

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANE GABRIELE BAYER DE MATTOS

**ESTRUTURA DE CONTENÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS COMO SOLUÇÃO
PRÁTICA PARA SUA REUTILIZAÇÃO**

GUARAPUAVA

2023

ANE GABRIELE BAYER DE MATTOS

**ESTRUTURA DE CONTENÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS COMO SOLUÇÃO
PRÁTICA PARA SUA REUTILIZAÇÃO**

**CONTENTION STRUCTURES FOR UNSERVED TIRES AS A PRACTICAL
SOLUTION FOR THEIR REUSE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof^a Msc. Marcela Maier Farias Czap.

GUARAPUAVA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ANE GABRIELE BAYER DE MATTOS

**ESTRUTURA DE CONTENÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS COMO SOLUÇÃO
PRÁTICA PARA SUA REUTILIZAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 09 de Agosto de 2023

Marcela Maier Farias Czap Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Mayara Fontanella
HM Serviços Agrícolas

Dyorgge Alves Silva Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

GUARAPUAVA

2023

Dedico este trabalho à minha família, pela paciência
e carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por guiar meus passos e dar suporte frente as dificuldades. Agradeço aos meus pais e madrinha por todo incentivo e conselhos, sem eles não conseguiria vencer esse desafio.

Deixo um agradecimento especial a minha orientadora Professora Marcela Maier Farias Czap, e a todos os professores que passaram pela minha trajetória, por todos os ensinamentos adquiridos.

Aos meus colegas de sala, minha turma T9, amigos e amigas pelo companheirismo e por todos os abraços reconfortantes nos momentos difíceis. Também deixo meu agradecimento a todas as entidades da Universidade que contribuíram com a minha formação acadêmica e ajudaram a alcançar este sonho.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre os conceitos básicos de taludes e muros de contenção. Além disso, mostra a realidade da reutilização dos pneus inservíveis e sua destinação, focando na real situação deste tema na cidade de Guarapuava – Paraná, mostrada em pesquisas realizadas nesta cidade. Por fim, é apresentada a estrutura de contenção de pneus como uma possível solução para a instabilidade de taludes de aterro, como uma alternativa sustentável, rápida e barata para execução, exemplificada em um estudo de caso deste tipo de estrutura realizado na região estudada, mostrando suas técnicas construtivas, materiais para amarração, classificação do solo por meio da análise de granulometria de uma amostra do local, cálculos para verificações de segurança ao deslocamento, tombamento e de tensões na base, e por fim, seus custos. Após análise deste método, conclui-se que esta estrutura de contenção é uma alternativa viável para utilização na região, apesar da dificuldade para conseguir mão de obra, já que as borracharias foram acessíveis para fornecimento dos pneus, além de mostrar bons resultados para as verificações de segurança.

Palavras-chave: taludes; pneus inservíveis; estrutura de contenção de pneus.

ABSTRACT

This paper presents a literature review on the basic concepts of slopes and retaining walls. In addition, it shows the reality of the reuse of unserviceable tires and their destination, focusing on the real situation of this theme in the city of Guarapuava - Paraná, shown in research carried out in this city. Finally, the tire containment structure is presented as a possible solution for the instability of landfill slopes, as a sustainable, fast and cheap alternative for execution, exemplified in a case study of this type of structure carried out in the studied region, showing its construction techniques, materials for mooring, soil classification through the analysis of granulometry of a sample of the site, calculations for safety checks to displacement, overturning and tensions in the base, and finally, its costs. After analyzing this method, it is concluded that this containment structure is a viable alternative for use in the region, despite the difficulty in obtaining labor, since the tire shops were accessible to supply the tires, in addition to showing good results for safety checks.

Keywords: unserviceable tires; tire containment structure.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Terminologia taludes	15
Figura 2 - Métodos de estabilização de taludes	17
Figura 3 - Execução de berma em um talude.....	17
Figura 4 – Instalação de canaletas para drenagem em taludes.	18
Figura 5 – Escorregamento de massa.....	19
Figura 6 - Crescimento do número de pontos de coleta de pneus inservíveis no Brasil	20
Figura 7 – Respostas para "O que você faz com pneus usados?" do questionário online enviado para a população de Guarapuava/PR.....	22
Figura 8 - Terminologia muros de contenção.....	24
Figura 9 – Teoria de Coulomb: equilíbrio de forças no empuxo ativo	26
Figura 10 – Cálculos geométricos	29
Figura 11 – Verificações de estabilidade	30
Figura 12 – Dimensões do Talude	34
Figura 13 – Gráfico da Curva Granulométrica	36
Figura 14 - Curva Granulométrica.....	37
Figura 15 – Seção tipo para H=3,1 metros	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ângulos de taludes naturais para diferentes tipos de solo.....	16
Quadro 2 - Ângulos de taludes naturais para diferentes tipos de solo.....	27
Quadro 3 - Dimensões dos pneus	32
Quadro 4 - Porcentagem de amostra que passa por cada peneira.....	35
Quadro 5 - Amostras retidas em cada peneira	36
Quadro 6 - Custo total contenção de Pneus	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	Taludes	15
2.2	Pneus como resíduos sólidos urbanos.....	19
2.2.1	Reciclagem de pneus em Guarapuava	21
2.3	Muros de contenção.....	23
2.4	Cálculos de muro de contenção em pneus.....	24
2.4.1	Teoria de Coulomb	25
2.4.2	Roteiro de Cálculos	28
2.5	Informações técnicas sobre pneus.....	32
3	ESTUDO DE CASO	33
3.1	Local do estudo	33
3.2	Obtenção dos pneus	34
3.3	Verificações de segurança	35
3.3.1	Dados do muro	35
3.3.2	Dados do terreno.....	36
3.3.3	Seção adotada	37
3.3.4	Cálculo da largura da base.....	38
3.3.5	Verificação de estabilidade para a seção analisada.....	38
3.4	Técnica construtiva.....	40
3.5	Custos	42
4	CONCLUSÃO	43
	REFERÊNCIAS.....	44

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil taludes de aterro são frequentemente formados, com a finalidade de buscar uma configuração de solo com cota desejável para a execução de determinada obra. Conforme definição de Caputo (1989), taludes são estruturas compostas por superfícies inclinadas, as quais limitam um maciço de rocha, de terra ou ambos. Além disso, os classifica como naturais ou artificiais, como é o caso dos taludes de corte e aterro. Com o aterro destas áreas, pode ocorrer a retirada da cobertura vegetal do local, aumentando o impacto da chuva no solo e propiciando o escoamento superficial, expondo o solo diretamente a intempéries, esses fatores podem levar ao surgimento da erosão do solo no local.

Esta ocorrência pode ainda intensificar-se quando há má compactação das camadas depositadas ou, como cita Lambe e Whitman (1979), quando não há espaço suficiente para fazer uma transição gradual no terreno, formando taludes altos e pouco inclinados, não assegurando estabilidade ao longo prazo.

A erosão nos taludes é um fenômeno no qual ocorre desgaste, desprendimentos, escorregamentos e espalhamento do material o qual o compõe, além disso, podem provocar impactos ambientais e à segurança das pessoas, como cita Macedo (2022), os movimentos de massa são os processos geológicos que mais causam vítimas fatais no Brasil, foram 4146 vítimas em torno de 34 e em 959 eventos, dados retirados do banco de dados de mortes por deslizamentos compilados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do estado de São Paulo. As estruturas de contenção são então projetadas para prover suporte para essas massas de solo não estáveis.

Outro desafio enfrentado pelo setor da construção, segundo Martini (2012), é conciliar alta demanda de produtividade com elementos que conduzam ao desenvolvimento sustentável. Com isso, o tema da busca de alternativas mais sustentáveis e que geram menos resíduos sólidos e degradação ambiental tem se destacado.

Mesmo com a criação de medidas e procedimentos que visam reduzir o uso indiscriminado de produtos e de ações que venham a prejudicar o meio ambiente, a dificuldade de disposição do lixo urbano continua sendo um dos mais graves problemas ambientais, principalmente no Brasil (OLIVEIRA e CASTRO, 2007).

Buscando minimizar os impactos da erosão em um talude de aterro por meio da busca de soluções aplicáveis, com alternativas de custo reduzido e sustentáveis, este presente trabalho apresenta uma retroanálise com verificações de cálculo, quantitativa e de custos de uma técnica empregada para controle de deslizamentos do solo e rachaduras, evitando acidentes e degradação ambiental, por meio do estudo de uma estrutura de contenção executada com pneus reciclados.

1.1 Objetivos

Neste trabalho são revistos conceitos básicos sobre taludes e muros de contenção, além dos impactos causados pela má destinação dos pneus após seu uso, para que sejam alcançados os objetivos gerais e específicos descritos abaixo.

