

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA OCEÂNICA

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DOS REJEITOS DA DRAGAGEM DO
PORTO NOVO PARA UTILIZAÇÃO COMO SOLO FABRICADO PARA FINS
AGRÍCOLAS**

Eng. Laurita dos Santos Teixeira

Dissertação apresentada à Comissão de Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica.

Orientador: Prof. Dr. Cláudio R. Rodrigues Dias

Rio Grande, maio de 2009.

Contra capa – Assinaturas – Elaborada pela secretaria

À minha família, em especial aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me permitir chegar até aqui.

Agradeço ao Professor Cláudio Dias, pela orientação, paciência sem fim, e pela confiança depositada em mim e no meu trabalho.

Agradeço aos professores do curso, funcionários e equipe do laboratório, que me apoiaram e incentivaram ao longo do curso, em especial à Nilza, que se tornou uma amiga sempre disposta a resolver problemas e ajudar a todos.

Agradeço aos colegas e amigos, que de perto ou muito longe, tornaram todos os momentos mais alegres e leves.

A todos que, de alguma forma, colaboraram com sugestões, críticas e incentivos.

Por fim, mas de forma muito especial, aos meus pais, irmão, cunhada, que sempre me ajudaram a seguir em frente, e ao meu noivo Marcelo pelo carinho em todos os momentos, ajudando a superar as dificuldades e obstáculos que apareceram no caminho.

“Dai-me Senhor, a perseverança das ondas do mar, que fazem de cada recuo um ponto de partida para um novo avanço.” (Gabriela Mistral, poetisa)

RESUMO

A dragagem pode ser considerada como o ato de retirada de material do leito dos corpos de água, principalmente para o aprofundamento e alargamento de canais em rios, portos e baías, construção de diques, fundações para pontes e outras estruturas. Devido à necessidade de navegação de grandes embarcações no Porto do Rio Grande, periodicamente é necessária a realização de dragagens. A pesquisa com material dragado é feita devido ao potencial econômico do rejeito gerado e ao problema ambiental gerado por ele. É importante desde o projeto da obra, o conhecimento das características físico-químicas dos sedimentos. A natureza de contaminantes em materiais dragados varia muito, dificultando as considerações sobre usos benéficos do rejeito, e embora algumas vias navegáveis estejam localizadas próximas a áreas industrializadas ou centros urbanos, a maior parte do material dragado é considerada não contaminada. A caracterização do material dragado para uso como fertilizante é feita pela determinação de matéria orgânica, pH, salinidade, N, P, K, Ca, Mg, metais pesados e Capacidade de Troca Catiônica (CTC), que depende do pH e diretamente proporcional a concentração de argila, conteúdo de matéria orgânica e sua granulometria. Foram feitas análises químicas para a determinação de contaminantes na lama (segundo o CONAMA), e análise de fertilidade do solo (Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC) para o estudo da sua utilização. Assim, o estudo do resíduo do material dragado é de suma importância tanto para os custos da operação, quanto para o aproveitamento desse material e cuidado com o meio ambiente. O resíduo estudado foi depositado em bacias de sedimentação em 2001, onde em 2006 mostrou um grande desenvolvimento de vegetação na área que a lama foi depositada, indicando o potencial do resíduo, que foi comprovado pelas análises.

PALAVRAS-CHAVE: Dragagem, rejeitos, solo fabricado, agricultura, lama.

ABSTRACT

Dredging may be considered as the act of removal of material from the bed of the water bodies, mainly to the deepening and widening of channels in rivers, harbors and bays, construction of dams, foundations for bridges and other structures. Due to the need for navigation of large vessels in the Port of Rio Grande, it is periodically necessary to carry out dredging. The research with dredged material is carried out due to the economic potential of the waste generated and the environmental problem created by it. It is important since the project, the knowledge of the physicochemical characteristics of sediments. The nature of contaminants in dredged material varies widely, making it difficult the comments on the beneficial uses of waste, and although some waterways are located close to industrial areas or urban centers, most of the dredged material is not considered contaminated. The characterization of dredged material for use as fertilizer is made by the determination of organic matter, pH, salinity, N, P, K, Ca, Mg, heavy metals and cation exchange capacity (CEC), which depends on the pH and is directly proportional to concentration of clay, content of organic matter and its granular size. Chemical analyses were performed for the determination of chemical contaminants in the mud (according to CONAMA), and analysis of soil fertility (Commission of Chemistry and Soil Fertility RS / SC) for the study of its use. Thus, the study of the residue of the dredged material is of great importance for the costs of operation, for the use of this material and for care with environment. The waste studied was deposited in basins of sedimentation in 2001. In 2006 this area showed a great development of vegetation where that the mud was deposited, indicating the potential of the residue, which was proven by analyses.

KEY-WORDS: dredging, waste, improved soil, agriculture, mud.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABELAS.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVOS.....	14
1.1.1 Geral.....	14
1.1.2 Específicos.....	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 DRAGAGENS EM RIO GRANDE.....	17
2.2 TIPOS DE DRAGAGEM.....	19
2.3 TIPOS DE DRAGAS.....	20
2.3.1 Dragas Mecânicas.....	20
2.3.2 Dragas Hidráulicas.....	24
2.4 DRAGAGEM AMBIENTAL.....	27
2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS DA DRAGAGEM (DIRETOS E INDIRETOS).....	28
2.6 USO DO MATERIAL DE DRAGAGEM.....	29
2.7 EROSÃO DO SOLO AGRÍCOLA.....	30
2.7.1 Efeito econômico.....	31
2.7.3 Preparo e manejo do solo.....	31
2.8 O SOLO.....	31
2.8.1 Contaminantes Inorgânicos.....	32
2.8.2 Propriedades Físicas dos Solos.....	33
2.8.3 Propriedades Químicas dos Solos.....	35
2.9 DISPERSÃO E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS RESSUSPENDIDOS.....	36

2.10 RECUPERAÇÃO E USO BENÉFICO DE MATERIAL DRAGADO CONTAMINADO.....	37
2.11 PRODUTOS DE SOLO PARA ENGENHARIA.....	37
2.12 USO E VALOR DO TERRENO RECUPERADO.....	38
2.12.1 Construção de aterros.....	39
2.12.2 Acreção de praia.....	40
2.12.3 Outros usos benéficos.....	40
3 PROPRIEDADES DO SEDIMENTO.....	42
3.1 MATÉRIA ORGÂNICA.....	42
3.2 METAIS.....	43
3.3 CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA (CTC).....	44
3.4 pH.....	45
3.5 CARBONO ORGÂNICO.....	46
3.6 NITROGÊNIO TOTAL.....	46
3.7 OUTROS ELEMENTOS.....	46
3.8 FERTILIDADE DE SOLOS – CLASSIFICAÇÃO.....	47
3.8.1 Acidez do solo	47
3.8.2 Teores de argila, matéria orgânica e Capacidade de troca de cátions	48
3.8.3 Fósforo	49
3.8.4 Potássio.....	49
3.8.5 Teores de cálcio, magnésio	50
3.8.6 Teores de micronutrientes.....	51
3.8.7 Teores de sódio.....	51
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	53
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	53
4.2 AMOSTRAS.....	55
4.3 PROCESSAMENTO DA AMOSTRA E ANÁLISE DE METAIS.....	59
4.3.1 Lavagem do material usado para a marcha analítica.....	59

4.3.2 Secagem da amostra.....	60
4.3.3 Análise de metais – Digestão e leitura das amostras	60
4.3.4 Análise de Mercúrio.....	63
4.4 MÉTODOS PARA ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO.....	65
4.4.1 Teor de argila.....	65
4.4.2 pH do solo.....	65
4.4.3 Necessidade de calcário.....	65
4.4.4 Acidez potencial (H+Al).....	66
4.4.5 Fósforo extraível pelo método Mehlich-1.....	66
4.4.6 Potássio extraível.....	66
4.4.7 Matéria orgânica.....	67
4.4.8 Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis.....	67
4.4.9 Capacidade de troca de cátions (CTC).....	67
4.4.10 Diagnóstico da disponibilidade de enxofre e de micronutrientes (métodos de extração).....	68
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	70
6 CONCLUSÃO.....	80
ANEXO.....	81
A.1 RESOLUÇÃO CONAMA 344/2004	81
A.2 TABELA PARA REQUISITOS MÍNIMOS DE QUALIDADE DO LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO DESTINADO A AGRICULTURA – CONAMA – 375/06.....	91
A.3 TABELA PARA OS VALORES ORIENTADORES PARA DISPOSIÇÃO DE MATERIAL DRAGADO EM SOLO DA CETESB – RESOLUÇÃO 39/2004.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2. 1 – DRAGA DE CAÇAMBA.....	21
FIGURA 2. 2 – DRAGA ESCAVADEIRA.....	21
FIGURA 2. 3 – DRAGA DE ALCATRUZES.....	22
FIGURA 2. 4 – DRAGA DE CAÇAMBA, NO PORTO DO RIO GRANDE.....	23
FIGURA 2. 5 – DRAGA DE SUÇÃO.....	25
FIGURA 2. 6 – OVERFLOW NA DRAGA MACAPÁ.....	26
FIGURA 2. 7 – ESQUEMA DA DRAGA MACAPÁ.....	27
FIGURA 2. 8 – FOTO DA DRAGA MACAPÁ NO PORTO DO RIO GRANDE.....	27
FIGURA 4. 1 – IMPLANTAÇÃO DAS BACIAS DE SEDIMENTAÇÃO EM 2001.....	53
FIGURA 4. 2 – BACIAS DE SEDIMENTAÇÃO COM A LAMA.....	54
FIGURA 4. 3 – LAGOA OESTE EM 2001(ESQUERDA) E 2006 (DIREITA).....	54
FIGURA 4. 4 – LAGOA LESTE EM 2001(ESQUERDA) E 2006 (DIREITA).....	55
FIGURA 4. 5 – ESQUEMA DAS BACIAS E PONTOS DE AMOSTRAS.....	56
FIGURA 4. 6 – IMPERMEABILIZAÇÃO PARCIAL DO FUNDO DA BACIA DE DECANTAÇÃO 2.....	56
FIGURA 4. 7 – TUBOS SHELBY COM AS AMOSTRAS.....	57
FIGURA 4. 8 – LAMA RETIRADA EM BALDES.....	57
FIGURA 4. 9 – TUBO SHELBY, RETIRANDO A AMOSTRA NO EXTRATOR DE AMOSTRAS INDEFORMÁVEIS.....	58
FIGURA 4. 10 – AMOSTRA RETIRADA DO SHELBY E CORTADA.....	59
FIGURA 4. 11 – SISTEMA DE AQUECIMENTO DOS BÉQUERS (ETAPAS 2 E 3).....	62
FIGURA 4. 12 – BÉQUERS ABERTOS (ETAPAS 4 E 5).....	62
FIGURA 4. 13 – APÓS A TRANSFERÊNCIA PARA OS BALÕES (ETAPA 6).....	63
FIGURA 4. 14 – AMOSTRA SECA.....	64
FIGURA 4. 15 – AMOSTRA EM SOLUÇÃO ÁCIDA À TEMPERATURA AMBIENTE EM CAPELA ATÉ QUE OS FUMOS EXCESSIVOS PAREM.....	64
FIGURA 5. 1 – TEOR DE MANGANÊS NOS TUBOS SHELBY.....	72
FIGURA 5. 2 – TEOR DE COBRE E SEUS VALORES DE REFERÊNCIA PELO CONAMA E CETESB.....	73
FIGURA 5. 3 – TEOR DE ZINCO E SEUS VALORES DE REFERÊNCIA PELO CONAMA E CETESB.....	73

FIGURA 5. 4 – TEOR DE FERRO NOS TUBOS SHELBY.....	74
FIGURA 5. 5 – TEOR DE NÍQUEL E SEUS VALORES DE REFERÊNCIA PELO CONAMA E CETESB.....	74
FIGURA 5. 6 – TEOR DE CROMO E SEUS VALORES DE REFERÊNCIA PELO CONAMA E CETESB.....	75
FIGURA 5. 7 – TEOR DE CÁDMIO E SEUS VALORES DE REFERÊNCIA PELO CONAMA E CETESB.....	75
FIGURA 5. 8 – TEOR DE CHUMBO E SEUS VALORES DE REFERÊNCIA PELO CONAMA E CETESB.....	76

LISTA DE TABELAS

TABELA 2. 1 – PRINCIPAIS TIPOS DE DRAGAS E A CATEGORIA NA QUAL ESTÁ INCLUÍDA.....	20
TABELA 2. 2 – CARACTERÍSTICAS DA DRAGA MACAPÁ.....	26
TABELA 3. 1 – TEORES MÉDIOS MUNDIAIS DE CONCENTRAÇÃO DE METAIS	44
TABELA 3. 2 – CTC DE CONSTITUINTES DO SOLO.....	45
TABELA 3. 3 – INTERPRETAÇÃO DOS VALORES DE PH EM ÁGUA, SATURAÇÃO DA CTC POR BASES E POR ALUMÍNIO.....	48
TABELA 3. 4 – INTERPRETAÇÃO DOS TEORES DE ARGILA, MATÉRIA ORGÂNICA E CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIOS.....	48
TABELA 3. 5 – INTERPRETAÇÃO DO TEOR DE FÓSFORO NO SOLO EXTRAÍDO PELO MÉTODO MEHLICH-1 CONFORME O TEOR DE ARGILA.....	49
TABELA 3. 6 – INTERPRETAÇÃO DO TEOR DE POTÁSSIO CONFORME AS CLASSES DE CTC DO SOLO A PH 7,0.....	50
TABELA 3. 7 – INTERPRETAÇÃO DOS TEORES DE CÁLCIO E MAGNÉSIO TROCÁVEIS DO SOLO.....	50
TABELA 3. 8 – INTERPRETAÇÃO DOS TEORES DE MICRONUTRIENTES NO SOLO.....	51
TABELA 5. 1 – TEORES DOS METAIS PESADOS, EM PESO SECO (MN, CU, ZN, FE, NI, CR, CD, PB, HG) E ARSÊNIO NAS AMOSTRAS ANALISADAS;.....	70
TABELA 5. 2 – DIAGNÓSTICO PARA CALAGEM DO SOLO.....	71
TABELA 5. 3 – DIAGNÓSTICO PARA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO NPK..	71
TABELA 5. 4 – DIAGNÓSTICO PARA MICRONUTRIENTES E RELAÇÕES MOLARES.....	71
TABELA 5. 5 – TEORES DE SÓDIO E POTÁSSIO CONVERTIDOS A CMOLC/DM3.	78
TABELA 5. 6 – PERCENTUAL DE SATURAÇÃO DE SÓDIO NAS AMOSTRAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

A dragagem pode ser considerada como o ato de retirada de material do leito dos corpos d'água com uma finalidade específica, através de equipamentos denominados “draga”, a qual é, geralmente, uma embarcação ou plataforma flutuante equipada com mecanismos necessários para se efetuar a remoção do material. Os principais objetivos da dragagem são o aprofundamento e alargamento de canais em rios, portos e baías; a construção de diques e a preparação de fundações para construção de pontes e outras estruturas.

A atividade de dragagem é enquadrada como uma atividade potencialmente poluidora. Diante deste fato se faz necessário o licenciamento ambiental baseado em estudos ambientais.

Diante da necessidade de subsidiar e harmonizar a atuação dos órgãos ambientais, em nível nacional, no que se refere ao processo de licenciamento ambiental das atividades de dragagem, o CONAMA estabelece as diretrizes gerais à avaliação do material a ser dragado para o gerenciamento de sua disposição em áreas jurisdicionais brasileiras (Resolução 344/2004 – ANEXO I).

O processo de dragagem também é utilizado para a exploração de depósitos minerais, diamantes e recursos marinhos de valor comercial tais como alguns tipos de moluscos. Os historiadores relatam que a dragagem é uma arte muito antiga. Vestígios do trabalho humano envolvendo técnicas primitivas de dragagem foram encontrados em muitos locais da Terra e trata-se de sinais que datam milhares de anos antes de Cristo. Em tais circunstâncias a embarcação era provavelmente uma canoa, e o meio de escavação uma pá manuseada por uma pessoa.

Na Europa, os pioneiros na construção de canais foram os italianos, porém os franceses prezam pela quantidade e extensão de seus canais. Atualmente, os holandeses são os que mais investem em tecnologia para a construção de canais para a drenagem de seu território.

O estudo do uso do resíduo da dragagem para corrigir as deficiências dos solos é feito como uma alternativa para esses rejeitos.

A utilização certa do solo com a finalidade de se obter as maiores colheitas, sem, entretanto prejudicar a sua fertilidade deverá ser a máxima preocupação da agricultura. Entende-se por solo, sob o ponto de vista agrícola, a camada superficial da crosta terrestre em

que se apóiam e se nutrem as plantas. Esta camada é constituída por fragmentos e partículas de rocha em diferentes fases de divisão e decomposição, de mistura com água e substâncias químicas dissolvidas na água, ar, organismos vivos e, por último, matéria orgânica, resultante da decomposição de animais e vegetais em diferentes fases de decomposição. A proporção em que estes materiais entram na constituição do solo varia bastante, sendo uma função especialmente do material de origem e da topografia.

Os solos da região do Rio Grande possuem uma característica arenosa, sendo necessário o uso de fertilizantes ou aditivos para corrigir as suas deficiências. Existem algumas propostas para o aumento da produtividade dos solos da região. Devido à grande quantidade de material dragado e a freqüente necessidade de dragagens na região, uma proposta é a utilização desse sedimento misturado ao solo para correção deste.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão sobre as obras de dragagens realizadas no porto do Rio Grande e os tipos de dragas que podem ser utilizadas; os impactos gerados pela operação. Também será mostrado o uso do material dragado, características de solos e erosão, e efeitos do uso de aditivos para correção e melhoramento dos solos. Será apresentada a caracterização do material para usos benéficos, seus contaminantes e suas propriedades físicas e químicas e a presença de sedimentos ressuspensos; além dos produtos de solo para uso em engenharia, como aterros, acreção de praia e outros usos benéficos. A seguir, no capítulo 3 serão apresentadas as propriedades do sedimento, análises geoquímicas e químicas e padrões para cada análise de fertilidade segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. No capítulo 4 será mostrado o procedimento experimental, com detalhes sobre cada análise feita nas amostras. Na etapa final do trabalho será apresentado no capítulo 5 os resultados e a discussão destes e no capítulo 6, a conclusão final.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Este trabalho tem por objetivo analisar o material dragado e determinar suas propriedades físicas e químicas e a possibilidade do seu uso como fertilizante e como solo fabricado para fins agrícolas.

1.1.2 Específicos

O objetivo específico deste trabalho é a determinação da presença de metais contaminantes no material sedimentar para sua disposição no solo.

1.2 JUSTIFICATIVA

A necessidade de se manter a profundidade do porto é de fundamental importância para a movimentação portuária atual, que depende fundamentalmente da capacidade de carga dos navios, que é cada vez maior, assim destaca-se a importância do porto de Rio Grande para toda a região sul do Brasil. Como navios de grande capacidade apresentam suas dimensões proporcionalmente grandes, incluindo seu calado, e se observa um assoreamento natural e antropogênico dos canais de navegação presentes no estuário da Laguna dos Patos, a dragagem é necessária para se manter o calado do canal.

Os resultados da caracterização física e química fornecem uma base de dados para avaliar se o material dragado é adequado para a alternativa proposta no trabalho. A decisão deverá levar em conta, além dos aspectos econômicos, os impactos ambientais e a avaliação da contaminação. Na dragagem de manutenção do Porto de Rio Grande o descarte do material dragado é realizado em mar aberto a treze milhas náuticas da costa. Como alternativa a este descarte, foi feito o estudo do uso desse resíduo como solo fabricado para fins agrícolas.

O solo é o principal substrato utilizado pelas plantas para seu crescimento e disseminação, fornecendo água, ar e nutrientes, além de outras funções como regular a distribuição e infiltração de água, armazenamento e ciclagem de nutrientes para plantas. Como o solo é um recurso natural dinâmico, é passível de degradação em função do seu uso inadequado, acarretando um desequilíbrio ambiental.

O conhecimento dos teores de nutrientes disponíveis no solo orienta na formulação das recomendações para a adubação das plantas, evitando-se o desperdício e o uso inadequado de adubos e corretivos. O diagnóstico da fertilidade do solo é uma das ferramentas fundamentais que pode conduzir ao melhor aproveitamento dos recursos de uma unidade de produção, e por extensão ao processo mais amplo de desenvolvimento agrícola e rural.

Este trabalho iniciou com o projeto de pesquisa: Sítios de Despejos de Dragagens em Rio Grande: Uma Alternativa Para Uso Como Recurso Renovável, da FAPERGS, pelo professor Cláudio Dias. Suas pesquisas foram iniciadas e as bacias de sedimentação foram implantadas na dissertação de mestrado em Engenharia Oceânica da Eng. Vanessa Kerstner. O material dragado do Porto Novo foi depositado em bacias de sedimentação que foram implantadas para o estudo geotécnico da lama dragada. A partir destes, iniciou-se a pesquisa para o estudo da fertilidade deste resíduo, devido à grande quantidade de nutrientes presentes no sedimento e a sua utilização para melhorar o solo arenoso da região da cidade do Rio Grande.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define o lixo como qualquer coisa que o ser proprietário não quer mais e que não possui valor comercial. Seguindo esta lógica, assumindo que parte dos resíduos gerados nas diversas atividades humanas ainda possui valor comercial se for manejado adequadamente, deve-se adotar uma nova postura e assumir o resíduo como uma matéria-prima potencial. Considerando a complexidade das atividades humanas, podemos imaginar que o resíduo de uma atividade pode ser utilizado para outra, e assim sucessivamente, de forma sistêmica e integrada. Por isso a suma importância do destino dado a este resíduo, que afeta o preço do processo de dragagem e o cuidado com o meio ambiente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DRAGAGENS EM RIO GRANDE

A dragagem freqüente torna-se um problema para a Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG), que tem a responsabilidade de dar condições de operacionalidade ao Porto do Rio Grande e aos demais portos da Laguna dos Patos.

Em março de 2008, iniciou a dragagem de manutenção do calado de 31 pés junto ao cais do Porto Novo do Rio Grande. A retirada de sedimentos possui autorização do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), visto que a atual Licença de Operação do Porto do Rio Grande já inclui a dragagem de manutenção. Para a execução destes serviços foram utilizados os equipamentos do parque de dragagem da Superintendência do Porto do Rio Grande (SUPRG). Foi utilizada uma draga de alcatruzes, própria para atuar junto a linha de cais, sendo dragado a 20 metros da murada do cais.

