

**ROBSON HIDEKI TADA**

**CLARIFICADOR EM TRATAMENTO DE MINÉRIOS:  
CASO DA MINERAÇÃO FLORESTA NEGRA,  
PORTO DE AREIA, SP**

**São Paulo – SP  
2004**

**ROBSON HIDEKI TADA**

**CLARIFICADOR EM TRATAMENTO DE MINÉRIOS:  
CASO DA MINERAÇÃO FLORESTA NEGRA,  
PORTO DE AREIA, SP**

Trabalho de Formatura em  
Engenharia de Minas do curso  
de graduação do Departamento  
de Engenharia de Minas e de  
Petróleo da Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo.

Orientador: Shoji Tada

**São Paulo - SP  
2004**

TF-2004  
T12c  
1422223

M2004N

DEDALUS - Acervo - EPMI



31700005451

FICHA CATALOGRÁFICA

Tada, Robson Hideki  
Clarificador em tratamento de minérios: caso da Mineração Floresta Negra, Porto de Areia, SP / R.H. Tada. -- São Paulo, 2004.  
27 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1.Efluentes (Tratamento) 2.Rejeitos de mineração (Tratamento; Aproveitamento) 3.Reuso da água 4.Areia - Guarulhos (SP)  
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

*Aos meus estimados pais,  
que sempre me apoiaram  
nessa longa jornada de  
minha existência;*

*À minha querida irmã, de  
tantos e maravilhosos  
momentos de convivência;*

*E aos meus amigos, pois  
estivemos unidos em  
alegrias e dificuldades ao  
longo desses anos.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Shoji Tada, meu orientador deste trabalho de formatura e empresário da UPE (Universal Process Equipment), empresa de tratamento de efluentes industriais. Grande incentivador e colaborador que me assessorou na obtenção de algumas informações técnicas fundamentais presentes no conteúdo desta obra. E por ter dedicado tempo e paciência na etapa de revisão final deste documento, de forma que o mesmo fosse apresentado de forma correta, constando de detalhes consistentes de real valor.

Ao Sr. Udo, proprietário do empreendimento de mineração de areia Floresta Negra. Meus estimados agradecimentos por autorizar e permitir a realização de visitas ao empreendimento e colaborar para que pudessem ser realizadas as atividades pertinentes a este trabalho de formatura.

Aos meus colegas e amigos de classe, que ao longo destes cinco anos de faculdade, compartilharam conhecimentos adquiridos e me auxiliaram no processo de aprendizado. E por saberem exatamente o que é ser um formando da Escola Politécnica da USP, por tudo aquilo que passamos. Que nossa força e coragem nos acompanhem para o resto de nossas vidas.

## **RESUMO**

Este trabalho de formatura contém informações de um processo industrial de um empreendimento de mineração, mais precisamente um porto de areia localizado no município de Guarulhos - SP, na qual é descrita cada etapa dessa planta, desde a atividade de extração do bem mineral, passando pelas fases de classificação e beneficiamento, até o método selecionado de tratamento de rejeitos. O enfoque principal deste estudo está na etapa de tratamento de rejeitos, onde é utilizado um clarificador que permite a recuperação de um subproduto contido (argila), além de possibilitar o tratamento e reaproveitamento da água servida e recirculada no processo. Foram realizados testes pelo método "Jar-Test" de diversos produtos químicos, já existentes no mercado, que estão envolvidos nos fenômenos de coagulação e floculação que ocorrem neste clarificador, a fim de que pudesse ser encontrado aquele que diminuísse os custos atuais de produção (conferindo maior economicidade ao empreendimento), e que ainda atendesse aos requisitos do processo. Após a realização de todos os ensaios e cálculos necessários, encontrou-se um produto químico que melhor se adequava e fosse mais apropriado a ser utilizado, já que superava os demais em questões de economicidade e garantia a eficácia requerida pelo processo.

Palavras-chave: Efluentes. Rejeitos. Tratamento. Aproveitamento. Clarificador.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>1. O EMPREENDIMENTO E A AREIA</b> .....	9
<b>2. PROJETO DE MINERAÇÃO DE AREIA</b> .....	10
<b>2.1. EXTRAÇÃO DE AREIA</b> .....	10
<b>2.1.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO</b> .....	10
<b>2.1.2. BALANÇO DE MASSA</b> .....	10
<b>2.1.3. FLUXOGRAMA E FIGURAS</b> .....	11
<b>2.2. CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAS</b> .....	14
<b>2.2.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO</b> .....	14
<b>2.2.2. BALANÇO DE MASSA</b> .....	15
<b>2.2.3. FLUXOGRAMA E FIGURAS</b> .....	16
<b>3. TRATAMENTO DE ÁGUA</b> .....	19
<b>3.1. REUSO DA ÁGUA SERVIDA</b> .....	19
<b>3.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO</b> .....	19
<b>3.3. DOSAGEM QUÍMICA</b> .....	20
<b>3.4. TESTE DE SEDIMENTAÇÃO</b> .....	22
<b>3.5. CONSUMO DE PRODUTOS QUÍMICOS</b> .....	23
<b>3.6. FLUXOGRAMA E FIGURAS</b> .....	27
<b>4. DESAGUAMENTO DE LODO</b> .....	31
<b>4.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO</b> .....	31
<b>4.2. BALANÇO DE MASSA</b> .....	31
<b>4.3. DOSAGEM QUÍMICA</b> .....	31
<b>4.4. FLUXOGRAMA</b> .....	32
<b>5. CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES</b> .....	33
<b>6.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	34

## **INTRODUÇÃO**

É fato que existem muitos empreendimentos de mineração de areia localizados nos arredores e imediações dos grandes centros metropolitanos, responsáveis pelo suprimento de matéria prima necessária aos trabalhos de construção civil. No entanto, poucos são os portos de areia que possuem sistemas de tratamento de efluentes adequados que permitam condições legais de operação e funcionamento, sem que ocorram danos ao meio ambiente em que estão inseridos.

