

ARTIGO REF: 6830

## **ESTUDO DA INTERAÇÃO SOLO-FITAS POLIMÉRICAS PARA USO EM TERRA ARMADA EM SOLOS PROBLEMÁTICOS EM ÁREAS AGRÍCOLAS E DE MINERAÇÃO ARTESANAL (GARIMPO)**

**Albano Sâzlon Maparagem<sup>(\*)</sup>**

Universidade Zambeze, Depart. Eng<sup>a</sup> Civil (FCT) - Beira, Moçambique

<sup>(\*)</sup>*Email: a\_maparagem@yahoo.co.uk*

### **RESUMO**

Moçambique tem-se deparado com vários problemas relacionados com os escorregamentos de solos, erosão, desabamento de solos nas áreas de mineração artesanal; tendo como consequências perdas humanas, perdas de áreas de cultivos e muitas vezes cortes e interrupções de vias, desabamentos de residências e pontes, entre outros. Maiores partes das áreas onde se pratica a agricultura e mineração artesanal de tipo Garimpo, os solos argilosos ou pelo menos com camadas superficiais argilosas. os solos finos (% passando peneira # 200 > 50%), geralmente de origem tropical, que poderiam ser classificados como solos de baixa capacidade de drenagem. Estes solos não atendem às recomendações técnicas para solos de aterro de estruturas reforçadas, conforme exigido pela AASHTO e BS 8006 (Bueno, 2005). Neste trabalho é avaliado experimentalmente um dos parâmetros mais importantes de projeto de Terra Armada, que condiciona o mecanismo de transferência de carga, o coeficiente de atrito aparente solo-fita polimérica ( $f^*$ ). É avaliada a influência das características dos solos para as classes de solos estabelecidas pela NBR 9286/86, sob diversas tensões verticais atuantes nas fitas, que simulam o efeito da profundidade. As informações são obtidas através de ensaios de arranque de fitas polimérica realizados em laboratório e depois comparadas aos resultados teóricos da norma.

### **1. INTRODUÇÃO**

O uso de inclusões nas obras geotécnicas com a intenção de reforçar a resistência à tração, alterando as características internas dos solos nos quais são inseridos, são muito usadas para a contenção ou estabilização de taludes e aterro e são chamadas de estruturas em solos reforçados. As obras que usam a técnica de terra armada (solo armado) apresentam grandes vantagens no ponto de vista econômico, construtivo e ambiental, principalmente quando se faz o uso dos solos locais como material de aterro. O emprego da técnica de reforço de solos em terra armada encontra-se em expansão em todo o mundo. A introdução de reforços traz ao maciço a ser estabilizado um comportamento mecanicamente mais favorável, pois, quando as inclusões resistentes a tração são convenientemente inseridas promovem uma redistribuição de esforços nas zonas mais susceptíveis a movimentação, tornando o sistema resistente e estável; assim, as estruturas de solo reforçado são mais resistentes e menos deformáveis.

O processo de solo reforçado conhecido popularmente como solo armado foi oficialmente desenvolvido pela primeira vez e patenteado, em 1963, pelo engenheiro e arquiteto francês Henry Vidal.

A técnica de reforço de solo consiste em melhorar o solo conferindo-lhe a capacidade de resistência à tração; executando o maciço de solo com introdução de inclusões que podem ser

inextensíveis denominadas fitas metálicas ou extensíveis denominadas fitas polimérica. As fitas podem ser nervuradas ou não nervuradas, sendo as últimas melhores por oferecerem maior atrito, são conectadas a painéis pré-moldados de betão, cruciformes, que constituem a face do maciço.

## 2. JUSTIFICATIVA

Dado que o funcionamento do maciço em terra armada baseia-se, principalmente, na existência de atrito entre a terra e as inclusões (fitas metálicas ou polimérica), que tecnicamente se justifica a partir da resistência do solo ao cisalhamento, e, considerando as mais diversificadas condições prováveis, de humidade a que a obra possa vir a estar submetida. As especificações de projeto de estruturas de solo reforçado em obras de países da América do Norte, Europa e Japão, em geral, somente fazem referência aos solos granulares, devido a capacidades que esses têm de drenagem e resistência ao cisalhamento. Os solos finos, os siltes e argilas são excluídos pela sua baixa capacidade de drenagem e, conseqüentemente, pela dificuldade de dissipação do excesso de pressão neutra gerado no interior dos maciços compactados, ocasionando, principalmente, redução da resistência ao cisalhamento do solo, contrariando a justificação técnica do processo de terra armada.

assim, as obras executadas seguindo as recomendações internacionais, instruídas por normas britânicas e norte americanas: BS 8006 (1995) e AASHTO (2002) respectivamente; prejudicam o conceito econômico de estruturas de solo armado, pois, recomendam o uso de solos granulares que, muitas vezes devem ser transportados longe do local da obra, este prejuízo, se agrava para o caso de zonas, cuja grande parte do seu território é coberta por solos finos.

Segundo Maparagem 2013, as obras executadas por técnicas de terra Armada reduzem o custo em 30% em relação às de muro de flexão.

Estudos realizados pelo National Highway Institute Office of Bridge Technology (NHI); recomenda que todas as estruturas de terra mecanicamente estabilizadas, requerem um solo de alta qualidade em termos de durabilidade, drenagem, fácil execução e um solo com boa interação com o reforço; o que seria fácil com o uso de material granular e bem graduado, pois o sistema depende da alta fricção do elemento de reforço e do solo de aterro (FHWA-NHI-00-043).

Abramento et. al. (1998) reitera esta tendência para casos brasileiros, sugerindo que o solo de aterro geralmente constitui-se em solo arenoso, com menos de 15% em peso do material passando na peneira # 200.

Moçambique tem uma diversidade climática, o país exhibe uma grande variedade de solos. Solos compostos por horizonte superficial, a camada residual madura, geralmente de natureza laterítica (argila, areia argilosa) ou, por vezes constituídas por siltes micáceos, e areia ou uma camada de solo coluvionar acima do solo residual maduro; ocasionalmente um manto intermediário de argilas duras, mostrando uma estrutura reliquiar ou, por vezes, expansivo e constituído por uma camada de solo saprolítico composto de cascalho, areia, solos arenosos e argilosos mostrando estrutura reliquiar da rocha-matriz.

Um dos parâmetros mais importantes de projeto, que condiciona o mecanismo de transferência de carga, o contato solo-reforço, pode ser quantificado através de ensaios de arranque. A fim de avaliar o comportamento destes solos finos, estudos têm sido desenvolvidos no Laboratório de geossintéticos da EESC-USP. A figura 1 mostra Distribuição granulométrica dos solos estudados por Kakuda e Miranda.