Com o objetivo de aprofundar o canal de acesso ao Porto do Rio Grande, possibilitando assim a passagem de navios de maior porte, em maio de 2001 foi iniciada a ampliação dos Molhes da Barra. Em dezembro de 2002 as obras foram paralisadas, após a execução de 25% do seu avanço físico, devido a intervenções do Tribunal de Contas da União (TCU) e do Ministério Público Federal de Rio Grande (MPF), culminando com o vencimento em julho de 2004 da licença de instalação emitida pelo IBAMA. Em janeiro de 2007 foram retomadas as obras em caráter emergencial, devido ao iminente risco à navegação causado pela movimentação das pedras já lançadas. Em junho de 2008 foram iniciadas as obras de prolongamento dos molhes da Barra (Porto do Rio Grande).

Os motivos que levaram a pesquisa com a dragagem:

a) A dragagem gera um rejeito, que tem potencial econômico se aproveitado de forma adequada, conforme pode ser visto em países desenvolvidos.

b) A dragagem gera um problema ambiental que tem dois extremos: o processo de dragagem em si, e o processo de deposição do material em sítios, em especial, se estes sítios forem em condições submersas, o que tem acontecido nestes últimos anos na área portuária de Rio Grande e plataforma continental adjacente.

Para se reunir informações necessárias a um projeto de dragagem e despejo de material dragado, necessita-se:

a) Analisar o local de dragagem e a quantidade a ser dragada, bem como seu futuro uso: a escolha dos locais de depósito de material dragado é o maior problema de uma dragagem. Para se fazer projeções em longo prazo devem-se manter registros das quantidades dragadas e dos intervalos de manutenção para a previsão de futuras dragagens.

b) Determinar as características físicas e químicas dos sedimentos: no planejamento de uma dragagem, a remoção ou escavação torna-se um grande problema, sendo necessárias medidas de campo e computacionais para que se possa determinar o local, as características e a quantidade do material a ser dragado. As características do material dragado determinam o projeto de dragagem, e até certo ponto, as exigências de despejo.

Amostras dos sedimentos devem ser retiradas do material na profundidade em que será removido, durante o anteprojeto da dragagem. Para dragagem de manutenção de cursos naturais, as amostras devem ser retiradas antes de cada dragagem. A quantidade de amostras retiradas deve ser tal que se tenha certa precisão sobre as características do material a ser dragado. Análises de laboratório são necessárias para prover informações para o projeto formal de dragagem, avaliando e projetando alternativas de despejo, projetando inclinações de canais e dique de retenção e avaliando a capacidade de armazenamento de áreas de despejo de material dragado.

c) Avaliar a possibilidade de depósitos alternativos: as maiores considerações na escolha de alternativas de despejo são os impactos ambientais e econômicos da operação de despejo.

d) Avaliar as exigências do projeto de dragagem: de acordo com os dados do antigo DEPREC (SUPRG), 83% do volume total dragado nos últimos 15 anos provem do canal de acesso ao Porto Novo. Monitoramentos de um trecho de praia de comprimento aproximado de 3 km ao norte do molhe leste indicam que existe erosão localizada num trecho próximo ao molhe. Certificando-se que o material dragado do canal de acesso ao Porto Novo seja predominantemente arenoso, o despejo em profundidades reduzidas (6 m) e afastadas cerca de 2 milhas da raiz do molhe poderia ser benéfico ao sentido de propiciar o engordamento do trecho de praia em erosão e do próprio enraizamento do molhe, o qual é sujeito a um problema crônico de erosão, tendo inclusive rompido diversas vezes nos últimos 20 anos (atualmente está consolidado pelo enrocamento construído pelo consórcio que recuperou o molhe leste) (Kerstner, 2003).

A existência de sítios mais distantes, como nas imediações da barra, apresenta alguns inconvenientes, como a maior distância, o que aumenta o custo da dragagem, podendo multiplicar por 3 o valor do mesmo, dependendo da profundidade a ser escolhida.

Sabe-se que a contínua deposição de sedimentos sobre um determinado local cria um efeito de “shoaling” (diminuição da profundidade) com a formação de bancos de areia. Porém, no local de despejo das dragagens realizadas no porto de Rio Grande, não se tem conhecimento da batimetria do sítio de despejo citado acima, nem de seu comportamento.

Um estudo realizado em 1972 pelo Instituto de Pesquisas Radioativas da Universidade Federal de Minas Gerais, em conjunto com o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Bandeira (2006), mostrou o ativo comportamento hidráulico da região através de radioisótopos adicionados ao sedimento, servindo como um mecanismo trapeador. Através da retirada de sedimentos do Canal do Porto Novo e sua caracterização radioativa, este experimento teve por finalidade verificar o comportamento deste sedimento caso ele fosse lançado na Coroa de Dona Mariana (em frente ao Superporto, porção final do Canal de Rio Grande), verificando se ele voltaria ou não à região de origem. Assim, ele concluiu que o material se movimenta rapidamente para fora do local de despejo ocorrendo grande espalhamento em direção à desembocadura do canal. Observou-se, também, que em épocas de fluxo mais intenso, o material que cai no canal se movimenta rapidamente, sendo recolocado em suspensão.

2.2 TIPOS DE DRAGAGEM

O processo de dragagem apresenta-se dividido em dois grupos que são a dragagem inicial na qual é formado o canal artificial com a retirada de material virgem, e as dragagens de manutenção, para a retirada de material sedimentar depositado recentemente, com a finalidade de manter a profundidade do canal propiciando a movimentação de embarcações de vários tamanhos em portos e marinas (Bray, et al., 1997).

Um terceiro tipo de dragagem em fase de implantação em muitas partes do mundo é a “dragagem ambiental”, a qual procura remover uma camada superficial de sedimento contaminado por compostos orgânicos e inorgânicos, sem que haja a ressuspensão destes contaminantes.

2.3 TIPOS DE DRAGAS

Existem diversos tipos de draga utilizados comumente neste tipo de operação, as quais são classificadas em mecânica, hidráulica e mista (mecânica/hidráulica), sendo que cada uma destas possui diferentes tipos de mecanismo e operação. A Tabela 2.1 mostra os principais tipos de dragas e suas respectivas categorias (Bray et al., 1997).

Tabela 2. 1 – Principais tipos de dragas e a categoria na qual está incluída.

Categoria	Tipo
Mecânica	Dragas de alcatruzes (bucket dredge)
	Dragas de caçambas (grab dredge)
	Dragas escavadeiras (dipper dredge)
Hidráulica	Dragas de sucção (suction dredge)
	Dragas de sucção com desagregadores (cutter suction dredge)
	Dragas auto-transportadoras
	(trailing hopper dredge)

2.3.1 Dragas Mecânicas

As dragas mecânicas são utilizadas para a remoção de cascalho, areia e sedimentos muito coesivos, como argila, turfa, e silte altamente consolidado. Estas dragas removem sedimentos de fundo através da aplicação direta de uma força mecânica para escavar o material, independente de sua densidade. Os principais tipos de dragas mecânicas são as escavadeiras flutuantes (tais como as de caçamba e as de garras) e as dragas de alcatruzes (também conhecidas por “bucket ladder”, estas dragas dispõem de uma corrente sem fim com caçambas que trazem o material de fundo até uma esteira montada em uma lança que eleva e projeta o material dragado a certa distância, ou o despeja em outra embarcação). Os sedimentos escavados com a utilização de dragas mecânicas são geralmente transportados em

barcas ou barcaças, dependendo do volume a ser transportado. As dragas mecânicas podem ser vistas nas Figuras 2.1 à 2.3.

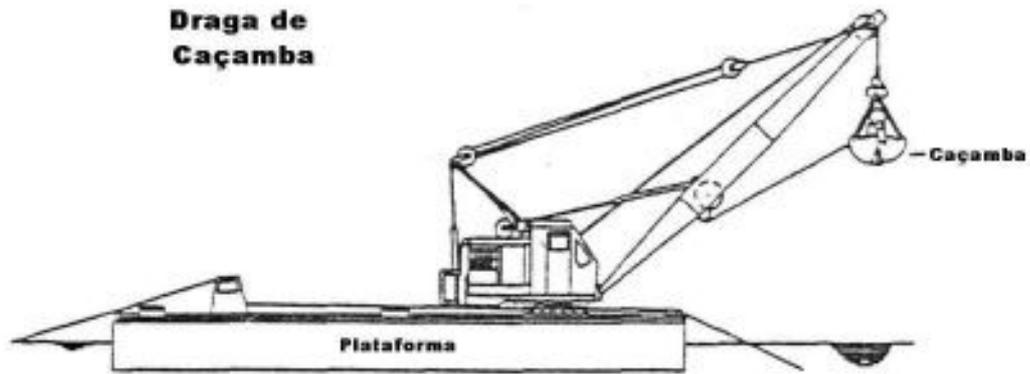


Figura 2. 1 – Draga de caçamba

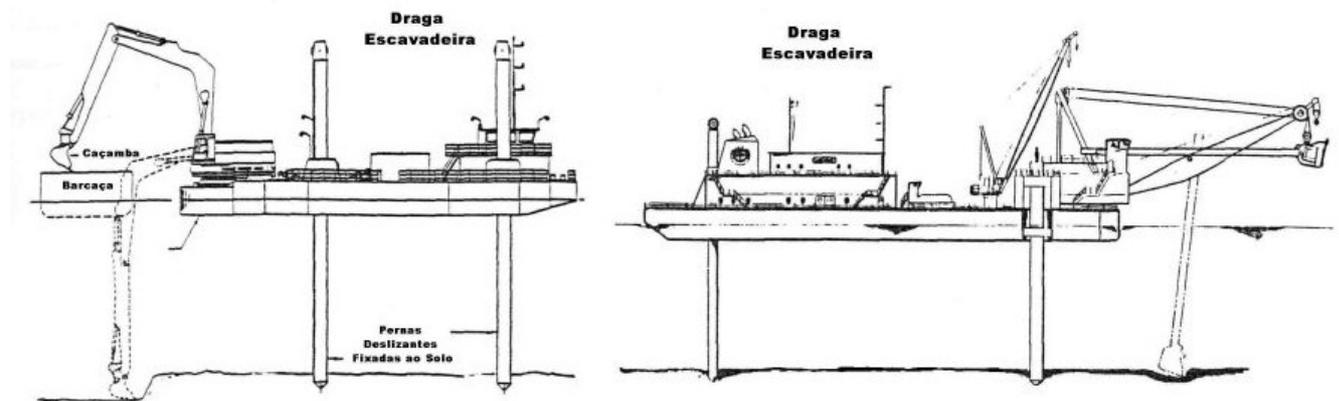


Figura 2. 2 – Draga escavadeira

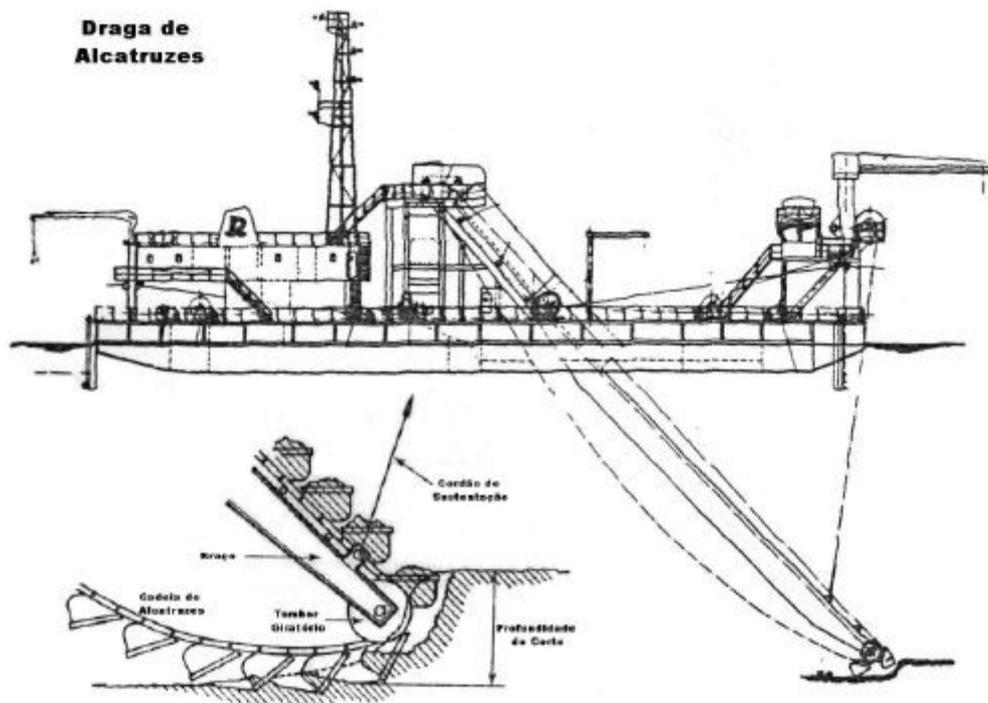


Figura 2. 3 – Draga de Alcatruzes

Fonte: Davis et al. (1990) e Bray et al. (1997).

Na Figura 2.4, é apresentada uma seqüência de fotos de uma draga de caçamba, atuando no porto do Rio Grande.



Figura 2. 4 – Draga de caçamba, no Porto do Rio Grande

2.3.2 Dragas Hidráulicas

No Brasil as dragas hidráulicas são muito utilizadas para manutenção do calado dos portos, e nos Estados Unidos, elas respondem por aproximadamente 95% das atividades de dragagem. Estas dragas são mais adequadas para a remoção de areia e silte pouco consolidado, removendo e transportando o sedimento na forma líquida. São em geral bombas centrífugas, acionadas por motores a diesel ou elétricos, montadas sobre barcas e que descarregam o material dragado através de tubulações que variam de 0,15 m a 1,2 m de diâmetro, mantidas sobre a água através de flutuadores. A bomba produz vácuo na entrada da tubulação e a pressão força água e sedimento através da tubulação. Estas dragas não podem operar com material que contenha grandes pedras.

A draga de sucção mostrada na Figura 2.5 é do tipo aspiradora e cortadora. Nas aspiradoras, a sucção é feita por meio de um grande bocal de aspiração, como o dos aspiradores de pó. Com o auxílio de jatos de água, o material é desagregado e, através de aberturas no bocal, é aspirado e levado junto com a água aos tubos de sucção. A draga opera contra a corrente, podendo fazer cortes em bancos de material sedimentado de até 10 metros de largura. Cortes mais largos podem ser conseguidos por uma série de cortes paralelos. Este tipo de bocal é utilizado quando se tratar de material fino e de fraca coesão, em cortes rasos, não cortando material coesivo e não podendo fazer cortes em bancos cujo material pode desmoronar sobre o bocal e impedir a sucção. As características específicas de uma draga dependem das bombas e da fonte de energia escolhida. A máxima extensão de corte que uma draga desse tipo pode realizar é da ordem de 1.100 metros. Como essas dragas se deslocam corrente acima com bastante rapidez, não é conveniente dispor de tubulação em terra ligadas a elas, e sim ligadas a barcas; e para maior eficiência, a tubulação de recalque não deve ter mais de 300 metros de comprimento, nem se elevar acima de 1,5 metros do nível da água (Linsley e Franzini, 1978).

As dragas de sucção cortadoras dispõem de um rotor aspirador, equipado com lâminas que desagregam o material já consolidado para que este possa ser aspirado para o interior do tubo de sucção que se insere no núcleo do rotor. O funcionamento é idêntico ao da aspiradora, porém apresentam maior eficiência, e ao invés de atuarem numa linha reta, o movimento da draga descreve a trajetória de um arco. Uma variação deste tipo de draga, são as auto-transportadoras, as quais são navios, com tanques (cisterna) de fundo móvel, onde o material

dragado é depositado, sendo a seguir transportado para o mar onde é descarregado, dispensando o uso de barcaças.

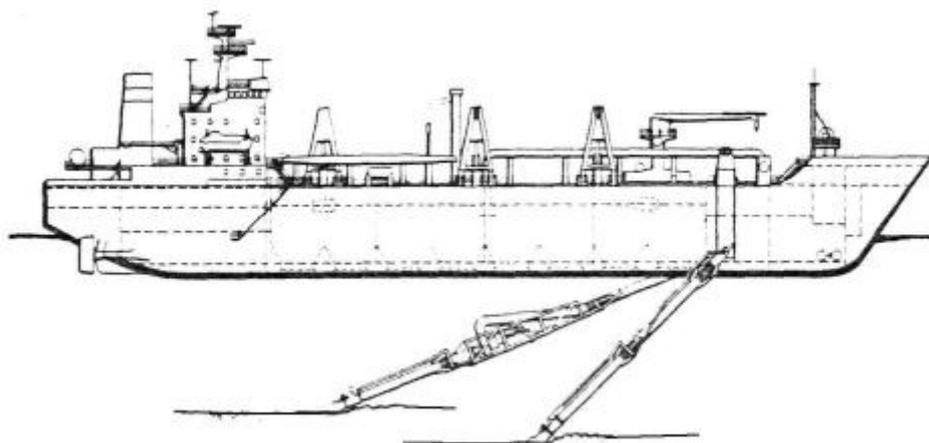


Figura 2. 5 – Draga de sucção.

As dragas hidráulicas ao aspirarem o sedimento, trazem junto uma grande quantidade de água. Conforme os tanques das barcaças e de dragas auto-transportadoras vão se enchendo, é necessário eliminar esta água excedente fazendo-a transbordar para fora da embarcação. Este processo chama-se “overflow” e ele é mostrado na Figura 2.6.

A draga auto-transportadora utilizada na dragagem do porto do Rio Grande foi a draga Macapá, com características mostradas na Tabela 2.2, e seu esquema e foto mostrados nas Figuras 2.7 e 2.8.



Figura 2. 6 – Overflow na draga Macapá

Tabela 2. 2 – Características da draga Macapá

Construtor	IHC-SMIT BV-HOLAND	Volume de cisterna	5.600 m ³
Ano da construção	1976 - rebuilt 2000	Potência total Instalada	15.500 HP
Tipo	Autotransportadora TSHD	Potência de propulsão	6.000 HP
Bandeira	Brasileira	Potência de geração	CA: 2.250 HP
Porto de registro	Rio de Janeiro	Potência da bomba de dragagem	4000 HP
		Potência de desagregação	
Comprimento	106,60m	Hidráulica	1.500 HP
Boca	18,30m	Potência de bombeamento	7.000 HP
Pontal	9,70m	Potência Bowthuster	500 HP
Calado	8,50m	Profundidade de dragagem	24/32 m (2 tubos)
Capacidade de carga	10.000ton	Velocidade	12 nós

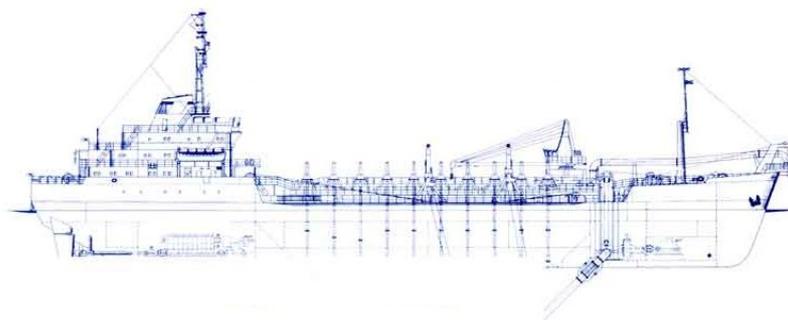


Figura 2. 7 – Esquema da draga Macapá



Figura 2. 8 – Foto da draga Macapá no Porto do Rio Grande

2.4 DRAGAGEM AMBIENTAL

A dragagem ambiental é um processo muito diferente da dragagem de manutenção, assim como os equipamentos utilizados em ambos os casos. Enquanto a dragagem de manutenção tem como principal meta manter, satisfatoriamente, as profundidades de portos, rios e canais propiciando a navegação, a dragagem ambiental visa a retirada de uma determinada quantidade de sedimentos contaminados.

Na dragagem de manutenção ocorre a retirada de forma rápida de uma grande quantidade de material sedimentar, sendo que muitas vezes não se é dada a devida importância ao manejo do material dragado. Por outro lado, na dragagem ambiental existem

procedimentos rigorosos aplicados tanto à operação de dragagem, quanto ao transporte e manejo deste material, assim como de sua disposição.

O tipo de draga utilizado na dragagem ambiental é uma draga hidráulica especialmente adaptada, desenvolvida no Japão e na Holanda, e que pode retirar sedimentos finos contaminados com um mínimo de ressuspensão. As principais adaptações para este tipo de draga são, a utilização de escudos e telas (cortina de silte) ao redor do sítio de dragagem, operação da draga em velocidades reduzidas e o processo de “overflow” deve ser evitado, mantendo a mistura água/sedimento na cisterna da embarcação.

A dragagem ambiental, para que seja considerada eficaz, deve cumprir os seguintes objetivos:

- ⊕ Minimizar a dispersão de sedimentos contaminados para as áreas adjacentes ao sítio de dragagem. Isto é possível diminuindo o processo de ressuspensão e redeposição, evitando a fuga de material dragado através de eventuais furos na tubulação da draga e evitando a prática do “overflow”;

- ⊕ O manejo, tratamento e despejo (disposição) dos rejeitos de dragagem (tanto água quanto sedimento) devem ser feitos de maneira segura no aspecto ambiental e de forma aceitável no aspecto social;

- ⊕ A operação deve ser completada no menor tempo possível, obtendo a máxima remoção de sedimentos contaminados e a mínima remoção de água e sedimentos limpos.

2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS DA DRAGAGEM (DIRETOS E INDIRETOS)

Os impactos ambientais associados ao processo de dragagem e despejo do material dragado podem ser caracterizados por apresentarem efeitos diretos sobre habitats e organismos, ou indiretos, atribuídos a alterações na qualidade da água. Distúrbios físicos, associados à remoção e realocação de sedimentos, provocam a destruição de habitats bentônicos, aumentando a mortalidade destes organismos através de ferimentos causados por ação mecânica durante a dragagem, ou por asfixia conforme estes são sugados pela draga. Quanto ao efeito indireto, a ressuspensão do sedimento de fundo remobiliza contaminantes e nutrientes afetando a qualidade da água e a química global do estuário.

