possa ocorrer a precipitação do íon ferroso; no terceiro estágio, o fluxo é conduzido, a fim de que sejam removidos os sólidos em suspensão, para um tanque de sedimentação.

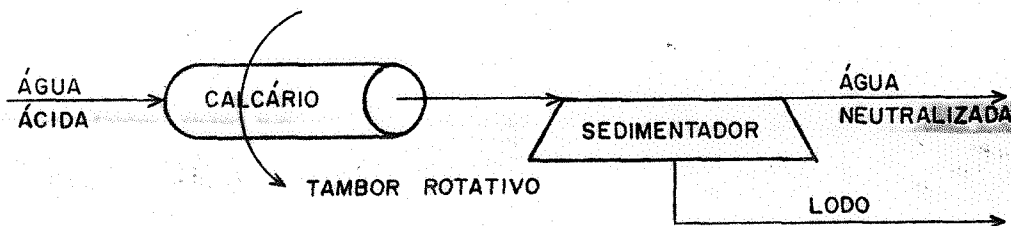
### CALCÁRIO NO LEITO DO CURSO D'ÁGUA



### CALCÁRIO PULVERIZADO



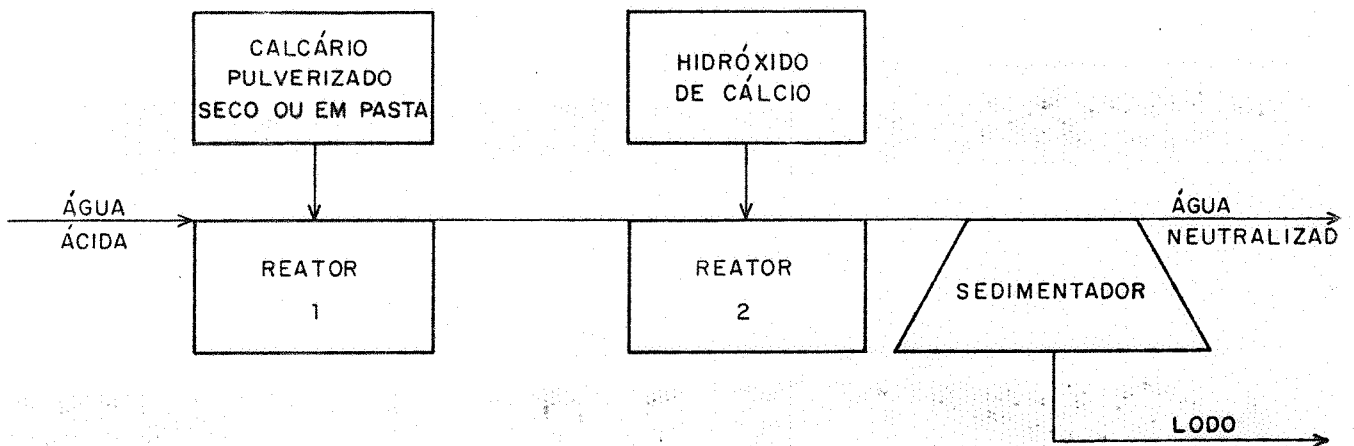
### CALCÁRIO EM TAMBOR ROTATIVO



### TRATAMENTO COM CALCÁRIO

Figura 2

## TRATAMENTO COMBINADO — CALCÁRIO E HIDRÓXIDO DE CÁLCIO



#### 3.4.1.4. Neutralização com hidróxido de sódio (soda cáustica)

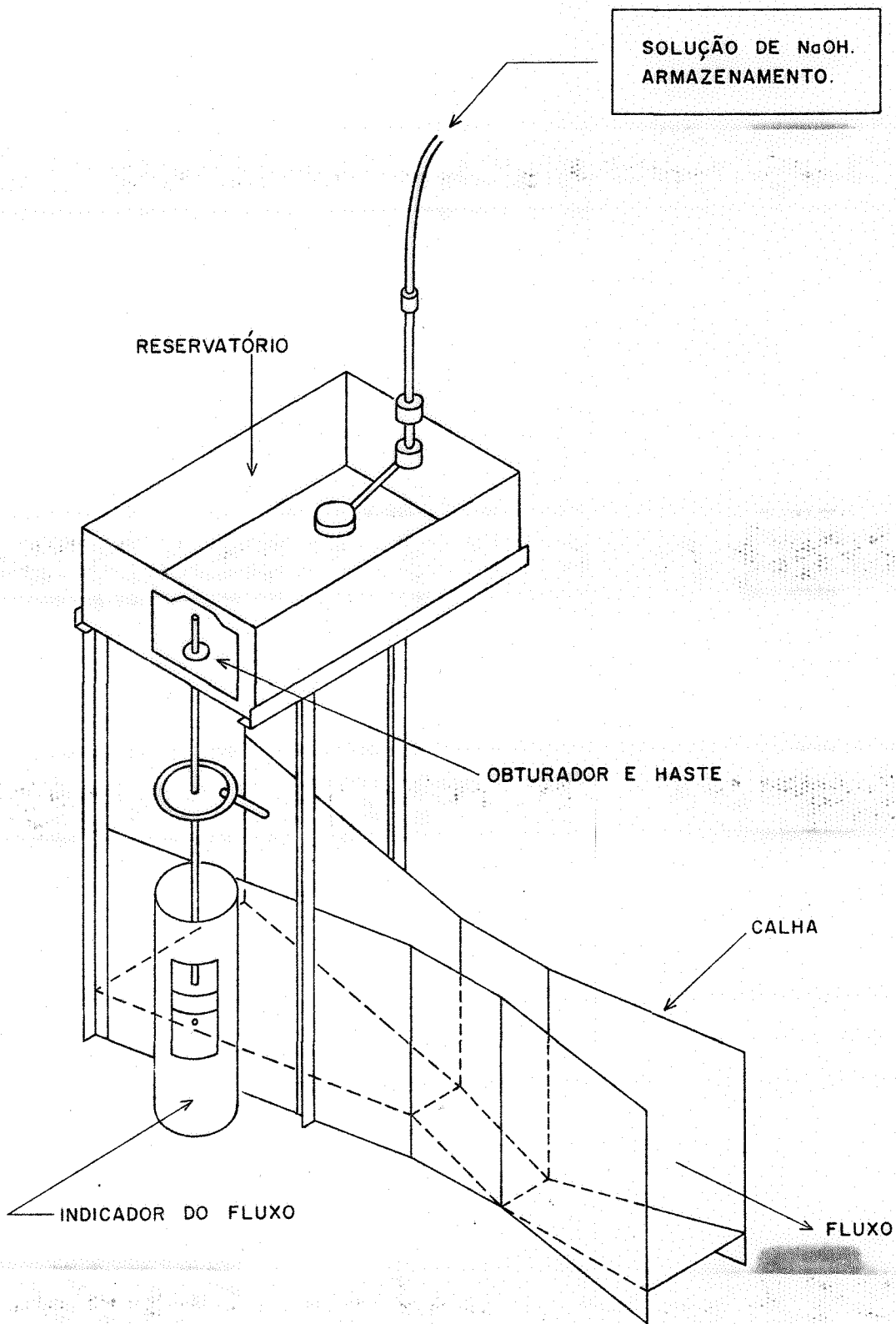
O tratamento de águas ácidas com soda cáustica (NaOH) é caracterizado pela sua rápida taxa de reação, produzindo resultados imediatos.

Segundo WILMOTH (1977a), a produção de lodo no processo com soda cáustica é de 0.43 a 34 g de sólidos secos, por litro de água tratada.

A principal desvantagem do hidróxido de sódio em comparação ao cal, no processo de neutralização, está relacionado aos custos, aquele é aproximadamente, duas vezes e meia mais caro do que este. (WILMOTH, R.C. 1977a).

A unidade de tratamento, neste caso, consiste em uma calha intercalada no curso d'água e de um reservatório de hidróxido de sódio montada acima dela conforme Figura 4. Há um flutuador, acionado pelo nível da água na calha de articulação, e um obturador cônico, que se adapta num orifício no fundo do reservatório de soda cáustica.

Ao variar a vazão do curso d'água, varia o nível do reservatório e, em consequência, o flutuador movimentará o obturador, que ajusta o fluxo de soda à nova vazão que se estabelece, segundo uma dosagem pré-determinada.



TRATAMENTO COM HIDRÓXIDO DE SÓDIO

#### 3.4.1.5. Neutralização com carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_2$ )

O carbonato de sódio é um reagente que produz resultados satisfatórios na neutralização de efluentes ácidos, devido à sua alta solubilidade. Entretanto, em efluentes com elevada concentração de ferro, ele é revestido por uma película de sulfato de ferro que diminui esta solubilidade, diminuindo, desse modo, sua taxa de reação.

A produção de lodo é equivalente à produzida pela soda cáustica.

O processo de aplicação mais comum se constitui no uso de briquetes de carbonato de sódio, colocados em cestos de tela e mergulhados no curso d'água. A medida que o  $\text{Na}_2\text{CO}_2$  é dissolvido são colocados novos briquetes nos cestos, a fim de manter-se num suprimento contínuo do reagente.

A maior desvantagem deste processo é a sua alta produção de  $\text{CO}_2$ , que conduz à necessidade de eliminá-lo, através de uma aeração continuada, o que vem aumentar os custos de operação, que são, segundo WILMOTH (1977a), cerca de 2 vezes mais caros que o processo de neutralização por cal.

Nesse processo, o efluente também deve ser dirigido posteriormente a uma câmara de sedimentação.

#### 3.4.1.6. Neutralização com reagente dolomítico

Os reagentes dolomíticos se caracterizam como carbonatos, hidróxidos e anidritos de cálcio, contendo elevados teores de magnésio. Eles são menos reagentes em presença de águas ácidas do que o calcário e a cal, pela pouca solubilidade dos compostos de magnésio. Por outro lado, a dolomita é um reagente que possui custos de aquisição inferiores aos do calcário, mas, mesmo assim, o seu uso está limitado devido à grande quantidade necessária para atingir a neutralização, o que torna praticamente inviável o seu emprego, a não ser em águas parcialmente poluídas. Por exemplo, em águas com teores de ferro inferior a 20 mg/l e acidez menor do que 100 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ .

Os processos de aplicação do reagente dolomítico são análogos aos utilizados por calcário e cal.

#### 3.4.2. Tratamento por troca iônica

WILMOTH (1977b) define o tratamento por troca iônica como a permuta de íons entre uma matéria sólida e uma líquida, em que não haja uma modificação substancial na matéria sólida. Segundo esta definição o sólido se comporta como o trocador de íon, denominado resina.

O estado da Pensilvânia (EUA) foi, notadamente, o pioneiro

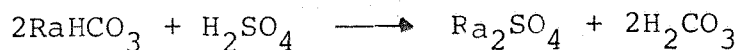


neiro no desenvolvimento e implantação do tratamento de efluentes ácidos de mina de carvão, empregando o processo de troca iônica.

Projeto implantado na comunidade de Smith Township, tem capacidade de tratar aproximadamente 1900 m<sup>3</sup>/dia de efluente ácido. O processo utiliza uma resina trocadora de ânions, constituída de base fraca, operando na forma de bicarbonato. A fim de atingir a forma de bicarbonato, a resina é, em primeiro lugar, submetida a um processo de regeneração com hidróxido de amoníaco, que faz com que ela se transforme em base livre (OH<sup>-</sup>). No segundo passo, a resina é carregada com uma solução de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para, finalmente, se transformar em bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Esta forma de resina bicarbonato é capaz de converter os sulfatos de metais em seus sais respectivos. Por exemplo, sulfato ferroso (FeSO<sub>4</sub>), no efluente ácido, reage com a resina aniônica (Ra) como segue:

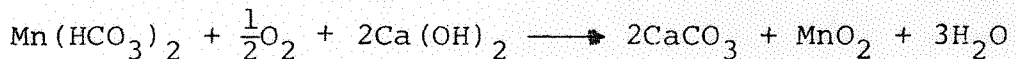
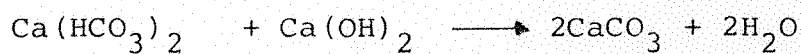
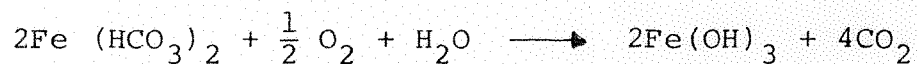


A acidez é removida da seguinte maneira:



Os constituintes solúveis nesta etapa de tratamento, serão transformados em sais bicarbonatos de cálcio, magnésio,

ferro ferroso, manganês e sódio. Com a remoção da acidez e aumento de pH, haverá a precipitação do alumínio e ferro férrico. Aeração subsequente e tratamento por cal são exigidos para que haja a remoção dos cátions remanescentes ( exceto o sódio). Como segue:



Para se estabelecer a remoção destes metais é necessário que o pH seja aumentado para níveis de 10, por isso, é necessário que se faça um pós-tratamento com ácido, a fim de reduzir o pH a níveis potáveis.

Devido a sofisticação e complexidade desse processo de tratamento seus custos são, aproximadamente, 7 vezes mais caros que os da neutralização por cal.

O esquema do tratamento por troca iônica aplicado em Smith Township é apresentado na Figura nº 5.

### 3.4.3. Tratamento por osmose reversível

Como no processo por troca iônica, o processo por osmose reversível revela-se altamente sofisticado e pouco econômico,

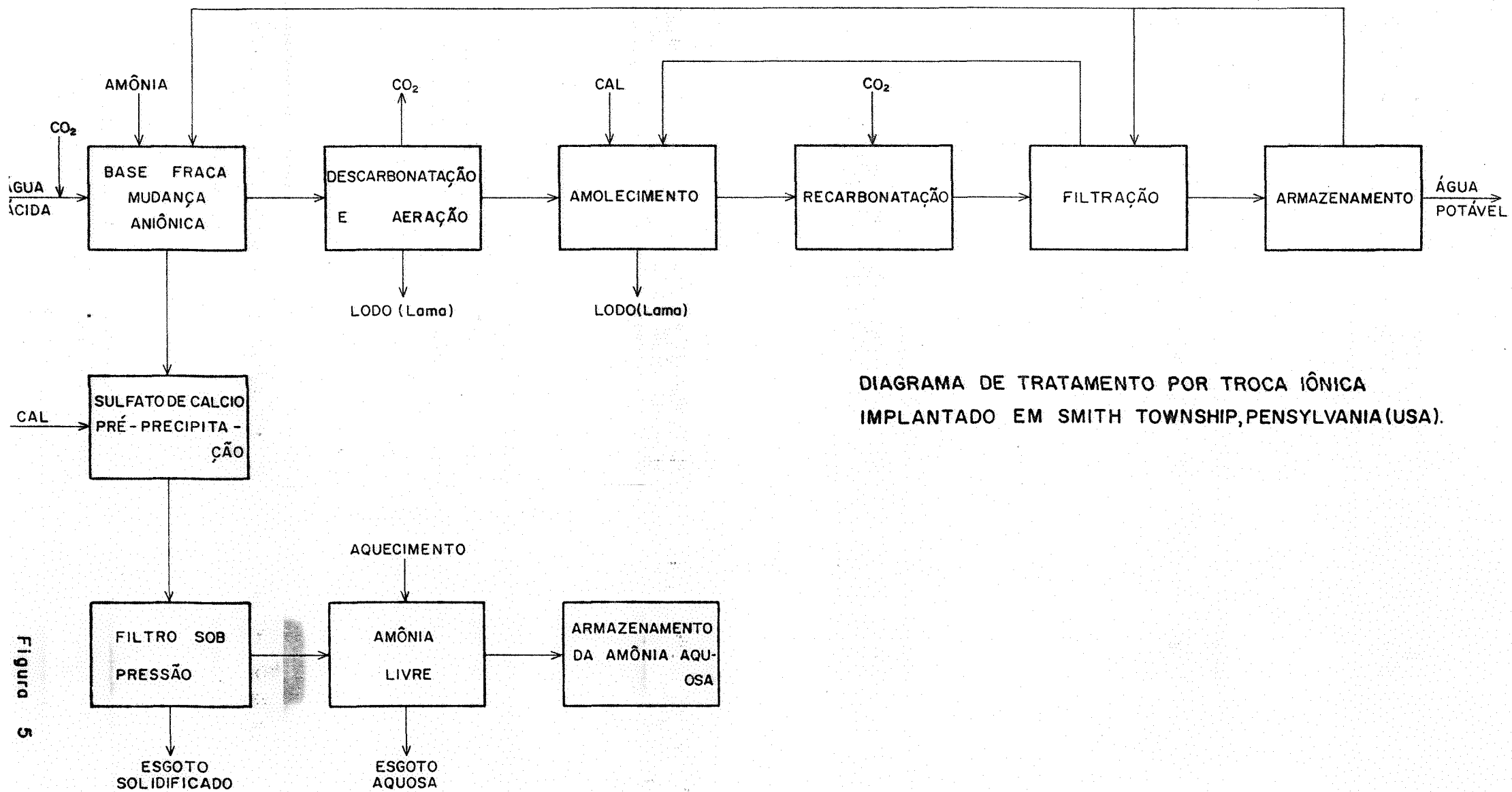


DIAGRAMA DE TRATAMENTO POR TROCA IÔNICA  
 IMPLANTADO EM SMITH TOWNSHIP, PENNSYLVANIA (USA).

Figura 5

sendo, por isso, pouco utilizado em aplicações práticas.

BRETAS (1977) define o processo por osmose reversível como um sistema que consiste na aplicação de uma pressão no sentido oposto ao da pressão osmótica, através de uma membrana (éster orgânico) que separa a água pura das substâncias dissolvidas. O fluxo da água através desta membrana é governado pela seguinte equação:

$$F = W_p (P - \Pi^0)$$

onde:

F = Fluxo da água

Wp = coeficiente de permeabilidade

P = pressão através da membrana

$\Pi^0$  = pressão osmótica

Para águas de drenagem de mina  $\Pi^0$  é aproximadamente 10 psi, medindo de acordo com a condutividade influente da água; Wp varia de acordo com a percentagem de recuperação da água, cuja unidade é g/cm<sup>2</sup>-seg-atm. A pressão P deverá estar entre 400-600 psi, para que se consiga um bom rendimento no processo.

WILMOTH (1972), iniciou em 1969, estudos por osmose reversível, para águas com elevados teores de ferro ferroso em Mocanagua, estado da Pennsylvania (EUA), chegando a resultados encorajadores, conforme demonstra os dados apresentados no seu relatório.

#### 4. ENSAIOS NO LABORATÓRIO

Os ensaios de laboratório foram realizados em função das etapas em que se baseiam o processo de neutralização. Utilizou-se como reagentes neutralizantes o calcário e a cal, coletados no Estado de Santa Catarina. Empregou-se águas ácidas coletadas em 3 diferentes minas de carvão.

##### 4.1. Parâmetros empregados

É muito grande o número de parâmetros que poderiam ser tomados como indicadores, tanto para a qualidade da água como da qualidade dos reagentes, no desenvolvimento do estudo. A determinação de todos eles nem sempre é possível, particularmente, pelo alto custo das análises químicas, desse modo, seguindo determinados critérios, explicitados anteriormente, selecionou-se aqueles que possuem relevância para o estudo.

Selecionaram-se a acidez, o ferro, o pH e a turbidez como sendo os parâmetros representativos da qualidade da água. O diâmetro do calcário e as concentrações de  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$  como sendo os parâmetros indicadores da solubilidade e da qualidade dos reagentes, respectivamente.

#### 4.1.1. Acidez

Como o processo por neutralização é uma técnica adotada para se diminuir a concentração dos íons livres de hidrogênio, o controle da acidez assume um papel fundamental como indicador da eficiência do processo.

A formação da acidez nas águas advindas da mineração do carvão em Santa Catarina se dá, principalmente, pelo teor de enxofre contido na pirita, conforme equações estabelecidas no Capítulo anterior.

A unidade empregada é o mg/l de  $\text{CaCO}_3$ .

#### 4.1.2. pH

A utilização do pH como parâmetro, se dá pelo fato de ser ele, indiretamente, um indicador do estado ácido ou alcalino de uma solução, além de servir na avaliação dos custos e eficiência do processo. Seu papel na avaliação dos custos de operação prende-se ao fato de que, para alcançarem-se níveis de pH cada vez mais elevados na neutralização por calcário, por exemplo, é necessário que se aumente o tempo de agitação do misturador, provocando desse modo um aumento de energia despendida. No tocante a eficiência do processo, o exemplo mais marcante é o fato do ferro só se precipitar para determinadas faixas de pH.

É importante destacar a portaria GM 0013 de 15 de janeiro de 1976, baixada pela Secretaria do Meio Ambiente (SEMA), estabelecendo que os efluentes de qualquer fonte poluidora, somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente nas coleções de água, desde que obedeam à condição de pH entre 5 e 9. Desse modo, a neutralização a nível de pH = 5, será utilizada nas análises dos resultados obtidos.

#### 4.1.3. Ferro total

O ferro foi utilizado como parâmetro com o intuito principal de medir a eficiência do processo; ele foi selecionado devido ao fato de ser um constituinte que ocorre com frequência nas águas de mina, em concentrações elevadas.

Por falta de recursos técnicos e humanos que proporcionassem a determinação dos íons ferrosos e férricos, resolveu-se trabalhar somente com a determinação do ferro total, que é relativamente simples e rápida de se efetuar.

Cerca de 10% do carvão extraído no Estado de Santa Catarina é dissulfeto de ferro (pirita), de acordo com o relatório editado pela CPRM (1972). Segundo análises efetuadas em janeiro 78, pelo IPH, as concentrações de ferro chegam até 1200 mg/l, no Rio Maina; enquanto os padrões adotados pela ABNT, para águas de abastecimento público, são permissíveis somente concentrações de até 0.3 mg/l (ABNT-PB-19).

Se o processo ensaiado conseguir, além da neutralização da acidez, fazer com que haja uma diminuição compensadora na concentração de ferro total, poder-se-á concluir que o tratamento é eficiente.

#### 4.1.4. Turbidez

Até agora, somente foram utilizados parâmetros químicos. A turbidez, por seu lado é considerada um indicador físico, por estar relacionada diretamente, com a matéria suspensa e coloidal contidas na água. SAWYER (1967) define a turbidez como sendo as matérias suspensas e coloidais que interferem na passagem da luz através da água. Por isso, águas que contêm valores elevados de turbidez, faz com que as plantas aquáticas não realizem a fotossíntese, estando, desse modo, sujeitas ao extermínio.

Em águas provenientes da mineração do carvão, ela é causada pela grande quantidade de partículas finamente divididas do carvão, que permanecem em suspensão após a sua lavagem.

No intuito de ter uma indicação sobre a quantidade de sólidos que permanecem em suspensão, após a sedimentação do lodo na neutralização, utilizou-se a turbidez como parâmetro de controle.



#### 4.1.5. Diâmetro do calcário e concentrações de $\text{CaCO}_3$ , CaO e MgO

Separaram-se o calcário em 5 faixas de diâmetro, a saber:

- a) entre 1,19 e 0,59 mm
- b) entre 0,59 e 0,297 mm
- c) entre 0,297 a 0,177 mm
- d) menor que 0,177 mm
- e) granulometria da amostra fornecida na fábrica.

Os parâmetros  $\text{CaCO}_3$ , CaO e MgO medem o grau de solubilidade do reagente na presença de água ácida, de modo que, quanto maior for as concentrações de  $\text{CaCO}_3$  e CaO e menor for a concentração de MgO nos reagentes, mais rápidas serão as reações de neutralização.

#### 4.2. Campo de amostragem

O campo de amostragem foi reduzido a determinadas áreas representativas da região, devido à impossibilidade e à dispensabilidade de se coletar as amostras em toda a bacia carbonífera e em toda a região produtora de calcário e cal, para se atingir os objetivos da pesquisa.

Desse modo, seguindo determinados critérios de seleção, como:

- 1) produtividade anual;
- 2) reserva estimada;
- 3) vazão das águas drenadas;
- 4) localização na bacia;
- 5) processo de escavação empregado, foi possível selecionar 3 minas de carvão, onde foram coletadas amostras de água. Enquanto os critérios para escolha das jazidas exploradas de calcário e cal foram:

- 1) qualidades químicas do produto; concentrações de  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{MgO}$ ;

- 2) estimativas das jazidas;

- 3) produção anual;

- 4) manufaturação do calcário;

- 5) ligações com a região carbonífera, a fim de estabelecer-se o preço do reagente junto a esta. Em vista destes critérios separaram-se 3 minas que serviram de base para o estudo.

Nos itens subseqüentes, estão as descrições dessas minas selecionadas.

#### 4.2.1. Coleta de amostras d'água

Usaram-se para coleta, vasilhames de plástico, com 20 litros de volume. Para cada mina foram feitas 2 coletas:

- 1) das águas drenadas do pré-lavador;

2) das águas drenadas diretamente da mina.

A seguir faz-se uma descrição das minas de carvão onde foram feitas as coletas. Os dados apresentados foram colhidos do relatório editado pelo IPH em fevereiro de 1978, denominado: "Impacto da Mineração do Carvão Sobre os Recursos Hídricos da Bacia Carbonífera de Santa Catarina".

#### 4.2.1.1. Mina 1 - Lauro Müller

Situada no município de Lauro Müller. Está sendo explorada pela Cia. Nacional de Mineração do Carvão de Barro Branco. É uma mina de sub-solo (subterrânea), operada manualmente, com pequena mecanização no transporte do carvão. O acesso ao carvão é feito através de um poço vertical e duas galerias de encosta; utiliza dois pré-lavadores de carvão denominados Lavador Rocinha e Lavador Lauro Müller. A empresa minera 26.500 t/m e produz 10.800 t/m de carvão pré-lavado.

A coleta de amostras de água foi feita junto ao poço vertical e junto ao Lavador Rocinha, que drenam, respectivamente, as vazões de 1.680 m<sup>3</sup>/dia no Rio Dez e 3.500 m<sup>3</sup>/dia para o Rio Rocinha.

#### 4.2.1.2. Mina 2 - Siderópolis

Situada no município de Siderópolis. Está sendo explorada

rada pela Carbonífera Próspera S/A. Como a anterior, é uma mina de sub-solo, só que o acesso ao carvão é feito através de um plano inclinado totalmente mecanizado. A mina entrou em operação em janeiro de 1977 e minera a camada de carvão Barro Branco, com reserva de 1.345.000 ton. O pré-lavador drena uma vazão de 17.280 m<sup>3</sup>/dia, para o Rio Mãe Luiza. Do interior da mina são retirados 7.200 m<sup>3</sup>/dia que são diretamente transferidos para o Rio Mãe Luiza.

#### 4.2.1.3. Mina 3 - Urussanga

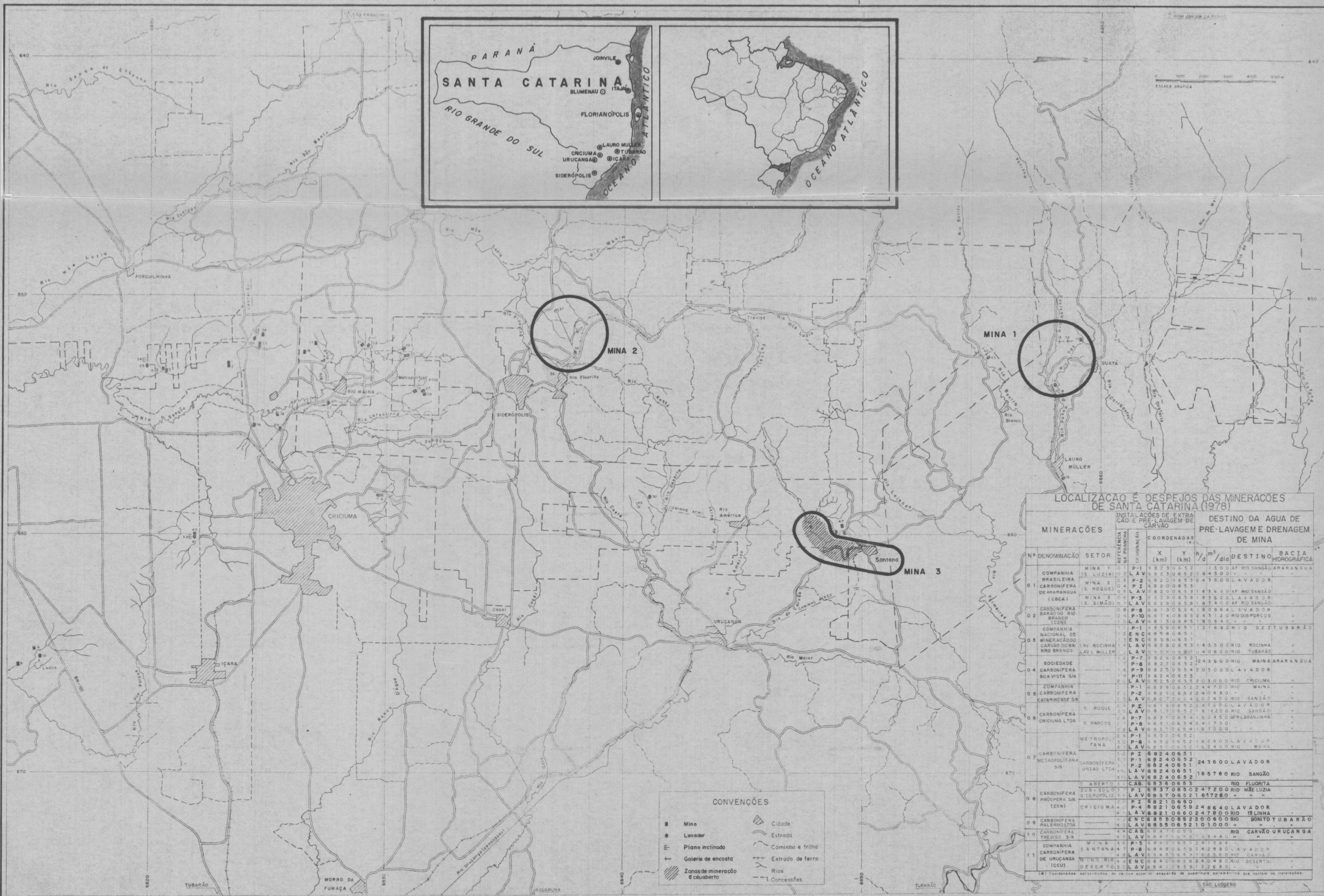
É uma mina de escavação a céu aberto, que possui reservas para esse tipo de operação para 14 anos. Situada na região de Santana, município de Urussanga, é explorada pela Carbonífera Treviso S/A. Possui capacidade de produção anual de 200.000 toneladas de carvão. O pré-lavador dista 3 km da mina e drena uma vazão de 3.840 m<sup>3</sup>/dia, lançada diretamente no Rio Carvão.

A figura 6 indica a localização destas minas dentro da região carbonífera.

#### 4.2.2. Coleta de amostras de calcário e cal

Os dados aqui fornecidos foram retirados do relatório, editado pela SUDESUL em agosto de 1976, denominado "Projeto





**LOCALIZAÇÃO E DESPEJOS DAS MINERAÇÕES DE SANTA CATARINA (1978)**

INSTALAÇÕES DE EXTRAÇÃO E PRE-LAVAGEM DE CARVÃO

DESTINO DA ÁGUA DE PRE-LAVAGEM E DRENAGEM DE MINA

Nº	DENOMINAÇÃO	SETOR	REFERÊNCIA NA PLANTÃO	COORDENADAS		h/d	m³/dia	DESTINO	BACIA HIDROGRÁFICA
				X (km)	Y (km)				
01	COMPANHIA BRASILEIRA DE ANTRACITA (S. ROQUE)	MINA 1 (S. LUZIA)	P-1 LAV	68230652	1500	AF	1500	RIO SANGÃO	ARARANGUA
		MINA 2 (S. ROQUE)	P-2 LAV	68200653	2436	OO	2436	LAVADOR	
		MINA 3 (S. SIMÃO)	P-3 LAV	68290658	1836	OO	1836	LAVADOR	
02	CARBONÍFERA BRANCO (S. ROQUE)		P-8 LAV	68150654	1808	OO	1808	LAVADOR	
			P-10 LAV	68140652	4312	OO	4312	RIO DOS PORCOS	
03	COMPANHIA NACIONAL DE MINERAÇÃO CARVÃO DO BRANCO (S. ROQUE)		P-1 LAV	68590651	1216	BO	1216	BÓRIO DE TUBARÃO	
04	SOCIEDADE CARBONÍFERA BOA VISTA S/A		P-7 LAV	68260652	2436	OO	2436	LAVADOR	
			P-8 LAV	68270652	2436	OO	2436	LAVADOR	
			P-9 LAV	68250654	2030	OO	2030	LAVADOR	
			P-11 LAV	68240655	2030	OO	2030	LAVADOR	
05	COMPANHIA CARBONÍFERA CATARINENSE S/A		P-1 LAV	68290652	2447	OO	2447	LAVADOR	
			P-2 LAV	68290652	2404	OO	2404	LAVADOR	
			P-3 LAV	68270654	2024	OO	2024	LAVADOR	
06	CARBONÍFERA CRICIUMA LTDA		P-1 LAV	68190652	4720	OO	4720	LAVADOR	
			P-7 LAV	68370654	1504	OO	1504	LAVADOR	
			P-8 LAV	68310654	2417	OO	2417	LAVADOR	
			P-9 LAV	68310654	1610	OO	1610	LAVADOR	
07	CARBONÍFERA METROPOLITANA S/A		P-1 LAV	68300652	1624	OO	1624	LAVADOR	
			P-6 LAV	68300652	1624	OO	1624	LAVADOR	
			P-7 LAV	68240651	2436	OO	2436	LAVADOR	
			P-8 LAV	68240651	2436	OO	2436	LAVADOR	
			P-9 LAV	68240651	1657	OO	1657	LAVADOR	
			P-10 LAV	68240651	1657	OO	1657	LAVADOR	
			P-11 LAV	68240651	1657	OO	1657	LAVADOR	
08	CARBONÍFERA PROSPERA S/A (CSN)		P-1 LAV	68370650	2472	OO	2472	LAVADOR	
			P-2 LAV	68370652	1617	OO	1617	LAVADOR	
09	CARBONÍFERA PALERMO LTDA		P-1 LAV	68210660	2486	OO	2486	LAVADOR	
			P-4 LAV	68210659	2486	OO	2486	LAVADOR	
			P-5 LAV	68210660	2486	OO	2486	LAVADOR	
10	CARBONÍFERA TREVISSO S/A		P-1 LAV	68470650	1344	OO	1344	LAVADOR	
			P-2 LAV	68470650	1344	OO	1344	LAVADOR	
11	COMPANHIA CARBONÍFERA DE URUCANGA (CCU)		P-5 LAV	68490659	2428	OO	2428	LAVADOR	
			P-8 LAV	68490659	2428	OO	2428	LAVADOR	
			P-9 LAV	68490659	2428	OO	2428	LAVADOR	
			P-10 LAV	68490659	2428	OO	2428	LAVADOR	
			P-11 LAV	68490659	2428	OO	2428	LAVADOR	

(\*) Coordenadas aproximadas do vertice superior esquerdo de subdivisões geográficas que contêm as instalações.