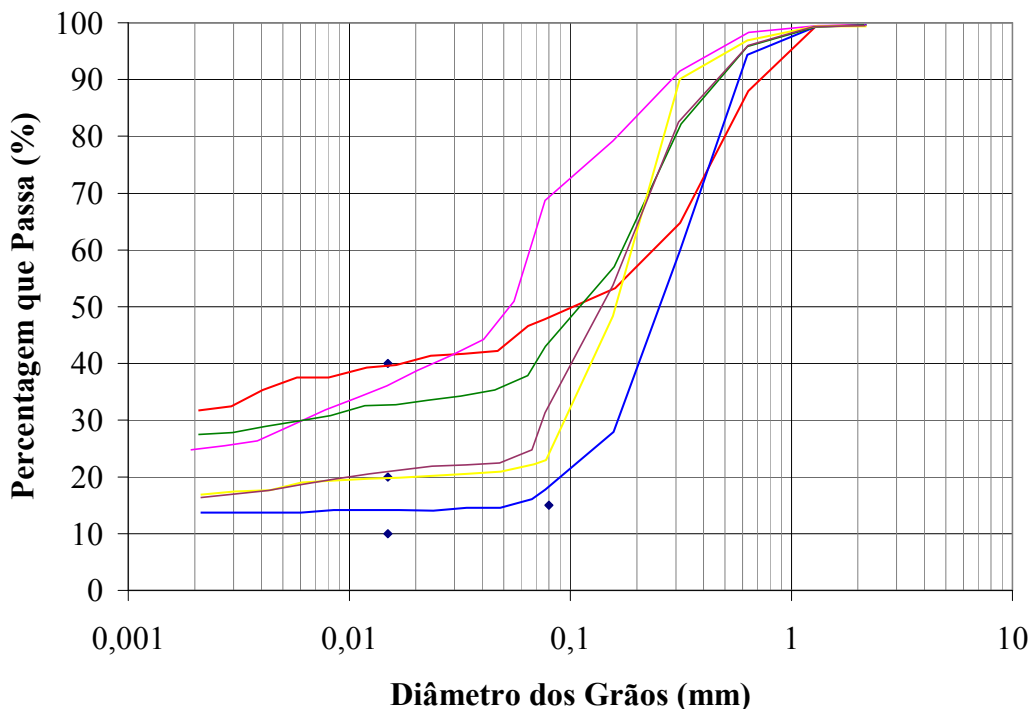


Fig. 1 - Distribuição granulométrica dos solos estudados por Kakuda (2005) apud Miranda (2009)

Miranda (2008) realizou ensaio de arranque de fitas metálicas com solo local da cidade de São Carlos-SP. O resultado experimental apresenta o coeficiente de atrito,  $f^*$ , divergente ao sugerido na norma, como se observa na figura 2. Este trabalho de Miranda, visava apenas uma comparação entre os vários tipos de elementos longitudinais de reforço, com ênfase em elementos para solo pregado.

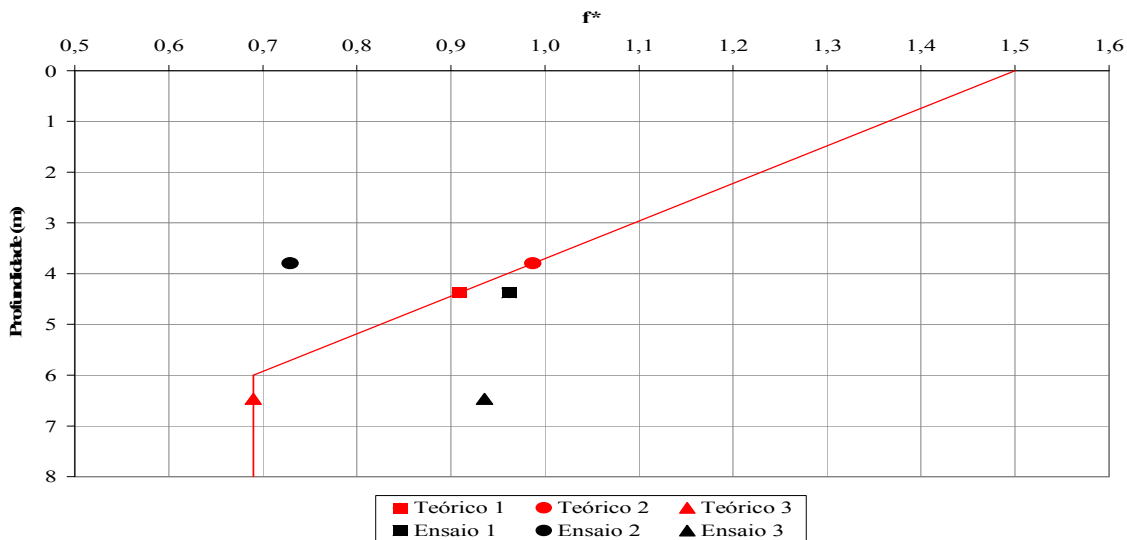


Fig. 2 - Comparação de resultados dos ensaios com valores sugeridos por norma Miranda (2009).

Analisando a Figura 2, observa-se que os ensaios 1 e 3 apresentaram coeficientes de atrito acima do previsto, porém quando adotado o fator de segurança de 1,5; sugerido na norma NBR9286/86, estes valores ficam aquém do esperado. Em relação ao ensaio 2, este valor apresenta-se excessivamente abaixo do previsto, (Miranda, 2009).

Torna-se assim, imperioso que se proceda a uma avaliação ampla e profunda do comportamento de fitas usadas e Terra Armada, que é uma forma intrínseca de se projetar em zonas com solos problemáticos como os que ocorrem em algumas partes do território moçambicano.

Este trabalho irá contribuir de forma definitiva para projetos econômicos e seguros.

O uso de solos Problemáticos requer um estudo mais detalhado do seu comportamento como material de aterro. Aliado a este fato, há grandes perspectivas de redução de custos da técnica quando comparada a outras soluções.

Por estas razões, esta pesquisa pode ser entendida como uma excelente oportunidade para se catalogar a experiência e aumentar o nível de conhecimento sobre a técnica de terra armada, permitido divulgá-la de forma mais vigorosa no âmbito da engenharia geotécnica Moçambicana que ainda está numa fase insipiente. Os resultados deste trabalho encontrarão aplicação prática imediata por estar ligado a redução de custos na solução dos problemas que poderiam ter uma resolução onerosa.

### **3. OBJETIVOS**

Esta pesquisa tem como objetivo fazer um estudo experimental, a realizar em laboratório através de ensaios de arranque de fitas poliméricas, para avaliar os solos das zonas de intensas actividades agrícolas e mineração artesanal de modo a sensibilizar aos utentes destes solos no âmbito das suas actividades, de modo a se precaverem do comportamento desses solos durante as suas actividades; da necessidade de estabilizarem os taludes e reforçando os solos ( para uma prática segura da mineração artesanal e da agropecuária, em áreas previstas para abertura de pequenas represas para a rega dos campos e criação de peixe) e por outro lado, fazerem o uso da técnica de terra armada com a aplicação de inclusões extensíveis, dentro dos limites de profundidades que os resultados de ensaios sugerirem.

É objetivo principal deste estudo avaliar a influência dos fatores executivos, particularmente o coeficiente de atrito aparente solo-fita polimérica ( $f^*$ ), em função das características dos solos para as classes estabelecidas para o uso de fitas poliméricas, sob diferentes tensões verticais atuantes nas fitas, que vão simular o efeito da profundidade, e particularmente, a avaliação estará mais virada ao coeficiente de atrito aparente solo-fita polimérica, em solos considerados problemáticos.

