

PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE UMA CÉLULA DE ARMAZENAMENTO
DE MINÉRIO DE FERRO ORIUNDO DE PROCESSO DE BENEFICIAMENTO

RODRIGO MARIANO DA SILVA
MOISÉS DUARTE SOARES
DIEGO TUDESCO MOREIRA ROCHA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
DEZEMBRO - 2008

PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE UMA CÉLULA DE ARMAZENAMENTO
DE MINÉRIO DE FERRO ORIUNDO DE PROCESSO DE BENEFICIAMENTO

RODRIGO MARIANO DA SILVA
MOISÉS DUARTE SOARES
DIEGO TUDESCO MOREIRA ROCHA

“Projeto Final em Engenharia Civil
apresentado ao Laboratório de
Engenharia Civil da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências
para obtenção do título de
Engenheiro Civil”.

Orientador: Prof. Sérgio Tibana

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
DEZEMBRO - 2008

PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE UMA CÉLULA DE ARMAZENAMENTO
DE MINÉRIO DE FERRO ORIUNDO DE PROCESSO DE BENEFICIAMENTO

RODRIGO MARIANO DA SILVA
MOISÉS DUARTE SOARES
DIEGO TUDESCO MOREIRA ROCHA

“Projeto Final em Engenharia Civil
apresentado ao Laboratório de
Engenharia Civil da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, como parte das exigências
para obtenção do título de
Engenheiro Civil”.

Aprovada em 02 de dezembro de 2008

Comissão Examinadora:

Prof. Sérgio Tibana (Orientador, D.Sc., Engenharia Civil) – UENF

Prof. Fernando Saboya Albuquerque Júnior (D.Sc., Engenharia Civil) – UENF

Patrícia Habib Hallak (D.Sc., Engenharia Civil) – UENF

Dedicatória

Dedicamos todo o empenho necessário para conclusão de mais uma etapa de vida ao amor pela carreira de Engenharia. Todo o aprendizado nas áreas técnica, gerencial e financeira foi de suma importância para a bagagem de cada um de nós. Que possamos aliar estes sentimentos ao acompanhamento de todas as etapas construtivas, estudando continuamente as características dos materiais, além das inovações que surgem a cada dia.

Rodrigo Mariano da Silva

Moisés Duarte Soares

Diego Tudesco Moreira Rocha

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela presença nos momentos de alegria e de dificuldade.
Aos meus pais Regina e Antônio Carlos pelo amor, dedicação e por terem me dado
a oportunidade do estudo.

Ao orientador Sérgio Tibana pela compreensão e pela paciência.
E a todas as pessoas que me ajudaram, como Adílson e Marconi, que de forma
direta ou indireta contribuíram para que tudo isso fosse possível.

Rodrigo Mariano da Silva

Agradeço a Deus pela presença nos momentos de alegria e de dificuldade.
Dedico esse projeto, todo meu trabalho e empenho de anos de faculdade a
meu pai Salvador e minha mãe Juracy, não teria todas as oportunidades que tive em
minha vida se não fosse o sacrifício deles, que sempre lutaram para eu poder
estudar e ter uma vida digna. Esses dois guerreiros que mesmo com as pedras do
caminho, fizeram tudo para mim, sendo exemplos de pais. Tenho sempre que dizer:
Muito Obrigado!

Ao orientador Sérgio Tibana pela compreensão e pela paciência.
E a todas as pessoas que me ajudaram, como Adílson e Marconi, que de forma
direta ou indireta contribuíram para que tudo isso fosse possível.

Moisés Duarte Soares

Agradeço a Deus pela presença nos momentos de alegria e de dificuldade.
Aos meus familiares e pais Alzira e Jaime pelo apoio e por todo o alicerce de vida.

Ao orientador Sérgio Tibana pela compreensão e pela paciência.
E a todas as pessoas que me ajudaram, como Adílson e Marconi, que de forma
direta ou indireta contribuíram para que tudo isso fosse possível.