Dentro desse contexto atual, se baseia o trabalho em questão, que aborda as características da mineração de areia de um empreendimento único no mundo, localizado no Estado de São Paulo (Brasil). A particularidade desse porto de areia, em estudo, está na utilização de clarificador no tratamento de água utilizada no processo; que possibilita, também, um aumento da receita da empresa, através da recuperação e venda do subproduto contido (no caso, a argila).

O conteúdo presente neste trabalho aborda as principais etapas existentes desde a extração da areia, passando pelas atividades de beneficiamento e, por fim, o tratamento da água servida e recirculada no processo. O principal enfoque e objetivo está no estudo e pesquisa dos produtos químicos coagulantes utilizados nesse clarificador, com o intuito de se encontrar o mais adequado, já existente no mercado, que minimizasse os custos de produção e garantisse a eficácia operacional necessária.

A descrição geral do processo existente, bem como as citações de alguns dos equipamentos utilizados, se fizeram necessário, com a finalidade de possibilitar um melhor entendimento do estágio de tratamento dentro do processo a qual está inserido, e justificar de forma precisa os valores presentes nos balanços de massa das diversas etapas da mineração. Estes números foram fundamentais para a realização dos cálculos e das análises de caráter técnico-econômicos que envolveram a seleção do melhor produto químico para o tratamento. A abrangência de todo o processo mineral também foi objeto de estudo e pesquisa, pois como foi dito anteriormente, trata-se de um fluxograma distinto e diferencial dentro do cenário nacional e internacional.

## **1. O EMPREENDIMENTO E A AREIA**

O empreendimento, em estudo neste trabalho, está localizado no município de Guarulhos, no estado de São Paulo. Este porto de areia denominado Floresta Negra, opera há mais de 30 (trinta) anos e possui uma capacidade de produção relativamente alta se comparada com as das demais minerações desse tipo.

A empresa, no entanto, implantou somente há quase 3 (três) anos o sistema de tratamento de água por clarificador, que será apresentado nos capítulos a seguir. Antigamente, o sistema de tratamento se realizava por meios de deposição de efluentes em bacias de decantação e clarificação, método comumente utilizado nos portos de areia existentes.

A areia, produto encontrado na natureza em forma de grãos com dimensões variáveis, é um material composto por diminutos fragmentos de minerais ou rochas silicosas, resultante da degradação das rochas preexistentes pela ação do vento, pela água e pelos demais agentes de erosão. Transportada pela água ou pelo vento, acumula-se nas praias, no leito dos rios e nos desertos. São mais freqüentemente constituídos por quartzo, e em função da presença de outros elementos podem ser classificadas como: areia silicosa, areia feldspática, areia monazítica, argilosa, dentre outras. Quanto ao tamanho efetivo, classifica-se em areia grossa, média, fina e muito fina, dependendo da variação da sua granulometria (entre 2 e 0,02 mm).

A utilização destes materiais na indústria depende da qualidade e da composição específica para a obtenção do produto final. Como exemplo, a fabricação de vidros com areia silicosa de alta pureza com teor superior a 99% de silício. São também empregados para a moldagem de peças em fundição, concreto refratário, composto de argamassa e concreto armado na construção civil.

A extração destes materiais, normalmente é realizada nos leitos de rios por aspiração, utilizando-se equipamentos de ar comprimido montados sobre barçaça flutuante conhecido como draga. Outro método de produção destes materiais é o desmanche de taludes em regiões acidentadas, com corte por meio de jato hidráulico de alta pressão.

Os recursos naturais devem ser extraídos para o uso afim, baseado em projetos de desenvolvimento com critérios de produtividade e, principalmente, a conservação sem alterações drásticas ao meio ambiente. Planos com reflorestamentos de áreas desmatadas, trabalhos de prevenção e contenção de assoreamento de leitos e programas de monitoramento ambiental para adequação das atividades dos empreendimentos de mineração às exigências das legislações em vigor.

## **2. PROJETO DE MINERAÇÃO DE AREIA**

Uma vez concedido a licença pelo órgão competente para a prospecção da lavra, através de testes e estudo de viabilidade técnica e econômica, com formação de dados básicos e parâmetros de dimensionamento da extração, foi desenvolvido o projeto executivo e as instalações dos equipamentos, com objetivo de extrair a areia para o uso em construção civil, e ainda o aproveitamento de subproduto (argila) para a indústria cerâmica.

### **2.1. EXTRAÇÃO DE AREIA**

#### **2.1.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO**

O processo adotado, neste caso, é o desmonte de taludes com formação de camadas de areia e camadas de argila sobrepostas, utilizando-se jato hidráulico por meio de bomba centrífuga de alta pressão.

Os materiais juntamente com a água escorrem, por gravidade, para a parte baixa da mineração, onde são retirados do local por meio de draga com bomba centrífuga, que dirige o fluxo para uma peneira vibratória com 3 (três) decks, na qual são retidos pedregulhos classificados em diversos tamanhos superiores a 3 (três) mm. Estes pedregulhos podem ser aproveitados para agregados de concreto armado, enchimento de camada suporte para filtro de areia em tratamento de água, etc.

A polpa composta por areia, argila e água isenta de pedras, é recolhida em tanque de materiais ou lagoa conforme mostra o fluxograma a seguir.

