



CETESB

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
06489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

**Caracterização do Fosfogesso Brasileiro
Gerado no Pólo Industrial de Cubatão**

Diretoria de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental
Dr. Primo Pereira Neto

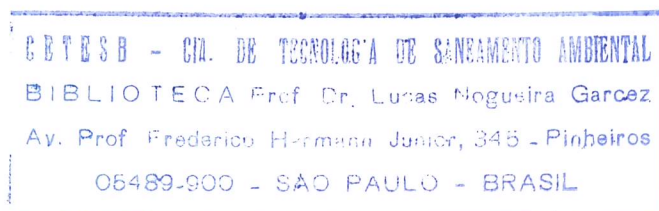
Departamento de Engenharia e Riscos Ambientais
Maria Laís Guzzo Leão

Divisão de Tecnologias de Controle
Alcides Diniz Garcia Jr.

Setor de Projetos e Ações Especiais
Luiz Antônio Valle do Amaral

**Projeto: Desenvolvimento de Estudos e Pesquisas
Tecnológicas**

Atividade: Caracterização de Fosfogesso



1º Relatório Parcial
Junho de 2001

Elaborado por:

Setor de Projetos e Ações Especiais

Coordenação da Atividade:

Farm. Bioq. Rosana M. de Macedo Borges

Equipe Técnica:

Farm. Bioq. Rosana M. de Macedo Borges

Biol. Vera Beatriz Rugitsky Domingues

Participação:

CBx-C/CETESB

EETI/CETESB

ECA/CETESB

DAAI/CETESB

DAAQ/CETESB

DAMM/CETESB

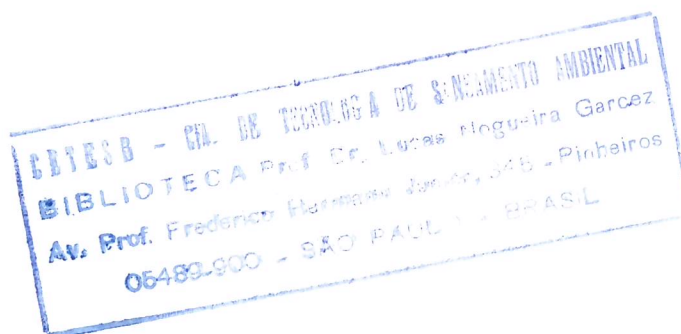
DAMP/CETESB

AID/CETESB

IPEN – Departamento de Radioproteção Ambiental

IPT – Laboratório de Geofísica Aplicada

Escola Politécnica da USP- Departamento de Engenharia Mineral



SUMÁRIO

Título	Página
1. Introdução	1
2. Objetivo	2
3. Metodologia	2
3.1. Participantes	2
3.2. Levantamento de Dados sobre o Histórico de Deposição das Pilhas	2
3.3. Definição do Plano de Amostragem e Perfuração das Pilhas	3
3.4. Definição dos Parâmetros Analíticos	5
3.4.1. pH	5
3.4.2. Umidade	5
3.4.3. Fluoretos	6
3.4.4. Metais Pesados	6
3.4.5. Fósforo	6
3.4.6. Enxofre	6
3.4.7. Radionuclídeos	6
3.4.8. Teste de Toxicidade Aguda - Sistema Microtox	7
3.4.9. Bioensaio de Mutagenicidade – Teste de Ames	7
3.4.10. Contagem de Fungos e Bactérias Heterotróficas	7
4. Resultados	7
4.1. Localização dos pontos de amostragem	7
4.2. Análises Físico-Químicas e Radioatividade	9
4.2.1. Análises Físico-Químicas no Resíduo	9
4.2.2. Análise Radiométrica no Resíduo	10
4.2.3. Análises Físico-Químicas na Água dos Poços de Monitoramento das Indústrias	11
4.2.4. Análises Radiométricas na Água dos Poços de Monitoramento das Indústrias	12
4.3. Análises Microbiológicas e Bioensaios	12
4.3.1. Ensaio de Toxicidade Aguda	12
4.3.2. Bioensaio de Mutagenicidade	13
4.3.3. Contagem de Fungos e Bactérias Heterotróficas (48 h)	13
5. Discussão dos Resultados	14
5.1. Identificação dos locais de coleta	14
5.2. Análises Físico-Químicas no Fosfogesso	14
5.3. Radionuclídeos no Resíduo	14
5.4. Metais Pesados	14
5.5. Análises Físico-Químicas nas Águas dos Poços de Monitoramento	15
5.6. Resultados de Radionuclídeos em Águas de Poços de Monitoramento	15
5.7. Bioensaios	15
5.8. Análises Microbiológicas	16
5.9. Outras Considerações	16
6. Conclusões	17
7. Referências Bibliográficas	18
Anexo 1 - Fotos dos locais de deposição do fosfogesso	
Anexo 2 - Identificação dos pontos de amostragem com a utilização de GPS	

1. Introdução

A cidade de Cubatão, localizada na Baixada Santista no Estado de São Paulo, tornou-se conhecida mundialmente na década de 80 devido a intensa degradação ambiental causada pelos poluentes oriundos do pólo industrial ali instalado. Neste período, foram implantados nas indústrias sistemas de controle de poluição atmosférica de forma a minimizar os efeitos dos poluentes na Serra do Mar, que já apresentava grandes trechos com visível degradação na vegetação.

A região, por ter se transformado em um pólo industrial a partir da década de 50, quando não havia preocupação com as possíveis consequências ambientais decorrentes de uma industrialização intensiva, passou a apresentar problemas ambientais crescentes.

A disposição inadequada dos resíduos sólidos das indústrias, acarretou a existência de um considerável número de áreas potencialmente contaminadas.

Cubatão abriga, entre outras, indústrias de fertilizantes que podem contribuir para a contaminação dos diferentes meios: ar, solo e água.

Em 1965, foi implantada a primeira indústria de fertilizantes na região que tornou-se, em 1970, o primeiro complexo integrado de fertilizantes produzindo, inclusive, ácido fosfórico. A produção deste ácido começou a tomar impulso com a instalação e ampliação de outras fábricas, na década de 70, quando a produção de fertilizantes fosfatados foi ampliada em aproximadamente três vezes, reduzindo consideravelmente a dependência do Brasil em relação à importação de insumos agrícolas.

No Brasil, quase a toda a produção de ácido fosfórico ocorre por processo úmido, onde o concentrado fosfático é digerido por ácido sulfúrico, gerando como subproduto o fosfogesso. Para cada tonelada de ácido fosfórico produzido são geradas cinco toneladas de fosfogesso (FREITAS, 1992), cuja destinação tem sido a deposição em pilhas em áreas próximas às fábricas.

Esta situação tem se tornado preocupante uma vez que as pilhas deste material depositado já atingem cotas extremamente elevadas, com grande área ocupada. Este fato gera a necessidade de medidas adequadas para a avaliação de seu impacto ambiental e busca de alternativas para sua disposição mais segura ou sua aplicação em outros usos, como matéria-prima.