Antes de se realizar qualquer operação de dragagem, algumas análises devem ser feitas para se estabelecer uma grande variedade de parâmetros essenciais no processo de planejamento e seleção dos métodos de dragagem, são eles:

- ⊕ Avaliação meteorológica para estabelecer padrões de vento tanto no sítio de dragagem quanto no de despejo do material dragado e a incidência de chuvas fortes e nevoeiro, os quais podem afetar a operação;
- ⊕ Estudos hidrológicos para medir as marés, correntes e ondas e definir a forma do leito do canal a ser dragado, assim como do sítio de despejo;
- ⊕ Estudos geológicos e geotécnicos para determinar a natureza dos materiais a serem dragados, usados ou descartados;
- ⊕ Estudos ambientais para identificar os efeitos potenciais destas operações no ambiente, tanto durante a execução do trabalho, quanto após sua conclusão e estabelecer condições com as quais os resultados de monitoramentos ambientais subsequentes possam ser comparados;
- ⊕ Uma avaliação geral para estabelecer restrições operacionais, estatutárias e legais as quais podem afetar o trabalho.

2.6 USO DO MATERIAL DE DRAGAGEM

A construção de aterros para recuperação de áreas é talvez o uso mais conhecido do material de dragagem. No passado, se o material não fosse necessário para aterro, era geralmente lançado ao mar. Como resultado da crescente poluição do ambiente marinho, o uso para o material dragado, e principalmente, a maneira de sua deposição, têm tornado-se imprescindíveis.

Normas nacionais como o CONAMA e CETESB e acordos internacionais regulamentando a disposição de rejeitos de dragagem têm sido elaborados mais extensivamente, e um dos efeitos disto tem sido o estímulo, e em alguns casos o empenho para que os engenheiros oceânicos encontrem uso para os materiais dragados, que normalmente são considerados sem valor. O estudo do uso do resíduo da dragagem para corrigir as deficiências dos solos é feito como uma alternativa para estes rejeitos. Com essa opção, se podem reduzir os custos da operação e ainda, melhorar os solos de maneira a não

poluir o meio ambiente e com baixos custos, já que se utiliza o resíduo de um processo que deve ser realizado periodicamente. Para isso, devem-se estudar também as características dos solos para determinar sua fertilidade e a necessidade de corretivos, e as características da lama, para determinar se ela se adapta a este tipo de utilização.

2.7 EROSÃO DO SOLO AGRÍCOLA

A erosão do solo é o arrastamento das partículas de solo com todos os elementos nutritivos. O deslocamento e transporte de partículas de solo, matéria orgânica, elementos químicos, colocando estes em lugar onde dificilmente serão utilizados.

A camada superficial é denominada de solo agrícola; que é a parte fértil. E os elementos formadores do solo são os minerais, matéria orgânica, ar e água. É nesta camada superficial onde o homem cultiva os alimentos necessários à sua vida e de seus semelhantes. Abaixo desta, fica outra camada, denominada subsolo, onde os elementos úteis às plantas estão ainda em forma bruta, de modo que as raízes das plantas não podem retirar os nutrientes de que necessitam (Schultz, 1987).

O arraste de partículas depende da velocidade de arraste, pois quanto maior a velocidade, maior será o tamanho de partículas arrastadas.

As matas ciliares (vegetação que ocorre nas margens de rios e mananciais) são fundamentais para o equilíbrio ecológico, oferecendo proteção para as águas e o solo, reduzindo o assoreamento de rios, lagos e represas e impedindo o aporte de poluentes para o meio aquático. Formam, além disso, corredores que contribuem para a conservação da biodiversidade; fornecem alimento e abrigo para a fauna; constituem barreiras naturais contra a disseminação de pragas e doenças da agricultura; e, durante seu crescimento, absorvem e fixam o dióxido de carbono, um dos principais gases responsáveis pelas mudanças climáticas que afetam o planeta. Essas formações arbóricas variam de acordo com a região onde se encontram e a vegetação que predomina no local. Podendo ser encontradas do norte ao sul do Brasil, apresentam uma notável biodiversidade arbórica.

As matas ciliares são consideradas pelo Código Florestal Federal como "área de preservação permanente", com diversas funções ambientais, devendo respeitar uma extensão específica de acordo com a largura do rio, lago, represa ou nascente.

O reflorestamento das áreas de mata ciliar é uma necessidade, devendo ser implementado com espécies nativas, observando um nível adequado de diversidade biológica para assegurar a restauração dos processos ecológicos, condição indispensável para o desenvolvimento sustentável.

2.7.1 Efeito econômico

Em consequência da perda de solo, surge o empobrecimento do mesmo, o que resulta em baixas produções. Resultados experimentais teriam demonstrado que a perda de 15cm de solo corresponde a um decréscimo de 40% da produção.

Com a perda de solo pela erosão, há também a perda da matéria orgânica, do calcário, do adubo além das sementes. É verdade que tudo isso pode ser repostado pela adubação, mas cálculos levados a efeito neste sentido demonstraram que a quantidade de elementos minerais perdidos pela erosão é 60 vezes maior que a devolvida pela correção do solo (Schultz, 1987).

2.7.3 Preparo e manejo do solo

A época e o modo de preparar o solo vão exercer uma influência considerável sobre a produção da cultura a ser implantada. O método a ser empregado no preparo do solo fica na dependência do tipo de solo, do tipo de rotação de cultura, da quantidade de resto de cultura e ervas daninhas e de outros fatores que irão variar de uma propriedade a outra.

O manejo de solos é um conjunto de práticas que são adotadas obedecendo às condições físicas, químicas, biológicas e climáticas do solo, de modo a obter o maior rendimento possível das culturas.

2.8 O SOLO

Sob a ação de agentes internos e, até certa profundidade, agentes externos, a crosta

terrestre sofre modificações complexas que abrangem misturas de massas e deformações, e transformações destas resultantes. Além de flutuações de nível, tremores de terra, dobras e fraturas, vulcanismo e ações metamórficas com eles relacionadas, verificam-se até uma profundidade variável, fenômenos de alteração, desagregação e transporte, provocados pelo ar ou água, os quais afetam extraordinariamente a superfície da Terra.

Os produtos da desintegração de rochas consolidadas são arrastados e redistribuídos. Deste modo, novas porções da litosfera ficam ao alcance dos agentes atmosféricos, ao passo que os sedimentos acumulados ficam sujeitos a novas alterações: desintegração mais pronunciada ou consolidação (e, em certos casos, recristalização), a que pode seguir-se novo ciclo de desagregação, transporte e depósito.

O solo representa uma fase relativamente superficial e instável neste vasto processo geológico. Pode definir-se como o meio natural para o desenvolvimento das plantas terrestres, tal como se formou (solo dito natural), ou mais ou menos modificado como resultado da sua utilização pelo homem (Costa, 2004).

A falta de políticas sérias, investimentos insuficientes na agricultura moderna e a geral apatia frente aos princípios do manejo sustentado do solo podem contribuir para a miséria e para a fome, principalmente nos países do Terceiro Mundo. Recentes estimativas veiculadas pela FAO - Food and Agriculture Organization - revelaram que cerca de 11 – 12% das terras do planeta são adequadas para a produção agrícola e que 24% podem ser cultivadas por pastagens, enquanto que as florestas ocupam 31%. O restante apresenta sérias limitações para o uso agrícola (FAO, 1995). Essa abordagem vai ao encontro do significado mais simples, compreensível e de maior interesse do recurso solo, que é o de atuar como um meio natural de suporte para as plantas para a produção de alimentos e de fibras. Um solo com alta qualidade é aquele que se mostra apto para garantir a alta produção agrícola, a sustentabilidade ou a otimização da produtividade e a maximização dos lucros.

2.8.1 Contaminantes Inorgânicos

Alguns elementos atendem aos critérios de essencialidade às plantas, aos animais e ao homem e são ditos biogénicos, isto é, sua presença é essencial para permitir o funcionamento normal de algumas rotas metabólicas (Aguilar et al., 2002). Sódio, magnésio,

potássio, cálcio, cromo, manganês, ferro, cobalto, cobre, zinco, selênio e molibdênio são elementos essenciais à fisiologia humana (Schroeder, 1966); outros, como o mercúrio, o chumbo, o cádmio e o arsênio, são altamente tóxicos aos seres humanos, mesmo quando presentes em baixas concentrações, e respondem pela maioria dos problemas de saúde devido à poluição do meio ambiente (Who, 1996).

Os sintomas e as doenças causadas pelos metais pesados são dependentes da natureza do elemento, e a intoxicação por metais pesados provoca um conjunto específico de sintomas e um quadro clínico próprio devido à ocorrência de dois principais mecanismos de ação: formação de complexos com os grupos funcionais das enzimas, que prejudica o perfeito funcionamento do organismo, e a combinação com as membranas celulares, que perturba ou em alguns casos mais drásticos, impede completamente o transporte de substâncias essenciais (Aguiar et al., 2002). Apesar de alguns destes elementos serem classificados como não-metal (Selênio) e semi-metal (Arsênio), os princípios químicos que governam seu comportamento no solo são similares àqueles dos metais (McBride 1994; Camargo et al., 2001).

2.8.2 Propriedades Físicas dos Solos

A determinação do tamanho do grão e da forma da partícula é usual para a determinação da estabilidade, resistência ao cisalhamento, permeabilidade, compressibilidade (diminuição do volume sob ação de carga aplicada), e compacidade do material dragado (quociente do volume ocupado pela fase sólida do solo pelo volume aparente deste).

A cor com que se apresentam os solos serve como uma característica importante para sua distinção, e depende especialmente da natureza da rocha de origem, dos compostos de ferro presentes e da matéria orgânica. A presença de ferro em geral, é responsável pela coloração vermelha ou avermelhada e roxa da maioria dos solos. Com excesso de umidade, pode apresentar uma coloração amarela ou amarelada ao solo. A matéria orgânica em geral, escurece o solo, variando desde o preto até o pardo claro.

Entende-se por textura do solo, a distribuição quantitativa, ou seja, as diferentes quantidades ou proporções dos diferentes grupos de tamanhos de partículas que entram na composição do solo. Usualmente para caracterizar a textura do solo, consideram-se apenas as partículas do conjunto de terra fina, ou seja, areia, silte e argila. A predominância de qualquer

uma destas partes sobre as outras duas dá a textura, sua própria denominação. (Canecchio Filho, 1973).

A textura do solo é afetada pelo conteúdo mineral, matéria orgânica, agregados do solo e umidade presente nele. A textura contribui para a capacidade de retenção e velocidade de infiltração de água, aeração, fertilidade, assim como para a compressibilidade, podendo limitar o uso do material dragado. Se o material for predominantemente arenoso, por exemplo, ele poderá ser usado para aterro, construções de diques, mas por outro lado não deverá ser utilizado para desenvolvimento de vegetação, pois apresenta baixos teores de nutriente e baixa capacidade de reter água.

O conteúdo de água e a permeabilidade, que estão inter-relacionados, apresentam grande influência na adequação do material dragado para o uso em aterros, fundações ou pavimentação. O teor de umidade (ω) é um dos mais importantes fatores que afetam as propriedades e o comportamento do material dragado. O teor de umidade é a razão entre o peso da água e o peso do material seco dos sólidos e é expresso em porcentagem. O solo deve ser compactado para se obter a resistência e a densidade necessárias enquanto o teor de umidade é mantido a níveis favoráveis durante projetos de construção (ex.: aterros, pavimentação). O comportamento de solos com granulação fina (siltes ou argilas) é influenciado pelo teor de umidade (Winfield, L. E., and Lee, C. R., 1999).

A porosidade de um solo é definida como a razão do volume ocupado pelas fases líquida e gasosa e do volume aparente do solo.

A permeabilidade determina o comportamento em relação à resistência ao cisalhamento e à compressibilidade. A permeabilidade é determinada pela composição mineralógica, tamanho e distribuição das partículas, índice de vazios, grau de saturação e características poro-fluido. Os materiais de granulometria fina (argilosos) geralmente têm baixa permeabilidade para água e isto é uma característica desejável quando o material dragado é usado em aterros ou fundações, entretanto, se o material será usado em projetos de vegetação, material grosseiro deve ser adicionado ao material argiloso para melhorar a aeração e a penetração de raízes (Winfield, L. E., and Lee, C. R., 1999).

A densidade das partículas do solo é uma grandeza adimensional, definida como a razão da massa de uma partícula isolada do solo e da massa de água que ocupa volume igual ao da partícula. Por extensão podemos referir à densidade real de um horizonte ou camada do solo como sendo a densidade média das partículas sólidas que o constituem.

A densidade aparente do solo é a razão da massa da parte sólida de um dado volume aparente de solo (volume ocupado por partículas sólidas adicionado do volume ocupado pelos interstícios ou poros) e da massa de igual volume de água (Costa, 2004).

Os solos com significantes teores de matéria orgânica geralmente apresentam baixa resistência ao cisalhamento e maior compressibilidade do que os compostos essencialmente por minerais inorgânicos.

2.8.3 Propriedades Químicas dos Solos

As propriedades químicas são inter-relacionadas, mas o pH é um dos parâmetros mais informativos, dependendo do seu valor, ele indica a presença de alguns componentes. Se o pH for menor que 4,0 será indicativo da presença de ácidos livres, se o pH for menor do que 5,5 indica a presença de alumínio trocável, ferro ou magnésio, e se o pH for maior do que 7,8 e menor do que 8,2 será indicativo de grande acumulação de íons de bicarbonato. Nos solos ácidos, as raízes das plantas se tornam amarelas, curtas, grossas e ficam pequenas, com pouco desenvolvimento, as folhas se tornam purpúreas, sem brilho, e produzem pouquíssimas sementes. Em geral, nos solos salinos, onde a predominância da base é o sódio, a alcalinidade pode subir a pH 9,0 ou mais, produzindo efeitos prejudiciais para a estrutura do solo e para a vida das plantas.

Entende-se por troca iônica o processo reversível pelo qual os íons retidos na superfície de uma fase sólida são, sem alteração sensível ou decomposição desta, permutados com quantidades equivalentes de íons em solução numa fase líquida, ou pertencentes à outra fase sólida em contato com a primeira.

As reações de troca catiônica em um solo são importantes porque elas alteram as propriedades físicas afetam a fertilidade do solo, alteram a percolação de água, entre outras. Algumas cargas eletrostáticas, inerentes às partículas do solo, são permanentes, enquanto outras são dependentes do pH. A CTC (Capacidade de Troca Catiônica) é dependente do pH e diretamente proporcional a concentração de argila, ao teor de matéria orgânica e a distribuição granulométrica.

Os materiais dragados com valores de índice SAR (Sodium Adsorption Ratio) maior de 10, geralmente são considerados sódicos. A concentração de sódio trocável em um solo

sódico é tão alta, que o solo torna-se dispersivo e impermeável, pois os poros tornam-se bloqueados com a dispersão ou ‘expulsão’ das partículas de argila.

2.9 DISPERSÃO E DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS RESSUSPENDIDOS

A ruptura e desagregação dos sedimentos de fundo podem causar uma grande variedade de impactos ambientais. Os problemas aparecem principalmente quando os sedimentos estão contaminados por compostos químicos, resíduos domésticos, óleos e graxas. Os produtos tóxicos e contaminantes liberados pelos solos perturbados podem se dissolver ou entrar em suspensão e contaminar ou causar grande mortalidade de espécies estuarinas e marinhas de importância pesqueira direta e/ou indireta para a região onde está sendo realizada a dragagem.

Compostos orgânicos em suspensão podem consumir o oxigênio disponível na água e temporariamente causar condições de estresse para muitos animais aquáticos. Se os sedimentos em suspensão estiverem em alta concentração e persistirem por um longo período, o qual geralmente está relacionado com o tempo destinado à operação de dragagem, a penetração de luz na coluna de água pode reduzir-se, causando danos a algas fotossintetizantes, corais e outros organismos aquáticos.

A ressuspensão dos sedimentos ocorre principalmente no início da escavação e durante sua transferência para os locais de despejo. As dragas hidráulicas introduzem no ambiente uma quantidade menor de material em suspensão que as dragas mecânicas, porém ainda podem causar impactos no local de dragagem, principalmente devido à prática do “overflow”. O conhecimento prévio da hidrografia (fluxos de correntes e marés) da área a ser dragada é essencial para a identificação de locais mais suscetíveis aos efeitos destes trabalhos. A escavação de fundos moles remove os organismos que vivem no sedimento. Se a taxa de sedimentação nesta área for grande, os sedimentos de fundo recentemente depositado pode formar e restaurar estes habitats quando o trabalho estiver terminado.

2.10 RECUPERAÇÃO E USO BENÉFICO DE MATERIAL DRAGADO CONTAMINADO

O uso benéfico de material dragado não é um conceito novo. Durante muitos anos, grandes volumes de material dragado limpo foram utilizados para numerosos usos benéficos. Foram discutidos usos benéficos em muitos foros como a Conferência Regional do Atlântico Norte em 1987. O Manual de Engenharia (U.S. Army Corps of Engineers, 1987) discute numerosos usos benéficos de material dragado, como recuperação de terraplenos. A maioria dos locais discutidos tem usado material dragado relativamente limpo contendo baixos níveis de contaminantes.

O material dragado pode ser combinado com outros itens, para criar produtos para uso específico como construção de blocos, material de capeamento, etc.

Para determinar a conveniência do material dragado para usos benéficos, alguns dados básicos são exigidos. Ensaios de caracterização descritos em Lee (1999) podem prover dados que possam determinar a adequabilidade de um material dragado para um uso específico. Winfield e Lee (1999) mostram a estrutura para testes e avaliações de usos benéficos de material dragado. Esta estrutura está apresentada na relação abaixo:

- Identificar o mercado;
- Determinar qualitativamente e quantitativamente, e avaliar as propriedades dos materiais;
- Conduzir os testes de caracterização;
- Apresentar os resultados dos testes a autoridades locais;
- Adquirir qualquer e todas as licenças se necessário;
- Coordenar as entidades locais que requerem o produto;
- Desenvolver o plano de comercialização;
- Submeter o plano para uma entidade apropriada.

2.11 PRODUTOS DE SOLO PARA ENGENHARIA

Devem-se identificar as fontes locais e os tipos de materiais despejados (rejeitos) para

avaliar o potencial na fabricação de produtos de solo para uso em engenharia, como por exemplo, material de baixa permeabilidade de capeamento em um local particular. Esses materiais podem ser: cinzas volantes, gesso, cal, etc. A quantidade, qualidade, e disponibilidade destes materiais devem ser determinadas.

Construção de blocos ou produtos similares: para avaliar o potencial de construção de blocos manufaturados, fontes locais e tipos de resíduos sólidos deverão ser identificados. Ao material dragado podem ser adicionados diferentes tipos de materiais como areias, vidros, pó de pedras, cinzas, gesso, cal, etc. Os mercados potenciais para uso dos blocos deverão ser identificados. Estes incluem, mas não são limitados a, paredes de segurança, muros, jardineiras em pátios de jardim, passeios e edifícios.

Têm sido muitas as preocupações relativas à segurança ambiental na construção de blocos que podem conter contaminantes. A lixiviação e migração de contaminantes para fora dos blocos e para o ambiente têm sido questionadas.

2.12 USO E VALOR DO TERRENO RECUPERADO

Um solo recuperado pode ser usado para muitos propósitos. No Porto Novo de Rio Grande, quando de sua construção, a dragagem principal para definir seu calado permitiu a execução de dois terraplenos: o Leste (Ilha da Base) e o Oeste, que se estendeu do porto até cerca de 1,5 km, em alguns pontos, recuperando uma base pantanosa, formada de ilhas e lagoas, onde foram executadas as instalações de apoio ao porto, indústrias, áreas de armazenamento de petróleo e cinco bairros residenciais.

No Cais de Saneamento, a oeste do Porto Velho de Rio Grande, na parte que foi executado um aterro, foram instalados clubes náuticos, museus, vias de transporte e área de lazer.

Quanto ao aspecto ambiental, é sempre importante de ser avaliado:

- Meio ambiente no local de disposição em terra;
- Meio ambiente no local de disposição no mar;
- Valor da terra recuperada.

O material dragado é uma riqueza como fonte de recursos naturais. Se for descartado, ao invés de ser usado para recuperar terrenos (mesmo que o terreno seja necessário para daqui alguns anos), uma valiosa riqueza pode estar sendo perdida.

2.12.1 Construção de aterros

O ato de aumentar o nível de terra adjacente à água é conhecido como aterro de saneamento. A terra é efetivamente recuperada a partir da água. Quando o nível do terreno é aumentado com material que está sendo dragado a partir do fundo de um curso de água, o material é usualmente conhecido como aterro hidráulico.

Dentre os usos benéficos do material dragado, a utilização destes sedimentos para aterros é um dos métodos mais conhecidos e utilizados. No passado, se os sedimentos dragados não eram utilizados para a construção de aterros, eles eram despejados geralmente no mar. Atualmente, o uso deste material em aterros tornou-se muito significativo pelas seguintes razões:

a) é mais barato dispor o material dragado numa área de aterro do que dispô-lo em mar aberto ou em terra;

b) no aspecto ambiental, é mais aceitável a utilização deste material em aterros do que o seu despejo no mar ou em terra;

c) existe hoje em dia uma necessidade da construção de aterros para o desenvolvimento de áreas portuárias, industriais e residenciais, assim como para uso em áreas recreativas ou na agricultura.

Aspectos que afetam a viabilidade de um projeto de aterro:

- O uso e valor final de terreno aterrado;
- Propriedade (posse) da terra;
- Propriedades de engenharia da fundação de aterro, isto é, do solo onde o aterro será construído;
- Características geotécnicas do material de aterro;
- A disponibilidade de material para construir os contornos de retenção de aterro (geralmente enrocamento);
- Os métodos de dragagem, transporte e lançamento do material de aterro:

- O método de melhoria da qualidade do material de aterro, se necessário.

2.12.2 Acreção de praia

A erosão costeira é um grande problema para muitas praias oceânicas e estuarinas. Para minimizar os efeitos desta erosão, a acreção de praia é realizada através da dragagem de areia não contaminada de canais, rios e até mesmo de sítios na zona costeira. Este material é então transportado até as praias erodidas por caminhão, pela tubulação das dragas hidráulicas ou através de dragas auto-transportadoras. Além disto, em algumas praias é possível depositar o sedimento em montes ou bancos no fundo do mar, onde muito deste material poderia ser carregado para a praia pela ação das ondas.