### **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **4.1 Introdução**

O uso de estruturas em solo reforçado é uma tecnologia de grande importância para projetos de contenção.

Materiais diversos têm sido utilizados para reforço de solo desde a antiguidade. Segundo Seraphin e Mello, 2003, citados por Maparagem, 2011, nos primórdios, os Incas utilizavam lã de *Lhama* misturada com solo para a construção de estradas. Troncos de árvores, arbustos, pele de animais, entre outros materiais, foram utilizados para melhorar as características dos solos naturais.

As soluções mais eficientes são produzidas quando os projetos têm em conta a disponibilidade de materiais com características de resistência normalizadas.

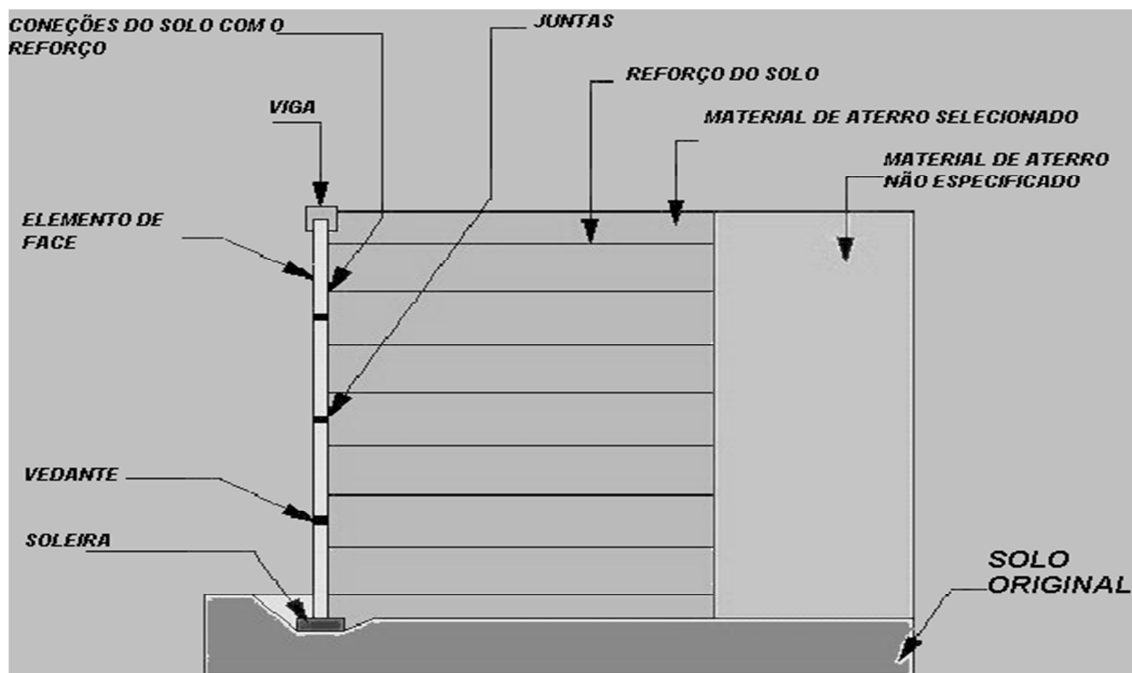


Fig. 3 - Sistema de reforço de solos.

Os sistemas de reforço de solos são essencialmente compostos por três elementos que são: O reforço, o material de preenchimento e os blocos, como mostrado na Figura 3.

Os elementos de reforço são geralmente classificados como inextensíveis (metálicos) ou extensíveis (polímeros). Esta classificação é baseada na deformação necessária para mobilizar toda a força do reforço em relação à deformação necessária para mobilizar toda a força do solo. Os reforços inextensíveis geralmente incluem fitas de aço e grades. Dentre as estruturas construídas com o uso de reforços inextensíveis pode-se citar, por exemplo, estruturas em terra armada, solo grampeado ou pregado e outras. A figura 4, mostra foto de uma estrutura de solo reforçado pela técnica de terra armada.



Fig. 4 - Sistema de contenção, terra armada, Maparagem 2011

Enquanto os reforços extensíveis incluem polímeros como geogrelhas e geotêxteis, O material de preenchimento é constituído por solos selecionados para o efeito. Para manter o sistema estável, com uma boa forma são construídos blocos em elementos pré-fabricados, que geralmente, consistem em painéis de Betão pré-moldado ou unidades de alvenaria modular pré-moldado ou ainda metálicos. Os painéis têm formatos quadrados, retangulares, cruciformes ou outras formas de polígonos, que se estendem por toda a altura da parede. Os blocos são fabricados com uma ampla variedade de textura, cores e estética.

Segundo Joseph E. - FHWA, 2001, para o material de preenchimento, materiais granulares são geralmente mais desejáveis, pelas seguintes razões: boa durabilidade, alta permeabilidade, permite melhor drenagem e menos poro-pressões, maior atrito boa interação solo-reforço e, resistência ao arranque relativamente elevada. Por conseguinte, os benefícios econômicos dessas construções são em grande parte limitadas pela indisponibilidade e os custos desse material granular para preenchimento ou aterro.

Quanto ao uso de solos não problemáticos, Zornberg e Mitchell, 1994. Expressam preocupações em relação a sua baixa permeabilidade que pode permitir o acúmulo de água nos poros, gerando assim, poro-pressões; os ângulos de atrito inferiores relativamente aos materiais granulares; presença de partículas de argila (menos de  $2\mu\text{m}$ ) que aumenta a taxa de corrosão dos reforços metálicos e deslocamentos pós construção relativamente maiores, entre outras.

Quando uma massa de solo é carregada verticalmente, ocorrem deformações verticais de compressão e deformações laterais de extensão (tração). Contudo, se a massa de solo estiver reforçada, os movimentos laterais são limitados pela reduzida deformabilidade do reforço. Esta restrição de deformações é obtida graças ao desenvolvimento de esforços de tração no elemento de reforço. Neste caso, o solo tende a mover-se em relação ao reforço gerando tensões cisalhantes na interface Wheeler, 1996, citado por Sieira, 2003 A Figura 5, ilustra o princípio básico do comportamento do solo reforçado.