A literatura técnica sobre a revalorização do fosfogesso sugere possibilidades de aproveitamento na confecção de placas ou painéis, como retardante de pega na indústria cimenteira, ou mesmo como corretor de solos agricultáveis. Entretanto, existem muitas dúvidas com relação à segurança ambiental e para a saúde humana, nas alternativas propostas, uma vez que se trata de um material com caráter ácido e que contém fluoretos, fósforo, metais e radionuclídeos que podem estar ou não biodisponíveis, além de diversos contaminantes menores que acompanham o concentrado de apatita.

Assim sendo, é importante conhecer com mais detalhes a composição do fosfogesso, de modo a poder avaliar possíveis usos deste produto/resíduo.

2. Objetivo

O presente estudo tem por objetivo caracterizar o fosfogesso gerado por duas indústrias de fertilizantes fosfatados localizadas em Cubatão - SP, abrangendo o material recém gerado, assim como disposto em pilhas, por solicitação da Agência Regional de Cubatão ao Departamento de Engenharia e Riscos Ambientais, em abril de 2000, para subsidiar as decisões da Regional relativas às propostas de utilização deste resíduo ou de possíveis impactos ao meio ambiente.

3. Metodologia

3.1. Participantes

A realização deste estudo envolve a participação de:
Setor de Desenvolvimento e Ações Especiais – EETP
Setor de Implantação de Tecnologias – EETI
Grupo de Apoio Técnico em Áreas Contaminadas – ECA
Agência Ambiental de Cubatão – CBx-C
Setor de Química Inorgânica e Radioatividade – DAAI
Setor de Química Orgânica – DAAQ
Setor de Mutagênese e Citotoxicidade – DAMM
Setor de Microbiologia e Parasitologia – DAMP
Divisão de Desenvolvimento de Sistemas e Administração de Dados - AID da CETESB.

Também participam deste trabalho o Grupo de Radioproteção Ambiental do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, o Laboratório de Geofísica Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT e o Laboratório de Economia Mineral do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP.

3.2. Levantamento de Dados sobre o Histórico de Deposição das Pilhas

No início dos trabalhos, realizou-se uma pesquisa de dados disponíveis no arquivo da Unidade Regional da CETESB em Cubatão, além de contatos com técnicos das indústrias, constatando-se a dificuldade em encontrar documentos que registrem o histórico de deposição do fosfogesso.

Levantamento realizado nas indústrias em estudo mostram que o solo recebeu camada de argila antes do início da deposição do fosfogesso, porém os técnicos contatados desconhecem detalhes do projeto inicial e de sua evolução ao longo dos anos, dificultando a obtenção de dados históricos confiáveis.

Atualmente, cada fábrica produz cerca de 400 toneladas/dia de ácido fosfórico, gerando, portanto, 2.000 toneladas de fosfogesso por dia, em cada unidade.

O gerenciamento da deposição do fosfogesso é terceirizado e não há registros que permitam a localização dos diferentes lotes deste resíduo gerado nestes 30 anos. Esta informação seria muito importante para a definição dos pontos de amostragem pois, até 1979, o concentrado fosfático utilizado era, em parte, importado do Marrocos e Estados Unidos, possuindo características diferentes do concentrado nacional.

Segundo informações de técnicos da indústria, a Copebrás teve o processo de produção de ácido fosfórico alterado em 1989 e, a partir de então, o fosfogesso passou a conter maior teor de ferro, o que pode ser observado por sua coloração mais amarelada. Conseqüentemente, o resíduo depositado a partir de então tem características diferentes do que o depositado anteriormente.

Observou-se, também, durante as inspeções, que os processos de descarte do fosfogesso são diferentes nas duas indústrias. Na Ultrafértil, denominada neste estudo como indústria 1, o fosfogesso sob a forma de polpa é bombeado para lagoas de decantação e o sobrenadante segue para uma outra lagoa onde ocorre a redução de parte do conteúdo de fluoreto para reutilização da água no processo industrial. O material sólido é retirado com retroescavadeiras após o preenchimento da capacidade total da lagoa que estiver em operação. De acordo com informações de técnicos da Ultrafértil, cada lagoa tem cerca de 10 metros de profundidade e foram construídas com o próprio fosfogesso. Não há dados referentes a impermeabilização das mesmas.

A Copebrás, denominada de indústria 2, deposita o fosfogesso da saída do processo sob a forma de torta de filtração, que é transportada para as pilhas em caminhões.

Não foram obtidos dados precisos sobre a quantidade que efetivamente é destinada para a agricultura, indústrias cimenteiras e indústrias de beneficiamento de gesso (no caso, a Gespa – Gesso Paulista Ltda.).

Durante o levantamento de informações, constatou-se que a Indústria 1, Ultrafértil, possui um sistema de deposição em uma única pilha e pode permitir um programa de amostragem mais ordenado. Parte do fosfogesso comercializado por esta indústria não chega a ser depositado nas pilhas, sendo colocado nos caminhões conforme é retirado das lagoas de decantação. A Indústria 2, Copebrás, distribuiu o resíduo em três diferentes pilhas, sem ordem aparente para a deposição. A pilha, que neste relatório é denominada Norte e se encontra mais distante da fábrica, não recebe atualmente o resíduo. Porém, recebe o lodo proveniente da estação de tratamento de efluentes líquidos.

Constata-se, portanto, que parte desta pilha possui características bem diferentes das demais, podendo ser observado o crescimento de algas e plantas. A pilha denominada Sul tem uma dinâmica maior de retirada do material para comercialização, sendo a menor em dimensões. A pilha denominada Central aparentemente está ligada à pilha Sul por uma estrada com profunda camada de gesso, o que foi observado nos testes de perfuração.

3.3. Definição do Plano de Amostragem e Perfuração das Pilhas

O procedimento recomendado pela Norma ABNT NBR 10007, de 1987, consiste da introdução de amostradores em diagonal nas pilhas para a retirada de amostras centrais que sejam as mais representativas possíveis. Entretanto, as pilhas de fosfogesso se transformaram em montanhas de aproximadamente 50 metros de altura, tornando este procedimento impraticável, sendo necessário estabelecer um plano de amostragem adequado a esta situação.

Segundo uma avaliação prévia, a indústria 1 permite uma amostragem do tipo estratificada, uma vez que possui uma só pilha de resíduo com patamares. Pode, neste caso, ser amostrada com o maior número possível de pontos ao longo da estrada que se forma para chegar ao topo da mesma, limitados apenas pela capacidade de realização das análises de caracterização. Na indústria 2, as pilhas apresentam uma distribuição irregular do fosfógeno, fazendo com que haja necessidade de amostragens aleatória do maior número de pontos possível, privilegiando a pilha de maior volume.

