

Estudo das propriedades químicas dos rejeitos de dragagem para utilização como solo fabricado para fins agrícolas

Laurita dos Santos Teixeira¹, Prof. Dr. Cláudio Renato Rodrigues Dias²

¹ *Mestranda do Curso de Engenharia Oceânica – FURG, Rio Grande, RS – teks@mikrus.com.br*

² *Departamento de Materiais e Construção – FURG, Rio Grande, RS – claudio@dmc.furg.br*

RESUMO

A dragagem é o ato de retirada de material do leito dos corpos de água, para o aprofundamento e alargamento de canais em rios, portos e baías, construção de diques ou fundações para pontes e outras estruturas. Devido à necessidade de navegação de grandes embarcações no Porto do Rio Grande, periodicamente é necessário à realização de dragagens. Uma pesquisa com material dragado teve início em Rio Grande em 2000 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 caracterização do material dragado para seu uso é feita pela determinação de matéria orgânica, pH, salinidade, N, P, K, Ca, Mg, alguns metais pesados e CTC (Capacidade de Troca Catiônica). Assim, o estudo do resíduo é importante para os custos da operação e para aproveitamento do material e meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Dragagem, rejeitos, solo fabricado.

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 um equipamento denominado “draga”, a qual é, geralmente, uma embarcação ou plataforma flutuante equipada com mecanismos necessários para se efetuar a remoção do solo. Os principais objetivos da dragagem são o aprofundamento e alargamento de canais em rios, portos e baías; a construção de diques e preparar fundações para 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 [15].

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.

Recentes pesquisas vêm sendo realizadas na área de aproveitamento de resíduos de dragagens para sua utilização como solos fabricados, como na universidade de Toledo [19]. 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 dessa lama para correção dos solos.

Este trabalho tem por objetivo analisar o material dragado e determinar suas propriedades e a possibilidade do seu uso como fertilizante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Dragagens em Rio Grande

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

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 [11].

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 DEPREC (SUPRG), 83% do volume total dragado nos últimos 15 anos provem do canal de acesso ao P.N.R.G. 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 P.N.R.G. 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).

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 Rio Grande do Sul, 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. Concluiu-se que o material se movimentava 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 movimentava rapidamente, sendo recolocado em suspensão.

2.2 Objetivos da 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 [02].

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 dragas utilizadas comumente neste tipo de operação, as quais são classificadas em mecânicas, hidráulicas e mistas (mecânica/hidráulica), sendo que cada uma destas possui diferentes tipos de mecanismo e operação. A tabela 1 mostra os principais tipos de dragas e suas respectivas categorias [02].

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

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

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. As dragas hidráulicas 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 [13].

As dragas hidráulicas ao aspirar o sedimento, trazem junto uma grande quantidade de água. Conforme os tanques das barcas 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” [10].

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 Uso do Material de Dragagem

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 se tornado imprescindíveis.

Normas nacionais 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.

2.6 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.

3 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL DRAGADO PARA USOS BENÉFICOS

A natureza, magnitude e distribuição de contaminantes em materiais dragados variam dentro e entre locais, dificultando mais as considerações sobre usos benéficos do material dragado. A U.S. Army Corps of Engineers (USACE [08]) é responsável pela manutenção e melhoramento da navegação em águas dos Estados Unidos. Mais de 300 milhões de metros cúbicos de sedimentos são dragados anualmente. Embora algumas vias navegáveis sejam localizadas próximas a áreas altamente industrializadas ou em cenários urbanos, a maior parte do material dragado (aproximadamente 90%) é considerada não contaminada. As práticas de agricultura também têm contribuído para a contaminação dos sedimentos (pesticidas, herbicidas, fertilizantes) em áreas rurais. Devido a que muito destes locais apresentam sua capacidade de armazenamento esgotada, existe uma preocupação de encontrar novos locais para disposição. Necessita-se desenvolver alternativas que possam prover usos benéficos, tanto para o material contaminado como para o não contaminado. Então estes materiais podem ser removidos dos locais de disposição, abrindo espaço para armazenamento do material de futuras atividades de dragagens.