1.1.1 Objetivo Geral

Retroanalisar uma estrutura de contenção de pneus como alternativa para sua reutilização.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

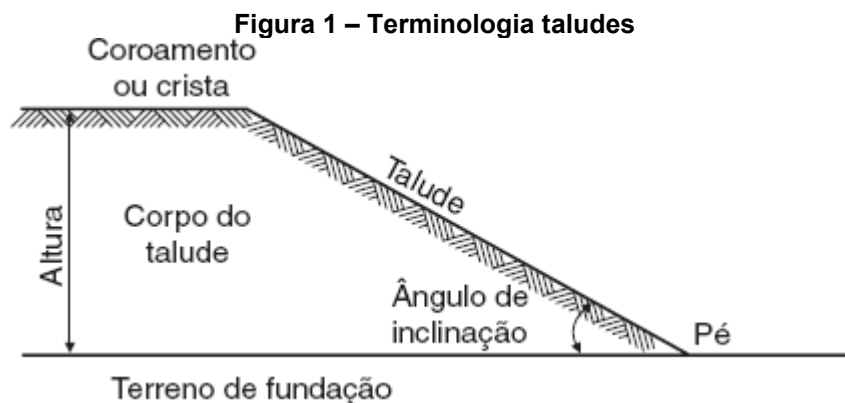
- Revisar os conceitos de taludes;
- Revisar os conceitos de muros de contenção e suas verificações de segurança;
- Apresentar a situação da reciclagem de pneus em Guarapuava – Paraná;
- Apresentar um estudo de caso sobre o tema apresentado com suas técnicas construtivas, verificações de segurança e custos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre conteúdos relevantes e conceitos que permitem entender as erosões nos taludes de aterro relacionados ao movimento de massa, compactação do solo e drenagem, além de apresentar conceitos sobre o material empregado como solução e sua utilização prática, e os cálculos necessários para realizar suas verificações de segurança.

2.1 Taludes

Segundo Caputo (1989) as principais estruturas que compõem um talude são: crista ou coroamento, corpo do talude e pé, esses elementos se posicionam no terreno de fundação, e as características de cada talude se distinguem pela sua altura e ângulo de inclinação. A figura 1 mostra estas principais estruturas.



Fonte - CAPUTO (2022, p. 13)

Cardoso (2002) define o ângulo de talude natural como o maior ângulo de inclinação sem que ocorra a ruptura ou danos da estrutura.

Nos solos não coesivos – areias – esse ângulo praticamente coincide com o ângulo de atrito interno. No entanto, a presença de fissuras devido à retração por molhagem e secagem acabam permitindo a entrada de água no corpo do talude, que leva à sua instabilização (CARDOSO, 2002).

O conhecimento do ângulo de inclinação do talude é essencial para seu estudo de estabilidade, o qual varia conforme tipo de solo e ações do tempo. O quadro 1 demonstra os valores aproximados dos ângulos para cada tipo de solo e sua variação

pela presença de água, que pode se infiltrar pelas fissuras presentes no talude. Os valores apresentados são apenas indicativos.

O valor real de cada solo depende das condições locais específicas, como grau de compactação, homogeneidade do solo, permeabilidade da camada superficial, presença de vibrações, existência de escavações circunvizinhas, presença de sobrecargas adicionais, etc (CARDOSO, 2002).

Quadro 1 - Ângulos de taludes naturais para diferentes tipos de solo.

Tipos de Solos	Ângulos de inclinação do talude natural	
	Terreno Submerso	Terreno seco
Rocha dura	80°	80° a 90°
Rocha mole	55°	55°
Escombros rochosos e pedras	40°	45°
Terra vegetal	30°	45°
Terra forte (areia e argila)	30°	45°
Argila	20°	40°
Pedregulho	30°	35°
Areia fina	20°	30°

Fonte: Adaptado de Rousselet (1986).

A angulação máxima deve ser respeitada para que o talude não ofereça riscos de acidentes.

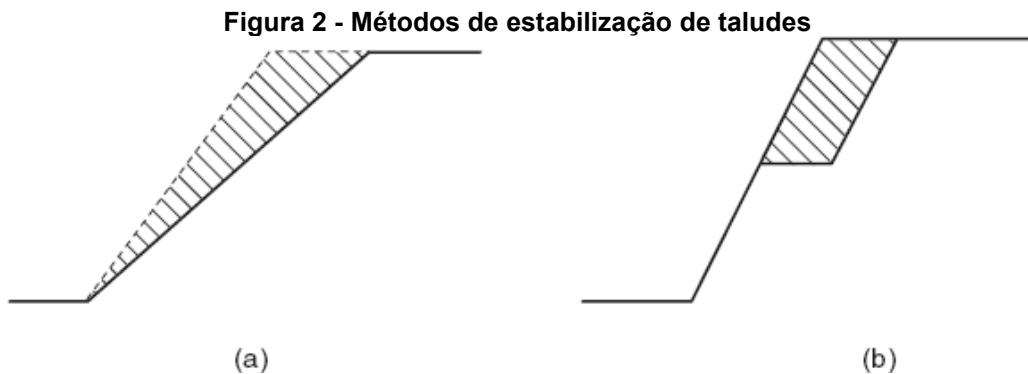
Carvalho (1991) refere-se aos principais fatores para problemas na estabilização de taludes a falta de conhecimento sobre as propriedades físicas, como tipo do solo, rocha, drenagem do local, vegetação, entre outros, falta de projetos específicos, deficiências construtivas e má conservação da estrutura.

Cardoso (2002) cita os seguintes motivos pelos quais os taludes podem apresentar instabilidade:

- Ângulo de inclinação maior que o máximo suportado ou alteração da geometria natural;
- Sobrecarga devida ao aumento de peso ou à presença de água infiltrada e sobrecargas vizinhas;
- Diminuição de resistência;
- Ocorrência de trepidações devidas a máquinas ou veículos.

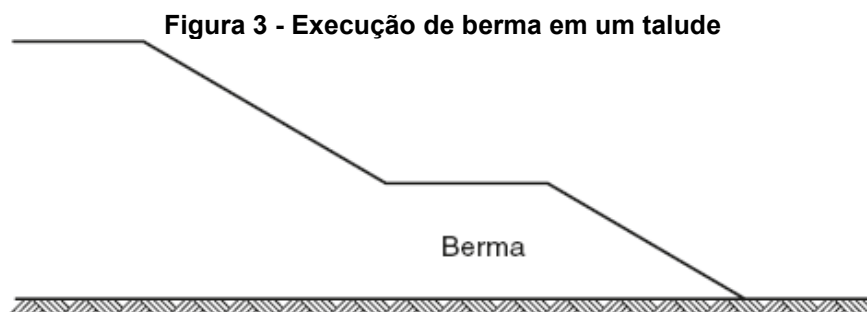
Podemos proteger um talude basicamente atuando em três aspectos: alterando sua inclinação, evitando que a água nele se infiltre e adicionando a ele um material que melhore suas características de resistência, além, é claro, de evitarmos a presença de vibrações e de sobrecargas (CARDOSO, 2002).

Caputo (2022) afirma que o método mais simples para a estabilização de um talude é suavizando seu ângulo de inclinação (como mostra a Figura 2 (a)) ou com a execução de patamares (como mostra a Figura 2 (b)), reduzindo seu peso.



Fonte – Caputo, 2022

Segundo Caputo (2022), outro meio de buscar a estabilização de um talude se dá pela execução de bermas, isto é, banquetas de terra, geralmente com o mesmo material, visando a redistribuição das tensões de cisalhamento, como mostra a Figura 3.

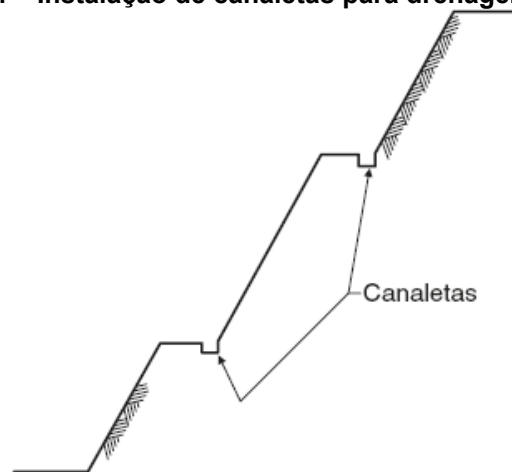


Fonte – Caputo, 2022

Cardoso (2002) também afirma que para evitar a infiltração de água no corpo do talude deve ser realizado um sistema de drenagem eficiente ou um revestimento com materiais impermeabilizantes, como o plantio de grama.

O sistema de drenagem pode ser superficial, com a instalação de canaletas para captação de água, como mostra a Figura 4, direcionando a água para um local adequado, como uma escada hidráulica, ou horizontal e vertical, com drenos subterrâneos que aliviam a pressão.

Figura 4 – Instalação de canaletas para drenagem em taludes.