O plano de amostragem foi estabelecido em maio de 2000, após a realização de ensaios práticos do que poderia ser efetivamente realizado e do tempo necessário para cada coleta. A equipe de amostragem do ECA – Grupo de Apoio Técnico em Áreas Contaminadas da CETESB realizou testes com sonda coletora a percussão da marca Waackerhamer e com trado mecânico da marca Bosch. A amostragem com a sonda a percussão não foi possível em função da compactação do material ao longo da estrada. O trado mecânico Bosch foi adotado por ser mais eficaz e rápido.

A coleta pela sonda Waackerhamer passou a ser utilizada apenas para amostras destinadas à contagem de fungos e bactérias heterotróficas, quando é necessária a introdução de coletores plásticos de polietileno translúcido descartáveis, devidamente esterilizados, no barrilete para a coleta de amostras indeformadas.

O número de amostras coletadas por campanha foi de, no máximo, dezoito em função da limitação estabelecida pela capacidade de realização das análises radioquímicas.

Na definição dos pontos de coleta, uma das possibilidades seria a de amostrar sempre os mesmos locais na tentativa de detectar a lixiviação dos componentes, o que foi descartado em função do objetivo do trabalho de caracterizar o resíduo da pilha. A lixiviação pode ser constatada através do monitoramento do lençol freático com a amostragem de poços encontrados nas fábricas.

Desta forma, optou-se por uma amostragem do maior número de pontos ao longo das pilhas durante cinco campanhas. Foi padronizado que as perfurações seriam sempre realizadas em um perfil de 1m a 2,5m de profundidade, salvo casos em que a compactação do material não o permitisse. As amostras são retiradas dos barriletes, com deformação das mesmas, e, após homogeneização, uma parte é retirada como contraprova e entregue à indústria. Todas as amostras coletadas são embaladas em sacos plásticos, codificadas e armazenadas sob refrigeração (4°C) no laboratório do EETP. As amostras são peneiradas em malha 2mm e sofrem secagem a 72°C.

Estabeleceu-se também que seriam realizadas, em paralelo, campanhas de amostragem nos poços de monitoramento encontrados nas duas fábricas, em períodos de chuva e seca, com o objetivo de subsidiar o Grupo de Apoio Técnico em Áreas Contaminadas em futura investigação, se necessária.

As campanhas tiveram início no mês de junho de 2000, sendo que todos os pontos escolhidos para a amostragem foram marcados com estacas pintadas com cores diferentes, para facilitar a identificação do mês da campanha.

Na Indústria 1, pôde-se observar a presença de camada de argila, como documentado nas fotos incluídas no anexo 1.

Os pontos de coleta foram identificados com estacas de madeira e a localização precisa dos mesmos em coordenadas UTM (projeção plana) foi feita com um equipamento de GPS diferencial – Global Positioning System da marca TRIMBLE (anexo 2). Este equipamento consiste de dois receptores que funcionam simultaneamente, sendo um deles posicionado em local de coordenadas já estabelecidas e outro no ponto onde se quer determinar. Seu princípio de funcionamento está na comparação do tempo de propagação dos sinais emitidos pelo ponto de referência e pelo ponto a ser determinado que serão recebidos pelos satélites e convertidos em medida de distância.

Além da identificação precisa dos pontos de amostragem, este recurso está sendo utilizado para determinar a área da base das pilhas e realizar uma projeção do volume aproximado de fosfogesso acumulado nas mesmas. Também possibilitará a demarcação de uma das pilhas (pilha Norte) que não consta da base oficial do IGC – 1987, em base cartográfica digitalizada na escala 1:50.000.

3.4. Definição dos Parâmetros Analíticos

Em função do histórico de formação das pilhas e das matérias-primas utilizadas no processo produtivo, optou-se pela seguinte relação de parâmetros a serem determinados para a caracterização do fosfogesso:

- ☐ pH;
- ☐ umidade;
- ☐ fluoretos;
- ☐ metais pesados;
- ☐ fósforo total;
- ☐ enxofre ou sulfato;
- ☐ biodisponibilidade dos radionuclídeos ^{228}Ra , ^{226}Ra ;
- ☐ teste de toxicidade aguda – Sistema Microtox;
- ☐ bioensaio de mutagenicidade – teste de Ames; e
- ☐ contagem total de fungos e bactérias.

3.4.1. pH

A realização da medida de pH possui procedimento padronizado pela Agência de Proteção Ambiental Americana - EPA, método 9045C/1995 para matriz sólida, que foi adotado para este trabalho.

O equipamento utilizado para a realização de medidas de pH é da marca Digimed, modelo DM20, com eletrodo de vidro contendo KCl e termocompensador acoplado ao sistema.

3.4.2. Umidade

Foi adotada a temperatura de 72°C para secagem das amostras de resíduo, até peso constante, de forma a uniformizar o procedimento de preparo com o laboratório do

IPEN, que forneceu a informação da possibilidade de perda do elemento Polônio em temperaturas superiores a 80°C.

3.4.3. Fluoretos

Para determinação de fluoretos no resíduo, decidiu-se pela preparação de solubilizado das amostras do mesmo de acordo com a Norma NBR 10.006/1987 da ABNT e, a partir deste, proceder filtração do sobrenadante da amostra e leitura em medidores de íon específico de acordo com método baseado na 18ª edição do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater.

3.4.4. Metais Pesados

Estas análises estão sendo realizadas pelo Laboratório de Radioproteção Ambiental do IPEN, que está propondo uma varredura dos metais presentes por análise de ativação com nêutrons.

3.4.5. Fósforo

A norma CETESB L5.128/1978 descreve a determinação do fósforo total pelo método colorimétrico, também descrito pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 18ª edição – Método do ácido ascórbico - 4500-P E. Para realização desta análise no resíduo foi necessária uma adaptação da metodologia, dissolvendo pequena massa de fosfogesso em água desionizada que sofre digestão com ácido nítrico antes do desenvolvimento da coloração, como prescrito no método.

3.4.6. Enxofre

Optou-se para a determinação de enxofre nesta investigação pela realização de análise elementar utilizando equipamento modelo EA-1110 da Carlo Erba.

O Laboratório de Economia Mineral da Escola Politécnica da USP estará realizando em paralelo análises pela técnica de fluorescência de Raios-X visando quantificar o enxofre na forma de sulfato.

3.4.7. Radionuclídeos

Os concentrados de rocha fosfática contém, normalmente, radionuclídeos naturais como o ^{232}Th e ^{238}U . A análise dos radionuclídeos ^{226}Ra (produto do decaimento do ^{238}U) e ^{228}Ra (produto do decaimento do ^{232}Th) tem sido realizada pelo Laboratório de Radioproteção Ambiental do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, pela técnica de espectrometria gama, utilizando um detector de germânio de alta pureza. Solos e rochas com adição conhecida de padrão certificado foram utilizados para a calibração do detector.