#### **2.1.2. BALANÇO DE MASSA**

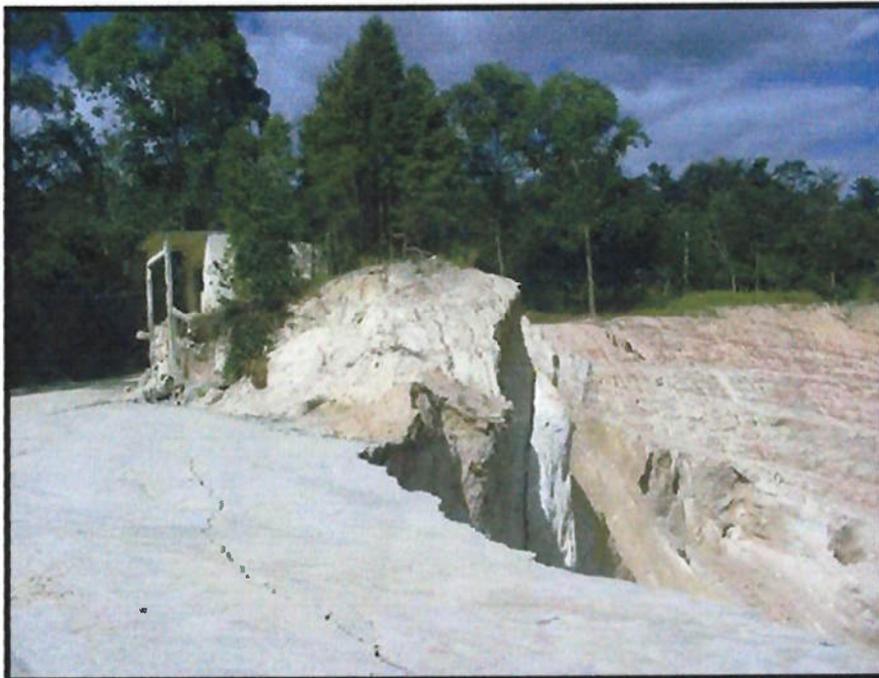
**QUADRO 2.1.2.1**  
**BALANÇO DE MASSA PARA ETAPA DA EXTRAÇÃO DE AREIA**

<b>ITEM</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>QUANTIDADE</b>
Corte de Talude	Jato d' água	250 m <sup>3</sup> /h
Polpa da Extração	Areia + Argila + Pedra	120 m <sup>3</sup> /h
Bombeamento da Massa	Materiais + Água	370 m <sup>3</sup> /h
Composição da Polpa	Areia Grossa/Média/Fina	85 m <sup>3</sup> /h
	Argila	30 m <sup>3</sup> /h
Peneiramento	Pedregulho	5 m <sup>3</sup> /h
Recalque para Classificação	Materiais + Água	365 m <sup>3</sup> /h





**FIGURA 2.1.3.1.** – Vista parcial da cava de lavra do material mineral extraído do porto de areia.



**FIGURA 2.1.3.2.** – Outra vista da área de extração de areia e outros materiais contidos nas camadas.



**FIGURA 2.1.3.3.** - Draga que transfere, por meio de bombas centrífugas, o material desmontado hidraulicamente para a fase de beneficiamento do processo.



**FIGURA 2.1.3.4.** - Lagoa que recebe água tratada no processo e fornece água limpa para os trabalhos de mineração realizados no empreendimento.

## **2.2. CLASSIFICAÇÃO DE MATERIAS**

### **2.2.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO**

Os materiais isentos de pedregulhos novamente são transferidos, através de bombeamento, para separação ou lavagem da areia que é realizada em duas etapas.

Na primeira fase, é separada a areia com tamanho superior a 300 micras por diferença de densidade do material em hidrociclone, instalado sobre um silo de estocagem.

Para esta operação é necessária a introdução de água limpa na sucção da bomba centrífuga juntamente com a polpa a ser transferida, a fim de promover a diluição da polpa para adequação de fluidez da massa e ajuste de corte de areia no hidrociclone. Também é importante a manutenção constante da concentração de materiais sólidos na polpa diluída com água.

A areia separada no underflow do primeiro hidrociclone é depositada em um silo de estocagem, bem como o material do overflow, que também é recolhido em um silo de estocagem.

A segunda fase tem como objetivo separar a areia fina com tamanho superior a 60 micras que não foi separada anteriormente. Esta operação é idêntica à realizada na fase anterior, ou seja, introduz-se água limpa na sucção da bomba juntamente com o overflow (na mesma proporção). A polpa diluída é então bombeada para um segundo hidrociclone.

A areia separada no underflow do segundo hidrociclone é depositada no silo de estocagem, e o overflow constituído basicamente de argila e água, é dirigido ao tratamento para clarificação da água.

Os materiais estocados nos silos, tanto a areia grossa como a areia fina, são bombeados juntamente com a água limpa para os silos de estocagem e expedição, conforme se verifica nas figuras e fluxograma a seguir.

## 2.2.2. BALANÇO DE MASSA

**QUADRO 2.2.2.1**  
**BALANÇO DE MASSA NO PRIMEIRO ESTÁGIO DA CLASSIFICAÇÃO**

ITEM	MATERIAL	QUANTIDADE
Recebimento da Massa	Materiais + Água	365 m <sup>3</sup> /h
Diluição da Massa	Água Limpa	100 m <sup>3</sup> /h
Recalque para Classificação	Massa + Água	465 m <sup>3</sup> /h
Composição da Massa	Areia Grossa/Média/Fina	85 m <sup>3</sup> /h
	Argila	30 m <sup>3</sup> /h
	Água	250 m <sup>3</sup> /h
Underflow do Hidrociclone	Areia Grossa/Média + Água	75 m <sup>3</sup> /h
Overflow do Hidrociclone	Areia Fina + Argila + Água	390 m <sup>3</sup> /h
<b>PRODUÇÃO DE MATERIAL = 75 m<sup>3</sup>/h x 10 = 750 m<sup>3</sup>/dia</b>		

**QUADRO 2.2.2.2**  
**BALANÇO DE MASSA NO SEGUNDO ESTÁGIO DA CLASSIFICAÇÃO**

ITEM	MATERIAL	QUANTIDADE
Recebimento da Massa	Areia Fina + Argila + Água	390 m <sup>3</sup> /h
Diluição da Massa	Água Limpa	100 m <sup>3</sup> /h
Recalque para Classificação	Massa + Água	490 m <sup>3</sup> /h
Composição da Massa	Areia Fina	10 m <sup>3</sup> /h
	Argila	30 m <sup>3</sup> /h
	Água	350 m <sup>3</sup> /h
Underflow do Hidrociclone	Areia Fina + Água	10 m <sup>3</sup> /h
Overflow do Hidrociclone	Argila + Água	480 m <sup>3</sup> /h
<b>PRODUÇÃO DE MATERIAL = 10 m<sup>3</sup>/h x 10 = 100 m<sup>3</sup>/dia</b>		





**FIGURA 2.2.3.1.** - Pode-se observar os equipamentos utilizados na fase de classificação do processo no porto de areia.



