

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA

Curso de Engenharia Civil

Magnos Baroni

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DE
PNEUS INSERVÍVEIS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO
DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO ARRIMADAS**

Ijuí/RS

2007

Magnos Baroni

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DE
PNEUS INSERVÍVEIS COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO
DE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO ARRIMADAS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil apresentado como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Ijuí

2007

FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelos membros da banca examinadora.

Prof. Luciano Pivoto Specht, Dr. Eng - Orientador

Banca Examinadora

Prof. Luis Eduardo Modler, M. Eng
UNIJUÍ/DeTec

Prof^ª. Lidiane Bittencourt Barroso, M. Eng
UNIJUÍ/DeTec

*Dedico este trabalho à minha família, elemento
imprescindível na realização desta conquista.*

Agradeço ao meu Orientador, Professor Luciano Pivoto Specht, pela confiança em mim depositada, e por sua indescritível competência e atenção.

Aos demais professores pelos ensinamentos passados ao longo da graduação.

Aos colegas pelo auxílio, amizade e companheirismo disseminados nestes anos.

A SMADER - Secretaria Municipal de Agricultura e Desenvolvimento Rural do Município de Ijuí, pela possibilidade de construção do muro de pneus no distrito de Barreiro.

A Eng^a. Civil da Secretaria Municipal de Agricultura e Desenvolvimento Rural do Município de Ijuí Claudete Moresco pela compreensão, credibilidade e auxílio.

Aos laboratoristas Luis e Salete pelo auxílio na realização dos ensaios e pela amizade.

A todas as pessoas que de alguma forma colaboram na conclusão deste curso e na realização deste trabalho.

E a Deus pela oportunidade de viver e realizar este curso de graduação.

RESUMO

Os pneus comprometem a saúde pública, uma vez que ao serem estocados a céu aberto, criam o ambiente perfeito para a proliferação do mosquito da dengue, elevando os riscos de proliferação da febre amarela, malária e outras doenças. As emissões tóxicas provenientes de outras formas de destinação, como a incineração ou co-processamento sem controle, aumentam os riscos a saúde, podendo causar doenças. A destinação inadequada dos pneus pode deixar severo passivo ambiental para a presente e futuras gerações. Este trabalho de conclusão de curso divide-se em duas etapas: primeiramente é apresentado um experimento realizado no Distrito de Barreiro, interior do Município de Ijuí/RS, onde se utilizou uma nova técnica para estabilização de taludes através da construção de um muro de gravidade usando pneus inservíveis. O muro possui 10,35m de comprimento, 2,30m de espessura na base e 2,60m de altura, sendo constituído por camadas horizontais de pneus preenchidos com rocha basáltica. Também foi realizado um estudo comparativo de custos entre o experimento e um muro de flexão tradicional. Na segunda etapa do trabalho foi realizada uma análise paramétrica baseada em dados laboratoriais com diferentes tipos de pneus, alturas, materiais de preenchimento, níveis de água e ângulos de atrito; realizando-se o pré-dimensionamento de muros de contenção compostos por pneus para 376 diferentes combinações de projeto. Dentre as principais conclusões pode-se ressaltar que além da economia, este tipo de muro apresenta uma solução ambientalmente correta para pneus inservíveis. De acordo com a análise paramétrica os conjuntos materiais de preenchimento/pneus apresentaram-se como uma ótima alternativa para contenção de taludes e aterros onde é possível assentar muros de peso, ou seja, em locais onde haja a possibilidade de construção de uma base compatível com a altura do muro a construir.

Palavras-chave: Estruturas de contenção, muro de pneus, reutilização de pneus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ação do empuxo ativo / empuxo passivo.	28
Figura 2: Empuxo passivo - curva de ruptura para empuxo passivo/ativo.....	28
Figura 3: Aplicação do método de Rankine para cálculo do empuxo ativo sobre estruturas de contenção.	30
Figura 4: Efeito da água no empuxo do solo sobre estruturas de contenção.....	32
Figura 5: (a) método de Coulomb para o caso de empuxo passivo, (b) convenção de sinais para δ	36
Figura 6: Modelo de muro de gravidade	40
Figura 7: Seções tipo de muros de gabiões	41
Figura 8: Muro de flexão isolados, com aba lateral na placa horizontal.....	42
Figura 9: Modelo muros de contra fortes	43
Figura 10: Modelo muro “atirantado”	43
Figura 11: Modelo “crib walls”	44
Figura 12: Local do experimento	50
Figura 13: Localização do Município de Ijuí no RS	51
Figura 14: Localização Distrito de Barreiro	51
Figura 15: Distribuição granulométrica do solo.....	54
Figura 16: Tensão cisalhante x deslocamento horizontal.....	56
Figura 17: Deformação vertical x deslocamento horizontal.....	56
Figura 18: Envoltórias de ruptura dos solos	57
Figura 19: Local onde os pneus foram coletados	58
Figura 20: Local onde os pneus foram coletados	58
Figura 21: Pneumático veículo comercial	59
Figura 22: Pneumático veículo de passeio	60
Figura 23: Talude onde o solo foi coletado	61
Figura 24: Rocha basáltica utilizada.....	62
Figura 25: Exemplo do local da coleta de RDC	63
Figura 26: Exemplo de amostras RDC coletadas	63
Figura 27: Umidade ótima do solo	65
Figura 28: Pneu veículo comercial preenchido com solo.....	65
Figura 29: Pneu veículo passeio preenchido com solo.....	66
Figura 30: Pneu veículo comercial preenchido com PM.....	67

Figura 31: Pneu veículo passeio preenchido com PM.....	67
Figura 32: Pneu veículo comercial preenchido com RDC	68
Figura 33: Pneu veículo passeio preenchido com RCD	69
Figura 34: Planta baixa do experimento	72
Figura 35: Corte transversal do experimento	73
Figura 36: Abertura de vala	75
Figura 37: Muro em execução	76
Figura 38: Detalhe amarração.....	76
Figura 39: Estrutura de pneus executada.....	77
Figura 40: Estrutura após retro-aterro, novembro 2005	77
Figura 41: Estrutura em março de 2007	78
Figura 42: Planta baixa da estrutura em concreto armado.....	79
Figura 43: Corte Transversal da estrutura de concreto armado.....	79
Figura 44: Resultado para o caso solo/pneus veículos comerciais.....	83
Figura 45: Resultados para o caso solo/pneus veículo passeio	84
Figura 46: Resultados para o caso PM/pneus veículo comerciais.....	85
Figura 47: Resultados para o caso PM/pneus veículo passeio	86
Figura 48: Resultados para o caso RCD/pneus veículo comercial.....	87
Figura 49: Resultados para o caso RCD/pneus veículo passeio.....	88
Figura 50: Valores médios conjuntos agregados/pneus	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Valores de δ/σ' em função do material do muro	38
Quadro 2: Variáveis elencadas	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Propriedades físicas médias do solo	54
Tabela 02: Propriedades físicas médias do solo	61
Tabela 03: Umidade natural do solo.....	65
Tabela 04: Resultados conjunto solo/pneu, veículo de comercial.....	69
Tabela 05: Resultados conjunto solo/pneu, veículo de passeio.....	69
Tabela 06: Resultados conjunto PM/pneu, veículo de comercial.....	70
Tabela 07: Resultados conjunto PM/pneu, veículo de passeio.....	70
Tabela 08: Resultados conjunto RCD/pneu, veículo de comercial	70
Tabela 09: Resultados conjunto RCD/pneu, veículo de passeio	70
Tabela 10: Resumo massas específicas dos conjuntos	71

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

h: Altura

ANOVA: Análise de Variância

θ : Ângulo de Atrito

ABGE: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANIP: Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos

CAP: Cápsula

R^2 : Coeficiente de Determinação

δ : Coeficiente de Atrito solo / interface

K_a : Coeficiente de Empuxo Ativo

K_p : Coeficiente de Empuxo Passivo

K_0 : Coeficiente de Empuxo no Repouso

c: Coesão

E_a : Empuxo Ativo

E_p : Empuxo Passivo

E_r : Empuxo em Repouso

ϵ_p : Erro padrão

FS: Fator de Segurança

FS_d : Fator de Segurança ao Deslizamento

FS_t : Fator de Segurança ao Tombamento

I_a : Índice de Atividade

IC: Índice de Consistência

IP: Índice de Plasticidade

e: Índice de Vazios Médios

LEC: Laboratório de Engenharia Civil – UNIJUÍ

LL: Limite de Liquidez

LP: Limite de Plasticidade

M: Massa Conjuntos Agregados/Pneus

γ : Massa Específica

γ_s : Massa Específica Real dos Grãos

NA: Nível de Água

PM: Pedra-de-Mão

γ_d : Peso Específico Aparente Seco

γ_n : Peso Específico Natural

γ_w : Peso Específico Solo

γ_n : Peso Específico Solo Natural

γ_{sub} : Peso Específico do Solo Saturado

PEAD: Polietileno de Alta Resistência

n: Porosidade Média

RCD: Resíduos da Construção e Demolição

R_h : Resistência Horizontal

R_v : Resistência Vertical

RS: Rio Grande do Sul

SMADER: Secretaria Municipal de Agropecuária e Desenvolvimento Rural

q: Sobrecarga

τ : Tensão Cisalhante

τ_h : Tensão Cisalhante Horizontal

τ_p : Tensão Cisalhante Passiva

τ_v : Tensão Cisalhante Vertical

Σ : Tensão Normal

TRS: Teorema da Região Superior

w: Umidade *in situ*

UNIJUI: Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

V: Volume

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 TEMA DA PESQUISA	16
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	16
1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO.....	16
1.4 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS	16
1.4.1 <i>Objetivo geral</i>	16
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	17
1.5 JUSTIFICATIVA	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 QUESTÕES AMBIENTAIS RELATIVAS AO DESCARTE DE PNEUS INSERVÍVEIS	19
2.1.1 <i>Considerações iniciais</i>	19
2.1.2 <i>Problemas ambientais</i>	20
2.1.3 <i>Legislação</i>	21
2.2 FORMAS DE REAPROVEITAMENTO DE PNEUS	22
2.2.1 <i>Fonte energética</i>	22
2.2.2 <i>Remoldagem</i>	22
2.2.3 <i>Recauchutagem</i>	23
2.2.4 <i>Regeneração</i>	23
2.2.5 <i>Pirólise</i>	24
2.2.6 <i>Composição Asfáltica</i>	24
2.2.7 <i>Compostagem</i>	24
2.2.8 <i>Aterros Sanitários</i>	25
2.2.9 <i>Mourões para Cerca</i>	25
2.2.10 <i>Dormentes</i>	25
2.2.11 <i>Barreiras Rodoviárias</i>	26
2.2.12 <i>Recifes Artificiais e Reprodução da Fauna Marinha</i>	26
2.2.13 <i>Esportes</i>	26
2.3 EMPUXO DE TERRA.....	27
2.3.1 <i>Coeficiente de empuxo</i>	27
2.3.2 <i>Teoria de Rankine</i>	29

2.3.2.1	Empuxo Ativo	30
2.3.2.2	Empuxo Passivo	33
2.3.2.3	Empuxo com sobre carga uniforme.....	33
2.3.3	<i>Teoria de Coulomb</i>	34
2.3.3.1	Empuxo Ativo	35
2.3.3.2	Empuxo Passivo	36
2.3.4	<i>Aspectos gerais que influenciam na determinação do empuxo</i>	37
2.4	ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO	39
2.4.1	<i>Estruturas de arrimo</i>	40
2.4.1.1	Muros de Gravidade	40
2.4.1.2	Muros de Gabiões.....	41
2.4.1.3	Muros Semigravitacionais.....	41
2.4.1.4	Muros de Flexão Isolados.....	41
2.4.1.5	Muros de Contra Fortes	42
2.4.1.6	Muros “Atirantados”	43
2.4.1.7	“Crib Walls”	44
2.4.1.8	Muro de contenção utilizando pneus.....	44
2.4.2	<i>Estabilidade das estruturas de arrimo</i>	45
2.4.3	<i>Cortinas de estacas pranchas</i>	46
2.4.3.1	Cortinas de estacas – pranchas	46
2.4.3.2	Estabilidade de cortinas estacas pranchas	47
2.4.4	<i>Outros métodos de contenção</i>	47
3.	METODOLOGIA	49
3.1	CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO	49
3.2	PLANEJAMENTO DA PESQUISA	49
3.2.1	<i>Caso de obra</i>	49
3.2.2	<i>Análise paramétrica</i>	52
3.3	MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS	53
3.3.1	<i>Caso de Obra</i>	53
3.3.1.1	Solo.....	53
3.3.1.2	Rocha basáltica.....	57
3.3.1.3	Pneus veículos comerciais.....	58
3.3.2	<i>Análise paramétrica</i>	59

3.3.2.1	Descrição dos materiais	59
3.3.2.2	Descrição dos ensaios realizados	64
3.3.2.3	Resultados dos ensaios materiais de enchimento/pneus	69
4.	DESCRIÇÃO CASO DE OBRA BARREIRO	72
4.1	DIMENSIONAMENTO DO MURO DE PNEUS	72
4.2	CONSTRUÇÃO DO MURO DE PNEUS	75
4.3	DIMENSIONAMENTO DO MURO DE CONCRETO ARMADO	78
4.4	CUSTOS	80
4.3.1	<i>Custos do Muro de Pneus</i>	80
4.3.1.1	Materiais	80
4.3.1.2	Mão-de-Obra	80
4.3.1.3	Custo Total	80
4.3.2	<i>Custos do Muro de Concreto Armado</i>	81
5.	ANÁLISE PARAMÉTRICA	82
5.1	PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS	82
5.2.1	<i>Análise Estatística</i>	91
5.2.2	<i>Análise do Modelo</i>	91
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
6.1	CONCLUSÕES	93
6.1.1	<i>Caso de obra</i>	93
6.1.2	<i>Análise paramétrica</i>	94
6.1.3	<i>Conclusões gerais</i>	95
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	96
	REFERÊNCIAS	97
	ANEXO A	102
	ANEXO B	108

1. INTRODUÇÃO

1.1 TEMA DA PESQUISA

O tema da pesquisa é:

Geotecnia aplicada ao dimensionamento de estruturas de contenção.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho consiste no estudo de caso de uma estrutura de contenção executada com pneus inservíveis e no pré-dimensionamento de estruturas de arrimo compostas por diferentes tipos de pneus, materiais de preenchimento, níveis de água, alturas e ângulos de atrito.

1.3 FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO

Existe viabilidade técnica e econômica na execução de estruturas de contenção executadas com pneus inservíveis?

1.4 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS

Os objetivos desta pesquisa podem ser divididos em geral e específicos:

1.4.1 Objetivo geral

Estudar a reutilização de pneus como material de construção para estruturas de contenção tipo muro de gravidade.

1.4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- ✓ Buscar na literatura, alternativas para a reutilização, reciclagem e reaproveitamento de pneus inservíveis;
- ✓ Descrever e estudar o caso da obra executada no Distrito de Barreiro, Ijuí/RS – construção de muro experimental com pneus inservíveis;
- ✓ Determinar os parâmetros necessários para o projeto de estruturas de contenção utilizando pneus inservíveis preenchidos com solo, pedra de mão e resíduos da construção civil;
- ✓ Propor um catálogo de projeto com base nos parâmetros obtidos para estruturas de contenção executadas com pneus, levando em conta a segurança ao tombamento e ao deslizamento.

1.5 JUSTIFICATIVA

Segundo Machado (1997), algumas vezes, na engenharia civil, se dispõem de espaço suficiente para fazer uma transição gradual das elevações do terreno onde se quer implantar uma determinada obra. Nestes casos, os taludes necessários podem ser suficientemente altos ou inclinados, de modo que a estabilidade dos mesmos não é assegurada a longo prazo. As estruturas de contenção são projetadas para prover suporte para estas massas de solo não estáveis.

Estas estruturas proporcionam uma grande redução no volume de movimentação de solo e um expressivo ganho de área útil. Porém, as tradicionais soluções em concreto armado e muros de gravidade convencionais, geralmente se apresentam muito onerosas.

Simples na aparência, os pneus resultam, na realidade, num produto complexo, que apresenta uma variedade de materiais, tais como: reforços metálicos e têxteis, borracha natural e sintética, elementos de reforço, agentes de vulcanização e de proteção etc.

Os pneus comprometem a saúde pública, uma vez que ao serem estocados a céu aberto, criam o ambiente perfeito para a proliferação do mosquito da dengue e riscos de proliferação da febre amarela, malária, dentre outros. As emissões tóxicas provenientes de outras formas de destinação, como a incineração ou co-processamento sem controle, aumentam os riscos de saúde podendo causar doenças como câncer, lesão cerebral, anemia, desordens endócrinas, asma e diabetes. Além disso, através de seu poder de combustão, os pneus ao serem incendiados em campos abertos trazem problemas graves pela emissão de gases altamente tóxicos. Desta maneira, a destinação final dos pneus pode deixar severo passivo ambiental para a presente e futuras gerações.

Visando diminuir o passivo ambiental dos pneus inservíveis no país, o CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente publicou a Resolução N° 258, de 26 de Agosto de 1999, que trata da destinação final, de forma ambientalmente adequada e segura, dispondo sobre a reciclagem, prazos de coleta, entre outros fatores.

O uso de carcaças de pneus na engenharia civil envolve diversas soluções criativas, em aplicações bastante diversificadas, não existe ainda uma tecnologia ideal, pois a definição do processo depende de fatores como: volume de pneus, proximidade de mercado, tipo de consumidores, investimento necessário, além de incentivos fiscais e financeiros. Para o desenvolvimento e avanço das tecnologias voltadas para a reutilização e a reciclagem de pneus, é necessário um esforço conjunto de empresas, governo e sociedade.

Diante deste contexto a presente pesquisa pretende incentivar e estimular o reaproveitamento de pneus inservíveis principalmente como matéria prima na construção de estruturas de contenção arrimadas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentados assuntos que darão embasamento à pesquisa, tais como: questões ambientais relativa ao descarte de pneus inservíveis, formas de reaproveitamento de pneus, empuxo de terra, estruturas de contenção, etc.

2.1 QUESTÕES AMBIENTAIS RELATIVAS AO DESCARTE DE PNEUS INSERVÍVEIS

2.1.1 *Considerações iniciais*

A borracha natural é um polímero obtido da seiva da seringueira, árvore de origem amazônica, mas que ganhou o mundo, principalmente pela rápida adaptação que sofreu quando, na virada do século XX, foi plantada com sucesso nas florestas tropicais asiáticas.

Para sua extração são feitos pequenos cortes superficiais no caule da árvore, através dos quais o látex é captado. Depois de sua coagulação e secagem, este material é aquecido e posteriormente processado com outras substâncias químicas, transformando-se em borracha.

Com o passar do tempo, criou-se na Alemanha a tecnologia para fabricá-la artificialmente a partir do petróleo. Apesar da borracha sintética ser muito parecida com a borracha natural, ela não é tão resistente ao calor e fatura com a mudança de temperatura muito rápida. Por isso, os artefatos são sempre constituídos por parcelas da borracha natural/sintética.

Os pneus foram inventados em 1845, depois que o norte-americano Charles Goodyear descobriu casualmente o processo de vulcanização da borracha, quando deixou cair borracha e enxofre no fogão.

Tornaram-se então substitutos das rodas de madeira e ferro, usadas em carroças e carruagens. A borracha além de ser mais resistente e durável, absorve melhor o impacto das rodas com o solo, o que tornou o transporte mais confortável e funcional.

O pneu possui papel fundamental e indiscutível em nossa vida, tanto no transporte de passageiros quanto no transporte de cargas. Este papel torna-se ainda mais importante em países em desenvolvimentos como o Brasil, onde o transporte de bens é feito em sua grande maioria por meio do modal rodoviário (Specht, 2004).

O Brasil produziu 52 milhões de pneus em 2004, (MMA, 2004). Um terço disso foi exportado para mais de 100 países e o restante roda nos veículos nacionais. Apesar do alto índice de reforma no País, que prolonga a vida útil dos pneus, parte deles, já desgastada pelo uso, acaba parando nos lixões, na beira de rios e estradas, e até no quintal das casas, onde acumulam água que atrai insetos transmissores de doenças. Os pneus e câmaras de ar consomem cerca de 70% da produção nacional de borracha e sua reciclagem é capaz de devolver ao processo produtivo de terceiros setores (por razões de ordem tecnológica, não retorna para a indústria de pneumáticos) um insumo regenerado por menos da metade do custo que o da borracha natural ou sintética. Além disso, economiza energia e poupa petróleo usado como matéria-prima virgem.

A maior parte dos pneus hoje é feita de 10% de borracha natural (látex), 30% de petróleo (borracha sintética) e 60% de aço e tecidos (tipo lona), que servem para fortalecer ainda mais a estrutura. Na natureza sua completa degradação é estimada em 600 anos.

2.1.2 *Problemas ambientais*

No Brasil fala-se em mais de 100 milhões de carcaças de pneus abandonadas inadequadamente (MMA, 2004). Jogadas em terrenos baldios, acumulam, por causa de seu formato, água da chuva no seu interior, servindo de local onde os mosquitos transmissores de doenças, como a dengue e a febre amarela, colocam seus ovos.

Colocados em lixões, misturam-se com o resto do lixo, absorvendo os gases liberados pela decomposição, inchando e estourando. Acabam sendo separados e abandonados em grandes pilhas em locais abertos, junto a esses lixões.

Queimados, podem causar incêndios, pois cada pneu é capaz de ficar em combustão por mais de um mês, liberando mais de dez litros de óleo no solo, contaminando a água do subsolo e aumentando a poluição do ar.

No Brasil, a importação de pneumáticos usados é proibida por resoluções. Mesmo assim, 11 milhões de pneus usados são trazidos para o país com base em liminares judiciais. Eles são reutilizados no mercado nacional e custam 60% mais barato que os novos.

Estudo realizado pelo Ministério da Saúde em 2003 mostra que os pneus usados eram o principal foco do mosquito causador da dengue em 284 dos 1.240 municípios pesquisados.

O surto de dengue que vem preocupando as autoridades sanitárias e a população, levou a Secretaria Estadual do Meio Ambiente a autorizar a disposição de pneus usados em aterros sanitários, desde que devidamente retalhados ou triturados e previamente misturados com resíduos domiciliares, de forma a garantir a estabilidade dos aterros. A decisão foi adotada em conjunto com a Secretaria Estadual da Saúde, por meio da Resolução SMA/SS 1, publicada no Diário Oficial de 16 de março de 2006.

2.1.3 Legislação

A resolução nº 258 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA de 26 de agosto 1999, considera pneu ou pneumático inservível: aquele que não mais se presta a processo de reforma que permita condição de rodagem adicional, e obriga a indústria e os importadores a coletar e dar destinação a pneus inservíveis no território nacional.

Artigo 1º, Parágrafo único. As empresas que realizam processos de reforma ou de destinação final ambientalmente adequada de pneumáticos ficam dispensadas de atender ao disposto neste artigo, exclusivamente no que se refere à utilização dos quantitativos de pneumáticos coletados no território nacional.

Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP) deu início em 2004 ao programa de coleta que prevê também a destinação adequada dos pneus através de parcerias com distribuidores, revendedores e prefeituras.

2.2 FORMAS DE REAPROVEITAMENTO DE PNEUS

2.2.1 Fonte energética

O pneu pode ser utilizado como fonte de energia através de sua queima, caracterizando a reciclagem energética. Segundo Lund (1993) apud SPECHT, (2004) o poder calorífico do pneu varia de 3000kcal/kg a 9000kcal/kg, enquanto o carvão varia de 42000kcal/kg a 67000kcal/kg.

O controle das emissões geradas em processos que utilizam a degradação térmica (fonte energética) é realizado através de leis e normas. Entre as principais, têm-se as resoluções CONAMA 258 e 316 e a Norma NBR 11.175.

Os principais usuários de pneus em caldeiras são as indústrias de papel e celulose e de produtos alimentícios, e em fornos rotativos são as fábricas de cimento, que podem usar até a carcaça inteira e aproveitam alguns óxidos contidos nos metais dos pneus radiais.

2.2.2 Remoldagem

O pneu é reconstruído através da substituição da banda de rodagem, dos ombros e de toda a superfície de seus flancos.

2.2.3 Recauchutagem

O pneu é reconstruído através da substituição da banda de rodagem. Para a reforma do pneu, os requisitos são que a sua estrutura geral não apresente cortes e deformações e que a banda de rodagem ainda apresente os sulcos e saliências, que permitem sua aderência ao solo, ele pode ser recauchutado até três vezes dependendo o estado de conservação da sua carcaça. Estima-se que no Brasil sejam recauchutados oito milhões de pneus de caminhão e quatro milhões de pneus de veículos de passeio (SPECHT, 2004).

2.2.4 Regeneração

A trituração dos pneus para obtenção de borracha regenerada, mediante a adição de óleos aromáticos e produtos químicos desvulcanizantes é uma das alternativas para a reciclagem desse material tornando-o apto para receber nova vulcanização. Porém, o material regenerado não tem as mesmas propriedades da borracha crua original. No processo de regeneração de pneus, a borracha é separada dos outros componentes e degradada. O arame e a malha de aço são recuperados como sucata de ferro, o tecido de nylon é recuperado e utilizado como reforço em embalagens de papelão.

A borracha regenerada (pasta resultante do processo) pode ser empregada na fabricação de muitos artefatos como, por exemplo, tapetes de automóveis, pisos para indústrias e para quadras esportivas, sinalizadores de trânsito. Também é utilizada no revestimento de tanques de combustível e como aditivo em peças de plásticos, aumentando-lhes a elasticidade.

No Brasil já há tecnologia em escala industrial que produz borracha regenerada por processo a frio, obtendo um produto reciclado com elasticidade e resistência semelhantes ao do material virgem.

2.2.5 Pirólise

A pirólise é o processo através do qual ocorre degradação térmica com ausência de oxigênio, que permite a extração de óleo e gás para serem utilizados como combustível em processos industriais. O óleo obtido, após condensação e decantação, é usado na indústria química como substituto do petróleo em algumas indústrias petroquímicas. O gás, combustível por excelência, é consumido dentro da própria indústria. Uma vez gerado, é utilizado como fonte energética para auxiliar no aquecimento da caldeira, onde ocorre a pirólise. Um exemplo da utilização da pirólise como combustível tem sido a usina protótipo de transformação de xisto no município de São Mateus do Sul, no Paraná.

2.2.6 Composição Asfáltica

É uma das áreas mais estudadas apontada hoje nos EUA como uma das melhores soluções para o fim dos cemitérios de pneus, possui o maior potencial de utilização devido a dois fatores: a utilização de um grande volume de pneumáticos utilizados e a melhoria das características dos ligantes asfálticos e do concreto asfáltico com a adição de farelo de pneu.

Segundo Sandroni (2006) para a chamada composição asfáltica, utilizam-se partículas de pó de borracha, com dimensão de até 5mm e umidade máxima de 2%, para serem misturadas ao asfalto na proporção de 1 a 3% em peso. A mistura da borracha com o asfalto aumenta a elasticidade e retarda o processo de trincamento das pistas. Apesar de ser 25% mais caro do que o asfalto comum, o “asfalto ecológico” dura 40% mais e retira de circulação cerca de mil pneus para cada quilômetro construído.

2.2.7 Compostagem

A sucata de pneu não pode ser transformada em adubo, mas a borracha cortada em pedaços de cinco centímetros pode ajudar na aeração do composto orgânico. Essas partículas devem ser retiradas do adubo antes da comercialização.

2.2.8 Aterros Sanitários

O pó ou farelo de pneus pode ser utilizado como cobertura em aterros sanitários para evitar a proliferação de roedores e insetos, evitar o espalhamento do lixo, bem como funcionar como drenagem interna nos aterros. Porém, a disposição em aterros sanitários tem se mostrado inadequada, a trituração, é um processo caro por causa da elevada quantidade de aço (40%) da composição do pneu.