Diego Tudesco Moreira Rocha

Sumário	
Resumo	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	x
Lista de abreviaturas, siglas, símbolos, sinais e unidades	xii
Capítulo I - Introdução	
1.1 - Objetivo	1
1.2 - Justificativa	1
1.2.1 - Localização e Características Geotécnicas	1
Capítulo II - Estrutura do POUND	4
2.1 - Barragens	4
2.1.1 - Tipos de barragens	4
2.1.1.1 - Barragens de terra	4
2.1.1.2 - Barragens de enrocamento	5
2.1.2 - Dimensões da Barragem	5
2.1.3 - Exemplos de barragens de rejeitos ou minério	6
2.2 - Análise de estabilidade de massas de terra	8
2.2.1 – Método de Bishop	8
2.3 - Geossintéticos	10
2.3.1 - Definição	10
2.3.2 - Aplicações	10
2.3.3 - As utilizações mais comuns para os geossintéticos	11
2.3.4 - Composição	11
2.3.5 - Classificação por tipo	11
2.3.5.1 - Geotêxteis	11
2.3.5.2 - Geogrelhas	12
2.3.5.3 - Geomantas	12
2.3.5.4 - Geocompostos	12
2.3.5.5 - Geocélulas	13
2.3.5.6 - Geodrenos	13
2.3.5.7 - Geoespacadores	13
2.3.5.6 - Geomembranas	13

2.4 - Solo da região do Açú	14
2.4.1 - Características	14
2.4.2 - Resultado do ensaio de compactação da amostra utilizada	15
2.4.3 - Curva de compactação da amostra de solo adotada para projeto	16
2.4.4 - Resultado do ensaio de caracterização da amostra utilizada	17
2.4.5 - Índices físicos do solo	17
2.5 - Estruturas de solos reforçados	18
2.5.1 - Definição	18
2.5.2 - Parâmetros de projeto	18
2.5.2.1 - Estabilidade externa	18
2.5.2.1.1 - Empuxo ativo (E)	19
2.5.2.1.1.1 - Definição	19
2.5.2.1.1.2 - Determinação do empuxo ativo	19
2.5.2.1.2 – Ensaio SPT do solo da região	20
2.5.2.1.3 - Capacidade de carga do solo de fundação	20
2.5.2.1.4 - Estabilidade global	22
2.5.2.1.5 - Previsão de recalques	23
2.5.2.2 - Estabilidade interna	23
2.5.2.2.1 - Tensões que serão absorvidas pelos reforços	25
2.5.2.2.2 - Rigidez relativa solo-reforço – Método de Ehrlich e Mitchell	26
2.5.2.2.3 - Efeitos inerentes a Compactação do solo de reforço	26
2.5.2.2.4 - Determinação das tensões máximas nos reforços	27
2.5.2.2.5 - Análise para verificação de arrancamento	29
2.5.2.2.6 - Fatores de redução	30
2.6 - Compactação dos solos	31
2.6.1 - Introdução	31
2.6.2 - Ensaio <i>Proctor</i> normal de compactação	32
2.6.3 - Curva de compactação e determinação da umidade ótima	34
2.6.4 - Energia de compactação	34
2.6.5 - Influência da energia de compactação	34
2.6.6 - Equipamentos de campo	35
2.6.6.1 - Rolo pé-de-carneiro	36
2.6.6.2 - Rolo pneumático	36

2.6.6.3 - Rolo vibratório	37
2.6.7 - Procedimento de compactação	37
2.6.7.1 - Etapas	37
2.6.8 - Especificações de compactação	40
2.6.9 - Controle de compactação do aterro	41
2.7 - Resíduos industriais	43
2.7.1 - Definição	43
2.7.2 - Classificação dos resíduos	43
2.7.3 - Aterro industrial	44
2.7.3.1 - Definição	44
2.7.3.2 - Célula	44
2.7.3.3 - Licenciamento ambiental	44
2.7.4 - Critérios para localização de aterros de resíduos industriais	44
2.7.5 - Critérios para impermeabilização	45
2.7.5.1 - Impermeabilização inferior	45
2.8 - Minério de ferro	46
2.8.1 - Características do produto	46
2.8.2 - Índices físicos do minério	47
2.9 - Célula de armazenamento de minério de ferro	48
2.9.1 - Geomembrana	48
2.9.1.1 - Aspectos gerais	48
2.9.1.2 - Execução de emendas	49
2.9.2 - Geotubos	50
2.9.2.1 - Vantagens do tubo de drenagem PEAD	51
2.9.2.2 - Aplicações	51
2.9.2.3 - Classificação quanto a densidade dos tubos	53
2.9.2.4 - Armazenamento dos tubos	54
2.9.2.5 - Instalação	54
2.9.2.6 - Preparação do solo de apoio	54
2.9.2.6.1 - Trincheira	54
2.9.2.7 - Conexões	55
2.9.2.7.1 - Soldagem de ponta	55
2.9.2.7.2 - Conexão com luvas	55