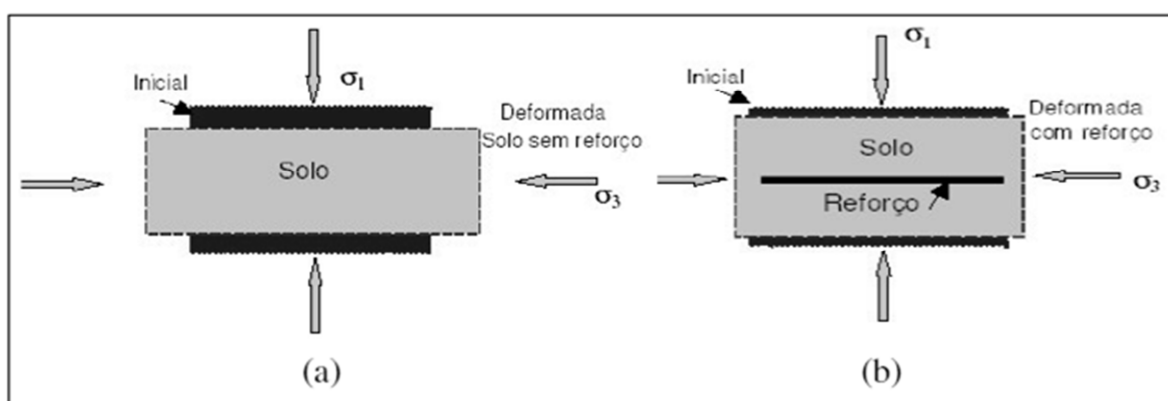


Fig. 5 - Comportamento típico do solo: (a) sem reforço; e (b) com reforço (Sieira, 2003).

A seleção das técnicas de reforço é feita, dependente de um conjunto de fatores, que analisados, ditarão as vantagens e desvantagens para cada situação e para cada caso de obra.

Em projetos é difícil conhecer com exatidão as tensões normais nas interfaces solo-reforço; isso porque, por exemplo, para solos arenosos, o efeito da dilatação dificulta tal exatidão. Neste caso a caracterização da resistência das interfaces é geralmente feita pelos diferentes coeficientes de atrito aparente, dadas pela razão entre as tensões médias de pico ou residual e a tensão normal de referência, considerado como a média das tensões das tensões normais que, devido ao peso próprio do solo somado a eventuais sobrecargas que atuariam num

contorno idêntico à superfície lateral do reforço se esse reforço não existisse. Pode-se ver, então que o conceito do coeficiente de atrito aparente, solo-inclusão  $f^*$ , é de grande importância no dimensionamento de estruturas em sistemas de reforço de solo.

O dimensionamento é geralmente feito considerando uma tensão normal de referência que, em princípio deve coincidir com a tensão devida ao peso próprio do solo e eventuais sobrecargas localizadas sobre a armadura porque geralmente é difícil, numa obra real ter-se o conhecimento da tensão normal instalada.

Segundo Felix (1991), dos ensaios mais comuns utilizados nesse tipo de estudo, ocupam lugar de destaque, ensaios de cisalhamento direto e ensaios de arranque, aos quais se devem grande parte dos conhecimentos actuais sobre a interação solo-reforço. No entanto, quando se trata dos ensaios de cisalhamento direto e de arranque, as resistências das interfaces são influenciadas por:

- Percentagem das partículas de granulometria fina;
- Compacidade relativa (em solos granulares);
- Teor de humidade para os solos com grande percentagem de partículas finas;
- O estado de superfície do material estrutural (liso ou rugoso) e
- Nível de tensão normal.

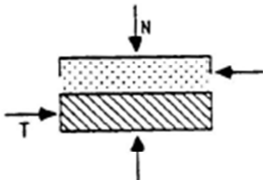
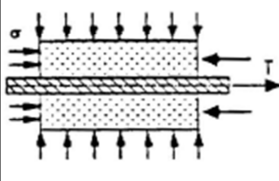
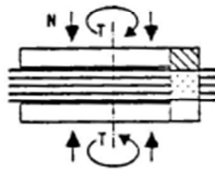
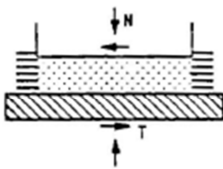
Mesmo assim os ensaios de cisalhamento direto não representam corretamente o que acontece numa obra de reforço, quando se usa armaduras lineares; fato que ocorre porque os ensaios têm um carácter bidimensional enquanto os fenômenos analisados ao se tracionar uma armadura linear são essencialmente tridimensionais. Ainda, no cisalhamento direto, não é considerada a rigidez das armaduras que afeta o mecanismo da mobilização da resistência. E, na sua maioria esses ensaios, são realizados com tensão normal constante; com a variação de volume; já que quando se trata de solos granulares a restrição da dilatação influencia a resistência da interface. Durante a tração da armadura, dentro do maciço, há transferência de tensões de cisalhamento para o solo e, o solo terá a tendência de dilatar e como o solo circundante impede essa dilatação; localmente haverá aumento da tensão normal, o que provocará o aumento da força tangencial na interface, Felix, 1991. A tabela 1, apresenta alguns equipamentos para testes de interface; suas vantagens e limitações.

#### **4.2 Uso da Terra Armada**

A técnica de terra armada é uma das técnicas de reforço de solos que se apresenta como uma alternativa técnico-econômica viável e em expansão em todo o mundo. A introdução de inclusões traz ao maciço a ser estabilizado um comportamento mecanicamente mais favorável. Uma vez que as inclusões resistentes a tração são inseridas convenientemente no seu corpo com o objetivo de promover uma redistribuição de esforços nas zonas mais susceptíveis a movimentação; essas zonas transformam-se em resistentes e estáveis. Essas estruturas de contenção flexíveis, do tipo gravidade, que associam: aterro selecionado e compactado; elementos lineares de reforço que serão submetidos à tração; e elementos modulares pré-fabricados de revestimento, têm alta capacidade de suportar carregamentos e são ideais para muros de grande altura, ou que estejam sujeitos às sobrecargas excepcionais.

O princípio da tecnologia da terra armada é a interação entre o aterro selecionado e os reforços - inclusões de alta aderência que, corretamente dimensionados, produzem um maciço integrado no qual as inclusões resistem aos esforços internos de tração desenvolvidos no seu interior passando a se comportar como um corpo “coesivo” monolítico, suportando, além de seu peso próprio, as cargas externas para as quais foram projectados.

Tabela 1 - Equipamentos para testes de interface; suas vantagens e limitações (adaptado de Kishida e Uesugi 1987, apud Felix 1991)

TIPO	EXEMPLOS	VANTAGENS	LIMITAÇÕES
<p><b>CORTE DIRECTO</b></p> 	<p>Potyondy (1961); Guilloux <i>et al</i> (1979); Desai <i>et al</i> (1985)</p>	<p>Sistema simples. Fácil preparação. Condução simples do ensaio.</p>	<p>Impossibilidade de distinguir os deslocamentos devidos a escorregamentos daqueles devidos à deformação por corte do solo. Redução da área da interface com o incremento dos deslocamentos.</p>
<p><b>CORTE ANELAR</b></p> 	<p>Brumund e Leonards (1973); Miyamoto <i>et al</i> (1975)</p>	<p>Simulação geometricamente correcta do atrito desenvolvido na face de estacas e reforços metálicos.</p>	<p>Desconhecimento da tensão normal na interface. Concentração de tensões nas extremidades.</p>
<p><b>CORTE CIRCULAR POR TORÇÃO</b></p> 	<p>Yoshimi e Kishida (1981)</p>	<p>Não se verifica concentração de tensões nas extremidades. Área da interface constante. Contribuição de deslocamentos observáveis por raio X (escorregamentos e deslocamentos devidos à deformação por corte do solo).</p>	<p>Sistema e condução do ensaio complexos. Dificuldades na preparação das amostras. Dificuldade na obtenção de rugosidade uniforme no anel metálico.</p>
<p><b>CORTE SIMPLES</b></p> 	<p>Kishida e Uesugi (1987)</p>	<p>Área da interface constante. Fácil preparação. Condução simples do ensaio. Medição separada dos deslocamentos (escorregamentos e deslocamentos devidos à deformação por corte do solo).</p>	<p>Concentração de tensões nas extremidades.</p>