2.2.9 Mourões para Cerca

O invento de Reynaldo Teixeira do Amaral Junior (2005), e pesquisado pela equipe do professor Antonio Batocchio, da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp prevê a transformação de pneus usados, em mourões para cerca, substituindo a madeira bruta ou tratada, o concreto e mesmo o mais recente recurso do plástico. E com pequenas variações, o mesmo processo de fabricação dos mourões para cercas pode ser utilizado no desenvolvimento de protetores para estradas (*grade rails*), porteiras e portões de sítios e fazendas, tubulações para escoamento de águas pluviais, entre outros produtos.

2.2.10 Dormentes

O dormente de pneu reciclado é uma proposta de um novo produto composto por borracha dos pneus inservíveis e aço, aproveitando a resistência de fabricação do pneu, com características mecânicas superiores e preço pelo menos equivalente ao dormente de madeira tratada, que atende à demanda crescente das ferrovias com superior qualidade tecnológica e ambiental.

2.2.11 Barreiras Rodoviárias

Essas muretas, normalmente erguidas no centro ou nas laterais das pistas, continuarão a ser feitas de concreto, mas parte das pequenas pedras, chamadas de brita, usadas na sua composição, será substituída por borracha triturada proveniente de pneus que não têm mais utilidade, a principal vantagem da nova barreira rodoviária é a capacidade de absorver o impacto dos veículos desgovernados. Dois trechos dessas barreiras encontram-se em fase de testes, um no quilômetro 27,3 da rodovia Raposo Tavares, sentido interior, que liga a capital paulista à região oeste do Estado de São Paulo, e outro na marginal do rio Tietê, próximo da ponte Júlio de Mesquita Neto, na cidade de São Paulo, revista pesquisa 2005.

2.2.12 Recifes Artificiais e Reprodução da Fauna Marinha

No Brasil é utilizado como estruturas de recifes artificiais no mar para criar ambiente adequado para reprodução de animais marinhos. Segundo Conceição 2003, atualmente o material que mais vem sendo utilizado na construção de recifes artificiais no Estado do Ceará são pneus velhos. A iniciativa partiu da Prefeitura Municipal de Itapioca em 1995, que instalou em torno de 6.000 pneus em três grandes estruturas modulares na praia da Baleia.

2.2.13 Esportes

Usado em corridas de cavalo, corridas automotivas ou eventos que necessitem de uma limitação do território a percorrer ou barreiras para diminuir o impacto de possíveis choques contra a estrutura delimitadora do percurso.

2.3 EMPUXO DE TERRA

O empuxo é a resultante das pressões laterais de terra ou água, que atuam sobre uma estrutura. Sua magnitude depende:

- Desnível vencido pela estrutura;
- Do tipo e características do solo;
- Propriedades e deformação sofridas pela estrutura;
- Posição do NA;
- Inclinação do terreno, etc...

Machado (1997), diz que o cálculo dos empuxos de terra constitui uma das mais antigas preocupações da Engenharia Civil, tratando-se de um problema de elevado valor prático, de ocorrência freqüente e de determinação complexa. Que as obras de contenção exigem em seus dimensionamentos e análises de estabilidade, o conhecimento desta variável e que estas estruturas freqüentemente requerem verificações adicionais no seu dimensionamento, não só a análise da sua estabilidade global, como a segurança de seus elementos de construção.

2.3.1 Coeficiente de empuxo

Os empuxos laterais de solo sobre uma estrutura de contenção são normalmente calculados por intermédio de um coeficiente, que é multiplicado pelo valor da tensão vertical efetiva naquele ponto. O valor deste coeficiente irá depender do processo de interação solo/estrutura. Estes coeficientes são denominados de coeficiente de empuxo do solo, que dependem da direção do movimento lateral imposto pela estrutura de contenção (Machado, 1997).

O empuxo de terra que atua sobre um suporte que resiste, mas cede uma certa quantidade e que depende de suas características estruturais, denomina-se **empuxo de terra Ativo (E_a)**, ou seja, o solo está empurrando a estrutura, como mostra a Figura 1. Quando a parede é que avança contra o solo tem-se então o **empuxo Passivo (E_p)**, ou seja, a estrutura

empurra o solo, como pode-se notar na Figura 1. As pressões correspondentes chamam-se ativa e passiva e os coeficientes de empuxo, ativo (K_a) e passivo (K_p) (CAPUTO, 1988 b).

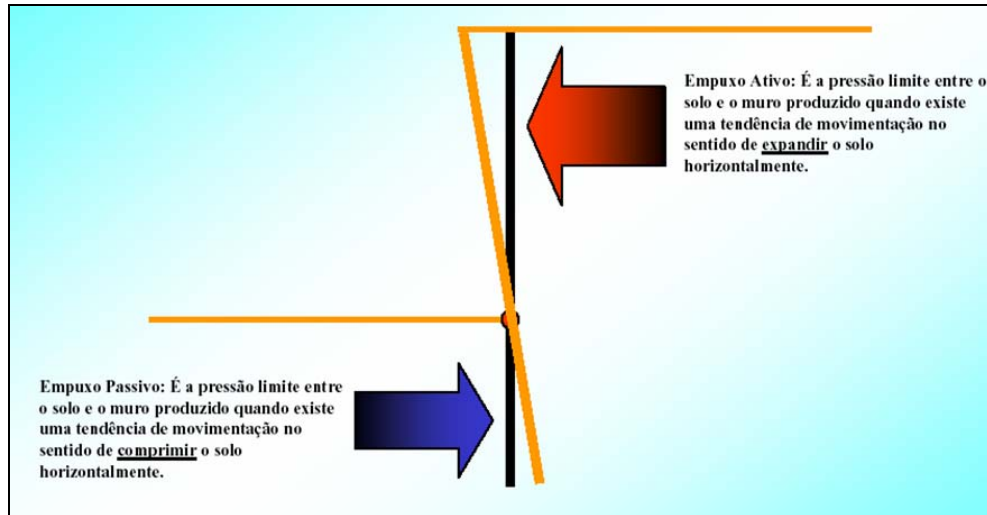


Figura 1: Ação do empuxo ativo / empuxo passivo.
Fonte: MARINHO, 2006.

Quando uma estrutura é suficientemente rija, não permitindo qualquer tipo de deslocamento, pode-se dizer que as tensões que existentes são denominadas de pressão no repouso e utiliza um coeficiente de empuxo no repouso (K_0), Figura 2.

A mobilização progressiva da resistência ao cisalhamento ao longo da curva de ruptura é que permite a redução (para empuxo ativo) e o crescimento (para empuxo passivo) do valor total do empuxo conforme, Figura 2, Caputo (1988 b).

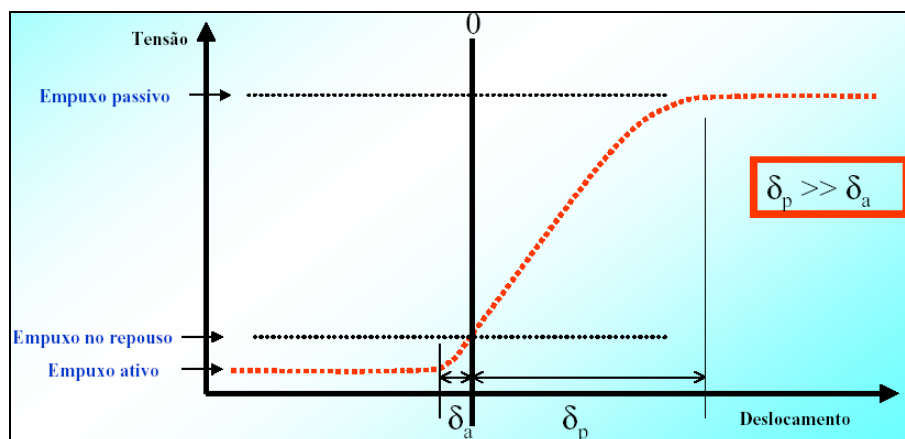


Figura 2: Empuxo passivo - curva de ruptura para empuxo passivo/ativo.
Fonte: MARINHO, 2006.

Em resumo:

- *Empuxo no Repouso*: nenhuma deformação no muro e nenhuma mudança nas tensões horizontais;
- *Empuxo ativo*: Deformação do muro e decréscimo da tensão horizontal;
- *Empuxo passivo*: Deformação do muro e aumento da tensão horizontal.

2.3.2 Teoria de Rankine

Segundo Machado (1997), a solução de Rankine, estabelecida para solos granulares e estendida por R sal para solos coesivos, constitui a primeira contribui o ao estudo das condi es de equilíbrio limite dos maciços, tendo em conta as equa es de equilíbrio interno do solo. Em razão disto, estas equa es são conhecidas como estados de plastifica o de Rankine. O método de Rankine, que consiste na integra o, ao longo da altura do elemento de suporte, das tensões horizontais atuantes, calculadas a partir do sistema de equa es estabelecido para o maciço, fundamenta-se nas seguintes hipóteses:

- Maciço homog neo de extensão infinita e de superfície plana (horizontal);
- O solo no interior da cunha de ruptura se encontra nos estados de plastifica o de Rankine;
- A inser o do muro não interfere nos resultados obtidos.

  medida que se afasta das condi es teóricas fundamentais, o método fornece valores que se distanciam cada vez mais dos valores práticos observados. A presença do atrito ou de adesão na interface solo/muro gera tensões tangenciais que contribuem para resistir ao deslocamento da cunha plastificada. Neste caso, a utiliza o da teoria de Rankine faz com que o empuxo ativo seja sobreestimado e o empuxo passivo, subestimado, (MACHADO 1997).

Machado (1997) salienta, sobre o procedimento do método de Rankine existe a desvantagem de que a obten o dos valores de K_a e K_p para geometrias complexas e/ou outras formas de carregamento que não carregamento extenso conduz a procedimentos de cálculos bastante árduos.

2.3.2.1 Empuxo Ativo

Segundo Machado (1997), solos não coesivos apresentam a variação das tensões horizontais linearmente com a profundidade e o empuxo consistirá na integração das tensões laterais ao longo da altura, possuindo um diagrama resultante triangular. A Figura 3 ilustra a obtenção do empuxo ativo sobre uma estrutura de contenção pelo método de Rankine, para solos não coesivos e coesivos. Para solos coesivos, os valores de empuxo obtidos até uma profundidade $Z = Z_0$ são negativos. A ocorrência de empuxo negativo sobre uma estrutura de contenção é pouco improvável, uma vez que a tendência do solo é se “descolar” do muro, sendo que até esta profundidade ($Z = Z_0$), é provável o surgimento de trincas de tração no solo, por esta razão é que geralmente despreza-se o empuxo negativo sobre a estrutura de contenção, e calcula o empuxo a partir da altura reduzida do muro, $h' = H - Z_0$, conforme se ilustra na Figura 3. Esta apresenta também a integração dos esforços horizontais ao longo do muro de arrimo o que resulta na Equação 1, que representa o empuxo ativo atuando sobre a estrutura de contenção.

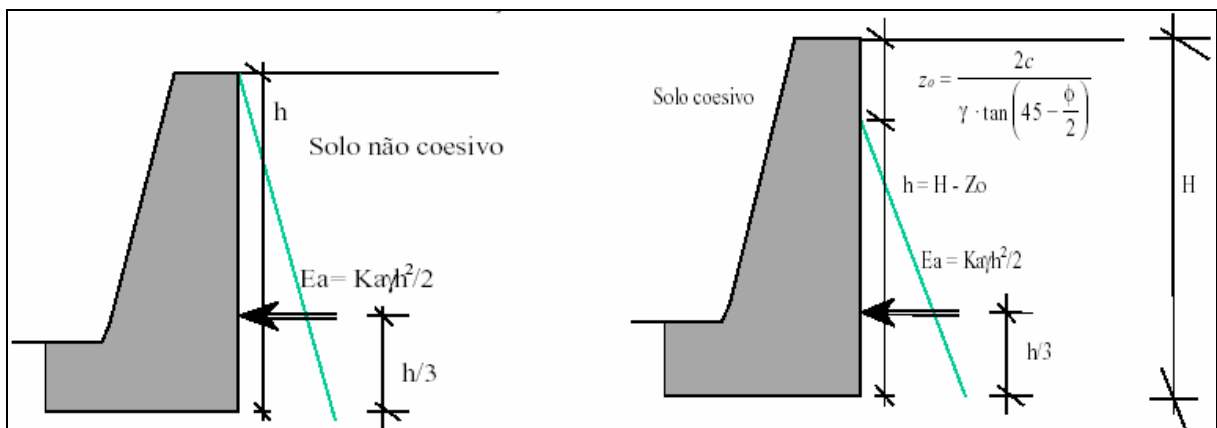


Figura 3: Aplicação do método de Rankine para cálculo do empuxo ativo sobre estruturas de contenção.

Fonte: MACHADO, 1997.

$$E_a = \frac{K_a * h^2 * \gamma}{2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: K_a – coeficiente de empuxo ativo

h' – altura total da estrutura

γ – peso específico

A presença da coesão possibilita manter um corte vertical, sem necessidade de escoramento, até uma determinada altura no solo (altura crítica), na qual o empuxo resultante é nulo. Da Figura 3 é fácil perceber que isto ocorre quando $z = 2 \times z_0$. Esta é a altura na qual podem ser feitas escavações sem escoramento no solo. A Equação 2 apresentada a seguir, expressa a altura crítica de corte (Z_c) sem escoramento, (MACHADO, 1997).

$$-Z_c = \frac{4 * c'}{\gamma * \operatorname{tg}\left(45 - \left(\frac{\phi'}{2}\right)\right)} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: c' – coesão

ϕ – ângulo de atrito

No caso de solos coesivos, empuxo passivo, o valor do empuxo é calculado conforme apresentado pela Equação 3.

$$E_p = \frac{K_p * h'^2 * \gamma + 2 * c' * h' * \sqrt{K_p}}{2} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: E_p – empuxo passivo

K_p – coeficiente de empuxo passivo

Machado (1997) salienta a importância da utilização de um bom sistema de drenagem para as estruturas de contenção, de modo a evitar empuxos na estrutura provocados pela água, mesmo quando consideradas estruturas que suportem solos coesivos. O efeito da água é ilustrado na Figura 4.

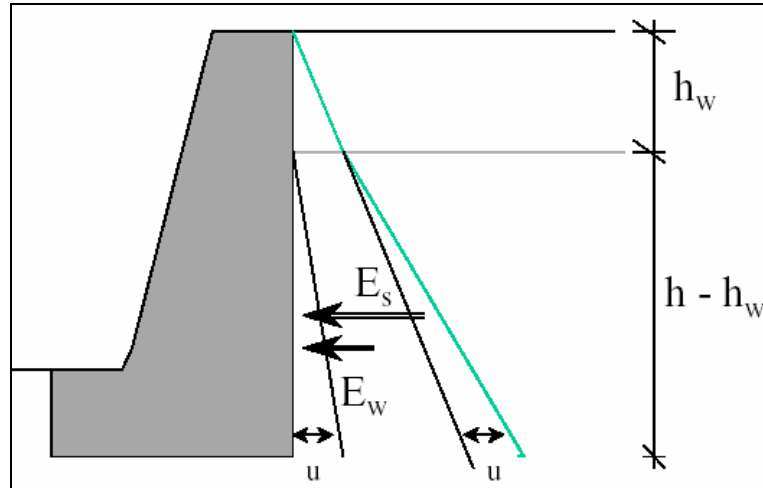


Figura 4: Efeito da água no empuxo do solo sobre estruturas de contenção.
Fonte: MACHADO, 1997.

No caso de o nível do lençol freático interceptar a estrutura de contenção, existirão dois empuxos sobre a estrutura, um originado pela água e outro pelo solo. O empuxo da água será aplicado a uma altura $(h - h_w)/3$ da base da contenção e o empuxo de solo a uma altura aproximadamente igual a $h/3$. Deve-se notar que neste caso há uma mudança no peso específico do solo, que passa a γ_{sat} , e que as tensões neutras devem subtraídas das tensões horizontais do solo sobre a estrutura, pois os coeficientes de empuxo devem sempre ser utilizados em termos de tensão efetiva. Caso o nível de água se eleve até a superfície do terreno, o que consiste na situação mais desfavorável, o empuxo ativo sobre a estrutura de contenção será dado pela Equação 4, (MACHADO, 1997).

$$E_a = \frac{K_a * h^2 * \gamma_{sub}}{2} + \frac{h^2 * \gamma_w}{2} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde: h – altura

γ_{sub} – peso específico saturado

γ_w – peso específico solo

2.3.2.2 Empuxo Passivo

Segundo Magalhães (2003), o cálculo do empuxo passivo segundo a teoria de Rankine consiste numa aplicação da teoria de equilíbrio passivo dos maciços terrosos. Tratando-se da reação que o solo oferece a uma estrutura de contenção que é empurrado ou puxado contra o maciço terroso.

A determinação do coeficiente de empuxo passivo para solos granulares se dá através da Equação 5

$$K_p = \frac{\tau_p}{\tau_v} = \frac{1 + \operatorname{sen}\phi}{1 - \operatorname{sen}\phi} = \operatorname{tg}^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: τ_p – tensão cisalhante passivo

τ_v – tensão cisalhante vertical

Que é aplicado no terço inferior da altura h , quando a parede se desloca contra o terraplano, possuindo uma tensão horizontal (τ_h) expressa na Equação 6.

$$\tau_h = K_p * \tau_v = \operatorname{tg}^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) * \tau_v \quad (\text{Equação 6})$$

2.3.2.3 Empuxo com sobre carga uniforme

Segundo Monteiro (2005), o método de Rankine pode ser aplicado nos casos em que existe sobrecarga sobre a superfície de terraplano. O efeito da sobrecarga “q” aplicada sobre o terreno, à pressão vertical a uma profundidade qualquer pode ser definida pela Equação 7.

$$\sigma_v = q + \gamma * h' \quad (\text{Equação 7})$$

Monteiro (2005) salienta que os empuxos ativos e passivos são calculados pelas respectivas Equações 8 e 9.

$$E_a = \frac{1}{2} * \gamma * h^2 * K_a + q * h * K_a \quad (\text{Equação 8})$$

$$E_p = \frac{1}{2} * \gamma * h^2 * K_p + q * h * K_p \quad (\text{Equação 9})$$

2.3.3 Teoria de Coulomb

Segundo Machado (1997), o método de Coulomb para cálculo dos empuxos de terra foi enunciado em 1776. Enquadra-se na filosofia do Teorema da Região Superior (TRS) da teoria da plasticidade, que estabelece o equilíbrio de uma massa de solo, se, para um deslocamento arbitrário, o trabalho realizado pelas solicitações externas for menor do que o das forças internas. Em caso negativo, a massa estará em condição de estabilização ou de plastificação.

As hipóteses básicas adotadas por Coulomb foram:

- É atendida a condição de deformação plana ao longo do eixo do muro, logo o problema é bidimensional;
- Ao longo da superfície de deslizamento, o material está em estado de equilíbrio limite (uso do critério de Mohr – Coulomb);
- Ocorre deslizamento relativo entre o solo e o muro. Tensões cisalhantes se desenvolvem nesta interface. A direção das tensões cisalhantes são determinadas pelo movimento relativo solo/muro;
- A superfície de ruptura é geralmente assumida como planar.

Segundo Vargas (1977 apud MAGALHÃES, 2003, p.39) a teoria de Coulomb, embora originalmente só se aplique aos solos não coesivos, esta mais próxima das condições vigentes nos casos de empuxos de terra, pois leva em conta o atrito entre o material que exerce o empuxo e a superfície do muro, sobre a qual se aplica o empuxo de terra. Além

disso, a teoria de Coulomb leva ao cálculo do empuxo total, nada concluído sobre o seu ponto de aplicação. Isso se tornou uma vantagem sobre o método de Rankine cuja conclusão sobre a distribuição triangular das pressões, obriga a aplicação do empuxo no terço inferior do muro. Essa conclusão está em desacordo com experiências, pois essa mostra que o ponto de aplicação do empuxo varia, conforme o deslocamento do muro, entre o terço inferior e a metade da altura do muro.

A Teoria de Coulomb baseia-se na hipótese de que o esforço exercido no paramento do muro é proveniente da pressão do peso parcial de uma cunha de terra, que desliza pela perda de resistência a cisalhamento ou atrito (MOLITERNO, 1994).

Para o cálculo do empuxo segundo Machado (1997), é efetuado estabelecendo-se as equações de equilíbrio das forças atuantes sobre uma cunha de deslizamento hipotético. Uma das forças atuantes é o empuxo, que no estado ativo corresponde à reação da estrutura de suporte sobre a cunha e, no passivo, à força que a estrutura de arrimo exerce sobre ela. O empuxo ativo será o máximo valor dos empuxos determinados sobre as cunhas analisadas, o passivo, o mínimo.

2.3.3.1 Empuxo Ativo

Segundo Machado (1997), no empuxo ativo o muro se movimenta de modo que o solo é forçado a mobilizar a sua resistência ao cisalhamento, até a sua ruptura iminente. A ativação da resistência ao cisalhamento do solo pode ser entendida como sendo o fim do processo de expansão que se desencadeia no solo a partir de uma posição em repouso, ou seja, o valor do empuxo sobre a estrutura de contenção vai diminuindo, com a expansão, até atingir um valor crítico, situado no limiar da ruptura, ou da plastificação.

A Equação 10 – apresenta o valor de empuxo ativo obtido através do método de Coulomb. Na Figura 5, estão apresentados todas as variáveis presentes na Equação 10, para o caso de empuxo passivo, no caso de empuxo ativo a resultante R do solo atuará desviada também de θ da normal à cunha, mas em sentido oposto, o empuxo ativo (E_a) será a inclinada da normal à contenção também do coeficiente de atrito solo/interface (δ), mas em sentido

contrário ao apresentado na Figura 5, devendo atender as conversões de sinais adotados na Figura 5 (b) (MACHADO, 1997).

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\alpha + \phi')}{\text{sen}^2(\alpha) * \text{sen}(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi' + \delta) * \text{sen}(\phi' - \beta)}{\text{sen}(\alpha - \delta) * \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (\text{Equação 10})$$

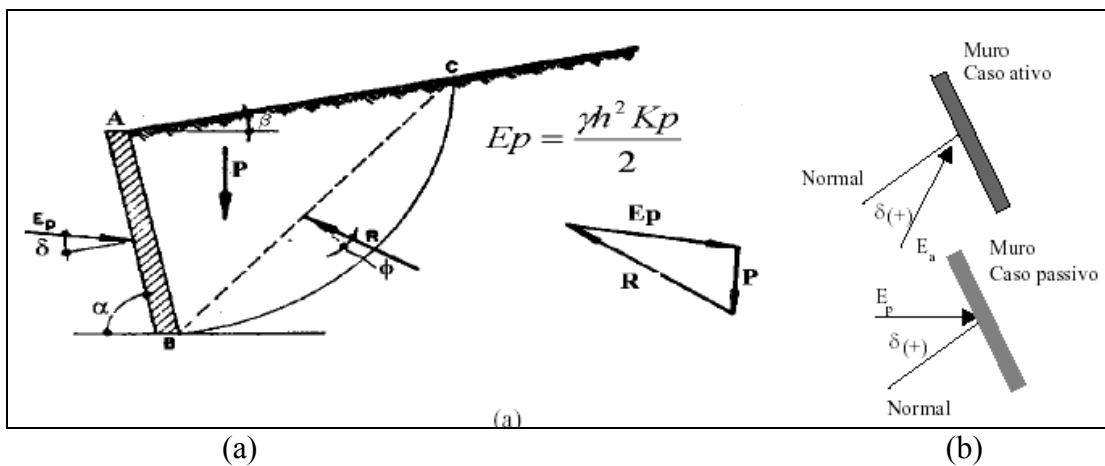


Figura 5: (a) método de Coulomb para o caso de empuxo passivo, (b) convenção de sinais para δ .

Fonte: MACHADO, 1997.

2.3.3.2 Empuxo Passivo

O método de cálculo para o empuxo dos solos não coesivos é simplesmente uma extensão da Teoria de Coulomb, procurando o valor mínimo de empuxo (E_p) que equilibra a cunha de ruptura (MAGALHÃES, 2003).

A Equação 11 apresenta o valor do coeficiente de empuxo passivo obtido pelo método de Coulomb.

$$K_p = \frac{\text{sen}^2(\alpha - \phi')}{\text{sen}^2(\alpha) * \text{sen}(\alpha + \delta) \left[\sqrt{\frac{\text{sen}(\phi' + \delta) * \text{sen}(\phi + \beta)}{\text{sen}(\alpha + \delta) * \text{sen}(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (\text{Equação 11})$$

2.3.4 Aspectos gerais que influenciam na determinação do empuxo

A seguir é feito um pequeno resumo sobre alguns fatores que influenciam no valor do empuxo em uma estrutura de contenção, segundo Machado (1997), aspectos referentes a vários destes fatores já foram relatados anteriormente:

a) *Influência da pressão neutra:* o empuxo devido à água deve ser considerado separadamente, não sendo possível incluir os esforços devido à percolação da água nas teorias de Rankine e Coulomb. Deve-se lembrar que ao assumir o nível de água estático, os coeficientes de empuxo referem – se às tensões efetivas, e que a água exerce igual pressão em todas as direções, sendo o empuxo da água perpendicular à face de contenção.

b) *Influência de sobrecargas aplicadas à superfície do terreno:* no cálculo dos acréscimos dos empuxos devidos a carregamentos em superfície, alguns resultados de instrumentação comprovam a aplicabilidade das fórmulas da Teoria de Elasticidade, sendo necessárias algumas correções empíricas para adequá-las aos valores reais medidos, sendo um dos aspectos a considerar e que requer correção refere-se à rigidez da estrutura.

c) *Influência do atrito entre o solo e o muro:* a mesma pode ser evidenciada observando-se que quando o muro move-se, o solo que ele suporta expande-se ou é comprimido. Ao expandir o solo apresenta uma tendência a descer ao longo da parede que, se impedida, origina tensões tangenciais ascendentes que suportam em parte a massa de solo deslizante, aliviando assim, o valor do empuxo sobre o muro. No caso passivo, onde o solo é comprimido, ocorre simplesmente o contrário. O Método de Rankine desconsidera o atrito solo/muro, fornecendo soluções do lado da segurança, já o Método de Coulomb, considera o atrito solo/muro, fornecendo soluções mais realistas.

A presença do atrito na interface solo/muro, além de reduzir o valor do empuxo, provoca a sua inclinação, tornando os muros mais estáveis já que a componente horizontal do empuxo que é diminuída está diretamente relacionada com a estabilidade do muro quanto ao escorregamento e ao tombamento. O ângulo de atrito entre o solo e o muro depende do ângulo de atrito do solo, na falta de um valor específico, recomenda-se adotar para δ um valor situado entre o intervalo apresentado na Equação 12.

$$\frac{\phi'}{3} * \left[\delta \left(\frac{2}{3} * \phi' \right) \right] \quad \text{(Equação 12)}$$

Onde: δ - coeficiente de atrito solo/superfície.

O Quadro 1 apresenta alguns valores de δ/ϕ' em função do material do muro

Quadro 1: Valores de δ/ϕ' em função do material do muro

Material do muro	δ/ϕ'
Concreto liso e argamassa	0,8 – 1,0
Concreto rugoso	0,9 – 1,0
Aço liso	0,5 – 0,7
Aço rugoso	0,8 – 0,9
Madeira lisa	0,7 – 0,9
Madeira rugosa	0,9 – 1,0

Fonte: MACHADO, 1997.

d) *Ponto de aplicação do empuxo*: é importante principalmente na verificação da estabilidade da estrutura de fundação quanto ao tombamento. A forma de distribuição das tensões horizontais sobre a estrutura de contenção, a qual determina o ponto de aplicação do empuxo, irá depender de fatores como: presença de água no solo, existência ou não de carregamentos em superfície e a liberdade de movimentação da estrutura.

e) *Fendas de tração*: nos solos que apresentam coesão existe a possibilidade do surgimento de fendas de tração. A profundidade que estas podem atingir é determinada pelo ponto em que a tensão lateral se anula (Z_0).

2.4 ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

O desempenho de uma contenção depende não somente do sistema de contenção em si, mas também das características do terreno das condições do lençol freático, das condições das construções vizinhas, do espaço disponível para a sua implantação, enfim de inúmeros fatores que variam muito de uma situação para a outra, o que torna difícil apontar vantagens e limitações de cada um dos tipos, de forma genérica, sem levar em consideração as condições particulares de cada caso, Hachich, et al. (1996).