O material dragado é muito complexo, contém vários componentes de interações dinâmicas que podem afetar mais do que uma propriedade deste material. As propriedades de geotecnia, de engenharia, químicas, e biológicas devem ser consideradas na determinação do potencial uso benéfico do material dragado. Estas propriedades devem ser adequadas com o devido uso. Ensaio físicos, químicos, biológicos e de engenharia, são feitos para caracterizar, e auxiliar nas decisões a serem tomadas a respeito do uso do material dragado.

A caracterização, do material dragado, é inicializada pela avaliação das propriedades físicas, incluindo: distribuição granulométrica; forma da partícula; textura; teor de umidade; permeabilidade; plasticidade e teor de matéria orgânica. As propriedades geotécnicas e de engenharia são usadas para determinar a caracterização, adensamento e resistência à ruptura por cisalhamento do material dragado. A determinação das propriedades químicas pode indicar ações requeridas para: a obtenção do pH ou salinidade; melhorar a textura e determinar a presença de contaminantes orgânicos ou inorgânicos. Finalmente, as propriedades biológicas devem ser determinadas para: avaliar a biodisponibilidade dos contaminantes para plantas e animais, determinar o potencial para ocorrência de impactos ambientais adversos, e determinar se medidas de controles ou restrições são necessárias para prevenir impactos ambientais adversos.

São alguns exemplos de uso benéfico para o material dragado: fabricação de concretos asfálticos, concretos de cimento portland, tijolos; para construir rodovias, estradas, pista de decolagem de aeroportos, cemitérios, coberturas para aterros, entre outros.

3.1 Propriedades Físicas

A determinação do tamanho do grão e da forma da partícula é usual para a determinação da estabilidade, resistência ao cisalhamento, permeabilidade, compressibilidade, e compacidade do material dragado.

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 teor de umidade é um dos fatores mais influentes nas propriedades e comportamento do material dragado.

A permeabilidade determina o comportamento em relação à resistência ao cisalhamento e à compressibilidade. Os materiais de granulometria fina (argilosos) geralmente têm baixa permeabilidade.

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.

3.2 Propriedades Químicas

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.

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.

3.3 Dispersão e Deposição de Sedimentos Ressuspensionados

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.

3.4 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 [08] 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 ingredientes, 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 [12] podem prover dados que possam determinar a adequabilidade de um material dragado para um uso específico. Winfield e Lee [20] 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.

4 PRODUTOS DE SOLO PARA ENGENHARIA

Para avaliar o potencial na fabricação de produtos de solo para uso de engenharia os tipos de materiais despejados (rejeitos) deverão ser identificados. Esses materiais podem ser: cinzas, 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.

4.1 O Solo

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 [09] - 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 [09]. 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.

4.1.1 Contaminantes Inorgânicos

Alguns elementos atendem aos critérios de essencialidade às plantas, aos animais e ao homem e são ditos biogênicos, isto é, sua presença é essencial para permitir o funcionamento normal de algumas rotas metabólicas [01]. Sódio (Na), magnésio (Mg), potássio (K), cálcio (Ca), cromo (Cr), manganês (Mn), ferro (Fe), cobalto (Co), cobre (Cu), zinco (Zn), selênio (Se) e molibdênio (Mo) são elementos essenciais à fisiologia humana [16]; outros, como o mercúrio (Hg), o chumbo (Pb), o cádmio (Cd) e o arsênio (As), 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 [21].

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 a 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 [01]. Apesar de alguns destes elementos serem classificados como não-metal (Se) e semi-metal (As), os princípios químicos que governam seu comportamento no solo são similares àqueles dos metais [14, 03].

4.2 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.

Diversos autores enfatizam o fato que o material dragado é uma riqueza (como fonte de recursos naturais). Se for lançado fora, 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.

4.2.1 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, ele era despejado 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.

4.2.2 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 [16].

4.2.3 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 aquíicultura;
- ✦ 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).

5 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 de 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 influencia sobre a forma em que se dispõem as partículas ao depositar-se [11].

5.1 Análise Geoquímica do Solo

Os principais grupos de contaminantes encontrados em materiais dragados são: as partículas sólidas, os contaminantes orgânicos, orgânicos sintéticos, inorgânicos, biológicos, radionuclídeos e os metais.