2.9.2.7.3 - Rosca	55
2.9.2.8 - Permeabilidade dos Solos	55
2.9.2.9 - Dinâmica dos fluidos	55
2.9.2.10 - Lei de Darcy (1856)	56
2.9.2.11 - Coeficiente de permeabilidade - k	56
2.9.3 - Base em argila ativada	57
2.9.3.2 - Constituintes da camada de solo de argila ativa	57
2.9.3.3 - Segurança de uma camada impermeabilizante	57
2.9.3.4 - Utilização de camadas ativas	58
2.9.3.5 - Benefícios da utilização de uma camada ativa	58
2.9.3.6 - Aplicação de camadas ativas	58
2.9.4 - Briquetagem para a superfície do minério	59
2.9.4.1 - Introdução	59
2.9.4.2 - Definição	59
2.9.4.3 - Briquetagem aplicada ao minério de ferro	60
2.9.4.4 - Sugestão de briquetagem	61
2.10 - Lençol freático	61
2.10.1 - Definição	61
Capítulo III - Memória de Cálculo	62
31 - Estrutura de contenção	62
3.1.1 - Parâmetros do solo	62
3.1.2 - Cálculo da estabilidade externa	62
3.1.2.1 - Cálculo da parcela horizontal do empuxo ativo	62
3.1.2.2 - Cálculo do peso da barragem	63
3.1.2.2.1 - Cálculo da parcela vertical do empuxo ativo	63
3.1.2.3 - Capacidade de carga do solo de fundação, considerando a teoria de Terzaghi	63
3.1.2.4 - Tensão na base	64
3.1.2.5 - Dimensionamento quanto a ruptura do solo de fundação	64
3.1.2.6 - Estabilidade global	65
3.1.2.6.1 - Resultados das simulações quanto à estabilidade global	65

3.1.2.7 - Cálculo dos recalques	69
3.1.2.7.1 - Previsão de recalque para o caso 1	69
3.1.2.7.2 - Previsão de recalque para o caso 2	70
3.1.2.7.3 - Previsão de recalque para o caso 3	70
3.2 - Dimensionamento da geomembrana	70
3.2.1 - Verificação de resistência devido ao peso próprio	71
3.2.2 - Determinação do comprimento de ancoragem	71
3.3 - Compactação	71
3.3.1 - Compactação de argila siltosa	71
3.3.2 - Compactação de areia argilosa	72
3.4 - Análise da estabilidade interna	72
3.4.1 - Cálculo das tensões em cada reforço	72
3.4.2 - Cálculo da tensão vertical induzida pela compactação	73
3.4.3 - Cálculo da tensão geostática no nível do reforço	74
3.4.4 - Cálculo da tensão σ'_{zc}	75
3.4.5 - Cálculo de β	75
3.4.6 - Cálculo da tensão máxima T_{max}	76
3.4.7 - Refinamento do cálculo	76
3.4.8 - Resistência à tração admissível no reforço	78
3.4.9 - Estabilidade ao arrancamento	78
3.4.10 - Especificação do geossintético	79
3.5 - Permeabilidade dos Solos	81
3.5.1 - Dinâmica dos fluidos	81
3.5.2 - Lei de Darcy (1856)	81
3.5.3 - Coeficiente de permeabilidade - k	81
3.5.4 - Cálculo da vazão estimada para o POUND	82
3.5.4.1 - Somatório das vazões totais	83
3.5.4.2 - Vazão média total do POUND	83
3.5.4.3 - Somatório dos ΔL do POUND	83
3.5.4.4 - Cálculo da vazão total média que o POUND absorve em L/s	83
3.6 - Cálculo da vazão longitudinal no geotubo	83
3.6.1 - Cálculo de velocidade de vazão do fluido no tubo	84
3.6.2 - Cálculo da vazão no tubo pela equação da continuidade	84

3.6.3 - Cálculo da quantidade de tubos de drenagem	84
3.7 - Cálculo da quantidade de bentonita utilizada	84
3.7.1 - Cálculo do volume total	84
3.7.2 - Cálculo do volume de bentonita	85
3.7.3 - Cálculo do volume de argila	85
3.7.4 - Cálculo do número de sacos de bentonita	85
4.0 - Conclusão	86
Bibliografia	87

