



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE TEÓFILO OTONI
CURSO: ENGENHARIA CIVIL

ALEX SANDRO SOUZA ALVES
CAMILA RAMOS DE JESUS

RELAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO DO USO DE PNEUS NA CONTENÇÃO DE
TALUDES

TEÓFILO OTONI
2019

Alex Sandro Souza Alves
Camila Ramos de Jesus

**RELAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO DO USO DE PNEUS NA CONTENÇÃO DE
TALUDES**

Artigo científico apresentado à Faculdade
Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni,
como requisito parcial de conclusão do curso
de Engenharia Civil.
Orientado por: MSc Hamilton Costa Júnior

Aprovado em __/__/__

BANCA EXAMINADORA

Hamilton Costa Júnior
Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni

Guilherme Taroni Lauer
Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni

Danilo Carvalho Miranda
Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni

RELAÇÃO CUSTO BENEFÍCIO DO USO DE PNEUS NA CONTENÇÃO DE TALUDES

Alex Sandro Souza Alves*, Camila Ramos de Jesus*, Hamilton Costa Junior**

RESUMO

No Brasil, o descarte inadequado de pneus pode tornar-se um problema de saúde pública, ao mesmo tempo em que a ocupação de áreas de forma desordenada desencadeia a movimentação de taludes que pode causar acidentes de grandes proporções. Este estudo objetiva-se em explorar a viabilidade de utilização de pneus inservíveis na contenção de taludes, a fim de executar um projeto de muro de contenção e levantar a discussão sobre a utilização deste método para solucionar os problemas do descarte inadequado de pneus e, das movimentações indesejadas dos taludes. Os pneus podem perfeitamente substituir os materiais esgotáveis, reduzindo o desequilíbrio ambiental causado na sua exploração, assim como reduzir os custos na construção destas obras e o desperdício dos pneus. O presente trabalho trata-se de uma pesquisa de caráter quantitativo e descritivo, através de estudo de caso baseado em pesquisas de campo, como também, levantamentos em livros, monografias, artigos científicos e fontes eletrônicas acerca do tema.

Palavras- chave: Pneus. Taludes. Meio ambiente.

COST BENEFIT OF TIRE USE IN CONTAINING TALUDES

ABSTRACT

In Brazil, improper disposal of tires can become a public health problem. The movement of slopes can cause major accidents. This study aims to explore the feasibility of using unusable tires in slope containment in order to carry out a retaining wall project and to discuss the use of this method to solve the problems of improper tire disposal and unwanted movements of slopes. Tires can perfectly replace depleting materials, reducing the environmental imbalance caused by unbridled exploitation of natural resources, as well as the improper tire disposal and construction costs. The present work is a quantitative and descriptive research, through a case study based on field research, as well as surveys on books, monographs, scientific articles and electronic sources on the subject.

KEYWORDS: Tires. Slopes. Environment.

*Acadêmicos do 10º período do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni/MG. E-mails: alexsandrosouza1000@hotmail.com / camilacatuji@hotmail.com.

** Engenheiro Civil, MBA em Gerenciamento de Projetos, MSc. em Tecnologia, Professor do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni. E-mail: hamilton.engenharia@gmail.com.

1. INTRODUÇÃO

O descarte incorreto de pneus chamados de inservíveis compromete não só o meio ambiente, como também, a saúde humana, pelo fato de, contribuir para a proliferação de insetos, tais como o *Aedes Aegypti*, vetor de vírus que se tornaram um problema de saúde pública para o Brasil nos últimos anos.

Medeiros (2000) conclui que o uso de pneus na construção de muros de arrimo é favorável do ponto de vista mecânico da contenção, de forma que a estrutura possui flexibilidade suficiente para manter as deformações em nível compatível com obras civis.

Em diversas situações na construção civil, não se dispõe de espaço suficiente para fazer uma mudança gradual entre os níveis do terreno. Dessa maneira, os taludes, caracterizados como quaisquer inclinações que limitam um maciço de terra, de rocha ou de terra e rocha, são uma solução para este impasse, mas em alguns casos, estes podem ser inclinados ou altos o bastante a ponto de comprometer a estabilidade em longo prazo.

A finalidade deste estudo é abordar a possibilidade de reutilização de pneus na contenção de taludes, visando à preservação do meio ambiente, visto que o tema tem como principal justificativa a manutenção ambiental e o baixo custo da utilização de materiais reciclados em obras da construção civil. Assim sendo, esta pesquisa possui caráter quantitativo e descritivo, com objetivo de realizar um projeto de contenção de taludes, utilizando pneus inservíveis, com enfoque na viabilidade financeira, preservação ambiental e contribuição para o crescimento da construção civil de forma segura e sustentável.