A realização de uma obra de fundação quase sempre envolve estruturas de contenção. É freqüente a criação de subsolos para estacionamento de edifícios urbanos, de contenções de corte ou aterros por muros de arrimo. Obras de contenção do terreno estão presentes em projetos de estradas, de pontes, de estabilização de encostas etc.

A contenção é feita pela introdução de uma estrutura ou elementos estruturais compostos, que apresentam rigidez distinta daquela do terreno que conterá. O carregamento da estrutura pelo terreno gera deslocamento que por sua vez alteram o carregamento, num processo interativo. Porém alguns autores afirmam que o processo é mais corretamente descrito como sendo de deslocamentos impostos, gerando carregamentos decorrentes e não o contrário. De qualquer forma, contenções são estruturas cujo projeto é condicionado por cargas que dependem de deslocamentos.

Segundo Hachich, et al. (1996) a influência da água é marcante na estabilização de uma estrutura de arrimo, basta dizer que o acúmulo de água, por deficiência de drenagem, pode chegar a duplicar o empuxo atuante. O efeito da água pode ser direto, resultante do acúmulo de água junto ao tardo interno do arrimo e do encharcamento do solo, ou indireto, produzindo uma redução da resistência ao cisalhamento do maciço em decorrência do acréscimo das pressões intersticiais.

2.4.1 Estruturas de arrimo

Segundo Moliterno (1994), para equilibrar a resultante lateral das pressões que provocam o empuxo de terra, torna-se necessário fazer com que as cargas verticais sejam pelo menos iguais ao dobro da grandeza do empuxo. Para realizar este equilíbrio com estruturas de arrimo existem dois métodos a serem implantados: muros de gravidade e/ou muros de flexão.

2.4.1.1 Muros de Gravidade

São estruturas corridas, massudas, que se opõem aos empuxos horizontais pelo peso próprio. Não necessitam de equipamentos especiais para a sua construção, Figura 6.

Normalmente, são construídos de concreto ciclópico ou de alvenaria de pedra, e em desníveis inferiores a 5m. A segurança estrutural deve ser verificada para os casos de deslizamento e tombamento do muro.

Sendo estruturas, em geral, pesadas, quase sempre são escolhidas quando se dispõe de terreno de boa capacidade de carga, capaz de suportar as tensões máximas na fundação, consideradas com sapatas corridas.

Podem ser de perfil retangular, trapezoidal, ou escalonado.

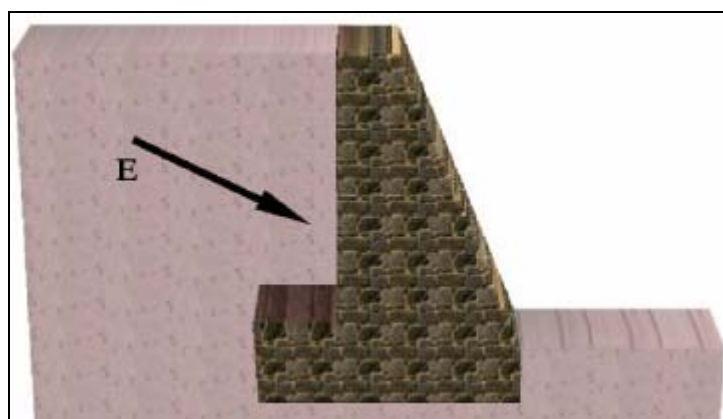


Figura 6: Modelo de muro de gravidade
Fonte: MACHADO, 1997.

2.4.1.2 Muros de Gabiões

São muros de gravidade constituídos pela superposição de “gaiolas” de malha de arame galvanizado cheios com pedras cujos diâmetros mínimos devem ser superiores à abertura da malha das gaiolas, (Figura 7). Suas características principais são a flexibilidade, que permite que a estrutura se acomode a recalques diferenciais e a permeabilidade.

São construídos posicionando-se os gabiões no local desejado, enchendo-os com pedras de mão para formar as sucessivas fiadas que formarão um arrimo de gravidade.

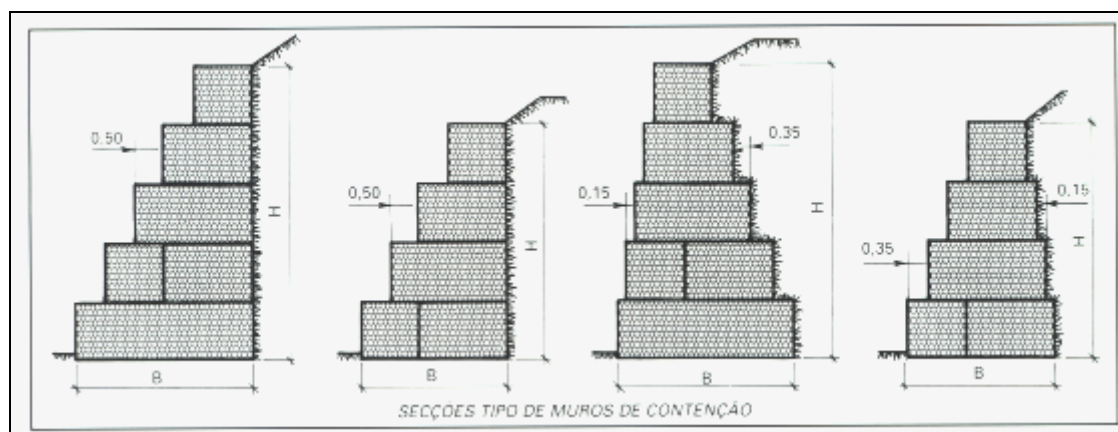


Figura 7: Seções tipo de muros de gabiões
Fonte: SOCIEDADE MATÉRIAS PRIMAS Ltda, 2006.

2.4.1.3 Muros Semigravitacionais

Este tipo de muro permite a redução da massa de concreto, pois é introduzida uma pequena ferragem na parte posterior do muro, na conexão entre a parte vertical e a base.

2.4.1.4 Muros de Flexão Isolados

São muros que não fazem parte da estrutura da edificação. Sua estrutura é mais esbelta que a do muro de gravidade, apresenta geralmente, seção transversal em “L”, e resistem aos empuxos por flexão, utilizando parte do peso próprio do maciço de terra a ser contido, que se

apóia sobre a base do “L”, para manter-se em equilíbrio. Esse tipo de muro é geralmente construído em concreto armado e pode ser considerado como composto por duas placas, uma vertical e outra horizontal. A placa vertical deve resistir aos esforços gerados pela ação horizontal causada pela terra a ser contida. A placa horizontal deve funcionar como elemento de fundação para a placa vertical, e, como mencionado anteriormente, a partir da parcela do maciço que nela se apóia, contribui para a estabilidade da estrutura.

Vale ressaltar que o perfil em L pode levar a estruturas com valores baixos de peso próprio e por isso, é imprescindível a verificação do deslizamento, bem como do tombamento. Às vezes, se faz necessário a execução de abas laterais na placa horizontal, ou sapata, com o intuito de aumentar a área de contato com o terreno e diminuir o deslizamento, Figura 8.

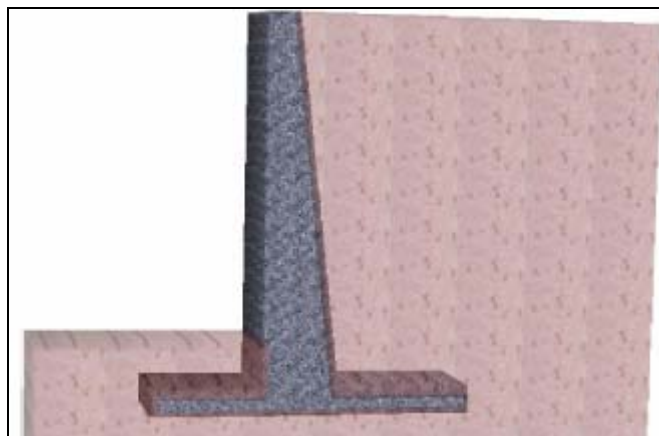


Figura 8: Muro de flexão isolados, com aba lateral na placa horizontal
Fonte: MACHADO, 1997.

2.4.1.5 Muros de Contra Fortes

A utilização de muros de flexão isolados, às vezes, leva a estruturas extremamente flexíveis. Para torná-las mais rígidas pode-se adotar elementos verticais de maior porte, os contrafortes, (Figura 9). Espaçados, em planta, de alguns metros e podem ser construídos para o lado externo do paramento vertical ou embutidos no maciço arrimado.

A distância entre contrafortes é adotada, em geral, da ordem de 4m e as lajes definidas por eles são consideradas, para cálculo dos esforços solicitantes, como engastadas nas lajes

contíguas lateralmente e na sapata, e em bordo livre na extremidade superior. As ações da terra são consideradas como linearmente distribuídas.



Figura 9: Modelo muros de contra fortes
Fonte: MARINHO, 2006.

2.4.1.6 Muros “Atirantados”

São estruturas mistas em concreto e alvenaria de blocos de concreto ou tijolos, com barras quase horizontais, contidas em planos verticais perpendiculares ao paramento do muro, funcionando como tirantes, marrando o paramento a outros elementos embutidos no maciço, como blocos, vigas longitudinais ou estacas, Figura 10.

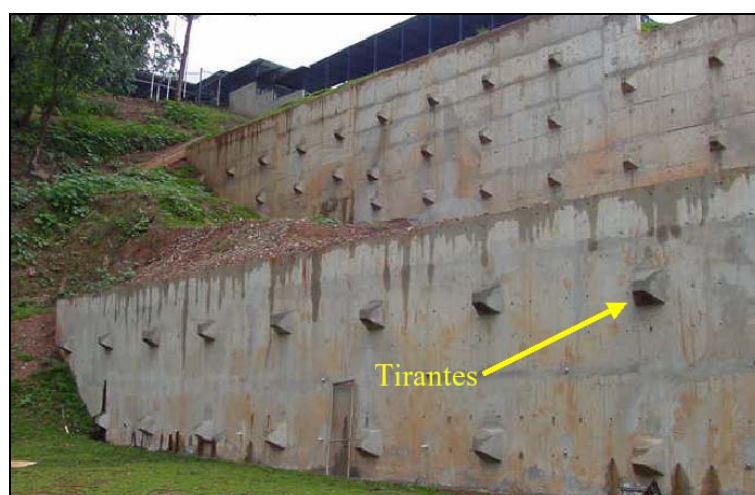


Figura 10: Modelo muro “atirantado”
Fonte: MARINHO, 2006.

2.4.1.7 “Crib Walls”

São estruturas formadas por vigas pré-moldadas de concreto armado, ou de madeira, ou de aço que são dispostas, no local da contenção, em forma de “fogueira” justapostas e interligadas longitudinalmente, cujo espaço interno é preenchido, de preferência, com material granular graúdo, Figura 11. São estruturas capazes de se acomodar a recalques das fundações e funcionam como arrimos de gravidade.



Figura 11: Modelo “crib walls”

2.4.1.8 Muro de contenção utilizando pneus

Visando o estudo de uma técnica de estabilização de taludes de execução simples e dirigida ao consumo substancial de pneus usados, a PUC-Rio desenvolveu um amplo projeto de pesquisa, com a participação da Fundação Geo-Rio (Prefeitura do Rio de Janeiro) e da Universidade de Ottawa, com o apoio do I.D.R.C. (International Development Research Centre do Canadá). O projeto, iniciado em 1995, foi centrado na construção de um muro de arrimo experimental instrumentado. O muro possui pneus dispostos em camadas horizontais e amarrados horizontalmente com arame ou corda e preenchidos com solo local compactado.

O campo experimental situa-se no alto da rua Atí, Jacarepaguá, Rio de Janeiro e compreende uma área de aproximadamente 4.000m². O muro foi executado com 4m de altura

e 60m de extensão, sendo dividido em 4 seções transversais distintas 2 de 15m cada. No total, foram consumidos aproximadamente 15.000 pneus usados. As 4 seções apresentam-se com configurações diferentes, com o objetivo de permitir a análise comparativa da eficiência de cada uma delas. Na face posterior do muro de pneus, foi executado um retro-aterro constituído do mesmo material utilizado no preenchimento dos pneus do muro. Ao final da construção, foram adicionados 2m de sobrecarga de solo.

2.4.2 Estabilidade das estruturas de arrimo

Os vários tipos clássicos de muro de arrimo apresentados podem ser executados empregando técnicas de construção em alvenarias ou concreto armado. Na verificação da estabilidade, qualquer que seja a opção adequada deve-se considerar primeiramente o equilíbrio estático e em seguida o equilíbrio elástico da estrutura, investigando as condições de estabilidade que são:

Quanto ao tombamento: condição para que o muro não tombe, o qual pode ser definido pela Equação 13.

$$F_{tomb} = \frac{M_{resist}}{M_{atuante}} = \frac{R_v * d}{R_H * x} \begin{matrix} \geq 1,5(areia) \\ \geq 2,0(argila) \end{matrix} \quad \text{(Equação 13)}$$

Quanto o escorregamento ou deslizamento: é definida pela Equação 14.

$$F_{deslz} = \frac{R_{Hresist}}{R_H} \begin{matrix} \geq 1,5(areia) \\ \geq 2,0(argila) \end{matrix} \quad \text{(Equação 14)}$$

Quanto às tensões na fundação: pode ser definida pela Equação 15.

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_b} = \frac{R_v}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{AB} \right) \rightarrow \frac{\tau_A - \tau_B}{2} + B \left(\frac{B}{2} - \frac{B}{3} \right) = R_v * xe \quad \text{(Equação 15)}$$

2.4.3 Cortinas de estacas pranchas

2.4.3.1 Cortinas de estacas – pranchas

Segundo Caputo (1972), denominam-se cortinas de estaca-prancha as estruturas, planas ou curvas, formadas por estacas justapostas, cravadas verticalmente no terreno. As cortinas destinam-se a resistir às pressões laterais devidas ao solo e à água (empuxos). Elas possuem larga aplicação em obras portuárias, proteção de taludes e de fundações de construções vizinhas.

Magalhães (2003) salienta que a principal restrição à utilização de estacas pranchas está relacionada à dificuldade de cravação dos elementos, em terrenos com presença de pedregulhos e matacões. Além disso, a utilização do processo está restrita a alturas de terra a arrimar, uma vez que alturas muito grandes inviabilizam sua utilização, pois requerem uma resistência à flexão extremamente elevada para a estaca.

As cortinas diferem estruturalmente dos muros por serem flexíveis e terem peso próprio desprezível em face das demais forças atuantes. Baseadas em seu tipo estrutural e esquema de carregamento, as cortinas classificam-se em dois grupos principais: as de balanço (em “cantilever”) e as ancoradas (ou apoiadas) (MAGALHÃES, 2003).

a) *Cortinas em balanço*: Segundo Magalhães (2003), as cortinas em balanço são formadas por estacas cravadas até uma profundidade, abaixo do nível da escavação, de modo que suportem em balanço os esforços provenientes do empuxo de terra. Para existir o equilíbrio da cortina é necessário existir um comprimento mínimo de embutimento (ficha) da cortina no solo abaixo do fundo da escavação, garantindo uma margem de segurança adequada Figura 12. Os parâmetros de resistência ao cisalhamento, especialmente à coesão, podem viabilizar a execução de cortinas em balanço com alturas consideráveis.

b) *Cortinas ancoradas ou com suporte*: Neste caso o esforço decorrente do empuxo de terra é suportado tanto pelo embutimento da estaca abaixo do nível de escavação, quanto através de níveis de ancoragem acima da escavação. O número de ancoragem será em função

da altura de solo a arrimar, de modo a reduzir o comprimento de embutimento e os esforços na cortina a valores compatíveis (MAGALHÃES, 2003).

Magalhães (2003) salienta que as cortinas ancoradas são obras de grande eficácia, versatilidade e segurança, podendo ser utilizada em qualquer situação geométrica e com qualquer material.

2.4.3.2 Estabilidade de cortinas estacas pranchas

Machado (1997), diz que para o cálculo das cortinas são admitidas geralmente as seguintes hipóteses simplificadoras:

- Distribuição das pressões ativas e passivas, similar às teorias clássicas de distribuição de empuxo do solo sobre a estrutura de contenção;
- Ângulo de atrito entre solo-cortina é considerado nulo;
- Flexibilidade da cortina negligenciada.

2.4.4 Outros métodos de contenção

A seguir serão citados outros métodos de contenção extraídos da revista *Téchne* n° 56, de novembro de 2001, páginas 36 e 37.

Coluna de solo-cimento: o solo-cimento compactado é aplicado para resolver problemas de estabilização de taludes em que a terra constitui 90 % de peso total. Deve-se, para isso, conhecer a curva granulométrica e os limites de liquidez e plasticidade, além de dimensionar o maciço a partir do peso específico, coesão e ângulo de atrito interno. Este método funciona como proteção superficial quando não tem função estrutural, se utilizado como muro de arrimo, comporta-se por gravidade. Pode receber acabamento de vegetação.

Cortina atirantada: são muros delgados de concreto, possuindo uma espessura entre 20 e 30 cm, contidos por tirantes protendidos verticais ou subverticais. Suportam grandes alturas e são empregados em quase todos os tipos de terreno. Os tirantes podem ainda, ficar isolado no maciço.

Reforço com geotêxteis: Empregados quando se deseja executar aterros compactados com faces mais íngremes que o usual. O método consiste na utilização de vários níveis de geotêxteis com a resistência à tração, atrito com o solo e fluência conhecidos. O poliéster do geotêxtil é, em geral, insensível a problemas de fluência e possui elevada resistência à tração, além de poder receber um paramento vertical de concreto armado, pré-moldado ou não. A face da contenção deve ser protegida quando a inclinação for superior a um ângulo de 60° contra vandalismo e intempéries, sendo que o abrigo pode ser executado com geogrelha e revestimento vegetal ou malha metálica e concreto projetado. Quando a inclinação é inferior a 60°, a proteção da face é opcional.

Solo grampeado: ou *soil nailing*, consiste na aplicação de uma tela metálica chumbada e ancorada no maciço e revestida com concreto projetado. Brocas perfuram o maciço e são ancorados às barras de ferro, que dão resistência ao conjunto.

Gramma armada: Ideal para preservar o meio ambiente, a solução é executada com aplicação de uma tela de PEAD (polietileno de alta densidade) que se entrelaça com o revestimento vegetal, formando um tapete resistente. Grampos ou ancoragens profundas garantem uma inclinação superior à relação 1:1. Pode ser utilizada em conjunto com gabião plástico tubular e tradicional.

Parede – diafragma: são cortinas de concreto armado moldadas no solo, e executadas em painéis sucessivos. Em geral, têm espessura de 0,40 a 1,20 metros e painéis com comprimento mínimo de 2,50 m. Atravessa diferentes tipos de solo, inclusive abaixo do nível do lençol freático, e trabalhando como fundação quando contém tanto as pressões laterais quanto às cargas verticais. A solução pode ser empregada em balanço e a escavação é feita ao mesmo tempo em que se estabiliza o solo com lama bentonítica. A armadura é colocada posteriormente e lança-se o concreto no fundo da cava com tubo tremonha (concretagem submersa), enquanto a lama - menos densa que o concreto - é expulsa.

3. METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO

A pesquisa é de ordem quantitativa, uma vez que foram realizados ensaios em laboratório cujos resultados serviram de base para o cálculo e dimensionamento de estruturas de contenção considerando os fatores de segurança necessários para sua estabilização.

Pode-se também classificar a pesquisa como bibliográfica, laboratorial e também como um estudo de caso.

3.2 PLANEJAMENTO DA PESQUISA

O desenvolvimento desta pesquisa procedeu-se em duas etapas: caso de obra e análise paramétrica que serão descritas a seguir.

3.2.1 Caso de obra

A possibilidade da realização deste experimento surgiu a partir da necessidade de se realizar uma estrutura de contenção em talude erodido localizado junto à margem do arroio Barreiro, interior do Município de Ijuí – RS.

O processo de erosão já se encontrava em estado avançado colocando em risco o capitel dedicado a Nossa Senhora da Conceição, primeira capela do Município, onde, anualmente é realizada procissão em homenagem a santa. A Figura 12 ilustra o local do experimento.



Figura 12: Local do experimento

Através de uma parceria entre a Secretaria Municipal de Agricultura e Desenvolvimento Rural – SMADER do Município de Ijuí, e a Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUI, foi proposto o estudo para a construção de um muro de contenção composto por pneus inservíveis. Esta experiência foi adotada buscando uma construção alternativa para muros de arrimo tradicionais, tendo como objetivo à economia de recursos públicos e proteção ao meio ambiente (através da utilização de pneus inservíveis).

Neste trabalho serão descritos, os processos utilizados no dimensionamento, levantamento de custos e execução do muro de pneus, bem como o dimensionamento de uma estrutura tradicional de contenção em concreto armado para análise da viabilidade econômica da estrutura proposta.

As Figuras 13 e 14 localizam respectivamente o Município de Ijuí no Estado do Rio grande do Sul, e a localização do Distrito de Barreiro no Município de Ijuí.

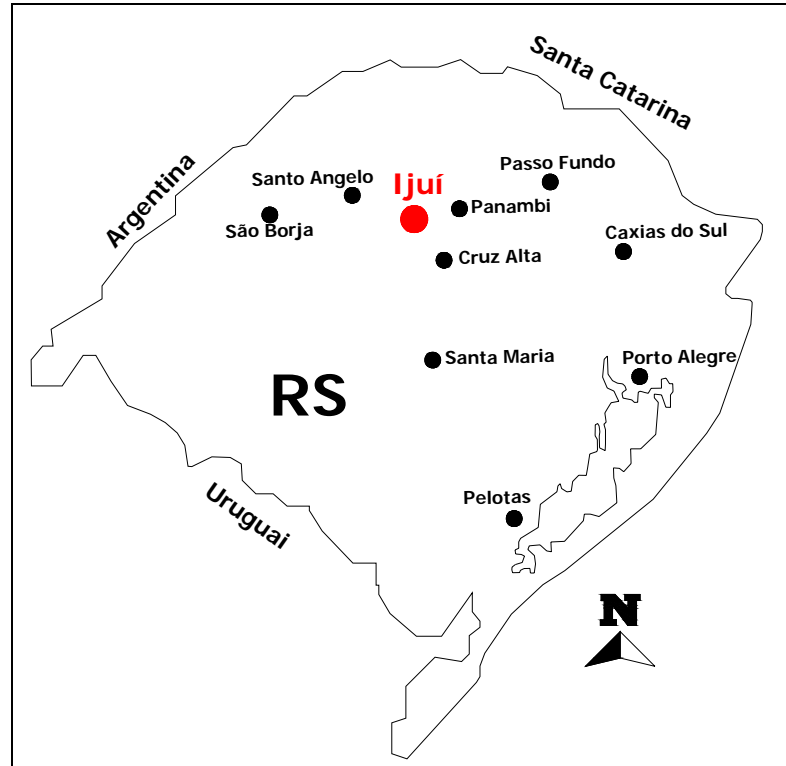


Figura 13: Localização do Município de Ijuí no RS

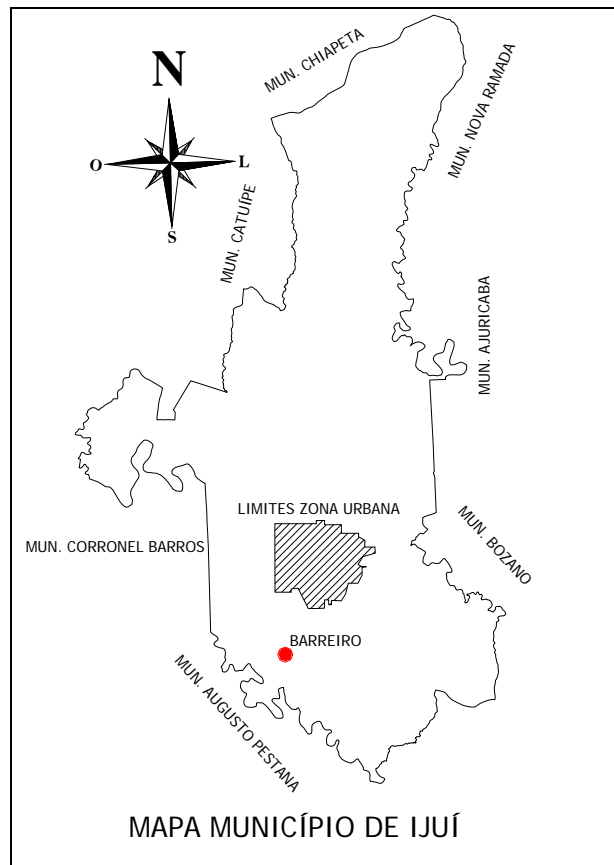


Figura 14: Localização Distrito de Barreiro

3.2.2 Análise paramétrica

Esta etapa do trabalho contemplou ensaios laboratoriais com diferentes materiais e a realização do pré-dimensionamento de estruturas de contenção arrimadas.

As atividades práticas foram realizadas no LEC – Laboratório de Engenharia Civil do curso de Engenharia Civil da Unijuí. Os ensaios foram realizados com o intuito de obter a massa específica dos diferentes conjuntos compostos por materiais de preenchimento/pneus, valores utilizados no dimensionamento de estruturas de contenção arrimadas, considerando diferentes exigências de projeto.

As variáveis utilizadas estão apresentadas no Quadro 2; elas foram adotadas com base nos tipos de pneumáticos mais utilizados no modal rodoviário, em materiais de preenchimento que estabelecem uma boa relação entre custos e meio ambiente, alturas já consagradas em estudos de estruturas de arrimo, níveis de água onde ocorrem os valores máximos e mínimos dos empuxos horizontais e ângulos de atrito característicos desta região (Viecili, 2003; Sala, 2007).

Quadro 2: Variáveis elencadas

<i>Variáveis</i>	<i>Níveis utilizados</i>
Tipo de pneus	Veículos comerciais e passeio
Tipo de material de enchimento	Solo, Pedra de Mão, Resíduos de Const. e Demolição
Altura do muro (m)	2, 3, 4, 5, 6, 7
Nível da água (NA)	0 h, ½ h, h
Ângulo de atrito (θ)	25, 30, 35°

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS

3.3.1 Caso de Obra

3.3.1.1 Solo

O solo utilizado nos ensaios foi extraído do talude às margens do arroio Barreiro, local onde o experimento foi realizado. A coleta das amostras utilizadas nos ensaios laboratoriais procedeu-se da seguinte maneira.

1. Remoção da camada superficial do solo basáltico vermelho, aproximadamente 1,50m proveniente de aterros realizados anteriormente naquela área até encontrar solo natural;
2. Escavação e coleta da amostra deformada de solo (≈ 40 kg);
3. Coleta de uma porção de solo (≈ 5 kg) em sacos impermeáveis para determinação da umidade natural;
4. Coleta de quatro (4) amostras indeformadas, com o auxílio de vazadores metálicos para a realização do ensaio de resistência ao cisalhamento direto;
5. Estocagem e secagem das amostras no LEC – Laboratório de Engenharia Civil – UNIJUÍ, para posterior preparação do solo de acordo com as especificações das normas pertinentes e/ou técnicas consolidadas para cada ensaio a ser realizado.

Caracterização física

A caracterização física do solo consiste na determinação e identificação das propriedades das partículas que constituem o material. Para tanto, foram empregados quatro tipos de ensaios: umidade hidrocópica, granulometria, índices de consistência e massa específica real dos grãos, com o conhecimento destes valores foi possível calcular outros índices do solo.