Esta operação pode resultar em alterações na topografia e batimetria e na destruição de comunidades bentônicas da região onde o sedimento será depositado. Por outro lado, uma operação bem planejada pode minimizar estes efeitos e tirar vantagem do poder de recuperação dos ambientes das praias e adjacências, assim como da biota associada a estes ambientes.

Quando o material dragado é usado para acreção de praias, ele deverá corresponder à composição do sedimento da praia a qual está sendo erodida, além de apresentar baixos teores de sedimentos finos (silte e argila), matéria orgânica e poluentes.

2.12.3 Outros usos benéficos

Os usos benéficos de material dragado incluem uma grande variedade de opções as quais podem utilizar este material para alguma finalidade produtiva. O material dragado é fonte valiosa de solo com grande poder de manejo e gerenciamento, com capacidade de fornecer melhorias e benefícios ambientais e sócio-econômicos.

As principais categorias na qual o sedimento dragado pode ser utilizado para uso benéfico são:

- Restauração e melhoramento de habitats aquáticos (mangues, marismas, ilhas artificiais);
- Uso em aquicultura;
- Uso em parques e recreação (comercial e não-comercial);
- Agricultura e silvicultura;
- Uso em aterros e cobertura para lixões;
- Estabilização e proteção da costa e controle de erosão (através de arrecifes artificiais, quebra-mares e bancos de areia);
- Uso industrial e na construção civil (incluindo desenvolvimento portuário, de aeroportos, urbano e residencial);
- Produção de cerâmicas (pouco explorado por ser um processo muito caro).

3 PROPRIEDADES DO SEDIMENTO

Um material dragado fino, ao ser lançado numa bacia de contenção no estado de lama fluida, começará a sedimentar e após a adensar sob o peso próprio das partículas. A presença da grande quantidade de água e íons nela dissolvidos provoca certos fenômenos físico-químicos que poderão explicar o comportamento futuro do solo formado. Assim poderá se explicar a floculação ou defloculação das partículas de solo a ser formado:

- Cada partícula argilosa do solo possui carga elétrica negativa na sua superfície e atrai íons para a mesma para neutralizar a carga elétrica total.
- Por sua vez, estes íons atraem moléculas de água da argila diretamente para a superfície da partícula. Todas as partículas estão envolvidas por partículas de água.
- Entre as partículas de argila atuam forças de atração e repulsão. Têm influência sobre a forma com que se ordenam as partículas e o processo de sedimentação e dão lugar a que os solos finos apresentem esqueleto mineral muito aberto, de pequeno peso específico (estrutura floculada).
- Certos fatores, como a temperatura e a concentração de íons na água, influem sobre as forças de atração e repulsão entre as partículas, então o meio onde se processa a sedimentação tem influência sobre a forma em que se dispõem as partículas ao depositar-se.

Os principais grupos de contaminantes encontrados em materiais dragados são: as partículas sólidas, os contaminantes orgânicos, orgânicos sintéticos, inorgânicos, biológicos, radionuclídeos e os metais. A seguir estão comentadas as análises geoquímicas e químicas do solo.

3.1 MATÉRIA ORGÂNICA

Entende-se por matéria orgânica do solo os resíduos de plantas e animais depositados sobre ele ou entranhados em sua estrutura de mistura com os microrganismos que deles se alimentam. Representa um dos principais fatores de produtividade.

A matéria orgânica desempenha um papel de suma importância do ponto de vista químico, físico e biológico. O conhecimento de seus teores é fundamental em diversas áreas da Ciência do Solo. Com esses teores conhecidos é possível examinar os níveis de contaminação nos sedimentos por ela atingidos.

A qualificação da matéria orgânica do solo pode ser feita a partir da determinação, em laboratório, do conteúdo de carbono orgânico do solo. A fórmula geralmente utilizada é a mostrada na equação (3.1):

$$\text{m.o. (g.kg}^{-1}\text{)} = 1,724.C, \quad (3.1)$$

onde C é o conteúdo de carbono orgânico do solo (Conceição *et. al.*, 1999).

A matéria orgânica do solo é constituída em sua maior parte, de restos vegetais. A parte animal que entra em sua composição é quase sempre pequena. Encontram-se em geral fazendo parte da matéria orgânica do solo os seguintes materiais: raízes, folhas, frutos e ramos mortos de plantas; carcaças de insetos, vermes e outros animais; microrganismos vivos e mortos e excreções de plantas e animais em diferentes estados de decomposição. Todas essas substâncias vão gradualmente se decompondo e se mineralizando no solo, resultando no fim, substâncias químicas diversas principalmente água, bióxido de carbono, nitrogênio, amônia, sais minerais, etc.

A matéria orgânica constitui um dos fatores de maior importância no condicionamento da produtividade de solos. A sua presença em um solo, com efeito, produz sensíveis alterações em suas propriedades físicas, químicas e biológicas (Canecchio Filho, 1973).

3.2 METAIS

Os metais destacam-se por estarem presentes em grande parte das fontes de contaminação. Os metais são componentes naturais dos sistemas ambientais, tais como: rochas, solos, sedimentos, água e organismos. Os principais indicadores entre eles são: mercúrio, cádmio, cromo, níquel, zinco, chumbo, cobre, ferro, manganês, etc.

A caracterização química deve determinar as concentrações de poluentes no sedimento, na fração total. O detalhamento se dará de acordo com as fontes de poluição pré-

existentes na área do empreendimento e será determinado pelo órgão ambiental competente, de acordo com os níveis de classificação do material a ser dragado.

Pode-se citar também os teores médios mundiais da concentração de elementos metálicos nos sedimentos que servem como referência para indicar se os sedimentos da área estudada estão ou não contaminados por elementos traços metálicos. A Tabela 3.1 abaixo é apresentada por Niencheski et. al. (2006).

Tabela 3. 1 – Teores Médios Mundiais de concentração de metais

Cobre (Cu)	Zinco (Zn)	Chumbo (Pb)	Cromo (Cr)	Mercúrio (Hg)
(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
18	95	19	72	190

Fonte: Niencheski et. al. (2006)

3.3 CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA (CTC)

A troca catiônica entende-se como a reação de troca entre quantidades equivalentes de cátions adsorvidos nas partículas coloidais de solo, e cátions em solução na água do solo. Há também fenômenos de troca entre os primeiros e cátions de raízes das plantas ou cátions de outras partículas. Os cátions de troca quantitativamente mais importantes no solo são: cálcio, magnésio, potássio, sódio, alumínio e hidrogênio. A designação de bases de troca do solo usa-se apenas em relação a cálcio, magnésio, potássio e sódio. O alumínio não se considera dentro da mesma designação, pois tem comportamento bastante diferente quanto à influência na reação do solo.

As reações de troca catiônica em um solo são importantes porque elas alteram as propriedades físicas do solo. Algumas trocas são permanentes, enquanto que outras dependem do pH. Cátions trocáveis (íons carregados positivamente) são atraídos pelas superfícies carregadas negativamente e substitui os cátions nos pontos de troca nas superfícies da partícula. A CTC é dependente do pH e diretamente proporcional a concentração de argila, conteúdo de matéria orgânica e sua granulometria.

Na Tabela 3.2 abaixo estão relacionados constituintes do solo e seus respectivos valores ao CTC.

Tabela 3. 2 – CTC de constituintes do solo

Tipos de constituinte	CTC (meq/100g)
Caulinita	3 - 15
Montmorilonita	80 - 150
Ilita	10 - 40
Vermiculita	100 - 150
Clorita	10 - 40
Matéria Orgânica	150 - 500
Fonte: Grim (1953).	

A CTC do solo é definida como sendo a soma total dos cátions que o solo pode reter na superfície coloidal prontamente disponível à assimilação pelas plantas. Esses cátions adsorvidos são removidos por soluções salinas de amônio, cálcio, bário e soluções de ácidos diluídas e posteriormente determinadas por métodos volumétricos, de emissão ou absorção atômica.

3.4 pH

O pH do solo será medido em solução com água (H₂O), KCl, e CaCl₂. Ele será medido eletronicamente por meio de eletrodo combinado, através de um pHmetro.

Os solos se diferenciam bastante quanto ao grau de acidez que apresentam. Quando a acidez do solo é além de certo limite prejudica o desenvolvimento das plantas cultivadas, diminuindo a produção. Nos solos ácidos, o desenvolvimento de organismos úteis fica bastante prejudicado, especialmente das bactérias fixadoras de nitrogênio do ar. A correção da acidez se faz geralmente pela aplicação de cálcio ao solo, na operação que se costuma chamar de calagem.

Com o efeito contrário ao da calagem, ou seja, de tornar os solos alcalinos mais ácidos, costuma-se empregar o sulfato de alumínio, o enxofre em pó muito fino e o sulfato de amônio (Canecchio Filho, 1973).

3.5 CARBONO ORGÂNICO

O teor de carbono orgânico será medido pela oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico, usando como fonte de energia o calor despreendido do ácido sulfúrico e/ou aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação é titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal.

3.6 NITROGÊNIO TOTAL

O nitrogênio é o principal agente do crescimento das plantas. Havendo quantidades suficientes deste elemento no solo as plantas crescem satisfatoriamente. A maior parte do nitrogênio a planta absorve nas primeiras fases da sua vida e armazena nos tecidos de crescimento (Canecchio Filho, 1973).

O nitrogênio está praticamente ligado à matéria orgânica. Neste método o nitrogênio é convertido em sulfato de amônio através de oxidação. Os métodos utilizados para a determinação de nitrogênio são: Kjeldahl por câmara de difusão ou Kjeldahl por destilação a vapor.

3.7 OUTROS ELEMENTOS

O cálcio e o magnésio solúveis serão determinados por espectrometria de absorção atômica (AAS) e o sódio e potássio pelo fotômetro de chama nos extratos diluídos. Interferências nas determinações pelo AAS são eliminadas pela adição de lantânio. O fósforo será determinado pelo método colorimétrico.

Os metais pesados, como Zinco, Cobre, Manganês, Cádmio e Chumbo serão determinados pelo método de espectrofotometria de absorção atômica.

3.8 FERTILIDADE DE SOLOS – CLASSIFICAÇÃO

A análise química é a mais usada para a avaliação da fertilidade do solo porque estas análises são rápidas e de baixo custo; podem ser feitas em qualquer época do ano; os resultados podem ser interpretados facilmente e possibilitam a elaboração de levantamentos de fertilidade em nível regional (Bissani et al, 2004).

Para a interpretação dos resultados das análises básicas para fertilidade, o Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina apresenta as Tabelas 3.3 à 3.8 com padrões para cada análise. Os resultados para as análises são divididos em faixas, divididas em intervalos uniformes; para o fósforo e potássio, por exemplo, são cinco faixas de interpretação dos resultados, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Neste caso, três destas faixas estão entre o zero e o teor crítico, e duas acima do teor crítico. O teor crítico é o limite inferior da faixa “alta” (limite entre médio e alto), em que normalmente se obtêm rendimentos próximos à máxima eficiência, em geral em torno dos 90% do rendimento relativo máximo.

3.8.1 Acidez do solo

O diagnóstico da acidez é feito pela interpretação dos valores de pH em água e pela porcentagem da saturação da $CTC_{pH7,0}$ por bases e da $CTC_{efetiva}$ por alumínio. O calcário para a correção da acidez deve ser aplicado até seis meses antes do plantio de uma cultura menos tolerante a acidez e até três meses antes do plantio das demais culturas para obter os efeitos benéficos da calagem. A interpretação dos valores de pH em água, saturação da CTC por bases e por alumínio é apresentada na Tabela 3.3.

Tabela 3. 3 – Interpretação dos valores de pH em água, saturação da CTC por bases e por alumínio.

Interpretação	pH em água	Saturação por	Saturação por
		bases ($CTC_{pH7,0}$)	Alumínio ($CTC_{efetiva}$)
		-----%-----	
Muito Baixo	$\leq 5,0$	<45	<1
Baixo	5,1 - 5,4	45 - 64	1 - 10
Médio	5,5 - 6,0	65 - 80	10,1 - 20
Alto	>6,0	>80	>20

Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina

3.8.2 Teores de argila, matéria orgânica e Capacidade de troca de cátions

A interpretação dos teores de argila, matéria orgânica e capacidade de troca de cátions (CTC) é apresentada na Tabela 3.4 a seguir. É necessário o agrupamento dos solos de acordo com o teor de argila para a interpretação dos resultados de fósforo extraído pela solução de Mehlich-1. O teor de matéria orgânica indica a disponibilidade de nitrogênio, e o conhecimento da CTC é importante para caracterização do solo, interpretação dos teores de potássio e para orientar a adubação.

Tabela 3. 4 – Interpretação dos teores de argila, matéria orgânica e capacidade de troca de cátions.

Argila		Matéria Orgânica		$CTC_{pH7,0}$	
Faixa	Classe	Faixa	Interpretação	Faixa	Interpretação
				$cmol_c/dm^3$	
≤ 20	4	$\leq 2,5$	Baixo	$\leq 5,0$	Baixo
21 - 40	3	2,6 - 5,0	Médio	5,1 - 15,0	Médio
41 - 60	2	>5,0	Alto	>15,0	Alto
>60	1	-	-	-	-

Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina

3.8.3 Fósforo

O método Mehlich-1 é adotado no RS e em SC desde 1968. A capacidade de extração de fósforo pela solução de Mehlich é baixa em solos que contém alto teor de argila e, em consequência, teores elevados de óxidos de ferro e de alumínio que insolubilizam o fósforo, a interpretação dos teores de fósforo é feita conforme o teor de argila para as culturas de sequeiro. A Tabela 3.5 mostra a interpretação do teor de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1 conforme o teor de argila.

Tabela 3. 5 – Interpretação do teor de fósforo no solo extraído pelo método Mehlich-1 conforme o teor de argila.

Interpretação	Classe de solo conforme teor de argila			
	1	2	3	4
	-----mg/dm ³ -----			
Muito baixo	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 4,0	≤ 7,0
Baixo	2,1 - 4,0	3,1 - 6,0	4,1 - 8,0	7,1 - 14,0
Médio	4,1 - 6,0	6,1 - 9,0	8,1 - 12,0	14,1 - 21,0
Alto	6,1 - 12,0	9,1 - 18,0	12,1 - 24,0	21,1 - 42,0
Muito alto	>12,0	>18,0	>24,0	>42,0

Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina

3.8.4 Potássio

Devido à resposta das culturas a adubação potássica, as faixas de interpretação os teores desse nutriente no solo variam conforme a capacidade de troca de cátions a pH 7,0. A Tabela 3.6 mostra a interpretação do teor de potássio conforme as classes de CTC do solo a pH 7,0.

Tabela 3. 6 – Interpretação do teor de potássio conforme as classes de CTC do solo a pH 7,0.

Interpretação	CTC _{pH7,0} (cmol _c /dm ³)		
	> 15,0	5,1 – 15,0	≤ 5,0
	-----mg/dm ³ -----		
Muito baixo	≤ 30	≤ 20	≤ 15
Baixo	31 - 60	21 - 40	16 - 30
Médio	61 - 90	41 - 60	31 - 45
Alto	91 - 180	61 - 120	46 - 90
Muito alto	>180	>120	>90

Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina

3.8.5 Teores de cálcio, magnésio

Os teores de cálcio e magnésio trocáveis são enquadrados em três faixas: baixo, médio e alto, conforme mostra a Tabela 3.7. Na prática, consideram-se satisfatórios os teores situados na classe médio. Em geral a relação Ca/Mg do solo varia entre 1 e 5. Entretanto, tem-se observado que o rendimento da maior parte das culturas não é afetado por relações variando de 0,5 a 10, desde que nenhum dos nutrientes esteja em deficiência. A relação Ca/Mg pode ser aumentada sem a elevação do pH pela aplicação de gesso agrícola.

Tabela 3. 7 – Interpretação dos teores de cálcio e magnésio trocáveis do solo.

Interpretação	Cálcio	Magnésio
	-----cmol _c /dm ³ -----	
Baixo	≤ 2,0	≤ 0,5
Médio	2,1 - 4,0	0,6 - 1,0
Alto	>4,0	>1,0

Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina

3.8.6 Teores de micronutrientes

A interpretação dos teores de micronutrientes no solo é mostrada na Tabela 3.8, onde são usadas três faixas de interpretação: baixo, médio e alto. Raramente são observadas deficiências de micronutrientes em culturas anuais nos solos dos Estados do RS e SC. Entretanto, podem ocorrer deficiências em solos arenosos com teor baixo de matéria orgânica e/ou com pH elevado.

Tabela 3. 8 – Interpretação dos teores de micronutrientes no solo.

Interpretação	Cobre	Zinco	Manganês	Ferro
	-----mg/dm ³ -----			g/dm ³
Baixo	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 2,5	-
Médio	0,2 - 0,4	0,2 - 0,5	2,5 - 5,0	-
Alto	>0,4	>0,5	>5,0	>5,0 ⁽¹⁾

⁽¹⁾Este valor pode estar relacionado com a ocorrência de toxidez por ferro que pode ocorrer em alguns cultivares de arroz irrigado.

Fonte: Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina

3.8.7 Teores de sódio

De acordo com os teores de sódio encontrados no solo, este pode ser classificado como de caráter sódico ou solódico. Nas regiões semi-áridas é comum a ocorrência de solos com expressivos teores de Na⁺ no complexo sortivo. A porcentagem de saturação por sódio (PSS) é utilizada no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SBCS) para identificar três situações de solos com essa condição: a) os solos com caráter solódico (PSS entre 6 e 15%), b) solos com caráter sódico (PSS > 15%) e solos com horizonte plânico com caráter sódico (antigamente denominado de horizonte nátrico).

começa a se tornar indisponível quando a saturação por sódio se aproxima a 50%. A importância da discriminação de solos desta natureza, em classificação de solos, relaciona-se com os efeitos nocivos do excesso de sais no crescimento e desenvolvimento das plantas cultivadas (toxidez, efeito osmótico, desequilíbrio nutricional de micronutrientes e etc.), e ainda, do Na^+ nas propriedades físicas dos solos (dispersão, selamento, encrostamento, redução da condutividade hidráulica, dentre outros).

A recuperação dos solos sódicos e solódicos requer a substituição do sódio por outro cátion, em geral cálcio e a remoção do sódio contido na solução do solo por irrigação. O sucesso do empreendimento depende, portanto, da permeabilidade do solo. De maneira geral a presença do horizonte plânico com caráter sódico (horizonte nátrico) presente nos PLANOSSOLOS NÁTRICOS constitui sério impedimento à permeabilidade interna, dificultando igualmente o processo de saneamento de tais solos. Este horizonte constitui também impedimento ao aprofundamento do sistema radicular das plantas. De maneira geral o horizonte B nátrico (PLANOSSOLOS NÁTRICOS) apresenta-se extremamente duro quando seco, ou muito firme quando úmido, dificultando a penetração das raízes e a escavação.

Quando se analisa o sódio, é preciso fazer a conversão de unidades para determinar seu percentual relativo à soma total de bases ($\text{SB} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}$). Para isso, foi feita a conversão dos teores de sódio e de potássio, de mg/dm^3 para $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. Para esta conversão foi utilizado o fator de conversão dado na equação (3.2):

$$\text{cmol}_c/\text{dm}^3 = \frac{\text{mg}/\text{dm}^3}{\text{Eq. g} \times 10} \quad (3.2)$$

sendo o equivalente grama (Eq.g) de um átomo, sua massa atômica dividida pela sua valência, e como sódio e potássio apresentam valência 1, os equivalentes grama de sódio e potássio serão suas massas atômicas, respectivamente 23 e 39g.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Em 2001, foi construída uma bacia de sedimentação de rejeitos de dragagem na área do Porto Novo de Rio Grande – RS, com o objetivo de possibilitar a realização de estudos geoquímicos da água e da lama, avaliando a possibilidade de contaminação de lençóis freáticos, e estudos geotécnicos para obtenção de parâmetros em Laboratório e *in situ*, para avaliar a possibilidade de uso do material em projetos de aterros, na construção de ilhas artificiais ou mesmo na manutenção de zonas de banhados ou mangues (Kerstner, 2003).

Para comparação dos resultados amostrados em 2001, foram retiradas amostras em 2006 do mesmo local, em diferentes pontos da bacia de sedimentação, e então foi analisado o potencial deste material para uso na agricultura, como fertilizante, e comparado às concentrações e teores analisados no então projeto, com os valores atuais. As Figuras 4.1 à 4.4 abaixo mostram as bacias em implantação em 2001 e a situação das bacias em 2006.



Figura 4. 1 – Implantação das Bacias de Sedimentação em 2001



Figura 4. 2 – Bacias de sedimentação com a lama.



Figura 4. 3 – Lagoa oeste em 2001(esquerda) e 2006 (direita)



Figura 4. 4 – Lagoa leste em 2001(esquerda) e 2006 (direita)

4.2 AMOSTRAS

O material sedimentar analisado foi retirado das bacias de sedimentação feitas em 2001, para o estudo geotécnico e geoquímico dos rejeitos de dragagem do Porto Novo por Kerstner (2003). Para as análises, foram retiradas amostras da bacia 2 (bacia leste), em três pontos, conforme mostrado na Figura 4.5. A Figura 4.5 apresenta um esquema representando como foram feitas as bacias de sedimentação, sua disposição no local e a posição em que foram retiradas as amostras. A coleta das amostras foi feita em março de 2006.

A bacia 2 (leste) tinha o seu fundo revestido por lona plástica, como mostrado na Figura 4.6, por isso a lama manteve a sua umidade por mais tempo, e por este motivo, dela foram retiradas as amostras para o estudo. Na bacia 1 (oeste) a lama estava completamente seca e não foi possível a retirada de amostras, pois esta não foi impermeabilizada. A bacia 2 apresentava aproximadamente 30cm de lama seca e o restante se manteve úmido. A profundidade de solo total da bacia 2 foi de 92cm.