Resumo

Este projeto tem como objetivo apresentar uma alternativa – em caso de manutenção ou inoperação na unidade de processamento – para o minério de ferro proveniente do quadrilátero ferrífero localizado no Estado de Minas Gerais. Este, por meio do modal dutovia, chega ao Porto do Açú, localizado na praia do Açú – Atafona – São João da Barra/RJ. O empreendimento engloba a estação de filtragem, a área do POUND e a usina de pelotização. A área de POUND é abordada pelo projeto, sendo composta por três partes. A abordagem desta área engloba a barragem, a célula de armazenamento e o minério propriamente dito. Os problemas de instabilidade global foram calculados com base em uma situação crítica de solo totalmente saturado e carregado pelo minério. Todos os resultados obtidos visavam a majoração da segurança. Para a análise de estabilidade, utilizou-se o programa SLOPE/W – Geotechnical Engineering Software – GEO-SLOPE International Ltd. Na análise de estabilidade não foi considerada sobrecarga sobre a secção típica. A secção da barragem adota forma trapezoidal dotada de sistemas de reforço com geogrelhas devido às suas características de resistência à tração ou de sistema de drenagem interna, sendo realizadas análises de verificação. O peso específico adotado a princípio para o aterro da barragem foi de $17,2 \text{ kN/m}^3$. Os resultados apresentados na condição saturada e não drenada demonstraram a necessidade de inserção de camadas de reforço. Os obtidos na condição saturada e drenada demonstraram a necessidade de apenas um sistema drenante em esteira. Conclui-se, através da análise de estabilidade, que o aterro reforçado e o aterro drenado tem capacidade de suporte para a carga transmitida pelo minério.

Palavras chave: Minério de ferro, Célula Industrial, Bishop, Estabilidade, Aterro reforçado, Porto do Açú.

Lista de Figuras

Lista de Figuras

Barragem homogênea (Sueti, 2008)	Figura 1
Barragem zonada (Sueti, 2007)	Figura 2
Barragem de núcleo de material impermeável (Sueti, 2007)	Figura 3
Barragem de enrocamento (Sueti, 2007)	Figura 4
Dimensões da barragem (Sueti, 2007)	Figura 5
Planilha contendo as variáveis utilizadas na metodologia de Bishop (Torres, 2008)	Figura 6
Ábaco para determinação $m\alpha$ (Torres, 2008)	Figura 7
Divisão das fatias para análise de estabilidade (Torres, 2008)	Figura 8
Erro no topo (Torres, 2008)	Figura 9
Geotêxtil (Wikipédia, 2008)	Figura 10
Geogrelha (Wikipédia, 2008)	Figura 11
Geocomposto (Wikipédia, 2008)	Figura 12
Geomembrana (Wikipédia, 2008)	Figura 13
Ensaio de compactação do solo de projeto (Soares, 2008)	Figura 14
Curva de compactação da amostra utilizada para projeto (Soares, 2008)	Figura 15
Curva granulométrica do solo utilizado (Soares, 2008)	Figura 16
SPT do solo de fundação (Soares, 2008)	Figura 17
Mecanismo para análise de estabilidade interna: a) ruptura dos reforços; b) arrancamento dos reforços; c) desprendimento da face; d) instabilidade local (Vertematti, 2004)	Figura 18
Ábacos para determinação de “x” para o cálculo de T_{max} (Vertematti,	Figura 19

2004)	
Ensaio de <i>Proctor</i> (Massad, 2003)	Figura 20
Influência da energia de compactação $\gamma_{dm\acute{a}x}$ e $h_{\acute{o}timo}$ (Massad, 2003)	Figura 21
Rolo pé-de-carneiro (Massad, 2003)	Figura 22
Rolo pneumático (Massad, 2003)	Figura 23
Trajetória percorrida pelo minério atualmente (Samarco, 2007)	Figura 24
Mineroduto Minas – Espírito Santo (Samarco, 2007)	Figura 25
Instalação da geomembrana (Vidal, 2007)	Figura 26
Tubo corrugado (Koerner, 1999)	Figura 27
Tubo liso (Koerner, 1999)	Figura 28
Trincheiras Drenantes com tubos (Engepol, 2007)	Figura 29
Esquema de seção típica de drenagem (Engepol, 2007)	Figura 30
Tubo assentado em Trincheira (Koerner, 1999)	Figura 31
Segurança de uma camada impermeabilizante (Gouveia, 2007)	Figura 32
Comparativo entre CCL e camada ativa (Gouveia, 2007)	Figura 33
Aplicação da bentonita na camada ativa (Gouveia, 2007)	Figura 34
Homogeneização da camada ativa (Gouveia, 2007)	Figura 35
Análise com o solo totalmente saturado e em condições ideais de compactação (Slope/W, 2008)	Figura 36
Cunha de ruptura da barragem com base de 34,2m em condições de saturação máxima (Slope/W, 2008)	Figura 37
Detalhe do dreno esteira a jusante (Seep/W, 2008)	Figura 38
Tendência do fluxo interno (Seep/W, 2008)	Figura 39
Linhas de fluxo convergindo para o dreno esteira (Seep/W, 2008)	Figura 40
Linha freática e os vetores gradiente de fluxo convergindo para o dreno esteira (Seep/W, 2008)	Figura 41
Linhas de fluxo e os vetores gradiente convergindo para o dreno esteira	Figura 42