2. DESCARTE DE PNEUS INSERVÍVEIS NO BRASIL

Pneus usados são resíduos urbanos, produzidos e descartados em grandes quantidades, particularmente em regiões densamente ocupadas. Não são biodegradáveis e, em função de sua composição, formato e resistência à compactação, ocupam extensas áreas de depósitos. Segundo organizações internacionais, em todo o mundo, são produzidos anualmente cerca de 800 milhões de pneus, sendo que 32 milhões deste montante são produzidos pelo Brasil. No município do Rio de Janeiro, calcula-se que 4 milhões de pneus usados são descartados anualmente (MOUSINHO, 1997).

Ao redor do mundo vários estudos vêm sendo feitos procurando alternativas de reaproveitamento dos pneus na área de construção. Em 1998 a American Society for Testing and Material (ASTM) aprovou o uso de pneus inservíveis inteiros ou triturados para a construção de rodovias, como um método de substituição dos materiais convencionais.

Pneus usados, inteiros ou processados, têm sido cada vez mais implantados em obras de engenharia. Eles podem ser utilizados em obras de contenção de muros de gravidade, defensas marítimas, proteção de taludes, encontro de pontes, proteção de encostas (LONG 1990; SCHLOSSER, 1994). Mais especificamente no campo da geotecnia, vem sendo executados estudos para promover reforços de solo com materiais capazes de suportar tensões tratativas com menor custo (SIEIRA, 1998).

Algumas estimativas indicam que são gerados 35 milhões de carcaças de pneus anualmente (FIORI, 1998) e que existem mais de 100 milhões de pneus abandonados em todo o País (SATO, 1999). Foi então evidenciada a necessidade de estratégias de destinação deste material.

O volume e a forma do pneu não permitem a sua compactação, dificultando e encarecendo o transporte e o armazenamento do mesmo. Além disso, sua composição é baseada em materiais que podem levar cerca de 600 anos para se decompor completamente. Estas características tornam inadequada a destinação de pneus usados em depósitos de lixo e aterros sanitários. Faz-se necessário buscar alternativas que permitam a reinserção do pneu usado em algum ciclo produtivo, visando à redução do consumo de matérias-primas e a minimização dos impactos ambientais de um descarte inadequado. (NOHARA, pg 23, 2006)

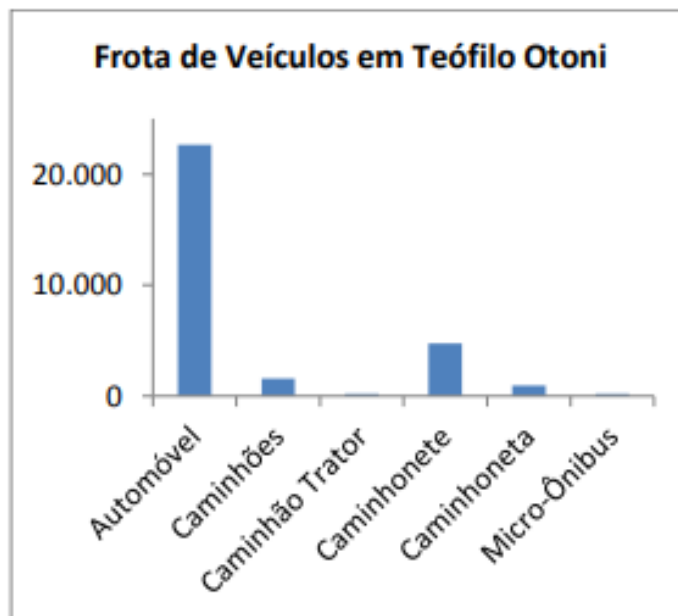
É notável o avanço mundial da legislação que regulamenta a coleta e a destinação de pneus inservíveis, incentivando o surgimento de iniciativas de gerenciamento da cadeia logística reversa de pneus inservíveis. Segundo a European Tyre & Rubber Manufacturers' Association (ETRMA, 2007), a responsabilidade de gerir essa cadeia pode ser atribuída ao produtor, ao governo ou ao mercado livre, conforme a estrutura definida em cada país ou região.

De acordo a FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente), no Brasil a Empresa de Logística Reversa (Reciclanip) é a principal iniciativa para destinação de pneus inservíveis e conta com 1.053 pontos de coleta em diversos municípios brasileiros. Em Minas Gerais, em 2018, foram coletados aproximadamente 14 mil toneladas de pneus inservíveis de carros de passeio e encaminhados para empresas credenciadas que fazem o reaproveitamento.