### 4.3 Inclusões Poliméricas

As inclusões poliméricas, são fitas com uma estrutura planar com superfícies rugosas, constituídas por fibras de poliéster de alta tenacidade, considerados apropriadas para usar em terra armada com face de concreto. Sugere-se que para este material é necessário para o seu aterro um material grosso. As inclusões poliméricas têm sido usadas actualmente com sucessos. A figura 6, mostra pormenores de fitas poliméricas [Maparagem, 2011]. Para contenções em que as inclusões são as fitas poliméricas são recomendados três tipos de solos que são

- SOLO I - Pedregulhos bem graduados (GW), com dimensões máximas dos grãos de 75,0 mm,  $D_{(50)}$  aproximadamente de 12,5 mm e menos de 2% passando de P#200; tendo o coeficiente interação fita-solo de 0,90.
- SOLO II - Areia apropriada para o Betão ou simplesmente areia bem graduada (SW), bem graduada com diâmetro máximo das partículas igual a 25,0 mm,  $D_{(50)}$



aproximadamente 0,850 mm e menos de 3,8% das partículas passando por P#200 e o coeficiente de interação de 0,80.

- SOLO III - Areia siltosa (MS), com diâmetro máximo das partículas igual a 25,0 mm,  $D_{(50)}$  aproximadamente 0,150 mm, 2,9% de pedregulho, 61% de areia e 36,1% passando pela malha P#200; com o coeficiente de interação de 0,70. (TECHNICAL DATA SHEET Ver.00.Date.30.01.2007)-Maccaferri.

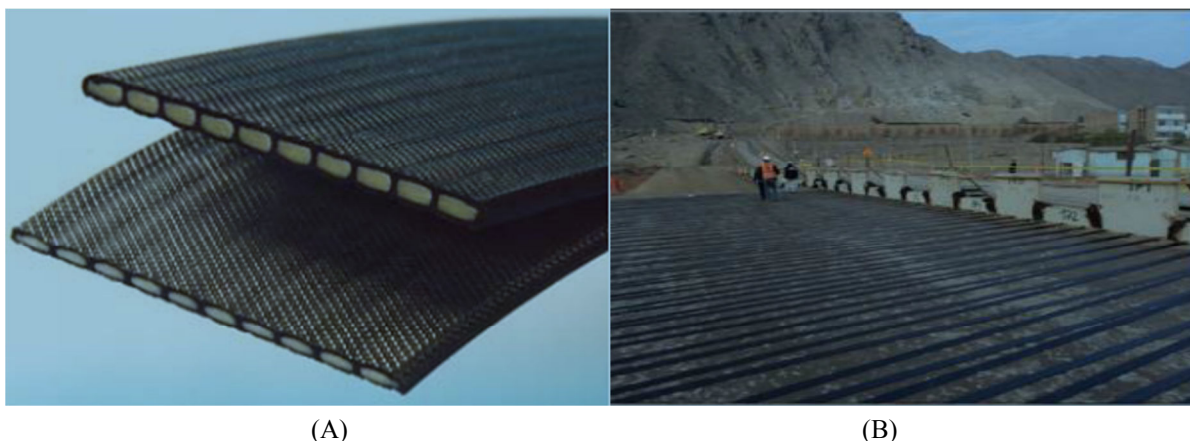


Fig. 6 - Fita Polimérica: (A) Sua estrutura simples; (B) Fitas poliméricas na execução de terra armada

A preferência fazer o uso de solos granulares com alta resistência ao cisalhamento e capacidade de livre drenagem, material que dissipe rapidamente as pressões de água que são desenvolvidas durante a construção e àquelas que serão desenvolvidas durante a vida útil da obra, de certa maneira retira a vantagem de redução de custos, Bueno e Maparagem, 2011. Para o caso de algumas regiões de Moçambique, geralmente onde se pratica a agricultura e actividades mineiras (Garimpo), zonas onde muitas vezes os solos preconizados não estão próximos do local da execução da obra, é necessário um estudo que mostre a possibilidade ou não, do uso dos solos locais para otimizar as vantagens económicas da técnica de terra armada

Em Moçambique, os solos finos são encontrados em grandes áreas e, principalmente, quando apresentam comportamento laterítico, seus parâmetros de resistência ao corte (coesão e atrito), podem ser elevados. Outro factor importante, relacionado aos solos Moçambicanos, refere-se a sua condição não saturada que pode perdurar em muitas obras. Nesta condição as pressões neutras são negativas, e contribuem para o aumento do parâmetro de coesão do solo (coesão aparente, tornando as obras mais estáveis).

Assim, neste trabalho foi avaliada a interação solo fitas poliméricas dos solos de Hokotora, Posto Administrativo de Siluvo, Distrito de Nhamatanda, Província de Sofala. As informações obtidas através de ensaios de arranque de fitas poliméricas em laboratório e comparados aos resultados teóricos da norma e dos outros instrumentos de verificação de estabilidade desse tipo de projectos. As inclusões Poliméricas eficientes para o uso em projetos de terra armada são as fitas nervuradas.

#### 4.4 Drenagem

É sempre necessário um projeto de drenagem específico para manter a estabilidade da estrutura quando em presença de água; principalmente quando o material de aterro for constituído por finos.

Devem ser previstos dispositivos que permitem aumentar a eficiência da drenagem, escoando a água sem carreamento de finos, e evitando comprometer a estabilidade da obra. Este objetivo pode ser alcançado por soluções com uso de filtros (colchões e valas drenantes) com material granular adequado e/ou geotêxteis.

#### 4.5 Execução e funcionamento

Terra armada é uma técnica de reforço de reaterros, onde a estrutura reforçada é construída por preenchimento, em sucessivas fases de baixo para cima. Em paredes de terra armada, os deslocamentos laterais no pé da parede aumentam durante as sucessivas fases de reaterro devido à descompressão das camadas inferiores causada pelo peso do solo. O resultado é que, durante a construção, pequenas deformações ocorrem na base da estrutura onde os deslocamentos horizontais serão máximos. A Figura 7, ilustra o posicionamento das deformações máximas nas estruturas de terra armada.