A unidade utilizada para medir a atividade de radionuclídeos é chamada Becquerel (Bq) que equivale a uma desintegração por segundo (ex. 232 Bq/kg significa que em cada

segundo se desintegram 232 átomos em 1 kg de amostra). A unidade anterior correspondente, ainda encontrada na literatura, é o Curie (Ci) que equivale a $3,7 \cdot 10^{10}$ desintegrações por segundo ($1 \mu\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ Bq}$).

3.4.8. Teste de Toxicidade Aguda - Sistema Microtox

O Sistema Microtox é um bioensaio de toxicidade aguda de resposta rápida que vem sendo muito utilizado por indústrias e instituições de proteção ambiental para avaliar toxicidade de ambientes aquáticos, monitorar estações de tratamento de água, esgoto e efluentes e, também, lixiviados de resíduos sólidos. Tem procedimento padronizado pela Norma Técnica CETESB L5.227/1997.

3.4.9. Bioensaio de Mutagenicidade – Teste de Ames

O método de ensaio utilizado está descrito na Norma Técnica CETESB L5.621/1994 – Mutação Gênica Reversa em *Salmonella typhimurium* – Teste de Ames – Método Direto. Este foi escolhido como ferramenta de complementar para a caracterização do fosfogesso, pois pode detectar compostos ou grupos de compostos genotóxicos que, se forem transferidos para os corpos d'água, podem vir a causar efeitos adversos à saúde humana e aos organismos aquáticos.

3.4.10. Contagem de Fungos e Bactérias Heterotróficas

A caracterização microbiológica é informação importante sobre a área onde o resíduo é depositado e também foi incluída nesta investigação com o objetivo de permitir uma avaliação mais criteriosa das possibilidades de revalorização deste resíduo na construção civil. São utilizadas as seguintes normas:

- Norma CETESB L5.201/1996 – Bactérias Heterotróficas – Contagem em Placas; e
- Norma CETESB L5.204/1988 – Fungos – Contagem e isolamento em amostras de águas, esgotos e resíduos sólidos.

4. Resultados

4.1. Localização dos pontos de amostragem

Durante a realização das campanhas de amostragem, foi realizada a marcação das coordenadas por sistema GPS para permitir a correta identificação dos mesmos em caso de problemas com o sistema de demarcação por estacas e, também, para obter uma representação mais precisa das áreas ocupadas por cada uma das pilhas de fosfogesso. Os valores das cotas de cada um dos pontos permitirão uma estimativa mais aproximada da quantidade de resíduos na região. Os resultados estão apresentados na Tabela 1, a seguir.

Tabela 1 – Identificação dos locais de coleta do resíduo das pilhas

Identificação da Amostra	Data da Coleta	Coordenada Plana (UTM) Zona 23S		Altitude Aproximada (m)
I1 1.6	19/06/00	359736.242E	7363775.671N	26
I1 2.6	19/06/00	359684.632E	7363680.669N	28
I1 3.6	19/06/00	359501.464E	7363521.138N	38
I1 4.6	19/06/00	359347.356E	7363565.228N	44
I1 5.6	19/06/00	*		
I2 1.6	20/06/00	358752.425E	7363084.395N	21
I2 2.6	20/06/00	358766.530E	7363218.239N	31
I2 3.6	20/06/00	358664.690E	7363286.509N	39
I2 4.6	20/06/00	358566.776E	7363259.497N	45
I2 5.6	20/06/00	358689.633E	7362855.422N	14
I2 6.6	20/06/00	358785.282E	7363103.314N	22
I2 7.6	20/06/00	358728.560E	7363755.940N	81
I2 8.6	20/06/00	358603.859E	7363793.108N	82
I2 9.6	20/06/00	358644.232E	7363972.010N	99
I2 10.6	20/06/00	358642.436E	7364052.816N	114
I1 1.9	27/09/00	359743.718E	7363787.090N	25
I1 2.9	27/09/00	359727.805E	7363748.140N	27
I1 3.9	27/09/00	359670.115E	7363657.509N	27
I1 4.9	27/09/00	359341.133E	7363745.209N	53
I1 5.9	27/09/00	359734.030E	7363746.790N	22
I2 1.9	28/09/00	358641.040E	7362910.458N	24
I2 2.9	28/09/00	358512.166E	7363104.270N	35
I2 3.9	28/09/00	358773.415E	7363168.194N	30
I2 4.9	28/09/00	358887.475E	7363197.235N	30
I2 5.9	28/09/00	358971.233E	7363087.876N	35
I2 6.9	28/09/00	358654.142E	7363600.649N	54
I2 7.9	28/09/00	358480.991E	7363550.792N	60
I2 8.9	28/09/00	**		

* Topo da pilha onde estava ocorrendo a deposição do resíduo, não sendo possível naquele momento identificar o ponto.

**Por problemas técnicos não foi possível a identificação deste ponto durante a coleta.

4.2. Análises Físico-Químicas e Radioatividade

4.2.1. Análises Físico-Químicas no Resíduo

Tabela 2 - Resultados obtidos em amostras de fosfogesso coletadas durante a 1ª e 2ª campanhas de amostragem na Ultrafertil – I1

Amostra	Data da Coleta	pH	Umidade (%)	Fluoreto no Solubilizado (mg/L)	Fluoreto Solubilizado (mg/kg)
Concentrado de Rocha I1	19/06/2000	8,45	5,60	0,42	1,7
I1 1.6	19/06/2000	3,57	19,93	82,0	348
I1 2.6	19/06/2000	4,92	27,48	11,1	48,6
I1 3.6	19/06/2000	3,77	26,44	13,1	57,1
I1 4.6	19/06/2000	3,94	29,91	19,6	86,7
I1 5.6	19/06/2000	3,90	27,82	14,5	63,5
I1 1.9	27/09/2000	4,09	13,84	8,50	35,4
I1 2.9	27/09/2000	3,19	17,17	82,0	345
I1 3.9	27/09/2000	3,25	17,17	14,9	62,7
I1 4.9	27/09/2000	4,57	17,92	39,5	167
I1 5.9	27/09/2000	3,47	15,95	6,90	28,9

Tabela 3 - Resultados obtidos em amostras de fosfogesso coletadas durante a 1ª e 2ª campanhas de amostragem na Copebrás – I2

Amostra	Data Coleta	pH	Umidade (%)	Fluoreto no Solubilizado (mg/L)	Fluoreto Solubilizado (mg/kg)
Concentrado de Rocha I2	20/06/2000	6,68	0,22	0,39	1,56
I2 1.6	20/06/2000	3,30	33,47	16,7	75,2
I2 2.6	20/06/2000	3,41	25,41	20,2	87,6
I2 3.6	20/06/2000	4,00	24,24	7,60	32,8
I2 4.6	20/06/2000	3,88	24,68	10,7	46,3
I2 5.6	20/06/2000	4,84	17,09	145	1150
I2 6.6	20/06/2000	4,14	29,74	13,9	61,5
I2 7.6	20/06/2000	3,16	29,08	12,8	56,4
I2 8.6	20/06/2000	4,27	21,80	9,50	40,6
I2 9.6	20/06/2000	4,36	11,80	14,1	58,3
I2 10.6	20/06/2000	3,77	18,27	5,29	22,3
Topo da Pilha Norte	20/06/2000	3,90	19,03	11,3	47,8
I2 1.9	28/09/2000	3,87	16,83	9,70	40,7
I2 2.9	28/09/2000	3,86	13,21	12,9	53,7
I2 3.9	28/09/2000	3,80	16,56	13,4	56,2
I2 4.9	28/09/2000	4,31	16,88	10,1	42,4
I2 5.9	28/09/2000	3,39	13,73	24,4	101
I2 6.9	28/09/2000	3,91	21,04	244	1040
I2 7.9	28/09/2000	4,20	13,46	13,0	54,0
I2 8.9	28/09/2000	3,11	13,71	26,6	111