Segundo a ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos), em 2016, a produção de pneus no Brasil chegou a 67.870,35 milhares de unidade, uma queda de cerca de 1,5 % em comparação ao ano anterior. No entanto, segundo especialistas da própria ANIP, o consumo ainda é elevado, pelo fato de haver uma movimentação financeira aproximada de três bilhões de dólares.

O município de Teófilo Otoni, localizado no Nordeste Mineiro, possui uma população estimada em 141.502 mil habitantes, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2017), apresentando uma frota de veículos automotores de aproximadamente 51.103 mil veículos (SINDIPNEUS, 2017). A Figura 1 apresenta a distribuição desta frota.

Figura 1. Frota de veículos de Teófilo Otoni/MG.



Fonte: Salomão et al, 2017.

Esta frota tem capacidade de gerar um consumo e descarte anual de mais de cem mil pneus que tem variados tipos de descartes.

Grandes empresas da região fazem o descarte correto, enviando para o município de Betim/MG, região metropolitana de Belo Horizonte/MG, sendo os mesmos reutilizados em diversas finalidades, dentre elas a produção de asfalto ecológico (SINDIPNEUS, 2017).

Apesar do descarte correto, feito pelas grandes empresas, não se pode dizer o mesmo das pessoas físicas que possuem automóveis, que é a maioria dos consumidores de pneus, e devido à inexistência de um plano de gestão de resíduos sólidos do município e falta de conhecimento acabam por fazer o descarte de qualquer forma.

Desde o ano de 2002, é necessário que empresas ligadas ao ramo de pneus comprovem a destinação adequada dos mesmos para o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Essa iniciava visa fiscalizar e proibir o descarte em áreas ao ar livre, terrenos passíveis de alagamento, mares, rios, lagos assim como, também, a sua queima em áreas livres.

3. CONTENÇÃO DE TALUDES COM PNEUS

Talude é um plano de terreno inclinado que limita um aterro e tem como função garantir a sua estabilidade, podendo ser resultado de uma escavação ou de origem natural (CAPUTO, 1988). A construção civil tem papel fundamental para o desenvolvimento das cidades, sendo a insuficiência dos recursos naturais uma situação preocupante, que afeta diretamente os seres humanos.

Muitos estudos estão sendo feitos procurando alternativas de reuso de materiais inservíveis na construção civil como, por exemplo, os pneus. O uso de pneus inservíveis, evita a contaminação do meio ambiente, não afeta a saúde pública. O pneu possui baixa liberação de carbono, elevada massa térmica, baixo custo, além de ser forte e flexível (KAMIMURA, 2002).

Antes de elaborar o projeto de contenção, o engenheiro deve estar atento a variáveis que devem ser consideradas, como o grau de estabilidade necessário, por quanto tempo o talude deverá se manter estável, qual a relevância do custo do projeto, ou seja, qual o capital disponível para a execução do projeto, bem como quais as técnicas de contenção são aplicáveis no caso em questão. (GERSCOVICH, 2009).

Neste sentido, podemos ressaltar que o uso de pneus inservíveis tem se tornado uma medida de prevenção para a diminuição de problemas causados por construções irregulares, implantadas em locais inadequados, sem observação das técnicas construtivas e distante do conhecimento dos órgãos competentes, principalmente em lugares ocupados pela população de baixa renda.

Vários autores consideram que os muros de pneus construídos em camadas horizontais funcionam como muros de gravidade e tem como grande vantagem o reaproveitamento de pneus descartados, possuindo uma combinação entre baixo custo e alta resistência mecânica do material.

Por tratar-se de um muro de peso, o muro de pneus deve limitar-se a alturas inferiores a 5m. Seu uso também não é recomendado para contenção de terrenos que sirvam de sustentação para construções pouco deformáveis, visto que o muro de pneus é uma estrutura com alta flexibilidade, as deformações às quais está suscetível são superiores em comparação a outros modelos de muros de peso (GERSCOVICH, 2009).

Recomenda-se que a base média tenha 40 a 60% da altura do muro em largura, as camadas horizontais dos pneus devem estar dispostas alternadamente, de maneira que os espaços vazios entre os pneus sejam mínimo (GERSCOVICH, 2009). Os valores do peso específico do material pneu preenchido com solo variam entre 15,5 kN/m³ para solos com pneus inteiros, a 16,5 kN/m³ para solos com pneus cortados (MEDEIROS et al, 1997).

Figura 2: Muro de pneus



Fonte: GERSCOVICH, 2009.