As propriedades físicas médias do solo estão apresentadas no Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades físicas médias do solo

Propriedades	Valores Médios
Limite de liquidez (LL)	70,50 %
Limite de plasticidade (LP)	22,75 %
Índice de plasticidade (IP)	47,75 %
Massa específica real dos grãos (γ_s)	28,3 kN/m ³
Umidade <i>in situ</i> (w)	5,54 %
Índice de Atividade (Ia)	0,97
Índice de Consistência (IC)	1,36
Peso específico natural (γ_n)	19,80kN/m ³
Peso específico aparente seco (γ_d)	18,76 kN/m ³
Índice de vazios médios (e)	1,45
Porosidade média (n)	0,59

A Figura 15 apresenta a distribuição granulométrica, obtida para o solo residual utilizado, verifica-se que o material é composto por 48,85% de argila (<0,002mm), 29,10% de silte (0,002 - 0,06mm), 9,82% de areia fina (0,06 - 0,2mm), 4,32% de areia média (0,2 - 0,6mm), 5,78% de areia grossa (0,6 - 2,0mm) e 2,12% de pedregulho. O solo é classificado, segunda a classificação unificada (Unified Classification System ou ASTM) como uma argila de alta plasticidade (CH) e segundo a classificação do HRB (Highway Research Board ou AASHTO) como A-7-6. Observando o índice de consistência e de atividades calculados, este solo se enquadra como de atividade normal.

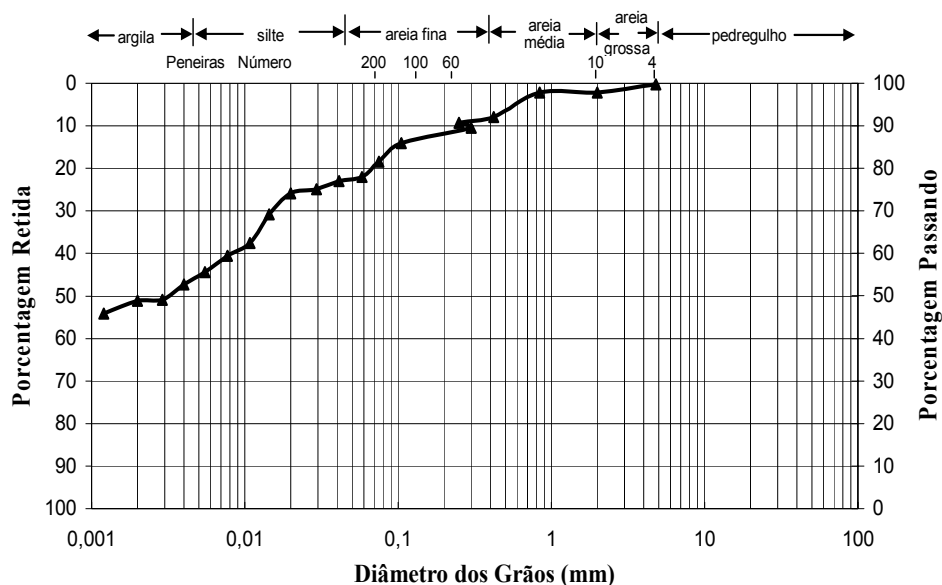


Figura 15: Distribuição granulométrica do solo

A descrição completa da execução dos ensaios de caracterização física dos solos pode ser encontrada em Vecili (2003), Bonafé (2004).

Resistência ao cisalhamento

A resistência ao cisalhamento de um solo é resultante da soma de duas parcelas obtidas a partir dos seguintes parâmetros: ângulo de atrito (ϕ) e coesão (c).

Neste estudo, os valores de ϕ e c foram determinados por meio de ensaios de resistência ao cisalhamento direto. Os ensaios foram realizados com amostras indeformadas, com uma velocidade de 0,03 mm/minuto, em condições inundadas.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de cisalhamento do solo estudado, nas diferentes tensões normais (σ) aplicada (30, 60, 100 e 200kPa). Também é apresentada a análise e sistematização dos resultados, com a finalidade de traçar as envoltórias de resistência dos solos. Com o traçado das envoltórias determinou-se o ângulo de atrito (ϕ) e a coesão (c) do solo estudado.

A Figura 16 mostra o gráfico da tensão cisalhante X deslocamento horizontal durante o ensaio das amostras de solo, submetidas às tensões normais efetivas de 30, 60, 100, 200kPa. Pode-se perceber que quanto maior a tensão normal aplicada, maior a tensão cisalhante.

A Figura 17 apresenta a deformação volumétrica das amostras, pode-se perceber que submetida à tensão normal de 30kPa a amostra de solo se dilatou, porém quanto submetida às demais tensões normais de 60, 100 e 200kPa ela se contraiu, não apresentando em nenhum momento pontos de pico, essas características são comuns em argilas normalmente adensadas.

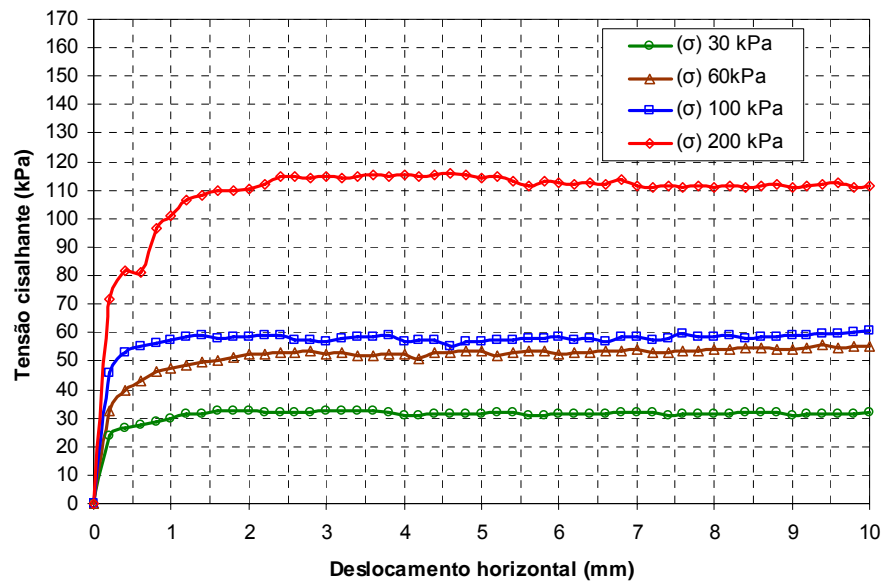


Figura 16: Tensão cisalhante x deslocamento horizontal

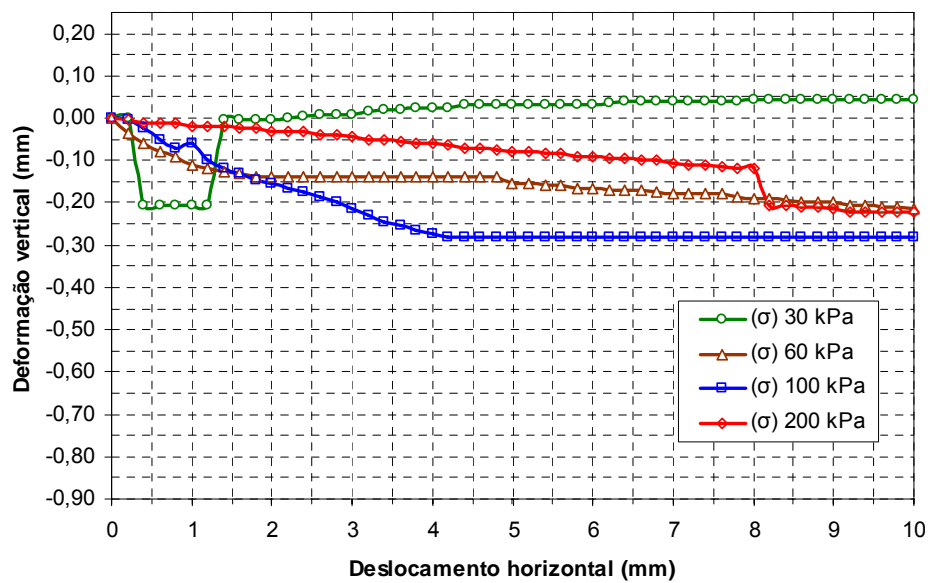


Figura 17: Deformação vertical x deslocamento horizontal

A partir do gráfico apresentados na Figura 16, foi possível extrair os valores de tensão cisalhante máxima de cada solo, nas tensões normais de 30, 60, 100 e 200kPa. Os respectivos valores de tensão cisalhante (τ) foram utilizados para o traçado da envoltória de resistência do solo, conforme visualizado na Figura 18.

Através da envoltória de resistência e das suas respectivas equações apresentadas no gráfico da Figura 18, determinou-se o ângulo de atrito (ϕ) e a coesão (c) de cada solo, respectivamente $25,10^\circ$ e $8,31\text{kPa}$.

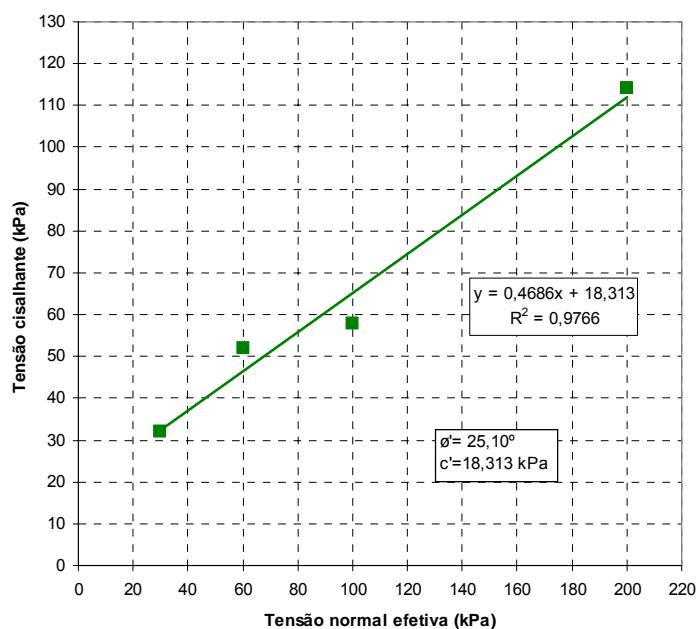


Figura 18: Envoltórias de ruptura dos solos

A descrição completa da execução dos ensaios de resistência ao cisalhamento direto pode ser encontrada em Viecili (2003) e Bernardi (2006).

3.3.1.2 Rocha basáltica

O material pétreo utilizado no preenchimento dos pneus foi fornecido pela empresa Pedreira Tabbille, de sua unidade industrial na cidade de Coronel Barros/RS. É uma rocha basáltica básica da formação Serra Geral, semelhante à encontrada em outros pontos do estado e considerada a mais representativa desta região do país. O derrame basáltico cobre, aproximadamente, 54% do território gaúcho. Segundo ABGE (1998) os basaltos são as rochas ígneas vulcânicas mais abundantes e sua maior ocorrência é na forma de derrames, no Brasil, constituem a Formação Serra Geral da Bacia do Paraná, onde perfazem mais de 90% das rochas vulcânicas lá existentes. A mineralogia essencial é plagioclásio cálcico (labradorita) (35-50%), augita (20-40%), magnetita ou ilemita (5-15%) e quantidades muito variáveis de matriz vítrea. A textura é afanítica, microgranular, por vezes amigdaloidal.

3.3.1.3 Pneus veículos comerciais

Os pneus utilizados foram coletados em depósito clandestino (Figuras 19 e 20) foram utilizados no experimento cento e sessenta e dois pneus de veículos comerciais (diâmetro externo de 1,10 a 1,20m e diâmetro interno de 0,55 a 0,60m, largura da banda de rolamento de 0,26 a 0,33m).



Figura 19: Local onde os pneus foram coletados



Figura 20: Local onde os pneus foram coletados

3.3.2 Análise paramétrica

3.3.2.1 Descrição dos materiais

Pneumáticos:

Conforme apresentado anteriormente no Quadro 2 foram utilizados nos ensaios dois tipos de pneus: veículos comerciais e veículos de passeio.

Os pneumáticos de veículos comerciais (Figura 21) possuem diâmetro externo de 1,15m, diâmetro interno de 0,60m, largura da banda de rolamento de 0,30m e volume unitário de $0,26\text{m}^3$.



Figura 21: Pneumático veículo comercial

Os pneumáticos de veículos de passeio (Figura 22) possuem diâmetro externo de 0,60m, diâmetro interno de 0,30m, largura da banda de rolamento de 0,20m e volume unitário da $0,03\text{m}^3$.



Figura 22: Pneumático veículo de passeio

Estes materiais foram escolhidos devido à variedade de materiais que apresentam tais como: reforços metálicos e têxteis, borracha natural e sintética, elementos de reforço, agentes de vulcanização e de proteção etc., e devido à necessidade de reutilização de pneus inservíveis, hoje um dos principais passivos ambientais e públicos, conforme especificado no item 2.1.2 (problemas ambientais).

Materiais de enchimento:

Para o preenchimento dos pneus foram elencados três materiais: solo, rocha basáltica e resíduos de construção e demolição. Descritos a seguir:

O solo utilizado no preenchimento dos pneumáticos foi coletado em talude localizado próximo ao LEC – Laboratório de engenharia Civil, (ver Figura 23). As características físicas médias (Tabela 2) foram estudadas por Viecili (2003). Este material foi escolhido pelo fato de ser um material abundante, existente em praticamente todas as obras de contenção ou aterros.



Figura 23: Talude onde o solo foi coletado

Tabela 2: Propriedades físicas médias do solo

<i>Propriedades</i>	<i>Valores Médios</i>
Limite de liquidez (LL)	59,00 %
Limite de plasticidade (LP)	47,03 %
Índice de plasticidade (IP)	11,97 %
Massa específica real dos grãos (γ_s)	28,52 kN/m ³
Umidade <i>in situ</i> (w)	34,53 %
Índice de atividade (Ia)	0,14
Índice de consistência (IC)	2,04
Peso específico natural (γ_n)	13,74 kN/m ³
Peso específico aparente seco (γ_d)	10,21 kN/m ³
Índice de vazios médios (e)	1,79
Porosidade média (n)	0,64

Fonte: Viecili (2003)

A rocha basáltica irregular (pedra de mão) utilizada no preenchimento foi fornecida pela Pedreira Tabbille, mesma empresa que forneceu o material para execução da estrutura e arrimo composta por pneus, suas características já foram descritas no item 3.3.1.2 (rocha basáltica). Este material foi escolhido para o preenchimento dos pneus devido ao seu baixo custo, peso específico e geometria irregular o que permite um melhor preenchimento do pneu, diminuindo os índices de vazios e consequentemente aumento o peso específico do conjunto PM/pneus. A Figura 24 demonstra o material utilizado.



Figura 24: Rocha basáltica utilizada

O resíduo de construção e demolição (RCD), possui características bastante peculiares. Por ser produzido num setor onde há uma gama muito grande de diferentes técnicas e metodologias de produção. Sua parte mineral é constituída de restos de praticamente todos os materiais de construção (argamassa, areia, cerâmicas, concretos, pedras, tijolos, tintas, etc.).

O entulho se apresenta na forma sólida, com características físicas variáveis, que dependem do seu processo gerador, podendo apresentar-se tanto em dimensões e geometrias já conhecidas dos materiais de construção (como a da areia e a da brita), como em formatos e dimensões irregulares: pedaços de argamassas, concretos, cerâmicas, etc...

As amostras dos resíduos de construção e demolição utilizadas nesta pesquisa foram coletadas em terrenos baldios (Figura 25) distintos de forma a obter-se uma representatividade aceitável do resíduo. Foram feitas cinco amostragens denominadas 01, 02, 03, 04, 05. Apenas materiais como metal, vidro, papel e plástico (passíveis de uma segregação manual e não minuciosa) foram separados da parte mineral utilizada. A Figura 26 apresenta duas das cinco amostras coletadas.



Figura 25: Exemplo do local da coleta de RDC



Figura 26: Exemplo de amostras RDC coletadas

3.3.2.2 Descrição dos ensaios realizados

Os ensaios foram realizados com o objetivo de se obter a massa específica dos conjuntos materiais de enchimento/pneus, nos itens subseqüentes serão descritos os ensaios realizados.

Conjunto solo/pneu:

Foram preenchidos os pneus de veículos comerciais e de passeio com solo basáltico. O processo seguiu as seguintes etapas.

- 1) Coletada de amostras de solo deformadas ($\approx 200\text{kg}$);
- 2) Através do ensaio de umidade hidrosópica foi obtida a umidade natural do solo, Tabela 3;
- 3) Foi acrescentada água (Figura 27), para que o solo ficasse em sua umidade ótima, para obter melhor índice de compactação, Tabela 3;
- 4) Foram preenchidos os interiores (centro e borda) dos pneus em camadas de dez centímetros e compactadas manualmente com o auxílio tarugo de madeira (Figuras 28 e 29);
- 5) O conjunto solo/pneu foi pesado para obtenção da sua massa específica através da Equação 16:

$$\gamma = \frac{M}{V} \quad (\text{Equação 16})$$

Onde: γ = Massa específica;

M = Massa do conjunto solo/pneu;

V = Volume do pneu.

- 6) O procedimento foi repetido três vezes para se obter a média e o desvio padrão do conjunto.

Tabela 3: Umidade natural do solo

	<i>Cap. 01 (g)</i>	<i>Cap. 02 (g)</i>	<i>Cap. 03 (g)</i>
Solo úmido + cap	341,45	378,88	344,52
Solo seco + cap	277,3	308,76	281,3
Peso água	64,15	70,12	63,22
Solo seco	225,86	257,55	230,15
Cápsula	51,44	51,21	51,15
% água	28,4	27,22	27,47
Umidade média	27,70%		
Umidade ótima*	30,00%		

Fonte: *Bonafé (2004)

A descrição completa da realização do ensaio umidade hidrosópica necessário para obtenção da umidade natural do solo pode ser encontrada em Bonafé (2004).



Figura 27: Umidade ótima do solo



Figura 28: Pneu veículo comercial preenchido com solo



Figura 29: Pneu veículo passeio preenchido com solo

Conjunto PM/pneu:

Foram preenchidos os pneus de veículos comerciais e de passeio, com rocha basáltica (pedra de mão). O processo seguiu as seguintes etapas.

- 1) As pedras basálticas foram depositadas no Laboratório de Engenharia Civil, pela empresa Pedreira Tabille;
- 2) Foram preenchidos os interiores (centro e borda) dos pneus com as pedras de mão, Figuras 30 e 31;
- 3) O conjunto PM/pneu foi pesado para obtenção da sua massa específica, a através da Equação 16, apresentada anteriormente.
- 4) O procedimento foi repetido três vezes para se obter a média e o desvio padrão do conjunto.



Figura 30: Pneu veículo comercial preenchido com PM



Figura 31: Pneu veículo passeio preenchido com PM

Conjunto RCD/pneu:

Foram preenchidos os pneus de veículos comerciais e de passeio, com resíduos da construção civil. O processo seguiu as seguintes etapas.

- 1) Os entulhos foram coletados a campo e depositados no Laboratório de Engenharia Civil;
- 2) Para cada amostra de RCD coletada (cinco), foram preenchidos os interiores (centro e borda) dos pneus, Figuras 32 e 33;
- 3) O conjunto RCD/pneu foi pesado para obtenção da sua massa específica através da Equação 16, apresentada anteriormente.



Figura 32: Pneu veículo comercial preenchido com RCD



Figura 33: Pneu veículo passeio preenchido com RCD

3.3.2.3 Resultados dos ensaios materiais de enchimento/pneus

Os resultados dos ensaios realizados para a obtenção da massa específica aparente dos conjuntos agregados/pneus estão apresentados nas Tabelas 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Tabela 4: Resultados conjunto solo/pneu, veículo de comercial

	<i>Peso pneu (kg)</i>	<i>Peso solo (kg)</i>	<i>Peso conjunto (kg)</i>
Amostra 01:	52,00	238,80	290,80
Amostra 02:	52,00	243,65	295,65
Amostra 03:	52,00	248,43	300,43
Média (kg)			295,63
Média - desvio padrão (kg)			290,81
Massa específica γ – (kN/m³)			11,19

Tabela 5: Resultados conjunto solo/pneu, veículo de passeio

	<i>Peso pneu (kg)</i>	<i>Peso solo (kg)</i>	<i>Peso conjunto (kg)</i>
Amostra 01:	5,54	48,64	54,18
Amostra 02:	5,54	51,21	56,75
Amostra 03:	5,54	49,32	54,86
Média (kg)			55,26
Média - desvio padrão (kg)			53,93
Massa específica γ – (kN/m³)			17,98

Tabela 6: Resultados conjunto PM/pneu, veículo de comercial

	<i>Peso pneu (kg)</i>	<i>Peso PM (kg)</i>	<i>Peso conjunto (kg)</i>
Amostra 01	52,00	219,72	271,72
Amostra 02	52,00	218,81	270,81
Amostra 03	52,00	205,87	257,87
Média (kg)			266,80
Média - desvio padrão (kg)			259,05
Massa específica γ – (kN/m³)			9,96

Tabela 7: Resultados conjunto PM/pneu, veículo de passeio

	<i>Peso pneu (kg)</i>	<i>Peso PM (kg)</i>	<i>Peso conjunto (kg)</i>
Amostra 01	5,54	45,63	51,17
Amostra 02	5,54	47,12	52,66
Amostra 03	5,54	48,94	54,48
Média (kg)			52,77
Média - desvio padrão (kg)			51,11
Massa específica γ – (kN/m³)			17,05

Tabela 8: Resultados conjunto RCD/pneu, veículo de comercial

	<i>Peso pneu (kg)</i>	<i>Peso RCD (kg)</i>	<i>Peso conjunto (kg)</i>
Amostra 01	52,00	160,34	212,34
Amostra 02	52,00	163,2	215,2
Amostra 03	52,00	168,12	220,12
Amostra 04	52,00	178,58	230,58
Amostra 05	52,00	180,29	232,29
Média (kg)			222,11
Média - desvio padrão (kg)			213,13
Massa específica γ – (kN/m³)			8,20

Tabela 9: Resultados conjunto RCD/pneu, veículo de passeio

	<i>Peso pneu (kg)</i>	<i>Peso RCD (kg)</i>	<i>Peso conjunto (kg)</i>
Amostra 01	5,54	36,76	42,3
Amostra 02	5,54	39,74	45,28
Amostra 03	5,54	38,6	44,14
Amostra 04	5,54	37,26	42,8
Amostra 05	5,54	42,91	48,45
Média (kg)			44,60
Média - desvio padrão (kg)			42,14
Massa específica γ – (kN/m³)			14,05

Analisando os resultados das Tabelas 4 a 9 percebe-se a que o conjunto solo/pneu apresentou o melhor desempenho, seguido pelo conjunto PM/pneu e RCD/pneu, esses valores se expressam tanto para veículos comerciais quando para veículos de passeio. Dividindo-se os conjuntos em veículos de passeio e comerciais percebemos que em todos os casos os veículos de passeio apresentam uma maior massa específica (γ). Esse fato ocorre devido ao pneu de veículos de passeio apresentar, uma menor borda, facilitando o seu preenchimento e diminuindo os índices de vazios do conjunto.

O resumo das massas específicas encontradas pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10: Resumo massas específicas dos conjuntos

<i>Materiais de enchimento/pneus</i>	Massa específica γ – (kN/m³)
Solo/pneus veículos comerciais	11,19
Solo/pneus veículos passeio	17,98
PM/pneus veículos comerciais	9,96
PM/pneus veículos passeio	17,05
RCD/pneus veículos comerciais	8,20
RCD/pneus veículos passeio	14,05

4. DESCRIÇÃO CASO DE OBRA BARREIRO

Nesse capítulo será descrito a construção do muro experimental de pneus localizado no Distrito de Barreiro, Interior do Município de Ijuí, bem como a comparação de seu custo com uma estrutura tradicional de concreto armado, dimensionada para a mesma necessidade de projeto.

4.1 DIMENSIONAMENTO DO MURO DE PNEUS

A contenção é feita pela introdução de uma estrutura ou elementos estruturais compostos, que apresentam rigidez distinta daquela do terreno que conterá.

As Figuras 34 e 35 indicam em planta baixa e em corte transversal a proposta de estrutura estudada e executada. A parede do talude foi revestida com manta (filtro) geotextil e os pneus amarrados com arame galvanizado e preenchidos com rocha basáltica irregular (pedra-de-mão), devido à possibilidade erosão interna causada pelo fluxo da água do arroio.

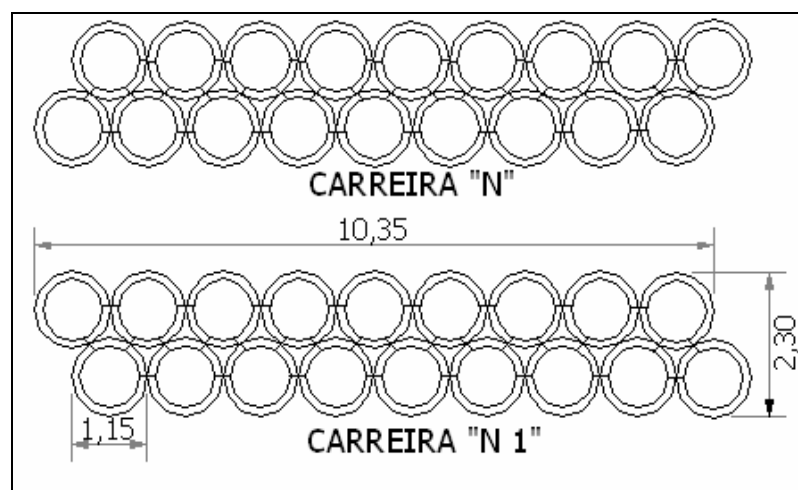


Figura 34: Planta baixa do experimento

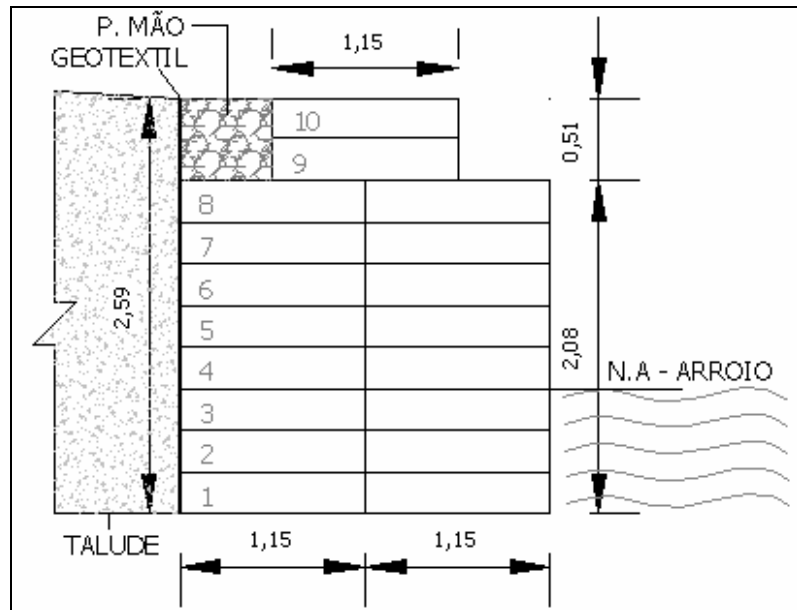


Figura 35: Corte transversal do experimento

O muro foi calculado considerando a resistência ao deslizamento e ao tombamento (FS=2). A metodologia de cálculos utilizada foi baseada na teoria de Rankine, conforme indicam as Equações 17, 18, 19, 20.

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) \quad (\text{Equação 17})$$

onde: K_a = Coeficiente de Empuxo Ativo

$$\phi = \hat{\text{Ângulo de Atrito}} (25,1^\circ)$$

$$E_a = \frac{K_a \cdot h^2 \cdot \gamma}{2} \quad (\text{Equação 18})$$

Onde: E_a = Empuxo Ativo

h = Altura (2,60m)

γ = Peso Específico (8,30kN/m³)

$$FS_t = \frac{R_v \cdot 1,15}{E_a \cdot 1,66} \quad (\text{Equação 19})$$

Onde: FS_t = Fator de Segurança ao Tombamento

R_v = Resistência Vertical

$$FS_d = \frac{R_v \cdot \text{tg}\phi + c \cdot B + E_p \cdot 0,5}{R_h} \quad (\text{Equação 20})$$

Onde: FS_d = Fator de Segurança ao Deslizamento

c = Coesão

B = Base

E_p = Empuxo Passivo

R_h = Resistência Horizontal

Foram utilizados nos cálculos pneus de veículos comerciais (diâmetro externo de 1,15m e diâmetro interno de 0,60m, largura da banda de rolamento de 0,30m) e veículos de passeio (diâmetro externo de 0,60m, diâmetro interno de 0,30m, largura da banda de rolamento de 0,20m). Foi escolhido com base nos resultados pneus de veículos pesados para a execução. Na amarração foi utilizado arame galvanizado devido à sua resistência à tração e oxidação. A massa unitária de cada pneu preenchido com pedra de mão foi de aproximadamente 215kg e a massa específica (γ) aparente do conjunto PM/pneu de 8,30kN/m³.