Fonte – Adaptado de Caputo, 2022

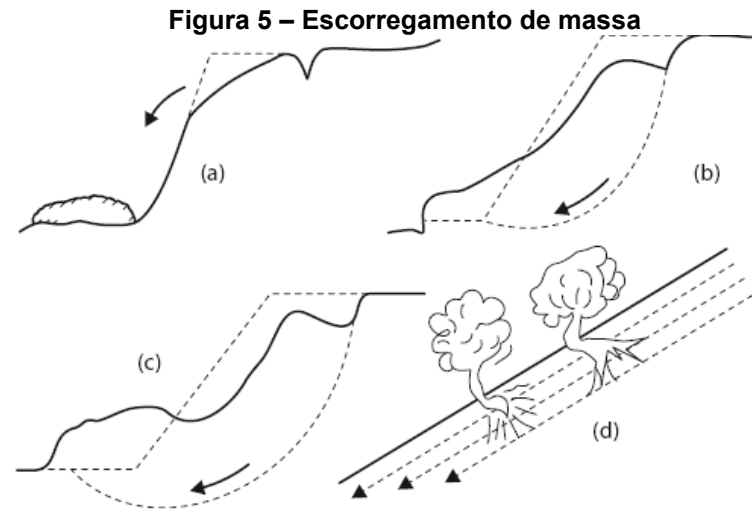
Além da permeabilidade, a compactação do solo em questão é um fator importante a se considerar.

O serviço de compactação é definido como o processo que se utiliza de equipamentos mecânicos visando o aumento da densidade do solo. Onde são reduzidos o índice de vazios aumentando assim a resistência ao cisalhamento. Este processo resulta diretamente na redução do recalque e permeabilidade do solo (MORAES et al., 2021).

Os movimentos de massa são causados por agentes, que, segundo Guidicini e Nieble (1984), são divididos em agentes predisponentes, que se tratam dos agentes naturais, como fatores geológicos, gravidade, calor solar, entre outros, e os agentes efetivos, os quais atuam diretamente na movimentação de massa, como uma chuva intensa, terremotos, a ação do homem, entre outros fatores.

Caputo (2022) classifica os movimentos como:

- Desprendimento de terra ou rocha: uma porção localizada do maciço que se desprende e cai livre e rapidamente;
- Escorregamento: é o deslocamento rápido de solo ou rocha, como mostra a Figura 5 a seguir, pode ser um escorregamento superficial ou profundo;



Fonte – Adaptado de Caputo, 2022

- Rastejo: se trata de um deslizamento lento de camadas superficiais, alcançando a velocidade em torno de 30cm por decênio.

2.2 Pneus como resíduos sólidos urbanos

Segundo Oliveira e Castro (2007) o manejo de resíduos sólidos urbanos é um dos problemas mais evidentes no Brasil, principalmente quando se trata de fatores ambientais. Esses impactos têm levado o governo e a sociedade a buscar alternativas que minimizem a degradação dos elementos naturais.

A Associação Brasileira de Empresas de Tratamento, Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais relata que anualmente no Brasil são gerados cerca de 2,9 milhões de toneladas de resíduos sólidos e desses, apenas 600 mil toneladas, ou seja, 22% recebem tratamento adequado. Dos rejeitos industriais tratados, 16% vão para aterros, 1% é incinerado e os 5% restantes são co-processados, ou seja, transformam-se, por meio de queima, em parte de matéria-prima para a fabricação de cimento (ABETRE, 2007).

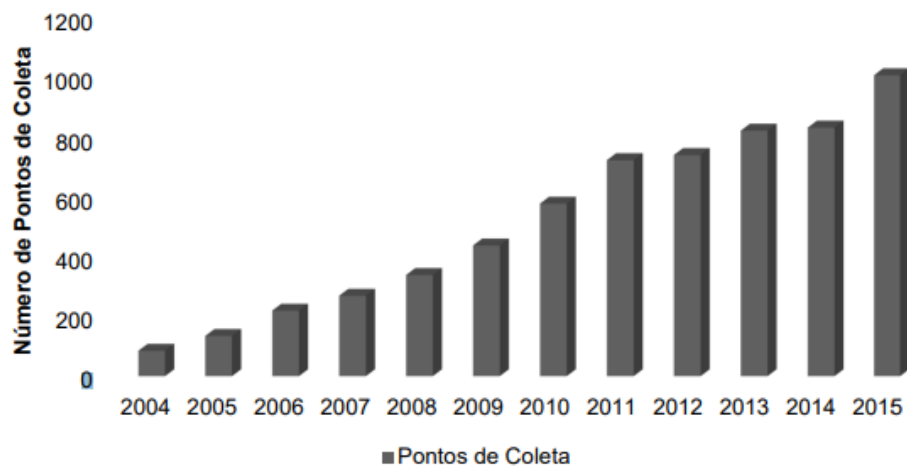
Souza (2002) cita que os pneus se tornam resíduos sólidos após a manutenção constante dos veículos após o desgaste, com aproximadamente 40.000 quilômetros rodados, variando com as características do veículo e do pneu, e a forma de condução nesse tempo. Andrietta (2002) mostra que o material que compõem os pneus não é biodegradável, levando aproximadamente 600 anos para se decompor.

Por apresentarem difícil compactação, coleta e eliminação, os pneus ocupam muito espaço físico. Os grandes depósitos ocupam áreas extensas e ficam sujeitos à queima acidental ou provocada, causando prejuízos na qualidade do ar devido à liberação de fumaça contendo alto teor de dióxido de enxofre entre outras substâncias tóxicas (OLIVEIRA e CASTRO, 2007).

Segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA no. 258/99 e 301/02, a partir de 2002 as legislações obrigam dar a destinação correta dos pneus inservíveis, sendo que para cada novo comercializado para o mercado, os fabricantes devem destinar um pneu a reciclagem correta. Ainda de acordo com a resolução os fabricantes devem declarar qual a destinação destes pneus.

Segundo REICLANIP (2016) o Brasil possui 1008 pontos de coleta de pneus distribuídos pelo país, sendo 91 no estado do Paraná. A Figura 6 mostra o crescimento do número de pontos de coleta de pneus inservíveis no Brasil.

Figura 6 - Crescimento do número de pontos de coleta de pneus inservíveis no Brasil



Fonte: Adaptado de Reciclanip, 2016

Uma alternativa para destinação dos pneus é sua aplicação em obras de engenharia civil como uma forma criativa de solução. Sieira (1998) afirma que o uso dos pneus no campo da geotecnia é uma alternativa que tem apresentado resultados

positivos para reforços de solos e capacidade de resistir a tensões com um custo baixo. Segundo o ambientalista Paul Hawken: “Reciclar um pneu salva 7 litros de petróleo e impede que 20 kg de CO₂ sejam liberados na atmosfera”.

Um muro de contenção de pneus utiliza pneus reciclados para conter a erosão do solo, estabilizar encostas e proteger taludes contra deslizamento de terra, considerado como um muro de gravidade, é uma alternativa sustentável pois reduz o acúmulo de pneus no meio ambiente.

O processo de construção geralmente envolve: a preparação do terreno; seleção e transporte dos pneus; escavação da base no local da construção; empilhamento dos pneus, de forma que fiquem justapostos e alinhados, estes podem ser fixados uns aos outros por meio de arames metálicos ou tiras de aço para aumentar a estabilidade; preenchimento dos pneus, com solo ou outros materiais adequados, como solo-cimento; compactação dos materiais de preenchimento dos pneus; e acabamento final, podendo ser realizada uma pintura ou revestimento, além do paisagismo com plantio de mudas adequadas para aumentar a resistência. A construção deste tipo de estrutura deve ser realizada por profissionais qualificados, e o projeto deve levar em consideração as condições do solo, tipo de terreno e cotas, e as normas técnicas de segurança e regulamentações ambientais.

Esta pode ser uma alternativa com custos reduzidos em relação a outras estruturas de contenção, são relativamente fáceis de construir e não utilizam um amplo espaço.