**FIGURA 2.2.3.2.** - Vista dos hidrociclones existentes no processo de classificação de materiais do empreendimento.



**FIGURA 2.2.3.3.** - Observa-se os silos de estocagem e expedição onde são armazenadas as areias grossas, médias e finas.



**FIGURA 2.2.3.4.** - Vista dos silos de armazenamento e estocagem de produtos e, ao fundo, o clarificador utilizado na etapa seguinte de tratamento de efluentes.

### **3. TRATAMENTO DE ÁGUA**

#### **3.1. REUSO DA ÁGUA SERVIDA**

O processo de extração e lavagem de areia, no estudo de caso em questão, envolve grande volume de água em utilização. Desta forma, é necessário a realização do tratamento da água servida e recirculada para o processo, tendo em vista os problemas de escassez do recurso natural, bem como a contaminação de efluentes no meio ambiente.

Outra vantagem deste procedimento é a separação e recuperação da argila contida na polpa, para futuras utilizações na indústria cerâmica; na fabricação de tijolos, telhas e pisos; como produtos à base de argila expandida; e agregado em concreto armado especial para construção de barragem hidroelétrica.

#### **3.2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO**

Depois de tomadas amostras do overflow no segundo hidrociclone, as mesmas foram submetidas a ensaios de tratabilidade em laboratório. Os resultados das análises desses trabalhos de amostragem permitiram a obtenção de um processo de tratamento físico-químico adequado.

O método adotado para a clarificação da água foi conseguido através dos fenômenos de coagulação e de floculação por reação química com dosagens de produtos químicos.

Para a definição de dados básicos e parâmetros de dimensionamento do projeto, foram feitos vários testes com diferentes produtos e variações em suas dosagens.

O sistema de tratamento adotado é constituído de um tanque de reação e floculação, onde a água contaminada recebe dosagem de um determinado produto químico para coagulação, e polieletrólito para floculação das partículas em suspensão. A dosagem de produtos químicos ocorre por meio de bombas dosadoras, e a mistura destes com o líquido é feita por agitadores de eixo vertical instalados nos tanques.

Os sólidos floculados juntamente com a água são dirigidos por gravidade para um clarificador equipado com raspador de fundo para lodo. A água limpa verte na superfície do clarificador, e é canalizada para a lagoa de estocagem e reuso. Os sólidos separados por gravidade na unidade de clarificação são retirados por bombeamento para um adensador do sistema de desaguamento de lodo.

### **3.3. DOSAGEM QUÍMICA**

A definição da dosagem química foi obtida através de testes do tipo "Jar-Test". Os procedimentos para estes ensaios de coagulação/floculação seguem uma metodologia padrão.

Foram colocadas as amostras em jarros, mantidas as condições de agitação a determinadas velocidades constantes (inicialmente rápida por aproximadamente um minuto e posteriormente lenta por três minutos) e medidos os valores de pH inicial e turbidez. A turbidez aparente inicial era elevada, e o interesse era se obter valores menores, obviamente. A turbidez foi medida em análises físico-químicas laboratoriais.

Em seguida, foram adicionadas dosagens crescentes dos produtos químicos coagulantes em estudo e colocadas em sistema de agitação a uma velocidade constante por cinco minutos. Posteriormente à adição dos coagulantes, eram misturados os produtos floculantes e analisadas as condições de reação. O efeito dos produtos químicos sobre o pH e a turbidez final das amostras, antes e após a adição de uma mesma dosagem de coagulante, foi investigado.

Foram realizados três ensaios para cada tipo de produto químico, variando-se as dosagens de acordo com os resultados de turbidez que iam sendo obtidos. Os valores de pH obtidos em cada teste estão apresentados no QUADRO a seguir, considerando-se seus valores médios; bem como os valores de turbidez.

As amostras foram retiradas com recipientes de plástico na saída do segundo hidrociclone (overflow), foram ensaiadas em bêquers, as dosagens de produtos químicos foram feitas com o auxílio de pipetas graduadas, os valores de pH medidos foram realizados com aparelhos do tipo pHmetro digital de campo, e para os trabalhos de agitação das amostras contou-se com uma bagueta de vidro. A etapa de agitação foi feita manualmente, procurando-se manter uma velocidade constante.

Na preparação das soluções de produtos químicos responsáveis pelas ações de coagulação e floculação foram utilizados materiais de laboratório usuais: provetas, bêquers, e bastão de vidro. A metodologia de preparo das soluções seguiu os hábitos laboratoriais comuns praticados.

Os produtos químicos selecionados para o trabalho, já existiam no mercado, e eram conhecidos em suas eficácias por razões de conceitos físico-químicos estudados por terceiros e que constam nos conhecimentos de literatura atuais. Vale a ressalva de que o objetivo deste trabalho foi o de encontrar um produto que possuísse a maior eficiência, dentre eles, em questões técnicas e econômicas que se adequassem às necessidades do

empreendimento. Não foi desenvolvido algum produto novo, ainda não existente.