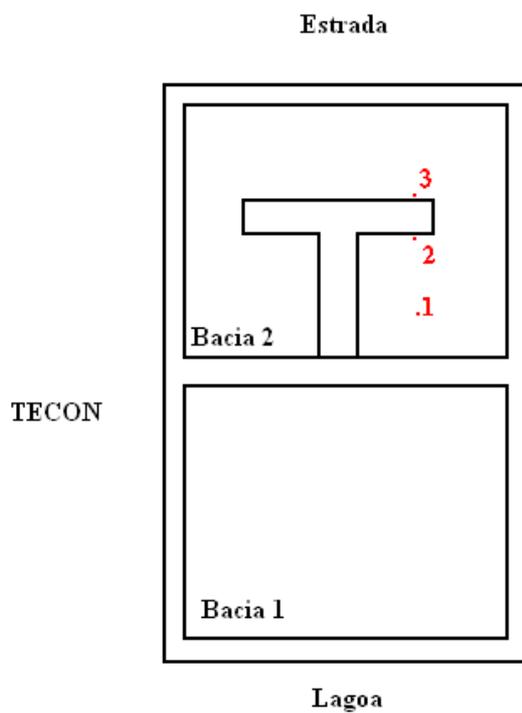


Figura 4. 5 – Esquema das bacias e pontos de amostras.



Figura 4. 6 – Impermeabilização parcial do fundo da bacia de decantação 2.

As amostras analisadas foram retiradas em tubos tipo Shelby, sendo os tubos 1 e 3 de inox e os tubos 2, 4, 5 e 6 de PVC (como mostrado na Figura 4.7). Após as amostras foram

armazenadas em câmara úmida. Também foram retiradas algumas amostras em baldes e sacolas, nos mesmos pontos, mas estas não foram analisadas (Figura 4.8).



Figura 4. 7 – Tubos Shelby com as amostras.



Figura 4. 8 – Lama retirada em baldes.

Após, as amostras foram retiradas dos tubos Shelby no extrator de amostras indeformáveis, cortadas em fatias com um fio fino metálico, separadas em sacos plásticos e codificadas conforme sua profundidade, para posteriormente serem feitas as análises

químicas. As amostras foram retiradas dos tubos Shelby e cortadas conforme mostrado abaixo, nas Figuras 4.9 e 4.10.

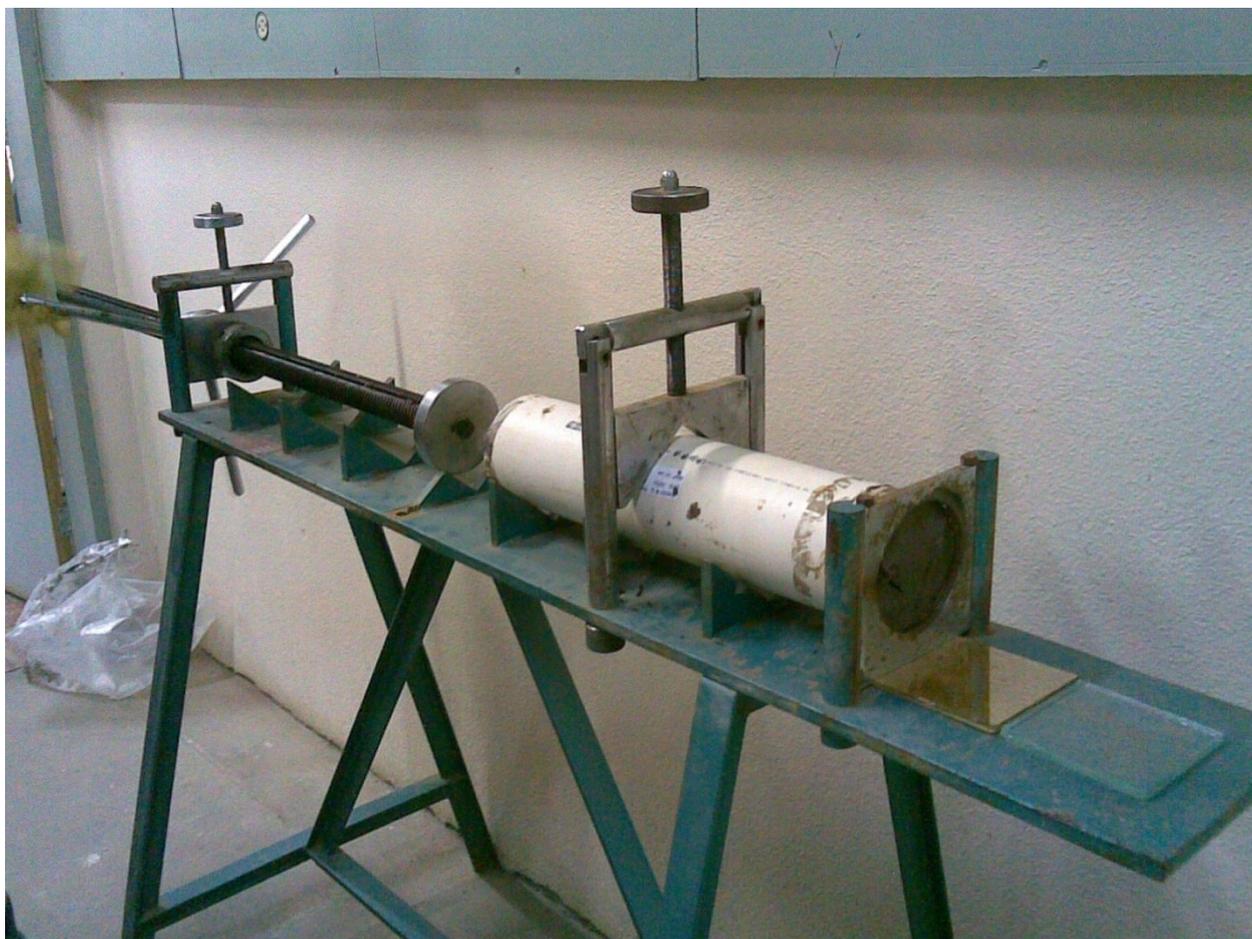


Figura 4. 9 – Tubo Shelby, retirando a amostra no extrator de amostras indeformáveis.



Figura 4. 10 – Amostra retirada do Shelby e cortada.

4.3 PROCESSAMENTO DA AMOSTRA E ANÁLISE DE METAIS

As análises de metais a seguir descritas foram realizadas no Laboratório de Hidroquímica da Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

4.3.1 Lavagem do material usado para a marcha analítica

Todo o material e vidraria foi lavado com detergente, enxaguado com água corrente em abundância e lavados após com água destilada. Todo material ficou em um banho com

ácido nítrico 20% por, no mínimo, 24 horas e posteriormente, lavado com bastante água destilada. Este procedimento repetiu-se sempre após cada análise.

4.3.2 Secagem da amostra

As amostras de sedimento foram secas antes de serem conduzidas as análises químicas, tendo em vista que as medições analíticas são expressas com base em peso seco. A liofilização (processo de secagem e de eliminação de substâncias voláteis realizado em temperatura baixa e sob pressão reduzida) é um dos métodos mais usados para secar sedimentos devido ao baixo risco de perda de componentes voláteis e ainda por fornecer um material desagregado, praticamente na forma de pó e não fortes agregados argilosos, por exemplo.

Entretanto, a retirada da água pode introduzir mudanças físicas e químicas na composição original do material sedimentar. Muitas das mudanças estão relacionadas com as trocas de oxidação / redução e afetam a proporção de metais fracamente adsorvidos aos sedimentos e ocasionam mudança nas associações originais entre os metais e os vários componentes sedimentários. Entretanto, a concentração de metais nos sedimentos são relativamente elevadas e essas alterações são praticamente insignificantes em relação a outros erros que inevitavelmente ocorrem na determinação dos metais traços em sua forma total. Esses erros podem e devem ser minimizados, através do procedimento de coleta cauteloso, estocagem, transporte e manipulação do material.

4.3.3 Análise de metais – Digestão e leitura das amostras

Os procedimentos para as análises de metais nos sedimentos são os descritos pela UNEP (1995), em colaboração com o Marine Environmental Studies Laboratory de Mônaco, para material sedimentar.

Para determinar as concentrações de metais maiores e traço em sedimentos, sejam marinhos ou estuarinos, por métodos químicos úmidos, é necessário dissolver toda amostra.

Para a decomposição total utiliza-se o ácido hidrofúorídrico (HF) em combinações com ácidos concentrados oxidantes tais como água régia ($\text{HNO}_3 + \text{HCl}$). Essa decomposição tem algumas vantagens, pois o HF é o único ácido que dissolve completamente as matrizes silicosas e libera todos os metais associados, tais como alumínio, ferro e lítio utilizados para normalização, como a do tamanho do grão por exemplo.

A exatidão pode ser avaliada pela análise de materiais de referência certificado. Com isto, pode ser obtida a intercomparação de dados, livres de erros operacionais.

Descrição das etapas:

- (1) Pesou-se cerca de 0,5 g de cada amostra seca e colocou-se em um béquer de teflon, próprios para digestão,
- (2) Adicionou-se 3 mL de HNO_3 e colocou-se em chapa quente tampado por cerca de uma hora a uma temperatura de 150 °C.
- (3) Adicionou-se 5 mL de uma mistura ácida HF- HClO_4 - HNO_3 (2:2:3 v/v), sendo novamente colocado tampado na chapa à 150 °C por 4 horas.
- (4) Abriam-se as tampas e limpou-as com água destilada, voltando para a chapa à 200 °C para evaporar até quase a secura.
- (5) Colocou-se 2 mL de HNO_3 e 2 mL de água destilada, deixando por alguns minutos na chapa.
- (6) Esta solução foi transferida para um balão volumétrico e aferida a 25 mL, sendo que o béquer foi lavado no mínimo três vezes com água destilada antes de ser aferido o volume, garantindo assim que todo o material digerido estivesse no balão.
- (7) O balão foi bem agitado e a solução foi então transferida para um frasco de estocagem, até o momento da leitura em espectrofotômetro de absorção atômica.

Algumas etapas destes procedimentos estão mostradas nas Figuras 4.11 à 4.13 a seguir.

Os metais cromo, cádmio, cobre e chumbo foram analisados em um Espectrofotômetro de Absorção Atômica com vaporização eletrotérmica (forno de grafite) marca Zeiss, modelo AAS- 5. O zinco e níquel foram analisados em um Espectrofotômetro de Absorção Atômica da marca CG, modelo AA 7000 BC/ABC, com chama.

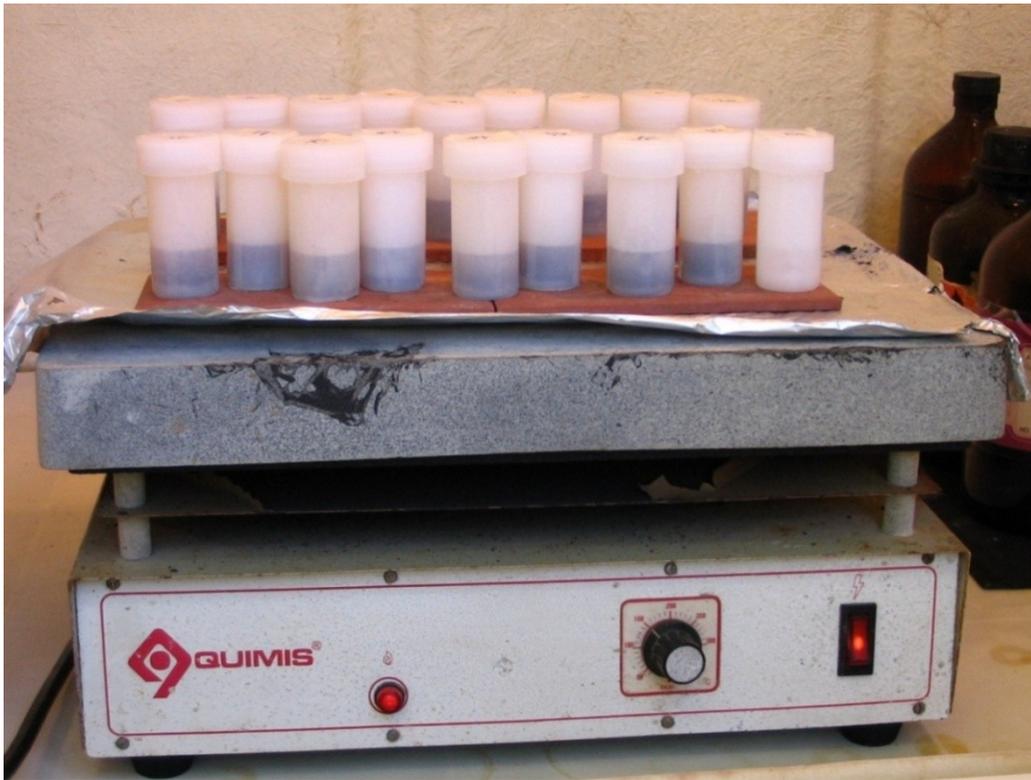


Figura 4. 11 – Sistema de aquecimento dos béquers (etapas 2 e 3).



Figura 4. 12 – Béquers abertos (etapas 4 e 5).

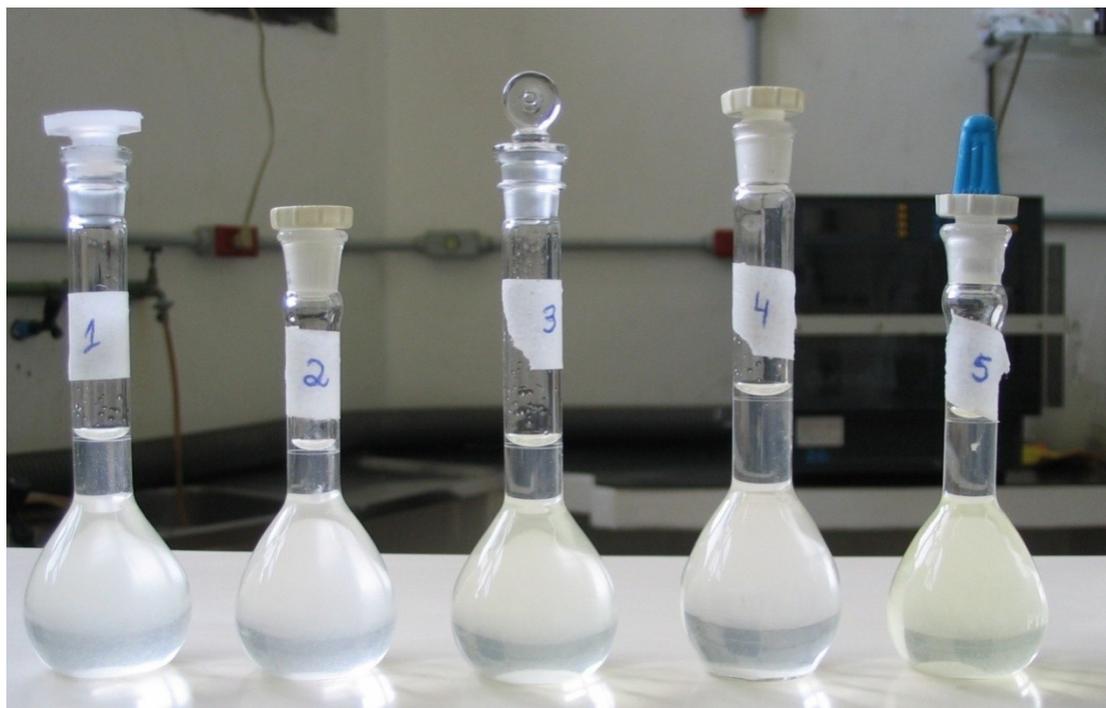


Figura 4. 13 – Após a transferência para os balões (etapa 6).

4.3.4 Análise de Mercúrio

O método utilizado para determinação de mercúrio nas amostras foi o método apresentado por Varian. Este método é usado para sedimentos e emprega mineralização por via úmida usando combinação de ácido nítrico e hidrocloreto. As concentrações superior e inferior limites são de 50 e 0,1 $\mu\text{g/mL}$ em solução, respectivamente, se nenhuma outra diluição for feita. Analisam-se amostras com concentrações superiores a este limite, após feita a diluição. A amostra é liofilizada e homogeneizada (Figura 4.14). Pesa-se e transfere-se 0,5g de sedimento e material de referência para erlenmeyers de 125mL. Usam-se frascos sem amostras como branco. Adiciona-se a solução ácida na proporção de três partes de ácido nítrico para uma de ácido hidrocloreto. Permanece-se em temperatura ambiente em capela com exaustão por aproximadamente 20 minutos ou até que os fumos excessivos parem (Figura 4.15). Coloca-se em chapa quente ajustada para manter a temperatura de 150°C. Aquecem-se os frascos por aproximadamente 30 minutos ou até que os frascos contendo as soluções de branco fiquem sem cor. Conserva-se a solução mineralizada pela adição de

solução de dicromato de potássio, diluída a um volume conhecido com água deionizada (Ustra, 2001).



Figura 4. 14 – Amostra seca.



Figura 4. 15 – Amostra em solução ácida à temperatura ambiente em capela até que os fumos excessivos parem.

4.4 MÉTODOS PARA ANÁLISE DE FERTILIDADE DO SOLO

As análises para determinação de fertilidade dos solos foram realizadas na Universidade Federal de Pelotas, pelo Laboratório de Análise de Solos do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, certificado por ROLAS – NRS – SBCS (ROLAS: Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.). Em 1994 foi instituído o selo de qualidade que é deferido, anualmente, aos laboratórios que atingem certo grau de exatidão.

4.4.1 Teor de argila

A determinação do teor de argila do solo é feita pelo método do densímetro, após dispersão com álcali, sendo expressa em % (m/v). Essa determinação é necessária para estabelecer a classe textural e a interpretação do teor de fósforo extraído pelo método de Mehlich-1. Na análise usam-se 10cm³ de solo.

4.4.2 pH do solo

É determinado por potenciômetro na suspensão solo-água, na proporção 1:1. Na análise usam-se 10cm³ de solo e 10mL de água.

4.4.3 Necessidade de calcário

É determinada pelo método SMP. O método baseia-se no uso de uma solução tamponada a pH 7,5. Como forma de medida da acidez potencial do solo, determina-se o pH de equilíbrio desta solução quando em contato com o solo, denominado índice SMP. O pH de

equilíbrio da mistura solo:solução SMP é relacionado à quantidade de calcário necessária para a correção da acidez do solo. O índice pode ser utilizado para indicar as quantidades de calcário necessárias para elevar o pH do solo a 5,5, 6,0 ou 6,5. Na análise, utiliza-se a mesma amostra da determinação do pH em água.

4.4.4 Acidez potencial (H+Al)

É estimada pelo índice SMP, sendo seu valor obtido pela equação (4.1):

$$H + Al = \frac{e^{(10,665 - 1,1483SMP)}}{10} \quad (4.1)$$

O valor é expresso em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$.

4.4.5 Fósforo extraível pelo método Mehlich-1

É a fração extraída por uma solução composta pela mistura de ácido clorídrico (0,05mol/L) e ácido sulfúrico (0,0125 mol/L), conhecida como solução de Mehlich-1. O teor obtido representa o fósforo na solução, o fósforo adsorvido na superfície de óxidos e hidróxidos de ferro e de alumínio e, em menor quantidade, o fósforo ligado ao cálcio. A determinação é feita por colorimetria, empregando molibdato de amônio e uma solução redutora. Os teores são expressos em mg/dm^3 . Na análise usam-se 3 cm^3 de solo.

4.4.6 Potássio extraível

É a quantidade composta pelo potássio da solução do solo e o potássio adsorvido às cargas negativas do solo (potássio trocável). Utiliza-se também o extrator de Mehlich-1. O

teor de potássio no extrato é determinado por fotometria de chama. A quantidade extraída é semelhante ao teor de potássio trocável, extraído com acetato de amônio. O teor é expresso em mg/dm^3 . Neste extrato pode ser também determinado o sódio trocável, por fotometria de chama. Na análise utiliza-se a mesma amostra da determinação de fósforo.

4.4.7 Matéria orgânica

É determinada por combustão úmida, utilizando-se dicromato de sódio e ácido sulfúrico. A matéria orgânica é oxidada e o dicromato é reduzido, ocorrendo modificação na cor da solução, que é proporcional ao teor de matéria orgânica do solo. A determinação da intensidade da cor da solução é feita por colorimetria. Com base no teor de matéria orgânica, avalia-se, indiretamente, a disponibilidade de nitrogênio do solo. Os valores são expressos em % (m/v). Na análise, usam-se $1,5\text{cm}^3$ de solo.

4.4.8 Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis

São extraídos por cloreto de potássio 1mol/L . Numa fração do extrato, o alumínio é titulado com hidróxido de sódio, na presença de azul de bromotimol (ou fenolftaleína). Em outra fração, o cálcio e o magnésio são determinados por espectrofotometria de absorção atômica. Alguns laboratórios determinam os teores de cálcio e o magnésio por titulação com EDTA. Neste caso, primeiro é feita a titulação de cálcio e magnésio e, depois a do cálcio, calculando-se o teor de magnésio por diferença. Os teores são expressos em cmol/dm^3 . Na análise usam-se $2,5\text{cm}^3$ de solo.

4.4.9 Capacidade de troca de cátions (CTC)

É calculada pela soma dos cátions de reação básica trocáveis (K^+ ; Ca^+ ; Mg^+ ; e às

vezes Na^+) e dos cátions ácidos ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$). Para o cálculo da CTC ao pH natural do solo (na análise), denominada CTC efetiva, é somado o cátion Al^{3+} aos cátions da reação básica como mostrada na equação (4.2):

$$\text{CTC}_{\text{efetiva}} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + \text{Al}^{3+}. \quad (4.2)$$

A capacidade de troca de cátions a pH 7,0 é calculada pela equação (4.3):

$$\text{CTC}_{\text{pH7,0}} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+ + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}). \quad (4.3)$$

Observações:

- a) O teor de Na^+ nos solos ácidos em geral é baixo e normalmente não é incluído no cálculo;
- b) Para expressar o teor de K^+ em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$, utiliza-se a equação seguinte:
 $\text{cmol}_c \text{ de } \text{K}^+/\text{dm}^3 = \text{mg de } \text{K}^+/391.$

Os valores da $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ e da $\text{CTC}_{\text{pH7,0}}$ são utilizados para os cálculos da saturação por alumínio e por bases, obtidos como mostrado a seguir:

A saturação da $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ por alumínio (valor m) é calculada pela equação (4.4):

$$m = \frac{\text{Al} \times 100}{\text{CTC}_{\text{efetiva}}} \quad (4.4)$$

Já a fração da $\text{CTC}_{\text{pH7,0}}$ ocupada pelos cátions de reação básica representa a porcentagem das cargas negativas do solo neutralizadas por cátions de reação básica, denominada saturação por bases (valor V), sendo calculada pela equação (4.5):

$$V = \frac{S \times 100}{\text{CTC}_{\text{pH7,0}}} \quad (4.5)$$

em que: S = soma dos cátions e reação básica ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$) em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$.