4.2.2 Análise Radiométrica no Resíduo

Tabela 4 - Resultados da quantificação de radionuclídeos naturais em amostras de fosfogesso coletadas durante a 1ª e 2ª campanhas de amostragem na Ultrafertil – I1

Amostra	Data Coleta	Ident. IPEN	²²⁸ Ra (Bq/kg)	²²⁶ Ra (Bq/kg)
Concentrado de Rocha I1	19/06/2000	061835	221±28	427±47
I1 1.6	19/06/2000	061836	130±16	350±42
I1 2.6	19/06/2000	061837	90±12	594±65
I1 3.6	19/06/2000	061838	229±19	436±62
I1 4.6	19/06/2000	061839	238±21	307±48
I1 5.6	19/06/2000	061840	214±19	337±42
I1 1.9	27/09/2000	061870	87± 7	56± 4
I1 2.9	27/09/2000	061871	96± 6	480±36
I1 3.9	27/09/2000	061872	< 12	177±14
I1 4.9	27/09/2000	061873	217±19	303±22
I1 5.9	27/09/2000	061874	98± 7	59± 4

Tabela 5 - Resultados da quantificação de radionuclídeos naturais em amostras de fosfogesso coletadas durante a 1ª e 2ª campanhas de amostragem na Copebrás – I2

Amostra	Data Coleta	Ident. IPEN	²²⁸ Ra (Bq/kg)	²²⁶ Ra (Bq/kg)
Concentrado de Rocha I2	20/06/2000	061841	260±27	638±61
I2 1.6	20/06/2000	061842	280±27	773±72
I2 2.6	20/06/2000	061843	238±26	762±61
I2 3.6	20/06/2000	061844	215±19	849±78
I2 4.6	20/06/2000	061845	269±32	603±27
I2 5.6	20/06/2000	061846	139±12	282±24
I2 6.6	20/06/2000	061847	255±28	1013±84
I2 7.6	20/06/2000	061848	219±23	935±87
I2 8.6	20/06/2000	061849	198±17	1251±132
I2 9.6	20/06/2000	061850	96±11	82±7
I2 10.6	20/06/2000	061851	87±10	59±8
Topo Pilha Norte	20/06/2000	061852	263±22	558±62
I2 1.9	28/09/2000	061875	202±16	1117±85
I2 2.9	28/09/2000	061876	246±27	538±39
I2 3.9	28/09/2000	061877	218±19	871±62
I2 4.9	28/09/2000	061878	214±26	473±29
I2 5.9	28/09/2000	061879	211±24	472±33
I2 6.9	28/09/2000	061880	334±32	928±71
I2 7.9	28/09/2000	061881	191±16	1101±75
I2 8.9	28/09/2000	061882	163±15	1282±115

4.2.3. Análises Físico-Químicas na Água dos Poços de Monitoramento das Indústrias

Tabela 6 - Resultados obtidos em amostras de água dos poços de monitoramento da Ultrafertil – I1

Amostra	Data Coleta	pH	Fósforo Total (mg/L)	Ferro Total (mg/L)	Fluoretos (mg/L)	Sulfato Total (mg/L)
PM 02	28/09/2000	*	*	*	*	1330
PM 03	28/09/2000	*	*	*	*	328
PM 04	28/09/2000	*	*	*	*	14,0
PM 05	28/09/2000	*	*	*	*	50,0
PM 02	31/10/2000	5,6	1,15	23,8	3,85	*
PM 03	31/10/2000	6,0	3,46	59,6	5,83	*
PM 04	31/10/2000	6,0	0,13	27,8	1,75	*
PM 05	31/10/2000	6,0	*	0,13	1,17	*
PM 02	21/02/2001	*	2,07 **	*	14,2 **	*
PM 03	21/02/2001	*	0,90 **	*	7,87 **	*
PM 04	21/02/2001	*	1,90 **	*	2,86 **	*
PM 05	21/02/2001	*	0,32 **	*	2,90 **	*

** Chuvas nas últimas 24 horas

* Parâmetro não determinado

Tabela 7 - Resultados obtidos em amostras de água dos poços de monitoramento da Copebrás – I2

Amostra	Data Coleta	pH	Fósforo Total (mg/L)	Ferro Total (mg/L)	Fluoretos (mg/L)	Sulfato Total (mg/L)
PM 0	11/04/2001	7,0	0,11	27,2	0,27	28,6
PM 01	11/04/2001	4,0	7,59	10,3	1,51	611
PM 03	11/04/2001	5,0	263	34,3	0,26	497
PM 04	11/04/2001	4,0	1,39	26,3	80,0	1910
PM 05	11/04/2001	4,0	422	73,6	5,50	3080
PM 06	11/04/2001	5,0	36,2	4,26	0,36	1860
PM 26	11/04/2001	5,0	0,58	6,80	0,12	64,4
PM TPN	11/04/2001	4,0	1,17	30,2	0,43	15,1
PM PCG	11/04/2001	4,0	0,59	0,50	1,29	281

Obs. TPN = Poço localizado no topo da pilha norte

PCG = Poço localizado entorno da pilha central, construído e monitorado pela empresa CSD-Geoklok

4.2.4. Análises Radiométricas na Água dos Poços de Monitoramento das Indústrias

Tabela 8 - Resultados da quantificação de radionuclídeos naturais em amostras de água dos poços de monitoramento da Ultrafertil – I1

Amostra	Data Coleta	Ident. IPEN	²²⁸ Ra (Bq/l)	²²⁶ Ra (Bq/l)
PM 02	29/09/2000	061774	8,0±0,4	1,7±0,1
PM 03	29/09/2000	061775	4,5±0,2	1,2±0,1
PM 04	29/09/2000	061776	4,8±0,2	1,2±0,1
PM 05	29/09/2000	061777	6,7±0,3	2,9±0,2
PM 02	31/10/2000	070869	< 0,8	1,1±0,1
PM 03	31/10/2000	070870	3,1±0,1	1,2±0,1
PM 04	31/10/2000	070871	1,4±0,07	1,5±0,1

Os resultados de análises radiométricas dos poços de monitoramento da indústria Copebrás não estão disponíveis até o momento.