**QUADRO 3.3.1.  
RESULTADOS DOS TESTES DE DOSAGEM QUÍMICA**

ITEM	ÁGUA	DOSAGEM	PRODUTO	TURBIDEZ
<b>Jar-Test-1</b>				
Amostra-1	1000 ml	50 mg/l	Sulfato de Alumínio	40 NTU
Amostra-2	1000 ml	60 mg/l	Sulfato de Alumínio	28 NTU
Amostra-3	1000 ml	80 mg/l	Sulfato de Alumínio	< 10 NTU
Todas Amostras		2 mg/l	Poli-eletrólito	
<b>Jar-Test-2</b>				
Amostra-1	1000 ml	40 mg/l	Policloreto de Alumínio	30 NTU
Amostra-2	1000 ml	45 mg/l	Policloreto de Alumínio	15 NTU
Amostra-3	1000 ml	50 mg/l	Policloreto de Alumínio	< 10 NTU
Todas Amostras		2 mg/l	Poli-eletrólito	
<b>Jar-Test-3</b>				
Amostra-1	1000 ml	40 mg/l	Cloreto de Cálcio	35 NTU
Amostra-2	1000 ml	50 mg/l	Cloreto de Cálcio	18 NTU
Amostra-3	1000 ml	60 mg/l	Cloreto de Cálcio	< 10 NTU
Todas Amostras		2 mg/l	Poli-eletrólito	

**NOTA:**

O pH da água bruta (amostras)  $\approx$  6,8

Teste-1: pH da água clarificada  $\approx$  5,5

Teste-2: pH da água clarificada  $\approx$  6,3

Teste-3: pH da água clarificada  $\approx$  6,6

Todos os produtos para coagulação foram preparados e diluídos na concentração de 10%.

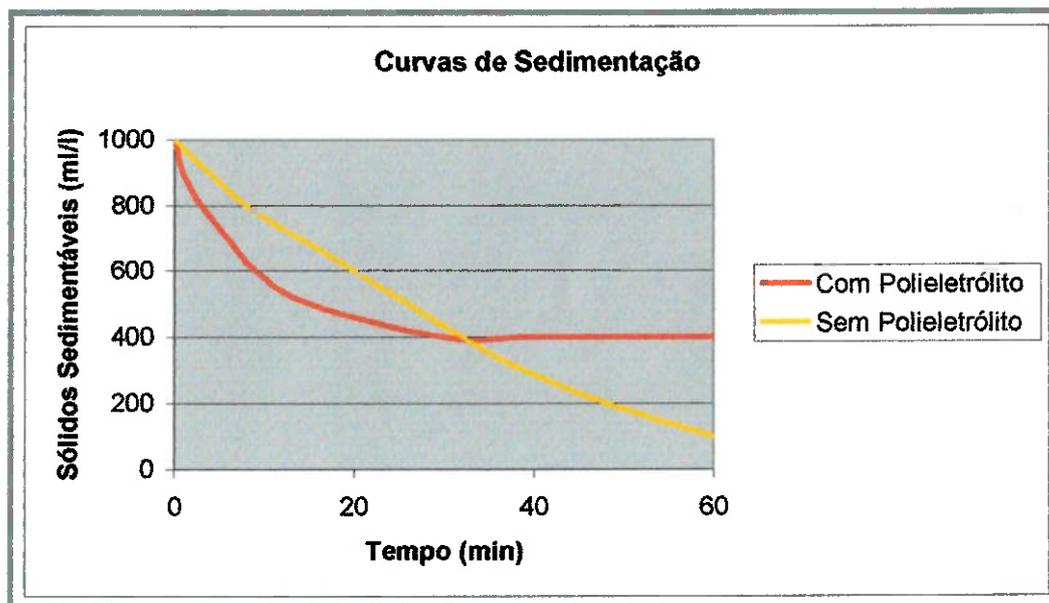
Para todas as amostras ensaiadas, a dosagem de poli-eletrólito foi a mesma, ou seja, 2 mg/l na concentração de 0,1%, sem alteração na eficiência de floculação.

### 3.4. TESTE DE SEDIMENTAÇÃO

Após a coagulação da amostra bruta, foi necessária a realização de dosagem de polieletrólito do grupo aniônico para que a floculação das partículas em suspensão aumentasse o seu tamanho e acelerasse a velocidade de sedimentação à gravidade.

Realizaram-se ensaios de sedimentação para análise comparativa do efeito do polieletrólito em amostras. Foram realizados dois testes, em uma o floculante não estava presente, em outra foi colocada uma determinada dosagem do produto químico (2 mg/l). A finalidade de realização destes ensaios foi de se obter uma noção da ação e influência do produto no processo.

O volume de sólidos sedimentáveis foi determinado em Cone Imhoff, onde a amostra foi coletada em um recipiente em formato cônico de 1.000 ml e colocada em repouso no tempo de 1 (uma) hora. Mediu-se, em seguida, a concentração de material sedimentado depois deste período. As amostras foram retiradas diretamente com o Cone na saída do segundo hidrociclone (overflow).



**FIGURA 3.4.1.** - Curvas de sedimentação obtidas a partir dos ensaios realizados.

Pelo gráfico, pode-se observar que no teste com a presença do produto químico, a quantidade de sólidos sedimentáveis decresce mais rapidamente com o tempo, devido à ação de aceleração do processo de floculação. Já no teste feito sem o polieletrólito, o processo leva mais tempo para ocorrer. Nota-se, também, que no teste com o produto, a quantidade de sólidos se estabiliza em 400 ml/l no tempo de aproximadamente 30 (trinta) minutos e segue constante neste valor nos minutos finais restantes.

### **3.5. CONSUMO DE PRODUTOS QUÍMICOS**

Sabendo-se que a vazão de água bruta é de 480 m<sup>3</sup>/h, e o valor para turbidez desejada para o processo é de <10 NTU, então foi possível se obter o consumo dos produtos químicos, através dos cálculos abaixo:

- Sulfato de Alumínio a 100%:  $480 \times 80/1000 = 38,4 \text{ kg/h}$
- Policloreto de Alumínio a 100%:  $480 \times 50/1000 = 24,0 \text{ kg/h}$
- Cloreto de Cálcio a 100%:  $480 \times 60/1000 = 28,8 \text{ kg/h}$
- Polieletrólito a 100%:  $480 \times 2/1000 = 1,0 \text{ kg/h}$

Admitindo-se os preços médios de mercado dos produtos químicos, pode-se verificar os custos operacionais de tratamento:

- Sulfato de Alumínio a 100%:  $38,4 \times \text{R\$}1,50/\text{kg} = \text{R\$}57,60/\text{h}$
- Policloreto de Alumínio a 100%:  $24,0 \times \text{R\$}1,80/\text{kg} = \text{R\$}43,2/\text{h}$
- Cloreto de Cálcio a 100%:  $28,8 \times \text{R\$}1,00/\text{kg} = \text{R\$}28,8/\text{h}$

Como o empreendimento possui uma jornada de operação diária de aproximadamente 10 (dez) horas, então:

- Sulfato de Alumínio a 100%:  $57,60 \times 10 = \text{R\$} 576/\text{dia}$
- Policloreto de Alumínio a 100%:  $43,2 \times 10 = \text{R\$} 432/\text{dia}$
- Cloreto de Cálcio a 100%:  $28,8 \times 10 = \text{R\$} 288/\text{dia}$

Após a realização de todos os testes e cálculos necessários, verifica-se que o cloreto de cálcio é o produto químico mais apropriado para ser utilizado, já que supera os demais em questões de economicidade garantindo a eficácia requerida pelo processo.