4.4.10 Diagnóstico da disponibilidade de enxofre e de micronutrientes (métodos de extração)

a) Cobre e Zinco: são extraídos com HCl 0,1mol/L e determinados por espectrofotometria de absorção atômica; os valores são expressos em mg/dm³. As determinações de cobre e de zinco podem ser feitas também no extrato da solução de Mehlich-1. As quantidades extraídas são, entretanto, aproximadamente 30% menores que as determinadas no extrato de HCl 0,1 mol/L. Na análise usam-se 10cm³ de solo.

b) Enxofre: é extraído com solução de fosfato de cálcio contendo 500mg de P/L, determinando-se o teor de sulfato por turbidimetria com cloreto de bário, após a digestão do extrato com ácido perclórico; os valores são expressos em mg/dm³. Na análise usam-se 10cm³ de solo.

c) Boro: é extraído com água quente e determinado por colorimetria, com curcumina; os valores são expressos em mg/dm³. Na análise usam-se 5cm³ de solo.

d) Manganês: é determinada por espectrofotometria de absorção atômica no mesmo extrato da solução de Mehlich-1, representando o manganês trocável; os valores são expressos em mg/dm³. Utiliza-se a mesma solução da determinação de fósforo e potássio.

e) Ferro: é extraído com oxalato de amônio a pH 3,0, sendo determinado por espectrofotometria de absorção atômica. A forma química extraída é o ferro de compostos amorfos (ou de baixa cristalinidade) do solo; os valores são expressos em g/dm³. Na análise usam-se 1,5cm³ de solo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 5.1 apresenta os resultados obtidos para as análises de metais nos sedimentos analisados.

Tabela 5. 1 – Teores dos metais pesados, em peso seco (Mn, Cu, Zn, Fe, Ni, Cr, Cd, Pb, Hg) e arsênio nas amostras analisadas;

	Amos- tra	*d.r. (cm)	espes. (cm)	Mn	Cu	Zn	Fe	Ni	Cr	Cd	Pb	As	Hg
Nível 1**				-	34	150	-	20,9	81	1,2	46,7	8,2	0,15
FURO 1													
Shelby # 1	7	3	3	502,64	23,66	70,63	1330,16	15,62	62,17	0,02	20,66	nd	nd
	8	15	5	475,11	20,52	87,93	1339,08	22,72	69,86	0,02	19,87	nd	nd
	9	25	5	433,07	16,52	66,26	1279,12	17,58	55,10	0,04	19,85	nd	nd
	10	41	6,5	510,81	25,20	78,93	1332,21	21,23	65,94	0,02	18,74	nd	nd
Média				480,41	21,48	75,94	1320,14	19,29	63,27	0,02	19,78	nd	nd
FURO 2													
Shelby # 2	11	5	5	479,89	19,51	70,48	1287,16	17,60	66,19	0,03	19,51	nd	nd
	12	22,5	5	509,03	23,30	75,01	1301,90	22,31	61,52	0,04	18,74	nd	nd
Shelby # 3	4	3	3	479,33	22,49	75,46	1330,89	22,37	65,88	0,01	21,35	nd	nd
	5	18	3	486,95	20,30	71,77	1321,82	22,41	65,47	0,04	20,30	nd	nd
	6	37	6	510,96	25,82	79,56	1336,04	21,68	65,85	0,01	20,14	nd	nd
Shelby # 4	13	5	5	513,81	19,12	79,14	1262,43	21,89	63,28	0,03	19,02	nd	nd
	14	16	3	501,04	11,47	72,83	1347,52	20,25	69,71	0,04	18,74	nd	nd
	15	28	6	472,04	16,14	74,96	1294,68	18,99	56,80	0,01	18,64	nd	nd
Média				494,13	19,77	74,90	1310,31	20,94	64,34	0,03	19,56	nd	nd
FURO 3													
Shelby # 5	16	3	3	521,49	21,87	72,16	1342,22	22,34	65,97	0,02	20,34	nd	nd
	17	10	2	530,55	20,26	78,76	1340,41	23,23	66,11	0,02	20,69	nd	nd
Shelby # 6	1	2	2	488,53	18,92	69,58	1243,82	21,34	62,29	0,02	19,84	nd	nd
	2	12	5	464,38	22,12	77,51	1308,24	21,29	68,72	0,02	19,65	nd	nd
	3	29,5	6,5	509,49	11,03	78,40	1280,87	21,28	60,49	0,02	18,27	nd	nd
Média				502,89	18,84	75,28	1303,11	21,90	64,72	0,02	19,76	nd	nd

nd representa os valores abaixo do limite de detecção, sendo $\leq 0,01$ mg/Kg para As e $\leq 0,05$ mg/Kg para Hg. *d.r. - Distância Relativa até o fundo da bacia de sedimentação.

**CONAMA Res. nº 344 de 2004 (mg/Kg).

Conforme mostrado na Tabela 5.1, apenas o nível de Níquel se apresentou um pouco acima dos valores estabelecidos na Resolução 344 do CONAMA para resíduos de dragagem. Os demais metais se apresentaram dentro dos limites estabelecidos pelo CONAMA.

As Tabelas 5.2 a 5.4 apresentam os resultados da análise de fertilidade para fins de adubação, realizada no Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas.

Tabela 5. 2 – Diagnóstico para calagem do solo

Registro	pH água 1:1	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC _{efetiva}	Saturação (%)		Índice SMP
		cmol _c /dm ³					Al	Bases	
Furo 1	6,8	12,4	12,1	0	1	26,3	0	96	7,3
Furo 2	7,2	12,5	15,7	0	1	30,1	0	97	7,3
Furo 3	7,4	14	17,2	0	0,9	33,1	0	97	7,4

Tabela 5. 3 – Diagnóstico para recomendação de adubação NPK

Registro	% Mat. Org. m/v	% Argila m/v	Textura	P- Mehlich	CTC pH7,0	K
				mg/dm ³	cmol _c /dm ³	mg/dm ³
Furo 1	1,9	28	3	>50,2	27,3	696
Furo 2	1,9	32	3	>50,2	31,1	732
Furo 3	1,7	32	3	>50,2	34	762

Tabela 5. 4 – Diagnóstico para micronutrientes e relações molares

Registro	Na mg/dm ³	Relações			
		Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	K/(Ca+Mg)
Furo 1	2808	1	7	6,8	0,36
Furo 2	2610	0,8	6,7	8,4	0,353
Furo 3	2592	0,8	7,2	8,8	0,349

A CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental é a agência do Governo do Estado de São Paulo responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição, com a preocupação fundamental de preservar e recuperar a qualidade das águas, do ar e do solo. Ela estabelece as diretrizes gerais à caracterização do material a ser dragado para o gerenciamento de sua disposição em solo na sua resolução SMA 39, de 21 de julho de 2004. Nesta resolução os valores são divididos em: valores de referência de qualidade, que se refere à concentração de determinada substância

abaixo do qual o solo pode ser considerado limpo; valor de alerta, que se refere à concentração de determinada substância que indica uma possível alteração da qualidade natural do solo; e valor de intervenção residencial que se refere à concentração de determinada substância no solo, acima da qual existem riscos potenciais diretos e indiretos à saúde humana, considerando um cenário de exposição residencial genérico. Os valores de intervenção residencial não são mostrados nos gráficos, pois se apresentam bem acima dos valores encontrados. A tabela com essas concentrações é apresentada no Anexo A.3.

Para comparar os resultados obtidos nas análises com os limites estabelecidos pelo CONAMA e pela CETESB, e determinar a contaminação do material analisado, os limites e valores obtidos foram representados em gráficos, mostrados a seguir nas Figuras 5.1 à 5.8. Os elementos manganês, e ferro não apresentam limites nestas resoluções.

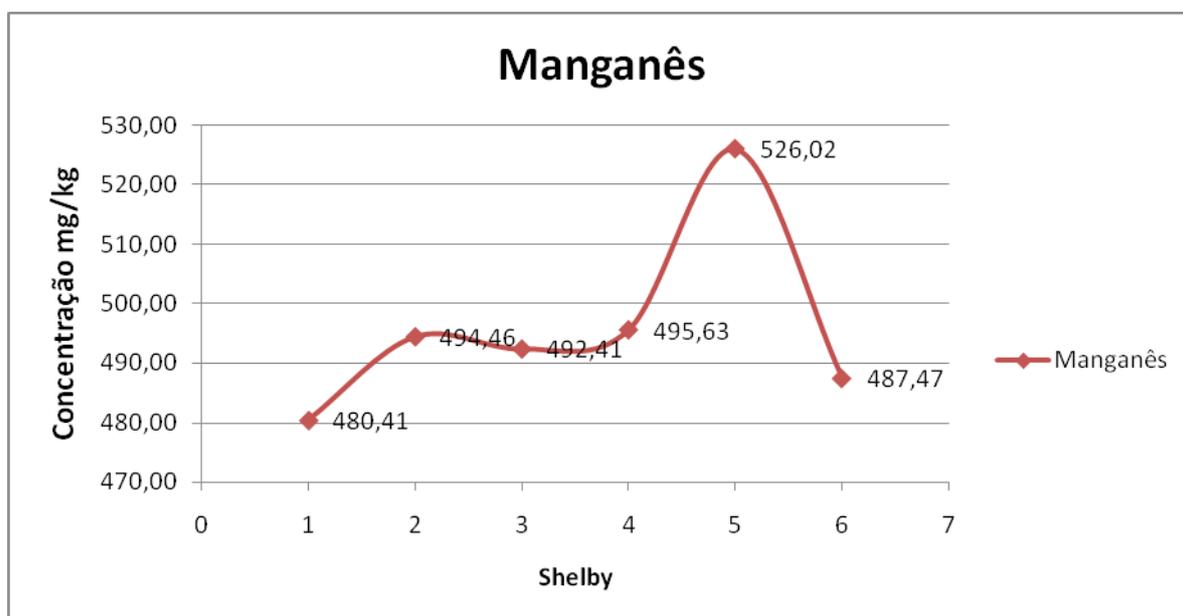


Figura 5. 1 – Teor de manganês nos tubos shelby.

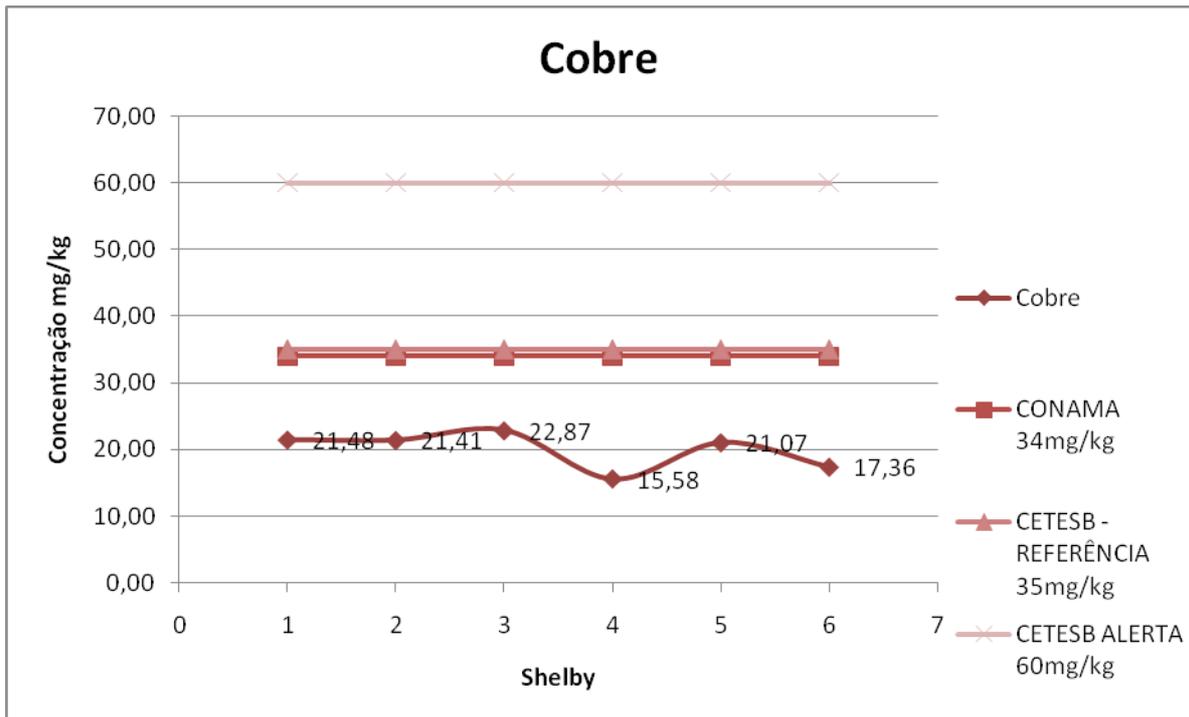


Figura 5. 2 – Teor de Cobre e seus valores de referência pelo CONAMA e CETESB.