4.3. Análises Microbiológicas e Bioensaios

4.3.1. Ensaio de Toxicidade Aguda

Tabela 9 - Resultados analíticos – Sistema Microtox da 2ª campanha de amostragem de fosfogesso das indústrias 1 e 2

AMOSTRA	DATA DA COLETA	Solubilizado da Amostra			
		sem ajuste de pH		com pH ajustado	
		pH	CE20 15' (%)	pH	CE20 15' (%)
I1 1.9	27/09/2000	3,8	4,73	7,2	49,0
I1 2.9	27/09/2000	3,2	2,68	6,2	11,6
I1 3.9	27/09/2000	3,4	11,8	7,9	N.T.
I1 4.9	27/09/2000	3,4	49,1	6,1	N.T.
I1 5.9	27/09/2000	3,5	1,06	7,5	61,8
I2 1.9	28/09/2000	3,6	20,7	7,2	N.T.
I2 2.9	28/09/2000	3,7	16,3	6,6	39,0
I2 3.9	28/09/2000	3,5	34,9	6,3	60,4
I2 4.9	28/09/2000	4,1	40,8	8,0	N.T.
I2 5.9	28/09/2000	3,3	11,1	7,1	N.T.
I2 6.9	28/09/2000	4,0	10,7	6,1	22,6
I2 7.9	28/09/2000	4,1	39,3	6,7	N.T.
I2 8.9	28/09/2000	3,0	3,44	6,2	21,1

CE20 15': Concentração efetiva da amostra que causa 20% de redução na quantidade de luz emitida por *Vibrio fischeri* a 15°C. após 15 minutos de exposição.

N.T. : Não Tóxica

4.3.2. Bioensaio de Mutagenicidade

Tabela 10 – Resultados analíticos de mutagenicidade das amostras coletadas durante a 2ª campanha nas pilhas de fosfogesso das indústrias 1 e 2

Amostra	Data da Coleta	Resultado
I1 1.9	27/09/2000	N.D.
I1 2.9	27/09/2000	N.D.
I1 3.9	27/09/2000	N.D.
I1 4.9	27/09/2000	N.D.
I1 5.9	27/09/2000	N.D.
I2 1.9	28/09/2000	N.D.
I2 2.9	28/09/2000	N.D.
I2 3.9	28/09/2000	N.D.
I2 4.9	28/09/2000	N.D.
I2 5.9	28/09/2000	N.D.
I2 6.9	28/09/2000	N.D.
I2 7.9	28/09/2000	N.D.
I2 8.9	28/09/2000	N.D.

N.D. = Atividade mutagênica não detectável nas condições do ensaio

4.3.3. Contagem de Fungos e Bactérias Heterotróficas (48 h)

Tabela 11 – Resultados analíticos das análises microbiológicas no fosfogesso das indústrias 1 e 2 e de algumas marcas de gesso comercial utilizados na construção civil

Amostra	Bactérias Heterotróficas 48h (UFC/g)	Fungos – Bolores (UFC/g)	Fungos – Leveduras (UFC/g)
I1 1.9 0 – 50cm	< 10	90	Ausente
I1 1.9 50-100cm	< 10	$7,1.10^3$	Ausente
I1 5.9 50-90cm	< 10	90	Ausente
I2 L1 0-45cm	120	$4,5.10^3$	Ausente
I2 L2 0-45cm	170	$1,3.10^3$	Ausente
I2 L3 0-45cm	210	$4,4.10^3$	Ausente
Saída do processo I2	$1,3.10^4$	10	Ausente
Gesso Medeiros	700	Ausente	Ausente
Gesso RWL	$1,1.10^4$	Ausente	Ausente
Gesso Pirâmide	$7,0.10^4$	Ausente	Ausente
Gesso sem marca	Ausente	10	Ausente
Gesso Direcional	$6,0.10^4$	Ausente	Ausente

Obs – L1, L2 e L3 referem-se aos códigos estabelecidos para coletas em pontos específicos de avaliação microbiológica.

5. Discussão dos Resultados

5.1. Identificação dos locais de coleta

As coordenadas obtidas pelo GPS permitem a localização exata do ponto amostrado no caso de perda da identificação por estacas. Permitirão também, ao final de todas as campanhas, a elaboração de diagrama tridimensional a ser colocado em mapa digitalizado, estabelecendo a área correta ocupada pelas pilhas. Os dados de localização dos poços de monitoramento deverão ser incluídos em relatórios posteriores. Trata-se de documentação importante para verificação da dinâmica dos poluentes no mapeamento das águas subterrâneas locais.

5.2. Análises Físico-Químicas no Fosfogesso

Até o momento, estão disponíveis resultados de pH, umidade e fluoretos (solubilizados) nas amostras de fosfogesso. Pode-se constatar a relativa acidez do resíduo e umidade variável de 13 a 30% na indústria 1 e de 11 a 33% na indústria 2, de acordo com o ponto em que a coleta é realizada.

Com referência às análises de fluoretos, observa-se grande variação nas concentrações encontradas ao longo das pilhas que pode ser decorrente da utilização de concentrados de rocha diferentes ou de depósitos adicionais do fluoreto removido durante o processo de redução dos mesmos para o retorno da água no processo.

Os resultados de fósforo total e enxofre nas amostras do resíduo não foram incluídos neste relatório. O método desenvolvido encontra-se em processo de validação. Embora as amostras controle tenham apresentado boa resposta, foram identificadas algumas interferências de matriz que demandam maiores cuidados analíticos.

Algumas amostras serão analisadas pela técnica de fluorescência de raios X nos laboratórios do Departamento de Engenharia Mineral da Escola Politécnica da USP, para determinação de fósforo total e enxofre.

5.3. Radionuclídeos no Resíduo

A determinação da presença e atividade dos radionuclídeos foi realizada pelo Laboratório de Radioproteção Ambiental do IPEN, que indicou valores entre 17 a 334 Bq/kg, para ^{228}Ra , e 50 a 1282 Bq/kg, para ^{226}Ra , no fosfogesso de Copebrás. No fosfogesso da Ultrafértil foram encontrados valores de <12 a 238 Bq/kg, para ^{228}Ra , e 56 a 594 Bq/kg, para ^{226}Ra .

Segundo avaliação prévia fornecida pelo Laboratório de Radioproteção do IPEN, os resultados obtidos até o presente para ^{228}Ra e ^{226}Ra não seriam motivo de preocupação, apesar de não existirem padrões ambientais para os mesmos.

5.4. Metais Pesados

Os resultados destas análises que estão sendo realizadas pelo IPEN ainda não estão disponíveis. De acordo com informação verbal, será possível determinar isótopos convencionais pela análise por ativação de nêutrons, nas condições experimentais empregadas (tempo de contagem, tempo de irradiação, tempo de espera de fluxo de nêutrons e massa de amostra).