Escala do Original: 1 : 50.000  
 Data: / 01 / 79

**LOCALIZAÇÃO DAS MINAS NA BACIA CARBONÍFERA ONDE FORAM COLETADAS AMOSTRAS DE ÁGUA.**



Inventário de Calcário no Estado de Santa Catarina: Relatório Final".

#### 4.2.2.1. Jazida 1 - Ribeirão do Ouro (Botuverã)

A jazida de calcário está situada na localidade de Ribeirão do Ouro, município de Botuverã, cuja reserva é da ordem de 1.063.000 toneladas. O material está sendo utilizado para a fabricação de corretivos de solos e cal. A refinaria de cal dista, aproximadamente, 20 km da jazida de calcário e produz, anualmente, cerca de 2.500 ton.

A jazida está sendo explorada pela Refinadora de Cal Tomio Ltda, que transporta seus produtos por via terrestre através da rodovia BR-486, até o município de Itajaí no mesmo Estado.

O calcário apresenta-se na cor branca, brechado e em processo de alteração; apresenta também intercalações de filitos concordantes nas cores marrom e verde; a jazida é considerada, em termos de qualidade para corretivos de solos, como a melhor no Estado de Santa Catarina. A concentração de MgO varia entre 19% e 21%, enquanto que as de CaO e CaCO<sub>3</sub> tem uma concentração aproximada de 31% e 55,5%, respectivamente.

Com o objetivo de obter maior fidedignidade para esses resultados, efetuou-se novo exame do material coletado, no laboratório de saneamento do IPH. Encontraram-se as seguin

tes concentrações:

a) 40% e 22,4% para os teores de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaO}$ , no tocante ao calcário;

b) 50,2% e 28,2% de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaO}$  no tocante ao reagente cal.

Nota-se a discrepância destes resultados em relação aos resultados colhidos no referido relatório, fato inteiramente aceitável devido ao caráter industrial em que foram feitas a aquelas análises. Desse modo, foram consideradas, para efeito da pesquisa, as análises efetuadas pelo laboratório de saneamento do IPH.

#### 4.2.2.2. Jazida 2 - Salseiro (Vidal Ramos)

Situada na localidade de Salseiro, município de Vidal Ramos, está sendo explorada pela Mineração e Cimento Vale do Itajaí S/A - CIMENVALE -. A reserva de calcário é da ordem de 3.034.000 ton. e é todo usado para a fabricação de corretivo de solos. O escoamento do produto é feito através da rodovia BR-468 até o município de Itajaí.

Os calcários são de cor cinza médio, ocorrendo intercalados nos ectinitos da formação Botuverá. Estas rochas se apresentam nas formas tubulares, geralmente bem estratificadas, formando paredões abruptos e com atitudes verticais. Os índices de  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaO}$  são 11,44%, 61,69%, 34,65%, res

pectivamente, dados estes coletados diretamente da concessionária. Os índices encontrados pelo laboratório do IPH são 28,6% para CaO e 51% para CaCO<sub>3</sub>.

Como no caso da jazida anterior, os resultados obtidos pelo IPH foram considerados fidedígnos e usados nos ensaios.

#### 4.2.2.3. Jazida 3 - Ribeirão Sete (Botuverã)

Situada na localidade de Ribeirão Sete, município de Botuverã. A concessão da jazida está a cargo da firma Mineração e Cal Ribeirão Sete Ltdâ (CALSELE). Esta mina, por ter sido implantada recentemente (Dez. 76), não se encontra referenciada no relatório citado; desse modo, existem poucas informações a respeito da mineradora e da jazida. Sabe-se porém, que todo o calcário é usado na fabricação de cal e, que os índices de CaCO<sub>3</sub> e CaO obtidos para a cal, no laboratório de saneamento do IPH foram de 62% e 34,8% respectivamente.

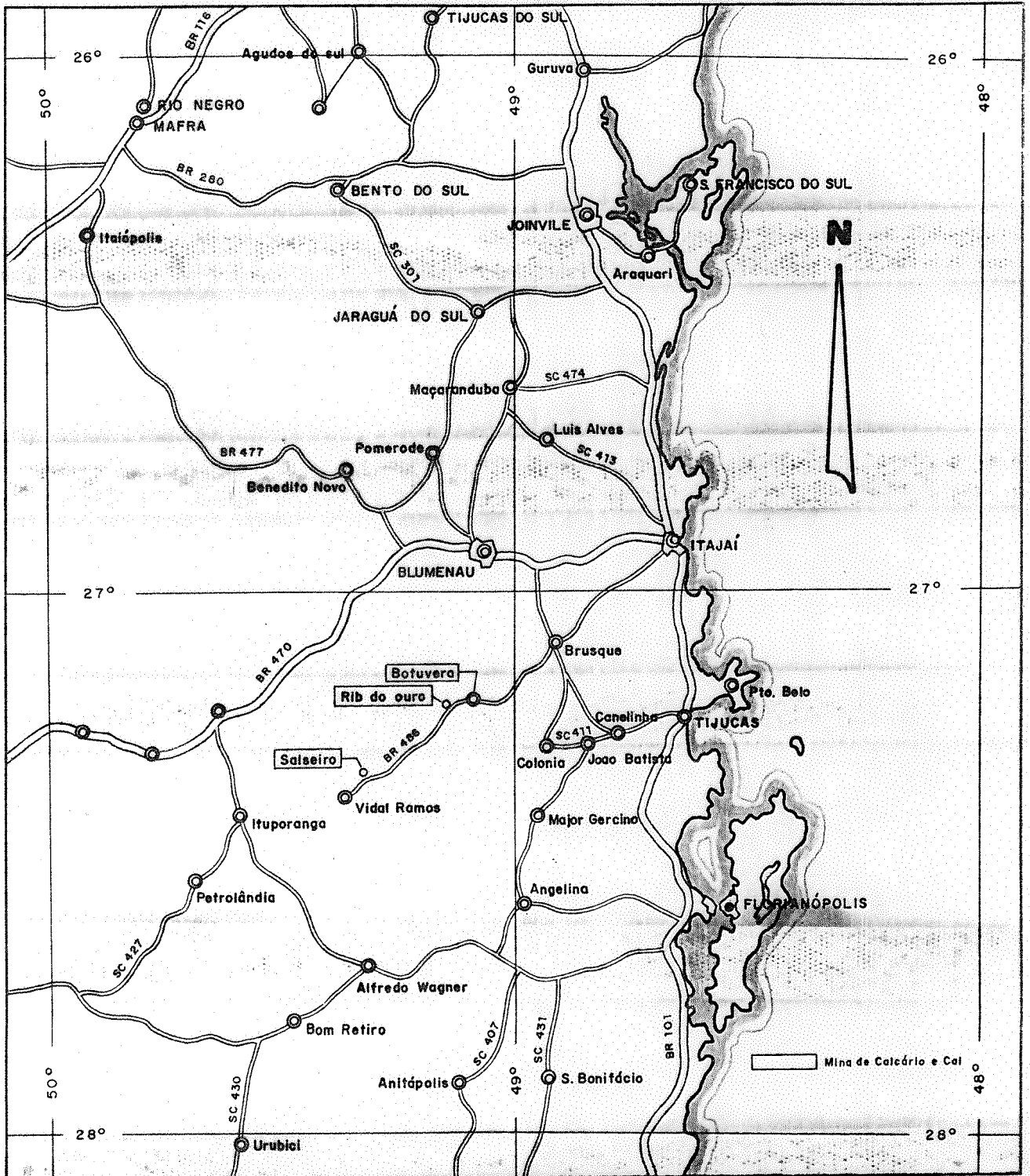
A Figura 7 mostra a localização no Estado destas jazidas de calcário e cal.

### 4.3. Valores iniciais dos parâmetros empregados

#### 4.3.1. Indicadores da qualidade da água

Os valores iniciais dos indicadores da qualidade da água





LOCALIZAÇÃO DAS MINAS PRODUTORAS DE CALCÁRIO E CAL

estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores iniciais dos indicadores da qualidade da água

MINAS	pH	ACIDEZ (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )	FERRO TO TAL(mg/l)	TURBIDEZ (mg/l de SiO <sub>2</sub> )
Mina 1 - Poço vertical (Lauro Müller)	2.6	1711	500	100
Mina 1 - Lavador Rocinha (Lauro Müller)	6.0	18.4	3.6	>150
Mina 2 - Plano inclinado (Siderópolis)	3.0	380	28	70
Mina 2 - Lavador (Siderópolis)	5.6	23.8	8.4	>150
Mina 3 - Ceu Aberto (Urussanga)	2.4	420	44	60
Mina 3 - Lavador (Urussanga)	2.4	5103	400	>150

## 4.3.2. Indicadores da qualidade dos reagentes

Tabela 4. Valores dos indicadores da qualidade dos reagentes

JAZIDAS	DIÂMETRO DO CALCÁRIO EM PREGADO (mm)				CaO %	Ca(OH) <sub>2</sub> %	CaCO <sub>3</sub> %	MgO %
Jazida 1-Cal cário Tomio (Rib.do Ouro)	1.19 a 0.59	0.59 a 0.297	0.297 a 0.177	<0.177 G.A.*	22.4	29.6	40.0	20.0
Jazida 1-Cal Tomio (Rib.do Ouro)	-	-	-	-	28.2	37.3	50.2	-
Jazida 2-Cal cário Cimen- vale (Salseiro)	1.19 a 0.59	0.59 a 0.297	0.297 a 0.177	<0.177 G.A.*	28.6	37.7	51.0	11.4
Jazida 3-Cal Calsele (Rib. Sete)	-	-	-	-	34.8	46.1	62.0	-

\* G.A. representa a granulometria do calcário proveniente da jazida.

Esta granulometria está distribuída da seguinte maneira:

1) calcário CIMENVALE

A distribuição apresentada a seguir foi fornecida diretamente pela fábrica.

- resíduo na peneira Tyler nº 20

(diâmetro de 0.8 mm) ————— 0.0 %

- resíduo na peneira Tyler nº 60

(diâmetro de 0.250 mm) ————— 32.0 %

- fundo da peneira ————— 68.0 %

## 2) calcário TOMIO

A análise granulométrica foi efetuada pelo laboratório de sedimentologia do IPH. A distribuição está apresentada no Gráfico 1.

### 4.4 Descrição dos ensaios

O processo de tratamento por neutralização requer, basicamente, duas etapas de operação. A primeira é feita numa câmara de mistura onde são processadas as reações de neutralização da água ácida com o agente neutralizador. Na segunda etapa é feita a separação dos sólidos em suspensão (lodo) da água tratada (tanque de sedimentação).

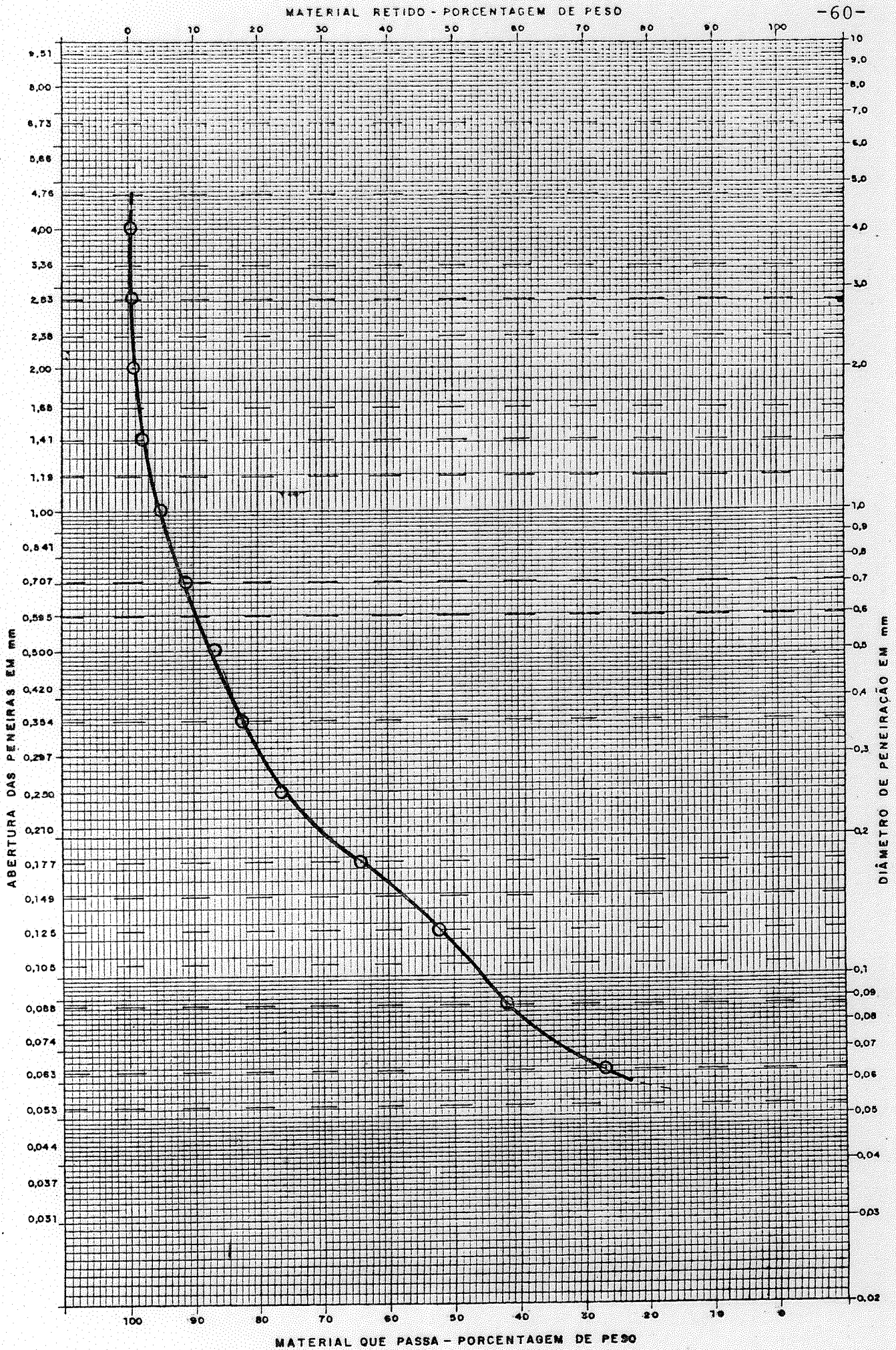
Os ensaios de laboratório foram desenvolvidos em função destas duas etapas. Foram desenvolvidos da seguinte maneira:

#### Para primeira etapa

1) Media-se, através de uma proveta graduada, um litro de amostra d'água de mina.

2) Para cada experiência, utilizou-se um tipo de reagente para produzir a neutralização. A quantidade de reagente utilizado em cada mistura é definido pela seguinte relação:

$$\text{quantidade de reagente (g/l)} = \frac{\text{Acidez da Água (mg/l de CaCO}_3\text{)}}{\% \text{ de CaCO}_3 \text{ do reagente} \times 1000};$$



AMOSTRA : CALCÁRIO TOMIO  
 LOCAL DA COLETA:  
 DATA DA COLETA : / /  
 DATA DA ANÁLISE: 18 / 07 / 78

I.P.H. - C.H.A - SEDIMENTOLOGIA  
 GRANULOMETRIA - DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DE FREQUÊNCIA  
 DATA: / /  
 Gráfico nº 1

Essa mistura denomina-se ter uma dosagem de 1:1. Para as dosagens, tais como 1:2 ou 1:0.5 a quantidade de reagente usado é, respectivamente, 2 vezes maior e 2 vezes menor.

3) Depois de dosada a mistura, ela era submetida a uma agitação contínua através de um misturador de palhetas. Dependendo da finalidade do ensaio, imprimia-se rotações diferentes no agitador.

Durante a agitação foi medido, em intervalos de tempo regulares, a variação do valor do pH.

Para a segunda etapa

4) Terminada a agitação (cerca de 2 horas para as misturas com calcário e cerca de 60 min. para as misturas com cal) o líquido era colocado numa proveta graduada, a fim de que ocorresse a sedimentação. Durante esta operação, fez-se a determinação da concentração volumétrica do lodo e, em alguns casos, da velocidade de sedimentação (ver fotos n<sup>os</sup> 7 e 8).

A concentração volumétrica foi determinada após 20 horas de sedimentação, enquanto, a velocidade de sedimentação foi feita, quando possível, pela seguinte relação:

$$V_s = \frac{\Delta V}{\Delta t} \times \frac{1}{A} \quad (\text{E. 5})$$

onde:

$V_s$  = velocidade de sedimentação (cm/min)

$\Delta V$  = variação do volume da interfase lodo-água (cm<sup>3</sup>)

$\Delta t$  = intervalo de tempo em que foram feitas as medições



da interfase (min.)

A = área transversal da proveta (A = 28,44 cm<sup>2</sup>).

Os resultados apresentados foram tomados como sendo o valor médio da velocidade no intervalo de 1 hora de sedimentação.

5) As determinações das concentrações remanescentes da acidez, do ferro total e da turbidez foram feitas em função de amostras do líquido sobrenadante após submetê-lo a 1 hora de decantação.

6) A determinação da concentração em peso (g/l) do lodo foi obtida da forma seguinte:

- Decorridos um tempo de sedimentação superior a 20 horas, extraiu-se o líquido sobrenadante sem perturbar o lodo decantado e submeteu-lhe a um processo de filtração, durante, aproximadamente, 5 horas.

- Em seguida ele foi colocado para secar numa estufa, durante um período de 4 horas, a uma temperatura média de 105 graus centígrados.

- Logo após, ele é pesado numa balança analítica.

- A concentração foi calculada pela relação.

$$\frac{\text{Diferença de peso do filtro e Amostra (g)}}{\text{Volume da amostra original (litros)}} = \text{g/l}$$

Esta operação foi repetida várias vezes, até que o peso da concentração do lodo fosse a mesma, significando que a a

mostra estava completamente seca.

#### 4.5. Equipamentos empregados

##### 4.5.1. Agitador (misturador) (Foto 3)

Utilizou-se um aparelho de Jard Test com algumas modificações. Este aparelho pode girar a diferentes rotações. Isto é importante na determinação da potência consumida na operação.

O agitador, propriamente dito, consta de uma palheta de plástico cujas dimensões são: 6.5 cm de altura por 10 cm de comprimento e 5 mm de espessura (Figura A). A haste de sus

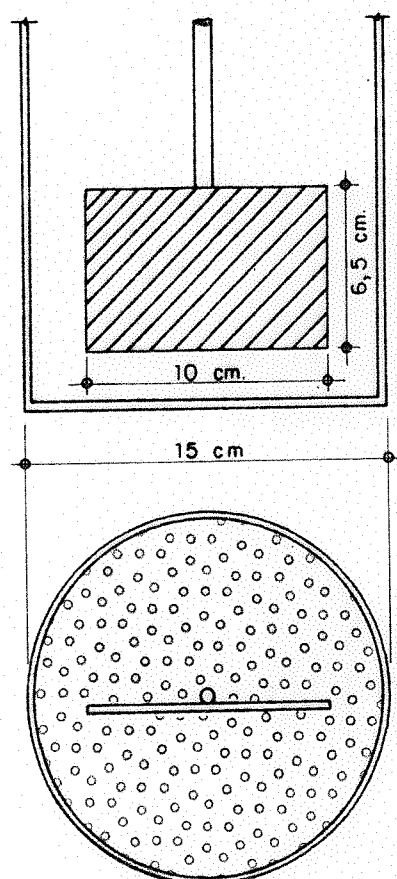


Fig. A



tentação da palheta é de aço inoxidável revestida de cola plástica a fim de evitar a corrosão da mesma, pela água ácida.

A potência na câmara na unidade de volume é calculada, segundo ARBOLEDA VALENCIA (1973) pela fórmula:

$$P = 12600 C_D m^3 \frac{(1 - k)^3}{V_C} A r^3$$

onde:

$P$  = potência dissipada na câmara (kg m/m<sup>3</sup> seg)

$C_D$  = coeficiente de arrasto das palhetas, função do comprimento e da largura das palhetas, segundo a Tabela abaixo (pág. 145 da referência citada),  $C_D$  pode ser estimado, como segue:

$L/l$	$C_D$
1	1.16
5	1.20
20	1.50
$\infty$	1.95

No caso,  $L/l = \frac{10}{6.5} = 1.54 \longrightarrow C_D \approx 1.17$

$k$  = constante empírica ( $k = 0.25$ )

$V_C$  = volume da câmara (m<sup>3</sup>)

$Ar^3$  = produto da área da palheta pelo raio da palheta e levado ao cubo

$n$  = número de rotações por segundo.

Utilizou-se 3 rotações diferentes - 130, 155 e 180 rpm.

O valor da potência será para cada rotação igual a:

1) para  $n = 130 \text{ rpm} = 2.167 \text{ rps}$

$$V_c = 1\ell = 0.001 \text{ m}^3$$

$$C_D = 1.17$$

$$K = 0.25$$

$$A = 0.1 \times 0.065 = 0.0065 \text{ m}^2$$

$$r^3 = \left(\frac{0.1}{2}\right)^3 = 1.25 \times 10^{-4}$$

$$Ar^3 = 8.12 \times 10^{-7}$$

$$P = 12600 \times 1.17 \times (2.167)^3 \times \frac{(1-0.25)^3}{0.001} \times 8.12 \times 10^{-7}$$

$$P = 51.389 \text{ kg m/m}^3 \text{ seg}$$

$$P = \frac{51.389}{75} \times 746 \text{ W} \approx 511.15 \text{ W/m}^3.$$

$$\underline{P = 511.15 \text{ W/m}^3}$$

2) para  $n = 155 \text{ rpm} = 2.583 \text{ rps}$ .

$$P = 12600 \times 1.17 \times (2.583)^3 \times \frac{(1-0.25)^3}{0.001} \times 8.12 \times 10^{-7}$$

$$P = 87.03 \text{ kg m/m}^3 \text{ seg}$$

$$P = \frac{87.03}{75} \times 746 \text{ W} \approx 865.66 \text{ W/m}^3$$

$$\underline{P = 865.66 \text{ W/m}^3}$$

3) para  $n = 180 \text{ rpm} = 3.0 \text{ rps}$

$$P = 12600 \times 1.17 \times (3.0)^3 \times \frac{(1-0.25)^3}{0.001} \times 8.12 \times 10^{-7}$$

$$P = 136,35 \text{ kg m/m}^3 \text{ seg}$$

$$P = \frac{136,35}{75} \times 746 \text{ W} \approx 1356.24 \text{ W/m}^3$$

$$\underline{P = 1356,24 \text{ W/m}^3.}$$



1 - ASPECTOS DO LABORATÓRIO



2 - BALANÇA ANALÍTICA



3 - AGITADOR



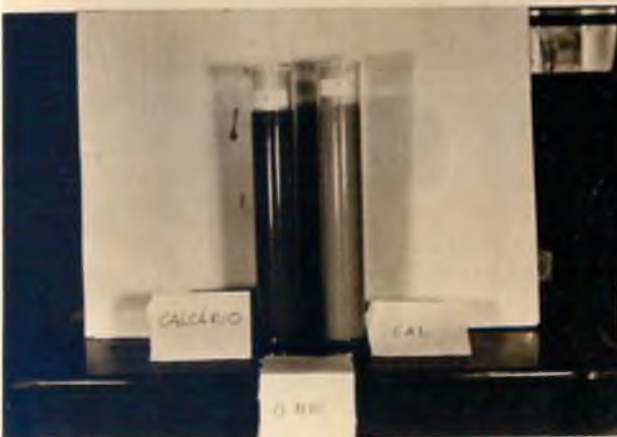
4 - MEDIDOR DO pH



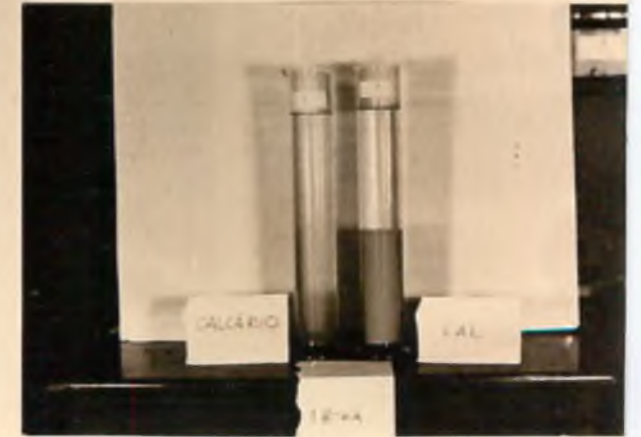
5 - MEDIÇÃO DO pH



6 - MEDIDOR DO FERRO TOTAL



7 - SEDIMENTAÇÃO DO LODO



8 - SEDIMENTAÇÃO DO LODO

#### 4.5.2. Medição dos parâmetros

##### 4.5.2.1. Ferro total

O método usado consistiu no emprego de uma combinação de dois reagentes, denominada FerroVer, fabricada pela Hach Chemical Company Ames, Iowa, Estados Unidos. O conteúdo de um dos saquitéis de FerroVer foi adicionado a uma amostra de 5 ml de líquido a ser analisada. A concentração do ferro total em mg/l, foi determinada comparando-se os padrões de cor contidos no aparelho modelo IR-18B da Hach. A precisão dos resultados é de 1/10 (ver Foto 6).

##### 4.5.2.2. pH

Utilizou-se o método eletrométrico. Media-se o pH atrvés de um potenciômetro (pHmetro) digital, marca Digi-Sense, modelo SAS 5985-20, Chicago, Illinois, Estados Unidos e precisão 1/10. O aparelho e a maneira de como foram feitas as leituras são apresentados nas Fotos 4 e 5.

##### 4.5.2.3. Acidez

Como a acidez das águas em estudo é provocada pelo dissulfeto de ferro, fez-se a titulação à temperatura de ebuli

ção. O procedimento foi o seguinte (ROSENCRANCE, J.E. 1966):

1) Juntou-se 10 gotas de uma solução indicadora de fenolftaleína a 100 ml de amostra;

2) adicionou-se hidróxido de sódio (0.020 N) através de uma bureta à amostra de água, até que se manifestasse a coloração rósea;

3) levou-se ao fogo até ao ponto de ebulição da solução, onde verificava-se, se a coloração rósea desaparecia, caso afirmativo, adicionava-se mais hidróxido de sódio até que ela novamente se manifestasse. Repetia-se o processo até que a coloração rósea se estabelecesse;

4) a acidez será portanto:

$$\frac{V_{\text{NaOH}} \times 0.020\text{N} \times 50 \times 1000}{VA} = \text{mg/l de CaCO}_3$$

onde:

$V_{\text{NaOH}}$  = volume gasto com hidróxido de sódio

0.020N = concentração normal do hidróxido de sódio

VA = volume utilizado da amostra.

#### 4.5.2.4. Turbidez

Foi determinada através do "turbidímetro de Hellige". Em geral, nas medições de turbidez nestes aparelhos, haverá um intervalo definido da escala em que o campo parece balanceado. Este intervalo será tanto maior quanto mais alto for

a escala de leituras. Para eliminar parte desta incerteza, todas as leituras foram feitas, girando o dial para as leituras mais altas, até que a mancha preta desaparecesse (girando de menos para mais); em outras palavras, a leitura foi feita no limite inferior do intervalo de incerteza (até o primeiro ponto de desaparecimento da mancha).

#### 4.5.2.5. Dosagens dos reagentes

As quantidades dosadas foram pesadas numa balança analítica, com precisão de até 1 mg; marca Record, modelo 10510, Brasil (Foto 2).

#### 4.5.2.6. Secagem do lodo

O lodo foi seco através de uma estufa fabricada pela firma DELEO S.A, Porto Alegre, RS, Brasil.

#### 4.6. Resultados obtidos nos ensaios

Os resultados dos ensaios, como também as condições em que foram executados, estão contidos nas Tabelas 5, 6, 7, 8 e 9.

As amostras d'água coletadas dos pré-lavadores do carvão, para as minas de Lauro Müller e Siderópolis, não foram

ensaiadas, devido o pH encontrar-se em níveis aceitáveis, 6.0 e 5.6, respectivamente (Tabela 3)

Tabela 5. Resultados da neutralização da água da mina de Lauro Müller com calcário Tomio (40% de CaCO<sub>3</sub>)

MISTURAS Nº	DOSAGEM / Qde por litro (g/l)	ROTAÇÃO (rpm)	DIÂMETRO DO CALCÁRIO (mm)	VARIAÇÃO DO pH AO LONGO DO TEMPO DE MISTURA									ACIDEZ (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )		FERULICO TOTAL (mg/l)		TURBIDEZ (mg/l de SiO <sub>2</sub> )	
				Valor									Valor Inicial	Valor Final	Valor Inicial	Valor Final	Valor Inicial	Valor Final
				Inicial	5min	15min	30min	60min	90min	120min	150min	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	
1	1:2,5/10,69	180	< 0.177	2.4	4.4	4.9	5.8	6.0	6.2	6.2	6.3	1711	12.7	500	55	100	25	
3	1:2,5/10,69	180	G.A.*	2.4	4.3	4.6	5.2	5.8	5.9	6.0	6.2	1711	16.8	500	72	100	60	
5	1:2,5/10,69	180	0,297-0,177	2.4	3.3	4.1	4.6	5.5	5.6	5.7	5.7	1711	19.5	500	90	100	40	
2	1:2 / 8,55	180	< 0.177	2.4	4.3	4.8	5.4	5.6	5.8	5.8	5.9	1711	21.8	500	90	100	40	
4	1:2 / 8,55	180	G.A.*	2.4	3.4	3.8	4.3	4.8	5.3	5.5	5.6	1711	32.7	500	120	100	45	
6	1:2 / 8,55	180	0,59-0,297	2.4	2.7	3.6	4.0	4.4	4.7	5.1	5.3	1711	37.8	500	128	100	55	
Água de Lauro Müller e calcário Cimenvale (51% de CaCO <sub>3</sub> )																		
10	1:2 / 6,70	180	< 0.177	2.4	4.4	5.1	5.6	5.8	5.9	6.0	6.1	1711	10.5	500	76	100	30	
12	1:2 / 6,70	180	G.A.*	2.4	3.7	4.3	4.5	4.8	5.4	5.6	5.8	1711	21.2	500	92	100	35	
14	1:2 / 6,70	180	1.19-0.59	2.4	3.0	3.0	3.1	4.0	4.2	4.3	4.4	1711	62.6	500	132	100	45	
11	1:1,5/ 5,03	180	< 0.177	2.4	3.5	3.9	3.9	4.2	4.4	4.6	4.7	1711	56.2	500	128	100	45	
13	1:1,5/ 5,03	180	G.A.*	2.4	2.8	3.2	3.6	4.0	4.3	4.5	4.6	1711	58.1	500	130	100	45	
15	1:1,5/ 5,03	180	0,297-0,177	2.4	3.2	3.4	3.7	3.8	3.9	4.0	4.0	1711	96.4	500	142	100	50	

\* G.A. = Granulometria da Amostra.



