



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

PMI 500

TRABALHO DE FORMATURA

***APROVEITAMENTO ECONÔMICO
DO CAPEAMENTO DA
PEDREIRA DE PERUS***

ORIENTADOR: *PROF. DR. HOMERO DELBONI JR.*

ANA CAROLINA CHIEREGATI

Nº USP : 2939431

NOVEMBRO 1997



Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Departamento de Engenharia de Minas

Av. Prof. Mello Moraes 2373 05508-900 São Paulo SP
fax: (011) 818 - 5721 fone: (011) 818 - 5322

Premio José Ermirio de Moraes - 1998 - Engenharia de Minas

Às 15 horas do dia 31 de março de 1999, reuniram-se na sala do Conselho do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, os membros da Comissão Julgadora do Prêmio José Ermirio de Moraes.

A Comissão julgadora foi constituída de acordo com os regulamentos do premio sendo um representante do corpo técnico da Empresa Votorantim SA, Engenheiro de Minas Elcio Auricchio, e três professores do Departamento de Engenharia de Minas, a saber: Prof. Dr. Eldon Azevedo Masini, Prof. Dr. Luís Enrique Sánchez e Prof. Dr. Wildor Theodoro Hennies.

Na referida reunião, procedeu-se a um cuidadoso exame de cinco trabalhos de formatura apresentados por engenheirandos do curso de minas que eram os seguintes:

1.- Ana Carolina Chierigati que apresentou o trabalho sobre *APROVETAMENTO ECONÔMICO DO CAPEAMENTO DA PEDREIRA DE PERUS*, orientado pelo Prof. Mestre Eng. Homero Delboni Junior,

2.- André Costa Naschenveng que apresentou um trabalho sobre *MODELAGEM MATEMÁTICA DE EQUIPAMENTO DE BRITAGEM*, e que também foi orientado pelo Prof. Mestre Eng. Homero Delboni Junior,

3.- Iuri Bueno cujo trabalho tratava sobre *ANÁLISE COMPARATIVA DE EXPLOSIVOS INDUSTRIAS NA PÉDREIRA EMBU-PERUS*, e que foi orientado pelo Prof. Dr. Giorgio de Tomi.

Um cuidadoso exame inicial permitiu verificar que todos os trabalhos apresentados eram valiosa contribuição para o desenvolvimento do conhecimento tecnológico da engenharia de minas, de nível para concorrer ao premio.

Passou-se a seguir a avaliação de cada trabalho individualmente segundo as normas do regulamento do premio, e a seguinte tabela abaixo relacionada conduziu a decisão final para a outorga do premio José Ermirio de Moraes do ano de 1998, na área da Engenharia de Minas:

Examinador	Elcio Aurichio			Eldon A. Masini			Luis E. Sanches			Wildor T. Hennies			
Aluno	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	M
Ana C. Chieregati	9,8	8,8	9,0	10,0	8,0	9,0	10,0	8,6	8,0	10,0	8,9	9,5	9,08
André C. Naschenveng	8,5	8,9	8,8	9,5	7,7	8,0	9,5	7,7	7,0	9,5	8,1	9,0	8,46
Iuri Bueno	8,0	8,3	9,0	9,0	8,2	9,0	8,5	8,2	9,0	9,5	8,2	9,0	8,43

Portanto, após a análise cuidadosa dos trabalhos e de acordo com os resultados das notas auferidas a comissão houve por bem auferir o prêmio à engenheiranda Ana Carolina Chierigati.

Para que conste foi lavrada a presente ata que é subscrita pelos membros da comissão julgadora.

São Paulo, 31 de março de 1999.

Elcio Auricchio

Luis Enrique Sánchez

Eldon Azevedo Masini

Wildor Theodoro Hennies

*"Para ser grande, sé inteiro: nada
Teu exagera ou exclui.
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és
No mínimo que fazes.
Assim em cada lago a lua toda
Brilha, porque alta vive."*

Ricardo Reis

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus agradecimentos especiais ao **Prof. Dr. Homero Delboni Jr.** e a todas as pessoas que contribuíram para a execução deste trabalho:

- ◆ Eng. Antônio Carlos de Camargo
- ◆ Sr. Alfredo dos Santos Freitas
- ◆ Sr. Antônio Angelini Filho

SUMÁRIO

Os resultados obtidos a partir de estudos conduzidos sobre amostras representativas do capeamento da jazida de Perus indicaram a viabilidade técnica de seu aproveitamento integral. A lavra e processamento do capeamento resultariam na geração de dois produtos principais, a saber: areia lavada dentro das especificações de produto comercial e argila como matéria prima para massa cerâmica na fabricação de tijolos maciços. A implantação dos métodos de aproveitamento propostos neste trabalho teria como consequência um impacto mínimo sobre o meio ambiente, uma vez que não seriam gerados quaisquer efluentes, sólidos ou líquidos, no processo.

O método de lavra proposto inclui o desmonte hidráulico do capeamento e transporte, por gravidade, da polpa gerada até um ponto onde seria estocada e transportada, por bombeamento, até a planta de processamento. Esta incluiria etapas de peneiramento, classificação e adensamento de sólidos. A água a ser utilizada nas operações de lavra e tratamento fluiria em circuito fechado, de forma a recirculá-la integralmente. De acordo com o esquema descrito, a barragem atualmente existente no local serviria para a manutenção de estoque regulador do circuito.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. AMOSTRAGENS E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS	1
3. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS AMOSTRAS	4
4. TESTES CONTÍNUOS EM ESCALA DE LABORATÓRIO	8
4.1 Ensaio Preliminar de Argilas	11
5. PROJETO CONCEITUAL E DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS	13
5.1 Critérios de Projeto	16
5.1.1 Critérios Gerais	16
5.1.2 Barragem	18
5.2 Dimensionamento dos Equipamentos	19
5.2.1 Monitor Hidráulico	19
5.2.2 Bombas de Água	21
5.2.3 Peneira	23
5.2.4 Equipamento de Classificação	27
5.2.5 Bombas de Polpa	29
5.2.6 Tanques	33
5.2.7 Equipamento de Desaguamento	34
6. ESTIMATIVA DE INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTOS	37
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	40
8. BIBLIOGRAFIA	41

ANEXOS

- 1 Esquema de Homogeneização e Redução de Amostras**
- 2 Norma ABNT - Especificações de Agregados para Concreto**
- 3 Resultados dos Testes de Caracterização Tecnológica**
- 4 Resultados dos Ensaios Executados Sobre a Fração de Finos do Classificador Espiral**
- 5 Resultados do Teste de Sedimentação Executado Sobre a Fração de Finos do Classificador Espiral**
- 6 Perfis das Linhas de Água e Polpa**
- 7 Caminhamento das Linhas de Água e Polpa**

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho descreve os estudos de viabilidade técnica de aproveitamento do capeamento da jazida de Pedreira Perus, de propriedade da Empresa Territorial São Paulo Ltda., do grupo CONSTRUCAP.

Os trabalhos envolveram a coleta de amostras de material no local, a caracterização tecnológica das mesmas, ensaios contínuos de classificação e o dimensionamento de equipamentos da operação industrial, a serem instalados no empreendimento.

Além dos estudos de caracterização tecnológica referentes aos estudos de viabilidade, foram incluídos a descrição da operação e resultados obtidos a partir dos testes contínuos de classificação em laboratório, que resultaram no levantamento de parâmetros necessários ao projeto da instalação industrial. São também apresentados os memoriais de dimensionamento dos equipamentos industriais e cotação de preços dos principais itens, de modo a fornecer subsídios adicionais à análise econômica do empreendimento.

2. AMOSTRAGENS E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

Os estudos e análises descritos neste trabalho foram realizados sobre amostras de capeamento obtidas no local selecionado pelo Cliente, durante o dia 11 de dezembro de 1996. As amostras geradas representariam, segundo o Cliente, as características médias de todo o volume de capeamento a ser lavrado e processado.

Os trabalhos foram conduzidos por uma equipe composta por técnicos e ajudantes designados pelo Cliente, assim como técnico, estagiária e o Prof. Homero Delboni Jr. A determinação da logística e dos procedimentos para coleta de amostras envolveu as seguintes etapas:

- ◆ Verificação da acessibilidade dos pontos selecionados para coleta de amostras
- ◆ Existência e adequação de equipamentos para as amostragens
- ◆ Levantamento das informações necessárias no local
- ◆ Indicação dos materiais necessários ao manuseio e condicionamento das amostras geradas

Em virtude da topografia acidentada do local selecionado para as amostragens, o perfil escolhido foi subdividido em 5 sub-níveis de forma a facilitar a escavação de canaletas para a obtenção de amostras. Cada uma das amostras geradas foi acondicionada em tambores de 200 L que foram posteriormente transportados até as dependências dos Laboratórios de Tratamento de Minérios e Resíduos Industriais (LTM) do Departamento de Engenharia de Minas da EPUSP. Durante o período de estocagem em Perus, o material recebeu uma quantidade excessiva de água proveniente de chuva, o que resultou na necessidade de sua secagem completa.

As amostras obtidas perfizeram um total de 3253 kg de sólidos. A Tabela 2.1 apresenta os resultados da amostragem em termos das massas coletada e comprimento de cada um dos sub-níveis. A numeração dos níveis segue a ordem do topo para a base do perfil.

Tabela 2.1 Massa das Amostras e Comprimento das Canaletas

SUB-NÍVEL	MASSA DA AMOSTRA (kg)	COMPRIMENTO DA CANAleta (m)
1	523	5,3
2	858	6,0
3	599	12,3
4	450	5,0
5	823	7,3
TOTAL	3253	35,9

Após a etapa de secagem, o material referente a cada um dos sub-níveis foi separadamente homogeneizado em pilhas longitudinais. Seguindo o esquema de redução da massa das amostras apresentado no Anexo 1 deste trabalho, foram geradas alíquotas representativas referentes a cada um dos sub-níveis amostrados. De cada uma das alíquotas individuais foi então retirada a massa correspondente a média ponderada dos comprimentos que resultaria em uma amostra global, com massa de 500 kg, representativa de todo o perfil amostrado. Este material recebeu a denominação de "amostra cabeça".

O critério empregado para composição da amostra cabeça baseou-se na divisão da massa total de 500 kg pela somatória dos comprimentos das canaletas, ou seja $500 / 35,2$ resultando em 13,9 kg/m de canaleta. Esse valor foi então multiplicado pelo comprimento de cada canaleta para cálculo da massa de cada sub-nível a ser utilizada na composição. A Tabela 2.2 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 2.2 Massa Utilizadas para Composição da Amostra Cabeça

SUB-NÍVEL	MASSA EMPREGADA (kg)
1	74
2	84
3	171
4	70
5	102
TOTAL	501

A amostra cabeça assim formada foi então objeto de sucessivas homogeneizações e reduções através de pilhas longitudinais e quarteadores, de forma a obter sub-amostras a serem encaminhadas para as várias etapas do trabalho.

3. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS AMOSTRAS

Inicialmente foi executado o peneiramento a úmido, em peneiras de laboratório, de uma amostra cabeça, cujos resultados estão descritos a seguir na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Distribuição Granulométrica da Amostra Cabeça

ABERTURA DA MALHA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA SIMPLES	PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA	PORCENTAGEM PASSANTE ACUMULADA	PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA RETIFICADA
12,7	0	0	100,0	0
9,52	1,22	1,22	98,78	1,9
6,35	1,59	2,81	97,19	4,4
4,76	4,23	7,04	92,96	11,0
2,38	12,26	19,30	80,70	30,1
1,41	11,86	31,16	68,84	48,6
0,59	15,04	46,20	53,80	72,1
0,30	7,92	54,12	45,88	84,4
0,15	9,99	64,11	35,89	100,0
-0,15	35,89	100,0	0	-

As malhas utilizadas foram escolhidas com base nas especificações para os limites granulométricos de agregado miúdo, conforme Norma ABNT NBR 7211, de Maio de 1983, denominada Agregado para Concreto, incluída no Anexo 2 deste trabalho. De acordo com esta norma, o material descrito na Tabela 3.1 enquadrar-se-ia na Zona 4, ou seja agregado miúdo de granulometria grossa. Com base na referida Norma, a distribuição granulométrica do material foi recalculada com base na exclusão simples da fração -0,15 mm da amostra cabeça. Esta nova distribuição foi denominada retificada e encontra-se na última coluna da Tabela 3.1.

Vale ressaltar que os resultados acima foram obtidos em condições especiais de laboratório, não sendo, portanto, produto de processos em escala industrial. A essas características deve-se ponderar a eficiência do método de classificação empregado.

Apesar de a amostra cabeça ter revelado potencial para a produção de agregado com características adequadas, a seqüência das operações de lavra pode determinar que o material alimentado na planta de processamento seja produto de porções localizadas do capeamento, ao invés de uma alimentação com as características médias, conforme acima descritas. Essas variações de curto prazo podem acarretar em produtos fora de especificação, fato este corroborado pela análise macroscópica do perfil amostrado, assim como diferentes taxas de recuperação de produto final no processo. Nota-se uma nítida graduação entre as porções menos alteradas do capeamento, rica em grãos mais grossos praticamente isentos de argilo-minerais, até as porções superiores do capeamento, onde predomina o aspecto terroso/arenoso de coloração avermelhada. Visando quantificar as variações na distribuição granulométrica do material amostrado, foram executados testes de peneiramento a úmido em laboratório tendo por base frações representativas de cada sub-nível amostrado. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.2.

qual é a rocha lavrada?

Tabela 3.2 Distribuições Granulométricas de Amostras Provenientes de cada Sub-Nível Amostrado

ABERTURA DA MALHA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA					
	1	2	3	4	5	CABEÇA
9,52	0	0	1,20	2,57	2,33	1,22
6,35	0	0,65	2,79	5,75	6,49	2,81
4,76	2,89	2,67	7,05	12,02	12,01	7,04
2,38	13,19	14,28	18,99	27,43	25,56	19,30
1,41	21,20	27,04	30,72	38,44	37,32	31,16
0,59	36,98	43,13	45,23	51,37	51,73	46,20
0,30	43,89	51,04	53,81	57,96	59,82	54,12
0,15	54,78	61,47	65,68	66,07	70,74	64,11
-0,15	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Os resultados do peneiramento descritos na Tabela 3.2 indicam uma nítida variação na granulometria das amostras dos sub-níveis analisados. Conforme observado no local, à medida que aumenta a profundidade do capeamento, ocorre uma maior a quantidade relativa de material retido em malhas mais grossas. Em termos teóricos, a quantidade recuperável em massa de produto final variaria de 54,8% do nível 1 (superior) até 70,7% no nível 5 (inferior) do capeamento. A granulometria retificada (exclusão simples da fração -0,15 mm) dos produtos indica que as cinco distribuições teóricas indicadas na Tabela 3.2 estariam dentro da especificação de agregado miúdo grosso.

A análise qualitativa dos minerais presentes nas faixas granulométricas descritas na Tabela 3.1 indicou a presença dos minerais de quartzo e do grupo dos feldspatos nas frações acima de 0,15 mm. Abaixo desta malha predominam os argilo-minerais com coloração avermelhada, assim como a presença de finos de quartzo e feldspato.

Como o processo de peneiramento via úmida acarreta na lavagem, ainda que de forma branda, dos produtos retidos em cada malha, estes ficam praticamente isentos de argilo-minerais, o que permite uma análise do aspecto macroscópicos dos grãos presentes. No caso do material analisado, o aspecto das frações acima de 0,15 mm revelou a presença de feldspatos de coloração branca e quartzo com grãos variando de translúcidos a escurecidos, com predominância dos últimos. Nota-se também que a quantidade relativa de minerais feldspáticos cresce com o aumento da malha da peneira.

A presença de minerais feldspáticos em malhas mais grossas motivou a realização de caracterização tecnológica deste material visando seu possível aproveitamento como matéria prima feldspática para a indústria vidreira. Uma alíquota da amostra cabeça foi encaminhada aos Laboratórios de Caracterização Tecnológica do Departamento de Engenharia de Minas da EPUSP para análises qualitativa dos minerais presentes mediante o emprego de difratômetro de raios-X, além de análise quantitativa dos principais óxidos presentes por meio de Fluorescência de Raios-X. Os resultados encontram-se incluídos no Anexo 3.

A composição mineralógica da amostra apontou a presença de cinco minerais principais a saber: quartzo, kaolinita, muscovita, microclíneo e gibbsita. A análise quantitativa foi realizada sobre as amostra completa, assim como sobre a fração passante em 0,075 mm (200 mesh Tyler). Ambas revelaram sílica como composto principal, seguida de óxido de alumínio, óxido de ferro e óxido de potássio, além de quantidades inferiores a 1% de diversos outros óxidos.

Com base nos resultados de caracterização obtidos, liberação dos minerais presentes e levando-se em conta os métodos empregados para concentração de feldspatos, conclui-se que o material não apresenta características favoráveis à concentração do feldspato.

gwt?

Como conclusão da etapa de caracterização, ficou estabelecido que o material deveria ser submetido a testes contínuos em escala de laboratório, com fins de obtenção de agregado miúdo. O rejeito deste processo deveria ser analisado em ensaios específicos para verificação de sua adequação para ser utilizado como matéria prima para massa cerâmica.