2.2.1 Reciclagem de pneus em Guarapuava

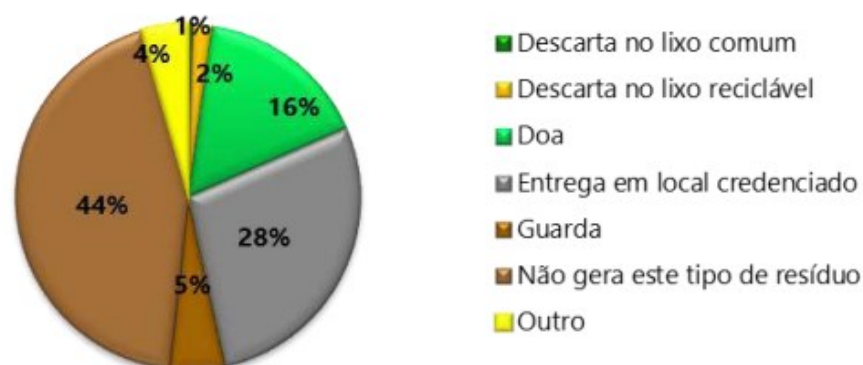
Uma empresa de reciclagem é a responsável por executar o Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis implantado pela Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP). Para os estados do sul do Brasil a operadora responsável pela coleta, tratamento e destinação adequada dos pneus inservíveis coletados garante o funcionamento do sistema de logística reversa deste setor. Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Guarapuava/PR (2020), na cidade o vínculo com esta empresa se dá por meio de uma empresa que atua na cadeia da reciclagem de pneus em Guarapuava há mais de 20 anos. O EcoPonto do município cobra uma pequena taxa pela coleta e recolhe todos os tipos de pneus.

O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Guarapuava/PR (2020) ainda afirma que a logística funciona por meio de um contrato de prestação de serviço entre as borracharias e a empresa, a qual é responsável pela coleta mensal e armazenamento provisório dos pneus inservíveis, após o armazenamento os pneus são enviados para o município de Araucária/PR, esse transporte é custeado pelo programa de coleta da empresa responsável.

De Araucária os pneus inservíveis são enviados para coprocessamento (processo de geração de energia em fornos de cimento), ou reaproveitamento no processo produtivo de outros produtos, como, por exemplo, asfalto (PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE GUARAPUAVA/PR, 2020).

De acordo com a empresa responsável, além da coleta em Guarapuava, também é realizada a coleta nos municípios próximos. Em Guarapuava a média mensal de pneus inservíveis coletados é de 50 toneladas para os meses mais quentes (primavera e verão) e 40 toneladas para os meses mais frios (outono e inverno) (PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE GUARAPUAVA/PR, 2020). A Figura 7 mostra o resultado da pesquisa online realizada para a população de Guarapuava/PR por uma empresa de engenharia em 2020, com o tema: "O que você faz com pneus usados?".

Figura 7 – Respostas para "O que você faz com pneus usados?" do questionário online enviado para a população de Guarapuava/PR



Fonte – EnvEx Engenharia e Consultoria (2020).

Segundo a pesquisa, que obteve 715 respostas, entre a opção "outro" as principais respostas foram:

- Decoração, uso em hortas ou artesanato.
- Deixa na loja, borracharia ou revendedora onde fez a troca.

2.3 Muros de contenção

As obras de contenção, ou de arrimo, são construções com finalidade de oferecer estabilidade para que não ocorram rupturas na terra ou rocha, sustentando esses maciços e impedindo que escorreguem por causa de seu peso ou de cargas externas. Mesmo que variem a geometria, os materiais utilizados e o processo de construção dessas obras, sua finalidade é a mesma (ROSSI e NASCIMENTO, 2016).

Ainda, segundo Rossi e Nascimento (2016), os muros de flexão têm formato de “L” e tem o aço como um material importante, construídos por concreto armado ou alvenaria estrutural, resiste muito mais à tração do que à compressão. Já os muros de gravidade geralmente apresentam volume muito elevado pois a estabilidade, perante o empuxo ativo do solo se dá através do seu peso próprio.

A escolha de qual técnica utilizar deve ser feita de acordo com análise de diversas variáveis, como (ROSSI e NASCIMENTO, 2016):

- a) Acesso ao local da obra;
- b) Conhecimento do solo e de rochas através de ensaios laboratoriais, e através das sondagens descobrir também o perfil do solo;
- c) Conhecer o escorregamento, podendo saber o tipo e o tamanho que possa ser ocorrido;
- d) Possuir conhecimento sobre o fator de segurança, estabilidade global da encosta, prever o colapso ou deslizamento através do fator de risco da segurança, não afetando em caso de desmoronamento as estruturas vizinhas, seja em edificações, rodovias, ou até mesmo outros modelos da construção civil;
- e) Fator técnico-financeiro, saber se existem condições financeiras para a estrutura, e também se o responsável tem conhecimento por ela;
- f) Não se podem deixar de lado também fatores como segurança do trabalho, e impactos ambientais provocados pela obra.

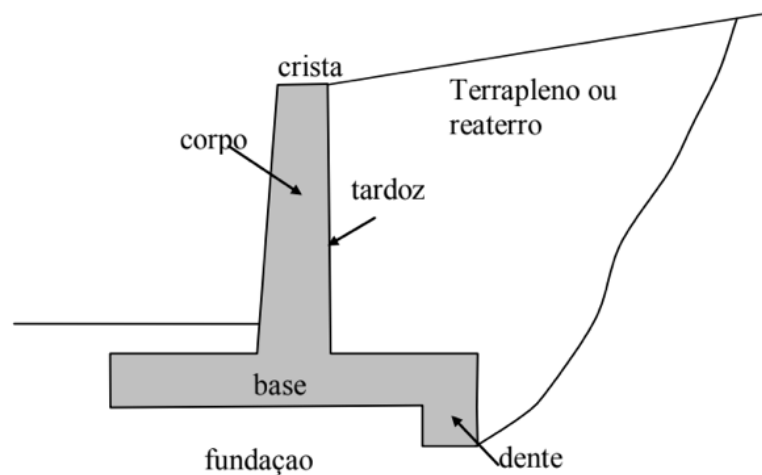
Segundo Caputo (2022) um muro de gravidade deve garantir as seguintes condições de estabilidade:

- Segurança contra o tombamento;
- Segurança contra o escorregamento;

- Segurança contra ruptura e deformação excessiva do terreno de fundação;
- Segurança contra ruptura do muro-solo.

“Os muros de arrimo podem ser de vários tipos: gravidade (construídos de alvenaria, concreto, gabiões ou pneus), de flexão (com ou sem contraforte) e com ou sem tirantes” (GERSCOVICH, 2010). A terminologia comum para as estruturas de contenção é mostrada na figura 8 a seguir.

Figura 8 - Terminologia muros de contenção



Fonte – Gerscovich (2010)

2.4 Cálculos de muro de contenção em pneus

Segundo Souza (2002), o comprimento da fileira da contenção de pneus com unidades distintas pode ser descrito pela seguinte equação 1:

$$C = \sum n_i \cdot D_{ei} \quad (1)$$

Onde:

C = comprimento da base;

n_i = número de pneus de cada tipo de pneu;

D_{ei} = diâmetro externo de cada tipo de pneu;

A largura do muro de contenção com unidades distintas de pneus pode ser descrita como:

$$L = R_1 + R_n + \left(\sqrt{\frac{3}{2}} \right) \cdot (R_1 + 2R_2 + 2R_3 + \dots + 2R_{n-1} + R_n) \quad (2)$$

Onde:

L = largura da base;

- R_1 = raio do primeiro pneu da base;
- R_2 = raio do segundo pneu da base;
- R_3 = raio do terceiro pneu da base;
- R_{n-1} = raio do penúltimo pneu da base;
- R_n = raio do último pneu da base;
- n_i = número de cada tipo de pneu.

2.4.1 Teoria de Coulomb

As equações utilizadas na teoria de Coulomb baseiam-se nas seguintes hipóteses (Clayton et al, 1993):

- a) a resistência ao cisalhamento do solo obedece à lei de Coulomb;
- b) a coesão efetiva é nula;
- c) há mobilização de atrito entre o solo e a estrutura;
- d) não há adesão entre o solo e a estrutura;
- e) a superfície do terreno é plana, podendo ser inclinada;
- f) o paramento da estrutura é plano, podendo ser inclinado;
- g) a superfície de ruptura é plana;
- h) não há sobrecarga na superfície do terreno;
- i) não há nível d'água no solo acima da fundação da estrutura.

O cálculo do empuxo ativo neste presente trabalho foi realizado pela teoria de Coulomb.

Segundo Souza (2002), considerando a altura H da estrutura, ângulo em relação a horizontal ε e o tardo da estrutura inclinado em um ângulo β , como mostra a figura 8, é possível calcular o empuxo ativo K_a e o peso W , fatores que determinam força E_a , dada pela equação 3, que suporta a cunha de solo, formando um ângulo δ com a normal ao tardo da estrutura.