Tabela 6. Resultados da neutralização da água do pré-lavador da mina de Urussanga e Calcário Tomio (40% de CaCO<sub>3</sub>)

MISTURAS Nº	DOSAGEM / Qde por litro (g/l)	ROTAÇÃO (rpm)	DIÂMETRO DO CALCÁRIO (mm)	VARIÇÃO DO pH AO LONGO DO TEMPO DE MISTURA									ACIDEZ (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )		FERRO TOTAL (mg/l)		TURBIDEZ (mg/l SiO <sub>2</sub> )	
				Valor Inicial	5min	15min	30min	60min	90min	120min	150min	Valor Inicial	Valor Final	Valor Inicial	Valor Final	Valor Inicial	Valor Final	
																		Valor Inicial
30	1:2 / 25,52	130	< 0.177	2.5	4.0	4.9	5.3	5.7	5.8	5.8	-	5103	16.3	400	18	>150	20	
31	1:2 / 25,52	155	< 0.177	2.5	4.1	5.0	5.3	5.8	5.8	5.8	-	5103	15.4	400	17	>150	20	
32	1:2 / 25,52	180	< 0.177	2.5	4.1	5.1	5.4	5.8	5.9	6.0	-	5103	15.2	400	17	>150	20	
33	1:2 / 25,52	130	G.A.*	2.5	3.3	3.9	4.2	4.8	5.3	5.5	-	5103	28.2	400	20	>150	25	
34	1:2 / 25,52	180	G.A.*	2.5	3.5	4.2	4.4	5.0	5.4	5.6	-	5103	25.6	400	19	>150	20	
Água do pré-lavador de Urussanga e calcário Cimenvale (51% de CaCO <sub>3</sub> )																		
35	1:2,5/25,02	130	< 0.177	2.5	5.6	5.9	6.1	6.4	6.5	6.5	-	5103	11.8	400	6.0	>150	20	
36	1:2 / 25,02	180	< 0.177	2.5	5.7	6.0	6.1	6.4	6.6	6.6	-	5103	10.3	400	5.8	>150	20	
37	1:2 / 20,0	130	< 0.177	2.5	4.1	4.9	5.3	5.7	5.8	5.8	-	5103	18.32	400	15	>150	25	
38	1:2 / 20,0	155	< 0.177	2.5	4.2	5.0	5.5	5.7	5.9	5.9	-	5103	16.43	400	14	>150	25	
39	1:2 / 20,0	180	< 0.177	2.5	4.2	5.1	5.5	5.8	5.9	6.0	-	5103	15.84	400	13	>150	20	
40	1:2 / 20,0	130	G.A.*	2.5	3.5	4.0	4.5	5.0	5.4	5.7	-	5103	21.46	400	18	>150	25	
41	1:2 / 20,0	180	G.A.*	2.5	3.7	4.0	4.7	5.2	5.4	5.8	-	5103	17.87	400	16	>150	20	

\* G.A. = Granulometria da Amostra.

Tabela 7. Resultados da neutralização da água da mina de Urussanga com calcário Tomio (40% de CaCO<sub>3</sub>)

MISTURAS Nº	DOSAGEM / Qde por litro (g/l)	ROTAÇÃO (rpm)	DIÂMETRO DO CALCÁRIO (mm)	VARIACÃO DO pH COM O TEMPO DE AGITAÇÃO								ACIDEZ (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )		FERRO TOTAL (mg/l)		TURBIDEZ (mg/l de SiO <sub>2</sub> )	
				Valor Inicial	5min	15min	30min	60min	90min	120min	150min	Valor Inicial	Valor Final	Valor Inicial	Valor Final	Valor Inicial	Valor Final
				53	1:2 / 2,10	180	G.A.*	2.4	3.2	4.0	4.4	5.0	5.5	5.6	-	420	18.3
54	1:2 / 2,10	180	< 0.177	2.4	3.7	4.7	5.2	5.6	5.9	6.0	-	420	12.8	44	1.4	60	25
55	1:2 / 2,10	180	0,59-0,297	2.4	3.2	3.8	4.2	4.5	5.0	5.1	-	420	21.4	44	1.6	60	30
59	1:1,5/ 1,58	180	G.A.*	2.3	3.0	3.2	3.8	4.4	4.5	4.7	-	420	29.5	44	2.0	60	30
60	1:1,5/ 1,58	180	< 0.177	2.3	3.2	4.2	4.4	4.6	4.8	4.9	-	420	26.3	44	1.6	60	25
61	1:1,5/ 1,58	180	1,19-0,59	2.3	2.6	2.8	3.0	3.3	3.5	3.6	-	420	182.5	44	12.6	60	45
Água de Urussanga e Calcário Cimenvale (51% de CaCO <sub>3</sub> )																	
56	1:2 / 1,65	180	G.A.*	2.4	3.2	3.8	4.2	4.7	5.0	5.4	-	420	20.8	44	2.0	60	30
57	1:2 / 1,65	180	< 0.177	2.4	4.2	4.9	5.3	5.8	6.0	6.1	-	420	11.9	44	1.4	60	35
58	1:2 / 1,65	180	1,19-0,59	2.4	2.8	3.1	3.6	4.0	4.3	4.5	-	420	42.6	44	2.4	60	40
62	1:1,5/ 1,24	180	G.A.*	2.3	3.4	3.6	4.1	4.3	4.5	4.7	-	420	31.6	44	2.2	60	30
63	1:1,5/ 1,24	180	< 0,177	2.3	3.4	4.0	4.4	4.7	4.8	4.9	-	420	28.4	44	2.2	60	40
64	1:1,5/ 1,24	180	0,59-0,297	2.3	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.6	-	420	190.2	44	2.8	60	45

\* G.A. = Granulometria da Amostra.

Tabela 8. Resultados da neutralização da água de Siderópolis com calcário Tomio (40% de CaCO<sub>3</sub>)

MISTURA Nº	DOSAGEM / Qde por litro (g/l)	ROTAÇÃO (rpm)	DIÂMETRO DO CALCÁRIO (mm)	VARIAÇÃO DO pH AO LONGO DO TEMPO DA MISTURA								ACIDEZ (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )		FERRO TOTAL (mg/l)		TURBIDEZ (mg/l SiO <sub>2</sub> )	
				Valor								Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	
				Inicial	5min	15min	30min	60min	90min	120min	160min	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
48	1:2 / 1,90	180	G.A.*	2.9	3.9	4.6	5.0	5.6	5.7	5.9	-	380	18,70	28	1.8	70	30
49	1:2 / 1,90	180	1,19-0,59	2.9	3.3	3.7	4.4	4.8	5.0	5.2	-	380	29,45	28	2.4	70	30
Água de Siderópolis e calcário Cimenvale (51% de CaCO <sub>3</sub> )																	
50	1:2 / 1,49	180	G.A.*	2.9	4.5	4.9	5.2	5.7	6.0	6.1	-	380	16,42	28	2.0	70	30

\* G.A. = Granulometria da Amostra.

Tabela 9. Resultados da neutralização com cal

MISTURA Nº	AMOSTRA DE ÁGUA (g/l)	AMOSTRA DE CAL	DOSAGEM / Qde por litro (g/l)	ROTAÇÃO (rpm)	VARIACÃO DO pH COM O TEMPO DE MISTURA								ACIDEZ (mg/l de CaCO <sub>3</sub> )		FERRO TOTAL (mg/l)		TURBIDEZ (mg/l de SiO <sub>2</sub> )	
					Início	1min	3min	5min	10min	20min	30min	60min	Valor Inicial	Valor Final	Valor Inicial	Valor Final	Valor Inicial	Valor Final
8	Lauro Müller	TOMIO 50.2% CaCO <sub>3</sub>	1:1 / 3,41	180	Início	1min	3min	5min	10min	20min	30min	60min	1711	Zero	500	16	100	
					2.3	4.1	5.6	6.4	7.5	8.7	9.0	9.4						
9	"	CALSELE 62% CaCO <sub>3</sub>	1:0,5 / 1,38	180	Início	1min	3min	5min	10min	20min	30min	60min	1711	11,1	500	23	100	15
					2.3	3.2	4.1	4.4	4.7	5.3	5.5	5.9						
7	"	"	1:2 / 5,52	180	Início	5min	15min	30min	60min	90min			1711	Zero	500	14	100	10
					2.2	11.2	11.2	11.2	11.2	11.2								
51	Siderópolis	"	1:1 / 0,61	180	Início	1min	3min	5min	10min	15min	30min	60min	380	Zero	28	1.6	70	20
					2.9	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8						
52	"	TOMIO	1:0,5 / 0,38	180	Início	1min	3min	5min	10min	15min	30min	60min	380	9,40	28	1.4	70	15
					2.9	3.3	3.7	4.1	4.6	4.9	5.0	5.1						
42	Lavador Urussanga	CALSELE	1:0,5 / 4,12	180	Início	2min	5min	10min	15min	30min	60min	90min	5103	6,8	400	4.2	100	10
					2.4	4.1	4.6	5.0	5.4	5.9	6.1	6.5						
43	"	TOMIO	1:0,5 / 5,08	180	Início	2min	5min	10min	15min	30min	60min	90min	5103	9,3	400	6.4	100	10
					2.4	4.1	4.5	4.9	5.3	5.7	5.8	5.8						
44	"	TOMIO	1:1 / 10,17	180	Início	2min	5min	10min	15min	30min	60min	90min	5103	Zero	400	4.0	100	10
					2.4	5.5	5.9	7.1	8.2	8.8	9.0	9.1						
45	"	CALSELE	1:1 / 8,24	180	Início	2min	5min	10min	15min	30min	60min	90min	5103	Zero	400	3.8	100	10
					2.4	5.6	6.2	7.6	8.4	9.4	9.5	9.6						
65	Mina Urussanga	"	1:1 / 0,68	180	Início	1min	3min	5min	10min	15min	30min	60min	420	Zero	44	1.2	60	25
					2.3	4.8	5.9	6.8	7.7	8.2	8.7	8.9						
66	"	"	1:0,5 / 0,34	180	Início	1min	3min	5min	10min	15min	30min	60min	420	5,25	44	2.0	60	30
					2.3	3.6	4.3	4.5	4.9	5.5	6.6	7.4						
67	"	TOMIO	1:1 / 0,84	180	Início	1min	3min	5min	10min	15min	30min	60min	420	Zero	44	1.2	60	25
					2.3	4.3	5.6	7.2	7.9	8.4	8.8	9.2						
68	"	"	1:0,5 / 0,42	180	Início	1min	3min	5min	10min	15min	30min	60min	420	9,80	44	4.0	60	30
					2.3	3.3	3.8	4.4	4.7	4.8	5.0	5.2						

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS

### 5.1. Experiências com calcário

#### 5.1.1. Ensaios com amostra d'água de mina de Lauro Müller

##### 5.1.1.1. Influência sobre o pH

Adotou-se como valor aceitável do pH para águas ácidas neutralizadas, o valor mínimo  $\text{pH} = 5$ ; estabelecido na portaria GM/Nº 0013 de janeiro de 1976 da Secretaria do Meio Ambiente (SEMA).

##### 1) Da granulometria do calcário

Encontram-se plotados no Gráfico 2, as curvas de variação do pH com o tempo de agitação. Nota-se que o aumento do pH, se dá mais rapidamente numa função inversa ao diâmetro do calcário, em outras palavras, quanto menor o diâmetro, mais solúvel é o calcário, portanto, mais rápidas serão as reações de neutralização. No caso, o menor diâmetro empregado, é a amostra que passa na peneira nº 80 (série de Tyler), isto é, diâmetros inferiores a 0.177 mm, por isso, é o que se mostra mais eficiente no aumento de pH.

## 2) Da dosagem de calcário utilizada (Gráfico 2)

A dosagem 1:2 mostrou-se ser a mais eficaz, devido ao fato de que a 1:2,5 apresentar-se excessiva para se alcançar o nível de pH = 5, enquanto, a 1:1,5 ser insuficiente para se alcançar este nível de pH.

## 3) Do tipo de calcário

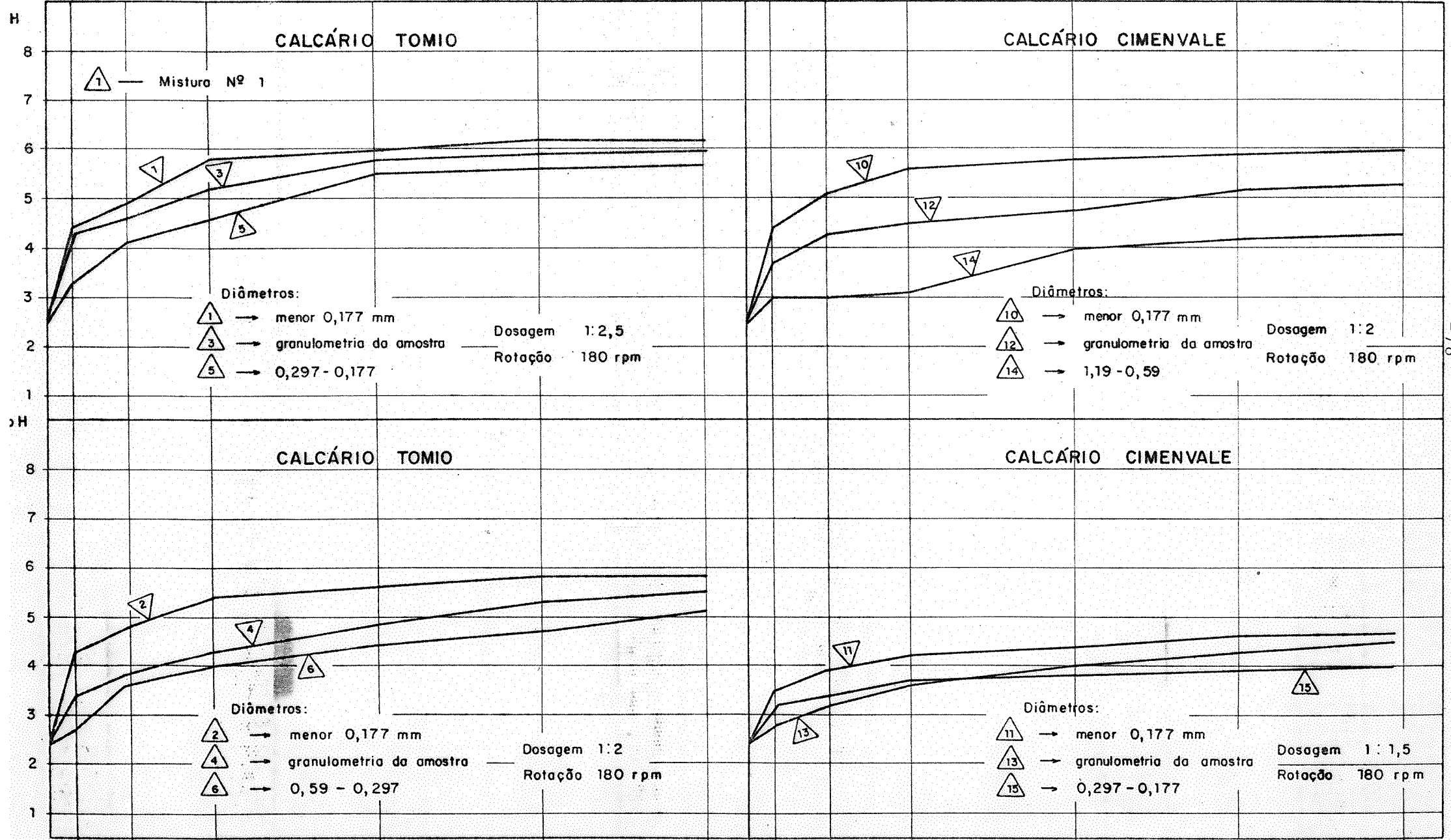
Devido à solubilidade, os calcários com concentrações mais altas de  $\text{CaCO}_3$  promovem maior velocidade nas reações. Isto pode ser visto na comparação das curvas nº 2 e 10, 4 e 12 do Gráfico 2, onde se nota que o calcário CIMENVALE - 51% de  $\text{CaCO}_3$  -, eleva o pH mais rapidamente do que o uso do calcário TOMIO - 40% de  $\text{CaCO}_3$ .

### 5.1.1.2. Remoção da concentração da acidez

Como a acidez está ligada pelo valor medido do pH, as considerações que foram feitas para o diâmetro, a dosagem e o tipo calcário, devem ser as mesmas. Isto se nota pelos dados da Tabela 5, onde se mantendo constante a dosagem de 1:2, tem-se o seguinte:

- 1) 98.73% da remoção quando se utilizou diâmetros inferiores a 0.177 mm e calcário TOMIO (mistura nº 2)
- 2) 99.39% de remoção para o mesmo diâmetro mas reagindo com calcário CIMENVALE (mistura nº 10)
- 3) 98% de remoção quando se utilizou a granulometria da

Gráfico 2.- VARIAÇÃO DO pH COM O TEMPO DE AGITAÇÃO — ENSAIOS COM ÁGUA DA MINA DE LAURO MÜLLER



da amostra e calcário TOMIO (mistura nº 4).

4) 98.76% de remoção para o mesmo diâmetro, mas reagindo com calcário CIMENVALE (mistura nº 12).

#### 5.1.1.3. Remoção da concentração do ferro total

Uma remoção do ferro acima de 70% no processo de neutralização de águas ácidas, é considerada, por HILL e WILMOTH (1971), um boa remoção deste teor.

Mantendo-se constante a dosagem em 1:2, tem-se os valores de (ver Tabela 5):

1) 82.0% de remoção quando se empregou diâmetros menores que 0.177 mm e calcário TOMIO (mistura nº 2).

2) 84.8% de remoção utilizando-se o mesmo diâmetro mas com calcário CIMENVALE (mistura nº 12).

3) 76.0% de remoção quando se utilizou a granulometria da amostra e calcário TOMIO (mistura nº 4).

4) 81,6% de remoção para o mesmo diâmetro mas com calcário CIMENVALE (mistura nº 12).

Nota-se pelos valores apresentados que a remoção também depende do teor de  $\text{CaCO}_3$  do calcário, quanto maior, melhor será esta remoção.



#### 5.1.1.4. Remoção da turbidez

A remoção da turbidez depende diretamente da quantidade de sólidos que são capazes de sedimentarem através da gravidade. Se a solução contém elevado teor de partículas com baixo peso específico, esta remoção será sem dúvida, pequena.

Mantendo constante a dosagem em 1:2, o valor médio de remoção da turbidez para o calcário TOMIO foi de 53.33%. Isto vem a comprovar que a água da mina de Lauro Müller contém uma grande quantidade de sólidos com baixo peso específico. Utilizando mesmo critério, tem-se como valor médio de remoção para o calcário CIMENVALE, na ordem de 63.33%; valor este, um pouco melhor que o anterior.

Com estes índices de remoção, a turbidez remanescente é na ordem de 40 mg/l de  $\text{SiO}_2$ , valor este perfeitamente aceitos em águas que deverão ser lançadas nos rios, devido ao fato de que, os próprios cursos d'águas naturais possuem turbidez nesta ordem.

#### 5.1.2. Com amostra d'água coletada junto ao pré-lavador da mina de URUSSANGA

Estes ensaios foram realizados com o objetivo de estudar a influência da velocidade de rotação do misturador (agitador), em termos de energia gasta com o tempo, no tocante ao

processo de neutralização. Esta análise será efetuada posteriormente.

Desse modo, somente as misturas nºs 32, 34, 36, 39 e 41 (Tabela 6), permitem uma análise baseada nos critérios usados para mina de Lauro Müller, ou sejam, diâmetros, rotação de 180 rpm e dosagens variadas.

#### 5.1.2.1. Influência sobre o pH

##### 1) Da granulometria do calcário

Como no caso anterior o diâmetro que se mostrou mais eficaz no aumento do pH, são os que passam na peneira nº 80 (diâmetro de  $< 0.177$  mm, conforme mostrado nas curvas de pH com o tempo (Gráfico 3). Desse modo, confirma-se a hipótese de que, quanto menor o diâmetro do calcário, mais solúvel ele é, portanto, mais rápidas serão as reações de neutralização.

##### 2) Da dosagem do calcário utilizado

Analogamente a análise feita para os ensaios com amostras d'água da mina de Lauro Müller, nota-se através das curvas do Gráfico 3, que a dosagem 1:2 se mostra satisfatória para a neutralização a níveis de pH = 5, enquanto, na dosagem 1:2,5 vai haver desperdício do reagente.

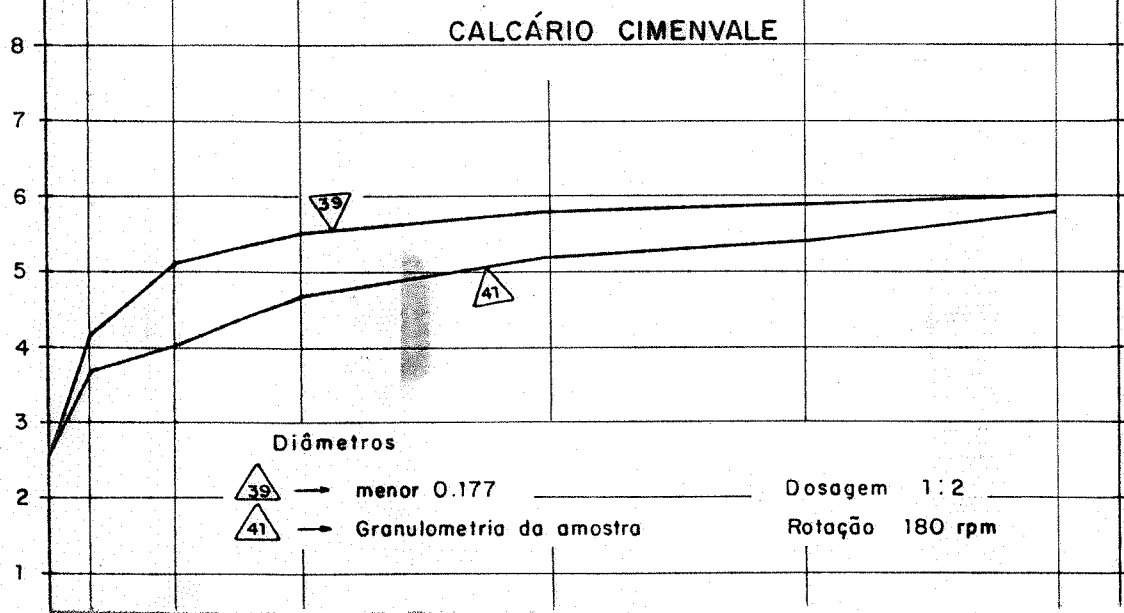
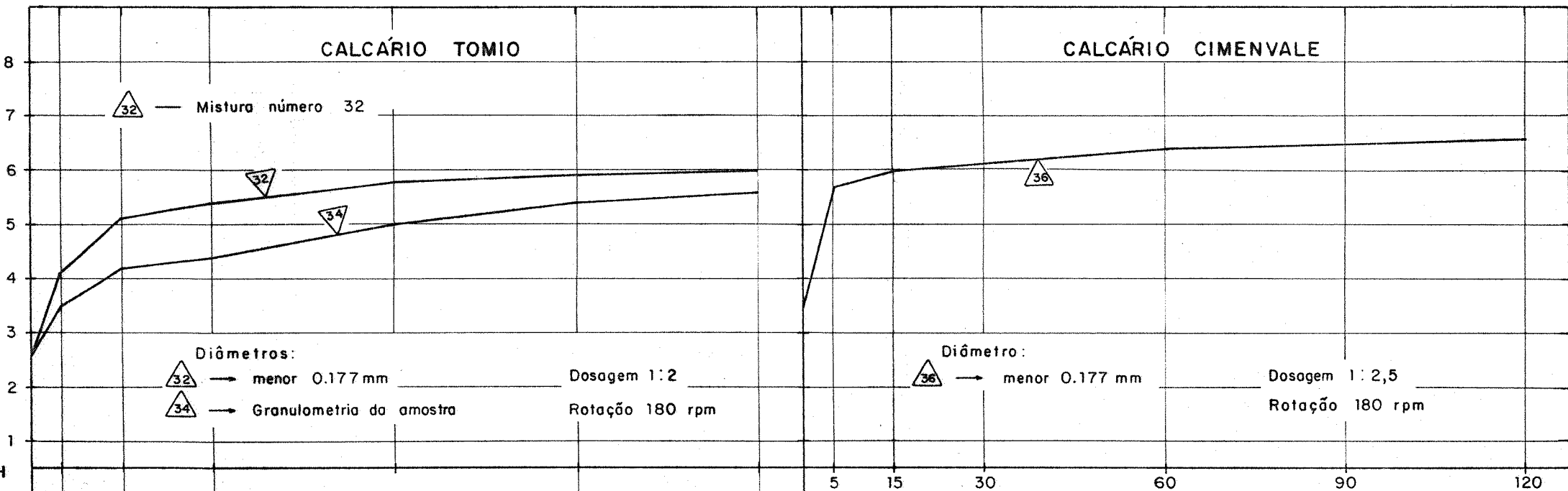


Gráfico 3.-  
 VARIAÇÃO DO pH COM O TEMPO DE AGITAÇÃO  
 ENSAIOS COM ÁGUA DO PRÉ-LAVADOR URUSSANGA

### 3) Do tipo de calcário

Através das misturas nºs 32, 33, 39 e 41, (Tabela 6) pode-se comparar a influência sobre a variação do pH com tipo de calcário, onde se conclui que o calcário CIMENVALE alcança melhores resultados (maior solubilidade).

#### 5.1.2.2. Remoção da concentração da acidez

Mantendo-se constante o valor da dosagem em 1:2, tem-se as seguintes percentagens de remoção da acidez:

1) 99.70% para o calcário TOMIO, com diâmetros inferiores a 0.177 mm (mistura nº 32).

2) 99.73% quando ensaiou-se o calcário CIMENVALE com o mesmo diâmetro (mistura nº 39).

3) 99.45% para o calcário TOMIO utilizando-se a granulometria da amostra (mistura nº 33).

4) 99.65% para a granulometria da amostra do calcário (mistura nº 41).

Mesmo com a remoção, em termos percentuais, dando muito próximas, não se pode admitir que elas sejam iguais. Devido o alto valor da acidez inicial, faz com que diferença seja significativa no tocante ao valor da acidez remanescente.

#### 5.1.2.3. Remoção da concentração do ferro total

Fixando-se a dosagem em 1:2, tem-se os seguintes valores de remoção do ferro (Tabela 6):

1) 95.75% para a mistura nº 32, em que se utilizou diâmetros inferiores a 0.177 mm e calcário TOMIO.

2) 96.75% na mistura nº 39, em que se utilizou calcário CIMENVALE com o mesmo diâmetro da mistura nº 32.

3) 95% da remoção na mistura nº 33, em que se empregou a granulometria da amostra e calcário TOMIO.

4) 96% de remoção na mistura nº 41, em que se utilizou calcário CIMENVALE, mantendo o mesmo diâmetro da mistura nº 33.

Nestes ensaios, pode-se notar, que a remoção do ferro total foi cerca de 16% a mais (valor médio) do que a remoção nos ensaios com águas da mina de Lauro Müller. Isto indica que a concentração do íon ferroso nas águas do pré-lavador de Urussanga, se encontra em quantidade (mg/l) inferior, que as águas de Lauro Müller ou em outras palavras, quase todo ferro do pré-lavador de Urussanga se encontra no estado férrico (já oxidado).

#### 5.1.2.4. Remoção da turbidez

Para as águas do pré-lavador não se determinou com exa

tidão o valor da turbidez, devido sua concentração elevada (água negra), seria necessário fazer diluições para conhecê-la. Como o mais importante é o valor da turbidez remanescente, preocupou-se somente em aferí-la e adotar como valor inicial, a escala máxima do Hellige (150 mg/l de  $\text{SiO}_2$ ). O valor médio residual, tanto nas reações com calcário TOMIO como CIMENVALE foi de 20 mg/l de  $\text{SiO}_2$ .

Estes resultados vem confirmar a hipótese de que as águas do pré-lavador da mina de Urussanga, contém mais ferro no estado férrico.

### 5.1.3 Com amostra d'água coletada diretamente da mina de Urussanga

#### 5.1.3.1. Influência sobre o pH

##### 1) Do diâmetro do calcário

Através dos resultados apresentado na Tabela 7 e pela análise das curvas, de pH com o tempo de agitação, no Gráfico 4, confirma-se mais ainda a hipótese de que maior solubilidade (menor diâmetro do calcário) as reações de neutralização, medidas através do pH, se dão mais rapidamente do que as reações com diâmetros superiores; no caso, a análise das curvas n<sup>o</sup>s 54, 60, 57 e 63, em que se emprega o menor diâmetro (< 0.177 mm) justificam este fato.

## 2) Da dosagem do calcário utilizada

Novamente a dosagem 1:2 se mostrou mais eficaz, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 7 e curvas do Gráfico 4, para a neutralização das águas ácidas da mina Urussanga empregando calcário.

## 3) Do tipo de calcário

Neste caso, o aumento do pH com o tempo de agitação foi praticamente iguais para os dois tipos de calcário.

### 5.1.3.2. Remoção da concentração da acidez

Mantendo-se constante o valor da dosagem em 1:2, tem-se os seguintes valores de remoção da acidez (Tabela 7):

1) 96.65% na mistura nº 54, quando se empregou diâmetros inferiores a 0.177 mm e calcário TOMIO.

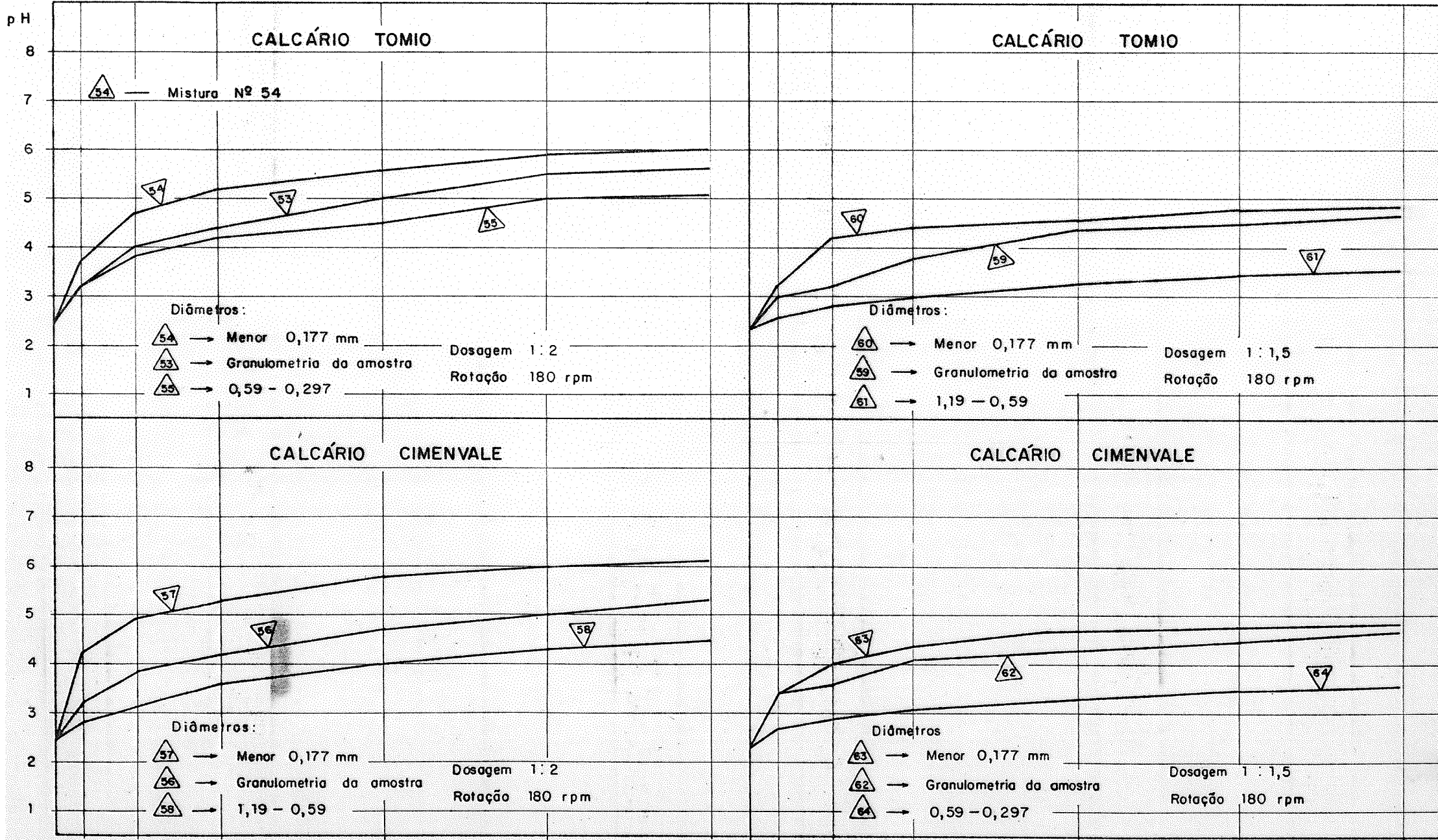
2) 97.17% na mistura nº 57, quando usou-se calcário CIMENVALE e o mesmo diâmetro da mistura nº 54.

3) 95.64% na mistura nº 53, para calcário TOMIO e diâmetros contidos na granulometria da amostra.

4) 95.05% na mistura nº 56, para calcário CIMENVALE e granulometria da amostra.

Nota-se que o resultado da remoção da acidez na mistura nº 56, em comparação a mistura nº 53, fura a hipótese de que maior velocidade nas reações de neutralização seja também influenciada pela concentração de carbonato de cálcio. Como

Gráfico 4 .- VARIAÇÃO DO pH COM O TEMPO DE AGITAÇÃO - ENSAIOS COM ÁGUA DA MINA DE URUSSANGA





esta foi a única experiência que este fato não se confirma, pode se supor que talvez o motivo esteja ligado a alguma influência externa, como por exemplo, que não se tenha alcançado a rotação de 180 rpm, provocado por uma maior resistência no movimento da roldana do agitador ou pode ter ocorrido um equívoco na pesagem do calcário. Desse modo, continua-se a afirmar que as reações de neutralização se processam de uma forma mais eficiente quando se utiliza como reagente, calcários com maior concentração de  $\text{CaCO}_3$ .

#### 5.1.3.3 Remoção da concentração de ferro total

Mantendo-se constante a dosagens em 1:2, tem-se as seguintes percentagens de remoção para o ferro (Tabela 7):

1) 96.82% na mistura nº 54 em que se utilizou calcário TOMIO e diâmetros inferiores a 0.177 mm.