3.1 Empuxo do Solo

O cálculo dos empuxos constitui uma das maiores e mais antigas preocupações da engenharia civil (MARANGON, 2018). Parafraseando Gerscovich (2009), entende-se por empuxo de terra a ação horizontal produzida por um maciço de solo sobre as obras com ele em contato. A determinação do valor do empuxo de terra é fundamental para a análise e o projeto de obras como muros de arrimo, cortinas de estacas-prancha, construção de subsolos, encontro de pontes, etc. O valor do empuxo de terra, assim como a distribuição de tensões ao longo do elemento de contenção, depende da interação solo-elemento estrutural durante todas as fases da obra.

O empuxo ativo verifica-se quando determinada estrutura é construída para suportar um maciço de solo. Neste caso, as forças que o solo exerce sobre as estruturas são de natureza ativa. O solo “empurra” a estrutura, que reage, tendendo a afastar-se do maciço (GERSCOVICH, 2009).

O Empuxo Ativo é calculado a partir da determinação do K_a e do E_a , sendo:

$$K_a = \text{tg}^2 [45^\circ - (\phi/2)]$$

Onde:

\emptyset = ângulo de atrito interno do solo

$$Ea = (K_a \times \gamma_{\text{solo}} \times h^2)/2$$

Onde:

γ_{solo} = peso específico do solo;

h = altura do talude

Para a determinação do empuxo acidental, determina-se Eq, sendo:

$$Eq = K_a \times q \times (h+hs)$$

Onde:

q = carga distribuída na superfície

h = altura do talude

hs = profundidade da base

3.2 Muro de Gravidade

Muros de Gravidade são estruturas corridas que se opõem aos empuxos horizontais pelo peso próprio (GERSCOVICH, 2009). Geralmente são executados em betão não armado, mas também pode ser construído com pedra, gabiões ou, até mesmo, com pneus usados.

O cálculo é realizado através da escolha da seção (trapezoidal invertido) e da adoção de valores obtidos a partir do peso específico do muro e do solo, assim adquirindo os valores da base superior (b_0) e inferior (b), utilizando-se desses valores para determinação do restante do cálculo. A tensão máxima ($\sigma_{\text{Máx}}$) deve ser menor ou igual à tensão do solo (σ_{solo}), para que não haja movimentação, ocasionando danos à estrutura.

A garantia do seu funcionamento estrutural se dá graças ao seu peso próprio que, executa o papel de garantir o atrito entre a base e o terreno de fundação. Somente pode ser utilizado para contenção de pequenos e médios desníveis, com alturas inferiores a 5 metros, devido ao seu elevado peso. Esta solução de contenção costuma ser mais adotada a fim de evitar a utilização de armaduras, diminuindo custo e tempo de execução.

4. METODOLOGIA

A execução do presente trabalho se deu através de pesquisas de campo, na cidade de Novo Oriente de Minas – MG, sendo efetuado um estudo de caso visando a possibilidade de construção de um muro de contenção utilizando pneus inservíveis no Loteamento Jardim Renovo, com enfoque na viabilidade financeira e no impacto ambiental do uso de material reciclado na construção civil.

Esta pesquisa origina-se da necessidade de construção de um muro de contenção com baixo custo e materiais renováveis, podendo usufruir de mão de obra barata e execução imediata. Neste sentido, foram coletados dados do local escolhido, tais como: extensão, ângulo de atrito do solo, peso específico do solo, tipo de pneu a ser utilizado. Através das informações citadas anteriormente, foi possível a obtenção do cálculo de custos, de quantidade de materiais e do empuxo ativo. Com isso, foi elaborado um projeto de contenção, utilizando pneus usados amarrados com arame revestido de material plástico e preenchido com solo compactado, construindo camadas até a altura máxima de 4 metros.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação analisada para a utilização do muro de pneus leva em consideração os seguintes dados apresentados abaixo:

Local: Novo Oriente de Minas – MG

Extensão: 40.00 m

Altura: 4.00 m

De acordo teste SPT, solicitado pela empresa Engevit, no dia 13 de novembro de 2018, para a construção de um edifício na Rua Águas Formosas, localizado nas proximidades do local da execução do muro, constatou que a tensão do solo (σ_{solo}) é de 3Kgf/m². Com base nesses dados a tensão do solo considerada para o cálculo do muro, foi a mesma obtida pelo teste.