Não foram consideradas no dimensionamento da estrutura as tensões da fundação devido ao fato da estrutura ser executada sobre alteração de rocha, o que suportaria sem maiores deformações a estrutura proposta. A mesma análise descarta a possibilidade de uma ruptura generalizada com superfície circular abaixo do muro.

4.2 CONSTRUÇÃO DO MURO DE PNEUS

O muro foi executado junto a talude na margem Norte do arroio Barreiro. A altura média do muro foi de 2,60m, com uma espessura de 2,30m até os primeiros 2,08m e 1,15m nos 0,51m superficiais e comprimento de 10,35m; sendo constituído por camadas horizontais de pneus preenchidos com pedra de mão e amarrados entre si com arame galvanizado nº 16.

Inicialmente, foram executados a limpeza e o nivelamento do terreno, sendo aberta vala nas dimensões desejadas até encontrar alteração da rocha, Figura 36. Foram cravados piquetes na face externa, delimitando a área de implantação, e sobre ela colocada manta geotextil, elemento filtrante do possível fluxo de água proveniente do talude.



Figura 36: Abertura de vala

Lançou-se a primeira camada de pneus diretamente sobre o substrato abaixo do nível da água, onde os pneus foram dispostos em duas camadas de forma a cobrir toda a largura de projeto e amarrados entre si, com arame galvanizado e preenchidos com a pedra-de-mão. Lançam-se as demais camadas obedecendo-se a distribuição ortorrômbica dos pneus. Com isso, os centros dos pneus entre as camadas consecutivas devem ficar desalinhados de forma a garantir um melhor entrosamento entre eles, diminuindo os espaços vazios e aumentando a resistência da estrutura, (ver Figuras 37, 38 e 39). Após foi executado um retro-aterro constituído de solo local, Figura 40.



Figura 37: Muro em execução



Figura 38: Detalhe amarração



Figura 39: Estrutura de pneus executada



Figura 40: Estrutura após retro-aterro, novembro 2005

A estrutura foi de fácil execução com volume total de $58,60\text{m}^3$. A mão-de-obra foi composta por um mestre de obra e três serventes durante o período de três dias (jornada diária de 8 horas).

A Figura 41 apresenta o muro experimental em março de 2007.



Figura 41: Estrutura em março de 2007

4.3 DIMENSIONAMENTO DO MURO DE CONCRETO ARMADO

Para realizar a verificação da viabilidade técnica/econômica do experimento, realizou-se o dimensionamento de uma estrutura de concreto armado para as mesmas exigências de projeto. As variáveis adotadas foram o ângulo de atrito do solo local (ϕ)=25,1°, e a massa específica aparente do concreto armado (γ)=27,3kN/m³.

A marcha de cálculos para o dimensionamento é a seguinte:

- a) definição das dimensões;
- b) verificação da estabilidade do conjunto (tombamento e deslizamento);
- c) cálculo dos esforços internos solicitantes no muro, e dimensionamento das armaduras; o muro foi calculado como uma laje em balanço, engastada na sapata;
- d) cálculo dos esforços internos solicitantes na sapata e dimensionamento das armaduras.

As Figuras 42 e 43 indicam respectivamente a estrutura de concreto armado projetada planta e corte.

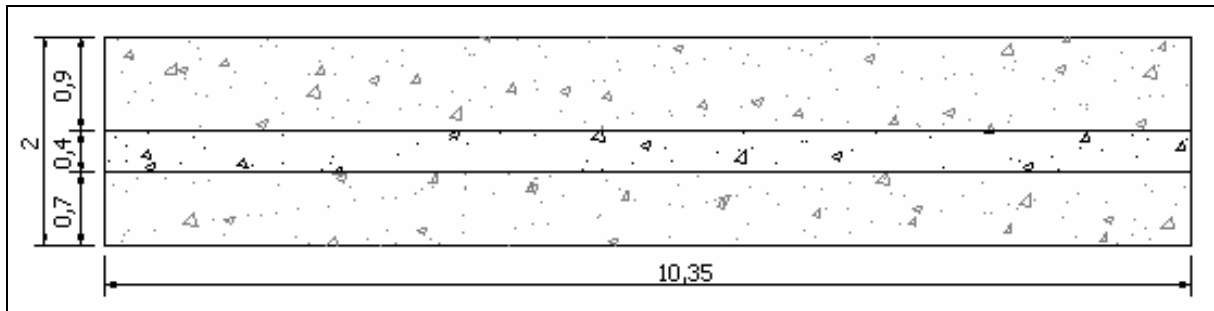


Figura 42: Planta baixa da estrutura em concreto armado

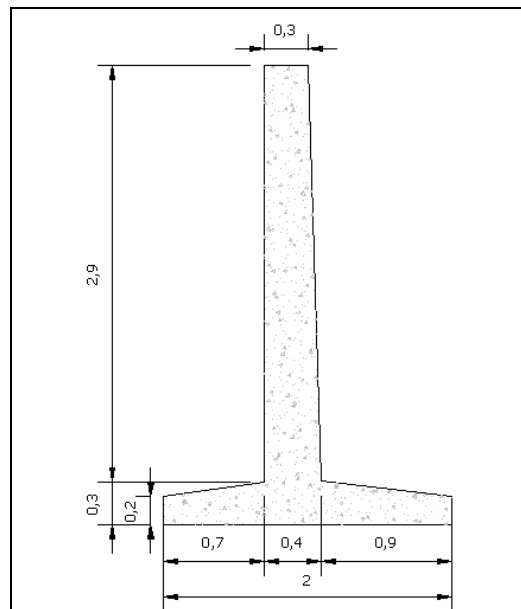


Figura 43: Corte Transversal da estrutura de concreto armado

4.4 CUSTOS

4.3.1 Custos do Muro de Pneus

4.3.1.1 Materiais

Foram utilizados no experimento, 55m³ de rocha basáltica irregular, 35m² de geotextil Bidim OP 20 e 21kg de arame galvanizado n°16, licitados pela Coordenadoria de Compras do Município de Ijuí - Poder Executivo de acordo com a Lei n° 8666/93, ao custo de R\$ 1.584,50 (1,78 CUBs - novembro 2005), e 162 pneus de veículos pesados coletados em depósito de empresa particular (sem custo).

4.3.1.2 Mão-de-Obra

Foi executada licitação pela Coordenadoria de Compras do Município de Ijuí - Poder Executivo de acordo com a Lei n° 8666/93 e a proposta vencedora apresentou um custo global de R\$895,00 (1,03 CUBs - novembro 2005). Além deste valor adicionam-se os valores referentes ao transporte dos pneus, a abertura da vala e do retro-aterro correspondendo a R\$500,00.

4.3.1.3 Custo Total

Foram executados 58,60m³ de estrutura com um custo total de R\$2.979,50, o que equivale a R\$50,85/m³ ou 0,058CUBs/m³ do experimento.

4.3.2 Custos do Muro de Concreto Armado

A estrutura de concreto armado projetada se apresentou mais esbelta, totalizando 15,75m³ de concreto armado. O custo do m³ de concreto armado em novembro de 2005, fck=15Mpa, com formas, segundo o programa Franarin (PLEO) utilizado pela prefeitura municipal de Ijuí/RS é de R\$1.098,03, sendo assim o custo para execução da estrutura em concreto armado seria de aproximadamente R\$17.272,01.

5. ANÁLISE PARAMÉTRICA

5.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS

As estruturas estudadas foram pré-dimensionadas para a resistência ao tombamento e ao deslizamento, ($FS=2$) a partir das combinações das variáveis adotadas (Quadro 02: Variáveis elencadas). Os resultados obtidos estão relacionados nas Figuras 44 a 49, onde são expressas as relações base X altura (Figuras a) e base/altura x altura na (Figuras b). Os resumos das combinações das variáveis utilizadas no dimensionamento estão no Anexo A.

Com base nas Figuras 44 a 49 pode-se observar que:

Este tipo de muro se enquadra em situações onde é possível assentar muros de peso, ou seja, em locais onde haja possibilidade de construção de uma base compatível com a altura do muro a construir, as alturas estipuladas apresentam proporcionalidade com a base.

Os pneus de veículos de passeio apresentam uma menor relação (base x altura) que os pneus de veículos comerciais, este fato ocorre devido a maior massa específica encontrada no conjunto materiais de enchimento/pneus em veículos de passeio. Desta forma pode-se afirmar que a utilização de veículos de passeio resulta em estruturas menos volumosas.

A estrutura apresenta limitações, por exemplo, se observar à estrutura proposta (Figura 48), com pneumáticos de veículos comerciais preenchidos com RCD, altura de 7,0m, nível de água em 7,0m (1h) e ângulo de atrito $\phi=25^\circ$, para obter a estabilidade necessária ela deverá ter uma base de aproximadamente 30m, o que faz com que esta estrutura seja tecnicamente inviável devido ao seu volume.

Nas combinações das variáveis onde estão presentes os níveis de água de $\frac{1}{2}h$ e 1 h, há um considerável aumento na relação (base x altura) necessária para a estabilidade da estrutura. Isso ressalta a necessidade de um sistema de drenagem eficaz, para que se possa aliviar a pressão neutra ocasionada pela pressão da água sobre a estrutura de arrimo. Deve-se salientar também que na estrutura materiais de enchimento/pneus a ligação entre os

pneumáticos é constituída por juntas secas, ou seja, sem argamassa tornando o material permeável, permitindo uma perfeita drenagem.

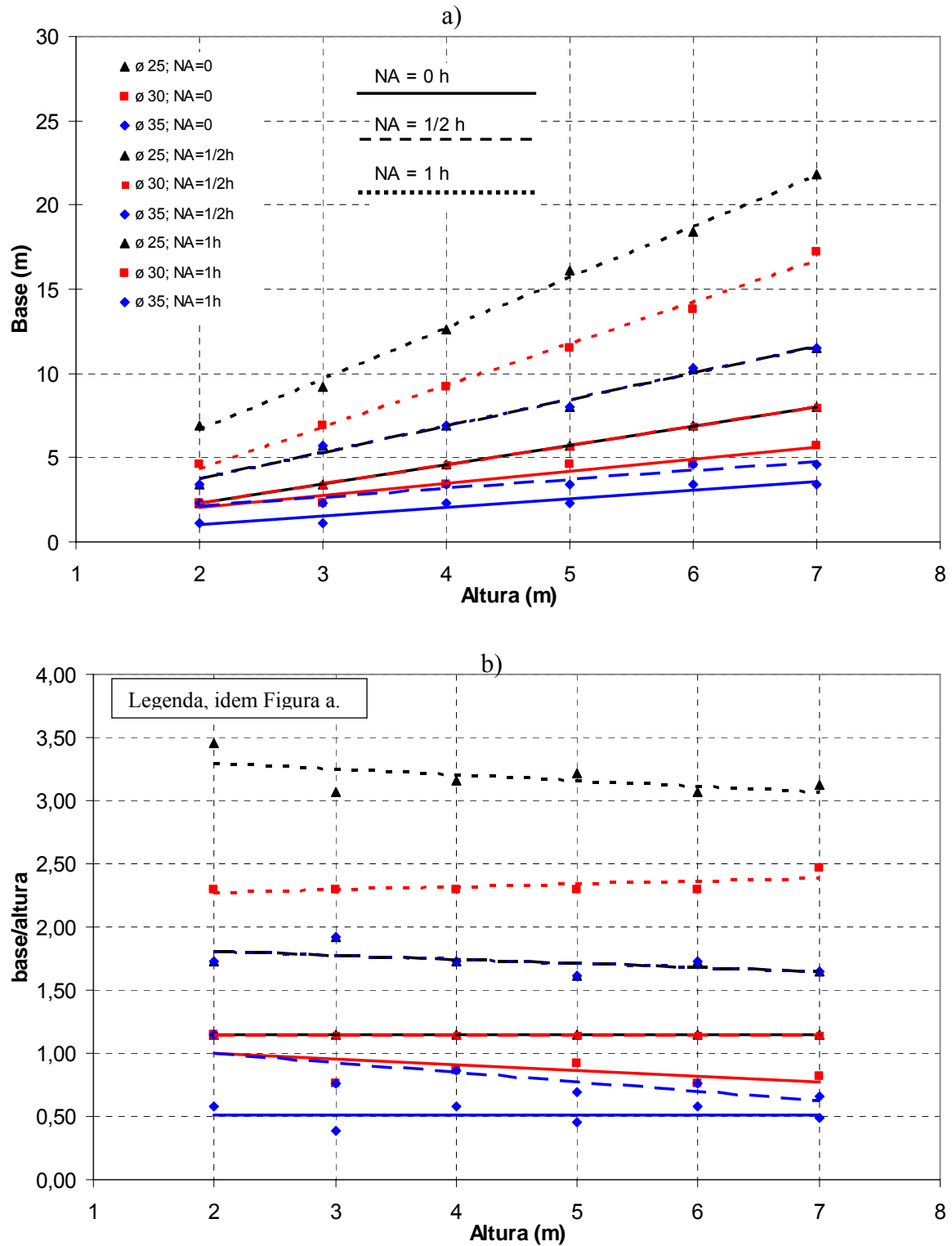


Figura 44: Resultado para o caso solo/pneus veículos comerciais

a) Relação entre altura x base

b) Relação entre altura x base/altura

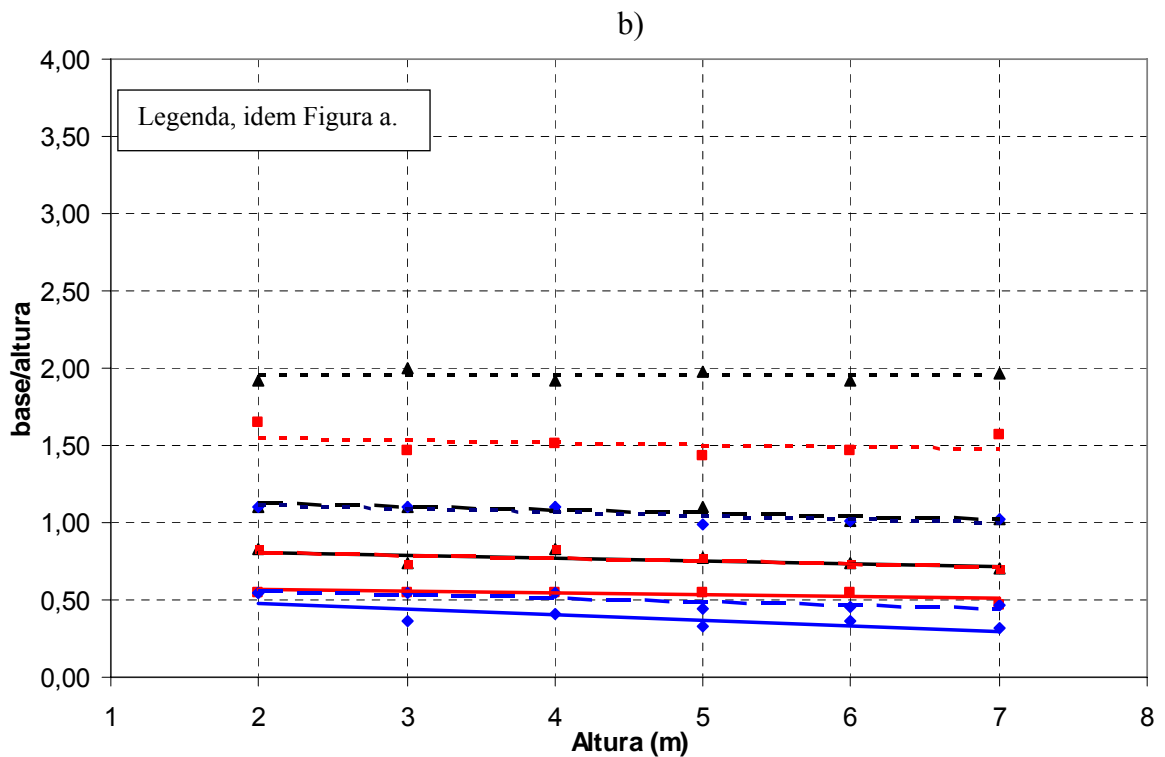
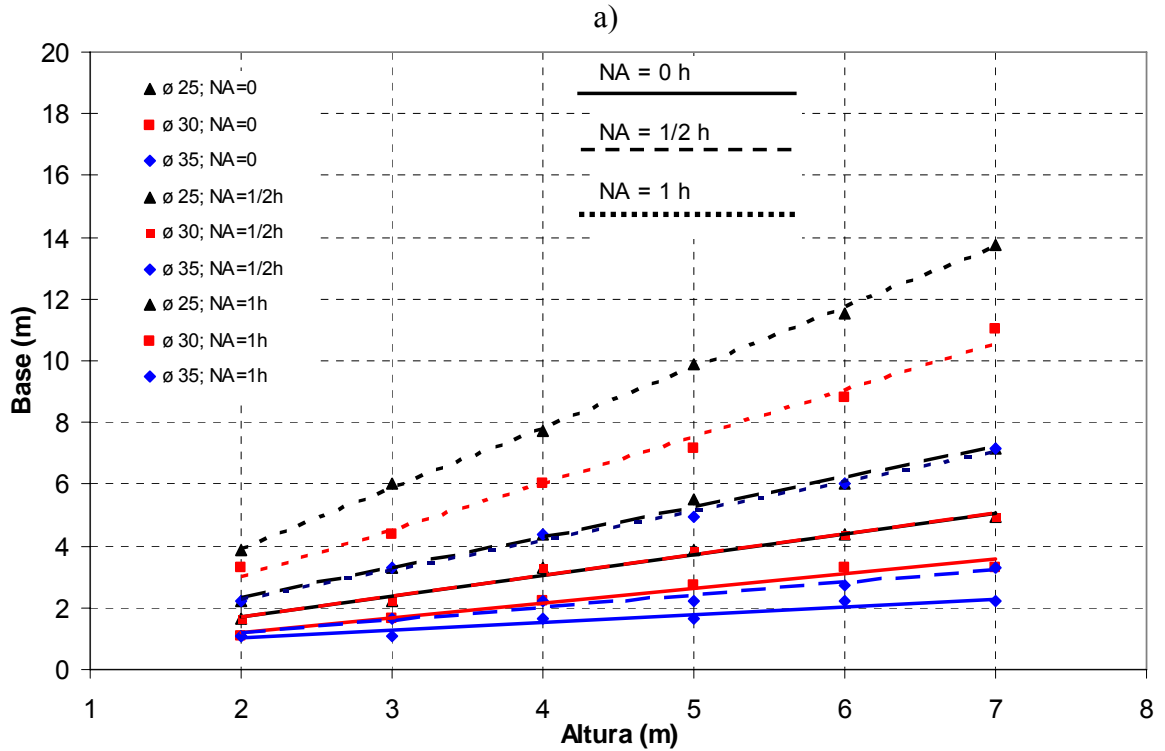


Figura 45: Resultados para o caso solo/pneus veículo passeio

a) Relação entre altura x base

b) Relação entre altura x base/altura

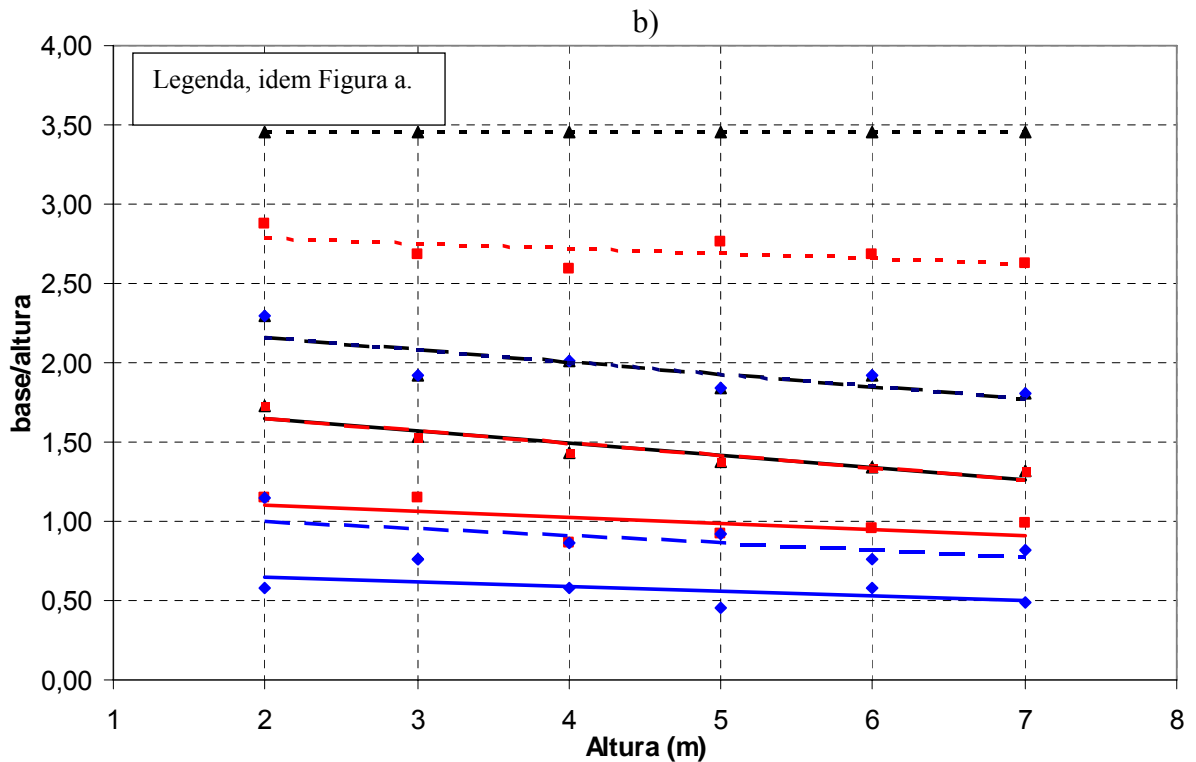
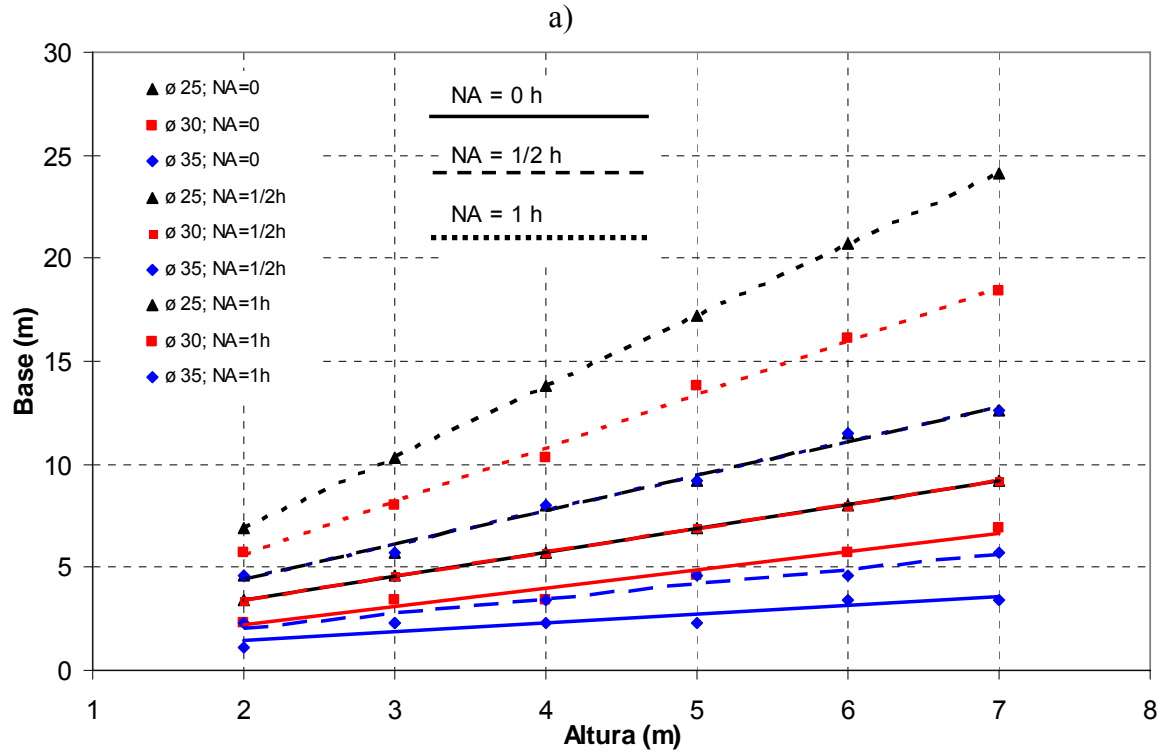


Figura 46: Resultados para o caso PM/pneus veículo comerciais
 a) Relação entre altura x base
 b) Relação entre altura x base/altura

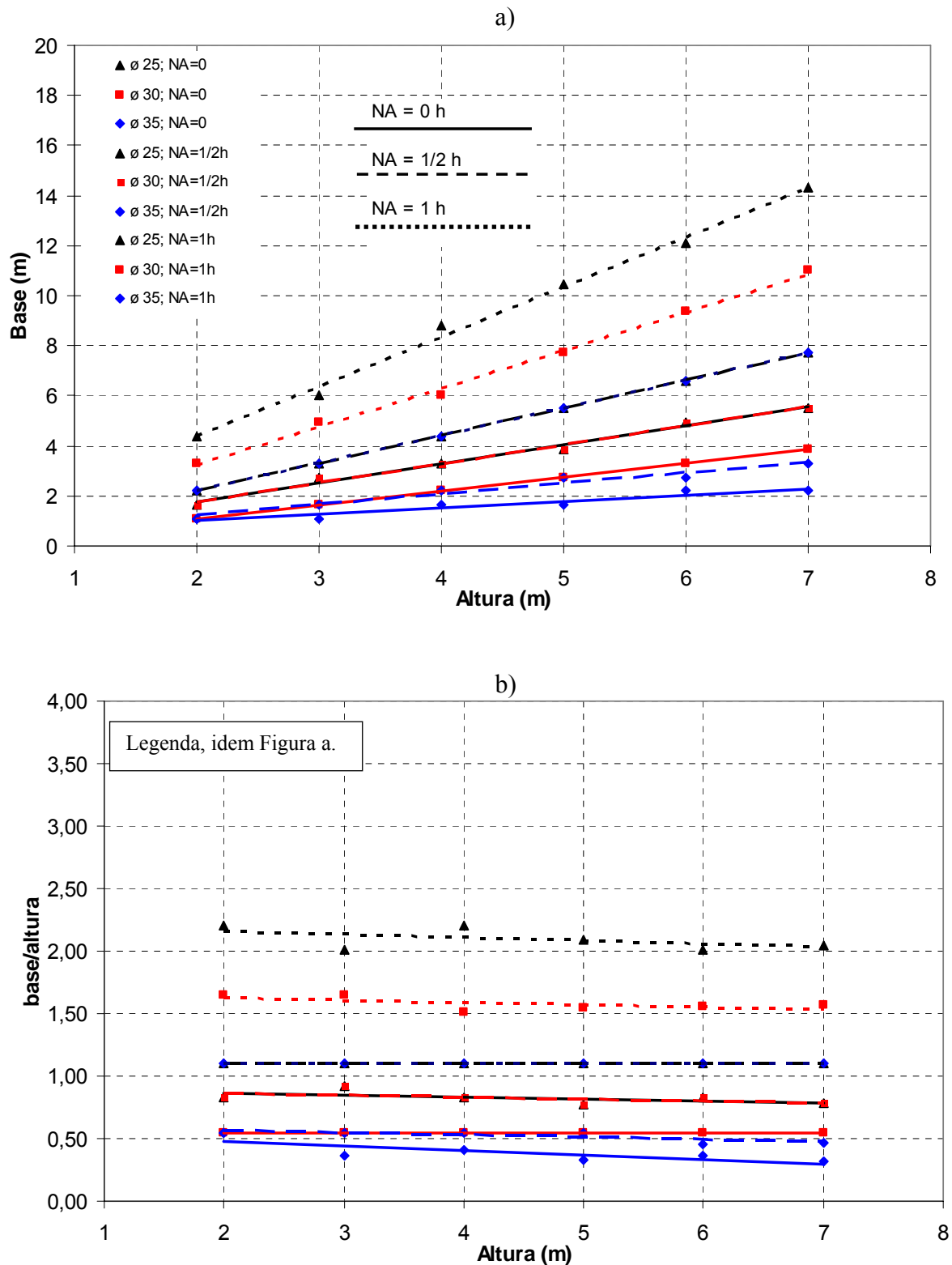


Figura 47: Resultados para o caso PM/pneus veículo passeio
a) Relação entre altura X base
b) Relação entre altura X base/altura