4. TESTES CONTÍNUOS EM ESCALA DE LABORATÓRIO

A realização de testes contínuos em escala de laboratório teve dois objetivos principais. O primeiro foi verificar o desempenho do processo selecionado, tomando-se por base os resultados obtidos na etapa de caracterização do material. O segundo foi a obtenção de parâmetros do processo e operação do equipamento visando o dimensionamento das instalações em escala industrial.

A análise de desempenho permite quantificar as taxas de recuperação obtidas no processo, bem como avaliar as distribuições granulométricas dos produtos gerados. O fato de serem empregados equipamentos com taxas de alimentação reduzidas permite uma operação de forma contínua por períodos de várias horas sem envolver grandes massas de alimentação. Dessa forma, as flutuações de processo podem então ser minimizadas mediante correções e ajustes nas variáveis de operação e, as amostras obtidas representarem a média da operação do equipamento. A operação prolongada permite ainda a geração de massa suficiente de produto para análises posteriores.

As variáveis envolvidas em testes de classificação são, principalmente, vazões de água e sólidos, acompanhadas pela área de classificação.

Três testes de classificação do material de capeamento da jazida da Pedreira de Perus foram conduzidos no classificador espiral existente no LTM da EPUSP. O primeiro constou de uma bateria de ensaios exploratórios para estabelecimento das condições mais adequadas de operação do equipamento. Os produtos foram analisados apenas qualitativamente para verificar a adequação dos produtos gerados. Os parâmetros levantados serviram de base para o planejamento dos dois testes seguintes, que visaram reproduzir duas condições de processo segundo diluições diferentes na piscina do classificador de modo a avaliar o efeito desta variável fundamental do processo.

A Tabela 4.1 apresenta as principais condições operacionais e variáveis de processo dos dois testes contínuos de classificação conduzidos em classificador espiral utilizando-se parte da amostra cabeça do capeamento da jazida da Pedreira de Perus.

Tabela 4.1 Principais Variáveis de Processo e Parâmetros Relativos aos Testes Contínuos com Classificador Espiral

VARIÁVEL DE PROCESSO / PARÂMETRO	ENSAIO 1	ENSAIO 2
Concentração de Sólidos (%)		
Alimentação	14,6	42,2
Underflow	75,1	78,9
Overflow	8,4	26,5
Vazão de Sólidos (kg/h)		
Alimentação	49,9	51,8
Underflow	23,9	29,0
Overflow	26,0	22,8
Recuperação (%)		
Sólidos	47,9	56,0
Água	2,7	10,9

A Tabela 4.2 contém as distribuições granulométricas dos dois fluxos underflow gerados nos testes contínuos.

Tabela 4.2 Distribuições Granulométricas dos dois Fluxos Afundados Obtidos nos Testes

ABERTURA DA MALHA (mm)	ENSAIO 1		ENSAIO 2	
	PORCENTAGEM RETIDA		PORCENTAGEM RETIDA	
	SIMPLES	ACUMULADA	SIMPLES	ACUMULADA
6,35	3,36	3,36	2,94	2,94
4,76	3,26	6,62	3,91	6,85
2,38	16,62	23,24	18,86	25,71
1,41	22,29	45,53	26,14	51,85
0,59	30,34	75,87	34,16	86,01
0,30	12,76	88,63	6,79	92,80
0,15	9,88	98,51	3,69	96,49
-0,15	1,49	100,00	3,52	100,00

Os dois materiais obtidos atendem as especificações de agregado miúdo Zona 4 (Grossa), a menos da fração retida na malha 0,15 mm no caso do produto do ensaio 1. A presença de material passante na malha 0,15 mm no underflow indica que o processo de retro-lavagem do material arrastado pela espiral é ainda passível de melhorias, ou seja, a água contida no material transportado para cima na calha da espiral não causou o carreamento de finos na intensidade desejada. A aspersão de água na calha do classificador contribuiria para a diminuição da presença das frações finas no underflow do classificador.

Vale ressaltar que o material alimentado durante os ensaios foi objeto de peneiramento na malha 9,52 mm (3/8"). Como esta fração representa, segundo dados da Tabela 3.2, 1,22% do total da amostra cabeça, a sua separação prévia constituiria um produto do processo, qual seja, pedrisco na faixa granulométrica entre 12,7 mm e 9,52 mm (1/2" e 3/8").

4.1 ENSAIO PRELIMINAR DE ARGILAS

Visando verificar a viabilidade técnica de aproveitamento dos finos gerados no classificador espiral, uma alíquota de cerca de 10 kg do overflow do Ensaio 2 foi encaminhada aos Laboratórios de Tecnologia Cerâmica/AMI/DQ do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, para verificação de sua adequabilidade como matéria prima para a indústria cerâmica. O Relatório de Ensaio nº 844.017 datado de 23 de abril de 1997 com os resultados dos testes está incluído no Anexo 4 deste trabalho.

O Ensaio Preliminar de Argilas, desenvolvido no IPT, é executado para estudar argilas desconhecidas, visando prever se podem ter usos industriais e/ou ser classificadas como “argilas industriais”. O ensaio constitui-se de três etapas:

- ◆ Classificação da argila em três grupos cerâmicos pela cor apresentada por corpos de prova após secagem a 110°C e após queima em três temperaturas;
- ◆ Classificação da argila em subgrupos pelas propriedades fisico-mecânicas ou propriedades cerâmicas;
- ◆ Classificação em um dos tipos de “argilas industriais”.

Os corpos de prova, preparados segundo critérios específicos, são queimados nas temperaturas de 950°C, 1250°C e 1450°C (dependendo do grupo cerâmico em que se encontram, os corpos de prova podem ser queimados em diferentes temperaturas, como especificado na Tabela I – Temperaturas de Queima – do Anexo 4A). Após serem naturalmente resfriados, observam-se as cores e o comportamento dos corpos de prova após a queima nas três temperaturas. O critério de classificação está esquematizado na Tabela 4.1.1.

Tabela 4.1.1 Classificação Preliminar de Argilas para o Uso Cerâmico

GRUPO CERÂMICO	CORES DOS CORPOS DE PROVA A			
	110 °C	950 °C	1250 °C	1450 °C
CERÂMICA VERMELHA	Vermelha, marrom, verde, violácea, creme, cinza, outras cores, exceto branca, vermelha-alaranjada, marrom-avermelhada, preta, cinza-avermelhada	Vermelha com diversas tonalidades, amarela, marrom-clara	Creme-amarelada, vermelha, vermelho-escura, marrom-escura, marrom-clara e preta	Marrom-escura, preta, com ou sem perda de forma; cinza esverdeada, cinza-escura, marrom-escura, preta com fusão
CERÂMICA BRANCA	Branca, creme-clara, creme-escura, rosa-clara, rosa-escura, amarelo-clara, cinza-clara, cinza-escura, preta	Branca, creme-clara, rosa-clara, rosa-escura, amarelo-clara,	Branca, creme-clara, creme-escura, cinza-clara, cinza-escura, marrom, amarela	Branca, creme-clara, cinza-clara, cinza-esverdeada, cinza-escura, cinza
PRODUTOS REFRATÁRIOS	Branca, creme-clara, cinza, cinza-clara, cinza-escura, preta	Branca, rosa, creme-clara, marrom-clara, branca-cremosa, branca-rosada	Amarela-clara, creme, creme-clara, cinza-clara	Branca, cinza-clara, creme-clara, cinza-escura marrom-escura sem perda de forma

Os testes executados sobre a amostra em questão apontaram como uso provável "*em cerâmica vermelha na fabricação de tijolos maciços*".

Com bases nos dados gerados nos testes contínuos de classificação em classificador espiral e nos resultados dos testes executados sobre a fração fina do classificador foi proposto um fluxograma de processo para aproveitamento econômico do capeamento da jazida da Pedreira de Perus, conforme descrito na seção seguinte deste trabalho.

5. PROJETO CONCEITUAL E DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

O projeto conceitual das operações de lavra e tratamento do capeamento teve por base os dados obtidos no Capítulo 3 deste trabalho, bem como critérios estabelecidos pela Construcap, através de seus representantes. O fluxograma do processo de aproveitamento do capeamento assim definido, englobando as operações de lavra, tratamento do material e operações auxiliares, está mostrado na Figura 5.1 da página seguinte.

Conforme pode ser observado no fluxograma, o método de lavra a ser empregado será o de desmonte hidráulico por meio de dois monitores, o primeiro destinado ao desmonte do material, enquanto que o segundo servirá para empolpar o material desmontado de modo a conduzi-lo ao ponto de captação para posterior tratamento. Os monitores serão alimentados por água proveniente da barragem existente no local através de bombeamento.

A polpa resultante do processo de lavra será conduzida por meio de canaletas, do ponto de desmonte até uma caixa destinada a regular a alimentação da planta de processamento físico do material. Assim, uma bomba de polpa efetuará o transporte deste material até uma peneira de dois decks. A fração retida nesta peneira formará um produto final denominado pedrisco e, a fração passante será conduzida, por gravidade, a uma caixa e desta para o lavador de rosca. O material afundado no lavador constituirá um segundo produto final do processo, qual seja, agregado miúdo grosso. Um transportador de correia dotado de dispositivo de giro permitirá a estocagem do material gerado de forma contínua em pilhas semicirculares.

O transbordo da caixa intermediária entre a peneira e o lavador, assim como o transbordo deste último deverão ser juntados em uma caixa de bomba que conduzirá esta polpa a um processo destinado ao espessamento das frações finas dos sólidos presentes. O equipamento empregado poderá ser um espessador ou ainda uma bateria de ciclones desaguadores.

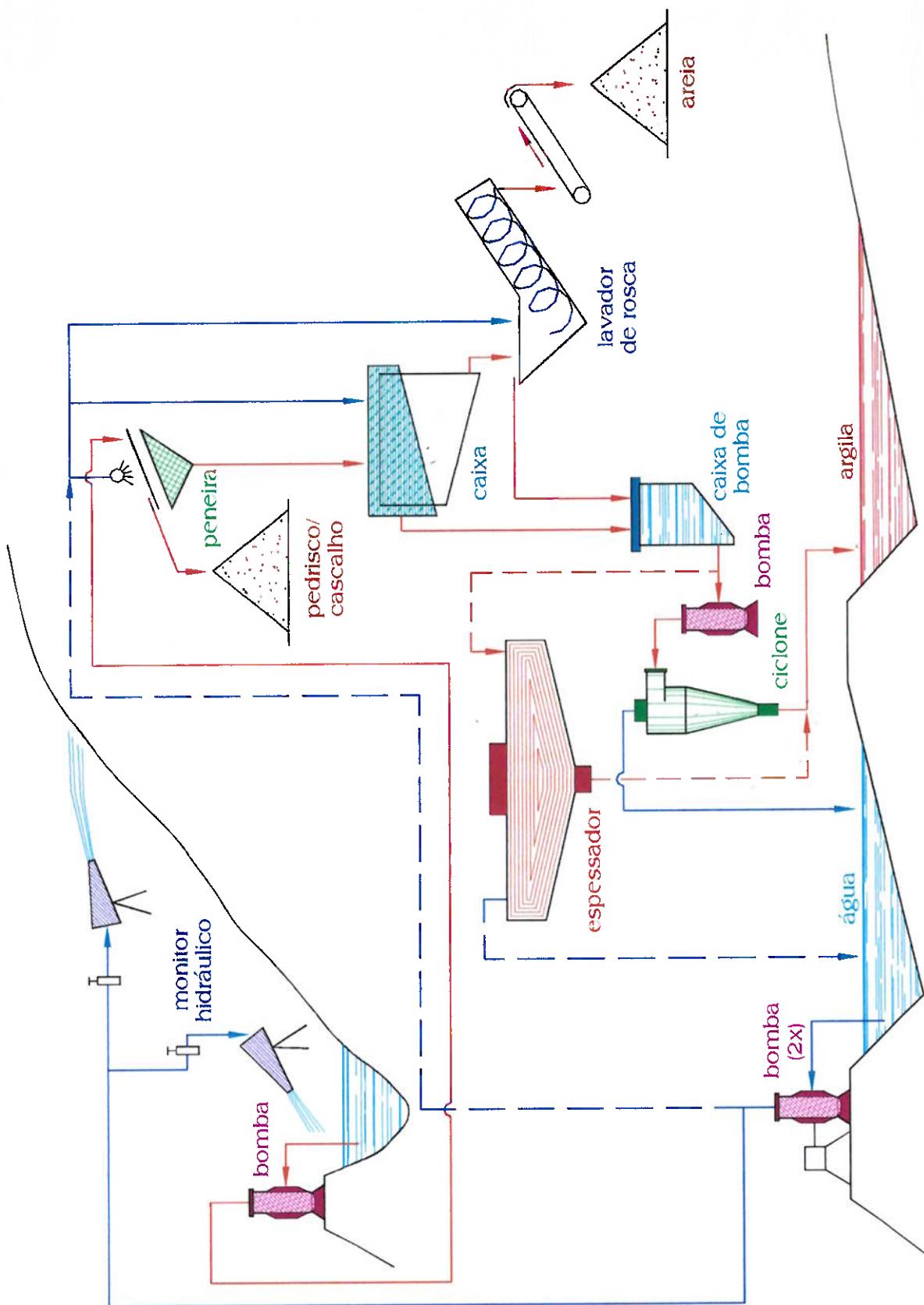


Figura 5.1 Fluxograma de Processo de Aproveitamento do Capeamento

O material espessado será destinado a uma área própria da barragem para estocagem e posterior retomada para aproveitamento como massa cerâmica para fabricação de tijolos maciços, em instalações apropriadas. A água proveniente do espessamento será estocada na barragem existente de modo a possibilitar sua retomada na captação para o desmonte hidráulico e processo, fechando, desta forma, o circuito.

Os critérios de projeto estabelecidos são dados a seguir.

5.1 CRITÉRIOS DE PROJETO

5.1.1 Critérios Gerais

- ◆ Regime de Mensal de Operação: 20 dias/mês
- ◆ Regime de Diário de Operação: 9 horas/dia
- ◆ Rendimento: 80%
- ◆ Número de horas/mês efetivamente trabalhadas: $20 \times 9 \times 0,8 = 144$ horas/mês

- ❖ Produção Requerida: $10.000 \text{ m}^3/\text{mês}$ de produto final
(fração grossa do classificador)

- ◆ Taxa de Recuperação de Sólidos no Processo: 56%
- ◆ Fração -1/2" + 3/8" (teórica): 1,22%
- ◆ Eficiência do Peneiramento na Malha 3/8": 80% (admitida)
- ◆ Fração -1/2" + 3/8" (corrigida): 1,53%
- ◆ Volume a Ser Lavrado Mensalmente: $(10.000 / 0,56) \times 1,0153 = 18.130 \text{ m}^3/\text{mês}$
- ◆ Taxa de Alimentação Horária de Sólidos do Processo: $18.130 / 144 = 126 \text{ m}^3/\text{h}$ (202 t/h)
- ◆ Produção Mensal de Areia: 10.000 m^3 (16.000 t)
- ◆ Produção Mensal de Pedrisco: 374 m^3 (598 t)
- ◆ Produção Mensal de Argila: 7.756 m^3 (12.410 t)
(admitindo-se $\rho = 1,6 \text{ t/m}^3$)

Conforme solicitação da equipe técnica da Pedreira de Perus foi investigada a alternativa de utilização de tela com abertura de 1/8" no segundo deck na peneira. Nesse caso:

- ◆ Fração -1/2" + 1/8" (teórica): 14 %
- ◆ Ineficiência do Peneiramento: 85%
- ◆ Eficiência do processo: 0,87
(quociente do valor de recuperação obtido no teste de 56% pelo teórico de 64%)
- ◆ Recuperação Global de Areia: $(1 - (14 / (0,85 \times 64))) \times 0,87 = 74\%$

Levando a:

- ◆ Produção Mensal de Areia: 7.430 m³ (11.888 t)
- ◆ Produção Mensal de Material -1/2" + 1/8" : 2.570 m³ (4.112 t)

O dimensionamento dos equipamentos e operações auxiliares seguiu a metodologia descrita nas páginas seguintes.

5.1.2 Barragem

- ◆ Vazão total de água necessária para as operações de lavra e tratamento: $415 \text{ m}^3/\text{h}$
 $3.740 \text{ m}^3/\text{dia}$
- ◆ Volume atual de armazenamento de água na barragem: 18.000 m^3 (aproximadamente)
- ◆ Tempo de sedimentação dos sólidos: 18h
(conforme resultado dos testes de sedimentação comentados nas próximas seções deste trabalho)

Portanto, o volume atual da barragem existente no local permite a operação contínua de 5 dias de operação (uma semana total). Entretanto, como o tempo de sedimentação é de 18h, o volume de água consumido, se integralmente retornado à barragem, estaria clarificado diariamente, pois o período de clarificação coincide com a o período diário em que a instalação estará fora de operação.

Com o alteamento da barragem em 4 m, o período de operação sem reposição aumentaria para aproximadamente 18 dias.

No caso de haver retorno da água, porém com 20% de perda diária no sistema de lavra e tratamento, o volume atual da barragem permitiria a operação por 17 dias do sistema, considerando 70% do volume da barragem como volume útil. Com o alteamento em 4 m, o sistema teria capacidade para 62 dias com retorno da água e 20% de perda diária no sistema de lavra e tratamento.