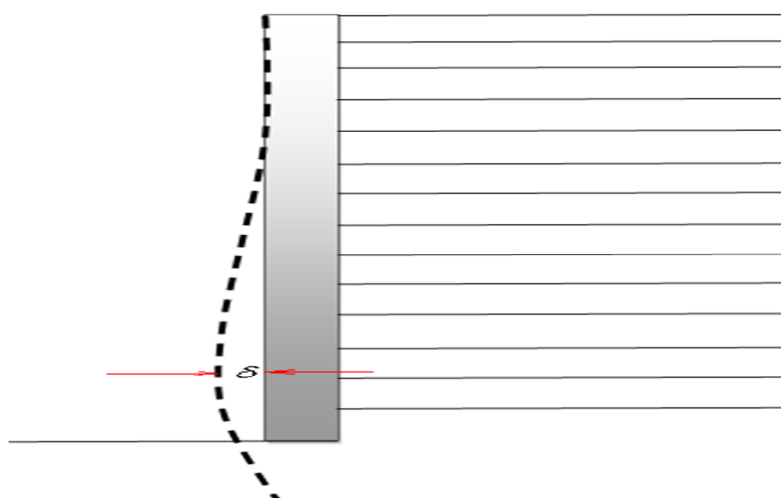


Fig. 7 - Deslocamento horizontal máximo em estruturas de terra armada (Springer, 2001).

As tiras de reforço são completamente flexíveis e opõe-se apenas a esforços de tração (Schlosser, 1982; Bastick, 1990).

Em solos finos (argilas e siltes) o teor de umidade é um parâmetro importante de projeto. Quando o solo está saturado, o atrito solo-inclusão é devido, exclusivamente, a resistência não drenada a qual é geralmente insuficiente para combater os esforços de tração do reforço e conseqüentemente, solos argilosos e siltes são, em geral, inadequados para a elaboração de terra armada. Este comportamento foi também estudado por Schlosser em 1982, para soluções em solo grampeado.

Choukeir et al., 1997; e Jones, 1998, referem que:

- O elemento de reforço é introduzido no solo sem pré-tensão; as forças desenvolvidas nos reforços surgem quando da ocorrência de deformações no solo;
- As forças desenvolvidas nos reforços são sustentadas pelo atrito entre o solo e o elemento de reforço;
- Estruturas em terra armada são sistemas que são consistentes e flexíveis. Por esta razão, eles oferecem vantagens em oposição a grandes deformações e em observações de campo após terremotos sobre estruturas de solo grampeado e em terra armada.

Neste tipo de estruturas, verifica-se uma alta resistência das mesmas em relação a esforços dinâmicos (efeitos sísmicos), mesmo considerando que as faces das estruturas, elementos pré-fabricados, não apresentam função estrutural de muita importante

Para o caso países tropicais com abundância de solos não convencionais (solos granulares) a rápida aceitação dos sistemas de solos reforçados, é devido ao seu custo relativamente baixo, estética, o bom desempenho e fiabilidade, construção relativamente simples, e capacidade suporte de grandes solicitações; esta aceitação, somente terá um valor acrescentado, se forem usados para os aterros, solos locais (o material escavado na área a ser reforçada ou nas suas proximidades).

#### **4.6 Aplicação da técnica de terra armada**

A técnica de terra armada é aplicada na construção de encontro de pontes e viadutos, muros de contenção, aterros e em todas as obras onde se faz necessário estabilizar material inconsolidado empilhado, como solo, minério, rejeito de mineração, etc.

#### **4.7 Vantagens da técnica de terra armada sobre outras técnicas**

A técnica permite resolver os problemas decorrentes de situações complexas e proporciona a melhor solução diante de configurações delicadas, tais como espaços exíguos, terrenos instáveis ou com fortes inclinações. A variedade de soluções permite satisfazer as exigências arquitetónicas. Assim, as obras são mais tolerantes a recalques diferenciais; mais tolerantes a abalos, como os sísmicos; permitem o uso de mão-de-obra local e não especializada; são fáceis de integrar-se nas exigências ambientais e ainda são de baixo custo comparado às outras técnicas.

Os muros de terra armada superam alturas maiores do que os muros convencionais e se valem da colocação gradual de terra para estruturar o terreno; são tecnicamente viáveis para alturas superiores a 25 m.

Devido à elevada flexibilidade dos paramentos os maciços adaptam-se a fundações compressíveis, permitindo bem assentamentos diferenciais não admissíveis para as soluções rígidas clássicas de betão armado e outras.

#### **4.8 Ensaios de arranque**

Segundo Felix (1992), a distribuição das trações feitas nas armaduras sujeitas a ensaio de arranque apresenta algumas diferenças importantes em relação a que se observa nas obras reais de reforços de solos; porque para os muros de terra armada é possível identificar no maciço reforçado duas zonas bem distintas: zona ativa, na qual as tensões tangenciais são transferidas do solo para as armaduras e a zona resistente em que, as trações nas inclusões vão diminuindo até as suas extremidades posteriores, devido as tensões tangenciais reativas mobilizadas nas interfaces. O autor ainda realça o fato de os campos de deslocamentos nas obras de reforço serem completamente distintos aos dos ensaios de arranque; posto que, quando se trata de ensaios de arranque, os únicos movimentos do maciço, são os induzidos pelas forças transmitidas ao solo pelas armaduras tracionadas enquanto nas obras reais, há coexistência deste tipo com os deslocamentos globais causadas pela construção, o que significa que nas obras geralmente as tensões tangenciais mais elevadas começam a ser mobilizadas nas extremidades posteriores, acontecendo o contrário nos ensaios de arranque.

Segundo Palmeira e Milligan, 1989, o ensaio de arranque é o que melhor representa as situações reais de campo, quando são utilizadas geogrelhas como elementos de reforço.

Para que os ensaios de arranque em laboratórios sejam representativos é necessário reproduzir adequadamente as características do solo e as de instalação dos reforços que semelhante à obra real, pois isso é determinante para na interação solo-reforço. Os ensaios de arranque permitem a obtenção de informações sobre os valores médios das características mecânicas representadas em curvas de variação das forças de arranque com os deslocamentos.

A geometria de um projeto em terra armada é determinante no desempenho da obra. A distribuição das inclusões ao longo da face do talude, a determinação dos espaçamentos horizontal e vertical, o comprimento e rugosidade (superfície lisa ou nervurada) das inclusões, influenciam bastante ao comportamento do maciço. Esses parâmetros dependem diretamente da previsão das cargas máximas de trabalho das fitas que, por sua vez, são função do atrito na interface solo fita ( $f^*$ ). A fim de se determinar estes parâmetros, alguns ensaios e correlações empíricas são propostos.

Para a obtenção de um bom resultado em ensaio de arranque é preciso garantir a existência de equipamentos de boa qualidade precisão e eficiência na medição. Os equipamentos devem ser usados de forma a otimizar a sua aplicação; para isso devem ser distribuídos e instalados de uma forma objetiva e cuidadosa.

É de extremo interesse o conhecimento da distribuição das tensões desenvolvidas ao longo do elemento de reforço, a fim de que se possa prever o comportamento da estrutura no processo da estabilização do terreno. Porque determinada esta distribuição, é possível identificar o comprimento real do reforço que estará sendo solicitado à tração a medida em que o solo circundante tende a se deslocar.

O uso da instrumentação consiste no monitoramento das deformações, com destaque para o uso de *strain gages*, pela sua versatilidade de aplicação, precisão das medidas e facilidade de manipulação. Além disso, são capazes de monitorar as deformações até as cargas últimas em ensaios destrutivos Miranda, 2009.