2) 96.82% na mistura nº 57, onde foi mantida as mesmas condições de mistura nº 54, mas reagindo com calcário CIMENVALE.

3) 95.45% na mistura nº 53 em que se utilizou calcário TOMIO e diâmetros contidos na granulometria da amostra.

4) 95.45% na mistura nº 56, onde foi mantida as mesmas condições da mistura nº 53, mas reagindo com calcário CIMENVALE.

Nota-se que o valor de remoção do ferro foi praticamente

igual, para os dois tipos de calcário, isto vem demonstrar que a quase totalidade do ferro contido nas águas da mina de Urussanga, estão no estado férrico, devido sua capacidade em se precipitar com pH's em torno de 4.5.

#### 5.1.3.4 Remoção da turbidez

O valor médio da turbidez remanescente para os ensaios em que se empregou dosagem do calcário de 1:2, foi de 25 mg/l de  $\text{SiO}_2$  para as reações com calcário TOMIO e de 35 mg/l de  $\text{SiO}_2$  para ensaios com calcário CIMENVALE.

#### 5.1.4. Com amostras d'água coletada da mina de Siderópolis

Foram efetuados 5 ensaios com amostras da mina de sub-solo de Siderópolis onde 3 foram com calcário e 2 com cal.

A Tabela 8 mostra os resultados obtidos para as experiências com calcário. Pode-se constatar a tendência que vem se observando nos ensaios anteriores, de que as reações de neutralização se comportam melhor na presença de calcários com mais alto teor de carbonato de cálcio (misturas nºs 48 e 50) e, que a utilização de diâmetros contidos na granulometria da amostra e dosagem 1:2, tanto para calcário TOMIO como calcário CIMENVALE, produz resultados satisfatório para a neu

tralização, conforme curvas apresentadas no Gráfico 5.

## 5.2. Experiência com cal

Estes ensaios foram efetuados a fim de se obter dados capazes de fornecerem condições de comparação com os ensaios com calcário, em particular, no tocante aos custos de tratamento. Desse modo, efetuou-se os ensaios com cal, onde procurou-se variar e medir os mesmos parâmetros empregados nos ensaios com calcário, com a diferença nos diâmetros empregados; neste caso, somente usou-se a granulometria da amostra, fornecida pela mina produtora.

Utilizou-se dois tipos de cal:

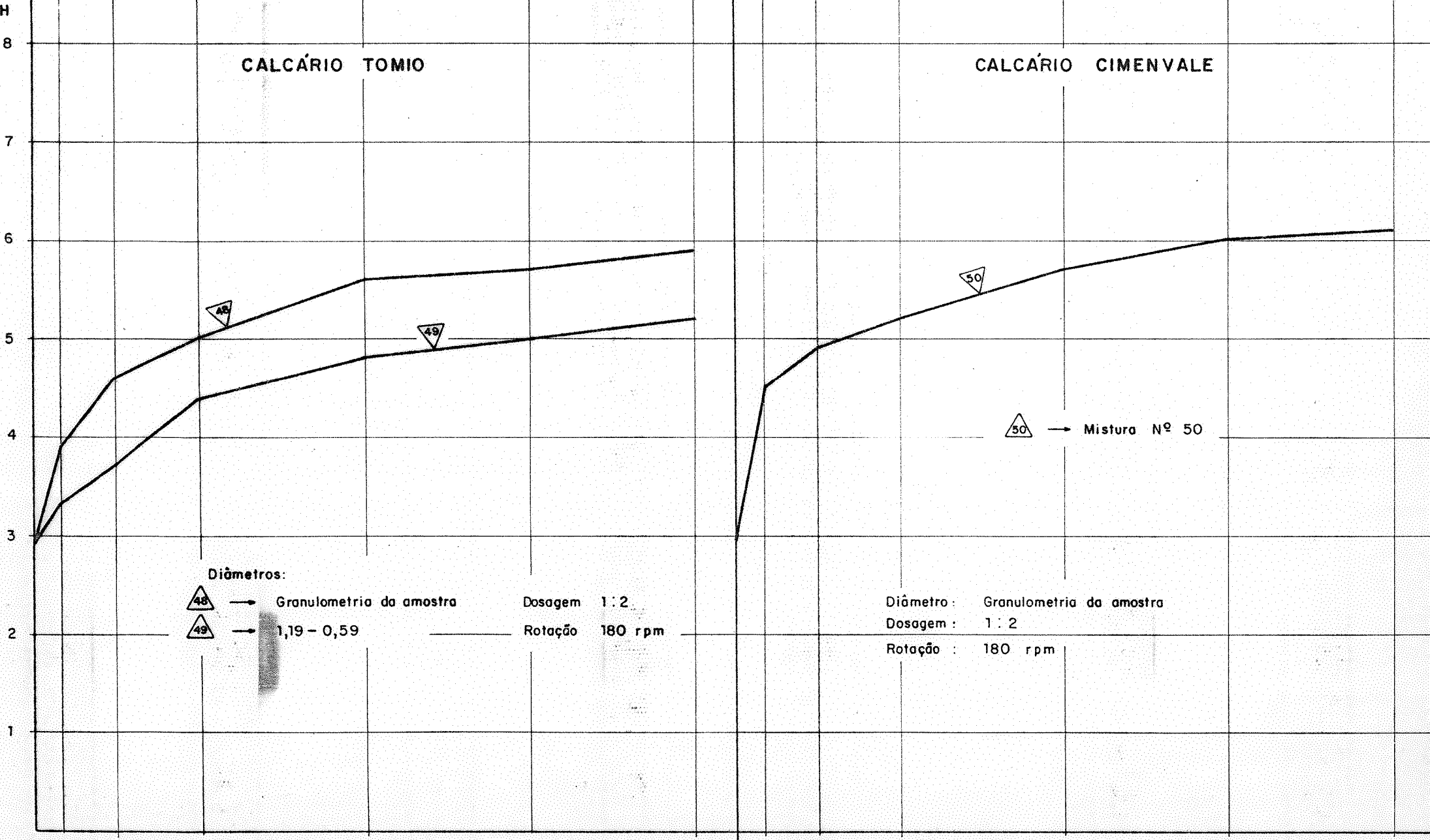
1) Cal TOMIO, refinado através do calcário TOMIO, cujo teor de  $\text{CaCO}_3$  é de 50.2%.

2) Cal CALSELE com teor de 62% de  $\text{CaCO}_3$ . Os resultados obtidos nos ensaios, juntamente com as condições em que foram efetuados, estão apresentados na Tabela 9.

### 5.2.1. Com amostras d'água coletada da mina de Lauro Müller

#### 5.2.1.1. Influência da dosagem

Gráfico 5.- VARIAÇÃO DO pH COM O TEMPO DE AGITAÇÃO — ENSAIOS COM ÁGUA DA MINA DE SIDERÓPOLES



Diâmetros:

48

→ Granulometria da amostra

Dosagem 1:2

49

→ 1,19 - 0,59

Rotação 180 rpm

Diâmetro: Granulometria da amostra

Dosagem: 1:2

Rotação: 180 rpm

50

→ Mistura Nº 50

### 1) Sobre a variação do pH

Através das curvas do Gráfico 8, construídas com os dados das misturas 7, 8, e 9 da Tabela 8, conclui-se que a dosagem 1:2 usada para a cal CALSELE e, por analogia, para a cal TOMIO é extremamente excessiva, enquanto, a dosagem 1:0,5 para a cal CALSELE produz resultados satisfatórios para a neutralização.

Devido a alta solubilidade da cal, as reações de neutralização se processam num tempo de agitação muito inferior quando comparado as reações com calcário; dependendo da dosagem empregada, este tempo pode ser cerca de 90% mais baixo.

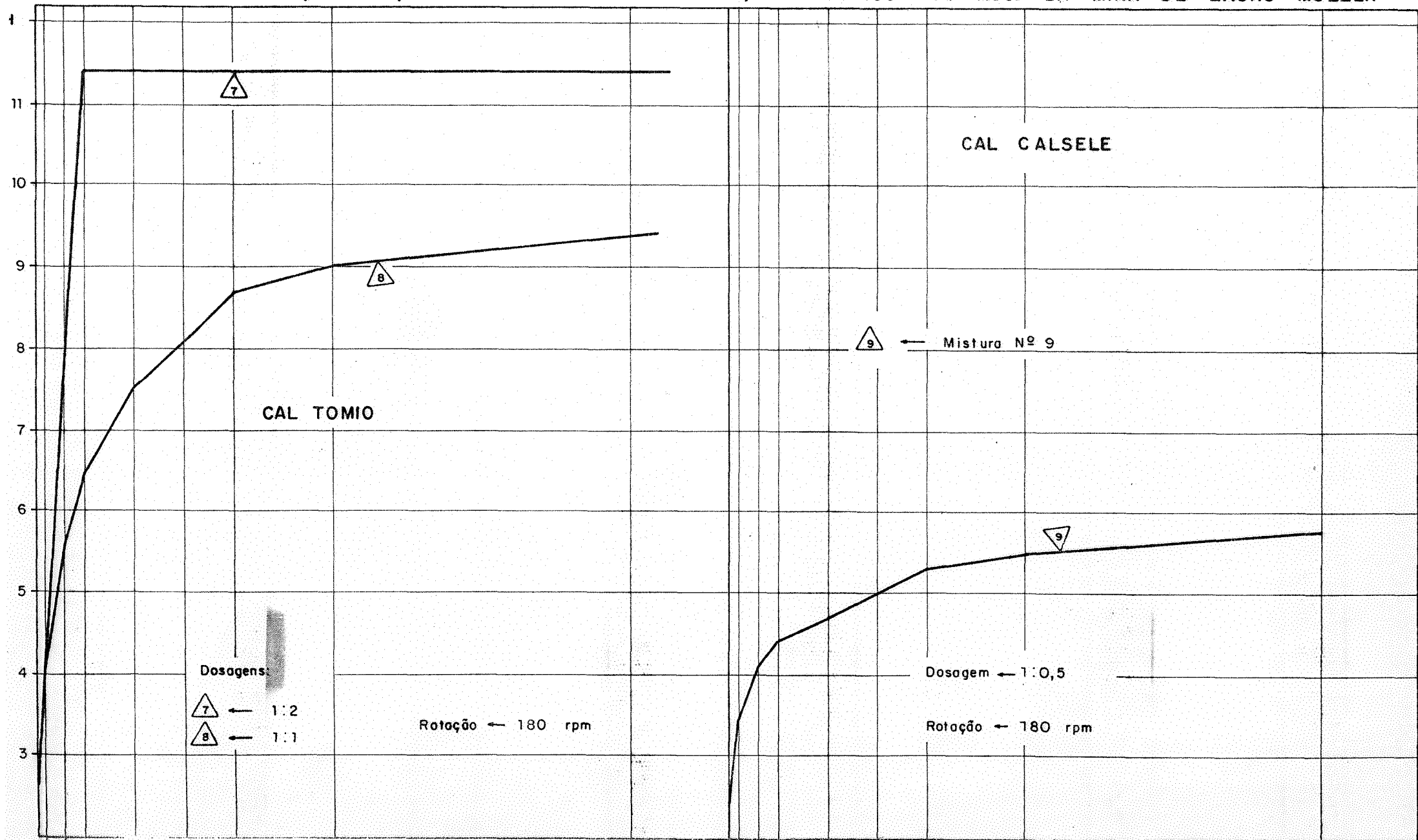
### 2) Sobre a remoção da acidez

As dosagens 1:2 com cal CALSELE (mistura nº 7) e 1:1 com cal TOMIO (mistura nº 8) foram consideradas excessivas, devido principalmente ao nível de pH alcançado, em que, para este nível toda acidez foi removida, mas em contrapartida, adicionou-se alcalinidade na água em níveis indesejáveis (pH > 9). A dosagem 1:0,5 considerada aceitável para elevação do pH com cal CALSELE, removeu cerca de 99.35% da acidez.

### 3) Sobre a remoção do ferro total

Considerando que as outras dosagens foram excessivas no tocante ao nível alcançado pelo pH, a dosagem 1:0,5 com cal CALSELE proporcionou uma redução de 95% da concentração de ferro.

Gráfico 8 - VARIACÃO DO pH COM O TEMPO DE AGITAÇÃO - ENSAIOS COM ÁGUA DA MINA DE LAURO MÜLLER



#### 4) Sobre a remoção da turbidez

A turbidez remanescente para as dosagens 1:2 e 1:1 foram iguais e seu valor é de 10 mg/l de  $\text{SiO}_2$  (Tabela 9), enquanto, para a de 1:0,5 (mistura nº 9), o valor remanescente é de 15 mg/l de  $\text{SiO}_2$ , cerca de 85% de remoção.

#### 5.2.2. Com amostra d'água coletada junto ao pré-lavador da mina de Urussanga

##### 5.2.2.1. Influência da dosagem

#### 1) Sobre a variação do pH

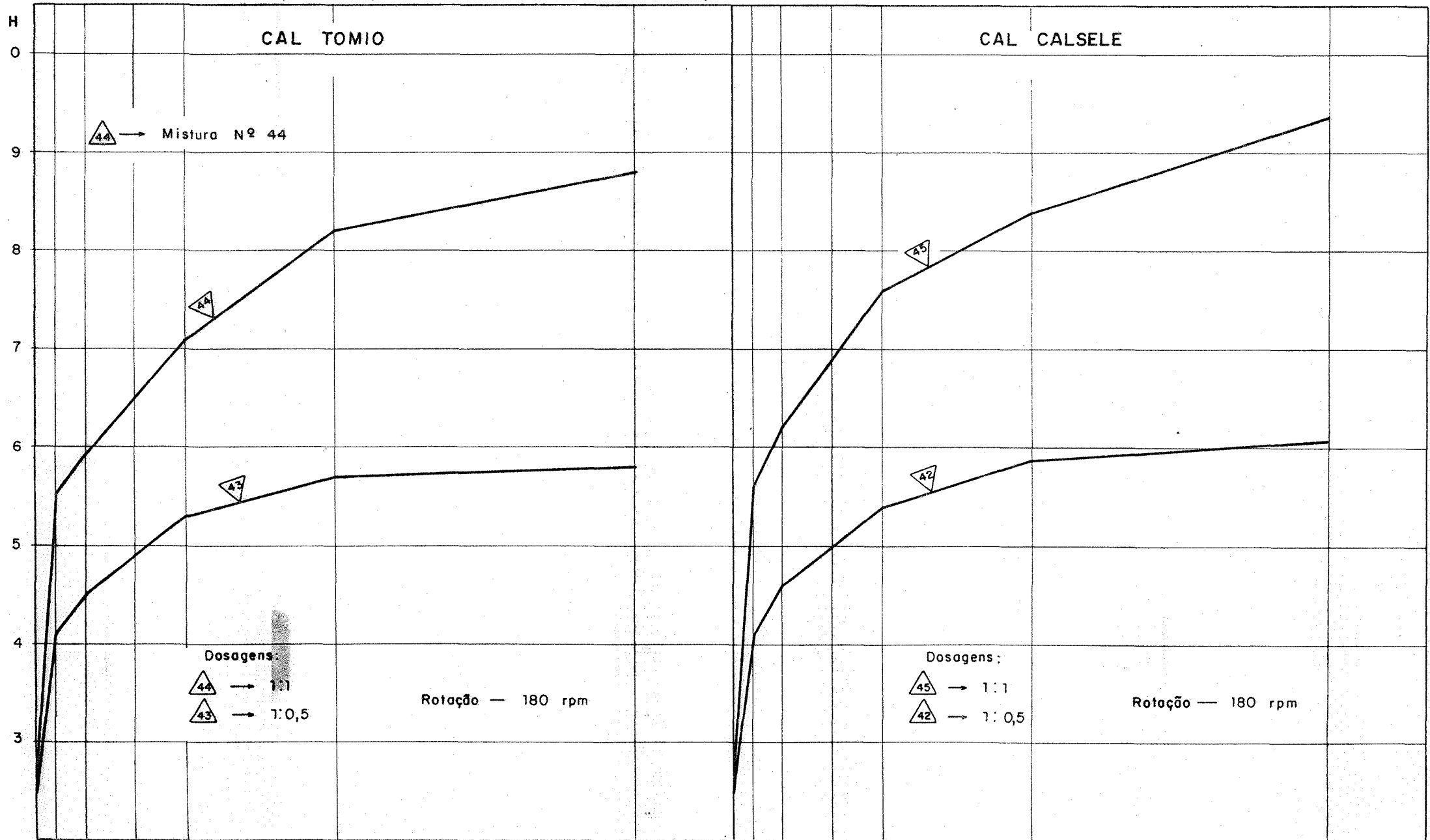
A dosagem de 1:0,5, tanto para a cal TOMIO como para a cal CALSELE, se comportou de maneira mais eficaz, conforme curvas de pH com o tempo de agitação, apresentadas no Gráfico 9.

#### 2) Sobre a remoção da acidez

A dosagem 1:1 tanto nas reações com cal TOMIO e CALSELE, é excessiva no tocante a neutralização, devido ao mesmo motivo anteriormente exposto: adição de alcalinidade ( $\text{pH} > 9$ ). Os índices de redução da concentração da acidez, para a dosagem de 1:0,5 foram:

- a) 99.87% para a cal TOMIO (mistura nº 43)
- b) 99.82% para a cal CALSELE (mistura nº 42)

Gráfico 9.- VARIAÇÃO DO pH COM O TEMPO DE AGITAÇÃO — ENSAIOS COM ÁGUA DO PRÉ-LAVADOR URUSSANGA





#### 4) Sobre a remoção da turbidez

A turbidez remanescente, para a dosagem de 1:0,5 foi de 10 mg/l de  $\text{SiO}_2$ , tanto para a cal TOMIO como CALSELE, perfazendo em torno de 90% de remoção.

### 5.2.3. Com amostra d'água coletada diretamente da mina de Urussanga

#### 5.2.3.1. Influência da dosagem

##### 1) Sobre a variação do pH

Nota-se, através das curvas da variação do pH com o tempo de agitação (Gráfico 10), plotadas conforme os dados da Tabela 9, que a dosagem 1:0,5, tanto para a cal TOMIO como cal CALSELE, reproduz resultados satisfatório no tocante a elevação do pH em níveis aceitáveis, enquanto, a dosagem 1:1 se mostra excessiva para a quantidade de cal a ser utilizada.

##### 2) Sobre a remoção da acidez

Os índices de remoção para dosagem 1:0,5 são:

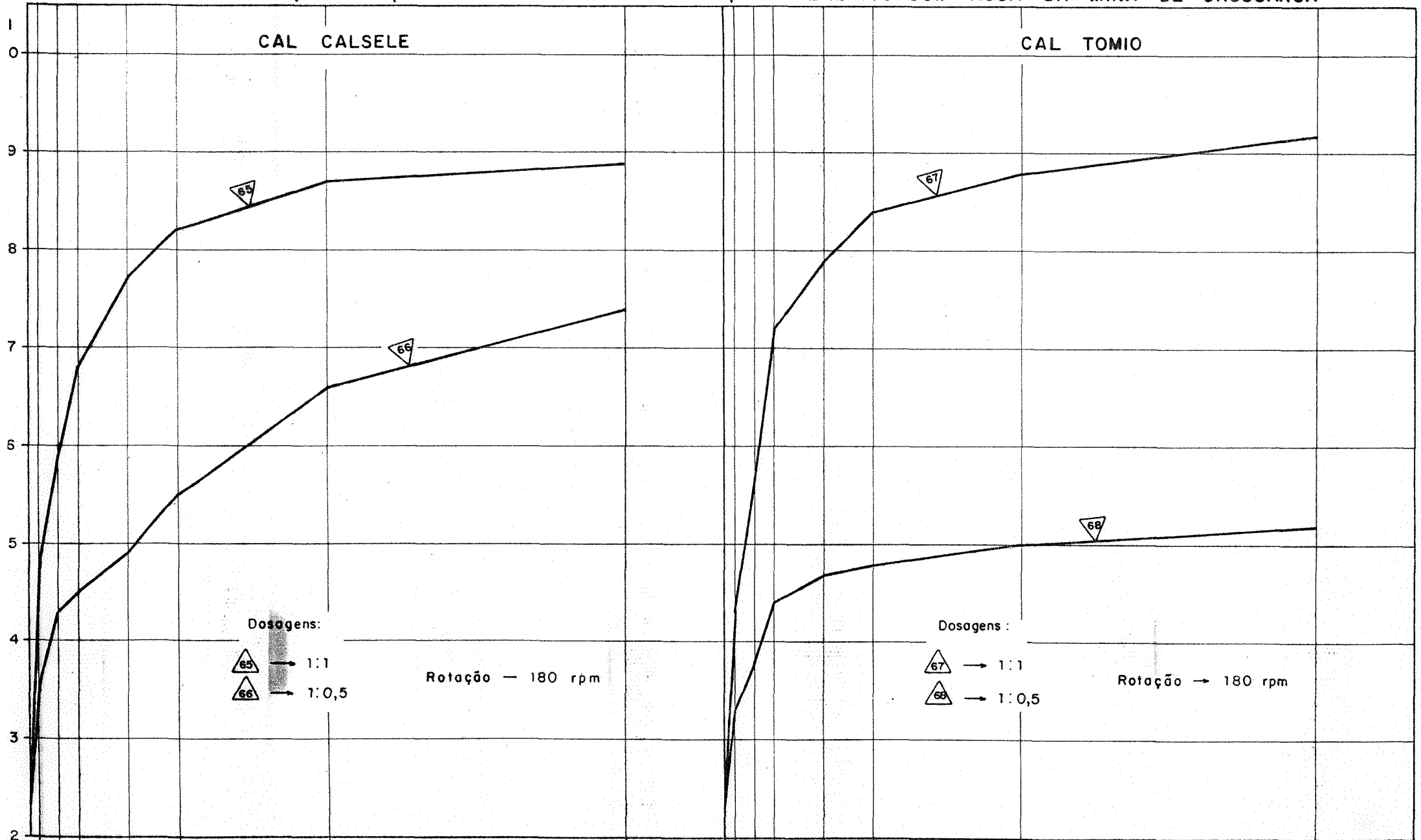
- a) 98.75% para a cal CALSELE (mistura nº 66)
- b) 97.67% para a cal TOMIO (mistura nº 68)

##### 3) Sobre a remoção do ferro total

Para a dosagem 1:0,5, os índices de remoção do ferro são:

- a) 95.45% para a cal CALSELE (mistura nº 66)

Gráfico 10.- VARIAÇÃO DO pH COM O TEMPO DE AGITAÇÃO — ENSAIOS COM ÁGUA DA MINA DE URUSSANGA



b) 90.91% para a cal TOMIO (mistura nº 68).

Enquanto, os índices de remoção para dosagem a 1:1 foram:

a) 97.27% para a cal CALSELE (mistura nº 65);

b) 97.27% para a cal TOMIO (mistura nº 67).

4) Sobre a remoção da turbidez

O valor da turbidez remanescente para a dosagem de 1:0,5 nas reações com cal TOMIO e CALSELE, foi de 30 mg/l de  $\text{SiO}_2$ , cujo valor percentual da remoção é cerca de 50%.

5.2.4. Com amostra de água coletada da mina de Siderópolis

Conforme foi observado nas reações com calcário, onde o teor de  $\text{CaCO}_3$  influe na velocidade de reação, este fato predomina também nas reações com cal. Observa-se que as reações com cal CALSELE (62% de  $\text{CaCO}_3$ ) proporcionaram um tempo de agitação inferior as reações com cal TOMIO (50.2% de  $\text{CaCO}_3$ ), conforme pode ser notado nas curvas dos Gráficos 9 e 10.

Devido ao fato de que somente se dispunha de amostra d'água suficiente para se efetuar duas experiências com cal, lançou-se mão desse fato para se determinar a dosagem de cal que melhor se adapte a esse tipo de água. Assim, utilizou-se nos dois ensaios a cal TOMIO e estendeu-se os resultados para as reações com cal CALSELE.

Desse modo, pode-se concluir, através das curvas do Gráfico 11, plotadas conforme dados da Tabela 9, que a dosagem 1:0,5 é suficiente para efetuar a neutralização da água de Siderópolis e, o índice de remoção de acidez, para esta dosagem, foi de 97,53%, para o ferro foi de 95%, enquanto o valor da turbidez remanescente foi de 15 mg/l de  $\text{SiO}_2$ .

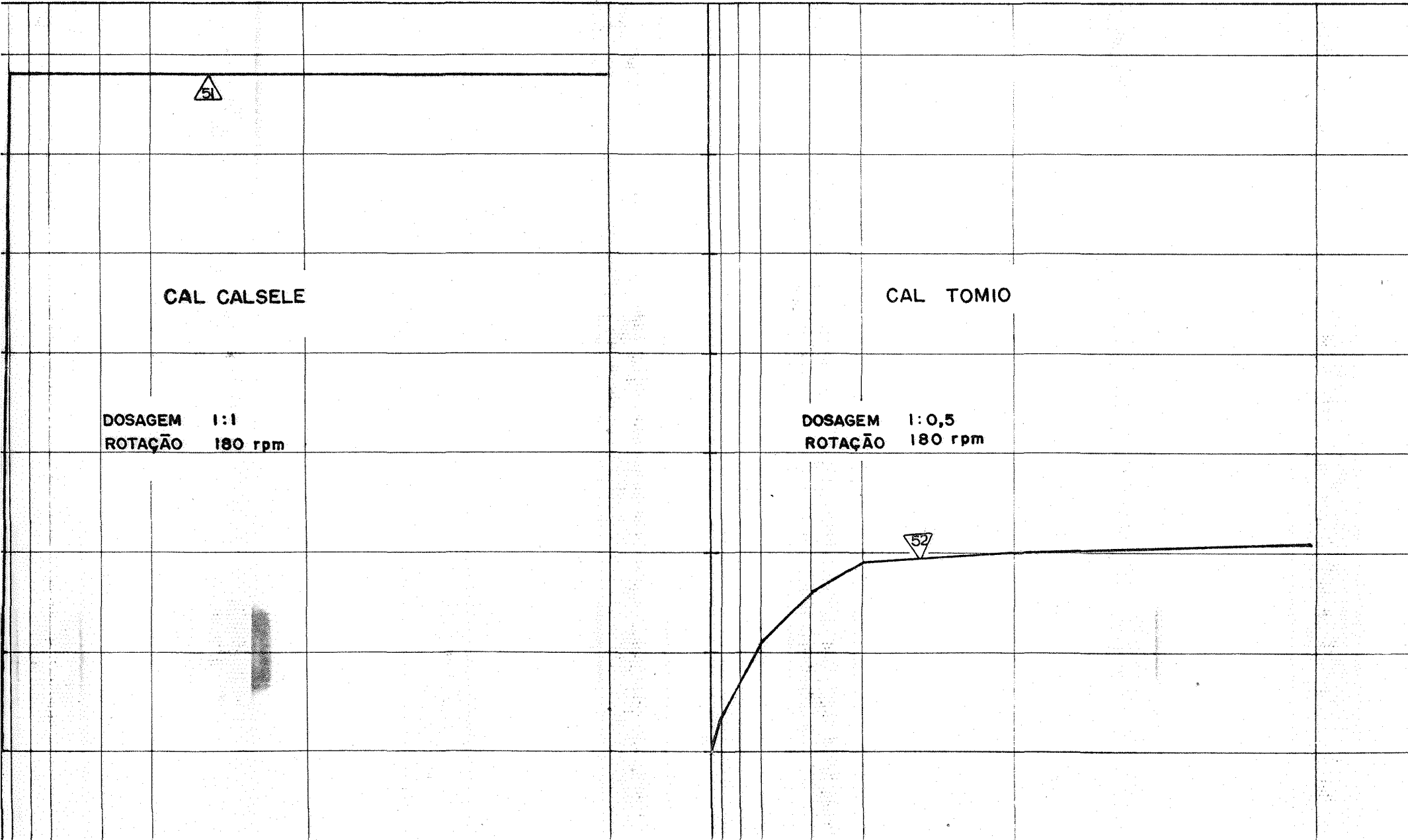
### 5.3. Influência do grau de turbulência mantido na massa líquida sobre as reações de neutralização.

Estes ensaios foram feitos com o objetivo de se determinar o grau de turbulência da massa líquida que melhor se adapta ao desenvolvimento das reações.

Com esta finalidade efetuou-se 12 ensaios de neutralização com amostra de água do pré-lavador da mina de Urussanga, conforme dados apresentados na Tabela 6. Para que se possa criar condições comparativas entre os ensaios, manteve-se constante todas as outras variáveis envolvidas no processo e manipulou-se somente com a rotação do agitador. Utilizou-se as rotações de 130 rpm, 155 rpm e 180 rpm.

Nos itens subsequentes faz-se uma análise do efeito provocado sobre a variação dos parâmetros, causado pelos diferentes graus de turbulência imprimido na massa líquida.

GRÁFICO 11 - VARIACÃO DO pH COM O TEMPO DE AGITAÇÃO - ENSAIOS COM ÁGUA DA MINA DE SIDEROPÓLIS



### 5.3.1. Sobre a variação do pH

As curvas dos Gráficos 6 e 7, plotadas através dos dados da Tabela 6, dão uma indicação sobre a influência das diferentes rotações sobre o aumento do pH.

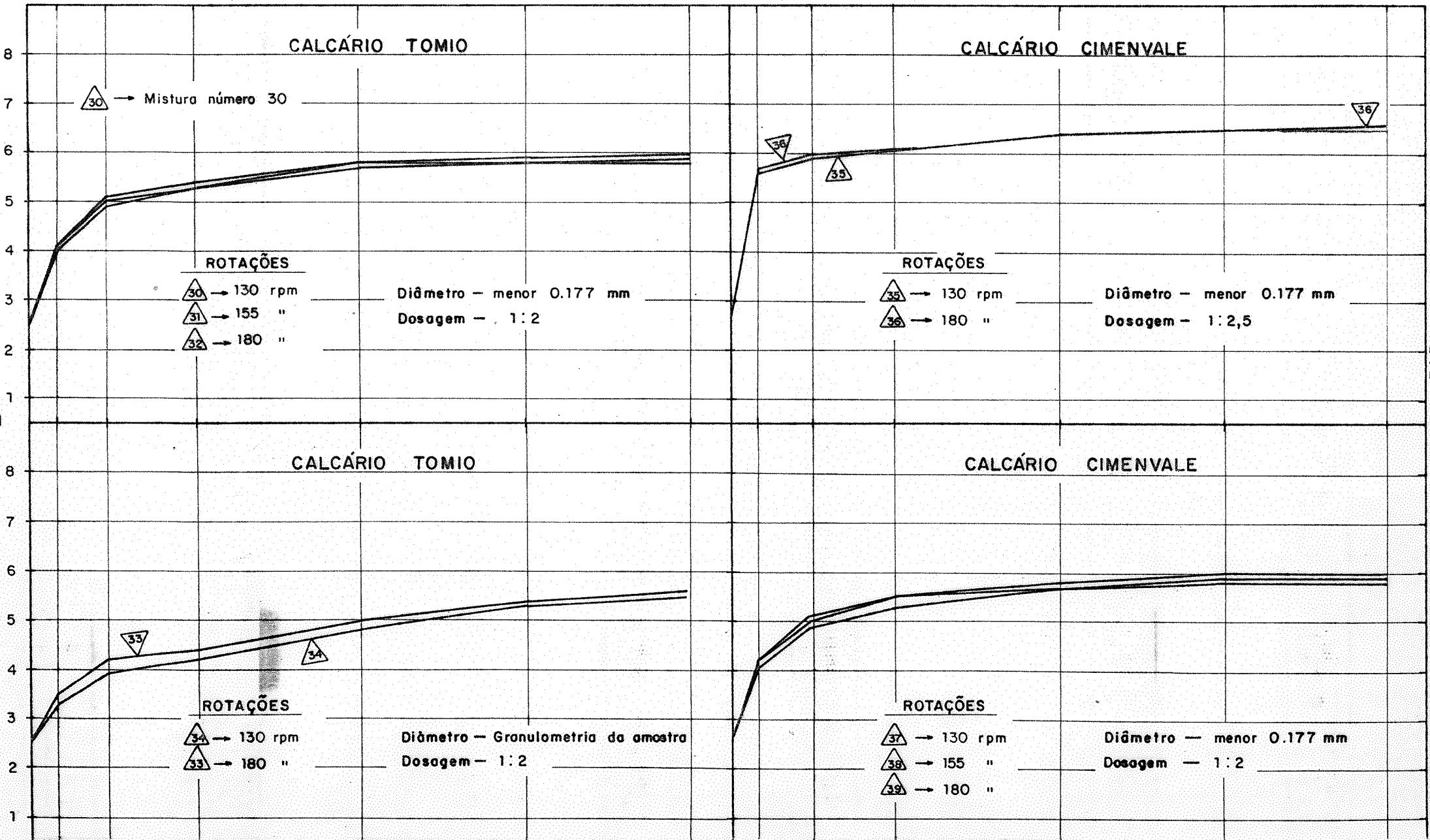
Nas reações com calcário TOMIO, não há, entretanto, uma diferença significativa do tempo de agitação, para se alcançar o nível de  $\text{pH} = 5$  para as 3 rotações utilizadas, quando se utilizou calcário com diâmetro menor que 0.177 mm. O tempo de agitação foi, praticamente, igual a 15 min. Nas reações em que se utilizou a granulometria da amostra, esse tempo variou um pouco para as rotações extremas, 60 min para a rotação de 180 rpm e cerca de 73 min para 130 rpm.