5.2 DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

5.2.1 Monitor Hidráulico

- ◆ Vazão de Sólidos: $126 \times 1,6 = 202 \text{ t/h}$
 $202 / 2,65 = 76,2 \text{ m}^3/\text{h}$
- ◆ Concentração de Sólidos em Volume: 20%
- ◆ Vazão de Polpa: $76,2 / 0,2 = 381 \text{ m}^3/\text{h}$
- ◆ Vazão de Água: $381 - 76,2 = 305 \text{ m}^3/\text{h}$
- ◆ Concentração de Sólidos em Massa: $202 / (202 + 305) = 40\%$
- ◆ Densidade da Polpa: $(202 + 305) / (381) = 1,33 \text{ t/m}^3$
- ◆ d_{50} do material: 0,45 mm
- ◆ Pressão Necessária: $P = \frac{V^2}{2g}; Q = VS \therefore P = \frac{(Q/S)^2}{2g}$

$$Q = 305 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0847 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,0424 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (2 monitores)}$$

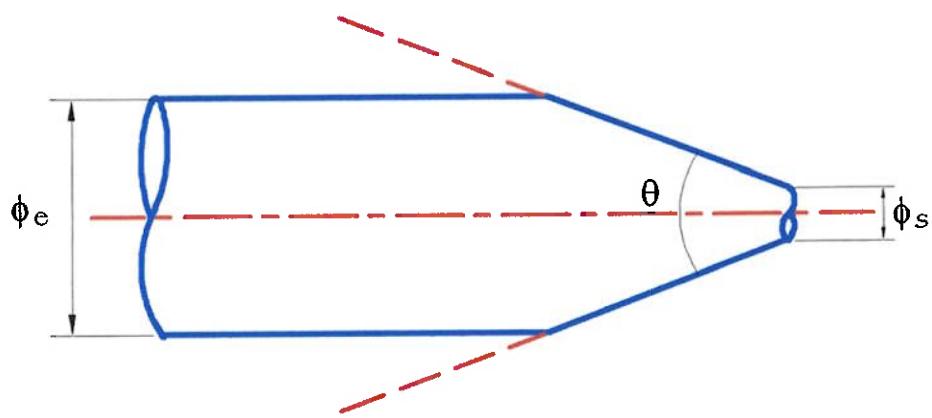
$$S = \frac{\pi d^2}{4}; d = 40 \text{ mm} \therefore S = 0,00126 \text{ m}^2$$

$$P = \frac{(0,0424 / 0,00126)^2}{2 \times 9,8} = 58 \text{ m.c.a.}$$

ESPECIFICAÇÃO DOS MONITORES

- ◆ Número: 2
- ◆ Diâmetro de Entrada: 6"
- ◆ Diâmetro de Saída: 40 mm

Perda de Carga



$$K = 0,8 \operatorname{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right) \left(1 - \frac{\phi_s^2}{\phi_e^2} \right) = 0,8 \operatorname{sen} \left(\frac{15}{2} \right) \left[1 - \frac{40^2}{(25,4 \times 6)^2} \right] = 0,097$$

$$H_f = K \frac{V^2}{2g} ; \quad V = 3,4 \text{ m/s} \quad \therefore H_f = 0,097 \frac{4,6^2}{2 \times 9,8} = 0,10 \text{ m.c.a.}$$

5.2.2 Bombas de Água

O cálculo do comprimento da tubulação e da altura de recalque teve por base as informações da equipe técnica da Pedreira de Perus, assim como do perfil topográfico da área, conforme mostra o Anexo 7. Nesse documento foram estabelecidos o caminhamento da tubulação de alta e baixa pressão, isto é, linha de água para desmonte hidráulico e linha de água de processo. Foram levantados os perfis de cada seção das linhas e calculados as diferenças de cotas e comprimento das linhas individuais e totalizados. Os desenhos dos perfis e cálculos encontram-se no Anexo 6. Os dados resultantes foram empregados no dimensionamento das duas linhas de bombeamento de água, como se segue.

Bombeamento para o Desmonte Hidráulico

- ◆ Altura Geométrica (diferença de cotas entre a captação e o recalque da bomba): 94 m
- ◆ Comprimento da Tubulação (z): 1047 m
- ◆ Pressão Requerida no Final da Linha: 58 m.c.a.
- ◆ Altura Manométrica: $94 + 58 = 152$ m.c.a.
(sem perdas localizadas ou distribuídas)
- ◆ Vazão de Água: $305 \text{ m}^3/\text{h} = 0,0847 \text{ m}^3/\text{s}$
- ◆ Seleção do Diâmetro da Tubulação:

	ϕ	S (m²)	v (m/s)
	8"	0,0324	2,6
selecionado	↳	6"	0,0182
			4,6

ESPECIFICAÇÃO DA BOMBA

- ◆ Bomba Escolhida: KSB Modelo WKL 150 - 3 estágios
- ◆ Rendimento Nominal por Estágio: 93%
- ◆ Potência Requerida: $P = (Q H_m) / (102 \epsilon)$

$$P = (84,7 \times 152) / (102 \times 0,93^3) = 157 \text{ kW}$$

$$P = 210 \text{ HP}$$
- ◆ Motor: 300 HP

Bombeamento para a Água de Processo

- ◆ Diferença de cotas entre a captação e o recalque da bomba: 810 - 760 m
- ◆ Altura Geométrica: 50 m
- ◆ Comprimento da Tubulação (z): 448 m
- ◆ Pressão Requerida no Final da Linha: 20 m.c.a.
- ◆ Altura Manométrica: $50 + 20 = 70$ m.c.a.
- ◆ Vazão de Água: 100 m³/h
- ◆ Diâmetro da Tubulação: 6"
- ◆ Velocidade da Água na Linha: 1,54 m/s

ESPECIFICAÇÃO DA BOMBA

- ◆ Bomba Escolhida: KSB Modelo WKL 100 - 2 estágios
- ◆ Rendimento Nominal por Estágio: 93% (admitido)
- ◆ Potência Requerida: $P = (Q H_m) / (102 \times \epsilon)$
 $P = (27,8 \times 70) / (102 \times 0,93^2) = 22$ kW
 $P = 30$ HP
- ◆ Motor: 50 HP

5.2.3 Peneira

(**OBS:** Todas as referências a tabelas e gráficos são relativas ao Manual de Britagem da FAÇO, 5ª edição, salvo menção em contrário)

- ◆ Densidade Aparente da Areia: 1,6 t/ m³

⇒ 1º deck - 1/2"

◆ Q ₁ = tipo de malha	= 1,00 (quadrada)	
◆ Q ₂ = formato da partícula	= 1,00 (cúbica)	
◆ Q ₃ = via úmida (abertura)	= 1,30 (1/4" - 1/2")	
◆ Q ₄ = via seca (% umidade)	= 1,00 (peneiramento a úmido)	
◆ Q ₅ = deck	= 0,90 (1º deck)	
◆ Q ₆ = % área aberta da tela	= 1,08 (abertura livre = 54%)	(tab. 5-04)
◆ C = fator de capacidade	= 23,5 m ³ /h / m ²	(tab. B - pág. 5-18)
◆ T = material alimentado	= 126 m ³ /h	
◆ M = fator de material retido	= 0,92 (0,19% >1/2")	(tab. C - pág. 5-19)
◆ P = dados do material	= 1,00 (dados conhecidos)	
◆ K = fator de correção	= 2,15 (97% < 1/4")	(tab. D - pág. 5-19)

Embora nos critérios de projeto tenha-se adotado tela do deck inferior da peneira com abertura de 1/4", utilizou-se no dimensionamento da peneira uma tela de menor abertura (1/8") para possibilitar a troca da mesma durante a operação da instalação, caso seja desejado.

⇒ 2º deck - 1/8"

♦ Q_1 = tipo de malha	= 1,00 (quadrada)	
♦ Q_2 = formato da partícula	= 1,00 (cúbica)	
♦ Q_3 = via úmida (abertura)	= 1,40 (1/4" - 1/2")	
♦ Q_4 = via seca (% umidade)	= 1,00 (peneiramento a úmido)	
♦ Q_5 = deck	= 0,80 (2º deck)	
♦ Q_6 = % área aberta da tela	= 0,80 (abertura livre = 40%)	(tab. 5-04)
♦ C = fator de capacidade	= 8 m³/hm²	(tab. B - pág. 5-18)
♦ T = material alimentado	= 122,5 m³/h	
♦ M = fator de material retido	= 0,94 (17% > 1/8")	(tab. C - pág. 5-19)
♦ P = dados do material	= 1,00 (dados conhecidos)	
♦ K = fator de correção	= 1,98 (88% < 1/8")	(tab. D - pág. 5-19)

Área de Peneiramento (A)

$$A = \frac{T \times P}{C \times M \times K \times \prod_{i=1}^6 Q_i}$$

⇒ 1º deck - 1/2"

$$Q = 1,00 \times 1,00 \times 1,30 \times 1,00 \times 0,90 \times 1,08 = 1,264$$

$$A = \frac{128 \times 1,00}{23,5 \times 0,92 \times 2,15 \times 1,264} = 2,18 \text{ m}^2$$

⇒ 2º deck - 1/8"

$$Q = 1,00 \times 1,00 \times 1,40 \times 1,00 \times 0,80 \times 0,80 = 0,896$$

$$A = \frac{122,5 \times 1,00}{8,0 \times 0,94 \times 1,96 \times 0,896} = 9,28 \text{ m}^2$$

Largura Nominal (W)

$$W = \frac{100 \times Tf}{6 \times S \times D} + 0,15$$

⇒ 1º deck - 1/2"

- ◆ Tf = material na saída da peneira = 0,4 m³/h
- ◆ D = espessura da camada = 4a = 4 × 12,7 = 50,8 mm (tab. 5-01)
- ◆ S = fator de velocidade = 30 (tab. F - pág. 5-20)

$$W = \frac{100 \times 0,4}{6 \times 30 \times 50,8} + 0,15 = 0,154 \text{ m}$$

⇒ 2º deck - 1/8"

- ◆ Tf = material na saída da peneira = 21 m³/h
- ◆ D = espessura da camada = 4 a = 4 × 3,175 = 12,7 mm (tab. 5-01)
- ◆ S = fator de velocidade = 30 (tab. F - pág. 5-20)

$$W = \frac{100 \times 21}{6 \times 30 \times 12,7} + 0,15 = 1,069 \text{ m}$$

Tabela 5.2.3.1 Especificações da Peneira

DECK	PENEIRAMENTO	ÁREA (m ²)	TIPO	LARGURA NOMINAL (m)
1º	úmido	2,18	inclinada	0,15
2º	úmido	9,28	inclinada	1,07

PENEIRAS SELECIONADAS

Peneiras Inclinadas (serviços pesados)

Tipo SH RIPL-FLO

- ◆ 5' × 16' - 2 decks
- ◆ área do deck = 7.4 m²
- ◆ tamanho máximo do material alimentado: 10"
- ◆ abertura máxima da malha: 4"
- ◆ abertura mínima da malha: 20 mesh (0.84 mm)

ou

Tipo MNS 50020 (Existente nas Instalações da Pedreira de Perus)

- ◆ 5000 mm × 2000 mm - 2 decks
- ◆ área do deck = 10 m²
- ◆ tamanho máximo do material alimentado: 8"
- ◆ abertura máxima da malha: 4"
- ◆ abertura mínima da malha: 1/8"

5.2.4 Equipamento de Classificação

a) Lavador de Rosca

◆ Vazão de Água:

$$C_w = \frac{124 \times 2,6}{124 \times 2,6 + Q_{água}} = 42,24\%$$

$$\therefore Q_{água} = 440,9 \text{ m}^3/\text{h} = 122,5 \text{ l/s}$$

⇒ Para Malha de Corte em 100# (0,15mm)

- ◆ Modelo LD-36 (Manual FAÇO gráf. 6-02 - pág. 6-12)
- ◆ Vazão de água ≈ 100 l/s = 360 m³/h

$$\therefore C_w = \frac{124 \times 2,6}{124 \times 2,6 + 360} = 47,25\%$$

LAVADOR SELECIONADO

- ◆ Tipo: Lavador Duplo Modelo LD-36
- ◆ Diâmetro da Rosca: 900 mm
- ◆ Motor: 2 × 15 (hp)
- ◆ Capacidade: 200 t/h

b) Caixas de Sedimentação (Alternativa)

Com base nos testes de laboratório estimou-se uma área específica de $0,925 \text{ t/h/m}^2$ necessária para a classificação do material. De acordo com os critérios de projeto, a taxa horária de alimentação do equipamento de classificação será de 202 t/h , o que leva a uma área total necessária de 218 m^2 .

Se forem utilizadas caixas com seção quadrada de 6 m de lado, seriam necessárias 6 caixas em operação. Assim, uma taxa de produção de areia de $126 \text{ m}^3/\text{h}$, descarga a cada 4 horas e volume útil para areia de 65%, levaria a uma altura de caixa de $3,6 \text{ m}$.

- ◆ Área Total Necessária: $202 / 0,925 = 218 \text{ m}^2$ (6 tanques $6 \times 6 \text{ m}$)
- ◆ Altura da Caixa: $(126 \times 4) / 0,65 = 775,4 \text{ m}^3$
 $775,4 / 218 = 3,6 \text{ m}$
- ⇒ Escolha do Tanque: 6 tanques $6 \times 6 \times 3,6 \text{ m}$

5.2.5 Bombas de Polpa

Bombeamento do produto da lavra para a peneira

- ◆ Vazão de sólidos: $126 \times 1,6 = 202 \text{ t/h}$
 $202 / 2,65 = 76,2 \text{ m}^3/\text{h}$
- ◆ Concentração de Sólidos em Volume: 20%
- ◆ Vazão de Polpa: $76,2 / 0,2 = 381 \text{ m}^3/\text{h}$
- ◆ Vazão de Água: $381 - 76,2 = 305 \text{ m}^3/\text{h}$
- ◆ Concentração de Sólidos em Massa: $202 / (202 + 305) = 40\%$
- ◆ Densidade da Polpa: $(202 + 305) / (381) = 1,33 \text{ t/m}^3$
- ◆ d_{50} do material: 0,45 mm
- ◆ Altura Geométrica de Recalque:
 - sucção: cota 775 m
 - recalque: cota 810 m
 - diferença (z): 35 m
- ⇒ Seleção do Diâmetro da Tubulação: velocidade na tubulação > velocidade sedimentação

$$V = 1273 Q / d^2 = 1273 \times (109.4) / d^2$$

$$V_1 = F_1 (2 g d (\rho_s - \rho_l) / \rho_l)^{0.5} / 1000$$

$$V_1 = 1,22 (2 \times 9,8 \times d (2,7 - 1,33) / 1,33)^{0.5} / 1000$$

$$d = 55,8 \text{ mm (porém } V = 44 \text{ m/s, muito alta)}$$

diâmetro selecionado ⇒ 8" ($V = 3,4 \text{ m/s}$)
- ◆ Cargas Singulares: 3 curvas 90° + 1 válvula $\therefore 3 \times 1,9 + 2,9 = 8,6 \text{ m}$
- ◆ Comprimento Físico da Tubulação: 150 m
- ◆ Comprimento Equivalente da Tubulação: 158,6 m

- ◆ Perda de Carga Distribuída: $v = 3,4 \text{ m/s tubo; de aço comercial ; } \phi = 203 \text{ mm}$
 $\text{Fator de Darcy (f)} = 0,016$
 $H_f = f (L v^2) / (D 2 g)$
 $H_f = 0,016 (158,6 \times 3,4^2) / (0,203 \times 2 \times 9,8)$
 $H_f = 7,4 \text{ m}$
- ◆ Altura Manométrica de Polpa: $H_w = z + H_f = 35 + 7,4 = 42,4 \text{ m.c.p.}$
- ◆ Diagrama de Cave: $\rho_s = 2,7 ; Cv = 20\% ; Cw = 40\% ; d_{50} = 0,45 \text{ mm}$
 $HR = ER = 0,81$
- ◆ Altura Manométrica de Água: $42,4 / 0,81 = 52,3 \text{ m.c.a.}$
- ⇒ Escolha da Bomba: $Q = 110 \text{ l/s} ; H_w = 52,3 \text{ m.c.a.}$

ESPECIFICAÇÃO DA BOMBA

- ◆ Catálogo Warman Bomba de Polpa Warman Modelo 8/6 F AH
Revestimento interno metálico
Velocidade de rotação = 1050 rpm
Eficiência (ϵ) = 62%
- ◆ Potência: $P = (Q H_m \rho_{pp}) / (102 \epsilon ER)$
 $P = (110 \times 43 \times 1,33) / (102 \times 0,62 \times 0,81) = 123 \text{ kW}$
 $P = 163 \text{ HP}$
- ◆ Motor Selecionado: 200 HP

(**OBS:** O valor do NPSH deverá ser calculado após a definição do arranjo de sucção da bomba)

Bombeamento do transbordo do tanque e lavador para a bateria de ciclones

(OBS): Se for utilizado o espessador, não há necessidade de bombeamento da polpa)