Figura 3: local de implantação do muro



Fonte: O autor, 2019.

a) Dados do Terreno:

- Ângulo de atrito do solo (ϕ): 30° ;
- Coesão: 0 (considerando a pior condição: chuva intensa);
- Peso específico do solo: 16 KN/m^3 ;

b) Dados do Muro

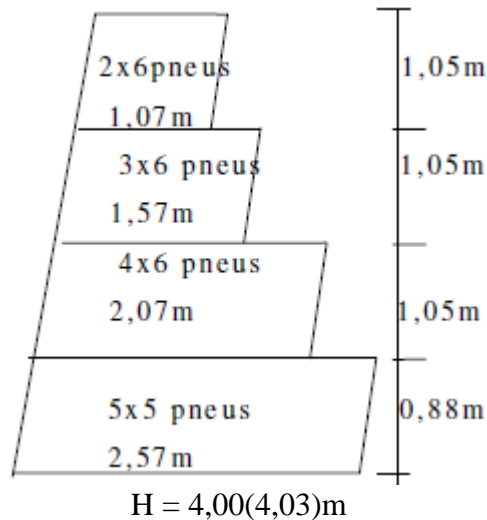
- Peso específico solo-pneu (γ_{pneu}): $15,5 \text{ KN/m}^3$ (pneu preenchido com solo residual);
- Pneu utilizado para o muro: 175/70 R13;
- Profundidade da base (hs): 0,50 m;

c) Geometria do Muro:

- Inclinação do muro: 6° (1:10) em relação a vertical;
- Inclinação do talude: 0° ;

5.1 Seção Adotada

Figura 4: seção similar ao trapezoidal invertido



Fonte: Nerton, modificado, (2002).

5.1.1 Volume do Muro

$$\text{Área da Base 1} = 0,88\text{m} \times 2,57\text{m} = 2,2161\text{m}^2$$

$$\text{Área da Base 2} = 1,05\text{m} \times 2,07\text{m} = 2,1735\text{m}^2$$

$$\text{Área da Base 3} = 1,05\text{m} \times 1,57\text{m} = 1,6485\text{m}^2$$

$$\text{Área da Base 4} = 1,05\text{m} \times 1,07\text{m} = 1,1235\text{m}^2$$

$$\text{Área do Muro (visão lateral)} = 7,2071 \text{ m}^2$$

5.1.2 Cálculo da Seção Adotada (trapezoidal invertido)

$$\text{Eq. 1 - } b_0 = 0,14 \times h$$

$$b_0 = 0,14 \times 4,0$$

$$b_0 = 0,56\text{m} = 0,60\text{m} - \text{considerar } 1,07\text{m} - \text{dimensões do pneu}$$

$$\text{Eq. 2 - } b = b_0 + h/3$$

$$b = 1,07 + 4/3$$

$$b = 2,40 \text{ m} - \text{considerar } 2,57\text{m} - \text{dimensões do pneu}$$

$$\text{Eq. 3 - } P_{\text{Muro}} = \gamma_{\text{pneus}} \times h \times [(b_0 + b)/2]$$

$$P_{\text{Muro}} = 15,5 \times 4 \times [(1,07+2,57)/2]$$

$$P_{\text{Muro}} = 112,84\text{KN}$$

$$\text{Eq. 4} - P_{\text{Base}} = \gamma_{\text{pneus}} \times h_s \times b$$

$$P_{\text{Base}} = 15,5 \times 0,5 \times 2,57$$

$$P_{\text{Base}} = 19,92 \text{KN}$$

$$\text{Eq. 5} - P_{\text{Solo}} = [(b-b_0) \times h \times \gamma_{\text{solo}}]/2$$

$$P_{\text{Solo}} = [(2,57-1,07) \times 4 \times 16]/2$$

$$P_{\text{Solo}} = 48 \text{KN}$$

$$\text{Eq. 6} - P_{\text{Total}} = P_{\text{Muro}} + P_{\text{Base}} + P_{\text{Solo}}$$

$$P_{\text{Total}} = 112,84 + 19,92 + 48$$

$$P_{\text{Total}} = 180,76 \text{KN}$$

$$\text{Eq. 7} - B_{\text{Muro}} = X_{\text{Muro}} = [b_0^2 + (b_0 \times b)] + b^2 / [3 \times (b_0 + b)]$$

$$X_{\text{Muro}} = [(1,07^2 + 1,07 \times 2,57 + 2,57^2)] / [3 \times (1,07 + 2,57)]$$

$$X_{\text{Muro}} = 0,96 \text{m}$$

$$\text{Eq. 8} - B_{\text{Base}} = b/2$$

$$B_{\text{Base}} = 2,57/2$$

$$B_{\text{Base}} = 1,29 \text{m}$$

$$\text{Eq. 9} - B_{\text{Solo}} = b_0 + 2 \times (b-b_0)/3$$

$$B_{\text{Solo}} = 1,07 + 2 \times (2,57 - 1,07)/3$$

$$B_{\text{Solo}} = 2,07 \text{m}$$

$$\text{Eq. 10} - M_{\text{Muro}} = P_{\text{Muro}} \times B_{\text{Muro}} + P_{\text{Base}} \times B_{\text{Base}} + P_{\text{Solo}} \times B_{\text{Solo}}$$