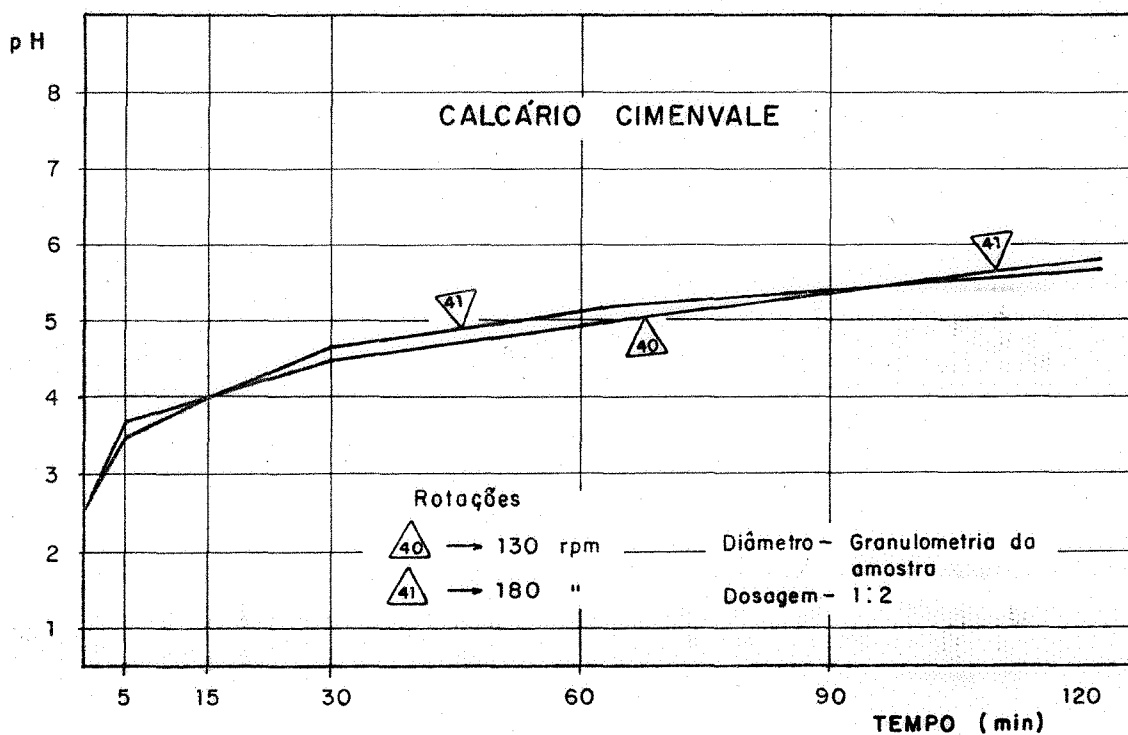
Nas reações com calcário CIMENVALE, os resultados foram análogos aos com calcário TOMIO. Praticamente coincidentes os tempos de agitação para as duas granulometrias empregadas.

### 5.3.2. Sobre a remoção da acidez

Como houve praticamente uma coincidência no valor final do pH para um tempo de agitação determinado, era de se esperar que o valor da remoção da acidez fosse praticamente iguais. Fato este confirmado pelos dados de remoção apresentados na Tabela 6, que são os seguintes:

Gráfico 6 — VARIAÇÃO DO pH COM O TEMPO DE AGITAÇÃO — ENSAIOS COM ÁGUA DO PRÉ-LAVADOR URUSSANGA.





**Gráfico 7.-**  
**VARIAÇÃO DO pH COM O TEMPO DE AGITAÇÃO**  
**ENSAIOS COM ÁGUA DO PRÉ-LAVADOR URUSSANGA**



- 1) 99.68% de remoção para 130 rpm (mistura nº 30)
- 2) 99.70% de remoção para 155 rpm (mistura nº 31)
- 3) 99.70% de remoção para 180 rpm (mistura nº 32)
- 4) 99.44% de remoção para 130 rpm (mistura nº 33)
- 5) 99.48% de remoção para 180 rpm (mistura nº 34)

Nas reações com calcário TOMIO. Enquanto os índices de remoção nas reações com calcário CIMENVALE são:

- 1) 99.77% de remoção para 130 rpm (mistura nº 35)
- 2) 99.78% de remoção para 180 rpm (mistura nº 36)
- 3) 99.64% de remoção para 130 rpm (mistura nº 37)
- 4) 99.68% de remoção para 155 rpm (mistura nº 38)
- 5) 99.69% de remoção para 180 rpm (mistura nº 39)
- 6) 99.58% de remoção para 130 rpm (mistura nº 40)
- 7) 99.65% de remoção para 180 rpm (mistura nº 41)

Como se nota os índices de remoção são praticamente iguais para as 3 rotações imprimidas no agitador.

### 5.3.3. Sobre a remoção do ferro total

Nos ensaios com calcário TOMIO os índices de remoção do ferro são (Tabela 6):

- 1) 95.50% de remoção para 130 rpm (mistura nº 30)
- 2) 97.75% de remoção para 155 rpm (mistura nº 31)
- 3) 97.75% de remoção para 180 rpm (mistura nº 32)

- 4) 95.0% de remoção para 130 rpm (mistura nº 33)
- 5) 95.25% de remoção para 180 rpm (mistura nº 34)

Nas experiências com calcário CIMENVALE tem-se o seguinte:

- 1) 98.5% de remoção para 130 rpm (mistura nº 35)
- 2) 98.55% de remoção para 180 rpm (mistura nº 36)
- 3) 96.25% de remoção para 130 rpm (mistura nº 37)
- 4) 96.50% de remoção para 155 rpm (mistura nº 38)
- 5) 96.75% de remoção para 180 rpm (mistura nº 39)
- 6) 95.50% de remoção para 130 rpm (mistura nº 40)
- 7) 96.0% de remoção para 180 rpm (mistura nº 41)

Como no caso da remoção da acidez, os índices de remoção do ferro, para as 3 rotações utilizadas, são praticamente iguais.

#### 5.3.4. Sobre a remoção da turbidez

Os valores da turbidez remanescente foram praticamente iguais para todas as experiências, oscilando em torno de 20 mg/l de  $\text{SiO}_2$ .

#### Conclusão

Poder-se-ia concluir de imediato que o grau de turbulência

não influi no tempo de reação e principalmente, não atua sobre a remoção dos parâmetros medidos. Sobre a remoção do ferro e da turbidez poderá afirmar-se que essa influência é mínima, porque suas remoções são mais diretamente dependentes da quantidade (dosagem) do reagente empregada, mas sobre o tempo de reação é notório e foi comprovado por diversos pesquisadores, que ele sofre um grande efeito do grau de turbulência em que a massa líquida é submetida. Desse modo, seriam necessário efetuar mais ensaios, fazer mais determinações a fim de determinar-se o grau de influência causado pelas diferentes rotações imprimidas.

#### 5.4. Análise do lodo produzido nas reações

A análise do lodo formado será feita através de suas propriedades mais importantes, isto é, sua velocidade de sedimentação, o volume produzido e a quantidade de sólidos contidos (concentração em peso).

Os resultados encontrados são apresentados nas Tabelas 10 a 13.

##### 5.4.1. Velocidade de sedimentação

A sedimentação do lodo pode caracterizar-se em 4 tipos diferentes:

Tabela 10. Dados do comportamento do lodo - ensaios com água da mina de Lauro Müller

MISTURA Nº	DIÂMETRO DO CÁLCÃO (mm)	DOSAGEM Qde por litro (g/l)	pH DA MISTURA	VOLUME INICIAL (ml)	TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO										Velocidade sediment. (Cm/min.)	Sólidos (concentração em peso) g/l			
					2min	5min	10min	20min	30min	60min	6hs	14hs	20hs	24hs					
1	Calcário	Menor	1:2.5 / 10,69	6.3	1000	Vol.Sedim. (ml)					130	110				9.81			
	Tomio	0.177				% do Vol. Inicial					13	11							
3	"	Gran. Amostra	1:2.5 / 10,69	6.2	"	Vol.Sedim. (ml)					120	100				11.43			
						% do Vol. Inicial					12	10							
5	"	0.297-0.177	1:2,5 / 10,69	5.7	"	Vol.Sedim. (ml)					120	100				12.86			
						% do Vol. Inicial					12	10							
2	"	Menor	1:2 / 8,55	5.9	"	Vol.Sedim. (ml)					120	90				8.32			
		0.177				% do Vol. Inicial					12	9							
4	"	Gran. Amostra	1:2 / 8,55	5.6	"	Vol.Sedim. (ml)					100	80				9.20			
						% do Vol. Inicial					10	8							
6	"	0.59-0.297	1:2 / 8,55	5.3	"	Vol.Sedim. (ml)					90	70				9.70			
						% do Vol. Inicial					9	7							
10	Calcário Cimenvale	Menor	1:2 / 6,70	6.1	"	Vol.Sedim. (ml)					130	110				6.38			
		0.177				% do Vol. Inicial					13	11							
12	"	Gran. Amostra	1:2 / 6,70	5,4	"	Vol.Sedim. (ml)					100	70				6.58			
						% do Vol. Inicial					10	7							
14	"	1.19-0.59	1:2 / 6,70	4.4	"	Vol.Sedim. (ml)					80	50				6.78			
						% do Vol. Inicial					8	5							
11	"	Menor	1:1.5 / 5,03	4.7	"	Vol.Sedim. (ml)					100	90				4.32			
		0.177				% do Vol. Inicial					10	9							
13	"	Gran. Amostra	1:1.5 / 5,03	4.6	"	Vol.Sedim. (ml)					80	60				4.84			
						% do Vol. Inicial					8	6							
15	"	0.297-0.177	1:1.5 / 5,03	3.9	"	Vol.Sedim. (ml)					90	60				4.70			
						% do Vol. Inicial					9	6							
7	Cal Calsele	-	1:2 / 5,52	11.2	"	Vol.Sedim. (ml)					980	950	900	800	700	480	300	0.34	3.21
						% do Vol. Inicial					98	95	90	80	70	48	30		
9	"	-	1:0.5 / 1,38	5.9	"	Vol.Sedim. (ml)					900	600	300	250	200	150	100	1.31	1.11
						% do Vol. Inicial					90	60	30	25	20	15	10		
8	Cal Tomio	-	1:1 / 3,41	9.4	"	Vol.Sedim. (ml)					950	810	690	440	310	250	200	0.80	2.41
						% do Vol. Inicial					95	81	69	44	31	25	20		

Tabela 11. Dados do comportamento do lodo - ensaios com água do pré-lavador de Urussanga

Nº	REAGENTE	DÍAMETRO D. CALCÍ- RIO (mm)	DOSAGEM Qde por litro (g/l)	pH DA MISTURA	VOLUME INICIAL (ml)	TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO										Velocidade sediment. (Cm/min.)	Sólidos (concentra- ção em pe- so) g/l
						2min	5min	10min	20min	30min	60min	6hs	14hs	20hs	24hs		
30	Calcário Tomio	Menor 0.177	1:2 / 25.52	5.8	1000	Vol.Sedim.(ml)	760	600	300	150	130	100		80	1.48	28.16	
						% do Vol.Inicial	76	60	30	15	13	10		8			
33	" Gran. Amostra	" 0.177	1:2 / 25.52	5.5	"	Vol.Sedim.(ml)	720	550	250	170	140	110		100	1.58	29.81	
						% do Vol.Inicial	72	55	25	17	14	11		10			
35	Calcário Cimenvale	Menor 0.177	1:2.5 / 25.02	6.5	"	Vol.Sedim.(ml)	790	610	400	200	170	130		110	1.34	28.43	
						% do Vol.Inicial	79	61	40	20	17	13		11			
37	" "	" "	1:2 / 20.0	5.8	"	Vol.Sedim.(ml)	700	500	210	150	130	120		100	1.67	23.11	
						% do Vol.Inicial	70	50	21	15	13	12		10			
41	" Gran Amostra	" "	1:2 / 20.0	5.8	"	Vol.Sedim.(ml)	660	450	200	150	130	130		120	1.75	23.76	
						% do Vol.Inicial	66	45	20	15	13	13		12			
42	Cal Calsele	-	1:0.5 / 4.12	6.5	"	Vol.Sedim.(ml)	920	770	600	300	250	200		150	0.95	5.31	
						% do Vol.Inicial	92	77	60	30	25	20		15			
43	Cal Tomio	-	1:0.5 / 5.08	5.8	"	Vol.Sedim.(ml)	920	850	650	400	250	200		150	0.86	7.58	
						% do Vol.Inicial	92	85	65	40	25	20		15			
44	" "	-	1:1 / 10.17	9.1	"	Vol.Sedim.(ml)	950	900	800	600	500	350		250	0.57	12.73	
						% do Vol.Inicial	95	90	80	60	50	35		25			
45	Cal Calsele	-	1:1 / 8.24	9.6	"	Vol.Sedim.(ml)	950	850	700	500	400	300		220	0.72	9.64	
						% do Vol.Inicial	95	85	70	50	40	30		22			

Tabela 12. Dados do comportamento do lodo - ensaios com água da mina de Urussanga

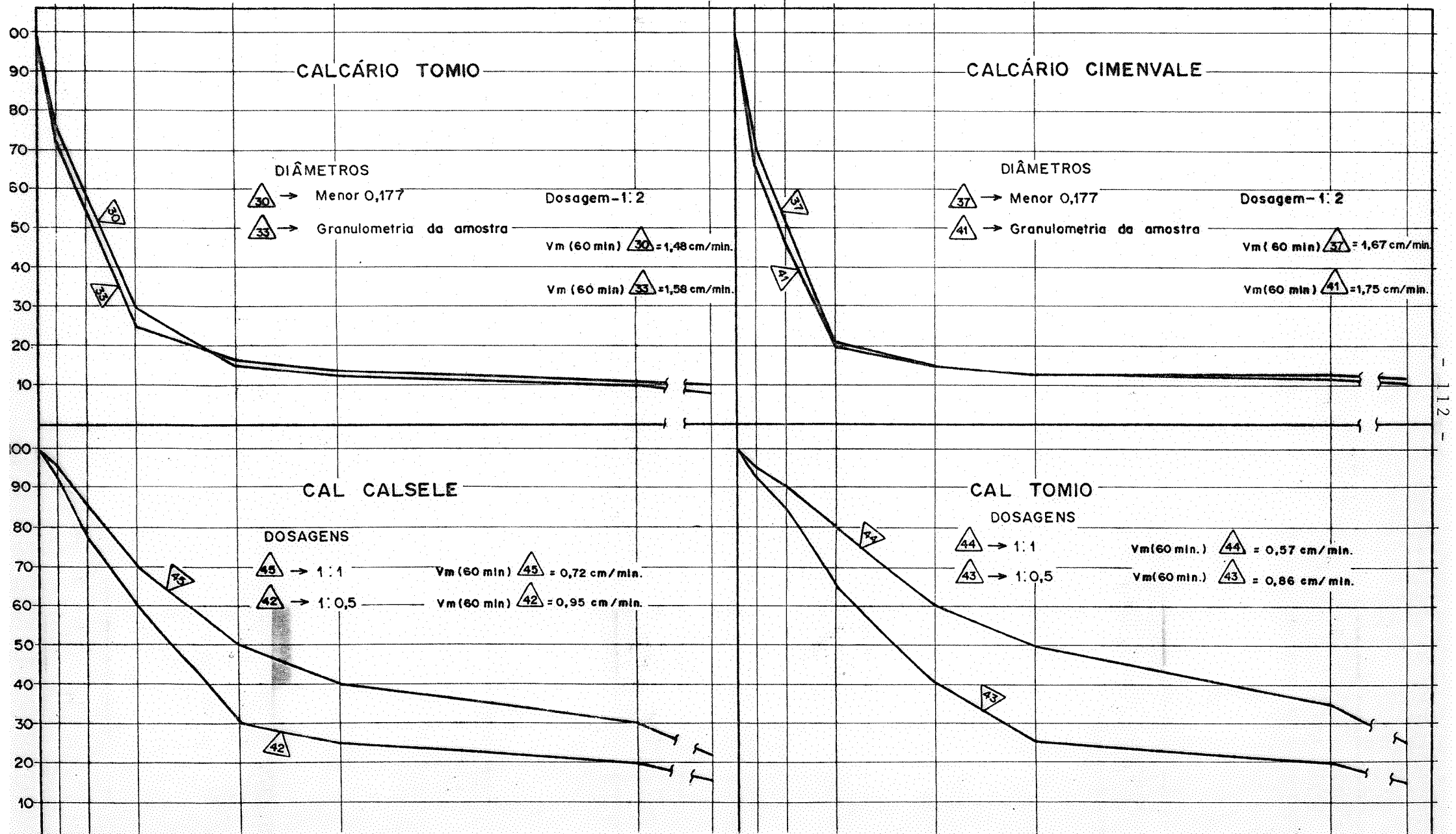
MISTURA Nº	REAGENTE	DIÂMETRO DO CALÇÃO RIO (mm)	DOSAGEM / Qde por litro (g/l)	pH DA MISTURA	VOLUME INICIAL (ml)	TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO										Velocidade sediment. (Cm/min.)	Sólidos (concentração em peso) g/l
						2min	5min	10min	20min	30min	60min	6hs	14hs	20hs	24hs		
53	Calcário Tomio	Gran. Amostra	1:2 / 2.10	5.6	1000	Vol.Sedim.(ml)						10			8		2.29
						% do Vol.Inicial						1.0			0.8		
54	"	< 0.177	1:2 / 2.10	6.0	"	Vol.Sedim.(ml)						13			7		1.83
						% do Vol.Inicial						1.3			0.7		
55	"	0.59-0.297	1:2 / 2.10	5.1	"	Vol.Sedim.(ml)						10			6		2.75
						% do Vol.Inicial						1.0			0.6		
59	"	Gran. Amostra	1:1,5 / 1.58	4.7	"	Vol.Sedim.(ml)						15			6		1.77
						% do Vol.Inicial						1.5			0.6		
60	"	< 0.177	1:1.5 / 1.58	4.9	"	Vol.Sedim.(ml)						15			6		1.54
						% do Vol.Inicial						1.5			0.6		
61	"	1.19-0.59	1:1.5 / 1.58	3.6	"	Vol.Sedim.(ml)											-
						% do Vol.Inicial											
56	Calcário Cimenvale	Gran. Amostra	1:2 / 1.65	5.4	"	Vol.Sedim.(ml)						15			10		1.82
						% do Vol.Inicial						1.5			1.0		
57	"	< 0.177	1:2 / 1.65	6.1	"	Vol.Sedim.(ml)						20			12		1.55
						% do Vol.Inicial						2.0			1.2		
58	"	1.19-0.59	1:2 / 1.65	4.5	"	Vol.Sedim.(ml)											-
						% do Vol.Inicial											
62	"	Gran. Amostra	1:1.5 / 1.24	4.7	"	Vol.Sedim.(ml)						10			4		1.41
						% do Vol.Inicial						1.0			0.4		
63	"	< 0.177	1:1.5 / 1.24	4.9	"	Vol.Sedim.(ml)						15			10		1.12
						% do Vol.Inicial						1.5			1.0		
64	"	0.59-0.297	1:1.5 / 1.24	3.6	"	Vol.Sedim.(ml)											-
						% do Vol.Inicial											
65	Cal Calsele	-	1:1 / 0.68	8.9	"	Vol.Sedim.(ml)						30			20		0.84
						% do Vol.Inicial						3.0			2.0		
66	"	-	1:0.5 / 0.34	7.4	"	Vol.Sedim.(ml)						20			10		0.69
						% do Vol.Inicial						2.0			1.0		
67	Cal Tomio	-	1:1 / 0.84	9.2	"	Vol.Sedim.(ml)						20			20		1.31
						% do Vol.Inicial						2.0			2.0		
68	"	-	1:0.5 / 0.42	5.2	"	Vol.Sedim.(ml)						15			15		1.0
						% do Vol.Inicial						1.5			1.5		

IPH - DOCUMENTAÇÃO - BIBLIOTECA

Tabela 13. Dados do comportamento do lodo - ensaios com água da mina de Siderópolis

MISTURA Nº	REAGENTE	DIÂMETRO DO CALCÃO RIO (mm)	DOSAGEM Qde por litro (g/l)	pH DA MISTURA	VOLUME INICIAL (ml)	TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO								Sólidos (concentração em peso) g/l		
						2min	5min	10min	20min	30min	60min	6hs	14hs		20hs	24hs
48	Calcário Tomio	Gran Amostra	1:2 / 1.90	5.9	1000	Vol.Sedim.(ml)						5		5		
						% do Vol.Inicial						0.5		0.5		
49	"	1.19- 0.59	1:2 / 1.90	5.2	"	Vol.Sedim.(ml)						10		7		
						% do Vol.Inicial						1.0		0.7		
50	Calcário Cimenvale	Gran Amostra	1:2 / 1.49	6.1	"	Vol.Sedim.(ml)						10		8		
						% do Vol.Inicial						1.0		0.8		
51	Cal Caisele	-	1:1 / 0.61	9.8	"	Vol.Sedim.(ml)								18		
						% do Vol.Inicial								1.8		
52	Cal Tomio	-	1:0.5 / 0.38	5.1	"	Vol.Sedim.(ml)								10		
						% do Vol.Inicial								1.0		

Gráfico 12 — CURVAS DE SEDIMENTAÇÃO DO LODO — ENSAIOS COM ÁGUA DO PRÉ-LAVADOR URUSSANGA





xa (Gráfico 13).

4) Tipo IV - caracterizado através da sedimentação do líquido resultante dos ensaios com cal, onde a concentração inicial da acidez era inferior a 500 mg/l de  $\text{CaCO}_3$ . Neste caso, o tipo de sedimentação observado foi parecido ao primeiro: não houve separação da interfase, dois tamanhos de flocos e a velocidade de sedimentação aproximadamente iguais.

#### 5.4.2 Volume produzido

O volume de lodo produzido foi determinado pela medição (em ml) do lodo formado no fundo da proveta, depois de um período médio de 20 horas de sedimentação da mistura.

##### 5.4.2.1. Para sedimentação tipo I

##### 1) Nas reações com água da mina de Lauro Müller e calcário TOMIO

Os volumes médios, calculados de acordo com os dados da Tabela 10, são:

a) 104 ml/l quando se empregou 10.69 g de calcário (dosagem 1:2,5) para 1 litro de água ácida;

b) 80 ml/l para quantidade de 8.55 g de calcário (dosagem 1:2), para 1 litro de água ácida.

2) Nas reações com água da mina de Lauro Müller e calcário CIMENVALE

Os volumes médios, obtidos da mesma Tabela são:

a) 77 ml/l quando se utilizou 6.70 g de calcário (dosagem 1:2) para 1 litro de água ácida;

b) 70 ml/l para quantidade de 5.03 g (dosagem 1:1,5) para o mesmo volume de água bruta.

3) Nas reações com água da mina de Urussanga e calcário TOMIO

Os volumes médios, determinados em função dos dados contidos na Tabela 12, são:

a) 7 ml/l para quantidade de calcário de 2.10 g (dosagem 1:2) em 1 litro de água ácida;

b) 6 ml/l para 1.58 g de calcário empregado (dosagem 1:1,5) para o mesmo volume.

4) Nas reações com água da mina de Urussanga e calcário CIMENVALE

Os volumes médios, determinados em função dos dados da Tabela 12, são:

a) 11 ml/l para quantidade de calcário de 1.65 g (dosagem 1:2) em 1 litro de água;

b) 7 ml/l quando se reagiu 1.24 g de calcário (dosagem 1:1,5) com 1 litro de água.

5) Nas reações com água da mina de Siderópolis e calcário TOMIO

O volume médio, calculado através dos dados da Tabela 13, em que se usou 1.20 g (dosagem 1:2) do reagente por litro de amostra de água é:

- 6 ml/l -

6) Nas reações com água da mina de Siderópolis e calcário CIMENVALE

O volume produzido por 1.49 g de calcário por litro de amostra de água foi de:

- 8 ml/l -

#### 5.4.2.2. Para sedimentação tipo II

1) Nas reações com água do pré-lavador da mina de Urusanga e calcário TOMIO

O volume médio formado foi de 90 ml por litro de amostra, quando foram aplicados 25.52 g de calcário (dosagem 1:2); Tabela 11.

2) Nas reações com água do pré-lavador da mina de Urusanga e calcário CIMENVALE

O volume formado foi de 110 ml por litro de amostra d'água, quando foram aplicados 25.02 g de calcário (dosagem 1:2,5); Tabela 11.

Com a aplicação de 20 g de calcário por litro de amostra (dosagem 1:2), o volume médio formado foi de 100 ml.

b) 150 ml/l produzidos para 4.12 g de cal (dosagem 1:0,5), mistura nº 42, Tabela 11.

#### 5.4.2.4. Para sedimentação tipo IV

1) Nas reações com água da mina de Urussanga e cal TOMIO

a) 20 ml/l produzidos quando se usou 0,84 g (dosagem 1:1) de cal por litro de amostra; mistura nº 67, Tabela 12;

b) 15 ml/l produzidos com 0.42 g (dosagem 1:0,5) do reagente; mistura nº 68, Tabela 12.

2) Nas reações com água da mina de Urussanga e cal CALSELE

a) 20 ml/l produzidos quando se utilizou a quantidade de cal igual a 0.68 g (dosagem 1:1); mistura nº 65, Tabela 12;

b) 10 ml/l para 0.34 g do reagente (dosagem 1:0,5); mistura nº 66, Tabela 12.

3) Nas reações com água da mina de Siderópolis

a) 10 ml/l para cal TOMIO cuja quantidade empregada foi de 0.38 g (dosagem 1:0,5); mistura nº 52, Tabela 13;

b) 18 ml/l para a cal CALSELE cuja quantidade usada foi de 0.61 g (dosagem 1:1); mistura nº 51, Tabela 13.

### 5.4.3. Concentração em peso (g/l) do lodo produzido

#### 5.4.3.1. Nas experiências com amostra d'água da mina de Lauro Müller

Os valores médios da concentração, calculados através dos dados da Tabela 10, para as reações com calcário TOMIO, foram:

a) 11.37 g/l quando se usou 10.69 g (dosagem 1:2,5) do reagente (misturas nºs 1, 3 e 5);

b) 9.07 g/l quando se utilizou 8.55 g (dosagem 1:2) do reagente (mistura nºs 2, 4 e 6).

Enquanto, nas reações com calcário CIMENVALE, os valores médios encontrados (Tabela 10) foram:

a) 6.58 g/l quando se usou 6.70 g (dosagem 1:2) do reagente (misturas nºs 10, 12 e 14);

b) 4.62 g/l resultante da aplicação de 5.03 g de calcário (dosagem 1:1,5); misturas nºs 11, 13 e 15.

Nas reações com cal encontrou-se os seguintes resultados (Tabela 10):

a) 3.21 g/l resultante da aplicação de 5.52 g de cal CALSELE (dosagem 1:2; mistura nº 7;

b) 1.11 g/l resultante da aplicação de 1.38 g de cal CALSELE (dosagem 1:0,5); mistura nº 9;

c) 2.41 g/l resultante da aplicação da cal TOMIO na quan

tidade de 3.41 g (dosagem 1:1); mistura nº 8.

5.4.3.2. Nas experiências com amostra d'água do pré-lavador da mina de Urussanga (Tabela 11)

Os valores médios, para reações com calcário TOMIO, foram:

a) 28.99 g/l quando se utilizou 25.52 g (dosagem 1:2) do reagente; misturas nºs 30 e 33.

Enquanto, as concentrações do lodo resultantes das reações com calcário CIMENVALE foram:

a) 28.43 g/l para quantidade de calcário empregada de 25.02 g (dosagem 1:2,5); mistura nº 35;

b) 23.44 g/l para quantidade de calcário empregada de 20.0 g (dosagem 1:2); misturas nºs 37 e 41.

Para as reações com cal as concentrações obtidas foram:

a) 9.64 g/l resultante das reações com cal CALSELE quando se usou a quantidade de 8.24 g do reagente (dosagem 1:1); mistura nº 45;

b) 5.31 g/l resultantes das reações com cal CALSELE quando se usou a quantidade de 4.12 g do reagente (dosagem 1:0,5); mistura nº 42;

c) 12.73 g/l resultantes das reações com cal TOMIO quando se usou 10.17 g do reagente (dosagem 1:1); mistura nº 44;

d) 7.58 g/l resultante da reação com cal TOMIO quando

se usou 5.08 g do reagente (dosagem 1:0,5); mistura nº 43.

5.4.3.3. Nas experiências com amostra d'água da mina de  
Urussanga (Tabela 12)

Os valores médios da concentração para reações com cal  
cário TOMIO, são:

a) 2.29 g/l quando se empregou 2.10 g (dosagem 1:2) do  
calcário ; misturas nºs 53, 54 e 55;

b) 1.66 g/l quando se empregou 1.58 g (dosagem 1:1,5);  
misturas nºs 59 e 60.

Enquanto, as concentrações médias do lodo para os ensaios  
com calcário CIMENVALE foram:

c) 1.69 g/l quando se usou 1.65 g (dosagem 1:2) de cal  
cário; misturas nºs 56 e 57;

d) 1.27 g/l quando se usou 1.24 g (dosagem 1:1,5) de  
calcário; misturas nºs 62 e 63.

Para os ensaios com cal, as concentrações médias foram:

a) 0.84 g/l resultante do ensaio com cal CALSELE, cuja  
quantidade usada foi de 0.68 g (dosagem 1:1); mistura nº 65;

b) 0.69 g/l resultante do ensaio com cal CALSELE, cuja  
quantidade usada foi de 0.34 g (dosagem 1:0.5); mistura nº  
66;

c) 1.31 g/l resultante do ensaio com cal TOMIO, cuja quan-  
tidade utilizada foi de 0.84 g (dosagem 1:1); mistura nº 67;

d) 1.0 g/l resultante do ensaio com cal TOMIO, cuja quantidade utilizada foi de 0,42 g (dosagem 1:0,5); mistura nº 68.

5.4.3.4. Nas experiências com amostra d'água da mina de Siderópolis (Tabela 13)

A concentração média do lodo resultante dos ensaios com calcário TOMIO foi de:

a) 2.08 g/l quando se usou 1.90 g (dosagem 1:2) de calcário; misturas nºs 48 e 49.

Enquanto, a concentração em peso do lodo para o ensaio com calcário CIMENVALE foi de:

b) 1.23 g/l quando se usou 1.49 g (dosagem 1:2) do reagente; mistura nº 50.

Para os ensaios com cal as concentrações foram as seguintes:

a) 0.38 g/l resultante do ensaio com cal CALSELE cuja quantidade usada foi de 0.61 g (dosagem 1:1); mistura nº 51;

b) 0.16 g/l resultante do ensaio com cal TOMIO cuja quantidade usada foi de 0.38 g (dosagem 1:0,5); mistura nº 52.



## 6: CONCLUSÕES DOS ENSAIOS POR NEUTRALIZAÇÃO

### 6.1. Neutralização com calcário

#### 6.1.1. Ensaios com amostra d'água da mina de Lauro Müller

A neutralização das drenagens ácidas da mina de Lauro Müller poderá ser feita em níveis eficientes, se mantidas as seguintes condições:

- 1) Utilização do calcário CIMENVALE;
- 2) emprego da granulometria da amostra;
- 3) dosagem 1:2, isto é, usar 6.70 g de calcário por litro de água a ser neutralizado;
- 4) agitar a mistura durante 70 min, mantendo na massa líquida um gradiente de velocidade de  $1100 \text{ s}^{-1}$  (ver definição e cálculo do gradiente no Capítulo 7, item 7.2.3.).

Nestas condições dever-se-á alcançar os seguintes índices de eficiência.

- 1) pH final entre 5.0 e 5.4;
- 2) cerca de 75% o índice de remoção do teor de ferro total;
- 3) cerca de 40 mg/l de  $\text{SiO}_2$  o valor da turbidez remanescente;

4) volume de lodo em cerca de 100 ml/l, após 1 hora de sedimentação;

5) aproximadamente 7 g o peso da concentração do lodo, por litro de amostra d'água;

6) velocidade de sedimentação do lodo acima de 1.80 cm/min e inferior a 2.5 cm/min.

#### 6.1.2. Ensaios com amostra d'água do pré-lavador da mina de URUSSANGA

Nestas águas as condições estabelecidas para se efetuar a neutralização são as seguintes:

- 1) emprego do calcário CIMENVALE;
- 2) utilização da granulometria da amostra;
- 3) dosagem 1:2, isto é, 25 g de calcário por litro de água a ser neutralizada;

- 4) agitar a mistura durante 50 min, mantendo na massa líquida um gradiente de velocidade cerca de  $1100 \text{ s}^{-1}$ .

Nestas condições os índices de eficiência a serem alcançados serão aproximadamente:

- 1) pH final cerca de 5.1;
- 2) em torno de 80% o índice de remoção do teor de ferro total;
- 3) cerca de 30 mg/l de  $\text{SiO}_2$  o valor da turbidez residual;
- 4) volume de lodo aproximadamente igual a 130 ml/l após

1 hora de sedimentação;

5) aproximadamente 24 g o peso da concentração do lodo, por litro de amostra d'água;

6) velocidade de sedimentação cerca de 1.80 cm/min.

### 6.1.3. Ensaio com amostra d'água da mina de URUSSANGA

As condições mais propícias para efetuar a neutralização destas águas, são as seguintes:

1) emprego do calcário CIMENVALE;

2) utilizar a granulometria da amostra;

3) empregar a dosagem 1:2, isto é, 1.70 g de calcário por litro de água bruta;

4) agitar a mistura durante 90 min, mantendo na massa líquida um gradiente de velocidade em cerca de  $1100 \text{ s}^{-1}$ .