Os elementos químicos que apresentam secção de choque alta para nêutrons térmicos e hepitérmicos a serem identificados seriam: Bário (Ba), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Césio (Cs), Európio (Eu), Ferro (Fe), Escândio (Sc), Háfio (Hf), Tântalo (Ta), Térbio (Tb), Tório (Th), Urânio (U), Zinco (Zn), Zircônio (Zr), Samário (Sm), Lutécio (Lu), Neodímio (Nd), Lantânio (La).

5.5. Análises Físico-Químicas nas Águas dos Poços de Monitoramento

Os resultados obtidos nas coletas realizadas nos poços de monitoramento sugerem uma contribuição proveniente de lixiviação de material das pilhas.

Tal hipótese fica evidenciada com a comparação dos resultados do poço de montante da Copebrás, I2 (PM 0) com os obtidos nos demais poços instalados nesta indústria. Por exemplo, o fluoreto que a montante é 0,27 mg/L encontra-se num valor de 80,0 mg/L no poço de monitoramento PM 4 localizado entre a pilha Sul e o rio. O mesmo pode ser observado no caso do fósforo total que, na base da serra (PM 0), tem concentração de 0,11 mg/L, e, no poço PM 5, apresenta concentração de 422 mg/L.

O sulfato total varia de 28,6 mg/L (PM 0) até 3080 mg/L (PM 5), necessitando haver maior quantidade de determinações para caracterizar melhor seu comportamento no meio.

5.6 Resultados de Radionuclídeos em Águas de Poços de Monitoramento

As concentrações encontradas variaram de <0,8 a 8 Bq/L, para ^{228}Ra e de 1,1 a 2,19 Bq/L, para ^{226}Ra , na água subterrânea dos poços de monitoramento na Ultrafértil. Os resultados para os poços de monitoramento da Copebrás ainda não estão disponíveis.

A CETESB estará realizando análises de emissões Alfa-total e Beta-total, que estão contemplados na legislação brasileira através da Portaria 36 do Ministério da Saúde, de 19/01/1990, e do Decreto Estadual 12486 de 20/10/1978 NTA-60.

5.7. Bioensaio

Os resultados observados, mesmo preliminarmente, sugerem que parte significativa do efeito tóxico determinado pela metodologia Microtox está associada ao caráter ácido do fosfogesso, uma vez que ocorreu redução muito significativa nos resultados dos testes realizados com correção do pH, comparativamente aos observados com os realizados com pH natural dos lixiviados.

Os resultados dos testes de AMES não indicaram a presença de compostos mutagênicos nas amostras testadas.

Os ensaios de toxicidade preconizados pela ABNT - NBR 10004/1987 não são específicos para revelar impactos ao meio ambiente. Há uma certa dificuldade em realizar ensaios de DL50 para ratos via oral ou mesmo DL50 via dérmica para coelhos, pelas próprias características de consistência do fosfogesso. Estão sendo avaliadas outras possibilidades de ensaios para atender a normalização existente.

5.8. Análises Microbiológicas

As análises apresentaram contagens relevantes para crescimento de fungos (bolores) que, se ocorrer quando de eventual uso do fosfogesso em materiais destinados à construção civil, poderão ser preocupantes do ponto de vista de contaminação dos ambientes onde este tipo de material venha a ser utilizado..

A acidez do fosfogesso pode ser o fator essencial para a ocorrência deste comportamento.

5.9. Outras Considerações

É necessário cautela para avaliar a situação como um todo, em função da interveniência de muitas variáveis, parte delas com baixa probabilidade de atuação imediata.

No Brasil não existe, ainda, uma regulamentação relativa às atividades humanas envolvendo fontes naturais de radiação que contemple a fiscalização de instalações que manuseiam ou processem urânio e tório, associados ao subproduto ou resíduo industrial (MAZZILLI, 1997).

A norma NE-6.05, do CNEN, estabelece que rejeitos sólidos podem ser eliminados no sistema de lixo urbano desde que sua atividade específica não exceda $7,5 \times 10^4$ Bq/kg. Sugere-se que, na ausência de valores específicos para a proteção ambiental, o mesmo seja adotado, com os devidos cuidados de avaliação e monitoramento, em bases individualizadas. Sugere-se, também, a realização de avaliação de risco em bases individualizadas para o estabelecimento de valores mais confiáveis para a presença e atividade dos radionuclídeos.

MAZZILLI (1997) sugere cautela na utilização deste resíduo como material de construção, pois existe a necessidade de estudos de misturas com outros materiais que possam viabilizar ou não a redução da radioatividade do fosfogesso.

SMITH (1987) menciona a possibilidade de percolação do ^{226}Ra em áreas de deposição de gesso, mesmo naquelas que receberam aterro de argila. Isto ocorreria, segundo o autor, devido ao ataque dos silicatos presentes na argila pelos fluoretos, que podem estar presentes em concentrações significativas no fosfogesso, uma vez que a ação das chuvas nas pilhas pode formar ácido fluorídrico que ataca a estrutura de silicatos da argila, favorecendo a lixiviação das substâncias solúveis presentes no fosfogesso.

A recuperação de enxofre do fosfogesso deverá ser uma alternativa melhor avaliada pois, se for possível identificar tecnologias adequadas para sua recuperação e purificação, poderá atender parte da demanda brasileira para este material.

Propostas para a utilização do fosfogesso na construção civil devem incluir, entre outras preocupações, os eventuais efeitos indesejáveis decorrentes do risco de crescimento de fungos e bactérias devido ao baixo pH do resíduo, contaminando o ambiente onde o material for utilizado.

Há estudos em andamento sobre o potencial de extração de terras raras incorporadas ao fosfogesso que devem ser melhor acompanhados.

6. Conclusões

Este primeiro relatório parcial ainda não permite que se apontem conclusões definitivas, uma vez que ainda resta a necessidade de realização de mais campanhas de amostragem e determinações analíticas. Entretanto, já é possível identificar apontar como aspectos importantes:

- Presença de radionuclídeos

Segundo avaliação prévia fornecida pelo Laboratório de Radioproteção do IPEN, os resultados observados para ^{228}Ra e ^{226}Ra não seriam, numa primeira análise, motivo de preocupação, apesar de não existirem padrões ambientais para os mesmos.

Recomenda-se, entretanto, que qualquer ação envolvendo a utilização deste resíduo seja objeto de uma avaliação de risco de maneira individualizada, ou seja cada proposta de utilização ou destinação deverá ser avaliada levando em conta suas particularidades de local, contato com operadores e população, além de possíveis impactos ambientais.

- Presença de fluoretos e fósforo total nos poços de monitoramento

A presença destes compostos nos poços de monitoramento sugere, fortemente, que pode estar ocorrendo lixiviação dos mesmos do fosfogesso para as águas subterrâneas uma vez que vários dos valores encontrados são elevados, principalmente nos poços instalados na Copebrás. Esta constatação é corroborada pelos resultados obtidos para fluoretos nos testes de solubilização das amostras, segundo a norma NBR 10.006/1987 da ABNT.