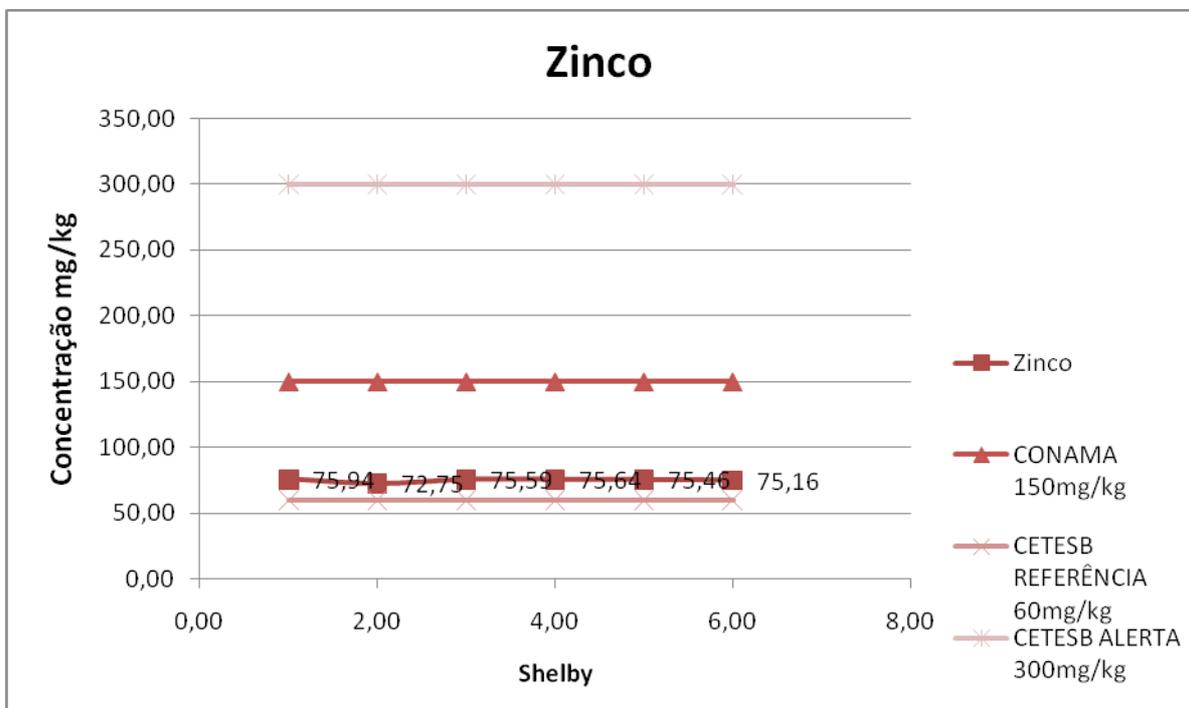


Figura 5. 3 – Teor de Zinco e seus valores de referência pelo CONAMA e CETESB

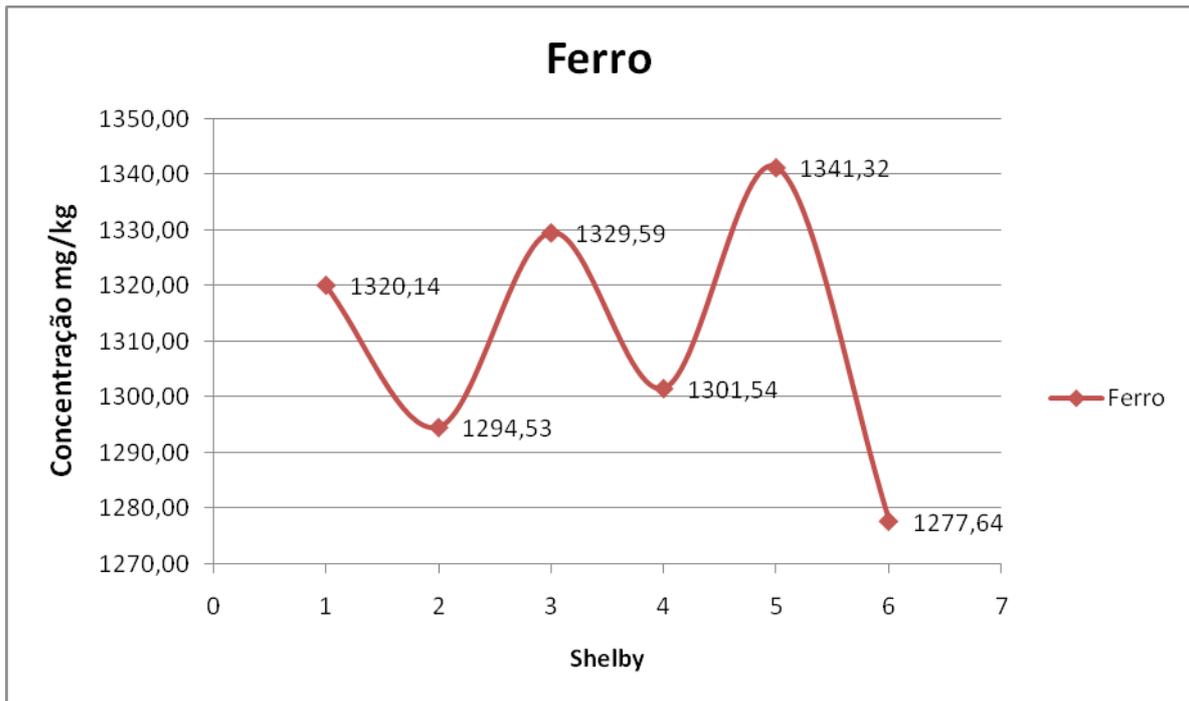


Figura 5. 4 – Teor de Ferro nos tubos Shelby

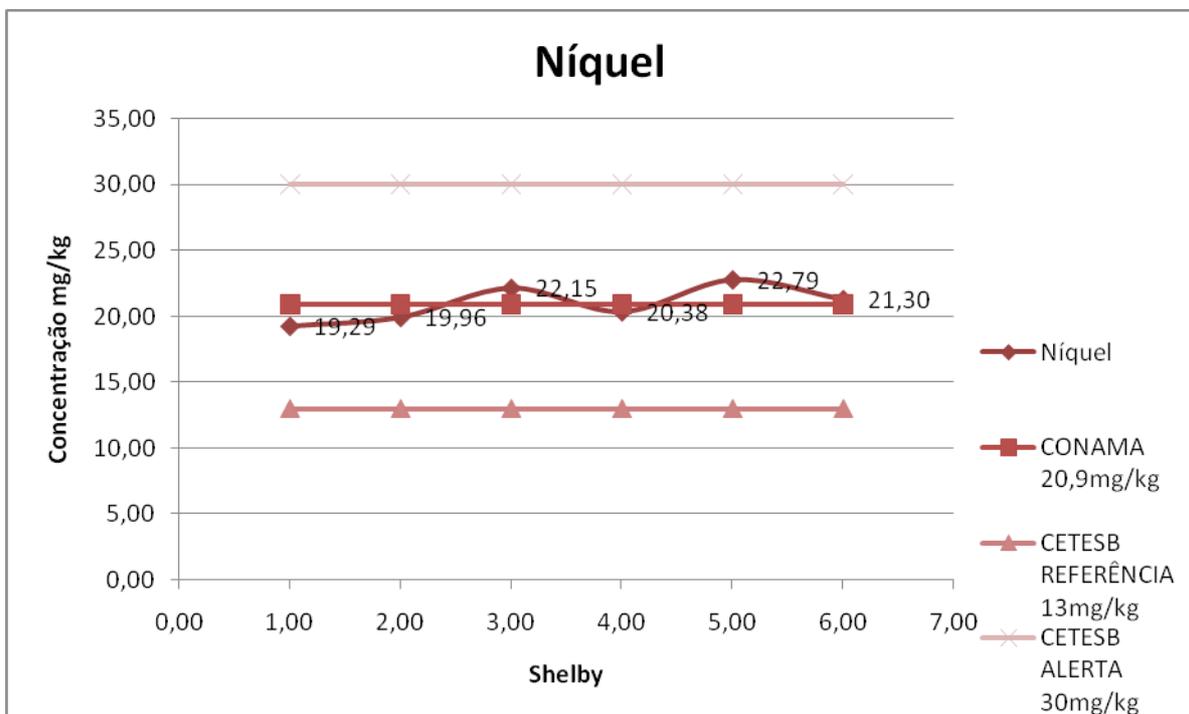


Figura 5. 5 – Teor de Níquel e seus valores de referência pelo CONAMA e CETESB

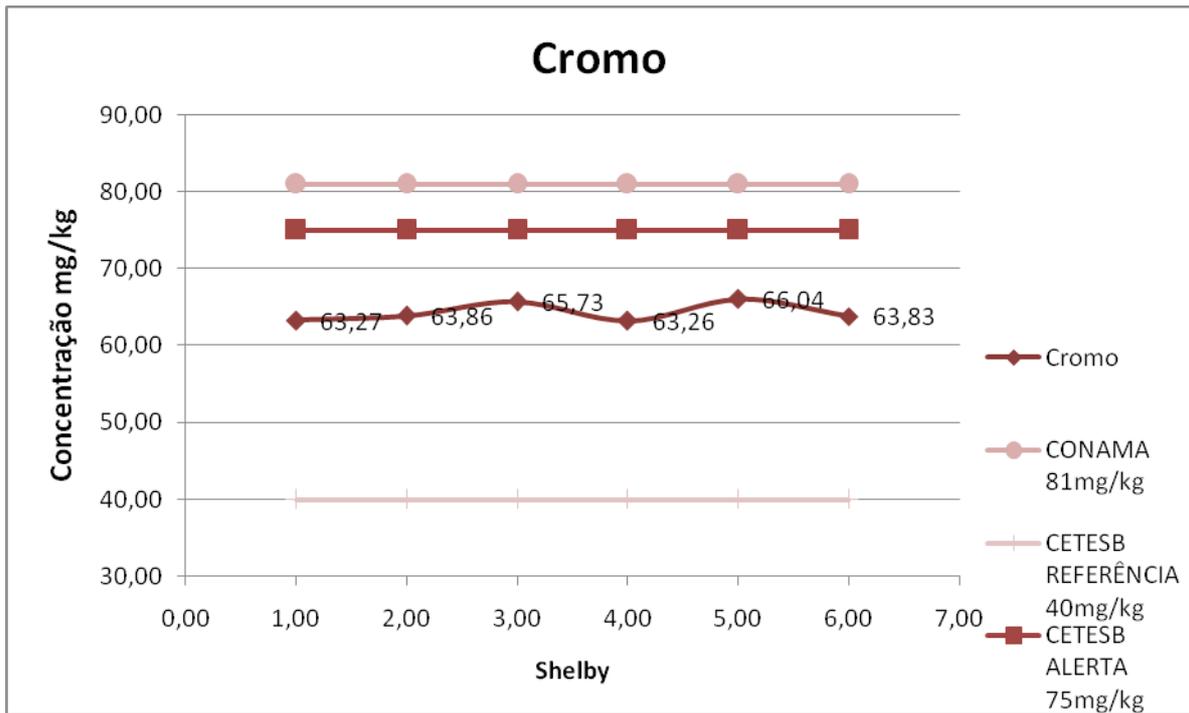


Figura 5. 6 – Teor de Cromo e seus valores de referência pelo CONAMA e CETESB

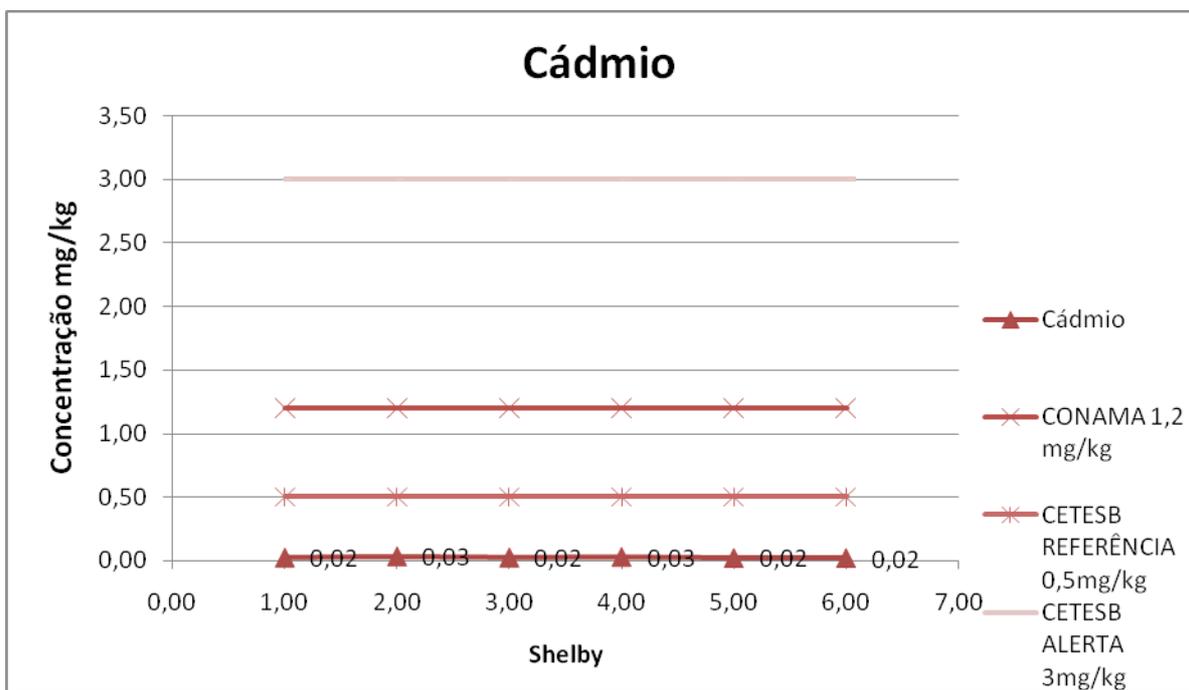


Figura 5. 7 – Teor de Cádmio e seus valores de referência pelo CONAMA e CETESB

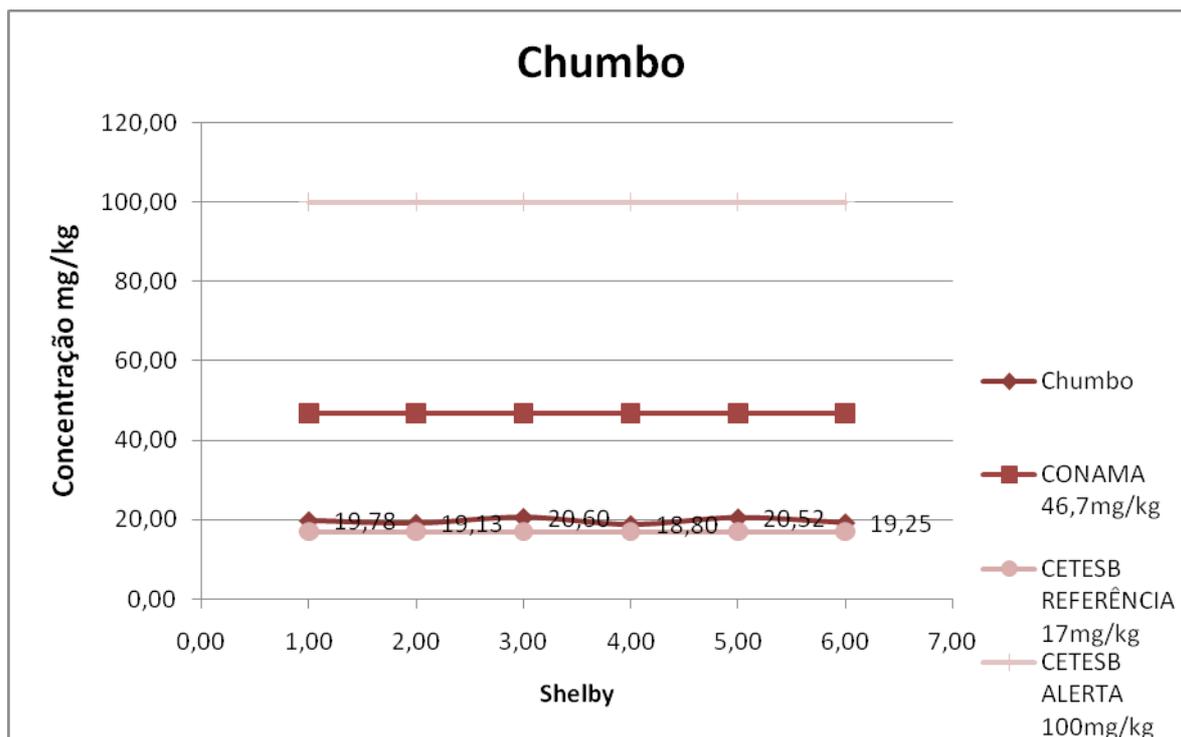


Figura 5. 8 – Teor de Chumbo e seus valores de referência pelo CONAMA e CETESB

Interpretando os gráficos mostrados, observa-se que o cobre e o cádmio apresentam-se bem abaixo dos valores de referência do CONAMA resolução 344/04 e da CETESB resolução 39/2004, mostrando que a amostra não está contaminada por estes elementos. Já o zinco, o cromo e o chumbo estão abaixo do limite de contaminação do CONAMA resolução 344/04 e entre os valores de referência de qualidade e de alerta da CETESB resolução 39/2004, o que indica que o solo não pode ser considerado limpo, mas também não se encontra em um nível que indique uma alteração na qualidade natural do solo. Para o níquel, foi o único elemento que se apresentou um pouco acima do nível 1 do CONAMA resolução 344/04, e está entre os valores de referência de qualidade e de alerta da CETESB resolução 39/2004. Esses valores não podem ser considerados como contaminação, visto que os resultados obtidos ficaram muito pouco acima do menor teor das resoluções dos dois órgãos. Os valores analisados foram comparados também com os padrões do CONAMA resolução 375/06 para disposição de lamas em solos (tabela apresentada no anexo A.2), e comparado a esses limites também não se encontram contaminados.

Conforme mostrado nas Tabelas 5.2, 5.3 e 5.4, e por comparação com os parâmetros de fertilidade mostrados nas Tabelas 3.3 à 3.8, podemos então interpretar os resultados

obtidos para determinação da fertilidade e utilização do resíduo da dragagem como solo fabricado e determinar a necessidade de corretivos.

A partir da Tabela 3.3, interpretando o pH em água, obtivemos um resultado enquadrado como alto, e estando ele de neutro a pouco alcalino (valor médio 7,13). A saturação por bases (97%) está enquadrada como alta, e a saturação em alumínio foi muito baixa (zero), o que mostra que, neste caso, o teor de alumínio não é prejudicial.

Pela Tabela 3.4, determinamos que a textura a partir do percentual de argila (valor médio de 30,7%), se classifica como classe 3 (textura média, nem arenosa, nem argilosa). O teor de matéria orgânica (1,8%), se interpreta como baixo, e a $CTC_{pH7,0}$ (30,8 $cmol_c/dm^3$) é interpretada como alta, o que é muito bom para sua utilização agrícola, assim como a $CTC_{efetiva}$, que também se apresenta com um teor muito bom.

Na Tabela 3.5, interpretamos o teor de fósforo no solo pelo método de Mehlich-1, de acordo com o seu teor de argila, e verificamos que as amostras apresentam um teor muito alto, estando as amostras acima de 50,2 mg/dm^3 , o que é um teor muito bom de fósforo na amostra.

A Tabela 3.6 apresenta a interpretação para teor de potássio conforme a $CTC_{pH7,0}$. Como a $CTC_{pH7,0}$ foi maior que 15,0; o valor determinado para potássio foi definido como muito alto (valor médio de 730 mg/dm^3), com valor bem acima do limite inferior desta faixa (180 mg/dm^3).

Para a Tabela 3.7, verificamos um teor de cálcio (valor médio de 12,97 $cmol_c/dm^3$) e de magnésio (valor médio de 15 $cmol_c/dm^3$) interpretado como alto, sendo estes acima de 4,0 (Cálcio) e de 1,0 (Magnésio). Porém a relação Ca/Mg apresenta-se boa, com valores de 1,0 e 0,8, considerando que se obtém um bom rendimento com valores entre 0,5 e 10.

Para os micronutrientes (interpretação apresentada na Tabela 3.8), os valores de cobre (20 mg/kg), zinco (75,37 mg/kg), manganês (492,5 mg/kg) e ferro (1311,19 mg/kg) se encontram muito acima dos limites inferiores para a faixa alta.

Para o sódio e o potássio, foi feita a conversão dos valores apresentados nas Tabelas 5.3 e 5.4, utilizando a equação 3.2 para se obter os resultados expressos em $cmol_c/dm^3$. Estes resultados estão mostrados na Tabela 5.5 a seguir.

Tabela 5. 5 – Teores de sódio e potássio convertidos a cmol/dm^3 .

Registro	Na	K
	---- cmol/dm^3 ----	
Furo 1	12,21	1,78
Furo 2	11,35	1,88
Furo 3	11,27	1,95

Com os valores apresentados na Tabela 5.5 acima, e com os valores das bases Cálcio e Magnésio, apresentados na Tabela 5.2, obtém-se a soma das bases e com esta se determina o percentual de saturação de sódio (PSS). O resultado é mostrado na Tabela 5.6 abaixo.

Tabela 5. 6 – Percentual de saturação de sódio nas amostras.

Registro	PSS (%)
Furo 1	31,71
Furo 2	27,38
Furo 3	25,40

Assim, com estes resultados, determina-se que o solo é sódico, isto é, com percentual de saturação de sódio (PSS) maior que 15%. Isto mostra que para uso agrícola, é necessário cuidado, pois apenas algumas culturas admitem este teor de sódio, porém ainda é possível, pois o valor crítico é acima de 50%, quando o cálcio começa a se tornar indisponível.

Todos os nutrientes estão presentes em grande quantidade nas amostras do solo, porém o resultado para sódio apresentou-se elevado, o que era esperado pois a lama foi retirada de uma área com água salgada. Sendo assim, para o uso agrícola, é possível o cultivo apenas com culturas tolerantes à salinidade, como centeio, algodão, tamareira e o capim-bermuda. Pode-se então, utilizar a lama para melhorar o solo, devido ao alto teor de nutrientes e porque ela não apresenta metais pesados em níveis acima do permitido pelo CONAMA para dragagem estabelecidos na resolução 344/04, nem para disposição de lamas em solos estabelecidos na resolução 375/06 (tabela apresentada no anexo A.2). Os resultados das análises, comparados à resolução 39/2004 da CETESB, não se apresentaram contaminados também. Dessa forma, esta lama pode ser adicionada para corrigir as deficiências de um solo arenoso, como o solo da região da cidade do Rio Grande, e poderá trazer grandes benefícios ao solo, melhorando assim a agricultura na região. Outra sugestão é o uso desse material para

a correção da acidez do solo, devido ao seu pH elevado (entre 6,8 e 7,4), dessa forma substituindo o cal neste processo.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se assim, que o estudo dos resíduos do material dragado é de suma importância tanto para os custos da operação quanto para o aproveitamento desse material e para a preservação do meio ambiente. A pesquisa foi feita para a determinação do potencial, das propriedades químicas e físicas e para sugestões do aproveitamento desse resíduo. As análises feitas comprovaram que o solo não se apresenta contaminado por metais, segundo valores de referência do CONAMA (resoluções 344/2004 e 375/2004) e da CETESB (resolução 39/2004), para lama de dragagem, e para disposição de lama em solos; e apresentou todos os nutrientes estudados para fertilidade com valores bem elevados, mostrando seu potencial para o uso agrícola, segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, comparada a padrões de solo do estado do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Devido a salinidade apresentada nas amostras, esta deve ser utilizada para cultivo de culturas tolerantes ao sódio, como algodão, centeio, tamareira ou o capim-bermuda. Outra sugestão é o uso desse material como corretivo à acidez dos solos, devido ao seu elevado pH, substituindo o processo de calagem.

Como sugestão para futuras dissertações, o estudo do uso do resíduo como corretivo e o estudo de plantas desenvolvidas em solo corrigido com o resíduo de dragagem. Também pode ser feito um estudo sobre a logística do processo da dragagem até o produtor.

ANEXO

A.1 RESOLUÇÃO CONAMA 344/2004

Edição Número 87 de 07/05/2004, retificada na Edição Número 94 de 18/05/2004, na Edição Número 98 de 24/05/2004, e na Edição Número 102 de 28/05/2004
Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA

RESOLUÇÃO N o 344, DE 25 DE MARÇO DE 2004

Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, e dá outras providências.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, no uso de suas competências previstas na Lei n o 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto n o 99.274, de 6 de julho de 1990, e tendo em vista o disposto em seu Regimento Interno, anexo à Portaria n o 499, de 18 de dezembro de 2002, e

Considerando o disposto na Convenção sobre Prevenção da Poluição Marinha por Alijamento de Resíduos e Outras Matérias (Convenção de Londres - LC/72), promulgada pelo Decreto n o 87.566, de 16 de setembro de 1982, e suas alterações, que prevê em seu art. 2 o que as partes contratantes adotarão, segundo suas possibilidades científicas, técnicas e econômicas, medidas eficazes, individual e coletivamente, para impedir a contaminação do mar causado pelo alijamento de resíduos;

Considerando o disposto no art. 30 da Lei n o 9.966, de 28 de abril de 2000, que estabelece que o alijamento de resíduos e outras matérias em águas sob jurisdição nacional deverá obedecer às condições previstas na Convenção de Londres promulgada pelo Decreto n o 87.566, de 1982, e suas alterações;

Considerando a necessidade da realização de atividades de dragagem para garantir a implantação e a operação de portos e terminais portuários, e as condições de navegabilidade de corpos hídricos;

Considerando que a atividade de dragagem sujeita-se a licenciamento ambiental, nos termos da Resolução CONAMA n o 237, de 12 de dezembro de 1997, e, quando couber, da Resolução CONAMA n o 001, de 23 de janeiro de 1986, com base em estudos ambientais e obrigatoriedade de monitoramento da atividade;

Considerando a necessidade de subsidiar e harmonizar a atuação dos órgãos ambientais competentes, no que se refere ao processo de licenciamento ambiental das atividades de dragagem, resolve:

Art. 1º Estabelecer as diretrizes gerais e procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado visando ao gerenciamento de sua disposição em águas jurisdicionais brasileiras.

§ 1º Para efeito de classificação do material a ser dragado para disposição em terra, o mesmo deverá ser comparado aos valores orientadores estabelecidos para solos pela norma da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental-CETESB, "Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo", publicado no Diário Oficial da União; Empresarial; São Paulo, 111 (203), sexta-feira, 26 de outubro de 2001, até que sejam estabelecidos os valores orientadores nacionais pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA;

§ 2º Caso o material a ser dragado não atenda aos valores ferenciados no § 1º, deverão ser selecionadas alternativas de disposição autorizadas pelo órgão ambiental competente.

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

I - material dragado: material retirado ou deslocado do leito dos corpos d'água decorrente da atividade de dragagem, desde que esse material não constitua bem mineral;

II - órgão ambiental competente: órgão ambiental de proteção e controle ambiental do poder executivo federal, estadual ou municipal, integrante do Sistema Nacional do Meio Ambiente-SISNAMA, responsável pelo licenciamento ambiental, no âmbito de suas competências;

III - disposição final do material dragado: local onde serão colocados os materiais resultantes das atividades de dragagem, onde possam permanecer por tempo indeterminado, em seu estado natural ou transformado em material adequado a essa permanência, de forma a não prejudicar a segurança da navegação, não causar danos ao meio ambiente ou à saúde humana;

IV - águas jurisdicionais brasileiras:

a) águas interiores:

1. águas compreendidas entre a costa e a linha de base reta, a partir de onde se mede o mar territorial;

2. águas dos portos;

3. águas das baías;

4. águas dos rios e de suas desembocaduras;

5. águas dos lagos, das lagoas e dos canais;

6. águas entre os baixios a descoberto e a costa;

b) águas marítimas:

1. águas abrangidas por uma faixa de doze milhas marítimas de largura, medidas a partir da linha de base reta e da linha de baixamar, tal como indicada nas cartas náuticas de grande escala, que constituem o mar territorial;

2. águas abrangidas por uma faixa que se estende das doze às duzentas milhas marítimas, contadas a partir das linhas de base que servem para medir o mar territorial, que constituem a zona econômica exclusiva; e

3. águas sobrejacentes à plataforma continental, quando esta ultrapassar os limites da zona econômica exclusiva.

V - eutrofização: processo natural de enriquecimento por nitrogênio e fósforo em lagos, represas, rios ou estuários e, conseqüentemente, da produção orgânica; nos casos onde houver impactos ambientais decorrentes de processos antrópicos, há uma aceleração significativa do processo natural, com prejuízos à beleza cênica, à qualidade ambiental e à biota aquática.

Art. 3º Para efeito de classificação do material a ser dragado, são definidos critérios de qualidade, a partir de dois níveis, conforme procedimentos estabelecidos no Anexo desta Resolução:

I - nível 1: limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota.

II - nível 2: limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota.

§ 1º Os critérios de qualidade fundamentam-se na comparação dos resultados da caracterização do material a ser dragado, com os valores orientadores previstos na TABELA III do Anexo desta Resolução, a fim de orientar o gerenciamento da disposição do material dragado no procedimento de licenciamento ambiental.

§ 2º É dispensado de classificação prévia o material oriundo de dragagens realizadas para atendimento a casos de emergência ou calamidade pública, decretadas oficialmente.

§ 3º É dispensado de classificação para disposição em águas marítimas, o material a ser dragado no mar, em estuários e em baías com volume dragado igual ou inferior a 100.000 m³, desde que todas as amostras coletadas apresentem porcentagem de areia igual ou superior a 90%.

§ 4º É dispensado de classificação para disposição em águas jurisdicionais brasileiras, o material a ser dragado em rios ou em lagoas com volume dragado igual ou inferior a 10.000 m³, desde que todas as amostras coletadas apresentem porcentagem de areia igual ou superior a 90%.

Art. 4º Para subsidiar o acompanhamento do processo de eutrofização em áreas de disposição sujeitas a esse processo, a caracterização do material a ser dragado deve incluir as determinações de carbono orgânico e nutrientes previstas na TABELA IV do Anexo desta Resolução.

Parágrafo único. Os valores de referência da TABELA IV não serão utilizados para classificação do material a ser dragado, mas tão somente como fator contribuinte para o gerenciamento da área de disposição.

Art. 5 o Para a classificação do material a ser dragado, os dados obtidos na amostragem de sedimentos deverão ser apresentados em forma de tabelas, com os dados brutos e sua interpretação, sendo que as amostras de cada estação deverão ser analisadas individualmente e coletadas em quantidade suficiente para efeito de contraprova, cujas análises serão realizadas a critério do órgão ambiental competente.

I - as estações de coleta deverão ser identificadas e georeferenciadas por sistema de coordenadas geográficas, especificando o sistema geodésico de referência.

II - as metodologias empregadas na coleta de amostras de sedimentos deverão ser propostas pelo empreendedor e aprovadas pelo órgão ambiental competente.