- ◆ Vazão de sólidos: $(10.000 / 0,56) - 10.000 = 7857 \text{ m}^3$
 $(7857 \times 1,6) / 144 = 87,3 \text{ t/h}$
 $87,3 / 2,65 = 33 \text{ m}^3/\text{h}$
- ◆ Concentração de Sólidos em Massa: 35%
- ◆ Vazão de Água: $(87,3 / 0,35) - 87,3 = 162 \text{ m}^3/\text{h}$
- ◆ Concentração de Sólidos em Volume: 17%
- ◆ Vazão de Polpa: $33 + 162 = 195 \text{ m}^3/\text{h}$
- ◆ Densidade da Polpa: $(87,3 + 162) / (195) = 1,28 \text{ t/m}^3$
- ◆ d_{50} do material: 0,05 mm (estimado)
- ◆ Altura Geométrica de Recalque (z): 7 m

- ◆ Seleção do Diâmetro da Tubulação: velocidade na tubulação > velocidade sedimentação
 $V = 1273 Q / d^2 = 1273 \times (54,2) / d^2$
 $V_1 = F_1 (2 g d (\rho_s - \rho_l) / \rho_l)^{0,5} / 1000$
 $V_1 = 0,75 (2 \times 9,8 \times d (2,65 - 1,28) / 1,28)^{0,5} / 1000$
diâmetro selecionado ↳ 6" ($V = 3,44 \text{ m/s}$)

- ◆ Cargas Singulares: 3 curvas 90° + 1 válvula $\therefore 3 \times 1,9 + 2,9 = 8,6 \text{ m}$
- ◆ Comprimento da Físico da Tubulação: 100 m
- ◆ Pressão no Recalque: 45 psi = 32,1 m
- ◆ Comprimento Equivalente da Tubulação: 108,6 m

- ◆ Perda de Carga Distribuída: $v = 3,44 \text{ m/s tubo; de aço comercial ; } \phi = 152 \text{ mm}$
 $\text{Fator de Darcy (f)} = 0,017$
 $H_f = f (L v^2) / (D 2 g)$
 $H_f = 0,017 (140,7 \times 3,44^2) / (0,152 \times 2 \times 9,8)$
 $H_f = 9,5 \text{ m}$
- ◆ Altura Manométrica de Polpa: $H_w = z + H_f = 7 + 9,5 + 32,1 = 48,6 \text{ m.c.p.}$
- ◆ Diagrama de Cave: $\rho_s = 2,7 ; Cv = 17\% ; Cw = 35\% ; d_{50} = 0,05 \text{ mm}$
 $HR = ER = 0,82$
- ◆ Altura Manométrica de Água: $48,6 / 0,82 = 59,3 \text{ m.c.a.}$
- ◆ Escolha da Bomba: $Q = 54 \text{ l/s} ; H_w = 59,3 \text{ m.c.a.}$

ESPECIFICAÇÃO DA BOMBA

- ◆ Catálogo Warman Bomba de Polpa Warman Modelo 6/4 E AH
Revestimento interno metálico
Velocidade de rotação = 1450 rpm
Eficiência (ϵ) = 60%
- ◆ Potência: $P = (Q H_m \rho_{pp}) / (102 \epsilon ER)$
 $P = (54 \times 59,3 \times 1,28) / (102 \times 0,60 \times 0,82) = 82 \text{ kW}$
 $P = 110 \text{ HP}$
- ◆ Motor Selecionado: 150 HP

5.2.6 Tanques

Para a Polpa Resultante da Lavra

- ◆ Vazão de Polpa: 381 m³/h
- ◆ Tempo de Retenção: 5 minutos
- ◆ Volume Útil do Tanque: 80%
- ◆ Volume Total do Tanque: $(381 / 60) \times 5 / 0.8 = 40 \text{ m}^3$
- ◆ Dimensões (tanque de seção quadrada com fundo inclinado):
L = 3,5 m
H = 3,3 m (exceto parte piramidal inferior)

Para o Material Passante na Peneira

- ◆ Vazão de Polpa: 381 m³/h
(vazão total de alimentação da peneira)
- ◆ Tempo de Retenção: 4 minutos
- ◆ Volume Útil do Tanque: 80%
- ◆ Volume Total do Tanque: $(381 / 60) \times 4 / 0.8 = 32 \text{ m}^3$
- ◆ Dimensões (tanque de seção quadrada com fundo inclinado):
L = 3,5 m
h = 2,6 m (exceto parte piramidal inferior)

5.2.7 Equipamento de Desaguamento

a) Opção 1 - Ciclones

- ◆ Ciclones de 6"
- ◆ Pressão de Alimentação: 32 psi
- ◆ Vazão Unitária (curva de capacidade Krebs): $200 \text{ USGPM} = 12,6 \text{ l/s} = 45,5 \text{ m}^3/\text{h}$
- ◆ Número de Ciclones Requerido: $195 / 45,5 = 4,3$
- ◆ Número de Ciclones Escolhido: 6
- ◆ Diâmetro Mediano de Separação: $d_{50\text{req}} = d_{50b} \times F_1 \times F_2 \times F_3$
 $d_{50\text{req}} = 17 \times 1,4 \times 0,65 \times 1,0 = 15 \mu\text{m}$

b) Opção 2 - Espessador

Para dimensionamento do espessador foi realizado um teste de sedimentação com o transbordo obtido no Ensaio 2 do classificador espiral. Foi empregada uma proveta de 2.000 ml com polpa previamente preparada de modo a reconstituir a concentração de sólidos calculada quando da realização do Ensaio 2. A curva de sedimentação está apresentada a seguir na Figura 5.2. Nota-se no gráfico que existem duas zonas distintas de sedimentação, isto é, a primeira referente a parte mais inclinada e inicial da curva denominada região de queda livre. A segunda, após o ponto de compressão apresenta o característico comportamento de compressão progressiva do material sedimentado na proveta.

A partir dos dados obtidos no teste, encontrados no Anexo 5 deste trabalho, foi executado o dimensionamento do espessador de finos, com base no método de Coe & Clevenger, conforme apresentado a seguir.

Método de Coe e Clevenger

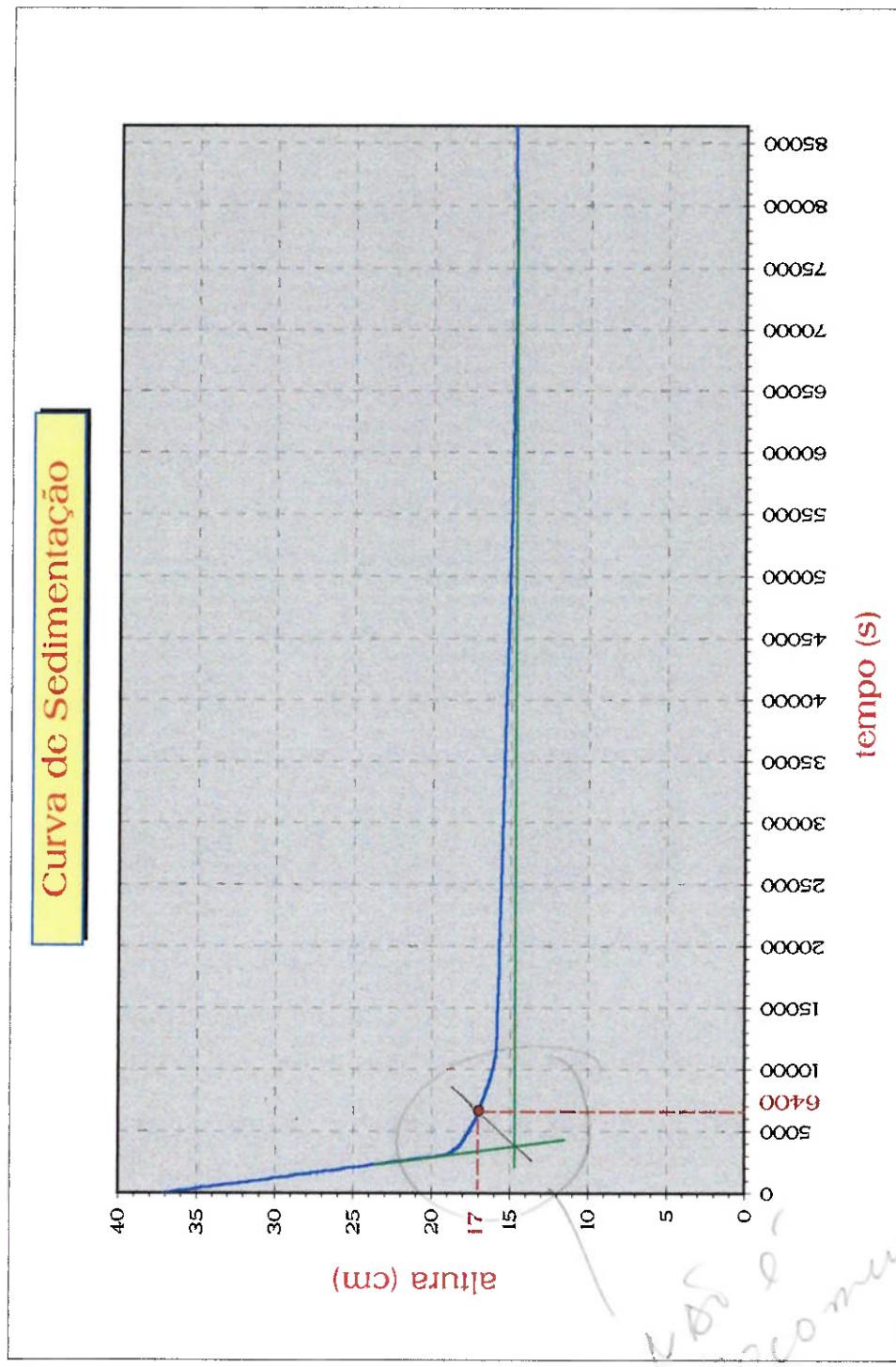


Figura 5.2 Curva de Sedimentação Obtida a Partir do Overflow do Classificador

Método de Coe & Clevenger

- ◆ Peso Específico dos Sólidos: 2,65
- ◆ Massa de Sólidos: 633 g
- ◆ Concentração de Sólidos Requerida no Underflow: 45%
- ◆ Densidade da Polpa na Concentração de Sólidos Requerida: 1,389 t/m³
- ◆ Constante da Proveta Utilizada nos Testes: $2000 \text{ cm}^3 / 0,37 \text{ m} = 1,85 \times 10^{-4} \text{ m/cm}^3$

$$H_u = 633 / 1,389 = 455,7 \text{ cm}^3$$

$$H_o = 2000 \times 1,85 \times 10^{-4} = 0,37 \text{ m}$$

$$AU = \frac{\frac{1}{C_i} - \frac{1}{C_u}}{24R}$$

$$R = \frac{2000 - 1059}{50} \times 60 \times 1,85 \times 10^{-4} = 0,21 \text{ m/h}$$

$$AU = \frac{\frac{1}{0,317} - \frac{1}{1,389}}{24 \times 0,21} = 0,483 \text{ m}^2/\text{t/h}$$

$$\overline{AU} = 1,3 \times 0,483 = 0,628 \text{ m}^2/\text{t/h}$$

$$A = 0,628 \times 55,8 \times 24 = 841 \text{ m}^2$$

$$\text{Diâmetro} = (841 \times 4 / \pi)^{0,5} = 32,7 \text{ m}$$

Regra dos Três Pés

$$H_c = \frac{V}{W} \times t_c \times G$$

$$G = 55,8 / (\pi \times 32,7^2 / 4) = 0,0664 \text{ t/h/m}^2$$

$$t_c = 6400 \text{ s} = 1,78 \text{ h}$$

$$V = 862 \text{ cm}^3 ; W = 633 \text{ g}$$

$$H_c = 862 / 633 \times 1,78 \times 0,0664 = 0,161 \text{ m} \therefore H_c < 3' (0,91\text{m})$$

6. ESTIMATIVA DE INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTOS

Os equipamentos de lavra, processo e manuseio descritos no capítulo anterior foram objeto de cotações para estimativa preliminar do investimento de aquisição. Foram consultados fabricantes tradicionais do mercado em cada um dos tipos de equipamentos dimensionados. A Tabela 6.1 apresenta o resultado deste levantamento, onde se pode notar as especificações principais de cada item, assim como estimativa de investimento de aquisição. Na maioria dos itens estão incluídos impostos e o valor mostrado refere-se ao preço FOB na porta da fábrica. Não estão inclusas estimativas de obras civis, instalações elétricas, mecânicas, de montagem, frete, etc.

A peneira vibratória horizontal não foi incluída nas estimativas, pois deverá ser aproveitada uma unidade existente na Pedreira de Perus.

Tabela 6.1 Especificações e Preços dos Principais Equipamentos Propostos

EQUIPAMENTO	ESPECIFICAÇÃO	OBSERVAÇÃO	PREÇO (R\$)
Monitor Hidráulico Tipo Mineralmaq - 2 Unidades	Diâmetro de Entrada: 6" Diâmetro de Saída: 40 mm		10.000
Bomba de Água KSB Modelo WKL 150 - 3 estágios	Vazão: 315 m ³ /h - Altura Manométrica: 150mca Motor: 300 HP		42.000
Bomba de Água KSB Modelo WKL 100 - 2 estágios	Vazão: 100 m ³ /h - Altura Manométrica: 70mca Motor: 50 HP		15.000
Bomba de Polpa Warman Modelo 8/6 F AH	Vazão: 110 l/s - Altura Manométrica: 43 mca Motor: 200 HP		32.000
Tubulação Diâmetro de 6" (Schedule 40) ~28 kg/m	Água (Lavraria + Processo) : 1050 m + 450 m Polpa (Peneira + Ciclones): 150 m + 100 m Total: 1750 m		31.000
Lavador duplo Modelo LD-36	Diâmetro da Rosca: 900 mm Motor: 15 HP (x2)		130.000
Bomba de Polpa Warman Modelo 6/4 E AH	Vazão: 54 l/s - Altura Manométrica: 59 mca Motor: 150 HP	Opção 1 de Desaguamento	21.000
Ciclone (6 unidades) Tipo Krabs - Modelo D6B	Pressão de Alimentação: 45 psi Vazão Unitária: 45,5 m ³ /h	Opção 1 de Desaguamento	12.000
Espessador (Mecanismo de Acionamento)	Diâmetro = 33 m Acionamento Central	Opção 2 de Desaguamento	300.000
TOTAL		OPÇÃO 1 OPÇÃO 2	293.000 560.000

No caso de se optar pela alternativa de desaguamento da fração fina por intermédio de espessador, não haveria necessidade de bombeamento (Bomba de Polpa Warman 6/4 E AH) e da bateria de ciclones. O espessador implica em um custo substancialmente maior de investimento, porém seu custo operacional é significativamente menor do que o desaguamento via ciclonagem. Ainda seguindo esta alternativa, os transbordos do tanque intermediário e do lavador de rosca fluiriam por gravidade até o ponto de alimentação do espessador. O líquido sobrenadante seria encaminhado à porção da barragem onde a captação de água estivesse localizada e o material espessado diretamente estocado em área apropriada para este fim.

A análise do método de lavra não contemplou o desmonte mecânico do material através de retro-escavadeiras e/ou pás carregadeiras, com transporte por caminhão. Esta alternativa entretanto pode ser detalhada com maior grau de precisão face ao emprego deste método atualmente na Pedreira de Perus.

A presença de blocos de rocha, principalmente nas porções mais profundas do capeamento, implicará num sistema misto de lavra quando estas forem atingidas. A presença de material grosso tende a entupir dutos e canaletas, condicionando portanto ao projeto de um sistema de contenção dessas frações, por intermédio de grelhas por exemplo, visando também a proteção da bomba de polpa empregada para a retomada deste material.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir de amostragens realizadas no local selecionado pelo Cliente como sendo representativo da média das características do capeamento da jazida da Pedreira de Perus, foram realizados testes de caracterização e ensaios contínuos de processo para geração de produtos adequados à comercialização, bem como o levantamento de parâmetros para dimensionamento dos principais equipamentos envolvidos.

Com base nos resultados dos estudos de caracterização e testes de laboratório, concluiu-se que o material estudado pode ser integralmente aproveitado, para a geração de três produtos dentro de especificações comerciais, a saber:

- ◆ Pedrisco $-1\frac{1}{2}'' +3\frac{1}{8}''$ (com a alternativa para $-1\frac{1}{2}'' +1\frac{1}{8}''$)
- ◆ Agregado graúdo de granulometria grossa
- ◆ Massa cerâmica vermelha como matéria prima para a fabricação de tijolos maciços

O dimensionamento dos equipamentos para as operações de lavra e tratamento do capeamento foi realizado segundo metodologia estabelecida, com base em informações dos fabricantes tradicionais do mercado. Foram também levantados preços dos equipamentos e utilidades principais de forma a oferecer subsídios para uma análise de investimentos do empreendimento.

O projeto detalhado das instalações deverá, necessariamente, envolver uma análise mais abrangente das estimativas dos diversos custos de investimento envolvidos com obras civis de fundações e terraplanagem, instalações mecânicas, elétricas, montagem, engenharia, gerenciamento, mão-de-obra etc. Deverão também ser consultados fabricantes de equipamentos para a obtenção de propostas técnicas e comerciais frente aos requisitos específicos de cada equipamento.