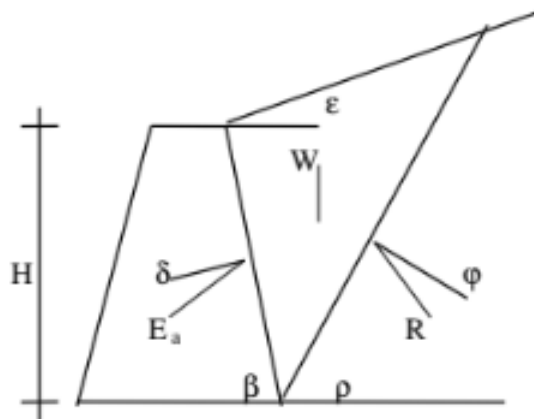
O ângulo δ depende do sentido do deslocamento da cunha do solo em relação à estrutura. δ é positivo quando o deslocamento desta cunha é descendente em relação à estrutura. δ é negativo quando o deslocamento da cunha é ascendente em relação à estrutura (SOUZA, 2002).

$$E_a = W \cdot \frac{\text{sen}(\rho - \varphi)}{\text{sen}(180^\circ - \beta - \theta + \varphi + \delta)} \quad (3)$$

A condição $\delta (+)$ é normalmente esperada em estruturas de contenção correntes, como muros de arrimo. No entanto, o contrário parece ser o caso do muro de pneus convencionais preenchidos com solo (Garga e Shaughnessy, 2000).

Souza (2002) afirma que o sentido da componente de deslocamento tangencial E_a é contrário ao seno de δ , conforme ilustrado na figura 9.

Figura 9 – Teoria de Coulomb: equilíbrio de forças no empuxo ativo



Fonte – Souza (2002)

Ao entrar em carga, um muro de arrimo experimenta um deslocamento horizontal que é acompanhado pela cunha de solo. No entanto, devido à geometria do problema, esta cunha é obrigada a se deslocar ao longo da superfície de ruptura, que é inclinada em relação à horizontal. O resultado é o surgimento de um deslocamento vertical com sentido descendente da cunha em relação à estrutura. No caso de muro de pneus, o sentido deste deslocamento relativo é invertido (GARGA E SHAUGHNESSY, 2000).

Souza (2002) cita que para determinar as incógnitas do problema é apresentado um sistema de 2 equações lineares, como mostram as equações 4 e 5 a seguir:

$$W = \gamma_{nat} \cdot \text{Área} \quad (4)$$

$$\text{Área} = \frac{H^2}{2\text{sen}^2 \beta} \cdot \frac{\text{sen}(\beta + \rho) \cdot \text{sen}(\beta + \varepsilon)}{\text{sen}(\rho - \varepsilon)} \quad (5)$$

É necessária uma equação adicional para solucionar este problema. Esta equação é obtida, calculando $\partial E_a / \partial \rho$ e determinando o valor crítico da incógnita ρ , simbolizado por θ_{crit} , que corresponde ao máximo E_a . Substituindo ρ_{crit} na equação de E_a , obtém-se novamente a conhecida equação (Souza, 2002):

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{nat} \cdot H^2 \cdot K_a \quad (6)$$

Onde K_a é o coeficiente de empuxo ativo, calculado como:

$$K_a = \text{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (7)$$

Como E_a é uma força inclinada em relação a horizontal, Souza (2002) apresenta os cálculos das componentes horizontais e verticais do empuxo ativo, nomeados por E_h e E_v , como mostram as seguintes equações:

$$E_h = E_a \cdot \cos(90^\circ - \beta + \delta) \quad (8)$$

$$E_v = E_a \cdot \text{sen}(90^\circ - \beta + \delta) \quad (9)$$

Rengel, Moura e Campos (2021) determinam o peso específico do solo e ângulo de atrito interno conforme o tipo de solo, mostrados no quadro 2 a seguir:

Quadro 2 - Ângulos de taludes naturais para diferentes tipos de solo

Tipo de solo	γ_s (kN/m ³)	φ' (graus)
Aterro compactado (silte areno-argiloso)	19 - 21	32 - 42
Solo residual maduro	17 - 21	30 - 38
Colúvio	15 - 20	27 - 35
Areia densa	18 - 21	35 - 40
Areia fofa	17 - 19	30 - 35
Pedregulho uniforme	18 - 21	40 - 47

Fonte: Adaptado de RENGEL, MOURA e CAMPOS (1921)

Além disso, Medeiros e al (1997) determinou o peso específico do material solo-pneu em um muro experimental à partir de ensaios em campo, sendo em torno de 15,5 kN/m³ para solos em pneus inteiros.

2.4.2 Roteiro de Cálculos

Souza (2002) também apresenta o roteiro de cálculos para realizar as verificações de segurança para a estrutura de contenção de pneus. O centro de gravidade é calculado segundo a equações 10 e 11.

$$XG = \frac{\sum Xi.Ai}{\sum Ai} \quad (10)$$

$$YG = \frac{\sum Yi.Ai}{\sum Ai} \quad (11)$$

onde:

xi = abcissa de cada elemento do muro;

yi = ordenada de cada elemento do muro;

Ai = a área de cada elemento do muro.

O cálculo do coeficiente do empuxo ativo é dado pela seguinte equação 12:

$$K_a = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (12)$$

onde:

φ = ângulo de atrito interno do solo.

O empuxo ativo e seus componentes na horizontal e vertical são calculados pelas seguintes equações:

$$E_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma_s \cdot H^2 \cdot K_a \quad (13)$$

onde:

γ_s = peso específico do solo;

H = altura da estrutura de contenção;

Ka = coeficiente do empuxo ativo.

$$E_h = E_a \cdot \cos(90^\circ - \beta + \delta) \quad (14)$$

$$E_v = E_a \cdot \operatorname{sen}(90^\circ - \beta + \delta) \quad (15)$$

onde:

E_a = empuxo ativo;

β = ângulo determinada pela reta que une os extremos internos da fundação e do topo do muro; e

δ = ângulo de atrito entre o solo-estrutura, adotado como negativo para este caso.

O cálculo do peso unitário do muro é dado pela seguinte equação 16:

$$W = \gamma_{sp} \cdot A_i \quad (16)$$

onde:

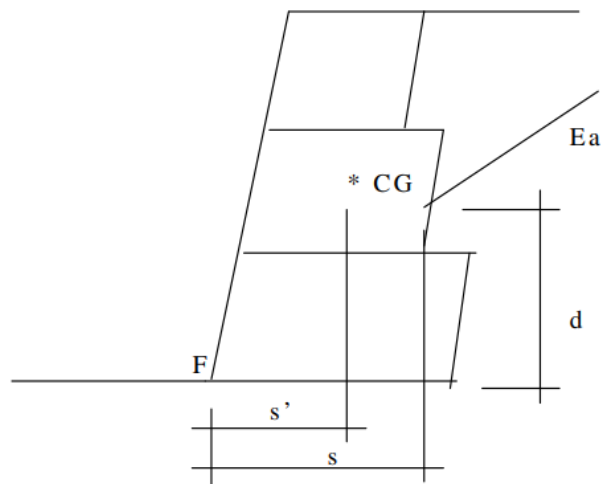
W = Peso unitário do muro;

A_i = Área; e

γ_{sp} = Peso específico do pneu com solo preenchido.

Souza (2002) também mostra no roteiro o cálculo geométrico da altura de aplicação do empuxo (d), distância à projeção na base do empuxo (s) e distância à projeção na base do centro de gravidade (s'), como é mostrado na figura 10. Estes elementos são calculados conforme equações 17, 18 e 19.

Figura 10 – Cálculos geométricos



Fonte – Souza (2002)

$$d = \left[\frac{H \cdot (H + 3hs)}{3 \cdot (H + 2hs)} \right] - B \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (17)$$

onde:

H = altura da estrutura de contenção;

hs = altura do aterro acima da estrutura de contenção;

B = comprimento da base;e

α = ângulo de inclinação do muro.

$$s = B \cdot \cos(\alpha) - \left[\frac{H \cdot (H + 3hs)}{3 \cdot (H + 2hs)} \right] \cdot \frac{1}{\text{tg}(\beta)} \quad (18)$$

onde:

H = altura da estrutura de contenção;

hs = altura do aterro acima da estrutura de contenção;

B = comprimento da base;e

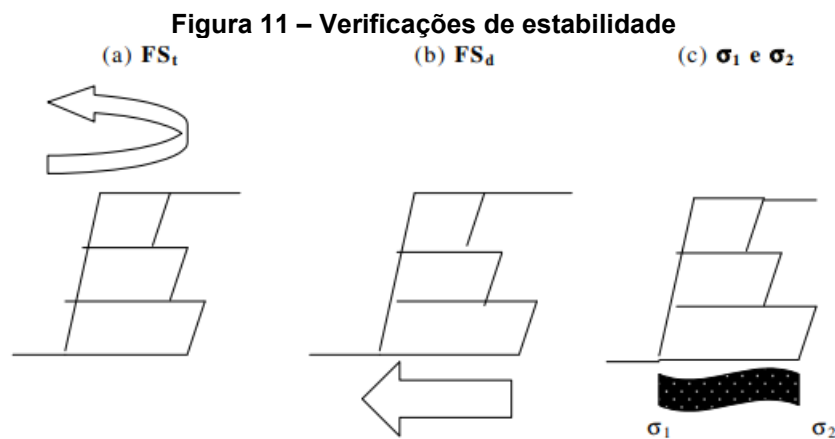
α = ângulo de inclinação do muro.

$$s' = XG \cdot \cos(\alpha) + YG \cdot \text{sen}(\alpha) \quad (19)$$

onde:

α = ângulo de inclinação do muro.