III - as análises químicas deverão contemplar rastreabilidade analítica, validação e consistência analítica dos dados, cartas controle, (elaboradas com faixas de concentração significativamente próximas daquelas esperadas nas matrizes sólidas), e ensaios com amostras de sedimento certificadas, a fim de comprovar a exatidão dos resultados por meio de ensaios paralelos.

IV - as amostras certificadas que não contenham os analitos de interesse (por exemplo, compostos orgânicos), os ensaios deverão ser realizados por adição padrão ou adição de reforço ("spike"), de maneira que fique garantido um grau de recuperação aceitável para determinação desses compostos na matriz. Os limites de detecção praticados deverão ser inferiores ao nível 1, da TABELA III do Anexo a esta Resolução, para cada composto estudado.

V - a metodologia analítica para a extração dos metais das amostras consistirá em ataque com ácido nítrico concentrado e aquecimento por microondas, ou metodologia similar a ser estabelecida pelo órgão ambiental competente.

Parágrafo único. O órgão ambiental competente estabelecerá previamente a metodologia de preservação das contraprovas.

Art. 6 o As análises físicas, químicas e biológicas previstas nesta Resolução deverão ser realizadas em laboratórios que possuam esses processos de análises credenciados pelo Instituto Nacional de Metrologia-INMETRO, ou em laboratório qualificados ou aceitos pelo órgão ambiental competente licenciador.

Parágrafo único. Os laboratórios deverão ter sistema de controle de qualidade analítica implementado, observados os procedimentos estabelecidos nesta Resolução.

Art. 7 o O material a ser dragado poderá ser disposto em águas jurisdicionais brasileiras, de acordo com os seguintes critérios a serem observados no processo de licenciamento ambiental:

I - não necessitará de estudos complementares para sua caracterização:

a) material composto por areia grossa, cascalho ou seixo em fração igual ou superior a 50%, ou

b) material cuja concentração de poluentes for menor ou igual ao nível 1, ou

c) material cuja concentração de metais, exceto mercúrio, cádmio, chumbo ou arsênio, estiver entre os níveis 1 e 2, ou

d) material cuja concentração de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos-PAHs do Grupo B estiver entre os níveis 1 e 2 e a somatória das concentrações de todos os PAHs estiver abaixo do valor correspondente a soma de PAHs.

II - o material cuja concentração de qualquer dos poluentes exceda o nível 2 somente poderá ser disposto mediante previa comprovação técnico-científica e monitoramento do processo e da área de disposição, de modo que a biota desta área não sofra efeitos adversos superiores àqueles esperados para o nível 1, não sendo aceitas técnicas que considerem, como princípio de disposição, a diluição ou a difusão dos sedimentos do material dragado.

III - o material cuja concentração de mercúrio, cádmio, chumbo ou arsênio, ou de PAHs do Grupo A estiver entre os níveis 1 e 2, ou se a somatória das concentrações de todos os PAHs estiver acima do valor correspondente a soma de PAHs, deverá ser submetido a ensaios ecotoxicológicos, entre outros testes que venham a ser exigidos pelo órgão ambiental competente ou propostos pelo empreendedor, de modo a enquadrá-lo nos critérios previstos nos incisos I e II deste artigo.

Art. 8 o Os autores de estudos e laudos técnicos são considerados peritos para fins do artigo 342, caput, do Decreto-Lei no 2.848, de 7 de dezembro de 1940 - Código Penal.

Art. 9 o Esta Resolução será revisada em até cinco anos, contados a partir da data de publicação esta Resolução, objetivando o estabelecimento de valores orientadores nacionais para a classificação do material a ser dragado.

Art. 10. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA deverá normatizar a forma de apresentação dos dados gerados para classificação do material dragado, monitoramento das áreas de dragagem e de disposição, de modo que os dados gerados pelos órgãos ambientais competentes sejam comparados, quando da revisão desta Resolução.

Art 11. Aplicam-se as disposições do art. 19 da Resolução CONAMA no 237, de 1997 às licenças ambientais em vigor, devendo a eventual renovação obedecer integralmente ao disposto nesta Resolução.

Art 12. O enquadramento dos laboratórios aos aspectos técnicos relacionados aos incisos III e IV do art. 5o desta Resolução, dar-se-á no período transitório de até dois anos, contados a partir da publicação desta Resolução.

Art. 13. A caracterização ecotoxicológica prevista no inciso III do art. 7, desta Resolução poderá, sem prejuízo das outras exigências e condições previstas nesta Resolução e nas demais normas aplicáveis, ser dispensada pelos órgãos ambientais competentes, por período improrrogável de até dois anos, contados a partir da publicação desta Resolução, permitindo-se

a disposição deste material em águas jurisdicionais brasileiras, desde que cumpridas as seguintes condições:

I - o local de disposição seja monitorado de forma a verificar a existência de danos à biota advindos de poluentes presentes no material disposto, segundo procedimentos estabelecidos pelo órgão ambiental competente, com apresentação de relatórios periódicos;

II - o local de disposição tenha recebido, nos últimos três anos, volume igual ou superior de material dragado de mesma origem e com características físicas e químicas equivalentes, resultante de dragagens periódicas, e que a disposição do material dragado não tenha produzido evidências de impactos significativos por poluentes ao meio ambiente no local de disposição.

Art 14. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

MARINA SILVA
PRESIDENTE DO CONAMA

ANEXO

1 - COLETA DE AMOSTRAS DE SEDIMENTO

Consiste em caracterizar a seção horizontal e vertical da área de dragagem, a partir de coleta de amostras de sedimentos que representem os materiais a serem dragados.

A distribuição espacial das amostras de sedimento deve ser representativa da dimensão da área e do volume a ser dragado. As profundidades das coletas das amostras devem ser representativas do perfil (cota) a ser dragado.

A TABELA I fornece o número de estações de coleta a serem estabelecidas.

TABELA I – NÚMERO MÍNIMO DE AMOSTRAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE SEDIMENTOS*

VOLUME A SER DRAGADO (m ³)	NÚMERO DE AMOSTRAS **
Até 25.000	3
Entre 25.000 e 100.000	4 a 6
Entre 100.000 e 500.000	7 a 15
Entre 500.000 e 2.000.000	16 a 30
Acima de 2.000.000	10 extras por 1 milhão de m ³

* Referência: The Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic ("OSPAR Convention") was opened for signature at the

Ministerial Meeting of the Oslo and Paris Commissions in Paris on 22 September 1992.

* O número de amostras poderá variar em função das características ambientais da área a ser dragada; esse número será determinado pelo órgão ambiental competente licenciador.

A TABELA I não se aplica para rios e hidrovias, nos quais as estações deverão ser dispostas a uma distância máxima de quinhentos metros entre si nos trechos a serem dragados, medida no sentido longitudinal, independentemente do volume a ser dragado.

2 - ANÁLISES LABORATORIAIS

O programa de investigação laboratorial (ensaios) do material a ser dragado deverá ser desenvolvido em três etapas, a saber:

1 a ETAPA - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

As características físicas básicas incluem a quantidade de material a ser dragado, a distribuição granulométrica e o peso específico dos sólidos.

TABELA II – CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS*

CLASSIFICAÇÃO	Phi (ϕ)**	(mm)
Areia muito grossa	-1 a 0	2 a 1
Areia grossa	0 a 1	1 a 0,5
Areia média	1 a 2	0,5 a 0,25
Areia fina	2 a 3	0,25 a 0,125
Areia muito fina	3 a 4	0,125 a 0,062
Silte	4 a 8	0,062 a 0,00394
Argila	8 a 12	0,00394 a 0,0002

* Referência: Escala Granulométrica de Wentworth, 1922. ** Phi () corresponde à unidade de medida do diâmetro da partícula do sedimento, cuja equivalência em milímetros (mm) é apresentada na coluna 3 da TABELA II.

2ª ETAPA - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA

A caracterização química deve determinar as concentrações de poluentes no sedimento, na fração total. O detalhamento dar-se-á de acordo com as fontes de poluição preexistentes na área do empreendimento e será determinado pelo órgão ambiental competente, de acordo com os níveis de classificação do material a ser dragado, previstos na TABELA III.

As substâncias não listadas na referida tabela, quando necessária a sua investigação, terão seus valores orientadores previamente estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

Existindo dados sobre valores basais (valores naturais reconhecidos pelo órgão ambiental competente) de uma determinada região, estes deverão prevalecer sobre os valores da TABELA III sempre que se apresentarem mais elevados.

TABELA III – NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL A SER DRAGADO

POLUENTES		NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL A SER DRAGADO				
		(em unidade do material seco)				
		ÁGUA DOCE		ÁGUA SALINA-SALOBRA		
		NÍVEL 1	NÍVEL 2	NÍVEL 1	NÍVEL 2	
Metais Pesados e Arsênio (mg/kg)	Arsênio (As)	5,9 ¹	17 ¹	8,2 ²	70 ²	
	Cádmio (Cd)	0,6 ¹	3,5 ¹	1,2 ²	9,6 ²	
	Chumbo (Pb)	35 ¹	91,3 ¹	46,7 ²	218 ²	
	Cobre (Cu)	35,7 ¹	197 ¹	34 ²	270 ²	
	Cromo (Cr)	37,3 ¹	90 ¹	81 ²	370 ²	
	Mercúrio (Hg)	0,17 ¹	0,486 ¹	0,15 ²	0,71 ²	
	Níquel (Ni)	18 ³	35,9 ³	20,9 ²	51,6 ²	
	Zinco (Zn)	123 ¹	315 ¹	150 ²	410 ²	
Pesticidas organo-clorados (µg/kg)	BHC (Alfa-BHC)	-	-	0,32 ²	0,99 ²	
	BHC (Beta-BHC)	-	-	0,32 ²	0,99 ²	
	BHC (Delta-BHC)	-	-	0,32 ²	0,99 ²	
	BHC (Gama-BHC / Lindano)	0,94 ¹	1,38 ¹	0,32 ¹	0,99 ¹	
	Clordano (Alfa)	-	-	2,26 ²	4,79 ²	
	Clordano (Gama)	-	-	2,26 ²	4,79 ²	
	DDD	3,54 ¹	8,51 ¹	1,22 ¹	7,81 ¹	
	DDE	1,42 ¹	6,75 ¹	2,07 ¹	374 ¹	
	DDT	1,19 ¹	4,77 ¹	1,19 ¹	4,77 ¹	
	Dieldrin	2,85 ¹	6,67 ¹	0,71 ¹	4,3 ¹	
	Endrin	2,67 ¹	62,4 ¹	2,67 ¹	62,4 ¹	
PCBs (µg/kg)	Bifenilas Policloradas - Totais	34,1 ¹	277 ¹	22,7 ²	180 ²	
Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos-PAHs (µg/kg)	Grupo A	Benzo(a)antraceno	31,7 ¹	385 ¹	74,8 ¹	693 ¹
		Benzo(a)pireno	31,9 ¹	782 ¹	88,8 ¹	763 ¹
		Criseno	57,1 ¹	862 ¹	108 ¹	846 ¹
		Dibenzo(a,h)antraceno	6,22 ¹	135 ¹	6,22 ¹	135 ¹
	Grupo B	Acenafteno	6,71 ¹	88,9 ¹	16 ²	500 ²
		Acenaftileno	5,87 ¹	128 ¹	44 ²	640 ²
		Antraceno	46,9 ¹	245 ¹	85,3 ²	1100 ²
		Fenantreno	41,9 ¹	515 ¹	240 ²	1500 ²
		Fluoranteno	111 ¹	2355 ¹	600 ²	5100 ²
		Fluoreno	21,2 ¹	144 ¹	19 ²	540 ²
		2-Metilnftaleno	20,2 ¹	201 ¹	70 ¹	670 ¹
		Naftaleno	34,6 ¹	391 ¹	160 ²	2100 ²
		Pireno	53 ¹	875 ¹	665 ²	2600 ²
		Somaz de PAHs	1000		3000	

considerando os 13 compostos avaliados.

Os valores orientadores, adotados na TABELA III, têm como referência as seguintes publicações oficiais canadenses e norte-americanas:

1 ENVIRONMENTAL CANADA. Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Environmental Quality Guidelines - Summary Tables, atualizado em 2002.

2 Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. & Calder F.D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management* 19 (1): 81-97.

3 FDEP (1994). Approach to the Assessment of Sediment Quality in Florida Coastal Waters. Vol. I. Development and Evaluation of Sediment Quality Assessment Guidelines. Prepared for Florida Department of Environmental Protection - FDEP, Office of Water Policy, Tallahassee, FL, by MacDonald Environmental Sciences Ltd., Ladysmith, British Columbia. 1994.

Quando da caracterização química, devem ser realizadas, ainda, determinações de carbono orgânico total (COT), nitrogênio Kjeldahl total e fósforo total do material a ser dragado, para subsidiar o gerenciamento na área de disposição.

TABELA IV – VALORES ORIENTADORES PARA CARBONO ORGÂNICO TOTAL E NUTRIENTES

Parâmetros	VALOR ALERTA
CARBONO ORGÂNICO TOTAL (%)	10
NITROGÊNIO KJELDAHL TOTAL (mg/kg)	4.800
FÓSFORO TOTAL (mg/kg)	2.000

VALOR ALERTA - valor acima do qual representa possibilidade de causar prejuízos ao ambiente na área de disposição. A critério do órgão ambiental competente, o COT poderá ser substituído pelo teor de matéria orgânica. Ficam excluídos de comparação com a presente caracterização, os valores oriundos de ambientes naturalmente enriquecidos por matéria orgânica e nutrientes, como manguezais.

3 a ETAPA - CARACTERIZAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA

A caracterização ecotoxicológica deve ser realizada em complementação à caracterização física e química, com a finalidade de avaliar os impactos potenciais à vida aquática, no local proposto para a disposição do material dragado.

Os ensaios e os tipos de amostras (sedimentos totais, ou suas frações - elutriato, água intersticial, interface água-sedimento) a serem analisadas serão determinados pelo órgão ambiental competente.

Para a interpretação dos resultados, os ensaios ecotoxicológicos deverão ser acompanhados da determinação de nitrogênio amoniacal, na fração aquosa, e correspondente concentração de amônia não ionizada, bem como dos dados referentes ao pH, temperatura, salinidade e oxigênio dissolvido.

Os resultados analíticos deverão ser encaminhados juntamente com a carta controle atualizada da sensibilidade dos organismos-teste. Também deverá ser enviado o resultado do teste com substância de referência, realizada na época dos ensaios com as amostras de sedimento.

A.2 TABELA PARA REQUISITOS MÍNIMOS DE QUALIDADE DO LODO DE ESGOTO OU PRODUTO DERIVADO DESTINADO A AGRICULTURA – CONAMA – 375/06

Tabela - Lodos de esgoto ou produto derivado - substâncias inorgânicas

Substâncias Inorgânicas	Concentração Máxima permitida no lodo de esgoto ou produto derivado (mg/kg, base seca)
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromio	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

A.3 TABELA PARA OS VALORES ORIENTADORES PARA DISPOSIÇÃO DE MATERIAL DRAGADO EM SOLO DA CETESB – RESOLUÇÃO 39/2004

Tabela - Valores Orientadores para Solos no Estado de São Paulo.

Parâmetro	Valor de Referência de Qualidade	Valor de Alerta	Valor de Intervenção Residencial
mg/kg de peso seco			
Antimônio (menor)	0,5	2,0	10,0
Arsênio	3,50	15	50
Bário	75	150	400
Cádmio (menor)	0,5	3	15
Chumbo	17	100	350
Cobalto	13	25	80
Cobre	35	60	500
Cromo	40	75	700
Mercurio	0,05	0,5	5
Molibdênio (menor)	25	30	100
Níquel	13	30	200
Prata	0,25	2	50
Selênio	0,25	5	-
Vanádio	275	-	-
Zinco	60	300	1000
Benzeno	0,25	-	1,5
Tolueno	0,25	-	40
Xilenos	0,25	-	6,0
Estireno	0,05	-	35
Naftaleno	0,20	-	60
Diclorobenzeno	0,02	-	7,0
Hexaclorobenzeno	0,0005	-	1,0
Tetracloroetileno	0,10	-	1,0
Tricloroetileno	0,10	-	10
1,1,1 Tricloroetano	0,01	-	20
1,2 Dicloroetano	0,5	-	1,0
Cloreto de Vinila	0,05	-	0,2
Pentaclorofenol	0,01	-	5,0
2,4,6 Triclorofenol	0,2	-	5,0
Fenol	0,3	-	10,0
Aldrin e Dieldrin	0,00125	-	1,0
DDT	0,0025	-	1,0
Endrin	0,00375	-	1,0
Lindano ((-BHC)	0,00125	-	1,0

- a ser estabelecido pela CETESB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUIAR, M. R. M. P. de; NOVAES, A.C.; GUARINO, A. W. S. **Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos** Química Nova, v25, n6b, p1145 – 1154, 2002.
2. BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; AUN, P. E. . **O uso de técnicas nucleares na otimização das operações de dragagem e estudos de seus impactos ambientais**. In: II SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA - (SEMENGO 2006), 2006, Rio Grande, RS. (SEMENGO 06) - II SEMINÁRIO E WORKSHOP EM ENGENHARIA OCEÂNICA, 2006.
3. BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. – **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas** – Porto Alegre: Genesis, 2004.
4. BRAY, R. N.; BATES, A. D. e LAND, J. M. 1997 **Dredging, a Handbook for Engineers**. John Wiley & Son, Inc. Second edition. New York. 434p.
5. CAMARGO, O. A. de; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C. **Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos**. Jaboticabal, 2001, cap. 5.
6. CANECCHIO FILHO, V., **Administração técnica agrícola** – 8ª Edição – Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973.
7. CONCEIÇÃO, M.; MANZATTO, C.; ARAÚJO, W.; NETO, L.; SAAB, S.; CUNHA, T.; FREIXO, A. (1999) **Estudo Comparativo de Métodos de Determinação do Teor de Matéria Orgânica em Solos Orgânicos do Estado do Rio de Janeiro**. EMBRAPA, ISSN 1516 – 702X N° 3.
8. COSTA, J. B., **Caracterização e constituição do solo** – Fundação Calouste Gulbenkian (2004) – 7ª Edição – Lisboa – PT.
9. DAVIS, J. D.; MacKNIGHT, S. e IMO staff. 1990. **Environmental Considerations for Port and Harbor Developments**. World Bank Technical Paper, no 126, 83p.
10. DIAS, C. R. R., 2003, **Sítios de Despejos de Dragagens em Rio Grande: Uma Alternativa Para Uso Como Recurso Renovável**. Relatório Final de Projeto FAPERGS.

11. EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. rev. e atualizada. Centro Nacional de Pesquisa de Solos – Rio de Janeiro, 1997.
12. ENGINEER MANUAL n° 1110 – 2 – 5027 (1987) - **Engineering and Design Confined Disposal of Dredged Material**. Department of the Army U. S. Army Corps of Engineers.
13. FAO. **Agriculture towards the year 2010**. Rome: 1995, 83p.
14. FRANÇA, R. G., 1998. **Metais pesados nos sedimentos do sul da Lagoa dos Patos: Identificação do melhor normalizante geoquímico**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Mestrado. FURG. 90 p. + Apêndices e Anexos.
15. GRIEP, G.; LIMA, G. T. N.; BAISCH, P. (2003) **Relatório da SUPRG: Diagnóstico Ambiental do Sítio do Terraplano**.
16. GRIM, R. E. (1953) – **Clay Mineral** – McGraw-Hill Book Company: New York.
17. KERSTNER, V. W. T., **Avaliação do comportamento geotécnico e geoquímico de rejeitos de dragagem do Porto Novo de Rio Grande/RS**, Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Oceânica, Rio Grande – RS, outubro 2003.
18. LEE, C. R. (1999), **Case Studies: Characterization Tests to Determine Dredged Material Suitability for Beneficial Uses**. DOER Technical Notes Collection (TN DOER-C7), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
19. LINSLEY, R. K. e Franzini, J. B., 1978. **Engenharia de Recursos Hídricos**. McGraw Hill do Brasil. São Paulo, 798p.
20. McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford, 1994. 406p.
21. Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA RESOLUÇÃO N° 344, DE 25 DE MARÇO DE 2004.
22. NIENCHESKI, L. F. H.; BARAJ, B.; WINDOM, H. L. and FRANÇA, R. G., 2006. **Natural background assessment and its anthropogenic contamination of Cd, Pb, Cu, Cr, Zn, Al and Fe in the sediments of the Southern area of Patos Lagoon**. Journal of coastal Research SI 39 1040 – 1043 ICS 2004 (Proceedings) Brazil ISSN 0749-0208.
23. PORTO DO RIO GRANDE – Site – Notícias – www.portoriogrande.com.br
24. SCHROEDER, H. A. **Essential trace metals in man: copper**. Journal of Chronic Diseases, v19, 1966.
25. SCHULTZ, L. A. **Métodos de conservação do solo**. 2ª Impressão – Editora Sagra S.A. Porto Alegre – RS, 1987.

26. SOARES, M. R. **Coeficiente de distribuição (Kd) de metais pesados em solos do estado de São Paulo**. Tese de Doutorado Escola Superior de Agricultura Liz de Queiroz, Piracicaba, 2004, 202p.
27. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina** – 10º edição – Porto Alegre, 2004.
28. TAYLOR, S. R. & McLennan, S. M., 1981. **The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks**. Research School of Earth Sciences, Australian National University.
29. TORRES, R. J., **Uma Análise Preliminar dos Processos de Dragagem do Porto de Rio Grande, RS**, Dissertação apresentada para a obtenção do título de mestre em Engenharia Oceânica, Rio Grande – RS, julho 2000.
30. UNEP, 1995. **Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended matter**. Reference Methods for Marine Pollution Studies No. 63. p. 74.
31. UNESCO, 1990: Manuals and Guides - **Standard and Reference Materials for Marine Science**. IAEA, Analytical Quality Control Service.
32. USTRA, J. R. **Otimização da técnica de espectrometria de absorção atômica com geração de vapor frio e concentrações de mercúrio total em organismos e sedimentos no sul do estuário da Lagoa dos Patos**. Dissertação apresentada para a obtenção do título de mestre em Engenharia Oceânica, Rio Grande – RS, 2001.
33. WINFIELD, L. E.; LEE, C. R. (1999) **Dredged Material Characterization Tests for Beneficial Use Suitability**. DOER Technical Notes Collection (TN DOER-C2), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
34. World Health Organization. **Trace elements in human nutrition and health**. Geneva: WHO, 1996.