(Seep/W, 2008)	
Linhas de fluxo convergindo para o dreno esteira (Seep/W, 2008)	Figura 43
Linhas de fluxo (somente as que chegam ao dreno) e os vetores gradiente convergindo para o dreno esteira (Seep/W, 2008)	Figura 44
Fator de segurança para simulação de nível d'água na posição definida pelo Seep/W em análise utilizando dreno esteira (Slope/W, 2008)	Figura 45
Contorno para simulação de nível d'água na posição definida pelo Seep/W em análise utilizando dreno esteira (Slope/W, 2008)	Figura 46
Equipamento de compactação considerado nos cálculos (CAT, 2008)	Figura 47
Especificação do geossintético (Engepol, 2008)	Figura 48
Tabela de propriedades da geogrelha adotada (Engepol, 2008)	Figura 49

Lista de Tabelas

Exemplos de barragens de rejeito industrial (Geominas, 2007)	Tabela 1
Faixa de variação de fatores de redução parciais (Vertematti, 2004)	Tabela 2
Equipamentos de compactação (Massad, 2003)	Tabela 3
Valores típicos de coeficiente de permeabilidade (Carisia, 2008)	Tabela 4
Alguns aglutinantes utilizados na briquetagem (Carvalho & Brinck, 2004)	Tabela 5

Lista de Abreviaturas, siglas, símbolos, sinais

H - Altura da barragem

C_c - Cota do coroamento

C_F - Cota da fundação (*talweg*)

h_A - Altura de acumulação

H_s - Altura da lâmina de sangria

F - Folga

C - Coesão do solo

ϕ' - Ângulo de atrito interno do solo

$\gamma_{\min \acute{e}rio_{sat}}$ - Peso específico saturado do minério

H - Altura da barragem

β - Ângulo de inclinação do talude da barragem em relação ao solo

γ_{sat} - Peso específico do solo saturado

H - Altura do maciço reforçado

ϕ' - Ângulo de atrito interno do solo, na base do maciço reforçado

E - Empuxo ativo

L_{rb} - Comprimento de reforço da camada da base

q_{max} - Capacidade de carga do solo de fundação

c' - Coesão do solo de fundação

q_s - Sobrecarga no nível da base da estrutura, caso esta esteja parcialmente enterrada

γ - Peso específico do solo de fundação

N_c , N_q e N_γ - Fatores de capacidade de carga (Terzaghi e Peck, 1967)

T_{max} - Valor da tensão máxima atuante

T_d - Resistência de projeto do geossintético

I_R - Coeficiente de *Low*

γ_{sat} - Peso específico saturado

F_r - Fator de segurança da estrutura com reforço

F_0 - Fator de segurança da estrutura sem reforço

z - Distância da base da barragem ao final da cunha de ruptura

E_r - Módulo de elasticidade do reforço

A_r - Área da seção transversal do reforço

k - Parâmetro de módulo tangente inicial do solo (do modelo hiperbólico)

P_a - Pressão atmosférica

S_v - Espaçamento vertical entre reforços

S_h - Espaçamento horizontal entre reforços

K_a - Coeficiente de empuxo ativo

γ - Peso específico do solo compactado

L - Comprimento do tambor do rolo

N_γ - Coeficiente de capacidade de carga do solo

ν_0 - Coeficiente de Poisson no repouso

K_0 - Coeficiente de empuxo no repouso

n - Módulo expoente da curva tensão-deformação do solo

S_i - Índice de rigidez relativa do solo-reforço

P_a - Pressão atmosférica

L_r - Comprimento dos reforços

K_a - Coeficiente de empuxo ativo de Rankine

L_e - Comprimento de reforço na zona resistente além da superfície potencial de ruptura