Para as verificações de segurança, segundo Souza (2002), devem ser analisadas os elementos quanto ao tombamento (FS_t), quanto ao deslocamento (FS_d) e quanto as tensões da base, como mostra a figura 11.



Fonte – Souza (2002)

- **Verificação quanto ao tombamento:**

$$FS_t = \frac{W \cdot s' + Ev \cdot s}{Eh \cdot d} \quad (20)$$

O qual deve ser maior que 1,5.

- **Verificação quanto ao deslocamento:**

$$FS_d = \frac{0,5[(W+Ev).\cos(\alpha)+Eh.\sen(\alpha)]+[(W+Ev) .\sen(\alpha)}{Eh.\cos(\alpha)} \quad (21)$$

O qual deve ser maior que 1,5.

- **Verificação quanto às tensões na base:**

$$\sigma_1 = \frac{N.(1+\frac{6e}{B})}{B} \quad (22)$$

$$\sigma_2 = \frac{N.(1-\frac{6e}{B})}{B} \quad (23)$$

onde:

N = resultante das forças normais;e

e = excentricidade da resultante.

Estas tensões devem ser menores que a tensão admissível na base, ou seja:

$$\sigma_1 < \sigma_{adm\ base} \quad (24)$$

e

$$\sigma_2 < \sigma_{adm\ base} \quad (25)$$

Para estas tensões a resultantes das forças normais pode ser calculada como:

$$N = (W + E_v) . \cos(\alpha) + E_h . \sen(\alpha) \quad (26)$$

onde:

W = Peso unitário do muro;

α = ângulo de inclinação do muro;

E_h = empuxo ativo horizontal;e

E_v = empuxo ativo vertical.

E a excentricidade da resultante como:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{(W.s'+Ev.s) - (Eh.d)}{N} \quad (27)$$

onde:

W = Peso unitário do muro;

B = Largura da seção;

N = resultante das forças normais;

E_h = empuxo ativo horizontal;e

E_v = empuxo ativo vertical.

2.5 Informações técnicas sobre pneus

Em um pneu existem várias marcações. Estas indicam: nome do fabricante, localizador dos indicadores de desgaste, largura dos pneus, série, indicador de construção interna, diâmetro interno, índice de carga, código de velocidade, modelo do pneu, tipo de montagem e a certificação do INMETRO (SOUZA, 2002).

Ainda, segundo Souza (2002), a nomenclatura adotada para os pneus inicia pela largura da banda de rodagem, seguida pela altura do flanco e medida do aro em polegadas. Como exemplo: 175/70 R13, que significa que a largura da banda de rodagem é de 175 mm, a altura do flanco é de 70% da largura e a medida do aro é 13 polegadas, ou seja, 330,2 mm.

Souza (2002) cita que o diâmetro externo é obtido pela seguinte equação 28, resultados apresentados no quadro 3 a seguir:

$$D_e = D_i + x.l \quad (28)$$

Onde:

D_e = diâmetro externo;

D_i = diâmetro interno;

$x = 1,4$ para pneus /70 e $1,3$ para pneus /65;

l = largura de rodagem do pneu.

Quadro 3 - Dimensões dos pneus

Tipo	Diâmetro externo (cm)	Diâmetro interno (cm)	Largura (cm)
165/70 R13	56,12	33,02	16,50
175/70 R13	57,52	33,02	17,50
185/70 R13	58,92	33,02	18,50
175/65 R14	58,31	35,56	17,50
185/65 R14	59,61	35,56	18,50
195/65 R15	63,45	38,10	19,50

Fonte: Adaptado de Souza (2002).

3 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta um estudo de caso sobre uma obra executada na cidade de Guarapuava – Paraná, onde a solução escolhida para contenção de erosões em um talude de aterro foi o muro de pneus reciclados preenchidos com o solo do próprio talude, apresentando o local da obra, descrição da técnica construtiva, verificações de segurança e seu custo.

3.1 Local do estudo

O local da obra se trata de um loteamento residencial na área urbana da cidade de Guarapuava/PR, onde foi realizado o aterro para atingir a cota necessária para a construção do pavimento, formando taludes ao redor. Segundo relatos dos funcionários, na construção deste aterro não foram respeitadas as alturas das camadas para compactação necessária, e diversos materiais orgânicos foram colocados no local, comprometendo a estabilidade. Como consequência, houve o aparecimento de rachaduras na crista do talude (como mostram as fotografias 1 e 2), comprometendo a construção das calçadas para pedestres, que ficaria no topo deste talude.

Para a construção de uma contenção que oferecesse estabilidade ao talude foram realizadas análises de custos e executivas. A principal dificuldade seria o acesso de maquinários para construção, e o espaço, pois o pé do talude fica em uma área de preservação ambiental.

Fotografia 1 - Rachaduras na crista do talude de aterro em Guarapuava/PR



Fonte –Autoria própria (2022)

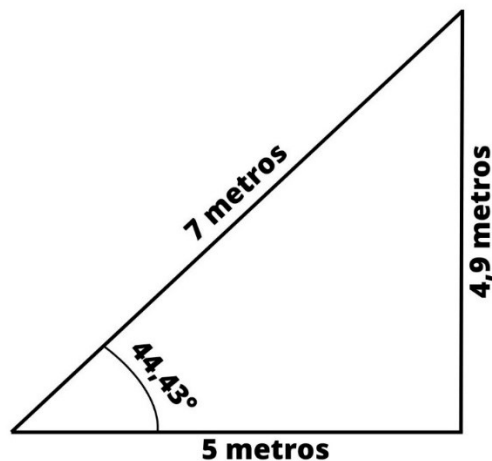
Fotografia 2 – Rachaduras na crista do talude de aterro em Guarapuava/PR



Fonte –Autoria própria (2022)

As dimensões do talude são de 27 metros de comprimento e 4,90 metros de altura, possuindo uma inclinação de $44,43^\circ$, conforme medição no local, como mostra a figura 12 a seguir.

Figura 12 – Dimensões do Talude



Fonte –Autoria própria

3.2 Obtenção dos pneus

Após a análise do solo e do local em que o talude está inserido, foi escolhida a alternativa do muro de contenção com pneus reciclados. Para a obtenção dos pneus foram contatadas diversas borracharias, onde foram coletados os pneus que sobravam e que iriam para a destinação correta. Ao final os pneus foram pegos de dois fornecedores.

A primeira borracharia forneceu pneus sem custo, assim a construtora teve apenas o custo de transporte, que foi realizado com um caminhão já locado mensalmente para a obra. Funcionários dessa borracharia em entrevista relataram que em torno de 30 pneus mensais são enviados para a empresa que faz a coleta e os envia para a destinação correta.

O segundo local em que foram coletados os pneus foi a própria borracharia que faz a coleta com as demais e manda os pneus para reciclagem, a qual vendeu a R\$ 3,00 a unidade, sem incluir o transporte, que foi realizado da mesma forma que na primeira borracharia.

As especificações e tipos de cada pneu estão descritas no quadro 4 a seguir.

Quadro 4 - Porcentagem de amostra que passa por cada peneira

Informações Pneus Coletados		
Tipo do veículo	Total Coletado	Modelos
Carro	71	175/60R13 77T
Camionete	109	275/80R22
Caminhão	246	275/55R20

Fonte – Autoria própria

Ao todo foram coletadas 426 unidades de pneus.

3.3 Verificações de segurança

Para o cálculo das verificações de segurança da estrutura já construída foram apresentados os dados iniciais descritos a seguir:

3.3.1 Dados do muro

- Extensão da estrutura de contenção: 26 metros;
- Altura do muro (H): 3,1 metros;
- Altura da sobrecarga (hs): 1,8 metros;
- Inclinação do muro (α): 44,43°;
- Inclinação do talude (ϵ): 35°;

- Ângulo de tardo de da estrutura (β): 44,43°
- Peso específico do solo-pneu para pneus inteiros, segundo Medeiros et al (1997), (γ_{SP}): 15,5 kN/m³.

3.3.2 Dados do terreno

Para obtenção dos dados de peso específico do solo e ângulo de atrito interno do solo foi realizado um ensaio de granulometria com amostras retiradas no local do estudo, por meio do Peneirador modelo I-1016-A. Os dados obtidos no ensaio estão descritos no quadro 5 a seguir.