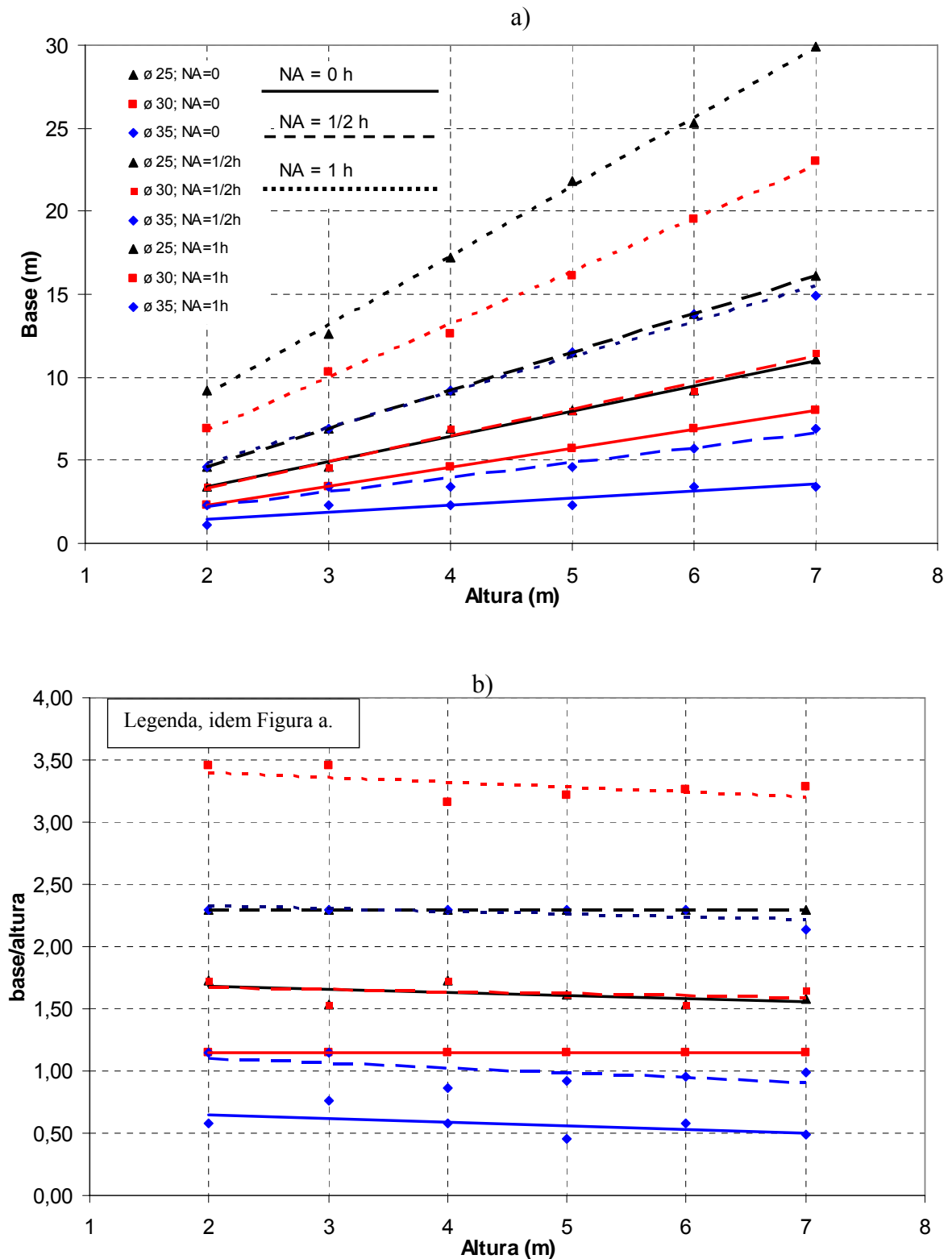


Figura 48: Resultados para o caso RCD/pneus veículo comercial
 a) Relação entre altura X base
 b) Relação entre altura X base/altura

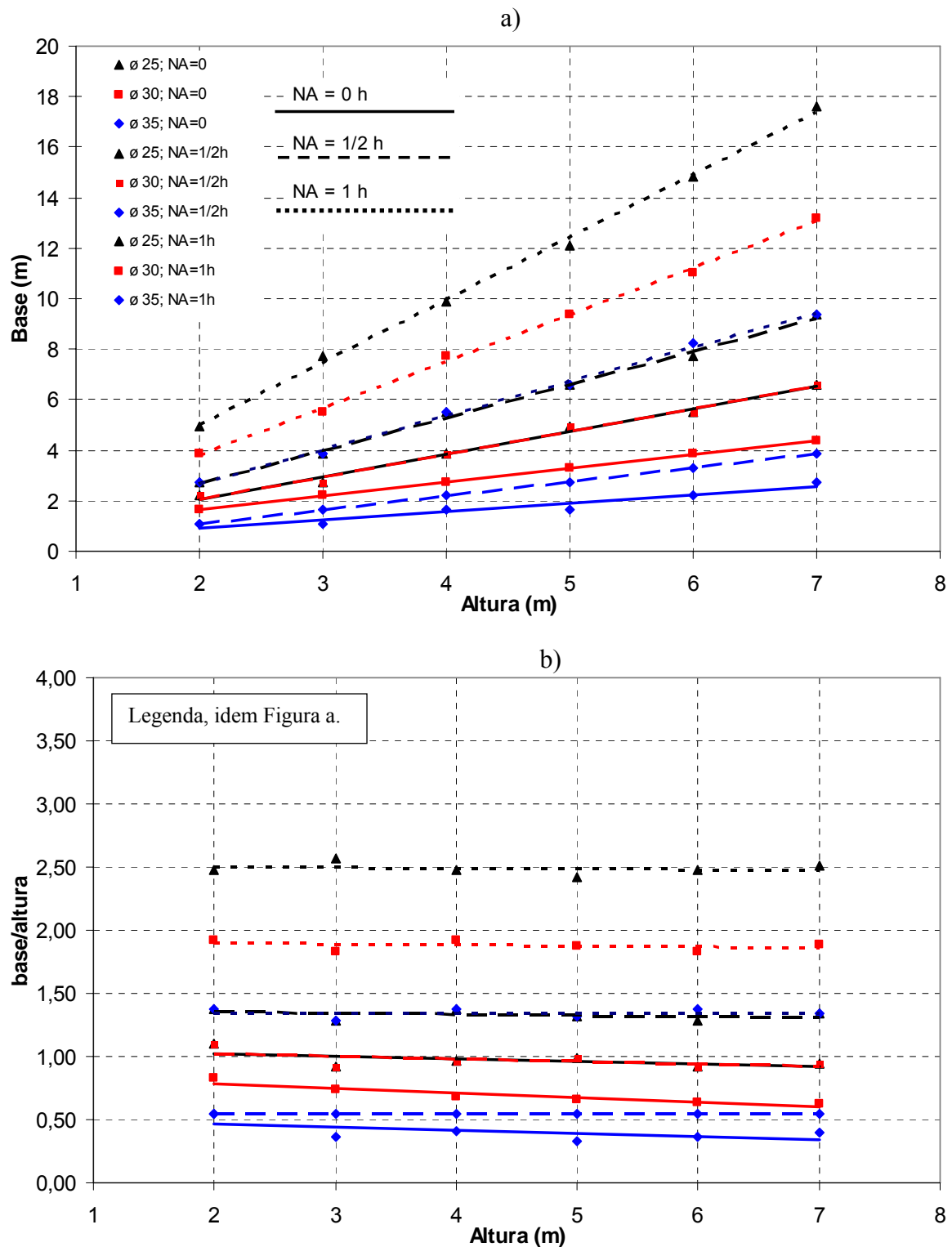


Figura 49: Resultados para o caso RCD/pneus veículo passeio
a) Relação entre altura X base
b) Relação entre altura X base/altura

Os ângulos de atrito utilizados possuem influência direta sobre o valor das forças horizontais (empuxo ativo), pode-se perceber que quanto maior o ângulo de atrito do solo, menor será o empuxo ativo, logo menor será a necessidade de peso da estrutura.

Mesmo com a diferença da massa específica encontrada entre os conjuntos e a conseqüente diferença na relação (base x altura), os diferentes conjuntos podem ser utilizados em obras semelhantes, isso ocorre devido à necessidade de modulação da base, pois os pneumáticos apresentam tamanhos constantes (veículos comerciais: diâmetro externo de 1,15m, diâmetro interno de 0,60m, largura da banda de rolamento de 0,30m e volume unitário de $0,26\text{m}^3$; veículos de passeio: diâmetro externo de 0,60m, diâmetro interno de 0,30m, largura da banda de rolamento de 0,20m e volume unitário da $0,03\text{m}^3$). Por exemplo: no dimensionamento de uma estrutura de contenção de um talude de 3,0m de altura, sem água ($NA=0h$), e ângulo de atrito $\phi=35^\circ$, se comparando o dimensionamento com os conjuntos solo/pneus, PM/pneus e RCD/pneus, pneumáticos de veículos comerciais:

1. Para o conjunto solo/pneus obter estabilidade de acordo com a Figura 44, deve ter uma base de 1,30m;
2. Para o conjunto PM/pneus obter estabilidade de acordo com a Figura 46, deve ter uma base de 1,60m;
3. Para o conjunto RCD/pneus obter estabilidade de acordo com a figura 48, deve ter uma base de 2,00m.

De acordo com os valores citados acima e com diâmetro externo dos pneus de veículos comerciais (1,15m), nos três casos a base utilizada será de 2,30m, assim a escolha do conjunto a ser utilizado (para este caso) deverá ser de acordo com a disponibilidade de materiais.

Na Figura 50 está apresentada uma comparação dos diferentes conjuntos materiais de enchimento/pneus, para as alturas de talude analisadas (2...7m), nível de água 0h e ângulo de atrito $\phi 30^\circ$.

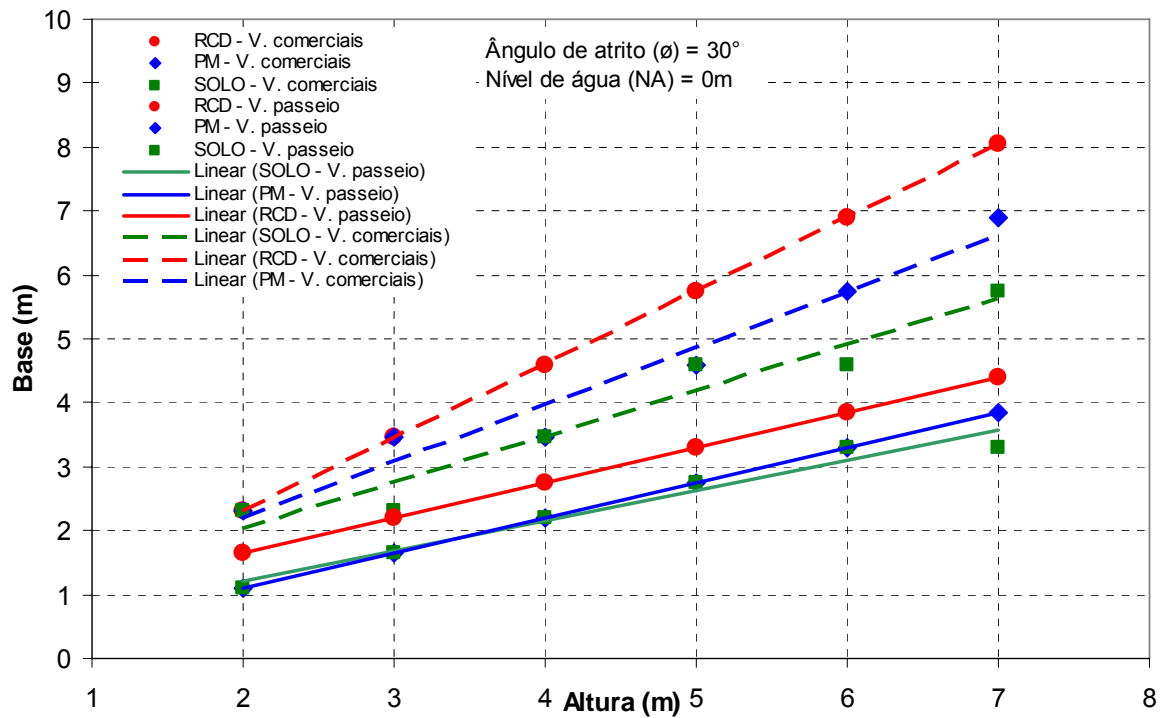


Figura 50: Valores médios conjuntos agregados/pneus

Pode-se, constatar graficamente os valores expressos na Tabela 10 (resumo massas específicas dos conjuntos) com a relação base x altura aumentando ou diminuindo de acordo com a massa específica do conjunto, assim evidencia-se a grande importância da escolha do material a ser utilizado.

Observando-se a Figura 50, pode-se perceber a grande influência que as variáveis exercem sobre a relação (base x altura), comparando-se a base necessária para a estabilidade da estrutura na altura do talude de 5,0m, no conjunto solo/pneus veículo passeio ela seria de 2,75m, já no conjunto RCD/pneus veículo comercial ela seria de 5,75m.

5.2.1 Análise Estatística

A partir das informações obtidas através da realização dos ensaios laboratoriais, foram selecionadas as grandezas e atributos intuitivamente considerados de interesse na formação do valor, que formaram o conjunto de variáveis adotadas no modelo de regressão. Essas variáveis foram:

Variáveis Dependentes:

- B: Base da estrutura de arrimo

Variáveis Independentes:

- NA: Nível de água;
- γ : Massa específica dos conjuntos materiais de enchimento pneu;
- ϕ : Ângulo de atrito;
- h: Altura do muro.

Os valores das variáveis independentes foram colocados em intervalos de -1 até 1. Com esta escala todas as variáveis independentes ficam no mesmo intervalo numérico, sendo possível comparar os coeficiente do modelo gerado. As combinações das variáveis utilizadas no dimensionamento estão no Anexo B.

5.2.2 Análise do Modelo

Para a análise do modelo foi utilizado o método de análise de variância ANOVA, sua descrição pode ser encontrada em Nanni e Ribeiro (1987).

A análise de variância mostrou que todas as variáveis indicadas acima se mostraram suficientemente importantes na variável de resposta B analisada e a análise de regressão múltipla indicou o modelo apresentado na Equação 21 para representar a relação entre as variáveis independentes e B.

$$B = 7,077 + 4,25*NA - 2,24*\gamma - 2,15*\varnothing + 1,48*h \quad (\text{Equação 21})$$

$$R^2 = 0,61\%$$

$$\varepsilon_p = 0,176m$$

Para realizar o cálculo da base da estrutura segundo a Equação 21, é necessário que os valores do NA, γ , \varnothing e h estejam no intervalo numérico de -1 até 1, pois o modelo foi gerado nesta escala.

A partir do modelo podem ser traçadas as seguintes considerações:

- O nível de água (NA) é a variável que possui a maior influência, seguido pela massa específica do material (γ), pelo ângulo de atrito (\varnothing) e pela altura da estrutura (h);
- O nível de água (NA) e a altura (h) apresentam influências positivas, logo quanto maiores forem seus respectivos valores, maior será a base (B).
- A massa específica do material (γ) e o ângulo de atrito (\varnothing) apresentam influências negativas, logo quanto maiores forem seus respectivos valores, menor será a base (B).

O Coeficiente de Determinação (R^2) define o percentual de dados que é explicado pelo modelo de regressão, tendo um sentido físico, numérico. No presente caso o $R^2=0,61$. Este valor de 61% ocorre devido ao fato da necessidade de adotar modulações constantes na base que faz com que o modelo não seja linear. Essa modulação é necessária devido ao formato padronizado dos pneumáticos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 CONCLUSÕES

6.1.1 Caso de obra

Este trabalho apresentou o dimensionamento e execução de um muro experimental composto por rocha basáltica/pneus situado junto a talude no Distrito de Barreiro, interior do Município de Ijuí/RS. A altura média do muro foi de 2,60m, com uma espessura de 2,30m até os primeiros 2,08m e 1,15m nos 0,51m superficiais e comprimento de 10,35m; a ligação entre os pneumáticos foi realizada com arame galvanizado, a face do talude foi revestida com manta geotextil, e atrás da estrutura foi realizado um retro-aterro com solo local. Abaixo estão relacionadas às conclusões obtidas com a realização do experimento.

- a. Quanto à estabilidade, o dimensionamento realizado para a resistência ao tombamento e ao deslizamento ($FS=2$), resultou em um muro com seção transversal de 2,30m (pneus de veículos comerciais), apresentando-se como uma alternativa estável de contenção;
- b. Devido à sua flexibilidade a estrutura pode acomodar pequenos recalques diferenciais;
- c. As análises indicaram que o conjunto (agregado, pneu) utilizado no experimento, pode ser descrito como um material permeável, suas ligações foram efetuadas com arames galvanizados formando juntas secas, ou seja, sem argamassa tornando o material permeável, permitindo uma perfeita drenagem;
- d. Os equipamentos utilizados para a execução podem ser considerados rudimentares e de fácil manuseio (alicates, marretas...) e a mão-de-obra foi treinada na própria obra, durante a execução;
- e. A estrutura foi de fácil execução com volume total de $58,60\text{m}^3$. A mão-de-obra foi composta por um mestre de obra e três serventes durante o período de três dias (jornada diária de 8 horas);
- f. A ligação entre os pneumáticos realizada com arame galvanizado gerou uma adequada rigidez na estrutura;

- g. Em relação à comparação dos custos do muro experimental rocha basáltica/pneus (R\$2.979,50), com o custo da estrutura de concreto armado (R\$17.272,01), a estrutura em concreto armado dimensionada para as mesmas necessidades de projeto custaria aproximadamente seis vezes mais;
- h. Além da economia, este tipo de muro apresenta uma solução para o passivo ambiental causado por pneumáticos que ficam acumulados nos aterros sanitários, em terrenos baldios ou às margens dos rios.

6.1.2 Análise paramétrica

As estruturas foram pré-dimensionadas para as combinações das variáveis adotadas. Com base nos ensaios realizados e resultados apresentados através de tabelas e gráficos no capítulo 5, pode-se concluir que:

- a. Os conjuntos compostos por PM e RCD apresentam uma maior velocidade de preenchimento em relação aos conjuntos compostos por solo, esse fato ocorre devido à necessidade de preparação (umidade ótima) e compactação do solo.
- b. Para o preenchimento não são necessários equipamentos especiais e a mão-de-obra necessária para o preenchimento pode ser treinada no próprio canteiro de obras.
- c. O conjunto solo/pneus veículos de passeio apresentou a estrutura com maior massa específica ($\gamma=17,98\text{kN/m}^3$) sendo entre as possibilidades analisadas a solução mais esbelta para a realização de muros de contenção arrimados.
- d. Em relação à presença de água, os modelos analisados com níveis de água iguais a altura (NA=1h) torna-se inviáveis devido ao grande volume que apresentam.
- e. Para ângulos de atrito baixos ($\phi\approx 25^\circ$) a estrutura apresenta deficiência à resistência ao escorregamento, assim necessita de bases maiores para a sua estabilização apresentando um maior volume;
- f. Com base na Equação 23 pode-se perceber que a variável que possui maior influencia sobre a base é o nível de água (NA), isso evidencia a importância da drenagem em estruturas de contenção;

- g. As estruturas apresentam-se como boas soluções de contenção de taludes e aterros em locais onde haja possibilidade da construção de uma base compatível com a altura do muro a construir;

6.1.3 Conclusões gerais

A técnica estudada apresenta vantagens construtivas, econômicas, sociais e ambientais, tais como:

- a. Uma das características marcantes dos conjuntos materiais de enchimento/pneus consiste na sua flexibilidade, que possibilita a utilização em diferentes tipos de obras de engenharia. Uma das principais são contenções de aterros, a estrutura pode executada antes da movimentação do solo, na altura de contenção requerida, seu formato pode ser escalonado, com o corpo da estrutura localizando-se abaixo do nível do terreno.
- b. Economia na aquisição de matéria-prima, devido à substituição de materiais convencionais, por pneus inservíveis, solo e resíduos da construção civil (RCD);
- c. Redução de riscos ao meio ambiente: atualmente, a destinação final dos pneus é um problema que aflige o mundo inteiro, pois os pneus são compostos por materiais não biodegradáveis, sendo sua destinação final adequada um dever da sociedade;
- d. Uso do solo local para o preenchimento, não ocorrendo despesas com o transporte do material até o local da obra ou remoção do solo sobressalente do talude;
- e. Diminuição da poluição gerada pelo RCD e de suas conseqüências negativas como enchentes e assoreamento de rios e córregos;
- f. Preservação das reservas naturais de matéria-prima;
- g. A construção pode ser feita em etapas (blocos), sem restrições quanto a juntas ou emendas, ampliações e até mesmo desmonte;
- h. Os equipamentos necessários para a execução são rudimentares, o que populariza sua execução;
- i. A mão-de-obra utilizada pode ser treinada no próprio canteiro de obras (fácil execução), não necessita de qualificação prévia;
- j. Redução dos custos: a utilização de pneumáticos inservíveis nestas obras de contenção aparece como uma alternativa de baixo custo quando comparada aos métodos

tradicionais. E quando aliada a materiais de preenchimento como solo e RCD seus custos são reduzidos a praticamente o valor da mão de obra.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A seguir, serão apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros, seguindo a mesma linha de pesquisa.

- Executar as estruturas de contenção dimensionadas analisando os parâmetros de deformabilidade dos conjuntos materiais de preenchimento/pneus com o auxílio de equipamentos apropriados como, por exemplo, inclinômetros, células de pressão e extensômetros magnéticos;
- Relacionar as características físicas do material de enchimento e suas características segundo as técnicas de compactação utilizadas;
- Dimensionar e executar estruturas instrumentadas com menores fatores de segurança, para obtenção de estruturas mais esbeltas;
- Realizar novos ensaios com materiais de granulometria diferenciada buscando conjuntos com maiores massas específicas (γ);
- Realizar a amarração dos pneumáticos com outros materiais para análise da rigidez e deformação da estrutura considerando a rapidez na execução e custos.

REFERÊNCIAS

AMARAL, T. R. **A transformação de pneus velhos em mourões para cerca**. Disponível em: <http://www.inova.unicamp.br/inovanosmunicipios>. Acesso em 16 de agosto de 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Geologia de Engenharia**. Associação de Brasileira de Geologia de Engenharia. p.13-38.1998.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS - ANIP. Disponível em: <www.anip.com.br>. Acesso em: 09 de agosto de 2006.

BERNARDI, J. **Caracterização de jazidas de solo residual de basalto visando seu emprego em barragens de terra**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí, 2006.

BONAFÉ, L. **Estudo da resistência de um solo residual estabilizado e reforçado**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí, 2004.

CAPUTO, 1988 a, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Fundamentos. 6º edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Volume 1, 1988.

CAPUTO, 1988 b, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Fundamentos. 6º edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Volume 2, 1988.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **RESOLUÇÃO Nº 258**. Disponível em: <<http://www.lei.adv.br/258-99.htm>>. Acesso em 10 de agosto de 2006.

CONCEIÇÃO, L. N. R. **Ecologia de peixes em recifes artificiais de pneus instalados na encosta do estado do Ceará**. Tese de doutorado - Universidade Federal de São Carlos, 2003.

CORRÊA, R. M. S. **Determinação da capacidade de carga de fundações superficiais apoiadas sobre materiais artificialmente cimentados**. Dissertação de Mestrado, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí, 2003.

GRIPPI, S. **Lixo, reciclagem e sua história: guia para prefeituras brasileiras**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. 134p.

HACHICH, W. et al. **Fundações – teoria e prática**. 2º edição, São Paulo: Pini. ABMS / ABEF, 2000.

LAMBE, T.; WHITMAN, R. V. **Soil Mechanics, SI version**. New York: John Wiley & Sons Inc, 1979. 553p.

LUND, H. **The McGraw Hill recycling handbook**. New York: Mc Graw Hill. 1993.

MACHADO, S.L., MACHADO, M.F. **Mecânica dos solos II: conceitos introdutórios**. Material didático. Salvador, 1997.

MAGALHÃES, E. P. **Comportamento experimental de uma cortina de estaca prancha assente em solo poroso de DF: implicações para o projeto e metodologia de cálculo**. Dissertação de mestrado em geotecnia – Universidade de Brasília. Publicação G. DM-105 /2003.

MARINHO, F. A. M. **Mecânica dos solos e Fundações, Notas de 11ª aula Estruturas de Contenção, Empuxo de Terra, Teorias Clássicas, Efeito da Água**. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/disciplinas/paginas/arquivos/pef_0522_aula11.pdf>. Acesso em: 21 de agosto de 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/conama>. Brasília, 2006. Acesso em: 23 de junho de 2006.

MOLITERNO, A. **Caderno de muros de arrimo**. São Paulo: Edgar Blücher. 1994

MONTEIRO, V. M. C. **Obtenção de coeficientes de atrito solo/estrutura para um solo residual de basalto e sua importância no cálculo de estruturas de contenção**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí, 2005.

NANNI, L. F.; RIBEIRO, J. L. Planejamento e avaliação de experimentos. Porto Alegre (caderno de engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1987.

SALA, M. **Caracterização do solo residual de basalto encontrado na zona urbana do município de Ijuí visando seu emprego em estudos de fundações.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí, 2006.

SANDRONI, M., PACHECO, B. E. **Os destinos dos pneus inservíveis.** Disponível em: <<http://www.jorplast.com.br/jpout03/pag08.html>>. Acesso em: 15 de agosto de 2006.

SIEIRA, F. A. **Análise do comportamento de um muro de contenção de encostas utilizando pneus.** Rio de Janeiro. Tese (Mestrado em Engenharia) – PUC-RIO. 1998.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus.** Tese de doutorado – Porto Alegre: PPGEC/UFRGS, 2004

SOCIEDADE MATÉRIAS PRIMAS Lda. **CARACTERÍSTICAS DAS OBRAS DE GABIÕES.** Disponível em: <<http://www.smp.pt/Html/Gabioes/Gabioes1/gabioes1.htm>>. Acesso em: 14 de agosto de 2006.

TÉCHNE– a revista do engenheiro civil, **Contenções.** Artigo técnico, São Paulo: editora Pini Nº 56. Novembro de 2001.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL – UFRGS. **Mecânica dos solos II – empuxos de terra e estrutura de contenção.** Apostila UFRGS – escola de engenharia, 1988.

VIECILI, C. **Determinação dos parâmetros de resistência do solo de Ijuí a partir do ensaio de cisalhamento direto.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí, 2003.

VASCONCELOS, Y. **Borracha na mureta**. Edição imprensa 109, Disponível em: <<http://www.revistapesquisa.fapesp.br>>. Acesso em 15 de agosto de 2006.

VIECILI, C. **Determinação dos parâmetros de resistência do solo de Ijuí a partir do ensaio de cisalhamento direto**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ. Ijuí, 2003.