Nestas condições, os índices de eficiência do processo serão aproximadamente:

1) pH final entre 5.0 e 5.2;

2) em torno de 80% o índice de remoção da concentração do ferro total;

3) cerca de 30 mg/l de  $\text{SiO}_2$  o valor da turbidez residual;

4) volume de lodo aproximadamente igual a 15 ml/l, após 1 hora da sedimentação;

5) cerca de 2 g o peso da concentração do lodo, por li

tro de amostra d'água bruta;

6) velocidade de sedimentação acima de 1.80 cm/seg e inferior a 2.5 cm/min.

## 6.2. Neutralização com cal

### 6.2.1. Ensaio com amostra d'água da mina de Lauro Müller

As condições mais propícias para se efetuar a neutralização com cal são:

- 1) empregar cal CALSELE;
- 2) dosagem 1:0.5, isto é, 1.40 g de cal por litro de água bruta;
- 3) agitar a mistura durante 15 min, mantendo na massa líquida um gradiente de velocidade cerca de  $1100 \text{ s}^{-1}$ .

Nestas condições, os índices de eficiência serão aproximadamente:

- 1) pH final entre 5.0 e 5.3;
- 2) remoção do ferro total acima de 80%;
- 3) aproximadamente 15 mg/l de  $\text{SiO}_2$  o valor da turbidez remanescente;
- 4) volume do lodo, após 1 hora de sedimentação, cerca de 150 ml/l;
- 5) cerca de 1.11 g o peso do lodo por litro de amostra

de água ácida;

6) velocidade de sedimentação em torno de 1.30 cm/min.

6.2.2. Ensaio com amostra d'água do pré-lavador da mina de URUSSANGA

1) utilizar cal CALSELE;

2) dosagem 1:0.5, isto é, 4.12 g de cal por litro de água bruta;

3) agitar durante 15 min, mantendo as mesmas condições de gradiente do item anterior.

Nestas condições os índices de eficiência do processo, serão aproximadamente:

1) pH final entre 5.2 e 5.6;

2) cerca de 90% para remoção do ferro total;

3) cerca de 10 mg/l de  $\text{SiO}_2$  o valor da turbidez remanescente;

4) o volume do lodo formado, após 1 hora de sedimentação, será aproximadamente igual a 200 ml/l;

5) cerca de 5.30 g o peso da concentração do lodo por litro de amostra d'água;

6) a velocidade de sedimentação estará em torno de 0,95 cm/min.

### 6.2.3. Ensaio com amostra d'água da mina de URUSSANGA

As condições técnicas mais propícias para se efetuar a neutralização são:

- 1) empregar cal CALSELE;
- 2) dosagem 1:0.5, isto é, usar 0.35 g de cal por litro de água bruta;
- 3) agitar a mistura durante 15 min, mantendo na massa líquida um gradiente de velocidade cerca de  $1100 \text{ s}^{-1}$ .

Nestas condições ter-se-ã os valores mais prováveis para os parâmetros utilizados:

- 1) pH entre 5.0 e 5.5;
- 2) 90% de remoção do ferro total;
- 3) aproximadamente 30 mg/l o valor da turbidez residual;
- 4) o volume do lodo formado será de 20 ml/l;
- 5) será aproximadamente igual a 0.70 g o peso da concentração do lodo por litro de amostra d'água;
- 6) a velocidade de sedimentação será superior a 0.90 cm/min e inferior a 1.80 cm/min.

### 6.2.4. Ensaio com amostra d'água da mina de SIDERÓPOLIS

As condições técnicas mais propícias para efetuar a neutralização são:

- 1) empregar cal CALSELE;
- 2) dosagem 1:0.5, isto é, usar 0.31 g de cal por litro de água ácida;
- 3) agitar a mistura durante 30 min, mantendo na massa líquida um gradiente de velocidade de aproximadamente  $1100s^{-1}$ .

Nestas condições os índices de eficiência do processo serão aproximadamente:

- 1) pH final entre 5.0 e 5.2;
- 2) 90% de remoção do ferro total;
- 3) volume de lodo será aproximadamente de 20 ml/l, após 1 hora de sedimentação;
- 4) velocidade de sedimentação superior a 0.90 cm/min e inferior a 1.80 cm/min;
- 5) aproximadamente 0.20 g o peso da concentração do lodo por litro de amostra de água.

## 7. ANTEPROJETO DA UNIDADE DE TRATAMENTO POR NEUTRALIZAÇÃO

### 7.1. Introdução

O processo de tratamento de águas ácidas por neutralização requer, como já foi mencionado anteriormente, duas etapas de operação. A primeira, compreende a fase de mistura entre a água ácida e o reagente químico utilizado. A massa líquida é submetida a uma agitação contínua a fim de que se produza uma turbulência tal, que permita, em curto intervalo de tempo, o processamento das reações de neutralização.

A segunda etapa, compreende a fase de separação do material sólido em suspensão da água tratada. Esta operação é feita através da decantação desse material, promovida pela ação da gravidade. A unidade física onde se processa a decantação é denominada de tanque de sedimentação e obedece determinadas leis físicas que serão descritas posteriormente. O lodo é o nome dado ao acúmulo de material depositado no fundo do tanque de sedimentação.

Neste capítulo apresenta-se várias alternativas de anteprojeto para o tratamento das águas da mina de sub-solo de Lauro Müller, tomando como base estas duas etapas e utilizando os dados obtidos nos ensaios de laboratório. Com as várias



alternativas montadas faz-se uma análise comparativa através dos custos de implantação para cada uma delas.

Em base desta análise determina-se qual a maneira mais viável, técnica e econômica, para implantação da unidade de tratamento na mina de carvão escolhida para o anteprojeto.

## 7.2. Formulação teórica das etapas do processo

### 7.2.1. Misturador

A etapa de mistura entre a água ácida e o reagente químico deverá ocorrer em regime de fluxo turbulento, onde há predominância das forças da inércia. De modo que, quanto mais alta for a velocidade de agitação maior será a turbulência na massa líquido, portanto, mais eficaz será a neutralização.

RUSHTON (1952) desenvolveu, considerando as forças de viscosidade e de inércia, as seguintes relações matemáticas para o cálculo da energia necessária em condições de regime turbulento e laminar:

$$\text{Laminar: } P = \frac{k}{gc} \mu n^2 D^3$$

$$\text{Turbulento: } P = \frac{k}{gc} \rho n^3 D^5$$

onde:

P = energia necessária em kgm/s

k = constante que depende do tipo de palheta da turbina  
impulsora

gc = aceleração da gravidade ( $9.80 \text{ m/s}^2$ )

$\mu$  = viscosidade dinâmica do fluido em kg/s.m

$\rho$  = densidade do fluido em  $\text{kg/m}^3$

D = diâmetro do impulsor em metros

n = rotação por segundo (rps)

### 7.2.2 Sedimentador

Em base da concentração e da tendência de interação das partículas apresentam-se quatro classificação teórica de como estas partículas se depositam (METCALF, L. & EDDY, H. P. 1977):

1) Sedimentação tipo I - refere-se a sedimentação de partículas discretas em uma suspensão de sólidos com baixa concentração. As partículas se depositam como entidades individuais não existindo interação significativa entre elas. Sendo, desse modo, denominada sedimentação livre.

2) Sedimentação tipo II - refere-se a uma suspensão bastante diluída de partículas que se agregam ou flocculam durante a sedimentação. Ao agregarem-se elas aumentam de tamanho, depositando-se mais rapidamente. Este fenômeno é conhecido como sedimentação em massa.

3) Sedimentação tipo III - tem lugar em suspensões intermediárias em que as forças entre as partículas são suficientes para retardar a decantação da partícula vizinha. As partículas tendem a permanecer entre si em posições fixas fazendo com que haja uma decantação da unidade completa da massa formada. Desenvolve-se ainda, na parte superior do lodo, uma interfase sólido-líquido bem diferenciada. Esse tipo de sedimentação é mais conhecido como sedimentação zonal.

4) Sedimentação tipo IV - tem lugar quando as partículas alcançam concentração tal que forma uma estrutura bem definida e um novo assentamento só é produzido quando há uma compressão desta estrutura. Esta compressão ocorre devido ao peso das partículas que continuamente se vão ajuntando à estrutura através da sedimentação. Este tipo de sedimentação é mais conhecido por sedimentação por compressão.

#### 7.2.2.1. Princípios físicos para sedimentação tipo I (JORDÃO, E.P. & PESSOA, C., 1975)

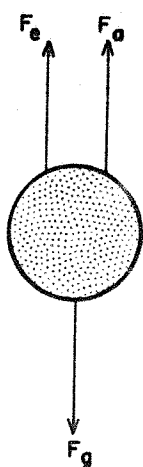


Fig. A

##### 1) Aplicação da lei de Newton

As seguintes forças agem sobre uma partícula individual (Fig. A):

- a)  $F_g = m \cdot g$  (força devido a gravidade; "m" é a massa da partícula; "g" a aceleração da gravidade).

b)  $F_a = Ca \frac{A \rho_1 V^2}{2} = Ca \frac{\pi d^2}{8} \rho_1 v^2$  (força devido ao atrito entre a partícula e o meio) onde:

Ca = coeficiente de atrito;

A = área projetada da partícula =  $\frac{\pi d^2}{4}$ ;

$\rho_1$  = massa específica do líquido;

V = velocidade de sedimentação;

d = diâmetro da partícula.

c)  $F_e = wg$  (força devido ao empuxo; "w" é a massa de líquido deslocado =  $\frac{\pi d^3}{6} \rho_1$ ).

A resultante (F) das forças intervenientes é:

$F = ma$  (onde "a" é a aceleração da partícula durante a sedimentação =  $\frac{dv}{dt}$ )

De acordo com a Fig. A,

$$F = F_g - F_e - F_a = mg - wg - F_a \quad (E.6)$$

mas como,

$$m = \rho_s \cdot Vol$$

onde:

$\rho_s$  = massa específica da partícula;

$$Vol = \frac{\pi d^3}{6} \text{ (volume da partícula)}$$

Fazendo  $m = \rho_s \frac{\pi d^3}{6}$  e igualando  $a = \frac{dv}{dt} = 0$

para que haja estabilidade na velocidade máxima, a equação (E.6), torna-se:

$$F = \frac{4}{3} \frac{g \cdot d}{Ca} \left( \frac{\rho_s - \rho_1}{\rho_1} \right) \quad (E.7) \quad .7$$

Equação conhecida como equação Newtoniana da sedimentação.

## 2) Aplicação dos estudos de Stokes

Para partículas esféricas, pequenas e situada num meio viscoso Stokes desmontrou que:

$$F_a = 3\pi d\mu V \quad (" \mu " \text{ é a viscosidade dinâmica do líquido})$$

Igualando as forças de atrito de Newton e Stokes vem:

$$C_a \frac{\pi d^2}{8} \rho_1 V^2 = 3\pi d\mu V$$

$$C_a = \frac{24\mu}{d\rho_1 V} = \frac{24}{NR} \quad (NR = \frac{d\rho_1 V}{\mu} \text{ é o número de Reynolds})$$

Então se

$$NR < 2 \longrightarrow C_a = \frac{24}{NR}$$

Para outras faixas de número de Reynolds o coeficiente de atrito assume novos valores, que podem ser expressos de forma aproximada por:

$$C_a = \frac{b}{NR^n} \quad (\text{valores de "b" e "n" na Tabela 14})$$

Admitindo a hipótese de Stokes e substituindo "Ca" por seu valor stokesiano (E.7), tem-se o seguinte:

$$V = \frac{1}{18} \frac{gd^2}{\mu} (\rho_s - \rho_1)$$

Equação esta conhecida como equação stokesiana da sedimentação.

Tabela 14. Valores do coeficiente de atrito

PARÂMETROS REGIÃO	b	n	$Ca = \frac{b}{NR^n}$
NR < 2 REGIÃO DE STOKES	24	1	$Ca = \frac{24}{NR}$
2 < NR < 500 REGIÃO DE TRANSIÇÃO	18.5	0.6	$Ca = \frac{18.5}{NR^{0.6}}$
NR > 500 REGIÃO DE NEWTON	0.4	0.0	$Ca = 0.4$

## 7.2.2.2. Teoria da sedimentação

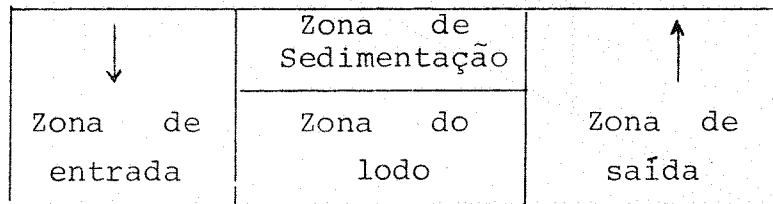


Fig. B

Considerando a Fig. B como sendo um tanque de sedimentação, pode-se dividi-lo em 4 zonas diferentes: a zona de entrada do líquido, a zona de sedimentação propriamente dita, a zona de lodo e a zona de saída.

As seguintes hipóteses são formuladas, segundo JORDÃO (1975):

1) Na zona de sedimentação, a sedimentação ocorre como num cilindro em repouso de igual profundidade;

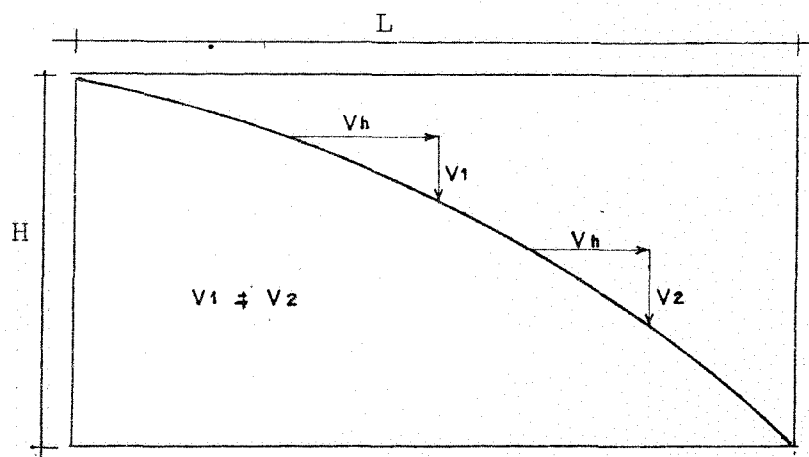


Fig. D - Sedimentação flocculenta

### 7.2.3. Parâmetros empregados no dimensionamento da unidade de tratamento

#### 7.2.3.1. Misturador

$Q$  = vazão afluyente ( $m^3/dia$ );

$T$  = tempo de agitação (dia);

$N$  = rotação por minuto (rpm);

$P$  = potência útil no motor (Kgm/s);

$\eta$  = rendimento do motor;

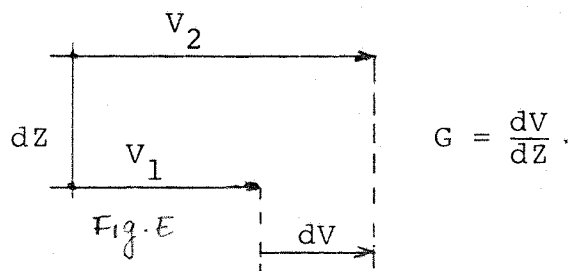
$D$  = diâmetro do impulsor (m);

$b$  = largura do impulsor (m);

$G$  = gradiente de velocidade ( $s^{-1}$ ).

O gradiente de velocidade é um parâmetro físico empregado para se transferir o grau de turbulência a ser mantido na massa líquida, a fim de que as reações de neutralização se

processem de uma maneira idêntica as dos ensaios. Gradiente de velocidade é definido como sendo a diferença de velocidade de "dV" entre dois pontos da massa líquida, em relação a distância "dZ" entre eles e tendo uma direção perpendicular a direção do escoamento, conforme Figura E (CETESB, 1974).



#### 7.2.3.2. Sedimentador

$Q$  = vazão afluyente ( $m^3/dia$ );

$V$  = velocidade de sedimentação ( $m/s$ );

$T$  = tempo de detenção (dia)

$\frac{Q}{A}$  = taxa de aplicação superficial ( $m^3/m^2/dia$ ).

#### 7.2.4. Valores dos parâmetros utilizados

##### 7.2.4.1. Vazão afluyente

$Q = 1680 m^3/dia$ ; vazão de água ácida que é retirada diretamente da mina de sub-solo de Lauro Müller, durante um período de 12 horas por dia (ALVAREZ, F.C. et alii. 1978. p. 58).



#### 7.2.4.2. Rotação do agitador (N)

As rotações utilizadas são as seguintes:

130 rpm - 155 rpm - 180 rpm.

#### 7.2.4.3. Tempo de detenção (T) ou tempo de agitação

A Tabela 15 apresenta os valores para o tempo de agitação para as duas etapas do processo. Esses resultados foram obtidos dos ensaios feitos com água do pré-lavador da mina de Urussanga (Gráficos nºs 12 e 13). Nas reações com cal não foram feitas experiências a fim de determinar o valor de T para gradientes de velocidade produzido pelas rotações de 130 e 155 rpm, considera-se, no entanto, que ele não seja muito superior ao encontrado (T = 10 min) para a rotação de 180 rpm.

#### 7.2.4.4. Velocidade de sedimentação (V)

$V = 1.80 \text{ cm/min} = 3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  como sendo um valor da velocidade de sedimentação para as reações com calcário CI MENVALE (mistura nº 41, Tabela 11) e

$V = 0.95 \text{ cm/min} = 1.58 \times 10^{-4} \text{ m/s}$  como sendo a velocidade de sedimentação para as reações com cal CALSELE

Tabela 15. Valores do tempo de detenção (T) ou tempo de agitação.

ROTAÇÃO		M I S T U R A D O R										S E D I M E N T A D O R		
T = 5min	130 rpm	Reação com calçã rio Cimenvale - Do sagem 1:2,5 (8,40 g/l) - Diâmetro menor 0,177mm	Reação com calçã rio Tomio - Do sagem 1:2,5 - Granu lometria da amoç tra	Reação com calçã rio Cimenvale - Do sagem 1:2 (6,70 g /l) - Diâmetro me nor 0,177mm	Reação com calçã rio Cimenvale - Do sagem 1:2 - Granu lometria da amoç tra	Reação com cal sele - Dosegem 1: 0,5 (1,38 g/l)	Reação com cal Cal sele - Dosegem 1: (2,76 g/l)	Reação com cal Cal calçãrio Cimenvale	Reação com cal Calsele	Reação com cal				
T = -	155 rpm													
T = 5min	180 rpm													
T = -	130 rpm													
T = -	155 rpm													
T = 30min	180 rpm													
T = 15min	130 rpm													
T = 15min	155 rpm													
T = 15min	180 rpm													
T = 60min	130 rpm													
T = -	155 rpm													
T = 50min	180 rpm													
T = -	130 rpm													
T = -	155 rpm													
T = 10min	180 rpm													
T = -	130 rpm													
T = -	155 rpm													
T = 2min	180 rpm													
												T = 60min	T = 60min	

de acordo com a mistura nº 42 da Tabela 11.

#### 7.2.4.5 Gradiente de velocidade (G)

O gradiente de velocidade obtido nos ensaios para as 3 rotações utilizadas, será calculado pela seguinte relação (ARBOLEDA VALENCIA, J. 1973.p.145).

$$G = \sqrt{\frac{P \times 981}{\mu}}$$

onde:

G = gradiente de velocidade em  $s^{-1}$ ;

P = potência útil em  $g \cdot cm/cm^3 \cdot s$ ;

$\mu$  = viscosidade absoluta do líquido ( $\mu=0,01009$   $g \cdot s/cm^2$  para a água a  $20^{\circ}C$ ).

A potência "P" será calculada em função da rotação do motor, das dimensões da palheta do impulsor e do volume do tanque, pela seguinte relação (ARBOLEDA VALENCIA, J.1973):

$$P = 12600 \times C_D \times n^3 \times \frac{(1 - k)^3}{Vol} \times Ar^3$$

onde

P = potência útil em  $kg \cdot m/m^3 \cdot s$ ;

$C_D$  = coeficiente de arrasto ( $C_D = 1.17$  valor tabelado);

n = número de rotações por segundo (rps);

Vol. = volume da câmara (Vol. =  $0.001 m^3$ );

k = constante empírica ( $k = 0.25$ , valor tabelado)

$Ar^3$  = produto da área da palheta pela distância ao eixo de rotação elevado ao cubo ( $Ar^3 = 8.12 \times 10^{-7}$ )

O valor de G será:

1) para rotação de 130 rpm ou 2.17 rps

$$P = 12600 \times 1.17 \times 2.17^3 \times \frac{(1-0.25)^3}{0.001} \times 8.12 \times 10^{-7}$$

$$P = 51.60 \text{ kgm/m}^3 \cdot \text{s} \quad \text{ou} \quad P = 5.16 \text{ g.cm/cm}^3 \cdot \text{s}$$

$$G = \sqrt{\frac{5.16 \times 981}{0.01009}} \approx 710 \text{ s}^{-1}$$

$$\underline{G \approx 710 \text{ s}^{-1}}$$

2) para rotação de 155 rpm ou 2.58 rps

$$P = 86.73 \text{ kgm/m}^3 \cdot \text{s} \quad \text{ou} \quad P = 8.67 \text{ g.cm/cm}^3 \cdot \text{s}$$

$$\underline{G \approx 920 \text{ s}^{-1}}$$

3) para rotação de 180 rpm ou 3.0 rps

$$P = 136.35 \text{ kgm/m}^3 \cdot \text{s} \quad \text{ou} \quad 13.64 \text{ g.cm/cm}^3 \cdot \text{s}$$

$$\underline{G \approx 1152 \text{ s}^{-1}}$$

### 7.3. Dimensionamento da unidade de tratamento

#### 7.3.1. Neutralização com calcário

##### 7.3.1.1 Misturador

Será utilizado um tanque de concreto na forma circular

e agitador tipo turbina, conforme diagrama apresentado na Figura nº 8. Em base a este modelo de tanque de impulsor, PARLATORE ( CETESB. 1974) desenvolveu um modelo matemático que serve para medir o desempenho do rotor. O modelo é o seguinte:

$$NP = K (NR)^p (NF)^q . \quad (E.8) \quad \delta$$

onde:

NP = número de potência ( adimensional); representando as forças de inércia necessárias para movimentação do equipamento.

NR = número de Reynolds; representando as forças de viscosidade.

NF = número de Froude; representando as forças gravitacionais.

K = constante que depende das relações geométricas da turbina em relação ao tanque de mistura.

p e q = coeficientes que dependem do regime de escoamento. Quando o regime é turbulento eles são iguais a zero.

Como:

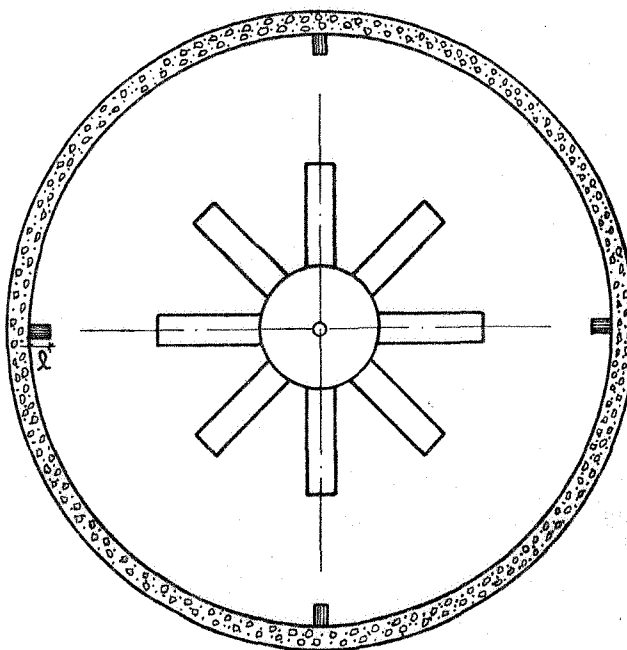
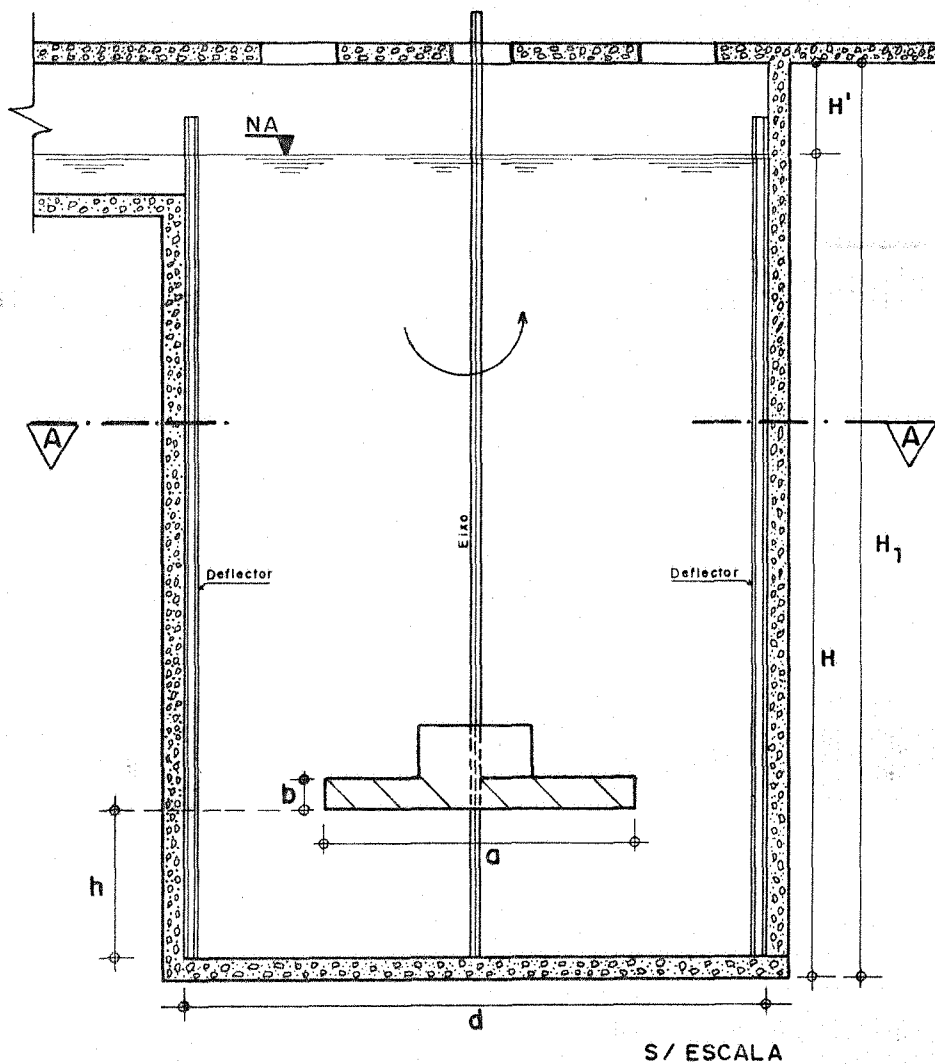
$$NP = \frac{Pg_c}{n^3 \rho D^5} ; \quad NR = \frac{n \rho D^2}{\mu} \quad e \quad NF = \frac{Dn^2}{g} .$$

Sendo:

P = potência útil (Kgm/s);

n = rotação por segundo (rps);

D = diâmetro do impulsor (m)



CORTE A-A

ESQUEMA DO TANQUE DE MISTURA  
E DETALHE DA TURBINA IMPULSORA

$\rho$  = densidade do fluido ( $\text{kg/m}^3$ );

$\mu$  = viscosidade absoluta do fluido ( $\text{Kgf.s/m}^2$ );

$g$  = aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ );

$g_c$  = fator de conversão da lei de Newton ( $9.81 \text{ Kgm/kgf.s}^2$ ).

Para o regime turbulento ( $p$  e  $q$  iguais a zero) a equação (E.8)<sup>8</sup> torna-se:

$$NP = K (NR)^0 (NF)^0$$

onde se tira que,

$$NP = K \longrightarrow K = \frac{Pg_c}{n^3 \rho D^5}$$

PARLATORE demonstrou experimentalmente que para se manter o regime turbulento no tanque, o valor de "K" terá que ser igual a 1.3. E as expressões:

$$P = 6.15 \times 10^{-4} N^3 D^5;$$

$$G = 2.48 \times 10^{-2} \sqrt{\frac{N^3 D^5}{\mu \text{ Vol.}}};$$

somente serão válidas para os seguintes intervalos de valores (Ver Fig. 8).

$$2.0 \leq \frac{d}{D} \leq 6.6; \quad 2.7 \leq \frac{H}{D} \leq 3.9; \quad 0.9 \leq \frac{h}{D} \leq 1.1;$$

$$\frac{D}{l} = 12 \quad e \quad \frac{D}{b} = 8.$$

## 7.3.1.1.1. Alternativa I

CALCÁRIO CIMENVALE; DOSAGEM 1:2,5 (8.40 g/l);

DIÂMETRO MENOR QUE 0.177 mm.

$$G = 710 \text{ s}^{-1};$$

$$T = 5 \text{ min} = 0,00347 \text{ dia};$$

$$Q = 1680 \text{ m}^3/\text{dia}.$$

Seqüência de cálculo:

1) Volume do tanque (Vol.)

$$\text{Vol.} = 1680 \text{ m}^3/\text{dia} \times 0,00347 \text{ dia} = 5.83 \text{ m}^3;$$

2) Profundidade do tanque (H)

$$H = 2.0 \text{ m (adotado)};$$

3) Área superficial (As)

$$As = \frac{\text{Vol.}}{H} = \frac{5.83 \text{ m}^3}{2.0 \text{ m}} = 2.92 \text{ m}^2;$$

4) Diâmetro (d) do tanque

$$d = \sqrt{\frac{4As}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 2.92}{3.14}} = 1.93 \text{ m};$$

5) Dimensões da turbina em relação as dimensões do tanque

$$2.0 \leq d/D \leq 6.6 \longrightarrow \text{fazer } D = 0.55 \text{ m e verificar pela}$$

relação  $2.7 \leq H/D \leq 3.9$ ;  $\frac{H}{D} = \frac{2.0}{0.55} = 3.64$ ; portanto

$D = 0.55 \text{ m}$  verifica as duas relações.

Pela relação  $0.9 \leq h/D \leq 1.1$  determina-se o valor de

$h = 0.60 \text{ m}$ .

A largura do deflector (l) será:

$$D/l = 12 \longrightarrow \underline{l = 0.05 \text{ m}}.$$



A largura da palheta (b) será:

$$D/b = 8 \longrightarrow b = 0.07 \text{ m.}$$

Alternativa I - resumo das dimensões

Vol. (m <sup>3</sup> )	H (m)	As (m <sup>2</sup> )	d (m)	D (m)	h (m)	l (m)	b (m)
5.83	2.0	2.92	1.93	0.55	0.60	0.05	0.07

Quadro nº 1

6) Determinação da rotação da turbina

$$N = \left[ \frac{G^2 \times \mu \times \text{Vol.}}{6.15 \times D^5} \times 10^4 \right]^{1/3}; \quad \text{adotando}$$

$\mu = 1.029 \times 10^{-4} \text{ Kgf.s/m}^2$ , para a água na temperatura de  $20^\circ\text{C}$ .  
Desse modo, para  $G = 710\text{s}^{-1}$ , tem-se que o valor da rotação será:

$$N = \left[ 0.167 \times \frac{710^2 \times 5.83}{0.55^5} \right]^{1/3} = 213.65 \text{ rpm};$$

adota-se para a rotação:  $N = 215 \text{ rpm}$ .

7) Determinação da potência útil no motor

$$P = 6.15 \times 10^{-4} \times 215^3 \times 0.55^5 = 307.61 \text{ Kgm/s} \quad \text{ou}$$

$$P = 4.10 \text{ HP} \quad \text{ou} \quad P = 3.06 \text{ KW.}$$

Considerando um rendimento ( $\eta$ ) de 50% no motor, a potência instalada será de aproximadamente:

$$P = 4.10 \times 2 = 8.20 \text{ HP, onde adota-se } \underline{P = 10 \text{ HP.}}$$

## 7.3.1.1.2 Alternativa II

CALCÁRIO CIMENVALE; DOSAGEM 1:2.5 (8.40 g/l);

GRANULOMETRIA DA AMOSTRA;

$$G = 1152 \text{ s}^{-1};$$

$$T = 30 \text{ min.} = 0.0208 \text{ dia};$$

$$Q = 1680 \text{ m}^3/\text{dia}.$$

Seqüência de cálculo:

1) As dimensões do tanque e da turbina são apresentadas no Quadro nº 2, onde se usou as mesmas relações do item anterior.

Alternativa II - resumo das dimensões.

Vol.	H	As	d	D	h	l	b
(m <sup>3</sup> )	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
35	2.5	14	4.22	0.65	0.70	0.06	0.08

Quadro nº 2

2) Determinação da rotação da turbina

Para  $G = 1152 \text{ s}^{-1}$ , valor encontrado para a rotação da turbina é:

$$N = 405.86 \text{ rpm, que adotou-se ser igual a } \underline{N = 410 \text{ rpm}}.$$

3) Determinação da potência útil

$$P = 6.15 \times 10^{-4} \times 410^3 \times 0.65^5 = 4918.06 \text{ Kgm/s ou}$$

$$P = 65.57 \text{ HP ou } P = 48.85 \text{ KW}.$$

Considerando o rendimento do motor de 50% a potência instalada será de:

$$P = 65.57 \times 2 \approx 130 \text{ HP}$$

### 7.3.1.1.3 Alternativa III

CALCÁRIO CIMENVALE; DOSAGEM 1:2 (6.70 g/l);

DIÂMETRO INFERIOR A 0.177 mm;

$$G = 710 \text{ s}^{-1};$$

$$T = 15 \text{ min.} = 0.01042 \text{ dia};$$

$$Q = 1680 \text{ m}^3/\text{dia}.$$

#### Seqüência de cálculo:

1) As dimensões do tanque e da turbina são apresentadas no Quadro nº 3.