**FIGURA 3.5.1.** – Amostra de efluente contida em um béquer durante a realização dos testes de dosagem química.



**FIGURA 3.5.2.** – Produtos químicos (cloreto de cálcio e sulfato de alumínio) utilizados nos ensaios de dosagem química.



**FIGURA 3.5.3.** - Preparação da solução de cloreto de cálcio na concentração definida, para os ensaios do tipo Jar-Test.



**FIGURA 3.5.4.** - Medição de pH da amostra inicial, ainda sem a presença de produtos químicos.

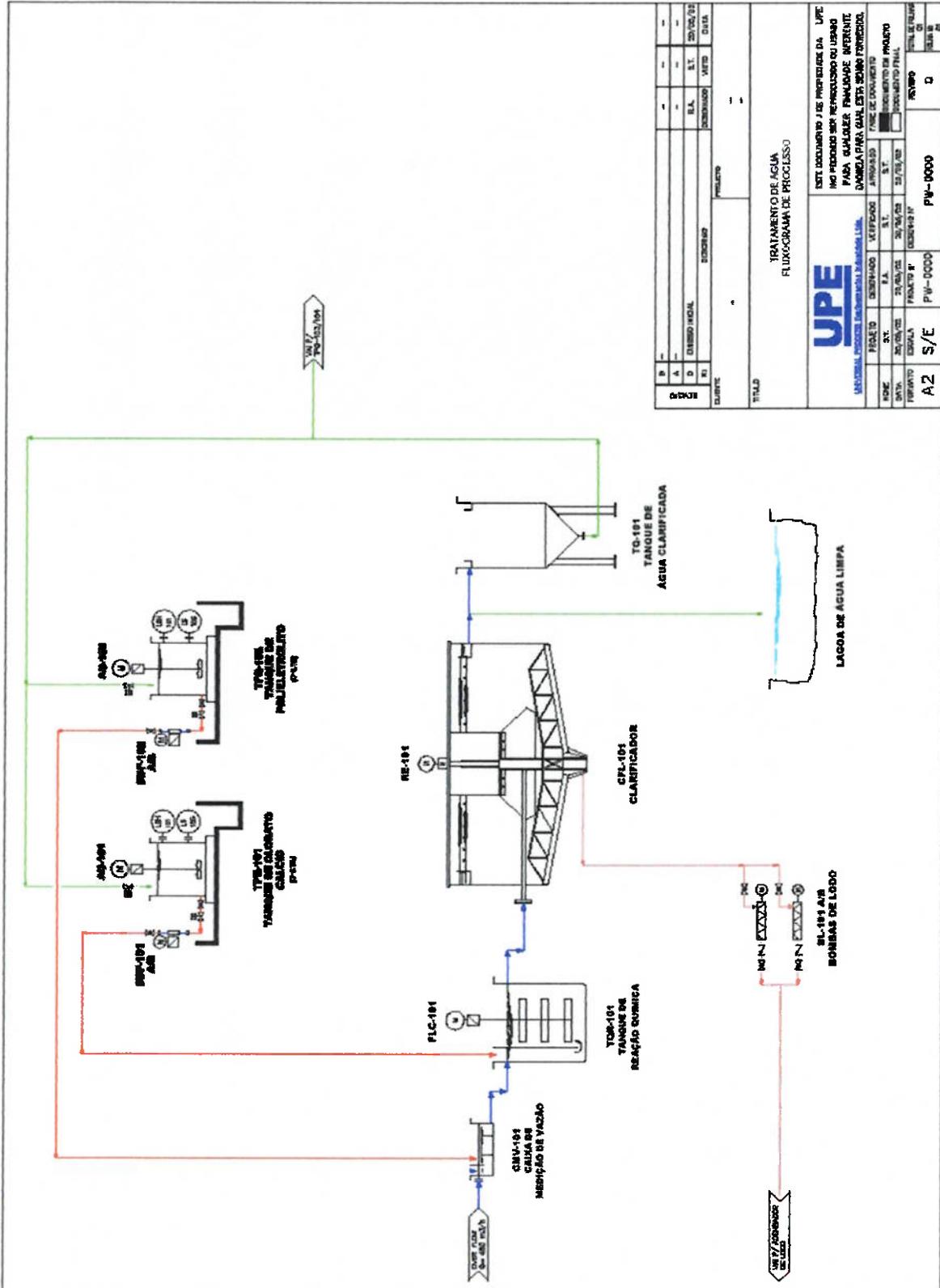


**FIGURA 3.5.5.** – Realização de dosagem de produto químico à amostra, mantendo-se uma agitação de velocidade constante.