F^* - Fator de resistência ao arrancamento;

α - Fator de correlação do efeito de escala;

σ'_v - Tensão efetiva vertical na interface solo/reforço

ϕ - Ângulo de atrito do solo

f_a - Coeficiente de aderência

FR - Fator de redução global

f_{cr} - Fator de redução parcial para fluência em tração

f_{mr} - Fator de redução parcial para danos mecânicos de instalação

f_a - Fator de redução parcial para degradação ambiental

f_m - Fator de redução parcial para incertezas estatísticas na determinação da resistência do geossintético

h_{ot} - Umidade ótima

$\gamma_{s \text{ Max}}$ - Peso específico seco máximo

$S_{m\acute{a}x}$ - Saturação máxima

M - Massa do soquete

H - Altura de queda do soquete

N - Número de golpes por camada

N_c - Número de camadas

V - Volume de solo compactado

$\gamma_{dm\acute{a}x}$ - Peso específico seco máximo

e - Espessura da camada de solo solto

N - Número de passadas no rolo compactador

V - Velocidade do rolo compactador

P - Pressão na pata ou no pneu

Δh - Desvio de umidade

γ_{ua} - Peso específico úmido de aterro

h_a - Umidade do aterro

GC - Grau de compactação de solo

$G_{minerio}$ - Densidade dos grãos do minério

$\gamma_d \text{ minério}$ - Peso específico do minério

$\gamma_{minerosat}$ - Peso específico saturado do minério

ϕ - Ângulo de atrito do minério

$\phi'_{minerio}$ - Ângulo de atrito interno do minério

K - Coeficiente de permeabilidade

I - Gradiente hidráulico

Δh - Perda de carga

ΔL - Altura de solo

v - Velocidade média aparente

$q_{T.M}$ - Vazão total média do POUD

n - Coeficiente de rugosidade de Manning

D - Diâmetro interno do tubo

I - Declividade do terreno

V - Velocidade do fluido no tubo

Q - Vazão longitudinal do fluido no tubo

I - Inclinação do terreno

V_B - Volume de bentonita

V_A - Volume de argila

V_{BSC} - Volume de bentonita em sacos de 50 kg

Capítulo I – Introdução

1.1 - Objetivo

Esse trabalho tem por objetivo dimensionar uma célula (tanque) localizada na planta do Porto do Açu que tem por finalidade o armazenamento minério de ferro.

Para tanto será realizada, a princípio, uma estimativa do volume do insumo supracitado em função do tempo ao qual o mesmo permanece armazenado no referido local até seqüente destino (unidade de processamento). Com base em tal análise quantitativa objetiva-se, com os parâmetros preconizados pela legislação ambiental vigente, concluir o processo de seleção (escolha) dos materiais de construção para que assim possa ser realizado o posterior dimensionamento estrutural através de métodos e teorias consagradas pela engenharia primando sempre pela alternativa de menor custo dentre as possíveis. Por fim, serão confeccionadas plantas, cortes e vistas da estrutura dimensionada.

1.2 - Justificativa

1.2.1 - Localização e Características Geotécnicas

O Porto do Açu está localizado na praia do Açu no município de São João da Barra, Norte do Estado do Rio de Janeiro, 22km ao sul da foz do rio Paraíba do Sul. A localidade de Atafona, pequeno porto pesqueiro mais próximo do futuro empreendimento, irá sediar a construção de um grande porto com inauguração prevista para junho de 2010 e cuja finalidade será a exportação do minério de ferro oriundo do quadrilátero ferrífero, chegando ao local sob uma mistura de 30% de água e 70% de minério através do modal mineroduto. A previsão é de inicialmente exportar 26 milhões de toneladas por ano podendo chegar a 52 milhões até 2014 (segunda fase de projeto). Para esta finalidade, será construída a princípio uma estação de filtragem para este insumo além de uma área de POUND (foco do

projeto) para armazenamento do mesmo caso haja manutenção ou inoperação da unidade supracitada. Posteriormente será construída uma usina de pelotização de minério (segunda fase) para que o mesmo seja exportado sob a forma de pelotas. O trecho de interesse do projeto encontra-se a margem direita do rio Paraíba. Trata-se de uma região completamente plana de formação quaternária e apresenta uma estratigrafia basicamente composta de solo arenoso. A área destinada ao POUND evidencia-se como solo nativo, ou seja, um substrato areno-argiloso cujas propriedades serão mencionadas ao longo do trabalho em questão. Outro aspecto determinístico é a proximidade da região ao lençol freático; haja vista que tal fato mostra-se como variável condicionante a adoção de algumas alternativas de projeto.