#### Alternativa III - Resumo das dimensões

Vol.	H	As	d	D	h	l	b
(m <sup>3</sup> )	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
17.5	2.0	8.75	3.34	0.55	0.60	0.05	0.07

Quadro nº 3

2) Determinação da rotação da turbina

Para  $G = 710 \text{ s}^{-1}$ , valor encontrado para a rotação da turbina é:

$$N = 308.19 \text{ rpm, que adotou-se ser igual a } \underline{N = 310 \text{ rpm.}}$$

3) Determinação da potência útil

$$P = 6.15 \times 10^{-4} \times 310^3 \times 0.55^5 = 922.09 \text{ Kgm/s} \quad \text{ou}$$

$$P = 12.30 \text{ HP} \quad \text{ou} \quad P = 9.16 \text{ KW.}$$

Considerando o rendimento do motor de 50%, a potência instalada será de:

$$P = 12.30 \times 2 \approx 25 \text{ HP.}$$

7.3.1.1.4. Alternativa IV

CALCÁRIO CIMENVALE; DOSAGEM 1:2 (6.70 g/l);

GRANULOMETRIA DA AMOSTRA;

$$G = 710 \text{ s}^{-1};$$

$$T = 60 \text{ min.} = 0.0417 \text{ dia};$$

$$Q = 1680 \text{ m}^3 / \text{dia.}$$

#### Seqüência de cálculo

1) As dimensões do tanque e da turbina são apresentadas no Quadro nº 4.

Alternativa IV - Resumo das dimensões

Vol.	H	As	d	D	h	l	b
<u>(m<sup>3</sup>)</u>	<u>(m)</u>	<u>(m<sup>2</sup>)</u>	<u>(m)</u>	<u>(m)</u>	<u>(m)</u>	<u>(m)</u>	<u>(m)</u>
70	3.5	20	5.0	0.90	1.0	0.08	0.12

Quadro nº 4

## 2) Determinação da rotação da turbina

Para  $G = 710s^{-1}$ , valor encontrado para a rotação da turbina é:

$N = 215.30$  rpm, que adotou-se ser igual a  $N = 215$  rpm.

## 3) Determinação da potência útil

$$P = 6.15 \times 10^{-4} \times 215^3 \times 0.9^5 = 3609.13 \text{ Kgm/s} \quad \text{ou}$$

$$P = 48.12 \text{ HP} \quad \text{ou} \quad P = 35.85 \text{ KW.}$$

Considerando o rendimento do motor de 50%, a potência instalada será de:

$$\underline{P = 48.12 \times 2 \approx 100 \text{ HP.}}$$

## 7.3.1.2. Sedimentador

Será utilizado uma bacia de sedimentação, simplesmente escavada no solo, com remoção diária do lodo produzido. Ela tem a forma retangular com paredes ataludadas (inclinação 1:2) (Fig. nº 9).

Dados:

$T = 60$  min. (tempo de detenção);

$V = 1.80$  cm/min. (velocidade de sedimentação);

$Q = 1680$  m<sup>3</sup>/dia (vazão afluyente durante o período de 12 horas por dia);

$$\frac{Q}{A} = 25.92 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia} \text{ (taxa de aplicação superficial).}$$

Seqüência de cálculo:

1) Determinação da área superficial

$$A_s = \frac{Q}{Q/A} = \frac{1680 \text{ m}^3/\text{dia}}{25.92 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}} = 64.81 \text{ m}^2$$

$$\underline{A_s = 64.81 \text{ m}^2.}$$

2) Volume da bacia

$$\text{Vol.} = Q \times T = 1680 \text{ m}^3/\text{dia} \times 60 \text{ min.} \times \frac{1}{1440} = 70 \text{ m}^3$$

$$\underline{\text{Vol.} = 70 \text{ m}^3.}$$

3) Determinação do comprimento (L) e da largura (B)

Relação entre L e B, para se evitar o curto-circuito na bacia:

$$L = 2B \longrightarrow A_s = 2B^2 \text{ (Secção retangular);}$$

como,

$$A_s = 64.81 \text{ m}^2 \longrightarrow \underline{B \approx 5.70 \text{ m}} \text{ e } \underline{L \approx 11.40 \text{ m.}}$$

4) Profundidade

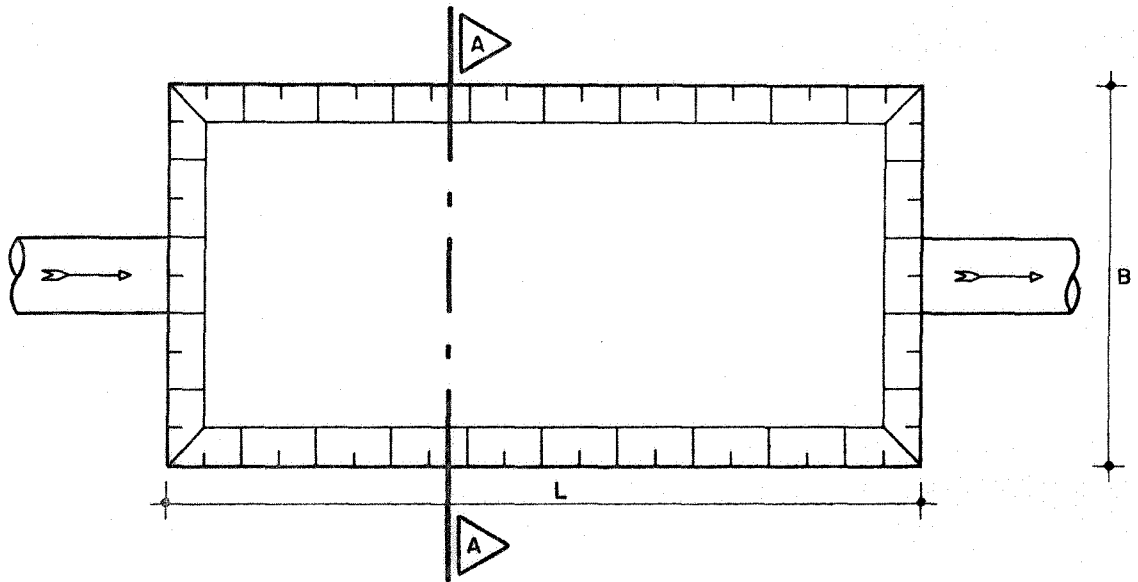
$$H = \frac{\text{Vol.}}{A_s} = \frac{70 \text{ m}^3}{64.81 \text{ m}^2} = 1.08 \text{ m}$$

$$\underline{H = 1.08 \text{ m.}}$$

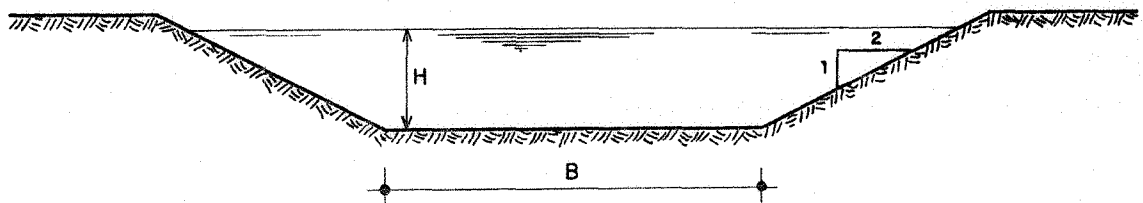
5) Determinação do volume de lodo produzido.

a) O índice de lodo (IL) é igual a 70 ml/l (mistura nº 12, Tabela nº 10);

b) considerando que a vazão  $Q = 1680 \text{ m}^3/\text{dia}$ , funciona



SEM ESCALA



SEM ESCALA

ESQUEMA DA BACIA DE SEDIMENTAÇÃO

Figura 9

durante 12 horas no dia, o volume de água drenado para a bacia será de:

$$V_d = 1680 \text{ m}^3/\text{dia} \times 0.5 = 8.4 \times 10^5 \text{ litros};$$

c) Volume de lodo formado em um dia

$$V(\text{lodo}) = V_d \times IL = 8.4 \times 10^5 \text{ l} \times 0.07 \text{ l/l} = 5.88 \times 10^4 \text{ l}$$

$$\underline{V(\text{lodo}) = 58.80 \text{ m}^3/\text{dia}.}$$

6) Determinação das novas dimensões da bacia

Como a bacia funciona somente 12 horas no dia, a remoção do lodo será feita após esse período, de modo que, o volume da bacia para acumular o lodo produzido e proporcionar a sedimentação será de:

$$V_t = \text{Vol.} + V(\text{lodo}) = 70\text{m}^3 + 58.80\text{m}^3 = 128.80\text{m}^3$$

$$\underline{V_t = 128.80\text{m}^3};$$

Mantendo-se as mesmas dimensões da largura e comprimento, a profundidade (H) aumentará para:

$$H = \frac{128.80}{5.70 \times 11.40} \approx 2.0\text{m}$$

$$\underline{H \approx 2.0\text{m}.}$$

Quadro nº 5 - dimensões da bacia de sedimentação

As (m <sup>2</sup> )	V(lodo) / dia (m <sup>3</sup> )	Volume da bacia (m <sup>3</sup> )	L (m)	B (m)	H (m)
64.81	58.80	128.80	11.40	5.70	2.0



## 7.3.2. Neutralização com cal

## 7.3.2.1. Misturador

O tanque de mistura e a turbina empregados são os mesmos utilizados para as reações com calcário (Fig. 8)

## 7.3.2.1.1. Alternativa I

CAL CALSELE; DOSAGEM 1:0.5 (1.38 g/l);

$G = 1152s^{-1}$ ;

$T = 10 \text{ min.} = 0.00695 \text{ dia}$ ;

$Q = 1680 \text{ m}^3/\text{dia}$ .

Seqüência de cálculo:

1) As dimensões do tanque da turbina são apresentadas no Quadro nº 6, onde se usou as mesmas relações estabelecidas nas reações com calcário.

## Alternativa I - resumo das dimensões

Vol.	H	As	d	D	h	l	b
(m <sup>3</sup> )	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
11.67	2.0	5.84	2.73	0.55	0.60	0.05	0.07

Quadro nº 6

## 2) Determinação da rotação da turbina

Para  $G = 1152s^{-1}$ , valor encontrado para a rotação da turbina foi de  $N = 371.78$  rpm, que adotou-se ser igual a  $N = 380$  rpm.

## 3) Determinação da potência útil

$$P = 6.15 \times 10^{-4} \times 380^3 \times 0.55^5 = 1698.40 \text{ Kgm/s ou}$$

$$P = 22.64 \text{ HP ou } P = 16.87 \text{ KW.}$$

Considerando o rendimento do motor de 50% a potência instalada será de:

$$P = 22.64 \times 2 = 45.28 \text{ HP, onde adota-se } \underline{P = 50 \text{ HP.}}$$

## 7.3.2.1.2 Alternativa II

CAL CALSELE; DOSAGEM 1:1 (2.76 g/l);

$$G = 1152s^{-1};$$

$$T = 2 \text{ min.} = 1.39 \times 10^{-3} \text{ dia;}$$

$$Q = 1680m^3/\text{dia.}$$

Seqüência de cálculo:

1) As dimensões do tanque da turbina são apresentadas no Quadro nº 7.

## Alternativa II - resumo das dimensões

Vol.	H	As	d	D	h	l	b
(m <sup>3</sup> )	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
2.34	1.0	2.34	1.73	0.30	0.30	0.03	0.04

Quadro nº 7

## 2) Determinação da rotação da turbina

Para  $G = 1152s^{-1}$ , valor encontrado para a rotação da turbina foi de  $N = 597.60$  rpm, que adotou-se ser igual a  $N = 600$  rpm.

## 3) Determinação da potência útil

$$P = 6.15 \times 10^{-4} \times 600^3 \times 0.30^5 = 322.80 \text{ Kgm/s ou}$$

$$P = 4.30 \text{ HP ou } P = 3.21 \text{ KW.}$$

Considerando o rendimento do motor de 50% a potência instalada será de:

$$P = 4.30 \times 2 = 8.60 \text{ HP, onde adota-se } \underline{P = 10 \text{ HP.}}$$

## 7.3.2.1.3. Alternativa III

Como não foram realizadas experiências com o objetivo de determinar-se o tempo de agitação para nível de gradiente de velocidade em torno de  $710s^{-1}$  (130 rpm), adotou-se um valor de  $T = 20$  min. para este grau de turbulência, como sendo o valor mais provável para o tempo de agitação.

O dimensionamento desta alternativa será feito nas seguintes condições:

CAL CALSELE; DOSAGEM 1:0.5 (1.38 g/l);

$$G = 710s^{-1};$$

$$T = 20 \text{ min.} = 0.01389 \text{ dia};$$

$$Q = 1680 \text{ m}^3/\text{dia.}$$

Seqüência de cálculo:

1) As dimensões do tanque da turbina são apresentadas no Quadro nº 8.

## Alternativa III - resumo das dimensões

Vol.	H	As	d	D	h	l	b
(m <sup>3</sup> )	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
23.34	2.0	11.67	3.86	0.60	0.65	0.05	0.08

Quadro nº 8

## 2) Determinação da rotação da turbina

Para  $G = 710s^{-1}$ , o valor encontrado para a rotação da turbina foi de  $N = 293.44$  rpm, que adotou-se ser igual a  $N = 300$  rpm.

## 3) Determinação da potência útil

$$P = 6.15 \times 10^{-4} \times 300^3 \times 0.60^5 = 1291.20 \text{ Kgm/s ou}$$

$$P = 17.22 \text{ HP ou } P = 12.83 \text{ KW.}$$

Considerando o rendimento do motor de 50% a potência instalada será de:

$$P = 17.22 \times 2 = 34.44 \text{ HP, onde adota-se } \underline{P = 35 \text{ HP.}}$$

## 7.3.2.2. Sedimentador

Será utilizada a mesma bacia de sedimentação que usou-se para a sedimentação com calcário (Fig. nº 9).

Dados:

$T = 60$  min. (tempo de detenção);

$V = 0.95$  cm/min. (velocidade de sedimentação);

$Q = 1680\text{m}^3/\text{dia}$  (vazão afluente durante 12 horas /dia)

$\frac{Q}{A} = 13.68\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dia}$  (taxa de aplicação superficial).

Seqüência de cálculo:

1) Determinação da área superficial

$$A_s = \frac{1680 \text{ m}^3/\text{dia}}{13.68 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia}} = 122.81 \approx 123 \text{ m}^2$$

$$\underline{A_s = 123 \text{ m}^2.}$$

2) Volume da bacia

$$\text{Vol.} = 1680 \text{ m}^3/\text{dia} \times 60 \text{ min.} \times \frac{1}{1440} = 70 \text{ m}^3$$

$$\underline{\text{Vol.} = 70 \text{ m}^3.}$$

3) Determinação do comprimento (L) e da largura (B)

Relação entre L e B, para se evitar o curto-circuito na bacia:

$$L = 2B \longrightarrow A_s = 2B^2 \text{ (secção retangular);}$$

como,

$$A_s = 123 \text{ m}^2 \longrightarrow \underline{B = 7.84 \text{ m}} \quad \text{e} \quad \underline{L = 15.68 \text{ m}}$$

4) Profundidade

$$H = \frac{70 \text{ m}^3}{123 \text{ m}^2} = 0.57 \text{ m}$$

## 5) Determinação do lodo produzido

a) O índice de lodo (IL) é igual a 100 ml/l (mistura nº 9, Tabela nº 10);

b) considerando que a vazão  $Q = 1680 \text{ m}^3/\text{dia}$ , funciona durante 12 horas no dia, o volume de água drenado para a bacia será igual a  $V_d = 8.4 \times 10^5$  litros;

c) Volume de lodo formado em um dia

$$V(\text{lodo}) = V_d \times \text{IL} = 8.4 \times 10^5 \text{ l} \times 0.1 \text{ l/l} = 8.4 \times 10^4 \text{ l}$$

$$\underline{V(\text{lodo}) = 84 \text{ m}^3.}$$

## 6) Determinação das novas dimensões da bacia

Como a bacia funciona somente 12 horas no dia, a remoção do lodo será feita após esse período, de modo que, o volume da bacia para acumular o lodo produzido e proporcionar a sedimentação será de:

$$V_t = \text{Vol.} + V(\text{lodo}) = 70\text{m}^3 + 84\text{m}^3 = 154\text{m}^3$$

$$\underline{V_t = 154 \text{ m}^3};$$

Mantendo-se as mesmas dimensões da largura e comprimento, a profundidade (H) aumentará para:

$$H = \frac{154}{7.84 \times 15.68} \approx 1.25 \text{ m}$$

$$\underline{H \approx 1.25 \text{ m}.}$$

As dimensões da bacia de sedimentação para a neutralização com cal, são apresentadas no Quadro nº 9.

Quadro nº 9 - dimensões da bacia de sedimentação

As (m <sup>2</sup> )	V(lodo)/ dia (m <sup>3</sup> )	Volume da bacia (m <sup>3</sup> )	L (m)	B (m)	H (m)
123	84	154	15.68	7.84	1.25

#### 7.4. Custos de implantação e gasto anual de cada etapa do processo

A determinação dos custos será feita através dos componentes considerados mais importantes em termos de significância de preço unitário e global. No misturador selecionou-se o volume do concreto do tanque, a área de forma necessária, quantidade de ferro para armadura e o preço do conjunto motor e turbina impulsora (agitador). Sendo a bacia de sedimentação simplesmente escavada no solo, o componente orçamentário mais significativo é o próprio volume da escavação.

Outros fatores como tubulação de entrada e saída, registros, válvulas etc, não terão seus preços computados na avaliação do custo de implantação da unidade.

Somente com os dados a respeito do custo de implantação da unidade não permite se fazer uma análise comparativa dos métodos empregados, será portanto feita uma avaliação do custo anual, onde se insere a quantidade gasta de reagente químico.

Com isso far-se-á, finalmente, uma análise decisória da aplicabilidade das alternativas de projeto gerados no item anterior.

#### 7.4.1. Custo de implantação para a neutralização com cálcio

##### 7.4.1.1. Misturador

##### 7.4.1.1.1. Alternativa I

#### Seqüência de cálculo:

1) Volume de concreto

$$V_c = V_p + V_d + V_b$$

onde:

$V_c$  = volume total de concreto no tanque;

$V_p$  = volume das paredes do tanque, onde se considera, para efeito de cálculo, como tendo 15 cm de espessura;

$V_d$  = volume de concreto do deflector, considerado como tendo 15 cm de espessura;

$V_b$  = volume da base do tanque, considerada como tendo 15 cm de espessura.

Assim,

$$a) V_p = H_1 \times 2 \pi R \times 0.15$$



$$H_1 = H + 0.60 \text{ m} = 2 + 0.6 = 2.60 \text{ m}$$

$$R = 0.97 \text{ m}$$

$$V_p = 2.60 \times 2 \times 3.14 \times 0.97 \times 0.15 = 2.38 \text{ m}^3$$

$$\text{b) } V_d = l \times H_1 \times 0.10$$

$$l = 0.05 \text{ m}$$

$$V_d = 0.05 \times 2.60 \times 0.10 \times 4 = 0.05 \text{ m}^3$$

$$\text{c) } V_b = \pi R^2 \times 0.15$$

$$V_b = 3.14 \times (0.97)^2 \times 0.15 = 0.44 \text{ m}^3$$

$$\text{d) } \underline{V_c} = 2.38 + 0.05 + 0.44 = \underline{2.87 \text{ m}^3}$$

O custo unitário do concreto é Cr\$ 1.880,00, para concreto de  $f_{ck} = 150 \text{ kg/cm}^2$ , conforme dados da proposta de orçamento contida no anexo I, acrescido de 40% de reajuste.

Desse modo o custo do concreto no tanque de mistura será:

$$\text{Cr\$ } 1.880,00 \times 2.87 = \text{Cr\$ } 5.395,60$$

## 2) Formas necessárias

$$A_f = 2\pi R \times H_1 \times 2 \quad (\text{A}_f \text{ é a área de forma necessária})$$

$$A_f = 2 \times 3.14 \times 0.97 \times 2.60 \times 2 = 31.68 \text{ m}^2$$

O custo unitário, conforme proposta do anexo I, também a crescido de 40%, é de Cr\$ 250,00

O custo total será de:

$$\text{Cr\$ } 250,00 \times 31.68 = \text{Cr\$ } 7.920,00$$

## 3) Armadura

Considera-se como sendo  $60 \text{ kg/m}^3$  a densidade de ferro ne cessária para a armadura do tanque de sedimentação. Pela pro posta do anexo I, o custo unitário do ferro é igual a Cr\$22,50,

onde já foram considerados os preços da mão de obra e do reajuste de 40%.

Desse modo o custo da armadura será de :

$$\text{Cr\$ } 22,50/\text{kg} \times 60 \text{ kg/m}^3 \times 2.87 \text{ m}^3 = \text{Cr\$ } 3.874,50$$

4) Custo do agitador (motor + turbina)

De acordo com a proposta contida no anexo II para o agitador dimensionado na alternativa I, seu custo é de Cr\$ 58.000,00.

5) Custo total de implantação do tanque

$$\text{CT (Cr\$)} = 5.395,60 + 7.920,00 + 3.874,50 + 58.000,00$$

$$\underline{\text{CT (Cr\$)} = 75.190,10}$$

#### 7.4.1.1.2 Alternativa II

##### Seqüência de cálculo

1) Volume de concreto

$$\text{a) } V_p = 3.10 \times 2 \times 3.14 \times 2.11 \times 0.15 = 6.16 \text{ m}^3;$$

$$\text{b) } V_d = 0.06 \times 3.10 \times 0.10 \times 4 = 0.07 \text{ m}^3;$$

$$\text{c) } V_b = 3.14 \times (2.11)^2 \times 0.15 = 2.10 \text{ m}^3;$$

$$\text{d) } \underline{V_c} = 6.16 + 0.07 + 2.10 = \underline{8.33 \text{ m}^3}.$$

O custo será portanto de:

$$\text{Cr\$ } 1.880,00/\text{m}^3 \times 8.33 \text{ m}^3 = \text{Cr\$ } 15.660,00$$

2) Formas necessárias

$$\text{Af} = 2 \times 3.14 \times 2.11 \times 3.10 \times 2 = 82.15 \text{ m}^2.$$

O custo será portanto de:

$$\text{Cr\$ } 250,00/\text{m}^2 \times 82.15 \text{ m}^2 = \text{Cr\$ } 20.537,50$$

## 3) Armadura

$$\text{Cr\$ } 22,50/\text{kg} \times 8,33 \text{ m}^3 \times 60 \text{ kg/m}^3 = \text{Cr\$ } 11.245,00.$$

## 4) Agitador

O preço estabelecido na proposta do anexo II, para o agitador da alternativa II, foi de Cr\$ 145.000,00.

## 5) Custo total de implantação do tanque

$$\text{CT (Cr\$)} = 15.660,00 + 20.537,50 + 11.245,50 + 145.000,00$$

$$\underline{\text{CT (Cr\$)} = 192.443,40}$$

## 7.4.1.1.3 - Alternativa III

Seqüência de cálculo

## 1) Volume de concreto

$$\text{a) } V_p = 2,60 \times 2 \times 3,14 \times 1,67 \times 0,15 = 4,09 \text{ m}^3;$$

$$\text{b) } V_d = 0,05 \times 2,60 \times 0,10 \times 4 = 0,05 \text{ m}^3;$$

$$\text{c) } V_b = 3,14 \times (1,67)^2 \times 0,15 = 1,31 \text{ m}^3;$$

$$\text{d) } \underline{V_c} = 4,09 + 0,05 + 1,31 = \underline{5,45 \text{ m}^3}.$$

O custo será portanto de:

$$\text{Cr\$ } 1.880,00/\text{m}^3 \times 5,45 \text{ m}^3 = \text{Cr\$ } 10.246,00$$

## 2) Formas necessárias

$$A_f = 2 \times 3,14 \times 1,67 \times 2,60 \times 2 = 54,54 \text{ m}^2.$$

O custo será portanto de :

$$\text{Cr\$ } 250,00/\text{m}^2 \times 54,54 \text{ m}^2 = \text{Cr\$ } 13.635,00$$

## 3) Armadura

$$\text{Cr\$ } 22,50/\text{kg} \times 5,45 \text{ m}^3 \times 60 \text{ kg/m}^3 = \text{Cr\$ } 7.357,50.$$

## 4) Agitador

O preço estabelecido para o agitador da alternativa III, é de Cr\$ 60.000,00, conforme anexo II.

## 5) Custo total de implantação do tanque

$$CT \text{ (Cr\$)} = 10.246,00 + 13.635,00 + 7.357,50 + 60.000,00$$

$$\underline{CT \text{ (Cr\$)} = 91.238,50}$$

## 7.4.1.1.4. Alternativa IV

Seqüência de cálculo:

## 1) Volume de concreto

$$a) V_p = 4.10 \times 2 \times 3.14 \times 2.5 \times 0.15 = 9.66 \text{ m}^3;$$

$$b) V_d = 0.08 \times 4.10 \times 0.10 \times 4 = 0.13 \text{ m}^3;$$

$$c) V_b = 3.14 \times (2.5)^2 \times 0.15 = 2.94 \text{ m}^3;$$

$$d) \underline{V_c} = 9.66 + 0.13 + 2.94 = \underline{12.73 \text{ m}^3}$$

O custo será portanto de:

$$\text{Cr\$ } 1.880,00/\text{m}^3 \times 12.73 \text{ m}^3 = \text{Cr\$ } 23.932,40$$

## 2) Formas necessárias

$$A_f = 2 \times 3.14 \times 2.5 \times 4.10 \times 2 = 128.74 \text{ m}^2.$$

O custo será portanto de;

$$\text{Cr\$ } 250,00/\text{m}^2 \times 128.74 \text{ m}^2 = \text{Cr\$ } 32.185,00$$

## 3) Armadura

$$\text{Cr\$ } 22,50/\text{kg} \times 12.73 \text{ m}^3 \times 60 \text{ kg/m}^3 = \text{Cr\$ } 17.185,50$$

## 4) Agitador

O preço estabelecido para esta alternativa foi de Cr\$ 196.000,00.

5) Custo total de implantação do tanque

$$CT \text{ (Cr\$)} = 23.932,40 + 32.185,00 + 17.185,50 + 196.000,00.$$

$$\underline{CT \text{ (Cr\$)} = 269.302,90}$$

#### 7.4.1.2 Sedimentador

O preço unitário da escavação, é de Cr\$ 84,00, conforme dados da proposta contida no anexo I, em que já foi feito o reajuste de 40%.

O volume total a ser escavado é de aproximadamente de 130 m<sup>3</sup>, desse modo o custo de implantação da bacia de sedimentação será de:

$$\underline{Cr\$ 84,00/m^3 \times 130 \text{ m}^3 = Cr\$ 10.920,00}$$

#### 7.4.2 Custo de implantação para a neutralização com cal

##### 7.4.2.1 Misturador

##### 7.4.2.1.1. Alternativa I

Os custos unitários serão os mesmos considerador nas etapas de naturalização com calcário.

Seqüência de cálculo:

1) Volume de concreto

$$a) V_p = 2.60 \times 2 \times 3.14 \times 1.37 \times 0.15 = 3.36 \text{ m}^3;$$

$$b) V_d = 0.05 \times 2.60 \times 0.10 \times 4 = 0.05 \text{ m}^3;$$

$$c) V_b = 3.14 \times (1.37)^2 \times 0.15 = 0.88 \text{ m}^3;$$

$$d) \underline{V_c} = 3.34 + 0.05 + 0.88 = \underline{4.29 \text{ m}^3}.$$

O custo será portanto de:

$$\text{Cr\$ } 1.880,00/\text{m}^3 \times 4.29 \text{ m}^3 = \text{Cr\$ } 8.065,20$$

2) Formas necessárias

$$A_f = 2 \times 3.14 \times 1.37 \times 2.60 \times 2 = 44.74 \text{ m}^2.$$

O custo será portanto de:

$$\text{Cr\$ } 250,00/\text{m}^2 \times 44.74 \text{ m}^2 = \text{Cr\$ } 11.185,00$$

3) Armadura

$$\text{Cr\$ } 22,50/\text{kg} \times 4.29 \text{ m}^3 \times 60 \text{ kg}/\text{m}^3 = \text{Cr\$ } 5.791,50$$

4) Agitador

O preço estabelecido para o agitador é de Cr\$ 90.000,00, para esta alternativa.

5) Custo total de implantação do tanque

$$CT (\text{Cr\$}) = 8.065,20 + 11.185,00 + 5.791,50 + 90.000,00$$

$$\underline{CT (\text{Cr\$}) = 115.041,70}$$

7.4.2.1.2 Alternativa II

Seqüência de cálculo:

1) Volume de concreto

$$a) V_p = 1.60 \times 2 \times 3.14 \times 0.87 \times 0.15 = 1.31 \text{ m}^3;$$

$$b) V_d = 0.03 \times 1.60 \times 0.10 \times 4 = 0.02 \text{ m}^3;$$

$$c) V_b = 3.14 \times (0.87)^2 \times 0.15 = 0.36 \text{ m}^3;$$

$$d) \underline{V_c} = 1.30 + 0.02 + 0.36 = \underline{1.69 \text{ m}^3}.$$

O custo será portanto de:

$$\text{Cr\$ } 1.880,00/\text{m}^3 \times 1.69 \text{ m}^3 = \text{Cr\$ } 3.177,20$$

2) Formas necessárias

$$\text{Af} = 2 \times 3.14 \times 0.87 \times 1.60 \times 2 = 17.48 \text{ m}^2.$$

O custo será portanto de:

$$\text{Cr\$ } 250,00/\text{m}^2 \times 17.48 \text{ m}^2 = \text{Cr\$ } 4.370,00$$

3) Armadura

$$\text{Cr\$ } 22,50/\text{kg} \times 1.69 \text{ m}^3 \times 60 \text{ kg}/\text{m}^3 = \text{Cr\$ } 2.281,50$$

4) Agitador

O preço do agitador estabelecido para esta alternativa foi de Cr\$ 42.000,00

5) Custo total de implantação do tanque

$$\text{CT (Cr\$)} = 3.177,20 + 4.370,00 + 2.281,50 + 42.000,00$$

$$\underline{\text{CT (Cr\$)} = 51.828,70}$$

#### 7.4.2.1.3 - Alternativa III

##### Seqüência de cálculo:

1) Volume de concreto

$$a) V_p = 2.60 \times 2 \times 3.14 \times 1.93 \times 0.15 = 4.73 \text{ m}^3;$$

$$b) V_d = 0.05 \times 2.60 \times 0.10 \times 4 = 0.05 \text{ m}^3;$$

$$c) V_b = 3.14 \times (1.93)^2 \times 0.15 = 1.75 \text{ m}^3;$$

$$d) \underline{V_c} = 4.73 + 0.05 + 1.75 = \underline{6.53 \text{ m}^3}.$$

Tabela 16. Custo total de implantação da unidade de tratamento por neutralização

ALTERNATI VAS	M I S T U R A D O R											SEDIMENTADOR						Custo total da unidade de tratamen to	
	Volume do tanque (m <sup>3</sup> )	Volume do concreto (m <sup>3</sup> )	Custo unitário Cr\$/m <sup>3</sup>	Sub-total Cr\$	Área de forma (m <sup>2</sup> )	Custo de unitã Cr\$/m <sup>2</sup>	Sub-total Cr\$	Qde de ferro para arma ção (kg)	Custo unitã Cr\$/kg	Sub-total Cr\$	Rota ção da tur bina (rpm)	Potên cia instala da (Hp)	Custos do motor + tur bina Cr\$	Custo to tal da uni dade Cr\$	Volu me a ser escava do (m <sup>3</sup> )	Custo unitã Cr\$/m <sup>3</sup>	Sub -to tal Cr\$		Custo to tal da unidade Cr\$
I (CALCÁRIO)	5.83	2.87	1.880,00	5.395,60	31.68	250,00	7.920,00	172.20	22,50	3.874,50	215	10	58.000,00	75.190,10	130	84,00	-	10.920,00	86.110,10
II (CALCÁRIO)	35	8.33	"	15.660,40	82.15	"	20.537,50	499.80	"	11.245,50	410	130	145.000,00	192.443,40	"	"	-	"	203.363,40
III (CALCÁRIO)	17.50	5.45	"	10.246,00	54.54	"	13.635,00	327.00	"	7.357,50	310	25	60.000,00	91.238,50	"	"	-	"	102.158,50
IV (CALCÁRIO)	70	12.73	"	23.932,40	128.74	"	32.185,50	763.80	"	17.185,50	215	100	196.000,00	269.302,90	"	"	-	"	280.222,90
I (CAL)	11.67	4.29	"	8.065,20	44.74	"	11.185,00	257.40	"	5.791,50	380	50	90.000,00	115.041,70	155	"	-	13.020,00	128.061,70
II (CAL)	2.34	1.69	"	3.177,20	17.48	"	4.370,00	101.40	"	2.281,50	600	10	42.000,00	51.828,70	"	"	-	"	64.848,70
III (CAL)	23.34	6.53	"	12.276,40	63.03	"	15.757,00	391.80	"	8.815,50	300	35	72.000,00	108.849,40	"	"	-	"	121.869,40



7.4.3 Custo anual da unidade de tratamento que utiliza calcário como reagente neutralizador

7.4.3.1. Alternativa I mais o sedimentador

Seqüência de cálculo:

1) Custo do calcário

A dosagem 1:2.5 de calcário CIMENVALE requer, 8.40 kg de reagente para neutralizar 1.0 m<sup>3</sup> de água ácida proveniente da mina de poço de Lauro Müller. Desse modo são necessárias:

$1680 \text{ m}^3/\text{dia} \times 0.5 \text{ dia} \times 365 \times 8.40 \text{ kg/m}^3 \times 10^{-3} = 2575.44$   
toneladas de calcário por ano.