$$M_{\text{Muro}} = 112,84 \times 0,96 + 19,92 \times 1,29 + 48 \times 2,07$$

$$M_{\text{Muro}} = 233,38 \text{KNm}$$

$$\text{Eq. 11} - K_a = \text{tg}^2 [45^\circ - (\phi/2)]$$

$$K_a = \text{tg}^2 [45^\circ - (30^\circ/2)]$$

$$K_a = 0,33$$

$$\text{Eq. 12} - E_a = (K_a \times \gamma_{\text{solo}} \times h^2)/2$$

$$E_a = (0,33 \times 16 \times 4^2)/2$$

$$E_a = 42,24 \text{KN}$$

$$\text{Eq. 13} - E_q = K_a \times q \times (h+h_s)$$

$$E_q = 0,33 \times 0 \times (4+0,5)$$

$$E_q = 0 \text{KN}$$

$$\text{Eq. 14} - E_{\text{Total}} = E_a + E_q$$

$$E_{\text{Total}} = 42,24 + 0$$

$$E_{\text{Total}} = 42,24 \text{KN}$$

$$\text{Eq. 15 - } B_{Ea} = h_s + h/3$$

$$B_{Ea} = 0,5 + 4/3$$

$$B_{Ea} = 1,83\text{m}$$

$$\text{Eq. 16 - } B_{Eq} = (h+h_s)/2$$

$$B_{Eq} = (4+0,5)/2$$

$$B_{Eq} = 2,25\text{m}$$

$$\text{Eq. 17 - } M_{Ativo} = E_a \times B_{Ea} + E_q \times B_{Eq}$$

$$M_{Ativo} = 42,24 \times 1,83 + 0 \times 2,25$$

$$M_{Ativo} = 77,30\text{KNm}$$

$$\text{Eq. 18 - } E_1 = \mu \times (P_{Total} / E_{Total}) \geq 1,5$$

$$E_1 = 0,55 \times (180,76 / 42,24) \geq 1,5$$

$$E_1 = 2,35 \geq 1,5$$

$$\text{Eq. 19 - } E_2 = (M_{Muro} / M_{Ativo}) \geq 1,5$$

$$E_2 = (233,38 / 77,30) \geq 1,5$$

$$E_2 = 3,02 \geq 1,5$$

$$\text{Eq. 20 - } M_{Resultante} = M_{Muro} - M_{Ativo}$$

$$M_{Resultante} = 233,38 - 77,30$$

$$M_{Resultante} = 156,08\text{KNm}$$

$$\text{Eq. 21 - } C_{Pressão} = M_{Resultante} / P_{Total}$$

$$C_{Pressão} = 156,08 / 180,76$$

$$C_{Pressão} = 0,86\text{m}$$

$$\text{Eq. 22 - } \sigma_{Máx} = (2 \times P_{Total}) / (3 \times C_{Pressão}) \leq \sigma_{solo}$$

$$\sigma_{Máx} = (2 \times 180,76) / (3 \times 0,86) \leq 300\text{KN/m}^2$$

$$\sigma_{Máx} = 140,12\text{KN/m}^2 \leq 300\text{KN/m}^2$$

O muro de solo-pneu foi idealizado com 4 camadas de pneus inteiros amarrados com arame do tipo 14 PVC, de largura variável, com 5 pneus na base e 2 no topo. A primeira camada (base) contará com 5 pneus na vertical, as três outras camadas serão executadas com 6 pneus.