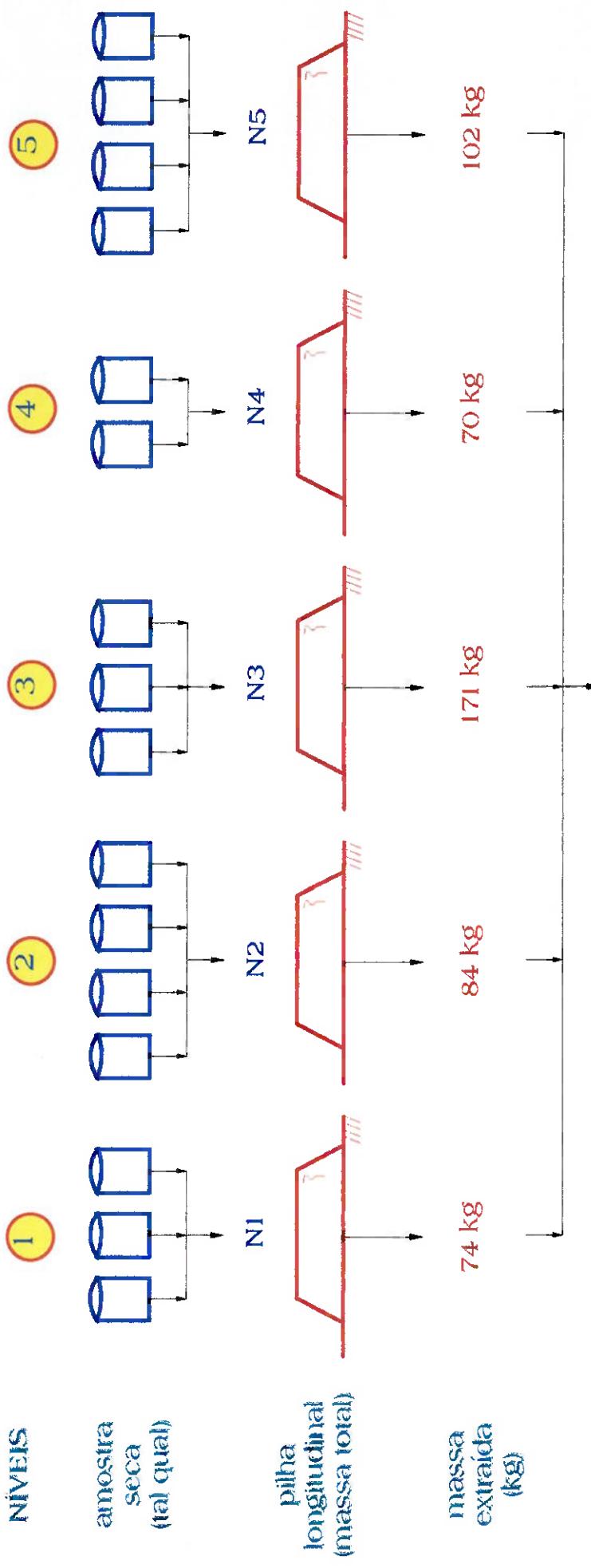
8. BIBLIOGRAFIA

- ◆ CHAVES, A.P. – Espessamento, *Teoria e Prática do Tratamento de Minérios*, cap. 5, vol. 2, 1^a edição, pág. 279-348, Signus Editora, São Paulo, 1996.
- ◆ FÁBRICA DE AÇO PAULISTA – *Manual de Britagem*, caps. 5 e 6, 5^a edição, págs. 5.01-5.63 e 6.01-6.27, São Paulo, 1994.
- ◆ SANTOS, P.S. – Ensaio Preliminares de Laboratório de Argilas Desconhecidas Visando Prever Usos Industriais e, em Especial, Usos Cerâmicos, *Ciência e Tecnologia de Argilas*, cap. 10, vol. 1, 2^a edição, págs. 175-209, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1989.

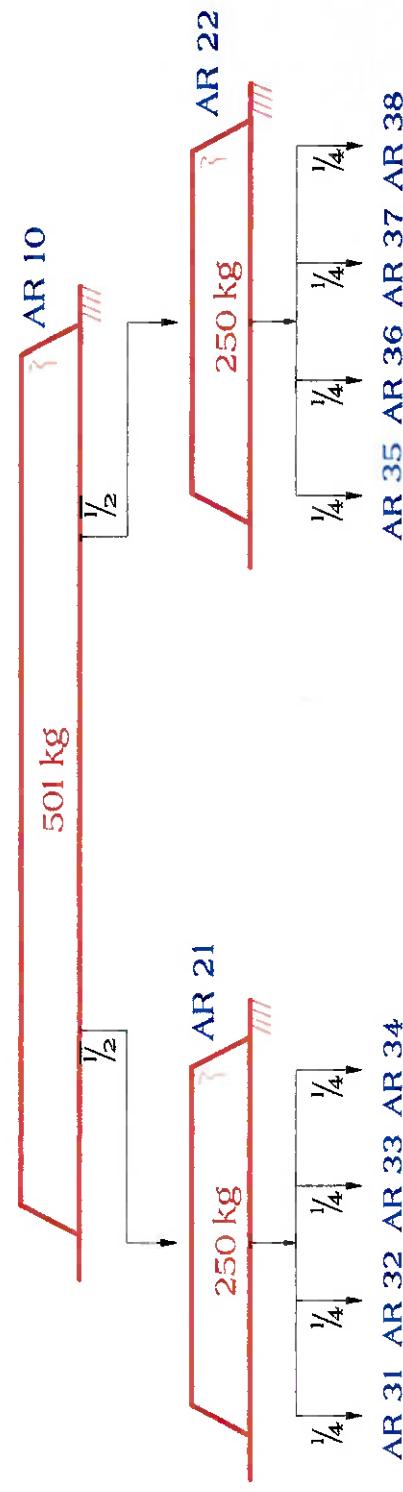
ANEXO 1

ESQUEMA DE HOMOGENEIZAÇÃO E REDUÇÃO DE AMOSTRAS

NÍVEIS



pilha representativa
de toda a amostra



AR 31 AR 32 AR 33 AR 34

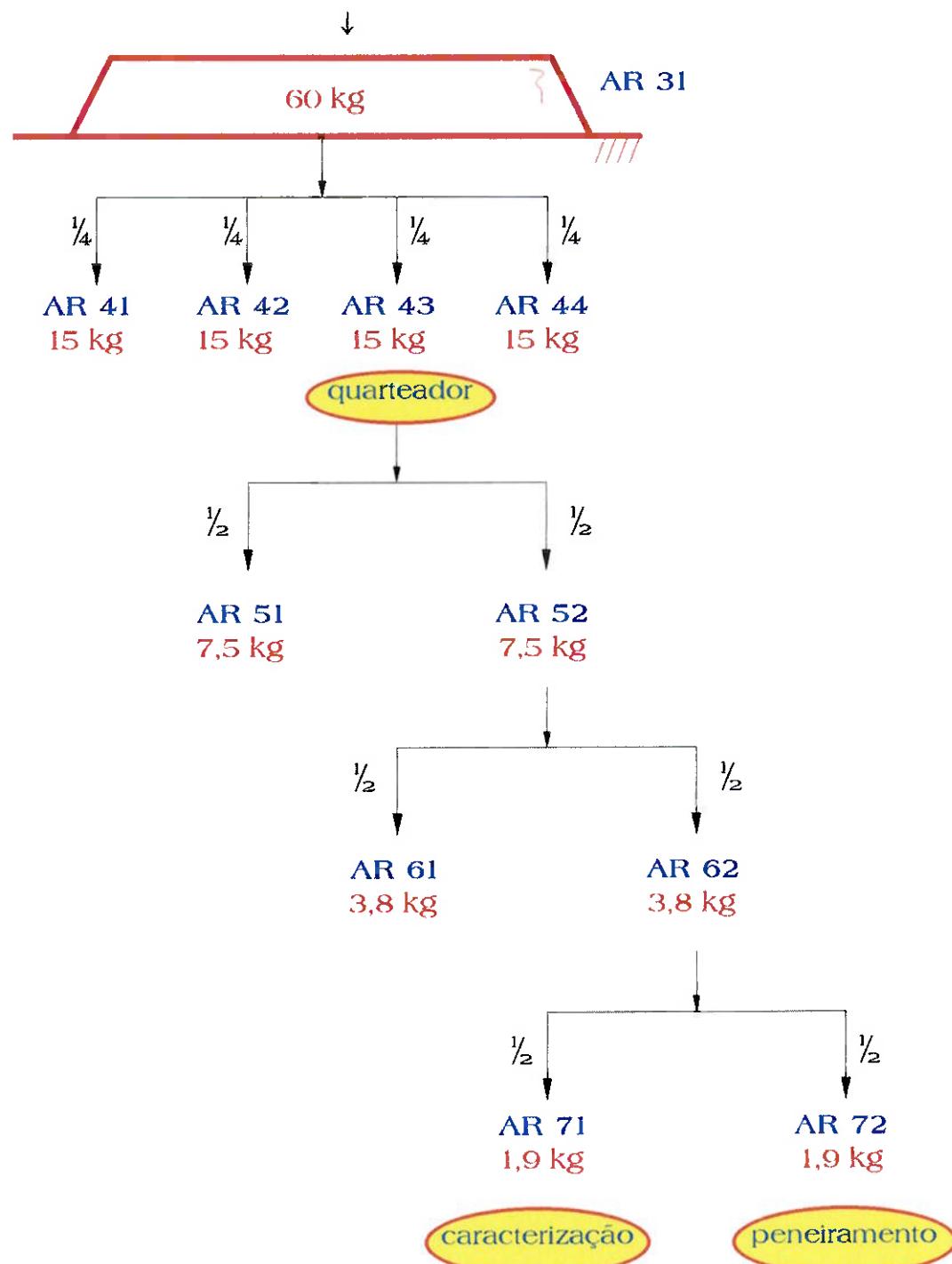
AR 35 AR 36 AR 37 AR 38

áliquotas para
testes contínuos

peneiramento/
caracterização

arquivo

alíquota para
peneiramento e
classificação



ANEXO 2

NORMA ABNT

ESPECIFICAÇÕES DE AGREGADOS PARA CONCRETO

**SUMÁRIO**

- 1 Objetivo
- 2 Normas e/ou documentos complementares
- 3 Definições
- 4 Condições gerais
- 5 Condições específicas
- 6 Prescrições especiais
- 7 Inspeção
- 8 Aceitação e rejeição

1 OBJETIVO

- 1.1 Esta Norma fixa as características exigíveis na recepção e produção dos agregados miúdos e graúdos, de origem natural, já encontrados fragmentados ou resultantes do britamento de rochas e destinados à produção de concretos.
- 1.2 As prescrições específicas desta Norma referem-se aos agregados sobre os quais o consumidor dispõe de histórico de desempenho em concretos de qualidade similar e em condições de exposição equivalentes às do concreto previsto.
- 1.3 Para os agregados sobre os quais não existem antecedentes de desempenho ou que vão ser utilizados pela primeira vez, ou para as regiões em que não seja economicamente possível a obtenção de agregados que preencham as condições desta Norma, o consumidor poderá utilizá-los desde que se comprove, mediante parecer, baseado em estudo experimental, que com os agregados disponíveis poder-se-á produzir concreto de qualidade satisfatória.
- 1.4 Para determinadas obras ou concretos, o consumidor poderá pactuar com o produtor o fornecimento de agregados cuja variabilidade em suas características difira dos limites indicados no capítulo 5.

Origem: ABNT - 18:02.01-001/1982

CB-18 – Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados

CE-18:02.01 – Comissão de Estudo de Agregados para Concreto

**SISTEMA NACIONAL DE
METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO
E QUALIDADE INDUSTRIAL**

**ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA
DE NORMAS TÉCNICAS**

®

Palavras-chave: agregado - concreto

NBR 3 NORMA BRASILEIRA REGISTRADA

CDU: 666.972.12

Todos os direitos reservados

9 páginas

2 NORMAS E/OU DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

Na aplicação desta Norma é necessário consultar:

- NBR 5734 - Peneiras para ensaio - Especificação
- NBR 6465 - Determinação da abrasão Los Angeles de agregados - Método de ensaio
- NBR 7216 - Amostragem de agregados - Método de ensaio
- NBR 7217 - Determinação da composição granulométrica dos agregados - Método de ensaio
- NBR 7218 - Determinação do teor de argila em torrões nos agregados - Método de ensaio
- NBR 7219 - Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados - Método de ensaio
- NBR 7220 - Avaliação das impurezas orgânicas das areias para concreto - Método de ensaio
- NBR 7221 - Ensaio de qualidade de areia - Método de ensaio
- NBR 7389 - Apreciação petrográfica de agregados - Procedimento
- NBR 7809 - Agregado graúdo - determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio
- AFNOR NF 18-572-1978 - Granulats. Essai d'Usure Microdeval
- AFNOR NF 18-576-1978 - Granulats. Mesure du Coefficient de Friabilité des Sables
- ANSI/ASTM C 123-69 - Standard Test Method for Lightweight Pieces in Aggregate
- ASTM C 127-77 - Test for Specific Gravity and Absorption for Coarse Aggregate
- ASTM C 128-73 - Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate
- ASTM C 227-81 - Potential alkali reactivity of Cement Aggregate Combinations
- ASTM C 586-69 - Test for Potencial Alkali - Reactivity of Carbonate Rocks for Concrete Aggregates (Rock Cylinder Method)
- BS 812: Part 2:1975-5 - Determination of Relative Densities and Water Absorption
- BS 812: Part 3:1975-6 - Determination of Aggregate Impact Value
- BS 812: Part 3:1975-7 - Determination of Aggregate Crushing Value
- BS 812: Part 3:1975-8 - Determination of the Ten Percent Fines Value
- BS 1047:1952 - Air-cooled Blast Furnace Slag Coarse Aggregate, for Concrete (estabilidade de sulfetos, ferro e cal)
- CRD-C 213-48 - Method of Test for the Presence of Sugar in Cement, Mortar, Concrete and Aggregates

- DIN 4226 Parte 3 - Zuschlag fuer Beton
- DIN 52102 - Pruefung von Naturstein; Bestimmung der Dichte, Rohdichte, Reindichte, Dichtigkeitsgrad, Gesamtprorositaet
- DIN 52103 - Pruefung von Naturstein, Bestimmung, der Wasseraufnahme
- DIN 52105 - Pruefung von Naturstein, Druckversuch
- DIN 52109 - Pruefung von Naturstein, Widerstandsfahigkeit von Schotter gegen Schlag und Druck
- SABS Method 830 - Chloride Content of Aggregates
- SABS Method 836 - Effect of Aggregate on the Shrinkage and Expansion of Mortar
- SABS Method 840 - Shell Content of Aggregates
- SABS Method 843 - Water Absorption of Aggregates.

3 DEFINIÇÕES

Para os efeitos desta Norma são adotadas as definições de 3.1 a 3.5.

3.1 Agregado miúdo

Areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, ou a mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8 mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075 mm.

3.2 Agregado graúdo

Pedregulho ou a brita proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, cujos grãos passam por uma peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficam retidos na peneira ABNT 4,8 mm.

3.3 Série normal e série intermediária

Conjunto de peneiras sucessivas, que atendem a NBR 5734, com as seguintes aberturas discriminadas:

<u>Série Normal</u>	<u>Série Intermediária</u>
ABNT 76 mm	-
-	ABNT 64 mm
-	ABNT 50 mm
ABNT 38 mm	-
-	ABNT 32 mm
-	ABNT 25 mm
ABNT 19 mm	-
-	ABNT 12,5 mm
ABNT 9,5 mm	-
-	ABNT 6,3 mm
ABNT 4,8 mm	-
ABNT 2,4 mm	-

<u>Série Normal</u>	<u>Série Intermediária</u>
ABNT 1,2 mm	-
ABNT 0,600 mm	-
ABNT 0,300 mm	-
ABNT 0,150 mm	-

3.4 Dimensão máxima característica⁽¹⁾

Grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura de malha quadrada, em mm, da peneira listada em 3.3, à qual corresponde uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa.

3.5 Módulo de finura

Soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

4 CONDIÇÕES GERAIS

4.1 Os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, duráveis e limpos e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto. O exame petrográfico realizado de acordo com a NBR 7389 e interpretado por profissional capacitado, fornece ao consumidor alguns dos subsídios necessários para o cumprimento destas condições. Para outras características ver capítulo 6.

4.2 Os agregados devem ser fornecidos em lotes cujas unidades parciais de transporte devem ser individualizadas mediante uma guia de remessa na qual constem, pelo menos os seguintes dados:

- nome do produtor;
- proveniência do material;
- identificação da classificação granulométrica de acordo com o indicado em 5.1 e/ou 6.1;
- massa ou volume aparente do material;
- data do recolhimento da amostra.

(1) Anteriormente denominado diâmetro máximo.

4.3 Os agregados para uso em concreto e/ou argamassas que estarão sujeitos a umedecimento, incluindo-se a exposição à atmosfera úmida ou contacto com solo úmido, não devem conter qualquer material de deterioramento reativo com os álcalis do cimento em uma intensidade suficiente para causar uma expansão da argamassa e/ou concreto, exceto nos casos em que o cimento empregado contiver menos que 0,6% de equivalente alcalino expresso em Na₂O e for adicionado de substâncias que comprovadamente previnam a expansão prejudicial devido à reação álcali-agregado.

4.3.1 O resultado do ensaio de reatividade álcali-agregado executado de acordo com a norma correspondente fornece informação sobre a possibilidade de ocorrência de reações prejudiciais. O teor de álcalis do cimento empregado no ensaio deverá ser substancialmente maior que 0,6% e preferivelmente acima de 0,8% expresso em Na₂O.