ANEXO A
Dimensionamento das Estruturas de Contenção Arrimadas

PNEU VEÍCULO COMERCIAL PREENCHIDO COM SOLO

PNEU	MAT	N.A	Ø	ALT. DO MURO		BASE		b/h	FS _{tomb}	FS _{desl}
				h	nº pneus	base	nº pneus			
V.C	solo	0	25	2	8,0	2,3	2,0	1,15	7,40	2,00
V.C	solo	0	25	3	12,0	3,45	3,0	1,15	7,40	2,00
V.C	solo	0	25	4	16,0	4,6	4,0	1,15	7,40	2,00
V.C	solo	0	25	5	20,0	5,75	5,0	1,15	7,40	2,00
V.C	solo	0	25	6	24,0	6,9	6,0	1,15	7,40	2,00
V.C	solo	0	25	7	28,0	8,05	7,0	1,15	7,40	2,00
V.C	solo	1	25	2	8,0	3,45	3,0	1,73	11,75	2,12
V.C	solo	1,5	25	3	12,0	5,75	5,0	1,92	14,51	2,35
V.C	solo	2	25	4	16,0	6,9	6,0	1,73	11,75	2,12
V.C	solo	2,5	25	5	20,0	8,05	7,0	1,61	10,24	1,98
V.C	solo	3	25	6	24,0	10,35	9,0	1,73	11,75	2,12
V.C	solo	3,5	25	7	28,0	11,5	10,0	1,64	10,66	2,02
V.C	solo	2	25	2	8,0	6,9	6,0	3,45	24,97	2,25
V.C	solo	3	25	3	12,0	9,2	8,0	3,07	19,73	2,00
V.C	solo	4	25	4	16,0	12,65	11,0	3,16	20,98	2,06
V.C	solo	5	25	5	20,0	16,1	14,0	3,22	21,75	2,10
V.C	solo	6	25	6	24,0	18,4	16,0	3,07	19,73	2,00
V.C	solo	7	25	7	28,0	21,85	19,0	3,12	20,44	2,04
V.C	solo	0	30	2	8,0	2,3	2,0	1,15	8,97	3,00
V.C	solo	0	30	3	12,0	2,3	2,0	0,77	3,99	2,00
V.C	solo	0	30	4	16,0	3,45	3,0	0,86	5,05	2,25
V.C	solo	0	30	5	20,0	4,6	4,0	0,92	5,74	2,40
V.C	solo	0	30	6	24,0	4,6	4,0	0,77	3,99	2,00
V.C	solo	0	30	7	28,0	5,75	5,0	0,82	4,58	2,14
V.C	solo	1	30	2	8,0	2,3	2,0	1,15	5,96	1,99
V.C	solo	1,5	30	3	12,0	3,45	3,0	1,15	5,96	1,99
V.C	solo	2	30	4	16,0	4,6	4,0	1,15	5,96	1,99
V.C	solo	2,5	30	5	20,0	5,75	5,0	1,15	5,96	1,99
V.C	solo	3	30	6	24,0	6,9	6,0	1,15	5,96	1,99
V.C	solo	3,5	30	7	28,0	8,05	7,0	1,15	5,96	1,99
V.C	solo	2	30	2	8,0	4,6	4,0	2,30	11,88	1,99
V.C	solo	3	30	3	12,0	6,9	6,0	2,30	11,88	1,99
V.C	solo	4	30	4	16,0	9,2	8,0	2,30	11,88	1,99
V.C	solo	5	30	5	20,0	11,5	10,0	2,30	11,88	1,99
V.C	solo	6	30	6	24,0	13,8	12,0	2,30	11,88	1,99
V.C	solo	7	30	7	28,0	17,25	15,0	2,46	13,64	2,13
V.C	solo	0	35	2	8,0	1,15	1,0	0,58	4,35	3,53
V.C	solo	0	35	3	12,0	1,15	1,0	0,38	1,93	2,36
V.C	solo	0	35	4	16,0	2,3	2,0	0,58	4,35	3,53
V.C	solo	0	35	5	20,0	2,3	2,0	0,46	2,79	2,83
V.C	solo	0	35	6	24,0	3,45	3,0	0,58	4,35	3,53
V.C	solo	0	35	7	28,0	3,45	3,0	0,49	3,20	3,03
V.C	solo	1	35	2	8,0	2,3	2,0	1,15	8,79	3,57
V.C	solo	1,5	35	3	12,0	2,3	2,0	0,77	3,91	2,38
V.C	solo	2	35	4	16,0	3,45	3,0	0,86	4,95	2,68
V.C	solo	2,5	35	5	20,0	3,45	3,0	0,69	3,16	2,14
V.C	solo	3	35	6	24,0	4,6	4,0	0,77	3,91	2,38
V.C	solo	3,5	35	7	28,0	4,6	4,0	0,66	2,87	2,04
V.C	solo	2	35	2	8,0	3,45	3,0	1,73	7,96	2,15
V.C	solo	3	35	3	12,0	5,75	5,0	1,92	9,83	2,39
V.C	solo	4	35	4	16,0	6,9	6,0	1,73	7,96	2,15
V.C	solo	5	35	5	20,0	8,05	7,0	1,61	6,93	2,01
V.C	solo	6	35	6	24,0	10,35	9,0	1,73	7,96	2,15
V.C	solo	7	35	7	28,0	11,5	10,0	1,64	7,22	2,05

PNEU VEÍCULO PASSEIO PREENCHIDO COM SOLO

PNEU	MAT	N.A	ø	ALT. DO MURO		BASE		b/h	FS _{tomb}	FS _{desl}
				h	nº pneus	base	nº pneus			
V.P	solo	0	25	2	17,0	1,65	3,0	0,83	6,13	2,31
V.P	solo	0	25	3	25,0	2,2	4,0	0,73	4,84	2,05
V.P	solo	0	25	4	34,0	3,3	6,0	0,83	6,13	2,31
V.P	solo	0	25	5	42,0	3,85	7,0	0,77	5,34	2,15
V.P	solo	0	25	6	50,0	4,4	8,0	0,73	4,84	2,05
V.P	solo	0	25	7	59,0	4,95	9,0	0,71	4,50	1,98
V.P	solo	1	25	2	17,0	2,2	4,0	1,10	7,69	2,17
V.P	solo	1,5	25	3	25,0	3,3	6,0	1,10	7,69	2,17
V.P	solo	2	25	4	34,0	4,4	8,0	1,10	7,69	2,17
V.P	solo	2,5	25	5	42,0	5,5	10,0	1,10	7,69	2,17
V.P	solo	3	25	6	50,0	6,05	11,0	1,01	6,46	1,99
V.P	solo	3,5	25	7	59,0	7,15	13,0	1,02	6,63	2,02
V.P	solo	2	25	2	17,0	3,85	7,0	1,93	12,51	2,02
V.P	solo	3	25	3	25,0	6	10,9	2,00	13,50	2,10
V.P	solo	4	25	4	34,0	7,7	14,0	1,93	12,51	2,02
V.P	solo	5	25	5	42,0	9,9	18,0	1,98	13,23	2,08
V.P	solo	6	25	6	50,0	11,55	21,0	1,93	12,51	2,02
V.P	solo	7	25	7	59,0	13,75	25,0	1,96	13,02	2,06
V.P	solo	0	30	2	17,0	1,1	2,0	0,55	3,30	2,31
V.P	solo	0	30	3	25,0	1,65	3,0	0,55	3,30	2,31
V.P	solo	0	30	4	34,0	2,2	4,0	0,55	3,30	2,31
V.P	solo	0	30	5	42,0	2,75	5,0	0,55	3,30	2,31
V.P	solo	0	30	6	50,0	3,3	6,0	0,55	3,30	2,31
V.P	solo	0	30	7	59,0	3,3	6,0	0,47	2,42	1,98
V.P	solo	1	30	2	17,0	1,65	3,0	0,83	4,93	2,30
V.P	solo	1,5	30	3	25,0	2,2	4,0	0,73	3,90	2,04
V.P	solo	2	30	4	34,0	3,3	6,0	0,83	4,93	2,30
V.P	solo	2,5	30	5	42,0	3,85	7,0	0,77	4,30	2,15
V.P	solo	3	30	6	50,0	4,4	8,0	0,73	3,90	2,04
V.P	solo	3,5	30	7	59,0	4,95	9,0	0,71	3,62	1,97
V.P	solo	2	30	2	17,0	3,3	6,0	1,65	9,83	2,29
V.P	solo	3	30	3	25,0	4,4	8,0	1,47	7,77	2,04
V.P	solo	4	30	4	34,0	6,05	11,0	1,51	8,26	2,10
V.P	solo	5	30	5	42,0	7,15	13,0	1,43	7,39	1,99
V.P	solo	6	30	6	50,0	8,8	16,0	1,47	7,77	2,04
V.P	solo	7	30	7	59,0	11	20,0	1,57	8,92	2,18
V.P	solo	0	35	2	17,0	1,1	2,0	0,55	6,41	5,44
V.P	solo	0	35	3	25,0	1,1	2,0	0,37	2,85	3,62
V.P	solo	0	35	4	34,0	1,65	3,0	0,41	3,60	4,08
V.P	solo	0	35	5	42,0	1,65	3,0	0,33	2,31	3,26
V.P	solo	0	35	6	50,0	2,2	4,0	0,37	2,85	3,62
V.P	solo	0	35	7	59,0	2,2	4,0	0,31	2,09	3,11
V.P	solo	1	35	2	17,0	1,1	2,0	0,55	3,23	2,74
V.P	solo	1,5	35	3	25,0	1,65	3,0	0,55	3,23	2,74
V.P	solo	2	35	4	34,0	2,2	4,0	0,55	3,23	2,74
V.P	solo	2,5	35	5	42,0	2,2	4,0	0,44	2,07	2,20
V.P	solo	3	35	6	50,0	2,75	5,0	0,46	2,25	2,29
V.P	solo	3,5	35	7	59,0	3,3	6,0	0,47	2,38	2,35
V.P	solo	2	35	2	17,0	2,2	4,0	1,10	5,21	2,21
V.P	solo	3	35	3	25,0	3,3	6,0	1,10	5,21	2,21
V.P	solo	4	35	4	34,0	4,4	8,0	1,10	5,21	2,21
V.P	solo	5	35	5	42,0	4,95	9,0	0,99	4,22	1,99
V.P	solo	6	35	6	50,0	6,05	11,0	1,01	4,37	2,02
V.P	solo	7	35	7	59,0	7,15	13,0	1,02	4,49	2,05

PNEU VEÍCULO COMERCIAL PREENCHIDO COM PEDRA DE MÃO

PNEU	MAT	N.A	ø	ALT. DO MURO		BASE	n° pneus	b/h	FS _{tomb}	FS _{desl}
				h	n° pneus	base				
V.C	P.M	0	25	2	8,0	3,45	3,0	1,73	14,88	2,68
V.C	P.M	0	25	3	12,0	4,6	4,0	1,53	11,76	2,38
V.C	P.M	0	25	4	16,0	5,75	5,0	1,44	10,33	2,23
V.C	P.M	0	25	5	20,0	6,9	6,0	1,38	9,52	2,14
V.C	P.M	0	25	6	24,0	8,05	7,0	1,34	9,00	2,09
V.C	P.M	0	25	7	28,0	9,2	8,0	1,31	8,64	2,04
V.C	P.M	1	25	2	8,0	4,6	4,0	2,30	18,67	2,52
V.C	P.M	1,5	25	3	12,0	5,75	5,0	1,92	12,97	2,10
V.C	P.M	2	25	4	16,0	8,05	7,0	2,01	14,29	2,21
V.C	P.M	2,5	25	5	20,0	9,2	8,0	1,84	11,95	2,02
V.C	P.M	3	25	6	24,0	11,5	10,0	1,92	12,97	2,10
V.C	P.M	3,5	25	7	28,0	12,65	11,0	1,81	11,53	1,98
V.C	P.M	2	25	2	8,0	6,9	6,0	3,45	22,32	2,01
V.C	P.M	3	25	3	12,0	10,35	9,0	3,45	22,32	2,01
V.C	P.M	4	25	4	16,0	13,8	12,0	3,45	22,32	2,01
V.C	P.M	5	25	5	20,0	17,25	15,0	3,45	22,32	2,01
V.C	P.M	6	25	6	24,0	20,7	18,0	3,45	22,32	2,01
V.C	P.M	7	25	7	28,0	24,15	21,0	3,45	22,32	2,01
V.C	P.M	0	30	2	8,0	2,3	2,0	1,15	8,02	2,68
V.C	P.M	0	30	3	12,0	3,45	3,0	1,15	8,02	2,68
V.C	P.M	0	30	4	16,0	3,45	3,0	0,86	4,51	2,01
V.C	P.M	0	30	5	20,0	4,6	4,0	0,92	5,13	2,14
V.C	P.M	0	30	6	24,0	5,75	5,0	0,96	5,57	2,23
V.C	P.M	0	30	7	28,0	6,9	6,0	0,99	5,89	2,30
V.C	P.M	1	30	2	8,0	3,45	3,0	1,73	11,98	2,67
V.C	P.M	1,5	30	3	12,0	4,6	4,0	1,53	9,47	2,38
V.C	P.M	2	30	4	16,0	5,75	5,0	1,44	8,32	2,23
V.C	P.M	2,5	30	5	20,0	6,9	6,0	1,38	7,67	2,14
V.C	P.M	3	30	6	24,0	8,05	7,0	1,34	7,25	2,08
V.C	P.M	3,5	30	7	28,0	9,2	8,0	1,31	6,96	2,04
V.C	P.M	2	30	2	8,0	5,75	5,0	2,88	16,59	2,22
V.C	P.M	3	30	3	12,0	8,05	7,0	2,68	14,45	2,07
V.C	P.M	4	30	4	16,0	10,35	9,0	2,59	13,44	2,00
V.C	P.M	5	30	5	20,0	13,8	12,0	2,76	15,29	2,13
V.C	P.M	6	30	6	24,0	16,1	14,0	2,68	14,45	2,07
V.C	P.M	7	30	7	28,0	18,4	16,0	2,63	13,86	2,03
V.C	P.M	0	35	2	8,0	1,15	1,0	0,58	3,89	3,16
V.C	P.M	0	35	3	12,0	2,3	2,0	0,77	6,92	4,21
V.C	P.M	0	35	4	16,0	2,3	2,0	0,58	3,89	3,16
V.C	P.M	0	35	5	20,0	2,3	2,0	0,46	2,49	2,53
V.C	P.M	0	35	6	24,0	3,45	3,0	0,58	3,89	3,16
V.C	P.M	0	35	7	28,0	3,45	3,0	0,49	2,86	2,71
V.C	P.M	1	35	2	8,0	2,3	2,0	1,15	7,86	3,19
V.C	P.M	1,5	35	3	12,0	2,3	2,0	0,77	3,49	2,13
V.C	P.M	2	35	4	16,0	3,45	3,0	0,86	4,42	2,39
V.C	P.M	2,5	35	5	20,0	4,6	4,0	0,92	5,03	2,55
V.C	P.M	3	35	6	24,0	4,6	4,0	0,77	3,49	2,13
V.C	P.M	3,5	35	7	28,0	5,75	5,0	0,82	4,01	2,28
V.C	P.M	2	35	2	8,0	4,6	4,0	2,30	12,65	2,57
V.C	P.M	3	35	3	12,0	5,75	5,0	1,92	8,78	2,14
V.C	P.M	4	35	4	16,0	8,05	7,0	2,01	9,68	2,25
V.C	P.M	5	35	5	20,0	9,2	8,0	1,84	8,09	2,05
V.C	P.M	6	35	6	24,0	11,5	10,0	1,92	8,78	2,14
V.C	P.M	7	35	7	28,0	12,65	11,0	1,81	7,81	2,02

PNEU VEÍCULO PASSEIO PREENCHIDO COM PEDRA DE MÃO

PNEU	MAT	N.A	ø	ALT. DO MURO		BASE		nº pneus	b/h	FS _{tomb}	FS _{desl}
				h	nº pneus	base	nº pneus				
V.P	P.M	0	25	2	16,7	1,65	3,0	0,83	5,79	2,18	
V.P	P.M	0	25	3	25,0	2,75	5,0	0,92	7,14	2,42	
V.P	P.M	0	25	4	33,3	3,3	6,0	0,83	5,79	2,18	
V.P	P.M	0	25	5	41,7	3,85	7,0	0,77	5,04	2,03	
V.P	P.M	0	25	6	50,0	4,95	9,0	0,83	5,79	2,18	
V.P	P.M	0	25	7	58,3	5,5	10,0	0,79	5,25	2,08	
V.P	P.M	1	25	2	16,7	2,2	4,0	1,10	7,26	2,05	
V.P	P.M	1,5	25	3	25,0	3,3	6,0	1,10	7,26	2,05	
V.P	P.M	2	25	4	33,3	4,4	8,0	1,10	7,26	2,05	
V.P	P.M	2,5	25	5	41,7	5,5	10,0	1,10	7,26	2,05	
V.P	P.M	3	25	6	50,0	6,6	12,0	1,10	7,26	2,05	
V.P	P.M	3,5	25	7	58,3	7,7	14,0	1,10	7,26	2,05	
V.P	P.M	2	25	2	16,7	4,4	8,0	2,20	15,43	2,18	
V.P	P.M	3	25	3	25,0	6,05	11,0	2,02	12,96	2,00	
V.P	P.M	4	25	4	33,3	8,8	16,0	2,20	15,43	2,18	
V.P	P.M	5	25	5	41,7	10,45	19,0	2,09	13,92	2,07	
V.P	P.M	6	25	6	50,0	12,1	22,0	2,02	12,96	2,00	
V.P	P.M	7	25	7	58,3	14,3	26,0	2,04	13,30	2,02	
V.P	P.M	0	30	2	16,7	1,1	2,0	0,55	3,12	2,18	
V.P	P.M	0	30	3	25,0	1,65	3,0	0,55	3,12	2,18	
V.P	P.M	0	30	4	33,3	2,2	4,0	0,55	3,12	2,18	
V.P	P.M	0	30	5	41,7	2,75	5,0	0,55	3,12	2,18	
V.P	P.M	0	30	6	50,0	3,3	6,0	0,55	3,12	2,18	
V.P	P.M	0	30	7	58,3	3,85	7,0	0,55	3,12	2,18	
V.P	P.M	1	30	2	16,7	1,65	3,0	0,83	4,66	2,17	
V.P	P.M	1,5	30	3	25,0	2,75	5,0	0,92	5,75	2,41	
V.P	P.M	2	30	4	33,3	3,3	6,0	0,83	4,66	2,17	
V.P	P.M	2,5	30	5	41,7	3,85	7,0	0,77	4,06	2,03	
V.P	P.M	3	30	6	50,0	4,95	9,0	0,83	4,66	2,17	
V.P	P.M	3,5	30	7	58,3	5,5	10,0	0,79	4,23	2,07	
V.P	P.M	2	30	2	16,7	3,3	6,0	1,65	9,29	2,17	
V.P	P.M	3	30	3	25,0	4,95	9,0	1,65	9,29	2,17	
V.P	P.M	4	30	4	33,3	6,05	11,0	1,51	7,80	1,98	
V.P	P.M	5	30	5	41,7	7,7	14,0	1,54	8,09	2,02	
V.P	P.M	6	30	6	50,0	9,35	17,0	1,56	8,28	2,04	
V.P	P.M	7	30	7	58,3	11	20,0	1,57	8,42	2,06	
V.P	P.M	0	35	2	16,7	1,1	2,0	0,55	6,05	5,13	
V.P	P.M	0	35	3	25,0	1,1	2,0	0,37	2,69	3,42	
V.P	P.M	0	35	4	33,3	1,65	3,0	0,41	3,40	3,85	
V.P	P.M	0	35	5	41,7	1,65	3,0	0,33	2,18	3,08	
V.P	P.M	0	35	6	50,0	2,2	4,0	0,37	2,69	3,42	
V.P	P.M	0	35	7	58,3	2,2	4,0	0,31	1,98	2,93	
V.P	P.M	1	35	2	16,7	1,1	2,0	0,55	3,05	2,59	
V.P	P.M	1,5	35	3	25,0	1,65	3,0	0,55	3,05	2,59	
V.P	P.M	2	35	4	33,3	2,2	4,0	0,55	3,05	2,59	
V.P	P.M	2,5	35	5	41,7	2,75	5,0	0,55	3,05	2,59	
V.P	P.M	3	35	6	50,0	2,75	5,0	0,46	2,12	2,16	
V.P	P.M	3,5	35	7	58,3	3,3	6,0	0,47	2,24	2,22	
V.P	P.M	2	35	2	16,7	2,2	4,0	1,10	4,92	2,09	
V.P	P.M	3	35	3	25,0	3,3	6,0	1,10	4,92	2,09	
V.P	P.M	4	35	4	33,3	4,4	8,0	1,10	4,92	2,09	
V.P	P.M	5	35	5	41,7	5,5	10,0	1,10	4,92	2,09	
V.P	P.M	6	35	6	50,0	6,6	12,0	1,10	4,92	2,09	
V.P	P.M	7	35	7	58,3	7,7	14,0	1,10	4,92	2,09	

PNEU VEÍCULO COMERCIAL PREENCHIDO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

PNEU	MAT	N.A	Ø	ALT. DO MURO		BASE		b/h	FS _{tomb}	FS _{desl}
				h	nº pneus	base	nº pneus			
V.C	RCD	0	25	2	8,0	3,45	3,0	1,73	12,20	2,20
V.C	RCD	0	25	3	12,0	4,6	4,0	1,53	9,64	1,95
V.C	RCD	0	25	4	16,0	6,9	6,0	1,73	12,20	2,20
V.C	RCD	0	25	5	20,0	8,05	7,0	1,61	10,63	2,05
V.C	RCD	0	25	6	24,0	9,2	8,0	1,53	9,64	1,95
V.C	RCD	0	25	7	28,0	11,05	9,6	1,58	10,22	2,01
V.C	RCD	1	25	2	8,0	4,6	4,0	2,30	15,31	2,07
V.C	RCD	1,5	25	3	12,0	6,9	6,0	2,30	15,31	2,07
V.C	RCD	2	25	4	16,0	9,2	8,0	2,30	15,31	2,07
V.C	RCD	2,5	25	5	20,0	11,5	10,0	2,30	15,31	2,07
V.C	RCD	3	25	6	24,0	13,8	12,0	2,30	15,31	2,07
V.C	RCD	3,5	25	7	28,0	16,1	14,0	2,30	15,31	2,07
V.C	RCD	2	25	2	8,0	9,2	8,0	4,60	32,53	2,20
V.C	RCD	3	25	3	12,0	12,65	11,0	4,22	27,34	2,02
V.C	RCD	4	25	4	16,0	17,25	15,0	4,31	28,59	2,06
V.C	RCD	5	25	5	20,0	21,85	19,0	4,37	29,36	2,09
V.C	RCD	6	25	6	24,0	25,3	22,0	4,22	27,34	2,02
V.C	RCD	7	25	7	28,0	29,9	26,0	4,27	28,05	2,04
V.C	RCD	0	30	2	8,0	2,3	2,0	1,15	6,57	2,20
V.C	RCD	0	30	3	12,0	3,45	3,0	1,15	6,57	2,20
V.C	RCD	0	30	4	16,0	4,6	4,0	1,15	6,57	2,20
V.C	RCD	0	30	5	20,0	5,75	5,0	1,15	6,57	2,20
V.C	RCD	0	30	6	24,0	6,9	6,0	1,15	6,57	2,20
V.C	RCD	0	30	7	28,0	8,05	7,0	1,15	6,57	2,20
V.C	RCD	1	30	2	8,0	3,45	3,0	1,73	9,83	2,19
V.C	RCD	1,5	30	3	12,0	4,6	4,0	1,53	7,76	1,95
V.C	RCD	2	30	4	16,0	6,9	6,0	1,73	9,83	2,19
V.C	RCD	2,5	30	5	20,0	8,05	7,0	1,61	8,56	2,04
V.C	RCD	3	30	6	24,0	9,2	8,0	1,53	7,76	1,95
V.C	RCD	3,5	30	7	28,0	11,5	10,0	1,64	8,91	2,09
V.C	RCD	2	30	2	8,0	6,9	6,0	3,45	19,59	2,18
V.C	RCD	3	30	3	12,0	10,35	9,0	3,45	19,59	2,18
V.C	RCD	4	30	4	16,0	12,65	11,0	3,16	16,46	2,00
V.C	RCD	5	30	5	20,0	16,1	14,0	3,22	17,06	2,04
V.C	RCD	6	30	6	24,0	19,55	17,0	3,26	17,47	2,06
V.C	RCD	7	30	7	28,0	23	20,0	3,29	17,76	2,08
V.C	RCD	0	35	2	8,0	1,15	1,0	0,58	3,19	2,59
V.C	RCD	0	35	3	12,0	2,3	2,0	0,77	5,67	3,45
V.C	RCD	0	35	4	16,0	2,3	2,0	0,58	3,19	2,59
V.C	RCD	0	35	5	20,0	2,3	2,0	0,46	2,04	2,07
V.C	RCD	0	35	6	24,0	3,45	3,0	0,58	3,19	2,59
V.C	RCD	0	35	7	28,0	3,45	3,0	0,49	2,34	2,22
V.C	RCD	1	35	2	8,0	2,3	2,0	1,15	6,44	2,61
V.C	RCD	1,5	35	3	12,0	3,45	3,0	1,15	6,44	2,61
V.C	RCD	2	35	4	16,0	3,45	3,0	0,86	3,62	1,96
V.C	RCD	2,5	35	5	20,0	4,6	4,0	0,92	4,12	2,09
V.C	RCD	3	35	6	24,0	5,75	5,0	0,96	4,47	2,18
V.C	RCD	3,5	35	7	28,0	6,9	6,0	0,99	4,73	2,24
V.C	RCD	2	35	2	8,0	4,6	4,0	2,30	10,37	2,10
V.C	RCD	3	35	3	12,0	6,9	6,0	2,30	10,37	2,10
V.C	RCD	4	35	4	16,0	9,2	8,0	2,30	10,37	2,10
V.C	RCD	5	35	5	20,0	11,5	10,0	2,30	10,37	2,10
V.C	RCD	6	35	6	24,0	13,8	12,0	2,30	10,37	2,10
V.C	RCD	7	35	7	28,0	14,95	13,0	2,14	8,94	1,95

PNEU VEÍCULO PASSEIO PREENCHIDO COM RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