5.1.2 Cálculo de quantidades de materiais

a) Pneus

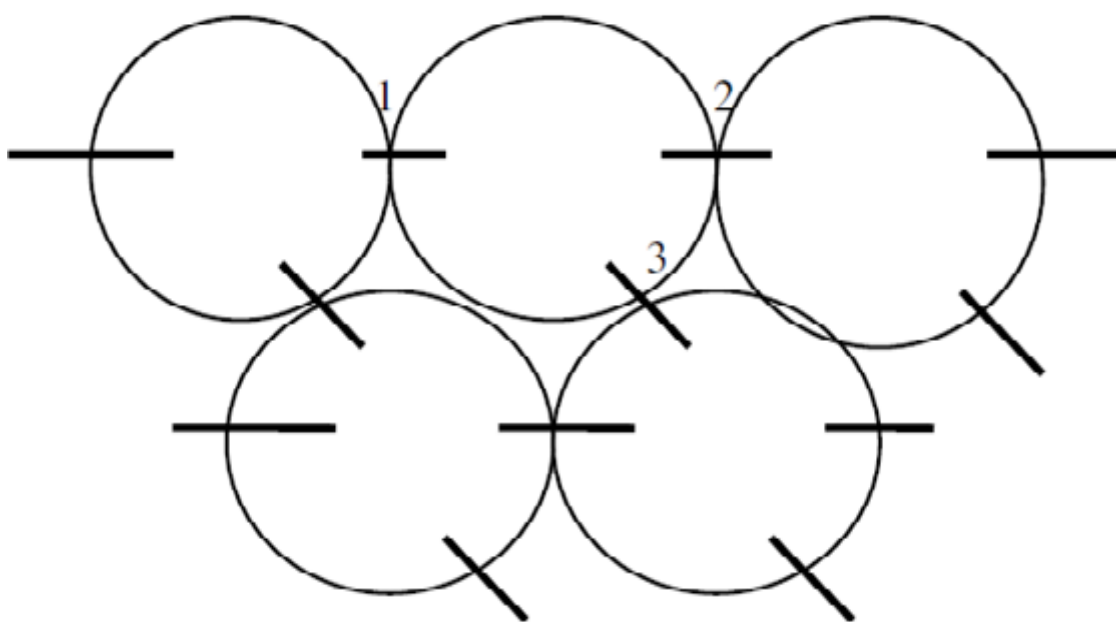
Conforme indicado anteriormente, tem-se que a quantidade por metro linear é: 79 pneus.

Ocorre que a quantidade obtida por metro linear é proporcional ao seu diâmetro, ou seja, a quantidade real por metro linear é $1 / 0,5752$ ou ainda, tem-se um coeficiente que corrige a quantidade por metro linear: 1,74. Portanto, a quantidade por metro linear é: 138 pneus. Para uma execução de 40 metros, a quantidade é: 5.520 pneus.

b) Arame de amarração

Para efetuar a amarração entre os pneus, pode-se adotar dois pontos de apoio. Um terceiro ponto será dado pelo pneu ao lado, conforme figura abaixo:

Figura 5: Forma de amarração dos pneus



Fonte: Nerton, modificado, (2002).

Com as dimensões do pneu, verifica-se que o gasto é de aproximadamente: 4 metros por pneu (2 voltas), ou seja, para 5.520 pneus, a quantidade é 22.080 metros de arame de amarração.

5.1.3 Cálculo de custo dos materiais

O custo depende da quantidade de pneus inservíveis utilizada. Geralmente são encontrados em oficinas mecânicas, depósitos de lixo ou em sucateiros, e podem ser adquiridos por um preço razoavelmente baixo. A melhor visualização do custo do muro de pneus se dá através da análise da sua variação com a altura. Embora o pneu seja o principal material, necessita-se utilizar o arame revestido com PVC como elemento de amarração; uma máquina de terraplanagem e um trator. Como hipótese de trabalho, optou-se por utilizar o tipo

de pneu mais usado no mercado, o 175/70 R13, segundo revendedores. Devido não ser possível escolher antecipadamente o tipo de pneu estocado no lixo ou no sucateiro.

O comprimento do arame de amarração necessário para amarrar um pneu é de aproximadamente 1 metro por ponto de amarração por volta. No caso de adotar-se 2 pontos de apoio com duas voltas, a quantidade de arame necessária por pneu é de 4 metros. O arame recomendado é o tipo 14 PVC, que também é utilizado para amarrar gabiões.

Como descrito na tabela 1, os custos considerados em projeto são unicamente dos pneus e do arame de amarração. Custos gerados com mão de obra, máquinas e equipamentos não foram considerados, pois tais serão obtidos com a ajuda de moradores locais e pela Prefeitura Municipal de Novo Oriente de Minas.

Tabela 1: custos

a) Quantidades por metro linear						
	H(m)	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
Pneus	Unid	21	47	87	138	188
Arame	MI	42,00	94,00	174,00	276,00	376,00
b) Custo por metro linear (R\$)						
	P. Unit					
Pneus	1,00	21,00	47,00	87,00	138,00	188,00
Arame	0,65	27,30	61,10	113,10	179,40	244,40
Total		48,30	108,10	200,10	352,56	432,40

Fonte: Nerton, modificado, (2002).

a) Pneus

Conforme exposto na tabela 1.0 (b), o preço unitário do pneu, considerado para fins de cálculo, foi de R\$ 1,00, obtendo um total de R\$ 5.520,00 para adquirir a quantidade de pneus necessária.

b) Arame de amarração

Com base nos dados apresentados anteriormente, sabe-se que o valor do arame por metro é R\$ 0,65; para 22.080 metros será necessário um total de R\$14.352,00, destinado á compra do arame.

c) Custo total dos materiais

Para adquirir os pneus e o arame de amarração, serão necessários R\$5.520,00 e R\$14.352,00, respectivamente, totalizando R\$19.872,00 utilizados na compra dos mesmos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho em questão investigou a viabilidade do uso de pneus na construção de um muro de contenção, através de um estudo de caso na região de Novo Oriente de Minas – MG. Os parâmetros utilizados para o cálculo do dimensionamento do muro levaram em consideração sua geometria, resistência do solo e materiais construtivos. Para resultados mais precisos, há a necessidade de um estudo mais detalhado e aprofundado na região citada.