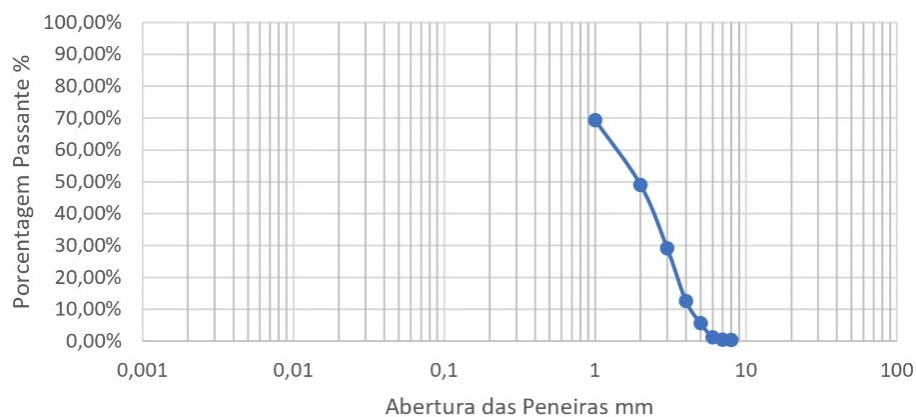
Quadro 5 - Amostras retidas em cada peneira

Peneira	Peso retido (g)	Porcentagem do peso retido em relação a amostra total
4,75mm	153,2815	30,66%
2,36mm	101,4378	20,29%
1,18mm	99,0735	19,81%
600 μ m	83,1238	16,62%
300 μ m	34,8743	6,97%
150 μ m	21,8082	4,36%
75 μ m	3,8172	0,76%
Fundo	0,5017	0,10%

Fonte – Autoria própria

Com as massas retidas em cada peneira é possível obter a curva granulométrica do solo estudado, mostrada na figura 13.

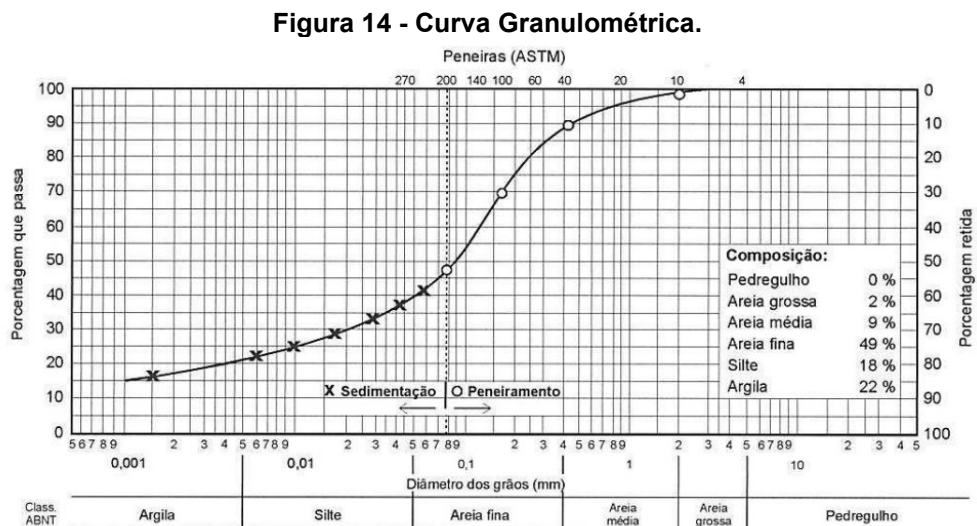
Figura 13 – Gráfico da Curva Granulométrica



Fonte – Autoria própria.

Segundo a análise da curva granulométrica de Sousa Pinto (2006), mostrada na figura 14, o solo em questão se classifica como Pedregulho. Utilizando a tabela proposta por Rengel, Moura e Campos (2021), os valores para peso específico do solo e ângulo de atrito interno do solo para este tipo são:

- Peso específico do solo (γ_s): 19 kN/m³
- Ângulo de atrito interno do solo (ϕ'): 45°
- Ângulo de atrito interno solo-muro, considerado como -50% de ϕ' , valor proposto por sugestão de Garga e Shaughnessy (2000): -22,5°

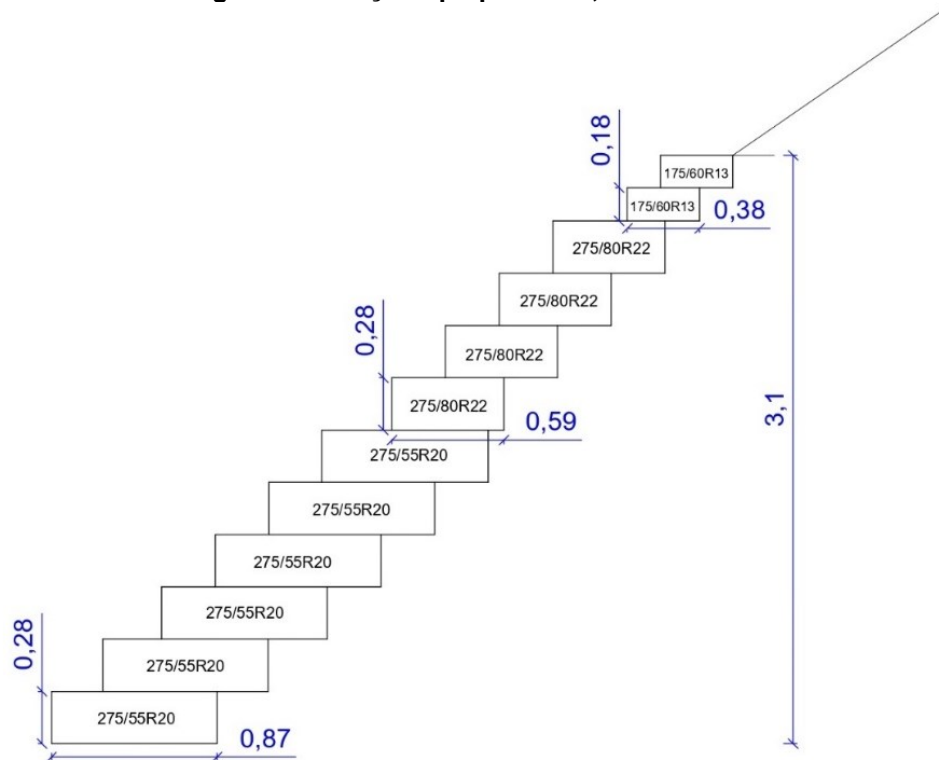


Fonte – Sousa Pinto, 2006

3.3.3 Seção adotada

O projeto de seções foi estimado agrupando os pneus de mesmas dimensões de acordo com análise em campo e considerando que foram distribuídos uniformemente ao longo das fileiras.

Figura 15 – Seção tipo para H=3,1 metros



Fonte – Autoria própria

3.3.4 Cálculo da largura da base

a) Cálculo da largura da base (L), que corresponde a medida do diâmetro externo (De) dos pneus 275/55R20 que à constituem, conforme equação 28:

$$L = De = 0,87 \text{ metros}$$

3.3.5 Verificação de estabilidade para a seção analisada

b) Cálculo das coordenadas do centro de gravidade (XG e YG), conforme equações 10 e 11:

$$XG = 0,38 \text{ m} \quad YG = 0,71 \text{ m}$$

c) Cálculo do coeficiente de empuxo ativo (Ka), conforme equação 12:

$$Ka = 0,17$$

d) Cálculo do empuxo ativo (Ea), conforme equação 13:

$$Ea = 15,5 \text{ kN/m}$$

- e) Cálculo do empuxo ativo horizontal (E_h), conforme equação 14:

$$E_h = 15,2 \text{ kN/m}$$

- f) Cálculo do empuxo ativo vertical (E_v), conforme equação 15:

$$E_v = 3,4 \text{ kN/m}$$

- g) Cálculo do peso do muro (W), conforme equação 16:

$$W = 34,41 \text{ kN/m}$$

- h) Cálculo da distância de aplicação do empuxo no ponto de cálculo (d), conforme equação 17:

$$d = 0,69 \text{ m}$$

- i) Cálculo da distância de projeção do empuxo na base ao ponto (s), conforme equação 18:

$$s = 0,73 \text{ m}$$

- j) Cálculo da distância de projeção do centro de gravidade ao ponto (s'), conforme equação 19:

$$s' = 0,77 \text{ m}$$

- k) Cálculo do fator de segurança ao deslocamento (FS_d), conforme equação 21:

$$FD_d = 4,30 > 1,5$$

- l) Cálculo do fator de segurança ao tombamento (FS_t), conforme equação 20:

$$FD_t = 2,30 > 1,5$$

- m) Cálculo das tensões na base do muro (σ_1 e σ_2), conforme equações 22 e 23:

Será adotada a tensão máxima admissível (σ_{adm}) sendo de 150kPa.

$$\sigma_1 = 62,92 \text{ kPa} < 150 \text{ kPa}$$

$$\sigma_2 = 23,19 \text{ kPa} < 150 \text{ kPa}$$

Sendo a excentricidade da resultante (e), conforme equação 27:

$$e = 0,07$$

E resultante das forças normais (N), conforme equação 26:

$$N = 37,26 \text{ kN/m}$$

3.4 Técnica construtiva

Para execução o primeiro passo foi a realização da limpeza e nivelamento do terreno manualmente, para isto surgiu a primeira dificuldade da obra, que foi encontrar mão de obra que executasse a contenção em um tempo curto e com um custo acessível. Após contratação da equipe de mão de obra, foram comprados arames para amarração, ao todo foram utilizados 10 rolos de 1kg de arame Zincado com 1,65mm de espessura para amarração, como mostra a fotografia 4.