Nas inclusões usadas como reforço em terra armada, é muito importante o uso dos *strain gages* para a percepção do andamento das tensões de tração ao longo da fita durante o processo de arranque; para além dos *strain gages*, torna-se necessário o uso de células de tensão total para a simulação das profundidades onde as inclusões estão inseridas. A colocação e manuseamento desses sensores durante os ensaios quando não feitos com muito cuidado podem comprometer as leituras e consequentemente conduzir a resultados deturpados ou fora da realidade do que seria de esperar. Muitas vezes é preciso ter algumas aulas de eletrônica para entender a trabalhar com todos os materiais auxiliares dos sensores, de modo a garantir um bom controle de procedimentos de conexões.

## **5. MATERIAIS, MÉTODOS E RESULTADOS**

### **5.1 Materiais**

Os materiais e métodos usados para a execução da parte experimental da pesquisa, possibilitando a realização de ensaios que conduziram aos resultados. Foram realizados ensaios de laboratório para a caracterização do solo e posteriormente os ensaios de cisalhamento direto e os ensaios tri-axiais; seguidos de ensaios de arranque; os últimos com objetivo de avaliar a interação solo - fita poliméricas.

Para a realização dos ensaios de arranque, em laboratório foi necessário, para além da caixa de ensaios de arranque, os materiais e equipamentos abaixo mencionados e descritos:

### 5.1.1. Fitas poliméricas

As fitas poliméricas foram fornecidas pela Maccaferri; com dimensões usados foram de 1.400 mm de comprimento dentro do maciço mais 350 mm para a conexão com a garra de arranque; largas de 47 e 50 mm; tendo uma superfície rugosa. A figura 8 abaixo, mostra s resultados de ensaio de tração em fita polimérica

Tabela de propriedades	
Número de elementos	01
Largura	47,000mm
Identificação	Fita de 47mm
Pré-carga	True

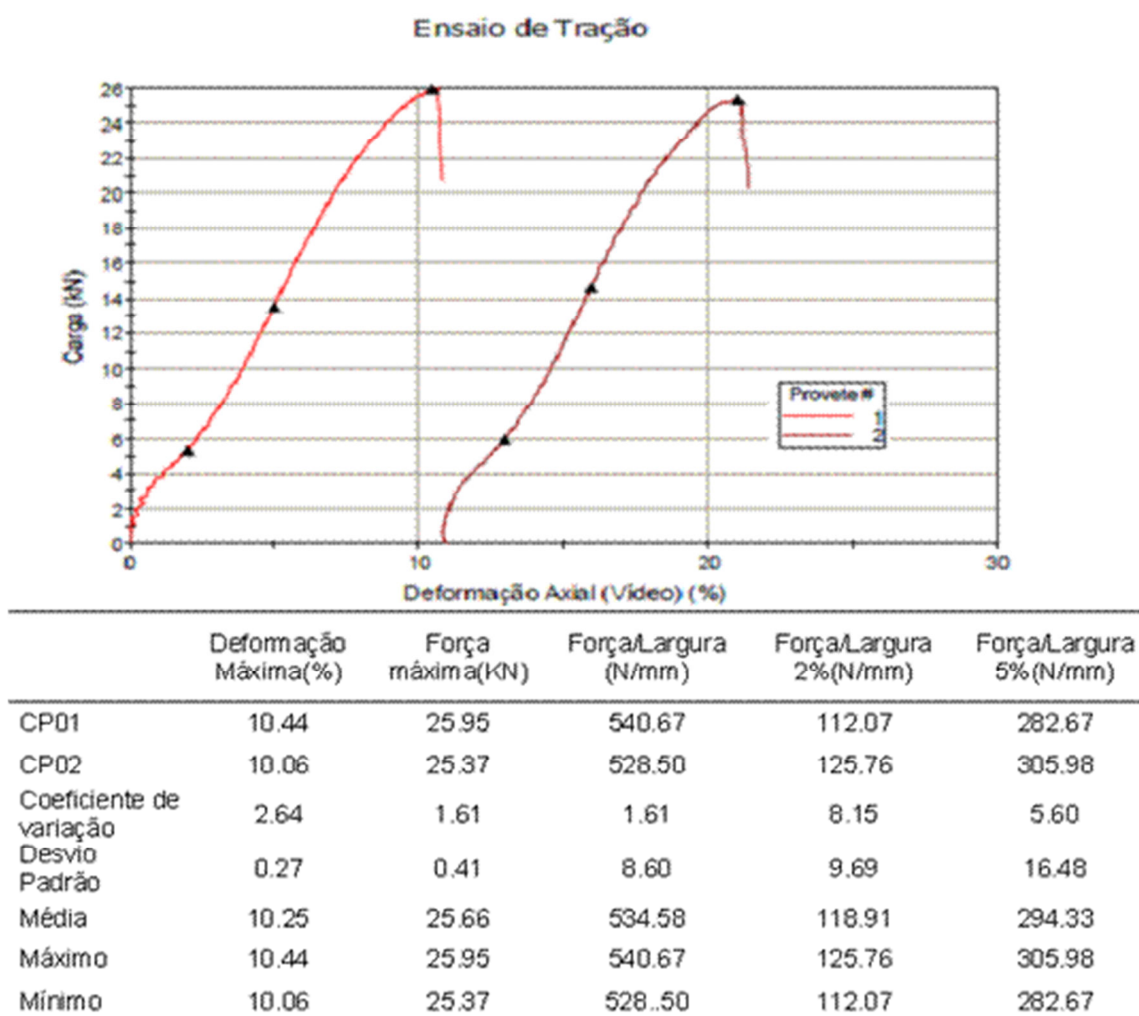


Fig. 8 - Resultados de ensaios de tração de fita polimérica de 47 mm de largura.

### 5.1.2. Placa de reação de aço

A placa de aço foi concebida junto com a caixa, para reagir à pressão exercida pela bolsa de ar; é fixada na caixa através de parafusos; serve de tampa para a caixa.

### 5.1.3. Célula de carga

Foi usada uma célula de carga de aço, modelo KS 5.000; concebida para a medição de pesos e forças nos sentidos de tração e compressão, para aplicação em laboratórios e indústrias; a mesma usada durante atração das fitas poliméricas no processo de calibração. A Figura 9 mostra uma imagem da célula de carga.

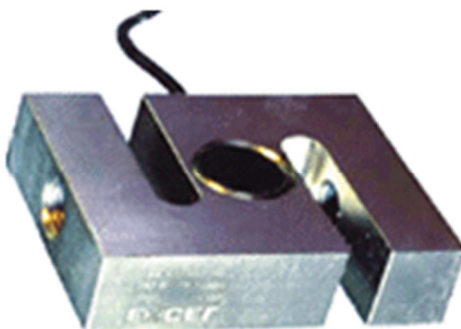


Fig. 9 - Foto da célula de carga usada

### 5.1.4. Células de tensão total

Foram usadas as células de tensões totais modelo BE-2KD (interface) e modelo BE-2KC (inclusão) fabricadas pela *Kyowa Electronic Instruments Company Limited*.