Para ilustrar a veracidade desta última afirmação vale levantar a hipótese de que uma solução inicial de engenharia adotada para a elaboração do projeto seria uma escavação de seis metros de profundidade (altura da pilha de minério em perfil) a fim de construir a célula de armazenamento.

Com tal tomada de decisão seguramente seriam observados grandes problemas relacionados a inundação da obra, desmoronamentos, elevado gasto de energia para remoção da água intrusa além de uma enorme probabilidade de contaminação dos corpos d' água do local em função do contato com excesso de minério de ferro.

A alternativa viável então parte da premissa de armazenar tal insumo à cota mais elevada possível em relação à linha freática utilizando todas as ferramentas disponíveis ao isolamento de tal minério ao meio ambiente. Com isso a problemática agora gira em torno da necessidade de prover uma estrutura de contenção suficientemente eficaz de conter a movimentação da massa de minério armazenada.

Pensou-se então em adotar uma das consagradas estruturas de contenção desenvolvidas pela engenharia, tais como: muro de arrimo, muro de peso, cantilever dentre outras; no entanto tais soluções demandariam grande consumo de concreto já que se deseja elaborar um projeto para a contenção de 310.000 m³ de minério de ferro. Além disso, a distância de transporte desse concreto seria um fator determinante a elevação do custo da obra.

Mediante a tanto decidiu-se então pela alternativa de projetar uma estrutura em solo, ou seja, uma barragem. Sua constituição é homogênea e formada pelo substrato encontrado na região (areia argilosa) seria um composto de boas propriedades para ser utilizado como elemento de contenção de tal massa de

minério. No entanto, seria necessária a verificação da necessidade de reforço para o mesmo.

A partir daí um dos problemas havia sido sanado, entretanto restava ainda a preocupação em proteger os corpos d' água do local e por isso pensou-se em tratar a base da área de POUND com a mesma configuração que a parte inferior de uma célula de resíduos industriais classe III, de acordo com a norma NBR 10004.

Capítulo II – Estrutura do POUND

2.1 - Barragens

2.1.1 - Tipos de Barragens

Os principais tipos de barragens não rígidas são:

- Barragens de terra;
- Barragens de enrocamento.

2.1.1.1 - Barragens de terra

São as constituídas de solos de jazidas ou obtidos das escavações obrigatórias, as quais são compactadas por equipamentos mecânicos em camadas de espessura determinada.

Essas barragens se dividem em três classes:

- a) barragem homogênea: constituída de um único material.

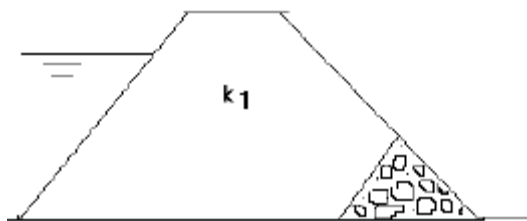


Figura 1 - Barragem homogênea (Suetti, 2007)

- b) barragem zonada: constituída por um solo impermeável entre zonas de solo permeável.

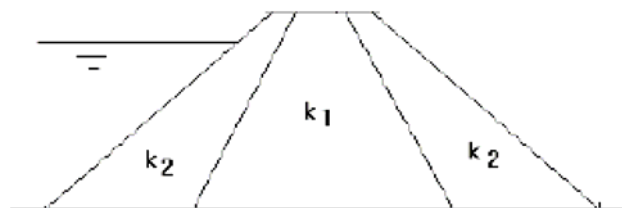


Figura 2 - Barragem zonada (Suetti, 2007)

Esta possui areia e pedregulho na parte externa, além de:

- Camadas funcionam como drenos;
- Não há necessidade do revestimento dos taludes;
- Maior estabilização devido aos ângulos de atrito internos maiores.

c) barragem mista (diafragma): constituída de vários tipos de materiais tais como argila, areia, brita, blocos de pedra.