**FIGURA 3.5.6.** – Teste de sedimentação realizado com o Cone Imhoff.

### 3.6. FLUXOGRAMA E FIGURAS



PROJETO	DESENHO	VERIFICADO	APROVADO	REVISÃO	DATA
A/2	S/E	P/W-0000	P/W-0000	D	

ESTADO	DESENHO	VERIFICADO	APROVADO	REVISÃO	DATA
A					
B					
C					
D					
E					
F					
G					
H					
I					
J					
K					
L					
M					
N					
O					
P					
Q					
R					
S					
T					
U					
V					
W					
X					
Y					
Z					

TÍTULO		TRATAMENTO DE ÁGUA	
SUBTÍTULO		FLUXOGRAMA DE PROCESSO	

		INSTITUIÇÃO DE PESQUISA DA UPE PARA O DESENVOLVIMENTO DO LITORAL PARA AVALIAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE OBRAS DE SANEAMENTO BÁSICO	
PROJETO	DESENHO	VERIFICADO	APROVADO
ESTADO	DESENHO	VERIFICADO	APROVADO
PROJETO Nº	DESENHO Nº	VERIFICADO Nº	APROVADO Nº
A/2	S/E	P/W-0000	P/W-0000



**FIGURA 3.6.1.** – Vista das instalações de classificação de minérios e tratamento de água recirculada.



**FIGURA 3.6.2.** – Clarificador onde ocorre o processo de clarificação e tratamento da água servida. Ao lado, observa-se o tanque menor de reação química.



**FIGURA 3.6.3.** - Vista superior do clarificador. Nota-se a água clarificada e tratada, que é destinada para a lagoa de reuso.



**FIGURA 3.6.4.** - Em primeiro plano, o tanque de reação dos produtos químicos utilizados nos processos de coagulação e floculação.



**FIGURA 3.6.5.** – Tanques de preparação dos produtos químicos (cloreto de cálcio e polieletrólito) que são lançados no tanque de reação.



**FIGURA 3.6.6.** – Infra-estrutura que abriga os tanques de preparação dos produtos químicos.

## 4. DESAGUAMENTO DE LODO

### 4.1. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Os sólidos sedimentados no clarificador são retirados e transferidos, através de bombeamento, primeiramente para o tanque concentrador de lodo, e a partir deste, são posteriormente bombeados para o desaguamento.

A desidratação do lodo é feita por um separador tipo centrífuga, com dosagem de polieletrólito na entrada do equipamento para proporcionar mais consistência e agregação dos sólidos.

O líquido separado vai para a lagoa de água limpa, e a torta com aproximadamente 70% de umidade cai verticalmente sobre um transportador do tipo correia com roletes, sendo carregada posteriormente em caminhões caçamba.

O material é disposto em área livre para a secagem final, e posteriormente destinado como matéria prima para indústria de produtos cerâmicos.

### 4.2. BALANÇO DE MASSA

**QUADRO 4.2.1**  
**BALANÇO DE MASSA DA ETAPA DE DESAGUAMENTO**

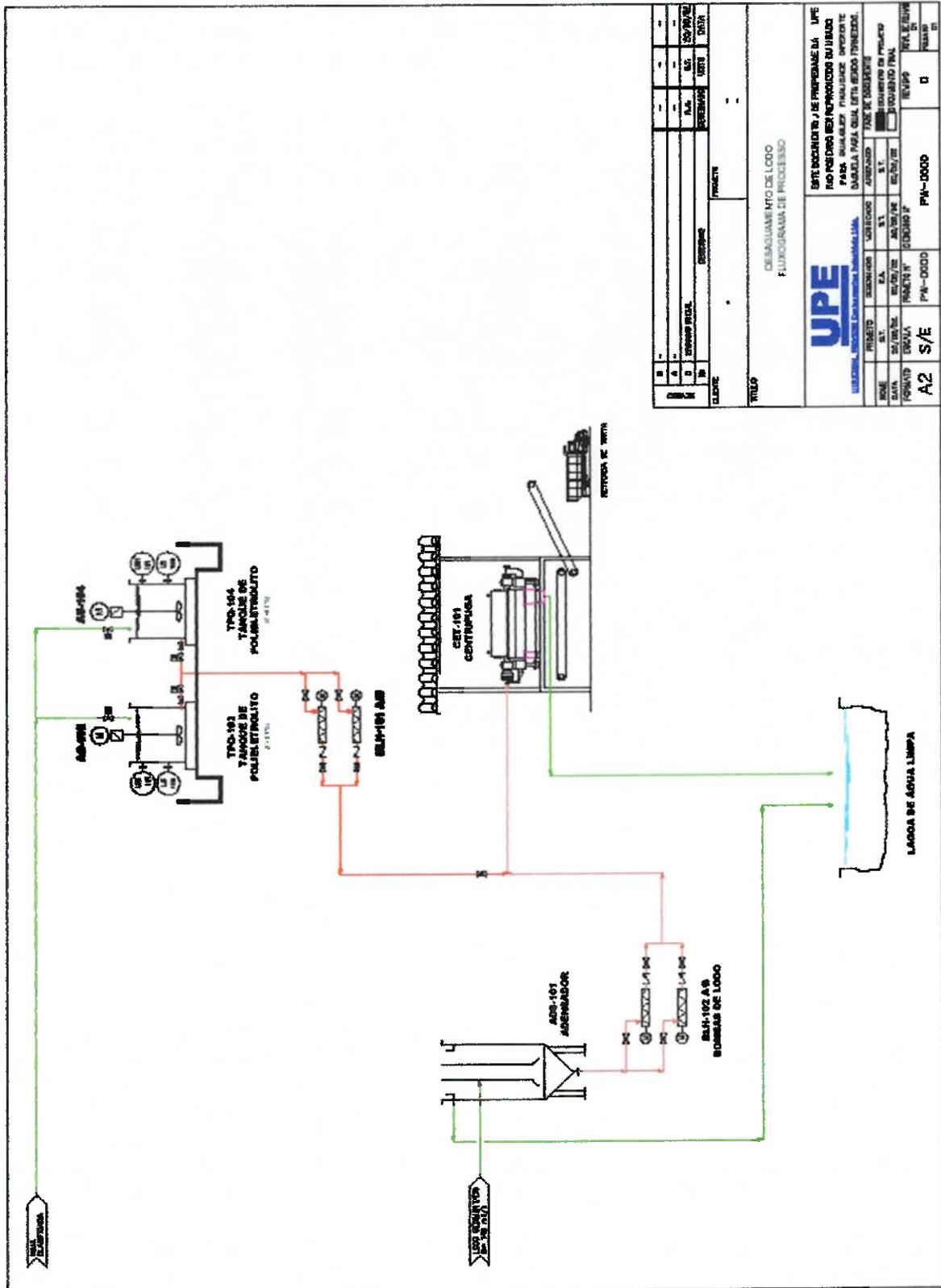
ITEM	QUANTIDADE
Lodo do Clarificador	300 ml/l
Lodo Adensado	200 ml/l
Vazão de Lodo do Clarificador	$480 \times 0,3 = 144 \text{ m}^3/\text{h}$
Vazão de Lodo Adensado	$480 \times 0,2 = 96 \text{ m}^3/\text{h}$
Concentração de Sólidos Base Seca	8 %
Peso Específico	1,3 ton./m <sup>3</sup>
Material Sólido	$96 \times 0,08 \times 1,3 = 10 \text{ ton}/\text{h}$