A montagem iniciou pela base da contenção na parte mais baixa do talude em que a equipe conseguiria chegar sem invadir a Área de preservação ambiental, como mostra a fotografia 3, subindo até a crista do talude. Após a montagem de cada fileira horizontal de pneus a equipe preencheu as unidades com solo e compactou com o Compactador manual.

Fotografia 3 - Início da execução da contenção de pneus



Fonte – Autoria própria (2022)

Fotografia 4 - Amarrações dos pneus com arame zincado de 1,65mm



Fonte – Autoria própria (2022)

As fileiras de pneus foram posicionadas intercaladas com a anterior para aumentar a sustentação. A estrutura pronta pode ser observada na fotografia 5, levou em torno de 15 dias para ser finalizada.

Fotografia 5 - Estrutura de contenção de pneus finalizada



Fonte – Autoria própria (2023)

3.5 Custos

O custo da realização desta obra de contenção está descrito no quadro 6 a seguir.

Quadro 6 - Custo total contenção de Pneus

Data base: 11/2022				
DESCRIÇÃO	UND	QUANT.	CUSTO	PREÇO TOTAL
Rolo de 1Kg de Arame Zincado com 1,65mm	und	18	R\$ 32,90	R\$ 592,20
Pneus	und	120	R\$ 3,00	R\$ 360,00
Mão de obra com equipamentos	vb	1	R\$ 42.000,00	R\$ 42.000,00
Transporte - Caçamba caminhão com diesel	diária	3	R\$ 750,00	R\$ 2.250,00
R\$				45.202,20

Fonte – Autoria própria

O custo total da execução desta contenção foi de R\$ 45.202,20, o que foi um custo mais baixo em comparação com outros orçamentos realizados antes da execução, como por exemplo um muro de contenção de gabião.

4 CONCLUSÃO

A pesquisa bibliográfica mostrou que o reaproveitamento dos pneus tem ganhado força, com novas legislações sobre o assunto e o aparecimento de alternativas inovadoras para seus pós uso, ao longo dos anos, levando em consideração a preservação de recursos naturais, a redução do impacto ambiental, além dos benefícios econômicos.

Na cidade de Guarapuava – Paraná esse material é recolhido nas borracharias por uma empresa responsável e destinado ao local correto para possível reciclagem e reutilização, como na fabricação de pavimentos.

Além disso, a técnica de estrutura de contenções utilizando pneus apresenta-se como uma alternativa viável para o aproveitamento desse material na região, pois as borracharias foram acessíveis ao fornecer os pneus e a estrutura apresentou uma mão de obra simples e poucos materiais de apoio, além de durável. Apesar da eficácia, ainda há pouca experiência com este tipo de contenção, a qual pode ser uma alternativa de baixo custo de materiais e prazo para aplicação, o que implica na dificuldade para encontrar mão de obra que executasse a contenção em um tempo curto, resultando em um custo significativo para mão de obra.

Ademais, com a execução desta contenção, 426 pneus receberam uma destinação alternativa mais sustentável para seu uso, pois impediram a liberação de aproximadamente 8.520kg de CO₂ na atmosfera e geração de 2.982 litros de petróleo, caso recebessem a destinação incorreta, como em aterros sanitários ou expostos ao ambiente. Em relação a segurança, a estrutura analisada apresentou resultados eficientes quanto sua resistência ao tombamento, deslocamento e sobre as tensões aplicadas na sua base.

REFERÊNCIAS

- ABETRE Associação Brasileira de Empresas de Tratamento, **Recuperação e Disposição de Resíduos Especiais**. Disponível em:
http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./residuos/index.php3&cont_eudo=./residuos/lixo.html. Acesso: 13 mai. 2023.
- ANDRIETTA, A. J. **Pneus e meio ambiente: um grande problema requer uma grande solução**. Out. 2002. Disponível em:
<http://www.reciclarepreciso.hpg.ig.com.br/recipientes.htm>. Acesso: 13 jun. 2023.
- ANIP **Associação Nacional de Indústrias de Pneumáticos**. Disponível em:
<http://anip.com.br>. Acesso: 13 jun. 2023.
- CAPUTO, Homero P.; CAPUTO, Armando N. **Mecânica dos Solos: Obras de Terra e Fundações**. Grupo GEN, 2022. *E-book*. ISBN 9788521638018. Disponível em:
<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521638018/>. Acesso em: 05 jun. 2023.
- CARDOSO, F. F. **Sistemas de Contenção**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.
- CARVALHO, P A S et al. **Manual de geotecnia: taludes de rodovias ; orientação para diagnóstico e solucoes de seus problemas**. . São Paulo: Ipt. . Acesso em: 05 jun. 2023. , 1991
- CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução CONAMA no. 258, de 26 de agosto de 1999. Resoluções. Disponível em <http://www.mma.gov.br>. Acesso em 13 Jun. 2023.
- GARGA, V. K.;O'SHAUGHNESSY, V. **Tire-reinforced earthfill.Part 1: Construction of a test fill, performance, and retaining wall design**. Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, v.37, p.75-96, 2000.
- GERSCOVICH, D.M.S., **Estruturas de Contenção: Muros de Arrimo** 1 ed. Rio de Janeiro: Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2010.

GUIDICINI, Guido; NIEBLE, Carlos M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

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

MACEDO, Eduardo Soares de; SANDRE, Lucas Henrique. Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v.12, n.1, p.110-117, 2022.

MARTINI, Rodrigo Sampaio Vianna. **Estudo da reutilização de materiais reciclados em obras de construção civil**. 2012. 1 CD-ROM. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/119852>>.

MICHELIN PNEUS. **Manual do Proprietário**. Curitiba, 1999.

MORAES, Carlos Eduardo; RODRIGUES, Pedro Henrique Ferreira; RAMOS, Ana Flávia Cruz. **Controle tecnológico aplicado em serviços de terraplanagem e identificação de patologias provenientes de erros de execução**. 2021.

OLIVEIRA, O. J., CASTRO, R.de., “**Estudo da destinação e da reciclagem de pneus inservíveis no Brasil**”, In: *XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, 239-57, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 09 a 11 de outubro de 2007.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 363 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARAPUAVA. EnvEx Engenharia e Consultoria. **PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE GUARAPUAVA/PR**, 2020. Disponível em: https://www.guarapuava.pr.gov.br/wp-content/uploads/2020/12/PRODUTO-04_VERSAO_PRELIMINAR_PMGIRS_REVISADO-2.pdf . Acesso em: 13/06/2023.

RECICLANIP, **Evolução dos Pontos de Coleta**. Disponível em <<http://www.reciclanip.org.br/v3/pontos/evolucao>> acesso em 13/06/23 às 18:34.

RENGEL, Anderson; MOURA, Maicon Oenning; CAMPOS, Msc. Guilherme de Luca. **DETERMINAÇÃO DE ÂNGULO LIMITE MÉDIO PARA INTERVENÇÕES EM ESCAVAÇÕES DE OBRAS NA REGIÃO DO CENTRO/NORTE DE JOINVILLE-SC.**

Orientador: Guilherme de Luca Campos. 2021. 30 p. Trabalho de conclusão de Curso (Bacharelado de Engenharia Civil) - Centro Universitário UNISOCIESC, Joinville - SC, 2021.

ROUSSELET, E. D. S.; FALCÃO, C. **A Segurança na Obra.** Rio de Janeiro: SICCMRJ/SENAI/CBIC, 1986.

ROSSI, MF; DO NASCIMENTO, AR **ANÁLISE COMPARATIVA EM MUROS DE CONTENÇÃO EM TERRENOS ACIDENTADOS.** *Revista Uningá*, [S. l.], v. 28, n. 3, 2016. Disponível em:

<https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/1899>. Acesso em: 15 jun. 2023.

SIEIRA, A.C.C.F. **Análise do comportamento de um muro de contenção utilizando pneus.** Rio De Janeiro, 1998. 110p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

SILVA, Arthur Nathanael Monteiro de. **Avaliação do ensaio de granulometria em diferentes meios aquosos.** 2022.

SOUZA, Antonio Nerton de. **MURO DE CONTENÇÃO UTILIZANDO PNEUS: análise e alguns comparativos de custos.** 2002. 121 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia, Ênfase Geotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.