5.1.1 Matéria Orgânica

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 normalmente é feita a partir da determinação, em laboratório, do conteúdo de carbono orgânico do solo. A fórmula geralmente utilizada é:

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

onde C é o conteúdo de carbono orgânico do solo [04].

5.1.2 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 2 abaixo é apresentada por Griep et al, 2003 [10].

Tabela 2 – Teores Médios Mundiais de concentração de metais

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

Fonte: Griep et. al.

5.1.3 CTC (Capacidade de Troca Catiônica)

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 [11].

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

Tabela 3 – 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.

5.2 Análises Químicas

5.2.1 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 Potenciômetro [07].

5.2.2 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 desprendido do ácido sulfúrico e/ou aquecimento. O excesso de dicromato após a oxidação é titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal [07].

5.2.3 Nitrogênio Total

O nitrogênio está praticamente ligado à matéria orgânica. Neste método o N é convertido em sulfato de amônio através de oxidação. Os métodos utilizados para a determinação de N são: Kjeldahl por câmara de difusão ou Kjeldahl por destilação a vapor [07].

5.2.4 CTC

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 [07].

5.2.5 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 Zn, Cu, Mn, Cd e Pb serão determinados pelo método de espectrofotometria de absorção atômica [07].

6 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Em 2001, foi construída uma bacia de sedimentação de rejeitos de dragagem na área do Porto 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 [06].

Para comparação dos resultados amostrados em 2001, foram retiradas amostras em 2006 do mesmo local, em diferentes pontos da bacia de sedimentação, e então será 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 5 a 8 abaixo mostram as bacias em implantação em 2001 e a atual situação das bacias em 2006.



Figura 1 – Bacias de sedimentação com a lama.



Figura 2 – Lagoa oeste em 2001(esquerda) e 2006 (direita)



Figura 3 - Lagoa leste em 2001(esquerda) e 2006 (direita)

7 CONCLUSÃO

Conclui-se que o estudo dos resíduos do material dragado é de suma importância tanto para os custos da operação quanto para aproveitamento desse material e preservação do meio ambiente. Será feita uma pesquisa para determinação do potencial, propriedades químicas e físicas e sugestões do aproveitamento desse resíduo. A proposta de estudo é o seu uso para fertilizantes. Como foi mostrado nas fotos em 2001 e 2006 das bacias de sedimentação, houve um grande desenvolvimento de vegetação na área em que a lama ficou depositada, o que indica o potencial do resíduo, que será analisado para comprovação das qualidades do material.

8 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. 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.
3. CAMARGO, O.A. de; ALLEONI, L.R.F.; CASAGRANDE, J.C. *Reações dos micronutrientes e elementos tóxicos*. Jaboticabal, 2001, cap 5.
4. 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.
5. DAVIS, J.D.; MacKNIGHT, S. e IMO staff. 1990. *Environmental Considerations for Port and Harbor Developments*. World Bank Technical Paper, no 126, 83p.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. FAO. *Agriculture towards the year 2010*. Rome: 1995, 83p.
10. GRIEP, G.; LIMA, G.T.N.; BAISCH, P. (2003) *Relatório da SUPRG: Diagnóstico Ambiental do Sítio do Terraplano*.
11. 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.
12. 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.
13. LINSLEY, R. K. e Franzini, J.B., 1978. *Engenharia de Recursos Hídricos*. McGraw Hill do Brasil. São Paulo, 798p.
14. McBRIDE, M.B. *Environmental chemistry of soils*. New York: Oxford, 1994. 406p.
15. Ministério do Meio Ambiente Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA RESOLUÇÃO N° 344, DE 25 DE MARÇO DE 2004.

16. 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, julho 2000.
17. SCHROEDER, H.A. *Essential trace metals in man: copper*. Journal of Chronic Diseases, v19, 1966.
18. 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.
19. STURGIS, T.C.; LEE, C.R. (1999). “*Manufactured soil screening test*”DOER Technical Notes Collection (TN DOER-C6), U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS. www.army.mil/el/dots/doer.
20. 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.
21. World Health Organization. *Trace elements in human nutrition and health*. Geneva: WHO, 1996.