### 4.3. DOSAGEM QUÍMICA

**QUADRO 4.3.1**  
**DOSAGEM QUÍMICA DO PRODUTO**

PRODUTO	DOSAGEM	CONSUMO
Polieletrólito Aniônico	30 mg/l	$96 \times 30/1000 = 2,9 \text{ kg}/\text{h}$

# 4.4. FLUXOGRAMA



PROYECTO	SECCIONES	CONTENIDO	PROYECTADO	REVISADO	FECHA
CLIENTE	PRAXITE				
TÍTULO	DESAGUAMIENTO DE LÍMEO FLUXOGRAMA DE PROCESO				
<p><b>UPE</b> UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE SANTIAGO</p> <p>ESTE DOCUMENTO, DE PROPIEDAD DE LA UPE, NO PUEDE SER REPRODUCIDO NI UTILIZADO PARA FINESES COMERCIALES SIN LA AUTORIZACIÓN DE LA UPE. QUEDA PERMITIDA LA REPRODUCCIÓN PARA FINESES EDUCATIVAS Y DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA, SIN PERJUICIO DE LOS DERECHOS DE AUTOR.</p>					
MODELO	S.T.	S.T.	S.T.	S.T.	S.T.
FECHA	20/08/10	20/08/10	20/08/10	20/08/10	20/08/10
PROYECTADO	INGENIERO	INGENIERO	INGENIERO	INGENIERO	INGENIERO
REVISADO	INGENIERO	INGENIERO	INGENIERO	INGENIERO	INGENIERO
APROBADO	INGENIERO	INGENIERO	INGENIERO	INGENIERO	INGENIERO
FECHA					
ESTADO	PM-0000	PM-0000	PM-0000	PM-0000	PM-0000
PROYECTO	S/E	S/E	S/E	S/E	S/E

## **5. CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES**

Ao final da realização de todos os testes e ensaios previstos, bem como os cálculos necessários para a determinação do produto químico coagulante que possibilitasse maior economicidade em termos de custos de produção e que ainda pudesse se adequar às necessidades de projeto, ficou determinado que o cloreto de cálcio é o mais indicado. Este produto apresentou uma economia de 50% (cinquenta por cento) com relação ao sulfato de alumínio, e de 33% (trinta e três por cento) se comparado ao policloreto de alumínio. No quesito eficácia de operação, todos os produtos apresentaram o mesmo desempenho, que era satisfatório ao requerido pelo processo.

O empreendimento utilizava, antes da realização desses testes e estudo de viabilidade, o produto químico policloreto de alumínio. Com a obtenção dos resultados desses ensaios, a mineração de areia passou a consumir o produto químico de cloreto de cálcio. A planta de operação do porto de areia já está funcionando com a implantação desse coagulante no processo. O produto floculante utilizado (polieletrólito) já era utilizado nessa etapa de tratamento, e não foi substituído, pois não havia razões técnicas ou econômicas que justificassem a sua troca por um outro.

A obtenção dos valores de vazões nos balanços de massas pesquisados para cada etapa do processo foi realizada com estudos individuais das diversas atividades da mineração. A interpretação desses dados e o entendimento coerente como um todo para o processo, foram auxiliados com as descrições visualizadas nos fluxogramas construídos.

Por fim, os objetivos propostos no início deste trabalho de formatura foram atendidos. Os resultados conseguidos superaram as expectativas esperadas, pois com o bom desempenho do cloreto de cálcio na realização dos ensaios, a empresa passou a utiliza-lo em seu processo; conferindo mais crédito aos estudos feitos.

## 6.0. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Corbitt, R. A., *The Standard Handbook of Environmental Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1990, pp. 6.92; 9.25.
- Droste, R. L., *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*, John Wiley & Sons, New York, 1997, pp. 384-415.
- Eckenfelder, W. W., Jr., *Industrial Water Pollution Control*, McGraw-Hill, New York, 1989, pp. 84-110.
- Freeman, H. M. (ed.), *Standard Handbook os Hazardous Waste Treatment and Disposal*, McGraw-Hill, New York, 1989, pp. 7.21-7.31.
- Haas, C. N. And Vamos, R. J., *Hazardous and Industrial Waste Treatment*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1995, pp. 144-145.
- James M. Montgomery Consulting Engineering, Inc., *Water Treatment Principles and Design*, Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, New York, 1985, pp. 116-134; 504-519.
- Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*, McGraw-Hill, New York, 1991, pp. 302-314; 470-472.
- Sundstrom, D. W. and Klei, H. E., *Wastewater Treatment*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1979, pp. 235-255.
- Weber, W. J., Jr., *Physicochemical Process for Water Quality Control*, Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, New York, 1972, pp. 61-109.
- Wentz, C. W., *Hazardous Waste Management*, Second Edition, McGrae-Hill, New York, 1995, pp. 157-161.
- Piero M. Armenante, NJIT, *Coagulation and Flocculation..*
- Adão Benvindo da Luz, João Alves Sampaio e Salvador L. M. de Almeida, *Tratamento de Minérios.*
- American Water Works Association Research Foundation, *Guidance Manual For Coagulant Changeover.*
- LEME, Francilio Paes, *Engenharia de Saneamento Ambiental.*