O preço do calcário com diâmetro menor que 0.177 mm (filler) é de Cr\$ 540,00 por tonelada, na localidade de Salseiro, onde situa-se a fábrica. Com o transporte até Criciúma, cujo preço é igual a Cr\$ 800,00/ton., o valor do calcário passa para Cr\$ 1.340,00, conforme dados apresentados no anexo III. Desse modo o gasto anual com o reagente será de:

$\text{Cr\$ } 1.340,00/\text{ton.} \times 2575.44 \text{ ton/ano} = \text{Cr\$ } 3.451.089,60$

2) Custo total anual da unidade de tratamento

a) misturador .....	Cr\$	75.190,10
b) sedimentador.....	Cr\$	10.920,00
c) calcário .....	Cr\$	<u>3.451.089,60</u>
TOTAL.....	Cr\$	3.537.199,70

## 7.4.3.2 Alternativa II mais sedimentador

Seqüência de cálculo:

## 1) Custo do calcário

Devido ter esta alternativa a mesma dosagem da alternativa anterior, a quantidade de calcário consumida será idêntica:

2575.44 ton./ano.

O preço estabelecido no anexo III para a granulometria da amostra fornecida na fábrica para o calcário CIMENVALE, é de Cr\$ 150,00/ton. Com frete do transporte até Criciúma o valor da tonelada passa para Cr\$ 950,00. Deste modo o gasto anual com reagente será de:

Cr\$ 950,00/ton. x 2575.44 ton/ano = Cr\$ 2.446.668,00

## 2) Custo total anual da unidade de tratamento

a) misturador .....	Cr\$ 192.443,40
b) sedimentador .....	Cr\$ 10.920,00
c) calcário .....	Cr\$ <u>2.446.668,00</u>

TOTAL..... Cr\$ 2.650.031,40

## 7.4.3.3. Alternativa III mais sedimentador

Seqüência de cálculo:

## 1) Custo do calcário

A dosagem 1:2 de calcário CIMENVALE requer, 6.70 kg para neutralizar 1.0 m<sup>3</sup> de água ácida da mina de poço de Lauro

Müller. A quantidade de calcário consumida anualmente será de:

$$1680 \text{ m}^3/\text{dia} \times 0.5 \text{ dia} \times 365 \times 6.70 \text{ kg/m}^3 \times 10^{-3} = 2054.22 \text{ toneladas.}$$

Como o preço do filler é de Cr\$ 1.340,00/ton., o gasto a nual, com este tipo de calcário será de:

$$\text{Cr\$ } 1.340,00/\text{ton.} \times 2054.22 \text{ ton/ano} = \text{Cr\$ } 2.752.654,80$$

2) Custo total anual da unidade de tratamento

a) misturador..... Cr\$ 91.238,50

b) sedimentador..... Cr\$ 10.920,00

c) calcário ..... Cr\$ 2.752.654,80

TOTAL..... Cr\$ 2.854.813,30

#### 7.4.3.4 Alternativa IV mais sedimentador

##### Seqüência de cálculo:

1) Custo do calcário

A quantidade consumida de calcário é a mesma do item ante rior (dosagem 1:2).

Como o preço do calcário é de Cr\$ 950,00 para a granulome<sup>tr</sup>ia da amostra, tem-se que o gasto anual com o reagente será de:

$$\text{Cr\$ } 950,00/\text{ton} \times 2054.22 \text{ ton/ano} = \text{Cr\$ } 1.951.509,00$$

2) Custo total anual da unidade de tratamento

a) misturador.....	Cr\$	269.302,90
b) sedimentador.....	Cr\$	10.920,00
c) calcário .....	Cr\$	<u>1.951.509,00</u>
TOTAL.....	Cr\$	2.231.731,90

#### 7.4.4 Custo anual da unidade de tratamento que utiliza a cal como reagente neutralizador

##### 7.4.4.1. Alternativa I mais sedimentador

##### Seqüência de cálculo:

###### 1) Custo da cal

A dosagem 1:0.5 de cal CALSELE requer, 1.38 kg do reagente para neutralizar 1.0 m<sup>3</sup> de água ácida da mina de poço de Lauro Müller. A quantidade consumida anualmente será de:

$$1680 \text{ m}^3/\text{dia} \times 0.5 \text{ dia} \times 365 \times 1.38 \text{ kg/m}^3 \times 10^{-3} = 423.11 \text{ toneladas.}$$

O preço da tonelada de cal, na fábrica, é de Cr\$ 600,00. Devido a determinações internas da concessionária, não foi possível conseguir-se uma planilha de preços da cal em caráter oficial, para que fosse anexada.

Considerando o preço do transporte como sendo o mesmo estabelecido para o calcário (Cr\$ 800,00), tem-se que o gasto anual com a cal será de:

$$\text{Cr\$ } 1.400,00/\text{ton} \times 423.11\text{ton/ano} = \text{Cr\$ } 592.354,00$$

2) Custo total anual da unidade de tratamento	
a) misturador .....	Cr\$ 115.041,70
b) sedimentador .....	Cr\$ 13.020,00
c) cal ... ..	Cr\$ <u>592.354,00</u>
TOTAL.....	Cr\$ 720.415,70

#### 7.4.4.2 Alternativa II mais sedimentador

##### Seqüência de cálculo:

##### 1) Custo da cal

A dosagem 1:1 requer o dobro da quantidade de cal do que a anterior, isto é, 2.76 kg/m<sup>3</sup> de água ácida. A quantidade consumida anualmente será de:

$$423.11 \text{ ton/ano} \times 2 = 846.22 \text{ toneladas/ano.}$$

Considerando os mesmos preços do ítem anterior, tem-se que o gasto anual com cal é de:

$$\text{Cr\$ } 1.400,00/\text{ton} \times 846.22 \text{ ton/ano} = \text{Cr\$ } 1.184.708,00$$

2) Custo total anual da unidade de tratamento	
a) misturador .....	Cr\$ 51.828,70
b) sedimentador .....	Cr\$ 13.020,00
c) cal.....	Cr\$ <u>1.184.708,00</u>
TOTAL .....	Cr\$ 1.249.556,70

Tabela 17. Custos das etapas do processo e do reagente consumido por ano

ALTERNATIVAS	Custo de im plantação do misturador (Cr\$)	Custo de im plantação do sedimentador (Cr\$)	Quantidade de calcário gasta/ano (ton)	Preço do cal cário na fá brica (Vidal Ramos) (Cr\$)	Preço do transporte a Criciúma (Cr\$)	Custo anual com calcário (Cr\$)	Quantidade de cal gasta por ano (ton)	Preço da cal em Criciúma (Cr\$)	Custo anual da cal (Cr\$)	Custo da uni dade de trata mento (Cr\$)
I (CALCÁRIO)	75.190,10	10.920,00	2575.44	540,00	800,00	3.451.089,60	-	-	-	3.537.199,70
II (CALCÁRIO)	192.443,40	10.920,00	2575.44	150,00	800,00	2.446.668,00	-	-	-	2.650.031,40
III (CALCÁRIO)	91.238,50	10.920,00	2054.22	540,00	800,00	2.752.654,80	-	-	-	2.854.813,30
IV (CALCÁRIO)	269.302,90	10.920,00	2054.22	150,00	800,00	1.951.509,00	-	-	-	2.231.731,90
I (CAL)	115.041,70	13.020,00	-	-	800,00	-	423.11	1.400,00	592.354,00	720.415,70
II (CAL)	51.828,70	13.020,00	-	-	800,00	-	846.22	1.400,00	1.184.708,00	1.249.556,70
III (CAL)	108.849,40	13.020,00	-	-	800,00	-	423.11	1.400,00	592.354,00	714.223,40

## 8. CONCLUSÕES DO ESTUDO TÉCNICO-ECONÔMICO

Esta parte do trabalho pretende fornecer uma idéia da viabilidade de implantação dos métodos estudados. Concluiu-se que:

1) O método utilizado nos ensaios para neutralização das águas ácidas drenadas das minas de carvão de Lauro Müller, Urussanga e Siderópolis é tecnicamente passível de tratamento com calcário (Tomio e Cimenvale). Porém, do ponto de vista econômico, o processo se mostrou caro, devido ao alto consumo de reagente, proporcionando um gasto anual elevado (Tabela 17). A justificativa para este alto consumo se baseia no fato de que, os dois tipos de calcários empregados nos ensaios, possuem teores de  $\text{CaCO}_3$  baixos (em torno de 50%), em relação aos teores de  $\text{MgO}$  (em torno de 20%). Com estes índices de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{MgO}$ , o calcário é fracamente dissolvido na presença de águas ácidas, o que proporciona a utilização de dosagens elevadas para se conseguir o nível de neutralização desejada ( $\text{pH} = 5$ ). De modo que no final da reação, uma grande parte do calcário permanece sem reagir. Por outro lado, se a dosagem for diminuída, o tempo de reação para se alcançar o nível de  $\text{pH} = 5$ , torna-se extremamente longo, o que acarreta um aumento na energia gasta para movimentação do agitador.

2) A cal por ser um reagente com características de solubilidade superiores ao calcário, apresentou resultados mais

favoráveis para a aplicação no tratamento por neutralização dessas águas ácidas.

Levando-se em conta a produção anual do carvão da mina de Lauro Müller, cerca de 129600 ton. (ALVAREZ, F.C.et.alii. 1978. p. 57), tem-se que o incremento de custo na tonelada de carvão extraída, a fim de cobrir o custo do tratamento com cal será de:

$$\frac{\text{Custo anual do tratamento (Cr\$)} \quad 720.000,00}{\text{Produção anual de carvão (ton.)} \quad 129600} = \text{Cr\$ } 5.56/\text{ton.}$$

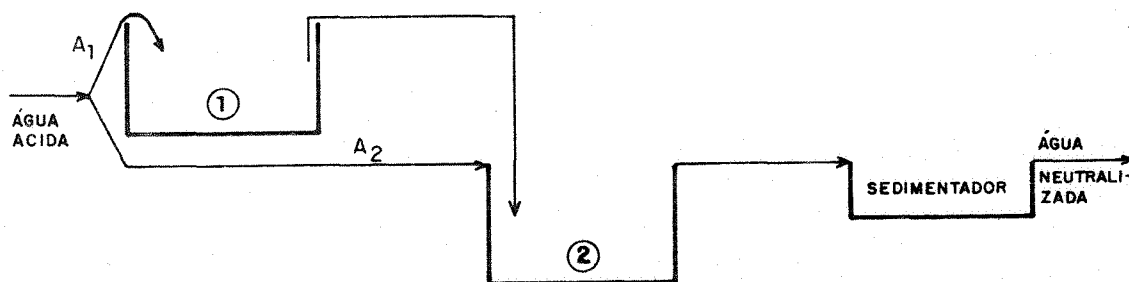
Isto representa um aumento no custo na tonelada de carvão de 1.24 %. Supõem-se ser de Cr\$ 417,78 o preço da tonelada de carvão, conforme dados contidos no anexo IV.



## 9. RECOMENDAÇÕES

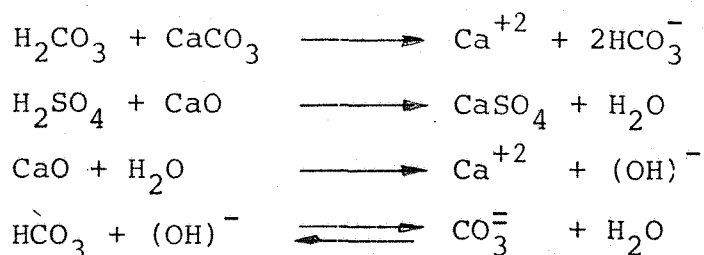
1) Recomenda-se, a fim de que seja diminuído o consumo de calcário, a recirculação do lodo decantado no sedimentador para o tanque de mistura. A percentagem do lodo a ser recirculada acarretaria de novas experiências no laboratório. Acredita-se que a utilização do lodo como parte da dosagem do calcário, influenciaria diretamente na diminuição do consumo.

2) Recomenda-se ensaios no laboratório outros métodos de aplicação do calcário, por exemplo, o uso de tambores rotativos, a passagem da água ácida através do leito de calcário, a neutralização combinada entre calcário e cal e a utilização de outros reagentes químicos. Sendo que o principal problema na utilização do método ensaiado para esses dois tipos de calcário, foi a característica de pouca solubilidade dos mesmos, recomenda-se que se estudem o seguinte processo:



Divide-se, inicialmente a vazão da água ácida em duas (conforme Figura). No tanque (1) ocorrerão as seguintes reações com calcário:





Como se nota pelas equações acima, bastante alcalinidade é adicionada no tanque (1), de modo que as reações no tanque (2) dar-se-ão de uma forma muito rápida, por isso, pode ser desnecessário a utilização de um agitador mecânico. Assim, um estudo apurado deste processo pode-se chegar a resultados extremamente favoráveis de calcários dolomíticos para a neutralização de águas ácidas.

3) Devido ao preço elevado do transporte em relação aos preços do calcário e da cal na fábrica, recomenda-se a pesquisa de jazidas desses produtos que estejam próximas a região carbonífera. Por exemplo, ocorrências cadastradas pela SUDESUL - CPRM (VERGARA, V. 1976), nos municípios de Nova Venéza, Urussanga e Criciúma, que permitem supor que no tocante a qualidade química, a reserva e a situação topográfica, sejam vantajosas as explorações destas jazidas, a fim de proporcionarem a neutralização das águas ácidas drenadas das minas de carvão.

4) Recomenda-se, a fim de evitar ou diminuir a necessidade do próprio tratamento, que se estudem medidas de prevenção que evitem a liberação dos poluentes em sua origem,

através de um melhor planejamento das atividades de mineração e de recuperação econômica dos resíduos (finos do carvão).

## 10. BIBLIOGRAFIAS

- ALVAREZ, F.C.; UNGARETTI, R.L.; D'AMICO, J.J.; LEÃO, M.I. & DEININGER, R. 1978. Impacto da mineração do carvão sobre os recursos hídricos da bacia carbonífera de Santa Catarina. Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 133f.
- ARBOLEDA VALENCIA, J. 1973. Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua. Lima, CEPIS. 558p.
- BAKER-WIBBERLEY. 1977. Underground mine drainage control Snowy Creek-Laurel Run, West Virginia. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency. 132p.
- BRETAS, F.; FARRELL, A. & SEALEY, H. 1977. A case study of coal mining industry. s.l., s.ed. 62f.
- CARUCCIO, Frank T. et alii. 1977. Paleoenvironment of coal and its relation to drainage quality. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency. 108p.
- CETESB. 1974. Técnica de abastecimento e tratamento de água. São Paulo. V.2.
- CPRM. 1972. Projeto carvão de Santa Catarina. Relatório integrado. 172f.
- DOUGHERTY, Nurray T. & HOLZEN, Habs H. 1976. Evaluation of surface mine reclamation techniques. Campbell's Run Watershed, Pennsylvania. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency. 51p.
- ECKENFELDER, W.W., Jr. & FORD, D.L. 1970. Water pollution control. Austin, Jenkins. 265p.
- EROSION and sediment control; surface mining in the Eastern U.S. 1976. s.l., U.S. Environmental Protection Agency. 136p.
- HILL, Ronald D. 1974. Overview of use of carbonate rocks for controlling acid mine drainage. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency. 10p.
- HILL, Ronald D. 1975. Sediment control and surface mining. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency. 16f.

- HILL, Ronald D. & WILMOTH, Roger C. 1971. Limestone treatment of acid mine drainage. SME Transactions, 250: 162-6, June.
- INDUSTRIAL ENVIRONMENTAL RESEARCH LABORATORY. Resources Extraction and Handling Division. 1977. Elkins mine drainage pollution control demonstration project. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency. 316p.
- JORDÃO, Eduardo P. & PESSÔA, Constantino A. 1975. Tratamento de esgotos domésticos. São Paulo, CETESB. V.l.
- MARTIN, John F. & HARRIS, Eugene F. 1977. Research and development programs for pollution control in mining and transport of solid fuels. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency. 4p.
- METCALF, Leonard & EDDY, Harrison P. 1977. Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Barcelona, Labor. 837p.
- NEMEROW, Nelson L. 1971. Liquid waste of industry. Reading Mass., Addison-Wesley. 584p.
- PAULING, Linus. 1969. Química geral. Rio de Janeiro. Ao Livro Técnico. V.l.
- ROBINS, John D. & HUTCHINS, John C. 1975. Criteria for developing pollution abatement programs for inactive and abandoned mine sites. Washington, U.S. Environmental Protection Agency. 543p.
- ROSENCRANCE, James E. 1966. Manual de laboratório de química da água. Rio de Janeiro, USAID. 63p.
- SAWYER, Clair N. & McCARTY, Perry L. 1967. Chemistry for sanitary engineers. 2.ed. Tokyo, Kogakusha. 518p.
- SCOTT, R.; Lennie, R. & HAYS, Ronald M. 1975. Inactive and abandoned underground mines; Water pollution prevention and control. Washington, U.S. Environmental Protection Agency. 338p.
- SMITH, Richard M. et alii. 1976. Extensive overburden potentials for soil and water quality. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency. 311p.

- VERGARA, Valmor d'Ávila & MACHADO, José Luiz Flores. 1976. Projeto inventário de calcário no estado de Santa Catarina; relatório final. Porto Alegre, CPRM. 100p
- WILMOTH, Roger C. & KENNEDY, James L. s.d. Treatment options for acid mine drainage control. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency. 17p.
- WILMOTH, Roger C.; MASON, Donald G. & GUPTA, Mahendra. 1972. Treatment of ferrous iron acid mine drainage by reverse osmosis. S.l., s.ed. 43f.
- WILMOTH, Roger C. & MARTIN John F. 1977a. Neutralization options for acid mine drainage control. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency. 6p.
- WILMOTH, Roger C.; SCOTT, Robert B. & KENNEDY, James L. 1977b. Investigation of ion exchange treatment of acid mine drainage. Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency. 22p.
- \* RUSHTON, J.H. 1952. Mixing of liquids in chemical processing. Industrial and Engineering Chemistry, vol.44, nº12.

ANEXO I

---

PROPOSTA DE ORÇAMENTO PARA EXECUÇÃO DAS  
OBRAS DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGO  
TO CAMPUS DO VALE DA AGRONOMIA - UFRGS.

---



Empresa  
Sul  
Brasileira de  
Engenharia  
Ltda.

## P R O P O S T A

A Empresa Sul Brasileira de Engenharia Ltda, com sede na Av. Farrapos, 146 - 8º andar, n/Capital, inscrita no - CGCMF nº 92.700.723/0001-11, propõe a execução da 1ª. Etapa das obras da Estação de Tratamento de Esgotos do Campus do Vale da - Agronomia - UFRGS, sob o regime de empreitada global, de acordo com o Edital nº 01/ETC/78 do Escritório Técnico do Campus, sob - as seguintes condições:

### 1) - PREÇOS:

- a) Unitários: Conforme Orçamento Discriminativo;
- b) Global: Cr\$ 1.128.953,70 (Hum milhão, cento e vinte e oito mil, novecentos e cinquenta e - três cruzeiros e setenta centavos).

### 2) - PRAZOS:

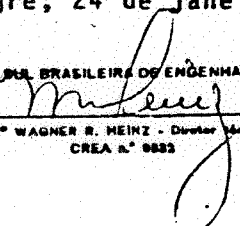
- a) Execução dos serviços: 120 (cento e vinte) dias - consecutivos;
- b) Validade da proposta: 60 (sessenta) dias contados da data de abertura da mesma.

### 3) - CONDIÇÕES DE PAGAMENTO:

De acordo com o previsto no Item 12 do Edital.

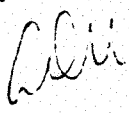

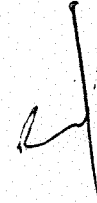
Porto Alegre, 24 de janeiro de 1978

EMPRESA SUL BRASILEIRA DE ENGENHARIA LTDA.

  
Eng.º WAGNER R. HEINZ - Diretor Técnico  
CREA n.º 9883

### Anexos:

- Orçamento Discriminativo
- Cronograma Físico-financeiro
- Certificado de Registro na UFRGS
- Comprovante da Caução Inicial
- Atestado de Idoneidade do CREA
- Declaração de visita ao local da obra
- Declaração de conhecimento do Edital
- Prova de Capital (24a. alteração de contrato)

  
  
  
Av. Farrapos, 146 - 8.º Andar  
Porto Alegre - RS  
Telefones: 25-1271 • 21-2362  
Telegr. ESBEL  
C.G.C.M.F. 92.700.723/0001-11



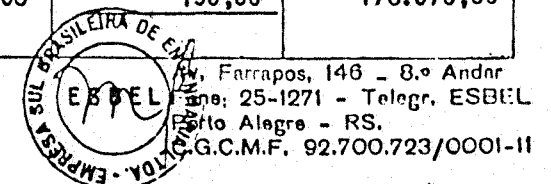
Empresa  
Sul  
Brasileira de  
Engenharia  
Ltda.

ORÇAMENTO DISCRIMINATIVO

OBRA: EDITAL Nº 01/ETC/78  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE

ITEM	SERVIÇOS	UN.	QUANTID.	PREÇO UNITÁRIO		T O T A L		ESGOTOS DO CAMPUS	
				M. OBRA	MATERIAL	MÃO DE OBRA	MATERIAL	TOTAL PARCIAL	
1.	INSTALAÇÃO	vb	-	-	-	-	-	-	30.000,00
2.	MOVIMENTO DE TERRA								
2.1	Limpeza do terreno	m2	3.000	2,00	-	6.000,00	-	6.000,00	
2.2	Cortes	m3	235	40,00	-	9.400,00	-	9.400,00	
2.3	Aterros	m3	53	40,00	-	2.120,00	-	2.120,00	
2.4	Compactação	m2	3.000	30,00	20,00	90.000,00	60.000,00	150.000,00	
2.5	Escavação	m3	876	60,00	90,00	52.560,00	78.840,00	131.400,00	
2.6	Reaterro	m3	216	40,00	-	8.640,00	-	8.640,00	307.560,00
3.	CONCRETO MAGRO	m3	29	300,00	840,00	8.700,00	24.360,00	33.060,00	33.060,00
4.	ESTRUTURA								
4.1	Concreto Fck = 150 kg/cm2	m3	62	400,00	940,00	24.800,00	58.280,00	83.080,00	
4.2	Concreto Fck = 135 kg/cm2	m3	41	400,00	850,00	16.400,00	34.850,00	51.250,00	
4.3	Formas	m2	631	85,00	94,00	53.635,00	59.314,00	112.949,00	
4.4	Armadura	kg	6.327	6,40	9,70	40.492,80	61.371,90	101.864,70	349.143,70
5.	LIGAÇÕES								
5.1	Tubo de ferro fundido Ø 300 mm	m	33	580,00	3.040,00	19.140,00	100.320,00	119.460,00	
5.2	Tubo de ferro fundido Ø 150 mm	m	13	430,00	1.200,00	5.590,00	15.600,00	21.190,00	
5.3	Registro de gaveta	un	2	350,00	4.100,00	700,00	8.200,00	8.900,00	
5.4	Tubos de Cimento Amianto Ø 300mm	m	45	90,00	500,00	4.050,00	22.500,00	26.550,00	
5.5	Tubos de Cimento Amianto Ø 150mm	m	11	30,00	190,00	330,00	2.090,00	2.420,00	
5.6	Tubos de Cimento Amianto Ø 100mm	m	1	10,00	140,00	10,00	140,00	150,00	178.670,00

continua...





Empresa  
Sul  
Brasileira de  
Engenharia  
Ltda.

ORÇAMENTO DISCRIMINATIVO  
continuação .. Fla. 02

EDITAL Nº 01/ETC/78  
OBRA: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ESGOTOS DO CAMPUS

ITEM	SERVIÇOS	UN.	QUANTID.	PREÇO UNITÁRIO		T O T A L		TOTAL PARCIAL	TOTAL GERAL	
				M.OBRA	MATERIAL	MÃO DE OBRA	MATERIAL			
6.	PAISAGISMO									
6.1	Arborização	un	28	50,00	500,00	1.400,00	14.000,00	15.400,00		
6.2	Enleivamento	m2	2.800	23,00	24,00	64.400,00	67.200,00	131.600,00	147.000,00	
7.	IMPERMEABILIZAÇÃO	m2	260	60,00	70,00	15.600,00	18.200,00	33.800,00	33.800,00	
8.	DIVERSOS									
8.1	Comportas c/volante	un	3	350,00	3.500,00	1.050,00	10.500,00	11.550,00		
8.2	Comportas Simples	un	6	200,00	1.500,00	1.200,00	9.000,00	10.200,00		
8.3	Mangueira flexível Ø 150 mm	m	6	50,00	1.040,00	300,00	6.240,00	6.540,00		
8.4	Caixas de Concreto	un	3	480,00	880,00	1.440,00	2.640,00	4.080,00		
8.5	Caixas de Alvenaria	un	2	250,00	450,00	500,00	900,00	1.400,00		
8.6	Grade com Cantoneira	m2	0,5	350,00	1.550,00	175,00	775,00	950,00		
8.7	Limpeza	vb	-	-	-	-	-	15.000,00	49.720,00	
			TOTAL GERAL .....					-	Cr\$ 1.128.953,70	

IMPORTA O PRESENTE ORÇAMENTO EM: Hum milhão, cento e vinte e oito mil, novecentos e cinquenta e três cruzeiros e setenta centavos.

Porto Alegre, 24 de janeiro de 1978

EMPRESA SUL BRASILEIRA DE ENGENHARIA LTDA

Eng.º WAGNER F. HEINZ - Diretor Técnico  
CREA Nº 0372

Av. Farrapos, 146 - 8.º Andar  
Fone: 25-1271 - Teleg. ESBEL  
Porto Alegre - RS.  
C.G.C.M.F. 92.700.723/0001-11



METALÚRGICA SULINOX Ltda.

Rua Almirante Tamandaré, 147 - Fones: 22-0269 - 22-4954 - 22-4121 - P. Alegre - RS  
Inscrição Estadual 096/9380751 - CGC 92.759.471/0001-04

EQUIPAMENTOS PARA INDÚSTRIAS DE:

- BEBIDAS
  - QUÍMICAS
  - LATICÍNIOS
  - LABORATÓRIOS
  - DOCES
  - ALIMENTÍCIOS
- E OUTRAS INDÚSTRIAS

Porto Alegre, 08 de fevereiro de 1979.

PRODUTOS

DA

AFAMADA

MARCA

EINSFELD

EM AÇO INOX

Alambiques

Bombas

Baldes

Destiladores

Fervedores a vácuo

" vapor

" fogo direto

Filtros álcool, água

Filtro de xarope

Gaseificadoras

Mexedores

Funil

Panelões

Espumadeira

etc.

EM FERRO

Caldetras

Depósitos

Filtros para piscinas

e equipamento de

Sauna Comercial

e residencial

etc.

Ao

I.P.H.

Nesta Capital

Prezados Senhores:

Servimo-nos da presente para apresentar-lhes  
nosso orçamento, para a fabricação do equipamento abaixo des-  
crito.

AGITADOR VERTICAL PARA TANQUE

- De 10 H.P., com Redutor de Velocidade.
- Preço unitário: Cr\$ 58.000,00, mais I.P.I. de lei.
- De 100 H.P., com Redutor de Velocidade.
- Preço unitário: Cr\$ 196.000,00, mais I.P.I. de lei.

AGITADOR VERTICAL PARA TANQUE, SEM REDUTOR

- De 130 H.P. Cr\$ 145.000,00 mais I.P.I. de lei.
- De 50 H.P. Cr\$ 90.000,00 mais I.P.I. de lei.
- De 25 H.P. Cr\$ 60.000,00 mais I.P.I. de lei.
- De 10 H.P. Cr\$ 42.000,00 mais I.P.I. de lei.
- De 35 H.P. Cr\$ 72.000,00 mais I.P.I. de lei.
- A redução de velocidade, neste tipo de agitador será feita,  
atravéz de polias.
- Eixos e elices, serão construídas em aço inoxidável.
- Prazo de entrega: A Combinar.
- Condições de pagamento: 30% desinal, com o pedido e o saldo,  
á combinar.

A presente proposta tem validade de 30 d.d, e  
o material nela cotado, é colocado em nossa fábrica.

Limitando-nos ao acima exposto, subscrevemo-  
nos

atenciosamente,

METALURGICA SULINOX LTDA

ANEXO III

---

PREÇOS POR TONELADA DO CALCÁRIO CIMENVALE  
EM VIDAL RAMOS E DO TRANSPORTE ATÉ CRICIÚ  
MA.

---



CIMENVALE - mineração e cimento vale do itajaí s. a.

Rua Hercílio Luz, 26 - Brusque - SC. - End. Telegr. - CIMENVALE -  
Caixa Postal, 228 - Fone: 55-1433 - C.G.C.M.F. N.º 82.989.369/0001-33 - CEP. 88.350 - BRUSQUE - SC.

Df. nº 056 /79

100018

Brusque, 05 de janeiro de 1979

Ao  
Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
Av. Bento Gonçalves, 10.600  
Caixa Postal, 530  
90.000 - PORTO ALEGRE - RS

Prezados Senhores,

Conforme contatos telefônicos mantidos nesta data, damos a seguir os preços de nossos produtos, como seja:

Calcário a granel posto fábrica	-	Cr\$ 150,00/ton.
Calcário ensacado posto fábrica	-	Cr\$ 250,00/ton.
Filler a granel posto fábrica	-	Cr\$ 540,00/ton.
Filler ensacado posto fábrica	-	Cr\$ 625,00/ton.

Esclareçemos que os preços acima estão sujeitos a reajuste.

Por outro lado, de acordo com informações da firma Transportes Arécio Ltda., o mesmo poderá efetuar o frete entre Vidal Ramos a Criciúma, ao preço de Cr\$ 800,00/tonelada.

Sem mais aceitem as nossas

Saudações

CIMENVALE mineração e cimento vale do itajaí s. a.

DIRETOR

PROCURADOR

ANEXO IV

---

ELEMENTOS PARA FATURAMENTO DO CARVÃO  
PRÉ-LAVADO - LAVADOR DE CAPIVARI S.A.

---

## LAVADOR DE CAPIVARI S/A

TUBARÃO - SC

QUADRO - 7

MAIO/78

## ELEMENTOS PARA FATURAMENTO DO CARVÃO PRÉ-LAVADO (CPL) - GRUPO "B"

2) Faturamento à Cosipa - Índice : 0,466

EMPRESAS FORNECEDORAS	1	2	3 = 1 x 2	4	5 = 1 x 4	6	7	8 = 3.6-7
	TONELADAS ENTREGUES (BASE SECA)	PREÇO CARVÃO CR\$/TON	VALOR FATURAMENTO CR\$	I.U.M. (*) PREÇO TRIBUTÁVEL	I. U. M. VALOR TRIBUTÁVEL	I.U.M. = 15% DO VALOR TRIBUTÁVEL	S.A.T.C. CR\$ 3,505 POR/TON	FATURAMENTO LÍQUIDO CR\$
TREVISÓ	5.783,700	507,74	2.936.615,84	459,71	2.659.171,75	398.875,76	20.271,87	3.315.219,73
METROPOLITANA	23.549,950	437,59	10.305.240,12	342,63	8.068.933,07	1.210.339,96	82.542,71	11.433.037,37
CRICIUMA	19.448,940	406,05	7.897.242,09	306,19	5.955.070,94	893.260,64	68.160,53	8.722.334,20
BARRO BRANCO	4.052,950	417,78	1.693.241,45	341,09	1.382.420,72	207.363,11	14.205,59	1.866.398,97
C. D. C. A.	10.275,050	361,53	3.714.738,83	272,67	2.801.697,68	420.254,68	36.014,05	4.098.977,46
CATARINENSE	6.117,320	443,23	2.711.379,74	341,61	2.090.961,15	313.644,17	21.441,21	3.003.502,70
BOA VISTA	3.045,260	455,17	1.386.110,92	362,05	1.101.713,14	177.256,97	10.673,64	1.557.094,32
C. C. U.	7.206,790	455,17	3.280.314,60	388,05	2.796.594,86	419.489,23	23.259,80	3.674.544,63
PALERMO	2.467,750	418,03	1.031.593,53	380,09	937.967,10	140.695,07	8.649,46	1.163.639,14
TOTAL CPL ENTREGUE	81.947,750							
TOTAL FATURAMENTO			34.956.477,19		27.874.530,61	4.181.179,59	287.226,96	38.850.429,52

(\*) Conforme Parecer Normativo CST nº 05 de 20/01/78. = Preço Tributável = 100% de RM x Parâmetro A  
 (+) 20% de RV x Parâmetro B

Tubarão, 31 de maio de 1978

LUIZ KOENIG  
D.S./CE

GUIDO VIANNA  
CONTADOR