Ao final deste trabalho pode-se perceber que o preço total da construção do muro apresentou um custo interessante, no montante de R\$19.872,00, custo esse que leva em conta apenas a compra do material, uma vez que não necessita de mão de obra qualificada e as máquinas e equipamentos necessários podem ser obtidos com a ajuda da Prefeitura da cidade. A solução de contenção através de pneus não é considerada a mais econômica do mercado, isso se deve ao alto custo do arame de amarração, que pode ser substituído pela corda de polipropileno, porém, aumentaria o tempo de construção do muro, devido ser uma alternativa mais trabalhosa para a equipe de execução, o que afetaria a obra, uma vez que o prazo é restrição, pois o objetivo do trabalho é buscar uma alternativa econômica, sustentável e de rápida execução.

Neste sentido, demonstrou-se a importância de implantação de novos métodos de construção, fazendo uso de materiais não biodegradáveis, que podem apresentar uma solução satisfatória e, ao mesmo tempo, econômica e ecologicamente correta.

REFERÊNCIAS

ANIP. **Produção da Indústria Brasileira de Pneus em 2009**. Disponível em: <http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo_pagina=Produção>. Acesso em: 16 de Agosto de 2019 as 12h10min.

BERTOLLO, S. A. M.; FERNANDES JÚNIOR, J. L.; VILLAVERDE, R. B.; MIGOTTO FILHO, D. **Pavimentação asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados**. Revista Limpeza Pública, nº 54, p. 23-30, ABLP, Associação Brasileira de Limpeza Pública, São Paulo/SP, Jan. 2000.

BNDS. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. **Pneus: áreas de operações industriais 2; gerencial Setorial 2**. Brasília, Junho/1998.

CARVALHO, P. A. S. **Taludes de Rodovias: Orientação para Diagnóstico e Soluções de seus Problemas**, São Paulo, Brasil, 1991.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**, Editora S.A., Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1998.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no. 258, de 26 de agosto de 1999.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA no. 301, de 21 de março de 2002.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n.º 416, de 30 de setembro de 2009.

CIMINO, M. A.; ZANTA, V. M. **Gerenciamento de pneumáticos inservíveis (GPI): análise crítica de ações institucionais e tecnologias para minimização**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro v. 10, n. 4, p. 299-306, Out/Dez 2005.

ETRMA (2009) Annual Activity Report 2008-2009. European Tyre & Rubber manufacturers' commitment (ETRMA). ETRMA (2007) End of life tyres - **A Valuable Resource with Growing Potential**. European Tyre & Rubber manufacturers' commitment (ETRMA).

FONSECA, J. **Riscos Associados à Instabilidade de Taludes: Proposta de Metodologia de Abordagem a Partir da Análise Comparada de Diversos PDMs**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2014.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes**. Rio de Janeiro: Oficina de textos, 2009.

KAMIMURA, E. **Potencial de utilização dos resíduos de borracha de pneus pela indústria da construção civil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Santa Catarina, 128 p. Florianópolis, 2002.

KELLER, E. A. **Introduction to Environmental Geology**, Pearson Education, Inc.2012.

MANCHETTI, Osvaldemar. **Muros de arrimo**. 1ª ed. São Paulo: Blucher, 2008

MARANGON, M. **Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra**. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2006.

MEDEIROS, L. V.; SAYÃO, A. S. F.; GERSCOVICH, D. M. S. **Reuso de Pneus em Geotecnia**. Seminário Nacional sobre Reuso/Reciclagem de Resíduos Sólidos Industriais, Fiesp/ Ciesp, agosto, São Paulo, 2000.

NOHARA, J. J., C. R., ACEVEDO, B.C.C, PIRES e R.M, CORSINO. (2006) GS-40 - **Resíduos Sólidos: Passivo Ambiental e Reciclagem de Pneus**. THESIS, São Paulo, ano I, v.3, p. 21-57, 2º Semestre, 2005.

PRODANOV, C. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SALOMÃO, Pedro Emili Amador. **Estudo físico químico de pneus para de aproveitamento na elaboração de asfáltico ecológico.** Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, Jan/Jun, 2017.

SIEIRA, A. C. C. F. **Análise do Comportamento de um Muro de Contenção Utilizando Pneus.** Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, PUC-Rio, Brasil, 1998.