Recomenda-se a continuidade deste monitoramento para confirmar estas observações.

- Toxicidade do resíduo

Os resultados dos testes Microtox indicam que possivelmente o caráter ácido do resíduo é o maior responsável pelos efeitos medidos. A continuidade do estudo poderá vir a confirmar esta tendência.

Os testes de mutagenicidade (AMES) foram todos negativos nas amostras testadas até o momento. Dever-se-á avaliar a oportunidade de continuar sua realização.

- Potencial de crescimento de fungos (bolores)

Algumas das amostras indicaram a ocorrência de crescimento de fungos em quantidades significativas, o que deve ser objeto de novas determinações de caráter confirmatório. Se esta tendência se confirmar, futuras propostas de utilização em construção civil deverão ser criteriosamente avaliadas em virtude do possível risco de contaminação do local onde o material venha a ser utilizado.

Levando em consideração que este é o primeiro relatório parcial deste estudo, ainda não há informações suficientes para que se possa verificar a existência de correlações entre os diversos parâmetros analisados. É de se esperar que, com o aumento do número de medidas, seja possível verificar algumas correlações que possam ser de interesse.

7. Referências Bibliográficas

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 19 ed. Washington, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos – Classificação** NBR 10.004. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Lixiviação de Resíduos - Procedimento** NBR 10.005. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solubilização de Resíduos – Procedimento** NBR 10.006. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Amostragem de Resíduos - Procedimento** NBR 10.007. Rio de Janeiro, 1987.
- BARTI, P. E.; ALBUQUERQUE, P. C. W. Alternativas para a reciclagem do fosfogesso. In: **Seminário sobre o uso do gesso na agricultura II**. Uberaba, 1992. Anais. São Paulo, IBRAFOS, 1992. p. 67-81.
- CAMARGO, O. A. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas, **Instituto Agrônomo, Campinas, 1986**.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Bactérias heterotróficas – contagem em placas: método de ensaio L5.201** São Paulo, 1996.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Bioensaio de Toxicidade Aguda – Sistema Microtox, L5.227** São Paulo, 1997.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Determinação de Fósforo em Águas – Método do Ácido Ascórbico, L5.128** São Paulo, 1978.

- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Fungos – contagem e isolamento em amostras de águas, esgotos e resíduos sólidos: método de ensaio L5.204** São Paulo, 1988.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas: Cooperação técnica Brasil – Alemanha**, 1ª edição, São Paulo, 1999.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Mutação gênica reversa em *Salmonella typhimurium*: teste de Ames – método direto – método de ensaio L5.621** São Paulo, 1994.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Resíduos Sólidos Industriais**. São Paulo, 1992.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Legislação Estadual - Controle da Poluição Ambiental do Estado de São Paulo**, 1994.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Office of Solid Waste and Emergency Response. **Test methods for evaluating solid waste. volume IB: Laboratory Manual Physical/Chemical Methods**. Washington, 1986..
- FREITAS, B. J. de A Disposição do Fosfogesso e seus Impactos Ambientais. In: **Seminário sobre o uso do gesso na agricultura II**, Uberaba, 1992. Anais. São Paulo, IBRAFOS, 1992 p. 325 – 339.
- LIMA, J. R. B. de Aproveitamento do fosfogesso gerado como subproduto da indústria de fertilizantes fosfatados. In: **Seminário Reciclagem de rejeitos da indústria minero metalúrgica**. Ouro Preto, 1992. Anais. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.
- MACCARINI, M. Propriedades física, química e mecânica do fosfogesso da indústria carboquímica catarinense. In: **Simpósio sobre barragens de rejeitos e disposição de resíduos**. Rio de Janeiro, 1991. REGEO p.147-157.
- MALAVOLTA, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta: respostas. In: **Seminário sobre o uso do gesso na agricultura II**. Uberaba, 1992. Anais. São Paulo, IBRAFOS, 1992. p.41-66.
- MAZZILLI, B. ; SAUEIA, C. H. R. Implicações radiológicas da utilização de fosfogesso como material de construção **Ambient. Constr.**, São Paulo, v.1, nº2, p 17-22, 1997.
- RUGER, K. F. **Alternativas para a destinação do fosfogesso**. São Paulo, 1996. 262p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Mackenzie.
- SAUEIA, C. H. R. **Caracterização radioquímica do fosfogesso e implicações radiológicas de sua utilização como material de construção**. São Paulo, 1998. 72p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

SMITH, A. Disposal of acid-bearing and acid-generating sludges in the fertilizer manufacturing Industry, **Can. Journal Civil Eng.** Vol. 14, 1987.

VALERY JR. , W. **Processo de beneficiamento para a obtenção de uma carga mineral nobre a partir do fosfogesso** .São Paulo, 1982. 230p. Dissertação (Mestrado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Páginas da Internet Pesquisadas:

<http://www.ct.utwente.nl/~ospt/minipost96/tud/koopman.html>

Removal of heavy metals, lanthanides and radium from phosphogypsum

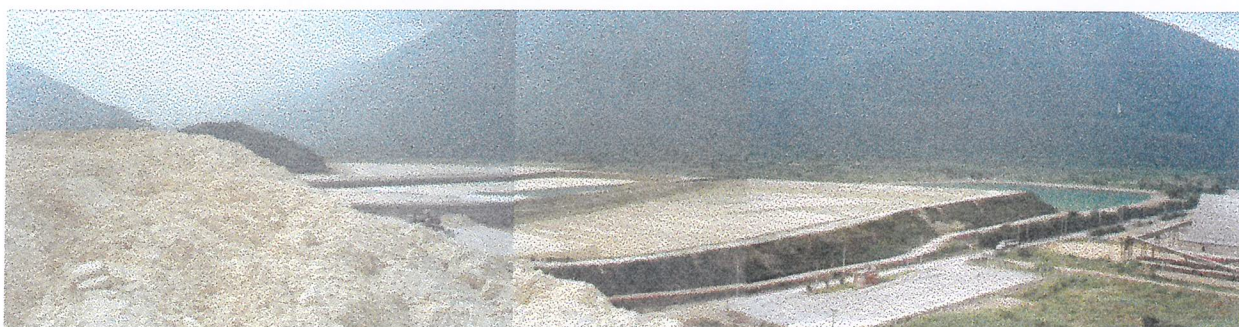
<http://www.ambiental-lab.com.br>

Padrões de potabilidade

CTESD - CIA. DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA

Anexo 1

Fotos dos locais de deposição do fosfogesso



1.A. - Vista geral do topo da pilha da indústria 1



1.B. – Amostragem do fosfogesso com perfurações de trado mecânico



1.C. – Detalhe mostrando a camada de argila na base da pilha



1.D. – Aspecto das amostras coletadas nas pilhas

Anexo 2

Identificação dos pontos de amostragem com a utilização de GPS

Data Aquis.:	06/08/01
Indic.:	
Livraria:	
Preço:	R\$
Data Tomba:	06/08/01