4.3.2 Combinações de agregado e cimento que produzam expansões excessivas, de acordo com este método, usualmente poderão ser consideradas potencialmente reativas. Enquanto a linha de delimitação entre combinações reativas e não reativas não estiver claramente definida, geralmente considera-se expansão excessiva aquela que exceder 0,05% a três meses ou 0,10% a seis meses. Expansões maiores que 0,05% a três meses não são consideradas excessivas quando, a seis meses não ultrapassarem 0,10%.

5 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1 Agregado miúdo

A amostra representativa de um lote de agregado miúdo, coletada de acordo com a NBR 7216, deve satisfazer os requisitos prescritos de 5.1.1 a 5.1.4.

5.1.1 Granulometria

A granulometria, determinada segundo a NBR 7217, deve cumprir os limites de somente uma das zonas indicadas na Tabela 1. Podem ser utilizadas areias cuja granulometria não se enquadre em qualquer uma das zonas indicadas na Tabela 1, desde que sejam realizados estudos prévios de dosagem ou então a faixa granulométrica seja de uso consagrado em determinada região. Após definido o emprego de uma zona granulométrica para uma obra, a mudança para outra zona somente deverá ser aprovada após estudo de dosagem.

TABELA 1 – Limites granulométricos do agregado miúdo

Peneira ABNT	Porcentagem, em peso, retida acumulada na peneira ABNT, para a			
	Zona 1 (muito fina)	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)	Zona 4 (grossa)
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0 a 3	0 a 7	0 a 7	0 a 7
4,8 mm	0 a 5 (A)	0 a 10	0 a 11	0 a 12
2,4 mm	0 a 5 (A)	0 a 15 (A)	0 a 25 (A)	5 (A) a 40
1,2 mm	0 a 10 (A)	0 a 25 (A)	10 (A) a 45 (A)	30 (A) a 70
0,6 mm	0 a 20	21 a 40	41 a 65	66 a 85
0,3 mm	50 a 85 (A)	60 (A) a 88 (A)	70 (A) a 92 (A)	80 (A) a 95
0,15 mm	85 (B) a 100	90 (B) a 100	90 (B) a 100	90 (B) a 100

(A) Pode haver uma tolerância de até um máximo de 5 unidades de porcento em um só dos limites marcados com a letra A ou distribuídos em vários deles.

(B) Para agregado miúdo resultante de britamento este limite poderá ser 80.

5.1.2 Módulo de finura

O módulo de finura do agregado miúdo, cuja granulometria cumpre com qualquer uma das zonas indicadas na Tabela 1, não deve variar de mais de 0,2 para o material de uma mesma origem⁽²⁾.

5.1.3 Substâncias nocivas

5.1.3.1 As quantidades de substâncias nocivas não devem exceder os limites máximos em porcentagem da massa do material:

- a) torrões de argila, determinado de acordo com a NBR 7218..... 1,5
- b) materiais carbonosos, determinado de acordo com ASTM C 123:
 - em concreto cuja aparência é importante 0,5
 - nos demais concretos 1,0
- c) material pulverulento, determinado de acordo com a NBR 7219:
 - em concreto submetido a desgaste superficial 3,0
 - nos demais concretos 5,0

Nota: Estes limites podem ser aumentados para 5 e 7% em massa, respectivamente, quando o material que passa pela peneira ABNT-0,075 mm for constituído totalmente de grãos gerados durante o britamento de rocha.

(2) Uma diminuição de 0,2 do módulo de finura do agregado miúdo num determinado concreto geralmente implica numa substituição de ao redor de 3% da massa deste material por uma massa equivalente de agregado graúdo para manter aproximadamente constantes as características do concreto.

5.1.3.2 Impurezas orgânicas - o agregado miúdo, submetido ao ensaio de acordo com a NBR 7220, não deve apresentar uma solução mais escura do que a solução padrão. Quando a coloração for mais escura a utilização do agregado miúdo pode ser ficar condicionada ao resultado do ensaio previsto na NBR 7221.

5.1.4 Prescrições facultativas

Para determinados usos o consumidor poderá pactuar com o produtor o cumprimento de prescrições especiais adicionais (ver capítulo 6).

5.2 Agregado graúdo

A amostra representativa de um lote de agregado graúdo, coletada de acordo com a NBR 7216, deve satisfazer os requisitos prescritos de 5.2.1 a 5.2.5.

5.2.1 Granulometria

A granulometria, determinada segundo a NBR 7217, deve cumprir os limites indicados para o agregado graduado. Os requisitos granulométricos do agregado graduado são os indicados na Tabela 2 para a graduação respectiva.

5.2.2 Substâncias nocivas

As quantidades de substâncias nocivas não devem exceder os seguintes limites máximo em porcentagem do peso do material:

- a) torrões de argila e partículas friáveis, determinados de acordo com a NBR 7218:
 - em concreto cuja aparência é importante 1,0
 - em concreto submetido a desgaste superficial 2,0
 - nos demais concretos 3,0
- b) material pulverulento, determinado de acordo com a NBR 7219 1,0
- c) materiais carbonosos, determinados de acordo com ASTM C 123:
 - em concreto cuja aparência é importante 0,5
 - nos demais concretos 1,0

5.2.3 Forma dos grãos

O índice de forma dos grãos do agregado, não deve ser superior a 3, quando determinado de acordo com a NBR 7809.

5.2.4 Abrasão Los Angeles

O abrasão Los Angeles determinada segundo a NBR 6465 deverá ser inferior a 50%, em peso, do material.

5.2.5 Prescrições facultativas

Para determinados usos o consumidor poderá pactuar com o produtor o cumprimento de prescrições adicionais (ver capítulo 6).

TABELA 2 - Limites granulométricos de agregado grão

Graduação	Porcentagem retida acumulada, em peso, nas peneiras de abertura nominal, em mm, de									
	152	76	64	50	38	32	25	19	12,5	9,5
0	-	-	-	-	-	-	-	0	0- 10	-
1	-	-	-	-	-	0	0- 10	-	80-100	95-100
2	-	-	-	-	0	0-25	75-100	90-100	95-100	-
3	-	-	-	0	0-30	75-100	87-100	95-100	-	-
4	-	0	0 - 30	75-100	90-100	95-100	-	-	-	-
5(A)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(A) As porcentagens serão fixadas de acordo com o indicado em 1.4.

6 PRESCRIÇÕES ESPECIAIS

Em determinadas regiões ou para concretos com determinados requisitos específicos pode ser necessária a exigência, por parte do consumidor, de prescrições especiais adicionais, ficando ao seu critério os limites e os métodos de ensaio. Algumas destas prescrições ou os métodos da sua determinação podem ser obtidos, por exemplo, nas normas prescritas de 6.1 a 6.3.

6.1 Propriedades físicas

6.1.1 Massa específica absoluta, porosidade e absorção - até que se publique norma brasileira sobre o assunto poderá ser adotada uma das seguintes:

DIN 52102; ASTM C 127-77; ASTM C 128-73; SABS Method 843; BS 812: Part 2 1975-5; e DIN 52103.

6.1.2 Estabilidade dimensional, ciclagem e durabilidade - até que se publique norma brasileira sobre o assunto poderá ser adotada uma das seguintes:

SABS Method 836; ASTM C 586-69.

6.2 Propriedades químicas ou mineralógicas

Substâncias nocivas - até que se publique norma brasileira sobre o assunto poderá ser adotada uma das seguintes:

SABS Method 830; DIN 4226 - Parte 3 - Seção 3.6.5; CRD-C 213-48; DIN 4226-Parte 3 - Seção 3.6.4; BS 1047:1952; SABS Method 840.

6.3 Propriedades mecânicas

Resistência à compressão, abrasão de agregado miúdo, Impacto, desintegração, brituração - até que se publique norma brasileira sobre o assunto poderá ser adotada uma das seguintes:

BS 812:Part 3: 1975-6; BS 812:Part 3:1975-7; BS 812:Part 3:1975-8;
DIN 52105; DIN 52109; AFNOR NF 18-572-1978; AFNOR NF 18-576-1978.

7 INSPEÇÃO

A inspeção e amostragem deve ser feita de acordo com a NBR 7216.

8 ACEITAÇÃO E REJEIÇÃO

8.1 Para a aceitação de um ou mais lotes de agregados deve ser acertado explicitamente entre o consumidor e o produtor a realização da coleta e ensaio das amostras respectivas por laboratório idôneo ou no laboratório de uma das partes quando houver consentimento mútuo.

8.2 Um lote somente deve ser aceito quando cumprir todas as prescrições desta Norma e as eventuais prescrições especiais pactuadas.

ANÁLISE DE AGREGADOS GRAÚDO E MIÚDO

CERTIFICADO N°

FORNECEDOR

DATA DO ENSAIO

PROCEDÊNCIA

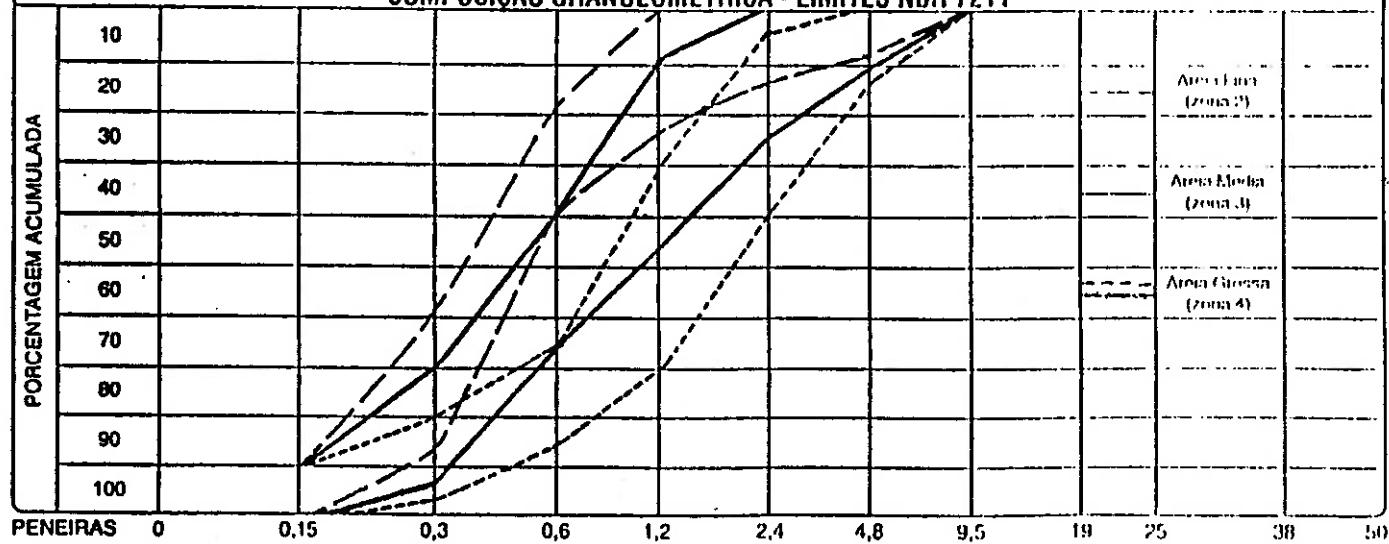
CENTRAL

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA (NBR 7217)

PENEIRAS		AREIA		BRITA N°		BRITA N°		BRITA N°	
POL/ N°	MM	% RET.	% ACUM.	% RET.	% ACUM.	% RET.	% ACUM.	% RET.	% ACUM.
	50								
	38								
	25								
	19								
	12,5								
	9,5								
Nº 4	4,8								
Nº 8	2,4								
Nº 16	1,2								
Nº 30	0,6								
Nº 50	0,3								
Nº 100	0,15								
FUNDO									
MOD. FINURA									
DIAM. MÁXIMO									

AGREGADO	MASSA ESPECÍFICA ABSOLUTA	MASSA UNITÁRIA	TORROES DE ARGILA	MATERIAIS POLIVALENTES	IMPORTEZA ORGÂNICA
	Kg / dm³	Kg / dm³	%	%	p.p.m
AREIA					
BRITA N°					
BRITA N°					
BRITA N°					
NORMAS DA A.B.N.T.		NBR 7810	NBR 7218	NBR 7219	NBR 7220

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA - LIMITES NBR 7211

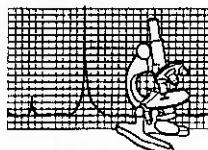


LOCAL E DATA

CONTROLE DE QUALIDADE

ANEXO 3

RESULTADOS DOS TESTES DE CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA



RESULTADOS DE ANÁLISE QUÍMICA

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS: FUSP- 059 - 044/97

CLIENTE: Construcap

DATA: 03/03/97

TIPO DE ANÁLISE: Quantitativa, por Fluorescência de Raios-X

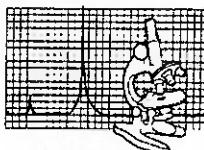
AMOSTRAS: Areia Feldspática

Resultados em % de Óxidos

	Cabeça	<200#
SiO ₂	64,3	47,8
Al ₂ O ₃	18,3	31,2
Fe ₂ O ₃	3,87	4,85
MnO	0,06	0,06
MgO	0,86	1,07
CaO	0,22	0,34
Na ₂ O	0,35	0,27
K ₂ O	4,69	2,64
TiO ₂	0,76	0,81
P ₂ O ₅	0,08	0,16

Dra. Giuliana Ratti
Pesquisadora do LCT - EPUSP
Qualitas - CRQ 01100008-11º R.

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT - EPUSP



RESULTADO DE ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X

SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS: LCT/FUSP/059-44/97

CLIENTE: CONSTRUCAP

DATA: 21-Fev-1997

AMOSTRA: AR-71

IDENT. LCT: CON-AR71.DI

A análise foi efetuada através do método do pó, mediante o emprego de difratômetro de raios-X, marca Philips, modelo MPD 1880.

A identificação das fases, abaixo discriminadas, foi obtida por comparação do difratograma da amostra com o banco de dados do ICDD - International Centre for Diffraction Data (Sets 1-45).

Nº Ficha ICDD	Nome	Composto	Ordem de grandeza
05-0490	Quartzo, baixa	SiO ₂	Maior
06-0221	Kaolinita-1Md	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Maior
06-0263	Muscovita-2M1	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	Maior
12-0703	Microclínio	KAISi ₃ O ₈	Maior
29-0041	Gibbsita	Al(OH) ₃	Menor

Em anexo é apresentado o difratograma obtido (cor vermelha), onde são assinaladas as linhas de difração correspondentes às várias fases identificadas (cada fase em uma cor distinta).