PNEU	MAT	N.A	ø	ALTURA DO MURO		BASE		b/h	FS _{tomb}	FS _{desl}
				h	nº pneus	base	nº pneus			
V.P	RCD	0	25	2	16,7	2,2	4,0	1,10	8,49	2,40
V.P	RCD	0	25	3	25,0	2,75	5,0	0,92	5,90	2,00
V.P	RCD	0	25	4	33,3	3,85	7,0	0,96	6,50	2,10
V.P	RCD	0	25	5	41,7	4,95	9,0	0,99	6,88	2,16
V.P	RCD	0	25	6	50,0	5,5	10,0	0,92	5,90	2,00
V.P	RCD	0	25	7	58,3	6,6	12,0	0,94	6,24	2,06
V.P	RCD	1	25	2	16,7	2,75	5,0	1,38	9,37	2,12
V.P	RCD	1,5	25	3	25,0	3,85	7,0	1,28	8,16	1,98
V.P	RCD	2	25	4	33,3	5,5	10,0	1,38	9,37	2,12
V.P	RCD	2,5	25	5	41,7	6,6	12,0	1,32	8,63	2,03
V.P	RCD	3	25	6	50,0	7,7	14,0	1,28	8,16	1,98
V.P	RCD	3,5	25	7	58,3	9,35	17,0	1,34	8,84	2,06
V.P	RCD	2	25	2	16,7	4,95	9,0	2,48	16,13	2,03
V.P	RCD	3	25	3	25,0	7,7	14,0	2,57	17,34	2,10
V.P	RCD	4	25	4	33,3	9,9	18,0	2,48	16,13	2,03
V.P	RCD	5	25	5	41,7	12,1	22,0	2,42	15,42	1,98
V.P	RCD	6	25	6	50,0	14,85	27,0	2,48	16,13	2,03
V.P	RCD	7	25	7	58,3	17,6	32,0	2,51	16,64	2,06
V.P	RCD	0	30	2	16,7	1,65	3,0	0,83	5,79	2,70
V.P	RCD	0	30	3	25,0	2,2	4,0	0,73	4,58	2,40
V.P	RCD	0	30	4	33,3	2,75	5,0	0,69	4,02	2,25
V.P	RCD	0	30	5	41,7	3,3	6,0	0,66	3,71	2,16
V.P	RCD	0	30	6	50,0	3,85	7,0	0,64	3,50	2,10
V.P	RCD	0	30	7	58,3	4,4	8,0	0,63	3,36	2,06
V.P	RCD	1	30	2	16,7	2,2	4,0	1,10	6,84	2,39
V.P	RCD	1,5	30	3	25,0	2,75	5,0	0,92	4,75	1,99
V.P	RCD	2	30	4	33,3	3,85	7,0	0,96	5,24	2,09
V.P	RCD	2,5	30	5	41,7	4,95	9,0	0,99	5,54	2,15
V.P	RCD	3	30	6	50,0	5,5	10,0	0,92	4,75	1,99
V.P	RCD	3,5	30	7	58,3	6,6	12,0	0,94	5,03	2,05
V.P	RCD	2	30	2	16,7	3,85	7,0	1,93	10,44	2,09
V.P	RCD	3	30	3	25,0	5,5	10,0	1,83	9,47	1,99
V.P	RCD	4	30	4	33,3	7,7	14,0	1,93	10,44	2,09
V.P	RCD	5	30	5	41,7	9,35	17,0	1,87	9,85	2,03
V.P	RCD	6	30	6	50,0	11	20,0	1,83	9,47	1,99
V.P	RCD	7	30	7	58,3	13,2	24,0	1,89	10,02	2,04
V.P	RCD	0	35	2	16,7	1,1	2,0	0,55	5,00	4,24
V.P	RCD	0	35	3	25,0	1,1	2,0	0,37	2,22	2,83
V.P	RCD	0	35	4	33,3	1,65	3,0	0,41	2,81	3,18
V.P	RCD	0	35	5	41,7	1,65	3,0	0,33	1,80	2,54
V.P	RCD	0	35	6	50,0	2,2	4,0	0,37	2,22	2,83
V.P	RCD	0	35	7	58,3	2,75	5,0	0,39	2,55	3,03
V.P	RCD	1	35	2	16,7	1,1	2,0	0,55	2,52	2,14
V.P	RCD	1,5	35	3	25,0	1,65	3,0	0,55	2,52	2,14
V.P	RCD	2	35	4	33,3	2,2	4,0	0,55	2,52	2,14
V.P	RCD	2,5	35	5	41,7	2,75	5,0	0,55	2,52	2,14
V.P	RCD	3	35	6	50,0	3,3	6,0	0,55	2,52	2,14
V.P	RCD	3,5	35	7	58,3	3,85	7,0	0,55	2,52	2,14
V.P	RCD	2	35	2	16,7	2,75	5,0	1,38	6,35	2,15
V.P	RCD	3	35	3	25,0	3,85	7,0	1,28	5,53	2,01
V.P	RCD	4	35	4	33,3	5,5	10,0	1,38	6,35	2,15
V.P	RCD	5	35	5	41,7	6,6	12,0	1,32	5,85	2,07
V.P	RCD	6	35	6	50,0	8,25	15,0	1,38	6,35	2,15
V.P	RCD	7	35	7	58,3	9,35	17,0	1,34	5,99	2,09

ANEXO B
Varáveis utilizadas na Análise Estatística

PLANILHA ANÁLISE PARAMÉTRICA

<i>Base</i>	<i>b/h</i>	<i>FS_{tomb}</i>	<i>FS_{dest}</i>	<i>% γ_M kN/m³</i>	<i>%h</i>	<i>%N.A</i>	<i>%θ</i>
2,3	1,15	7,40	2,00	0,388	-1	0	-1
3,45	1,15	7,40	2,00	0,388	-0,6	0	-1
4,6	1,15	7,40	2,00	0,388	-0,2	0	-1
5,75	1,15	7,40	2,00	0,388	0,2	0	-1
6,9	1,15	7,40	2,00	0,388	0,6	0	-1
8,05	1,15	7,40	2,00	0,388	1	0	-1
3,45	1,73	11,75	2,12	0,388	-1	-1	-1
5,75	1,92	14,51	2,35	0,388	-0,6	-0,8335	-1
6,9	1,73	11,75	2,12	0,388	-0,2	-0,667	-1
8,05	1,61	10,24	1,98	0,388	0,2	-0,5005	-1
10,35	1,73	11,75	2,12	0,388	0,6	-0,334	-1
11,5	1,64	10,66	2,02	0,388	1	-0,1675	-1
6,9	3,45	24,97	2,25	0,388	-1	-0,667	-1
9,2	3,07	19,73	2,00	0,388	-0,6	-0,334	-1
12,65	3,16	20,98	2,06	0,388	-0,2	0	-1
16,1	3,22	21,75	2,10	0,388	0,2	0,332	-1
18,4	3,07	19,73	2,00	0,388	0,6	0,665	-1
21,85	3,12	20,44	2,04	0,388	1	1	-1
2,3	1,15	8,97	3,00	0,388	-1	0	0
2,3	0,77	3,99	2,00	0,388	-0,6	0	0
3,45	0,86	5,05	2,25	0,388	-0,2	0	0
4,6	0,92	5,74	2,40	0,388	0,2	0	0
4,6	0,77	3,99	2,00	0,388	0,6	0	0
5,75	0,82	4,58	2,14	0,388	1	0	0
2,3	1,15	5,96	1,99	0,388	-1	-1	0
3,45	1,15	5,96	1,99	0,388	-0,6	-0,8335	0
4,6	1,15	5,96	1,99	0,388	-0,2	-0,667	0
5,75	1,15	5,96	1,99	0,388	0,2	-0,5005	0
6,9	1,15	5,96	1,99	0,388	0,6	-0,334	0
8,05	1,15	5,96	1,99	0,388	1	-0,1675	0
4,6	2,30	11,88	1,99	0,388	-1	-0,667	0
6,9	2,30	11,88	1,99	0,388	-0,6	-0,334	0
9,2	2,30	11,88	1,99	0,388	-0,2	0	0
11,5	2,30	11,88	1,99	0,388	0,2	0,332	0
13,8	2,30	11,88	1,99	0,388	0,6	0,665	0
17,25	2,46	13,64	2,13	0,388	1	1	0
1,15	0,58	4,35	3,53	0,388	-1	0	1
1,15	0,38	1,93	2,36	0,388	-0,6	0	1
2,3	0,58	4,35	3,53	0,388	-0,2	0	1
2,3	0,46	2,79	2,83	0,388	0,2	0	1
3,45	0,58	4,35	3,53	0,388	0,6	0	1
3,45	0,49	3,20	3,03	0,388	1	0	1
2,3	1,15	8,79	3,57	0,388	-1	-1	1
2,3	0,77	3,91	2,38	0,388	-0,6	-0,8335	1
3,45	0,86	4,95	2,68	0,388	-0,2	-0,667	1
3,45	0,69	3,16	2,14	0,388	0,2	-0,5005	1
4,6	0,77	3,91	2,38	0,388	0,6	-0,334	1
4,6	0,66	2,87	2,04	0,388	1	-0,1675	1
3,45	1,73	7,96	2,15	0,388	-1	-0,667	1
5,75	1,92	9,83	2,39	0,388	-0,6	-0,334	1
6,9	1,73	7,96	2,15	0,388	-0,2	0	1
8,05	1,61	6,93	2,01	0,388	0,2	0,332	1
10,35	1,73	7,96	2,15	0,388	0,6	0,665	1
11,5	1,64	7,22	2,05	0,388	1	1	1

CONTINUAÇÃO: PLANILHA ANÁLISE PARAMÉTRICA

Base	b/h	FS _{tomb}	FS _{dest}	% γ_M kN/m ³	%h	%N.A	% θ
1,65	0,83	6,13	2,31	1	-1	0	-1
2,2	0,73	4,84	2,05	1	-0,6	0	-1
3,3	0,83	6,13	2,31	1	-0,2	0	-1
3,85	0,77	5,34	2,15	1	0,2	0	-1
4,4	0,73	4,84	2,05	1	0,6	0	-1
4,95	0,71	4,50	1,98	1	1	0	-1
2,2	1,10	7,69	2,17	1	-1	-1	-1
3,3	1,10	7,69	2,17	1	-0,6	-0,8335	-1
4,4	1,10	7,69	2,17	1	-0,2	-0,667	-1
5,5	1,10	7,69	2,17	1	0,2	-0,5005	-1
6,05	1,01	6,46	1,99	1	0,6	-0,334	-1
7,15	1,02	6,63	2,02	1	1	-0,1675	-1
3,85	1,93	12,51	2,02	1	-1	-0,667	-1
6	2,00	13,50	2,10	1	-0,6	-0,334	-1
7,7	1,93	12,51	2,02	1	-0,2	0	-1
9,9	1,98	13,23	2,08	1	0,2	0,332	-1
11,55	1,93	12,51	2,02	1	0,6	0,665	-1
13,75	1,96	13,02	2,06	1	1	1	-1
1,1	0,55	3,30	2,31	1	-1	0	0
1,65	0,55	3,30	2,31	1	-0,6	0	0
2,2	0,55	3,30	2,31	1	-0,2	0	0
2,75	0,55	3,30	2,31	1	0,2	0	0
3,3	0,55	3,30	2,31	1	0,6	0	0
3,3	0,47	2,42	1,98	1	1	0	0
1,65	0,83	4,93	2,30	1	-1	-1	0
2,2	0,73	3,90	2,04	1	-0,6	-0,8335	0
3,3	0,83	4,93	2,30	1	-0,2	-0,667	0
3,85	0,77	4,30	2,15	1	0,2	-0,5005	0
4,4	0,73	3,90	2,04	1	0,6	-0,334	0
4,95	0,71	3,62	1,97	1	1	-0,1675	0
3,3	1,65	9,83	2,29	1	-1	-0,667	0
4,4	1,47	7,77	2,04	1	-0,6	-0,334	0
6,05	1,51	8,26	2,10	1	-0,2	0	0
7,15	1,43	7,39	1,99	1	0,2	0,332	0
8,8	1,47	7,77	2,04	1	0,6	0,665	0
11	1,57	8,92	2,18	1	1	1	0
1,1	0,55	6,41	5,44	1	-1	0	1
1,1	0,37	2,85	3,62	1	-0,6	0	1
1,65	0,41	3,60	4,08	1	-0,2	0	1
1,65	0,33	2,31	3,26	1	0,2	0	1
2,2	0,37	2,85	3,62	1	0,6	0	1
2,2	0,31	2,09	3,11	1	1	0	1
1,1	0,55	3,23	2,74	1	-1	-1	1
1,65	0,55	3,23	2,74	1	-0,6	-0,8335	1
2,2	0,55	3,23	2,74	1	-0,2	-0,667	1
2,2	0,44	2,07	2,20	1	0,2	-0,5005	1
2,75	0,46	2,25	2,29	1	0,6	-0,334	1
3,3	0,47	2,38	2,35	1	1	-0,1675	1
2,2	1,10	5,21	2,21	1	-1	-0,667	1
3,3	1,10	5,21	2,21	1	-0,6	-0,334	1
4,4	1,10	5,21	2,21	1	-0,2	0	1
4,95	0,99	4,22	1,99	1	0,2	0,332	1
6,05	1,01	4,37	2,02	1	0,6	0,665	1
7,15	1,02	4,49	2,05	1	1	1	1
3,45	1,73	14,88	2,68	-0,64	-1	0	-1

CONTINUAÇÃO: PLANILHA ANÁLISE PARAMÉTRICA

<i>Base</i>	<i>b/h</i>	<i>FS_{tomb}</i>	<i>FS_{dest}</i>	<i>% γ_M kN/m³</i>	<i>%h</i>	<i>%N.A</i>	<i>%θ</i>
4,6	1,53	11,76	2,38	-0,64	-0,6	0	-1
5,75	1,44	10,33	2,23	-0,64	-0,2	0	-1
6,9	1,38	9,52	2,14	-0,64	0,2	0	-1
8,05	1,34	9,00	2,09	-0,64	0,6	0	-1
9,2	1,31	8,64	2,04	-0,64	1	0	-1
4,6	2,30	18,67	2,52	-0,64	-1	-1	-1
5,75	1,92	12,97	2,10	-0,64	-0,6	-0,8335	-1
8,05	2,01	14,29	2,21	-0,64	-0,2	-0,667	-1
9,2	1,84	11,95	2,02	-0,64	0,2	-0,5005	-1
11,5	1,92	12,97	2,10	-0,64	0,6	-0,334	-1
12,65	1,81	11,53	1,98	-0,64	1	-0,1675	-1
6,9	3,45	22,32	2,01	-0,64	-1	-0,667	-1
10,35	3,45	22,32	2,01	-0,64	-0,6	-0,334	-1
13,8	3,45	22,32	2,01	-0,64	-0,2	0	-1
17,25	3,45	22,32	2,01	-0,64	0,2	0,332	-1
20,7	3,45	22,32	2,01	-0,64	0,6	0,665	-1
24,15	3,45	22,32	2,01	-0,64	1	1	-1
2,3	1,15	8,02	2,68	-0,64	-1	0	0
3,45	1,15	8,02	2,68	-0,64	-0,6	0	0
3,45	0,86	4,51	2,01	-0,64	-0,2	0	0
4,6	0,92	5,13	2,14	-0,64	0,2	0	0
5,75	0,96	5,57	2,23	-0,64	0,6	0	0
6,9	0,99	5,89	2,30	-0,64	1	0	0
3,45	1,73	11,98	2,67	-0,64	-1	-1	0
4,6	1,53	9,47	2,38	-0,64	-0,6	-0,8335	0
5,75	1,44	8,32	2,23	-0,64	-0,2	-0,667	0
6,9	1,38	7,67	2,14	-0,64	0,2	-0,5005	0
8,05	1,34	7,25	2,08	-0,64	0,6	-0,334	0
9,2	1,31	6,96	2,04	-0,64	1	-0,1675	0
5,75	2,88	16,59	2,22	-0,64	-1	-0,667	0
8,05	2,68	14,45	2,07	-0,64	-0,6	-0,334	0
10,35	2,59	13,44	2,00	-0,64	-0,2	0	0
13,8	2,76	15,29	2,13	-0,64	0,2	0,332	0
16,1	2,68	14,45	2,07	-0,64	0,6	0,665	0
18,4	2,63	13,86	2,03	-0,64	1	1	0
1,15	0,58	3,89	3,16	-0,64	-1	0	1
2,3	0,77	6,92	4,21	-0,64	-0,6	0	1
2,3	0,58	3,89	3,16	-0,64	-0,2	0	1
2,3	0,46	2,49	2,53	-0,64	0,2	0	1
3,45	0,58	3,89	3,16	-0,64	0,6	0	1
3,45	0,49	2,86	2,71	-0,64	1	0	1
2,3	1,15	7,86	3,19	-0,64	-1	-1	1
2,3	0,77	3,49	2,13	-0,64	-0,6	-0,8335	1
3,45	0,86	4,42	2,39	-0,64	-0,2	-0,667	1
4,6	0,92	5,03	2,55	-0,64	0,2	-0,5005	1
4,6	0,77	3,49	2,13	-0,64	0,6	-0,334	1
5,75	0,82	4,01	2,28	-0,64	1	-0,1675	1
4,6	2,30	12,65	2,57	-0,64	-1	-0,667	1
5,75	1,92	8,78	2,14	-0,64	-0,6	-0,334	1
8,05	2,01	9,68	2,25	-0,64	-0,2	0	1
9,2	1,84	8,09	2,05	-0,64	0,2	0,332	1
11,5	1,92	8,78	2,14	-0,64	0,6	0,665	1
12,65	1,81	7,81	2,02	-0,64	1	1	1
1,65	0,83	5,79	2,18	0,809	-1	0	-1
2,75	0,92	7,14	2,42	0,809	-0,6	0	-1

CONTINUAÇÃO: PLANILHA ANÁLISE PARAMÉTRICA

Base	b/h	FS _{tomb}	FS _{dest}	% γ_M kN/m ³	%h	%N.A	% θ
3,3	0,83	5,79	2,18	0,809	-0,2	0	-1
3,85	0,77	5,04	2,03	0,809	0,2	0	-1
4,95	0,83	5,79	2,18	0,809	0,6	0	-1
5,5	0,79	5,25	2,08	0,809	1	0	-1
2,2	1,10	7,26	2,05	0,809	-1	-1	-1
3,3	1,10	7,26	2,05	0,809	-0,6	-0,8335	-1
4,4	1,10	7,26	2,05	0,809	-0,2	-0,667	-1
5,5	1,10	7,26	2,05	0,809	0,2	-0,5005	-1
6,6	1,10	7,26	2,05	0,809	0,6	-0,334	-1
7,7	1,10	7,26	2,05	0,809	1	-0,1675	-1
4,4	2,20	15,43	2,18	0,809	-1	-0,667	-1
6,05	2,02	12,96	2,00	0,809	-0,6	-0,334	-1
8,8	2,20	15,43	2,18	0,809	-0,2	0	-1
10,45	2,09	13,92	2,07	0,809	0,2	0,332	-1
12,1	2,02	12,96	2,00	0,809	0,6	0,665	-1
14,3	2,04	13,30	2,02	0,809	1	1	-1
1,1	0,55	3,12	2,18	0,809	-1	0	0
1,65	0,55	3,12	2,18	0,809	-0,6	0	0
2,2	0,55	3,12	2,18	0,809	-0,2	0	0
2,75	0,55	3,12	2,18	0,809	0,2	0	0
3,3	0,55	3,12	2,18	0,809	0,6	0	0
3,85	0,55	3,12	2,18	0,809	1	0	0
1,65	0,83	4,66	2,17	0,809	-1	-1	0
2,75	0,92	5,75	2,41	0,809	-0,6	-0,8335	0
3,3	0,83	4,66	2,17	0,809	-0,2	-0,667	0
3,85	0,77	4,06	2,03	0,809	0,2	-0,5005	0
4,95	0,83	4,66	2,17	0,809	0,6	-0,334	0
5,5	0,79	4,23	2,07	0,809	1	-0,1675	0
3,3	1,65	9,29	2,17	0,809	-1	-0,667	0
4,95	1,65	9,29	2,17	0,809	-0,6	-0,334	0
6,05	1,51	7,80	1,98	0,809	-0,2	0	0
7,7	1,54	8,09	2,02	0,809	0,2	0,332	0
9,35	1,56	8,28	2,04	0,809	0,6	0,665	0
11	1,57	8,42	2,06	0,809	1	1	0
1,1	0,55	6,05	5,13	0,809	-1	0	1
1,1	0,37	2,69	3,42	0,809	-0,6	0	1
1,65	0,41	3,40	3,85	0,809	-0,2	0	1
1,65	0,33	2,18	3,08	0,809	0,2	0	1
2,2	0,37	2,69	3,42	0,809	0,6	0	1
2,2	0,31	1,98	2,93	0,809	1	0	1
1,1	0,55	3,05	2,59	0,809	-1	-1	1
1,65	0,55	3,05	2,59	0,809	-0,6	-0,8335	1
2,2	0,55	3,05	2,59	0,809	-0,2	-0,667	1
2,75	0,55	3,05	2,59	0,809	0,2	-0,5005	1
2,75	0,46	2,12	2,16	0,809	0,6	-0,334	1
3,3	0,47	2,24	2,22	0,809	1	-0,1675	1
2,2	1,10	4,92	2,09	0,809	-1	-0,667	1
3,3	1,10	4,92	2,09	0,809	-0,6	-0,334	1
4,4	1,10	4,92	2,09	0,809	-0,2	0	1
5,5	1,10	4,92	2,09	0,809	0,2	0,332	1
6,6	1,10	4,92	2,09	0,809	0,6	0,665	1
7,7	1,10	4,92	2,09	0,809	1	1	1
3,45	1,73	12,20	2,20	-1	-1	0	-1
4,6	1,53	9,64	1,95	-1	-0,6	0	-1
6,9	1,73	12,20	2,20	-1	-0,2	0	-1

CONTINUAÇÃO: PLANILHA ANÁLISE PARAMÉTRICA

<i>Base</i>	<i>b/h</i>	<i>FS_{tomb}</i>	<i>FS_{desl}</i>	<i>% γ_M kN/m³</i>	<i>%h</i>	<i>%N.A</i>	<i>%θ</i>
8,05	1,61	10,63	2,05	-1	0,2	0	-1
9,2	1,53	9,64	1,95	-1	0,6	0	-1
11,05	1,58	10,22	2,01	-1	1	0	-1
4,6	2,30	15,31	2,07	-1	-1	-1	-1
6,9	2,30	15,31	2,07	-1	-0,6	-0,8335	-1
9,2	2,30	15,31	2,07	-1	-0,2	-0,667	-1
11,5	2,30	15,31	2,07	-1	0,2	-0,5005	-1
13,8	2,30	15,31	2,07	-1	0,6	-0,334	-1
16,1	2,30	15,31	2,07	-1	1	-0,1675	-1
9,2	4,60	32,53	2,20	-1	-1	-0,667	-1
12,65	4,22	27,34	2,02	-1	-0,6	-0,334	-1
17,25	4,31	28,59	2,06	-1	-0,2	0	-1
21,85	4,37	29,36	2,09	-1	0,2	0,332	-1
25,3	4,22	27,34	2,02	-1	0,6	0,665	-1
29,9	4,27	28,05	2,04	-1	1	1	-1
2,3	1,15	6,57	2,20	-1	-1	0	0
3,45	1,15	6,57	2,20	-1	-0,6	0	0
4,6	1,15	6,57	2,20	-1	-0,2	0	0
5,75	1,15	6,57	2,20	-1	0,2	0	0
6,9	1,15	6,57	2,20	-1	0,6	0	0
8,05	1,15	6,57	2,20	-1	1	0	0
3,45	1,73	9,83	2,19	-1	-1	-1	0
4,6	1,53	7,76	1,95	-1	-0,6	-0,8335	0
6,9	1,73	9,83	2,19	-1	-0,2	-0,667	0
8,05	1,61	8,56	2,04	-1	0,2	-0,5005	0
9,2	1,53	7,76	1,95	-1	0,6	-0,334	0
11,5	1,64	8,91	2,09	-1	1	-0,1675	0
6,9	3,45	19,59	2,18	-1	-1	-0,667	0
10,35	3,45	19,59	2,18	-1	-0,6	-0,334	0
12,65	3,16	16,46	2,00	-1	-0,2	0	0
16,1	3,22	17,06	2,04	-1	0,2	0,332	0
19,55	3,26	17,47	2,06	-1	0,6	0,665	0
23	3,29	17,76	2,08	-1	1	1	0
1,15	0,58	3,19	2,59	-1	-1	0	1
2,3	0,77	5,67	3,45	-1	-0,6	0	1
2,3	0,58	3,19	2,59	-1	-0,2	0	1
2,3	0,46	2,04	2,07	-1	0,2	0	1
3,45	0,58	3,19	2,59	-1	0,6	0	1
3,45	0,49	2,34	2,22	-1	1	0	1
2,3	1,15	6,44	2,61	-1	-1	-1	1
3,45	1,15	6,44	2,61	-1	-0,6	-0,8335	1
3,45	0,86	3,62	1,96	-1	-0,2	-0,667	1
4,6	0,92	4,12	2,09	-1	0,2	-0,5005	1
5,75	0,96	4,47	2,18	-1	0,6	-0,334	1
6,9	0,99	4,73	2,24	-1	1	-0,1675	1
4,6	2,30	10,37	2,10	-1	-1	-0,667	1
6,9	2,30	10,37	2,10	-1	-0,6	-0,334	1
9,2	2,30	10,37	2,10	-1	-0,2	0	1
11,5	2,30	10,37	2,10	-1	0,2	0,332	1
13,8	2,30	10,37	2,10	-1	0,6	0,665	1
14,95	2,14	8,94	1,95	-1	1	1	1
2,2	1,10	8,49	2,40	0,196	-1	0	-1
2,75	0,92	5,90	2,00	0,196	-0,6	0	-1
3,85	0,96	6,50	2,10	0,196	-0,2	0	-1
4,95	0,99	6,88	2,16	0,196	0,2	0	-1

CONTINUAÇÃO: PLANILHA ANÁLISE PARAMÉTRICA

<i>Base</i>	<i>b/h</i>	<i>FS_{tomb}</i>	<i>FS_{desl}</i>	<i>% γ_M kN/m³</i>	<i>%h</i>	<i>%N.A</i>	<i>%θ</i>
5,5	0,92	5,90	2,00	0,196	0,6	0	-1
6,6	0,94	6,24	2,06	0,196	1	0	-1
2,75	1,38	9,37	2,12	0,196	-1	-1	-1
3,85	1,28	8,16	1,98	0,196	-0,6	-0,8335	-1
5,5	1,38	9,37	2,12	0,196	-0,2	-0,667	-1
6,6	1,32	8,63	2,03	0,196	0,2	-0,5005	-1
7,7	1,28	8,16	1,98	0,196	0,6	-0,334	-1
9,35	1,34	8,84	2,06	0,196	1	-0,1675	-1
4,95	2,48	16,13	2,03	0,196	-1	-0,667	-1
7,7	2,57	17,34	2,10	0,196	-0,6	-0,334	-1
9,9	2,48	16,13	2,03	0,196	-0,2	0	-1
12,1	2,42	15,42	1,98	0,196	0,2	0,332	-1
14,85	2,48	16,13	2,03	0,196	0,6	0,665	-1
17,6	2,51	16,64	2,06	0,196	1	1	-1
1,65	0,83	5,79	2,70	0,196	-1	0	0
2,2	0,73	4,58	2,40	0,196	-0,6	0	0
2,75	0,69	4,02	2,25	0,196	-0,2	0	0
3,3	0,66	3,71	2,16	0,196	0,2	0	0
3,85	0,64	3,50	2,10	0,196	0,6	0	0
4,4	0,63	3,36	2,06	0,196	1	0	0
2,2	1,10	6,84	2,39	0,196	-1	-1	0
2,75	0,92	4,75	1,99	0,196	-0,6	-0,8335	0
3,85	0,96	5,24	2,09	0,196	-0,2	-0,667	0
4,95	0,99	5,54	2,15	0,196	0,2	-0,5005	0
5,5	0,92	4,75	1,99	0,196	0,6	-0,334	0
6,6	0,94	5,03	2,05	0,196	1	-0,1675	0
3,85	1,93	10,44	2,09	0,196	-1	-0,667	0
5,5	1,83	9,47	1,99	0,196	-0,6	-0,334	0
7,7	1,93	10,44	2,09	0,196	-0,2	0	0
9,35	1,87	9,85	2,03	0,196	0,2	0,332	0
11	1,83	9,47	1,99	0,196	0,6	0,665	0
13,2	1,89	10,02	2,04	0,196	1	1	0
1,1	0,55	5,00	4,24	0,196	-1	0	1
1,1	0,37	2,22	2,83	0,196	-0,6	0	1
1,65	0,41	2,81	3,18	0,196	-0,2	0	1
1,65	0,33	1,80	2,54	0,196	0,2	0	1
2,2	0,37	2,22	2,83	0,196	0,6	0	1
2,75	0,39	2,55	3,03	0,196	1	0	1
1,1	0,55	2,52	2,14	0,196	-1	-1	1
1,65	0,55	2,52	2,14	0,196	-0,6	-0,8335	1
2,2	0,55	2,52	2,14	0,196	-0,2	-0,667	1
2,75	0,55	2,52	2,14	0,196	0,2	-0,5005	1
3,3	0,55	2,52	2,14	0,196	0,6	-0,334	1
3,85	0,55	2,52	2,14	0,196	1	-0,1675	1
2,75	1,38	6,35	2,15	0,196	-1	-0,667	1
3,85	1,28	5,53	2,01	0,196	-0,6	-0,334	1
5,5	1,38	6,35	2,15	0,196	-0,2	0	1
6,6	1,32	5,85	2,07	0,196	0,2	0,332	1
8,25	1,38	6,35	2,15	0,196	0,6	0,665	1
9,35	1,34	5,99	2,09	0,196	1	1	1