Gabriela Fronzaglia

Geol. Gabriela C. Fronzaglia
Pesquisadora do LCT - EPUSP

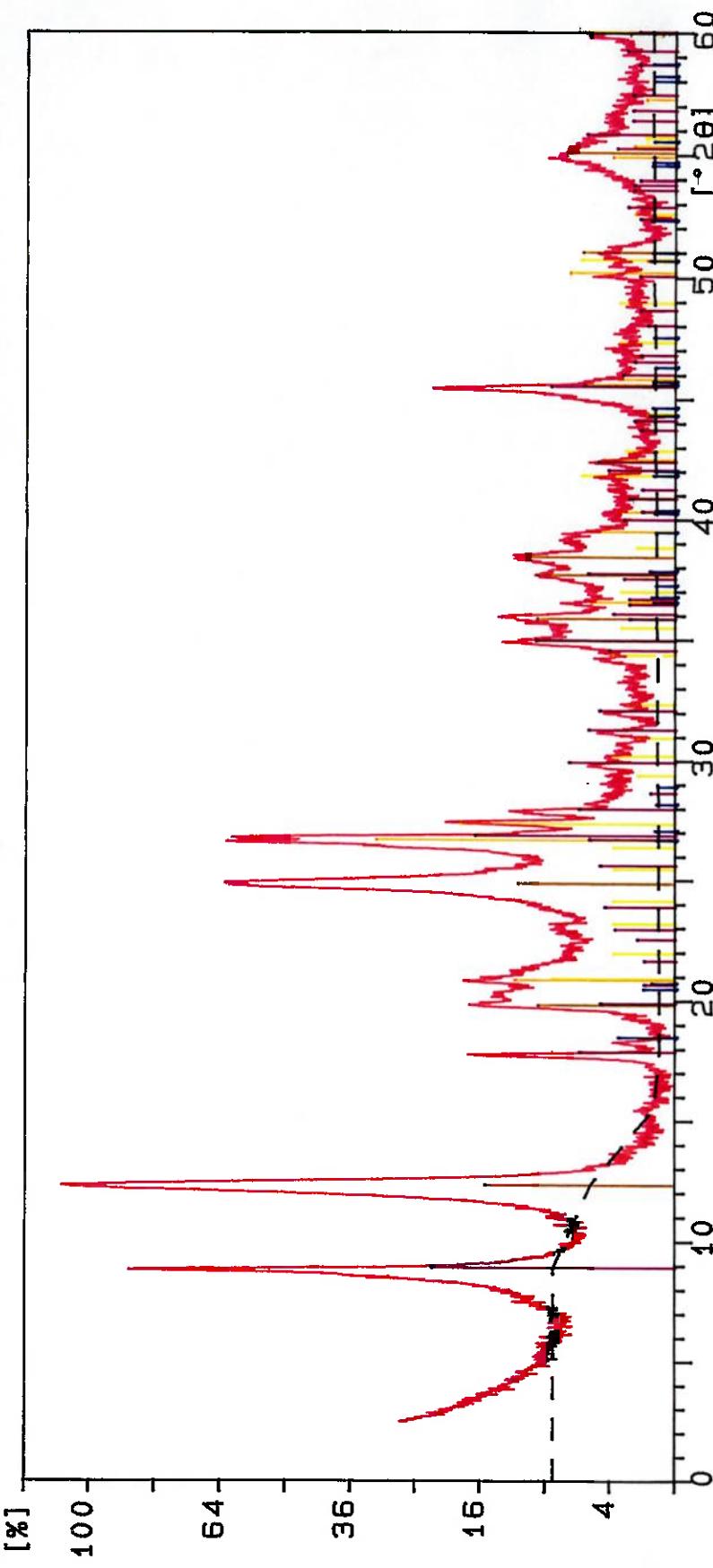
Henrique Kahn

Prof. Dr. Henrique Kahn
Coordenador do LCT - EPUSP



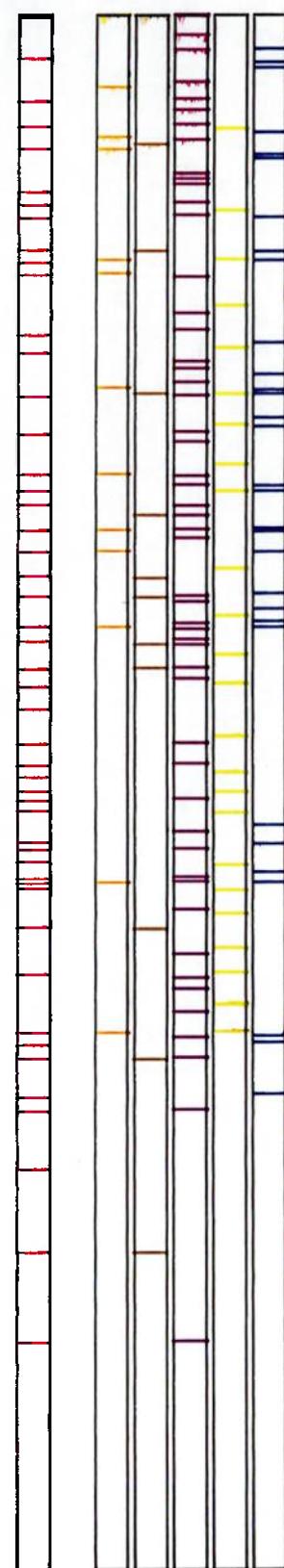
Sample ident.: CONSTRUCAP AR-71

21-Feb-1997 11:49



CON-AR71

05-0490
06-0221
06-0263
12-0703
29-0041



ANEXO 4

RESULTADOS DOS ENSAIOS EXECUTADOS SOBRE A FRAÇÃO DE FINOS DO CLASSIFICADOR ESPIRAL



Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Laboratório de Tecnologia Cerâmica/AMI/DQ

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 844 017

Cliente: Territorial São Paulo Ltda
Sr Marcelo Cezário
Av. Raimundo Pereira de Magalhães, Km 24
05145-000 - São Paulo - SP

Material : Argila

Natureza do Trabalho: Ensaio preliminar de argila visando sua utilização na indústria cerâmica

Referência: CAE nº 11.463.

1 AMOSTRA

Fornecida pelo cliente com a indicação: Oversize 5 a 6 - 2^a amostragem 07.03.97 e identificada no laboratório, como LTC 10.676.

2 MÉTODO UTILIZADO

Conforme descrito no Anexo A.

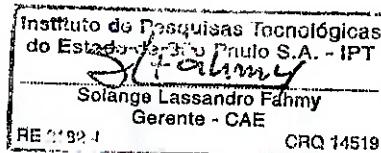
3 RESULTADOS

Limite de plasticidade segundo o método ABNT NBR-7180 (MB-31):.....não foi possível determinar

1. Ensaios cerâmicos realizados com corpos-de-prova de 7,0 cm x 2,0 cm x 1,0 cm, moldados por prensagem.

a) Características dos corpos-de-prova secos a 110°C:

Umidade de prensagem	8,5%
Contração linear.....	0,0%
Tensão de ruptura à flexão	1,1 MPa (11 kgf/cm ²)
Cor	bege



Os resultados apresentados no presente documento têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada. Os resultados deste relatório não podem ser usados para fins promocionais. A reprodução do documento para outros fins só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.



b) Características cerâmicos dos corpos-de-prova após a queima:

T (°C)	PF (%)	CL (%)		TRF MPa (kgf/cm ²)	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm ³)	COR
		Após Queima	Total					
800	8,0	0,3	0,3	2,7 (28)	21,3	35,9	1,686	Vermelha clara
850	8,0	0,5	0,5	2,8 (29)	20,4	35,1	1,725	Vermelha clara
900	8,0	0,7	0,7	2,9 (30)	21,7	36,9	1,703	Vermelha clara
950	8,2	0,8	0,8	3,8 (39)	21,3	36,5	1,715	Vermelha clara

T (temperatura de queima);

PF (perda ao fogo);

CL (contração linear);

TRF (tensão de ruptura à flexão);

AA (absorção de água);

PA (porosidade aparente);

MEA (massa específica aparente).

USO PROVÁVEL: Em cerâmica vermelha na fabricação de tijolos maciços.

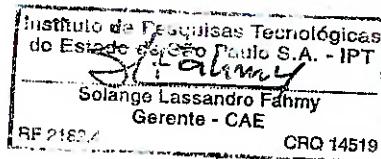
4 ANEXO

4.1 ANEXO A - LTC 10.676

2 pág.

São Paulo, 23 de abril de 1997

TÉCNICO RESPONSÁVEL: GEÓL. EVARISTO P. GOULART - CREA 56315 - RE 0136-2



Os resultados apresentados no presente documento têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada.
Os resultados deste relatório não podem ser usados para fins promocionais.
A reprodução do documento para outros fins só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração.

Segunda revisão - setembro/96

Método de Ensaio

Laboratório de Tecnologia Cerâmica - AMIDQ - IPT

1. OBJETIVO

Este ensaio permite avaliar as argilas para uso na indústria cerâmica em três grupos de aplicação:

1.1. argilas para fabricação de cerâmica vermelha (tijolos maciços e furados, telhas, pisos e tubos).

1.2. argilas para fabricação de cerâmica branca (louça de mesa e sanitária, porcelana de mesa e técnica, azulejos, pastilhas e pisos).

1.3. argilas para fabricação de materiais refratários silico-aluminosos.

2. CLASSIFICAÇÃO DO GRUPO CERÂMICO PELA COR APÓS A QUEIMA

2.1. Moldar manualmente três corpos de prova (cp) em forma de esferas, com cerca de 1,5cm de diâmetro. Para tanto usar a argila conforme recebida e caso necessário adicionar água para moldagem.

2.2. Secar os cp em estufa a 110°C, durante 4 horas.

2.3. Queimar os cp em forno elétrico a 1000°C, em atmosfera oxidante. Manter a temperatura de queima durante 1 hora, deixar o forno resfriar naturalmente e observar a cor após a queima.

2.4. Se os cp apresentarem cor vermelha, o material deverá ser ensaiado para cerâmica vermelha.

2.5. Se os cp apresentarem cor branca ou clara, o material deverá ser ensaiado para cerâmica branca e refratários.

3. PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

3.1. Pesar cerca de 1 kg (cerâmica branca) ou 8 kg (cerâmica vermelha).

3.2. Secar ao ar e em estufa à 60°C até atingir umidade de britagem.

3.3. Passar em britador de mandíbulas.

3.4. Pulverizar em moinho de disco até que o material passe totalmente na peneira ABNT nº 80 (abertura 0,175mm).

3.5. Para a amostra de 1 kg umedecer com metade da quantidade de água do limite de plasticidade para a moldagem por prensagem dos corpos de prova.

3.6. Para a amostra de 8 kg umedecer com 2% acima do limite de plasticidade para moldagem por extrusão dos corpos de prova.

NOTA: O limite de plasticidade é determinado segundo o método ABNT NBR 7180 - Out/84.

4. PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA (CP)

4.1. Moldar 30 cp com dimensões de 6,0 cm x 2,0 cm x 0,5 cm, sob pressão de 19,6 MPa (200 kgf/cm²), em prensa hidráulica.

4.2. Moldar 30 cp com dimensões de 7,0 cm x 2,0 cm x 1,0 cm, por extrusão.

5. ENSAIOS

5.1. Umidade de prensagem ou extrusão

5.1.1. Pesar o cp, após prensagem, ou extrusão com aproximação de 0,1g.

5.1.2. Secar ao ar no mínimo 12 horas e em seguida em estufa a 110°C, durante 24 horas. Resfriar em dessecador e pesar.

5.1.3. Calcular a umidade de prensagem ou extrusão pela fórmula:

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{mu - ms}{ms} \times 100$$

mu = massa do cp após prensagem, ou extrusão em gramas.

ms = massa do cp seco a 110°C em gramas.

O resultado deverá ser obtido pelo cálculo da média de 4 cp.

5.2. Contração linear de secagem (CLS)

5.2.1. Medir o comprimento do cp, após prensagem ou extrusão.

5.2.2. Secar ao ar no mínimo 12 horas e em seguida em estufa a 110°C, durante 24 horas. Resfriar em dessecador e medir o comprimento.

5.2.3. Calcular a contração linear de secagem pela fórmula:

$$CLS (\%) = \frac{lu - ls}{lu} \times 100$$

lu = comprimento do cp após prensagem, ou extrusão em centímetros.

ls = comprimento do cp seco a 110°C, em centímetros.

5.3. Tensão de ruptura à flexão após secagem (TRF)

5.3.1. Secar o cp ao ar no mínimo 12 horas e em seguida em estufa a 110°C, durante 24 horas. Resfriar em dessecador.

5.3.2. Colocar o cp sobre dois apoios, de forma que a face maior fique apoiada sobre os mesmos.

5.3.3. Aplicar a carga na parte central do cp, de forma a obter um aumento de 3 a 5 kgf/min.

5.3.4. Medir com paquímetro a largura e a altura do cp.

5.3.5. Calcular a tensão de ruptura à flexão pela fórmula:

$$TRF (\text{kgf/cm}^2) = \frac{3 Pl}{2 bh^2}$$

P = carga de ruptura em kgf.

l = distância entre os apoios do cp, em centímetros.

b = largura do cp, em centímetros.

h = altura do cp, em centímetros.

O resultado deverá ser obtido pelo cálculo da média de 4 cp.

5.4. Determinação da cor.

5.4.1. Secar o cp ao ar no mínimo 12 horas em seguida em estufa a 110°C, durante 24 horas. Resfriar em dessecador.

5.4.2. Avaliar visualmente a cor.

5.5. Perda ao fogo (PF)

5.5.1. Secar o cp ao ar no mínimo 12 horas e em seguida em estufa a 110°C, durante 24 horas. Resfriar em dessecador e pesar.

5.5.2. Queimar cinco cp em cada uma das temperaturas do grupo cerâmico conforme Tabela I, em atmosfera oxidante e taxa de aquecimento constante (100 a 150°C/h). Manter a temperatura de queima durante 3 horas. Resfriar naturalmente o forno, transferir os cp para dessecador e depois pesar.

5.5.3. Calcular a perda ao fogo pela fórmula:

$$PF (\%) = \frac{ms - mq}{ms} \times 100$$

ms = massa do cp seco a 110°C, em gramas.

mq = massa do cp após queima, em gramas.

O resultado deverá ser obtido pelo cálculo da média de 4 cp.

Segunda revisão - setembro/96

Método de Ensaio

Laboratório de Tecnologia Cerâmica - AMIV/DQ - IPT

5.6. Contração linear de queima (CLQ)

5.6.1. Secar o cp ao ar no mínimo 12 horas e em seguida em estufa a 110°C, durante 24 horas. Resfriar em dessecador e medir o comprimento.

5.6.2. Queimar o cp em cada uma das temperaturas do grupo cerâmico Tabela I em atmosfera oxidante e aquecimento constante (100 a 150°C/h). Manter a temperatura de queima durante 3 horas. Resfriar naturalmente o forno, transferir os cp para o dessecador e em seguida medir o comprimento.

5.6.3. Calcular a contração linear de queima pela fórmula:

$$CLQ (\%) = \frac{l_s - l_q}{l_s} \times 100$$

l_s = comprimento do cp seco a 110°C, em centímetros.

l_q = comprimento do cp após queima, em centímetros.

O resultado deverá ser obtido pelo cálculo da média de 4 cp.

5.7. Contração linear total (CLT)

5.7.1. Calcular a contração linear total pela fórmula:

$$CLT (\%) = \frac{l_u - l_q}{l_u} \times 100$$

l_u = comprimento do cp após prensagem, ou após extrusão, em centímetros.

l_q = comprimento do cp após a queima, em centímetros.

O resultado deverá ser obtido pelo cálculo da média de 4 cp.

5.8. Tensão de ruptura à flexão após queima (TRF)

5.8.1. Secar o cp ao ar no mínimo 12 horas e em seguida em estufa a 110°C, durante 24 horas.

5.8.2. Queimar 5 cp em cada uma das temperaturas do grupo cerâmico conforme Tabela I, em atmosfera oxidante e taxa de aquecimento constante (100 a 150°C/h). Manter a temperatura de queima durante 3 horas. Resfriar naturalmente o forno e transferir os cp para o dessecador.

5.8.3. Colocar o cp sobre dois apoios, de forma que a face maior fique apoiada sobre os mesmos.

5.8.4. Aplicar a carga na parte central do cp, de forma a obter um aumento de 3 a 5 kgf/min.

5.8.5. Medir com paquímetro a largura e a altura do cp

5.8.6. Calcular a tensão de ruptura à flexão pela fórmula:

$$TRF (\text{kgf/cm}^2) = \frac{3 P_l}{2 b h^2}$$

P = carga de ruptura, em kgf.

l = distância entre os apoios do cp, em centímetros.

b = largura do cp, em centímetros.

h = altura do cp, em centímetros.

O resultado deverá ser obtido pelo cálculo da média de 4 cp.

5.9. Absorção de água (AA), massa específica aparente (MEA) e porosidade aparente (PA)

5.9.1. Secar o cp ao ar no mínimo 12 horas e em seguida em estufa a 110°C, durante 24 horas.

5.9.2. Queimar cinco cp em cada uma das temperaturas do grupo cerâmico conforme Tabela I em atmosfera oxidante e taxa de aquecimento constante (100 a 150°C/h). Manter a temperatura de queima durante 3 horas, resfriar naturalmente o forno, transferir os cp para dessecador e depois pesar (ms).

5.9.3. Colocar o cp em água, em recipiente adequado e fervêr durante 2 horas, mantendo o nível de água acima do cp.

5.9.4. Deixar o cp imerso e resfriar até temperatura ambiente.

5.9.5. Determinar a massa do cp imerso (mi), efetuando a pesagem com o cp suspenso por uma rede metálica presa ao sistema de pesagem da balança por fios de cobre. A balança deve ser previamente zerada com o conjunto rede/fios, imerso em água à mesma profundidade da pesagem do cp.

5.9.6. Retirar o cp do recipiente, eliminar o excesso de água da superfície com um pano úmido e pesar o cp saturado (mu).

5.9.7. Calcular a absorção de água, a porosidade aparente e a massa específica aparente pelas fórmulas:

$$AA (\%) = \frac{mu - ms}{ms} \times 100$$

$$PA (\%) = \frac{mu - ms}{mu - mi} \times 100$$

$$MEA (\text{g/cm}^3) = \frac{ms}{mu - mi}$$

mu = massa do cp saturado com água, em gramas.

ms = massa do cp após queima, em gramas.

mi = massa do cp imerso em água, em gramas.

Os resultados deverão ser obtidos pelo cálculo da média de 4 cp.

5.10. Cor após queima

5.10.1. Secar o cp ao ar no mínimo 12 horas e em seguida em estufa a 110°C, durante 24 horas.

5.10.2. Queimar o cp em cada uma das temperaturas do grupo cerâmico conforme Tabela I, em atmosfera oxidante e taxa de aquecimento constante (100 a 150°C/h). Manter a temperatura de queima durante 3 horas. Resfriar naturalmente o forno e transferir os cp para dessecador.

5.10.3. Avaliar visualmente a cor

TABELA I - TEMPERATURAS DE QUEIMA

COR	GRUPO CERÂMICO	TEMPERATURAS DE QUEIMAS
VERMELHA	CERÂMICA VERMELHA	POR PRENSAGEM - 800°C à 950°C POR EXTRUSÃO - 800°C à 950°C
CLARA OU BRANCA	CERÂMICA BRANCA E REFRAZÁRIOS	POR PRENSAGEM 1050°C à 1450°C

Nota: 1 kgf/cm² = 0,0980665 MPa

ANEXO 5

**RESULTADOS DO TESTE DE SEDIMENTAÇÃO EXECUTADO SOBRE A
FRAÇÃO DE FINOS DO CLASSIFICADOR ESPIRAL**

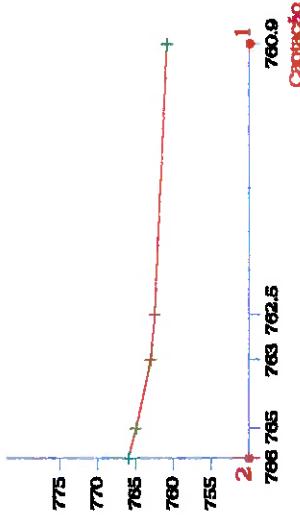
ANEXO 6

PERFIS DAS LINHAS DE ÁGUA E POLPA

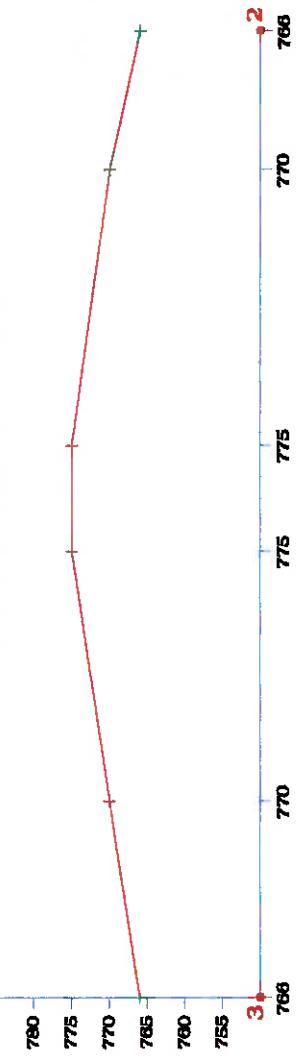
CAPTAÇÃO DE ALTA PRESSÃO

- ♦ Diferença de cotas (TRECHO 1-8) = 855 - 761 = 94 m
- ♦ Comprimento da tubulação (TRECHOS 1-2 + 2-3 + 3-4 + 4-5 + 5-6 + 6-7 + 7-8) = 1047 m
- ♦ Escala = 1:1000

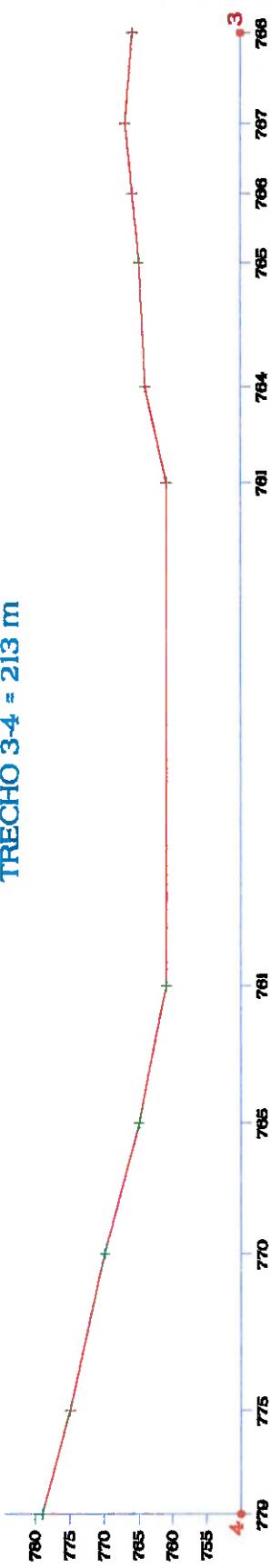
TRECHO 1-2 = 50,5 m



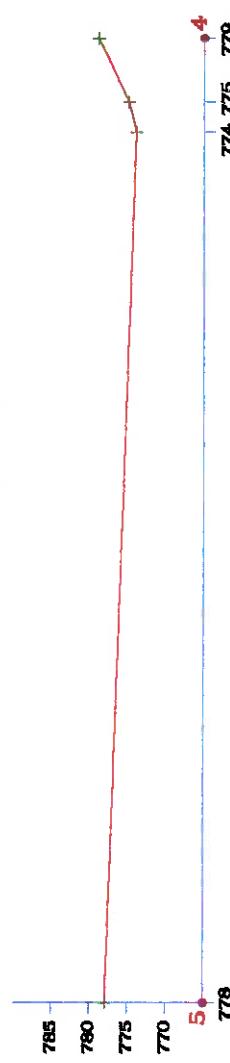
TRECHO 2-3 = 129,5 m



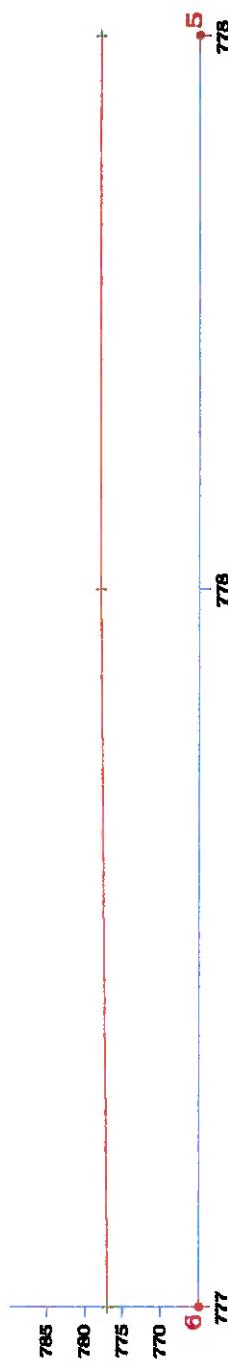
TRECHO 3-4 = 213 m



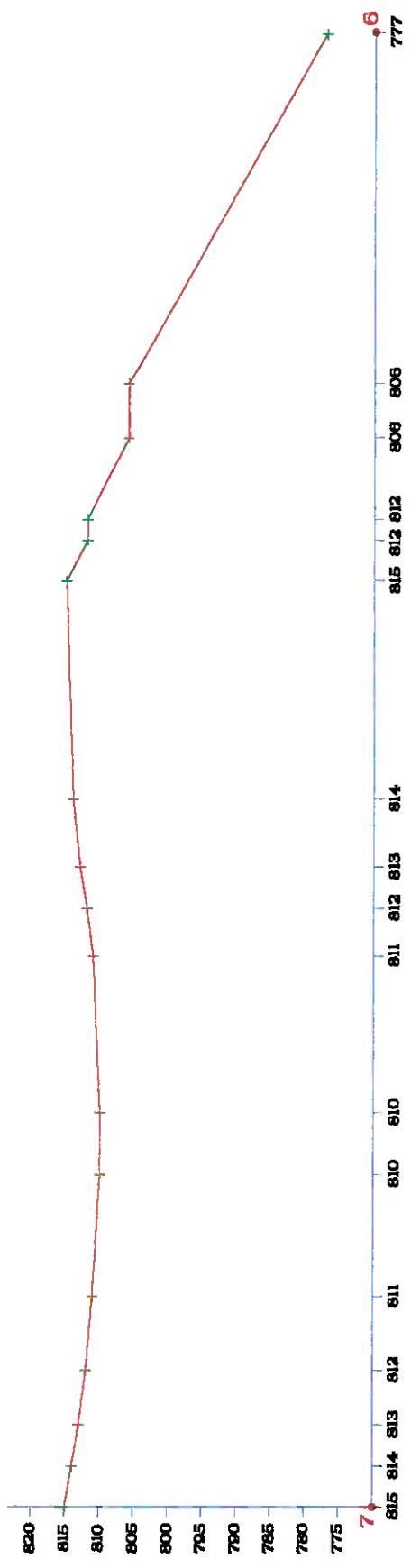
TRECHO 4-5 = 129 m



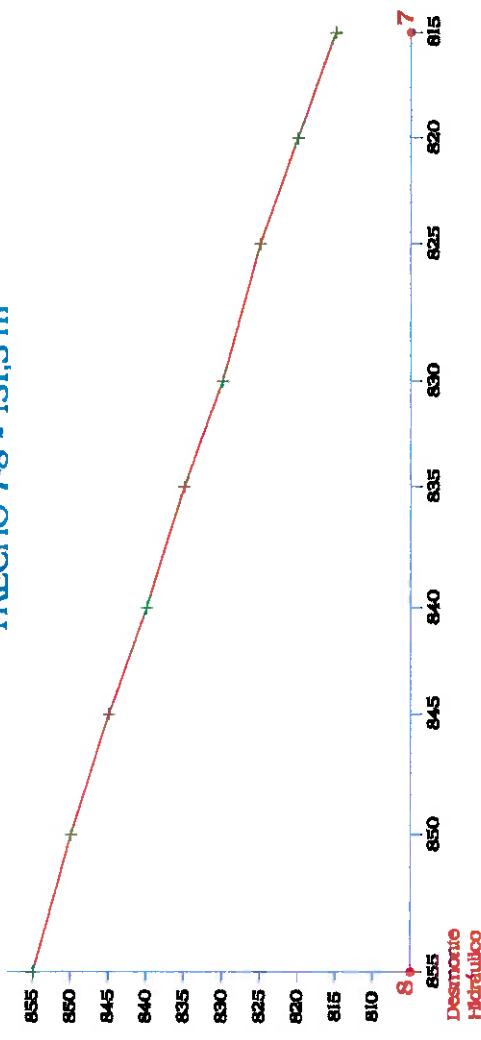
TRECHO 5-6 = 166,5 m



TRECHO 6-7 = 227 m



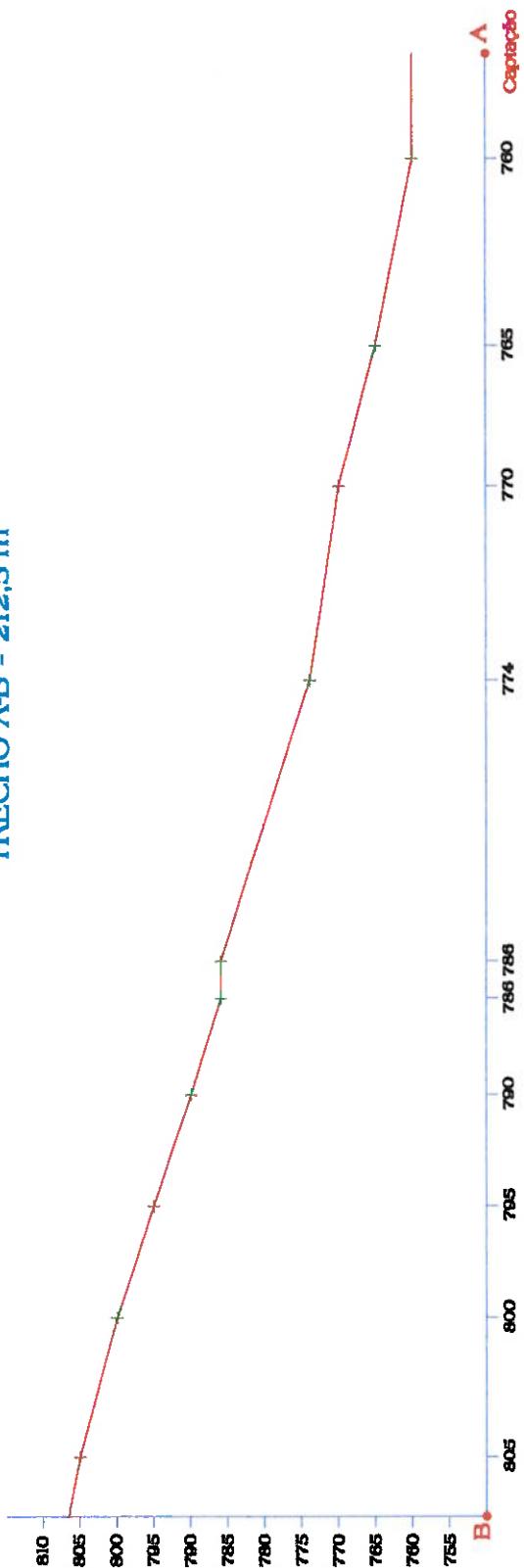
TRECHO 7-8 = 131,5 m



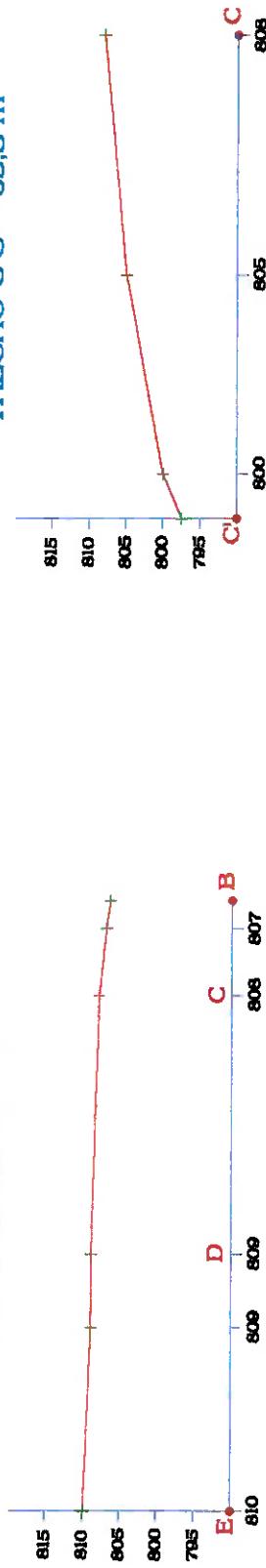
CAPTAÇÃO DE BAIXA PRESSÃO

- ♦ Diferença de cotas $\left\{ \begin{array}{l} (\text{TRECHO A-E}') = 806,5 - 760 = 46,5 \text{ m} \\ (\text{TRECHO A-D}') = 801 - 760 = 41,0 \text{ m} \\ (\text{TRECHO A-C}') = 798,5 - 760 = 38,5 \text{ m} \end{array} \right.$
- ♦ Comprimento da tubulação (TRECHOS A-B + B-E + C-C' + D-D' + E-E') = 448 m
- ♦ Escala = 1:1000

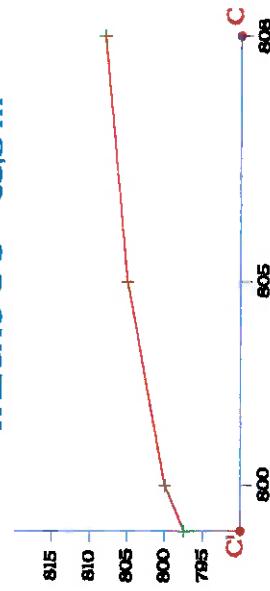
TRECHO A-B = 212,5 m



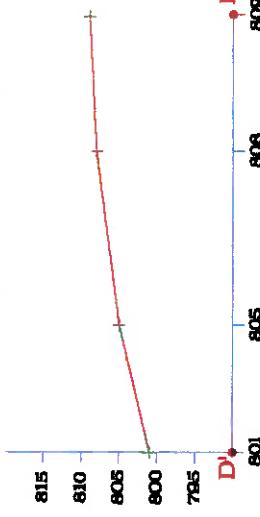
TRECHO B-E = 83 m



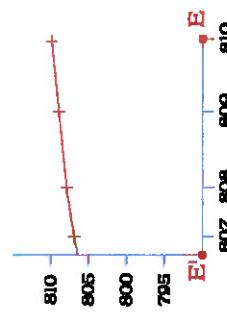
TRECHO C-C' = 65,5 m



TRECHO D-D' = 59 m



TRECHO E-E' = 28 m



ANEXO 7

CAMINHAMENTO DAS LINHAS DE ÁGUA E POLPA



ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
LABORATÓRIO DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS
ENSAIO DE ESPESSAMENTO

PROFI. Alceo

LOCAL: POLI(MINAS)

DATA 22/05/97

CONVÉNIO:

CLIENTE: CONSTRUCAP.

MATERIAL: OVER FLOW 2^a AMOSTRAGEM

ORIGEM: PERUS - SÃO PAULO

OBJETO DO ENSAIO: ESPESSAMENTO

CONCENTRAÇÃO SOLUÇÃO: 36,05% 16,5%

DENSIDADE DO SÓLIDO:

DENSIDADE DA POLPA: 1,202

PH DA POLPA

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA

+ 100 #

100 a 200 #

200 a 325 #

- 325 #

FLOCULANTE:

TIPO:

CONCENTRAÇÃO:

ADICIONADOS:

MEDIDAS DA COLUNA ADENSADA:

(A) VOLUME NÃO DECANTADO:

(B) PESO DA PROVETA CHEIA: 3427,9 g

(C) TARA: 1023,3 "

(D) PESO DA POLPA: 2404,6 "

(E) PESO DOS SÓLIDOS: 633,0 "

(F) DENSIDADE DO SOBRENADANTE:

(G) DENSIDADE DOS SÓLIDOS =

= (D) / ((A) - (B)) - (E) / (F) -

CONSTANTE DA PROVETA:

OBSERVAÇÕES:

ÁGUA TRANSLÚCIDA
ATE 15 MINUTOS, APÓS
15 MINUTOS COMEÇA A
SE TRANSFORMAR.

AMOSTRA NO

MEDIDAS DO ENSAIO

S
Tempo (min) Alt. da Interface (mm) Alt. da Interface (mm)

- 0 - 2000

60

120

180

240

300

360

420

480

540

600

660

720

780

840

900

960

1020

1080

1140

1200

1260

1320

1380

1440

1500

1560

1620

1680

1740

1800

1860

1920

1980

2040

2100

2160

2220

2280

2340

2400

2460

2520

2580

2640

2700

2760

2820

2880

2940

3.000

3.060

3.120

3.420

3.720

4.020

4.620

5.520

6.180

9.600

12.000

/Final →