### 5.1.5. Transdutores de deslocamento LVDT

Foram usados transdutores LVDT com uma precisão de 0,001mm; fabricada pela Vishay Precision Group.

### 5.1.6. Motor;

O motor foi preparado de maneira a realizar o arranque com uma velocidade constante; foi ainda montado um LVDT, com precisão até 0,001mm para em paralelo monitorar os deslocamentos.

### 5.1.7. Strain gages

Os *strain gages* usados, foram fornecidos pela Excel sensores.

### 5.1.8. Bolsa de ar

A bolsa de ar foi o meio pelo qual os acréscimos da tensão vertical foi aplicada durante a realização de ensaios de arranques; a bolsa é de PVC que foi fabricada pela Formatto; com o comprimento de 1.400mm, largura de 560 mm e uma espessura de 20 mm, podendo suportar até 300 kPa.

### 5.1.9. Solo de Hokotora;

O solo de Hokotora é proveniente de um pequeno planalto com o mesmo nome a aproximadamente dez quilômetros da Barragem de Nhauriri, construída no Rio Rovue., onde ocorrem actividades de mineração Artesanal.

O solo em estudo apresenta as características apresentadas nas tabelas abaixo.

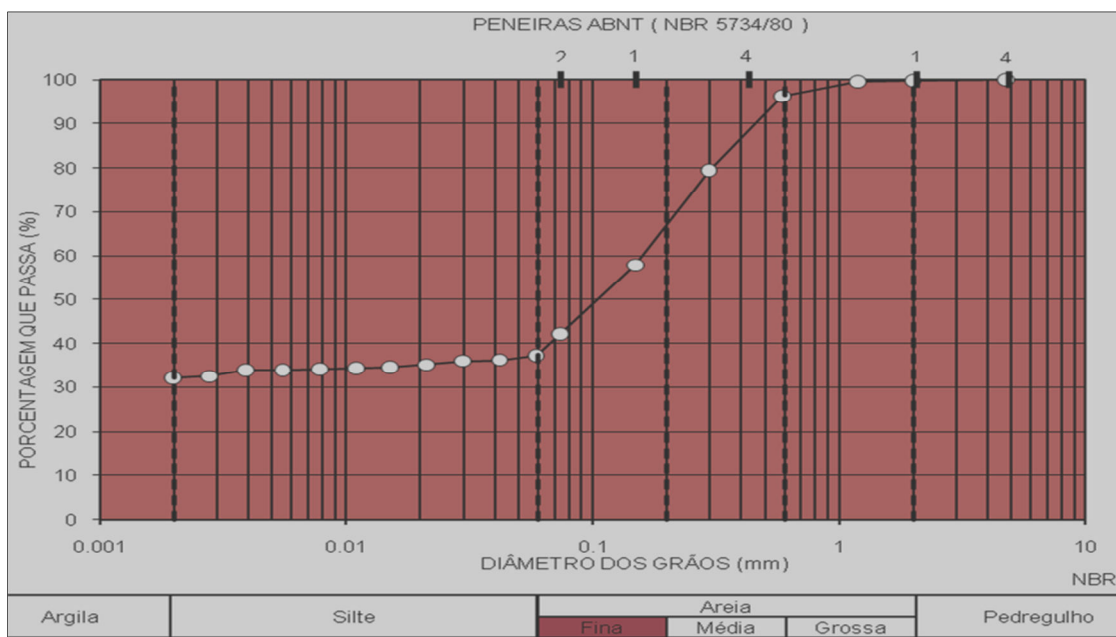


Fig. 10 - Curva granulométrica do solo Hokotora.

Tabela 2 - Resumo das características do solo Hokotora - Nhamatanda

1	Massa Específica Dos Sólidos - $G_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2,73
2	Massa Específica Seca Máxima (g/cm <sup>3</sup> )	1,86
3	Teor De Humidade Ótimo - $W_{ot}$ (%)	14,7
4	Percentual De Areia (%)	62,00
5	Percentual De Argila (%)	32,0
6	Percentual De Silte (%)	6,0
7	Limite De Liquidez - WL (%)	32
8	Limite De Plasticidade - $W_p$ (%)	20
9	Índice De Plasticidade $I_p$ (%)	12
10	Ângulo De Atrito Interno $\Phi'$ (°)	31,7
11	Intercepto De Coesão $C'$ (KPa)	28
12	**Classificação - SUCS	SC

#### 5.1.10. Caixa de ensaios de arranque

A caixa de ensaios usada para os ensaios de arranques foi construída por Costa em 2005, a caixa tem um formato prismático com as dimensões apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Dimensões internas da caixa de ensaios

Dimensões da caixa de ensaio de arranque (mm)	
Comprimento interna	1400
Largura interna	560
Altura interna	560

## 5.2. Calibração das células de tensão total

As células de tensão total usadas são de modelo BE-2KC (inclusão) e BE-2KD (interface), que depois de conectadas aos cabos e, os cabos aos conectores de saída, eram colocadas e calibradas uma a uma usando para tal uma caixa projetada para ensaio de arranque de geogrelhas, segundo pode ser visto na figura 5.6. A caixa metálica com as dimensões seguintes: comprimento 300 mm, largura interna 250 mm e altura interna de 185 mm, com uma tampa também metálica acoplada a uma bolsa de ar em PVC, com uma capacidade de reação de 300 kPa; porém, durante a calibração foi usada uma carga de 250 kPa.

Colocou-se a célula de tensão total na base da caixa e posteriormente encheu-se a caixa com areia seca, em seguida tampou-se a caixa e começou-se a encher a bolsa. Os carregamentos foram feitos de forma progressiva com um aumento de 10 kPa até atingir 250 kPa; depois de atingir 250 kPa, eram feitos os descarregamentos, seguindo a ordem decrescente do carregamento até 0,0 kPa; o procedimento é repetido várias vezes para a estabilização das leituras garantido assim, a dissipação da histerese, vale salientar que esse procedimento é realizado para cada uma das células a usar.

## 5.3. Relações fundamentais usadas

Em relação ao critério mecânico, a NBR 9286/86 estabelece duas principais características a serem observadas que são: o peso específico e o atrito de interface ( $f^*$  - coeficiente de atrito aparente solo - fita).

O coeficiente de atrito aparente solo - fita ( $f^*$ ), é definido pela equação 1, e é dependente da tensão tangencial máxima mobilizada no contato solo - fita ( $\tau_{\max}$ ) e da tensão vertical efetiva média do nível considerado ( $\sigma_v$ ). É ainda suposto que o coeficiente  $f^*$  não varia ao longo do comprimento do elemento.

$$f^* = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_v} \quad \text{Eq. 1}$$

Em aterros compactados, em que a granulometria atende aos critérios estabelecidos para os solos de tipo A e B da tabela 4.1, o valor de  $f^*$  varia em função da profundidade que se mede a partir do nível de altura mecânica. A variação de  $f^*$  segue a seguinte lei:

$$f^* = f^*_0 \left(1 - \frac{z}{z_0}\right) + tg\phi_0 \left(\frac{z}{z_0}\right), z < z_0 \quad \text{Eq. 2}$$

$$f^* = tg\phi, \text{ para } z \geq z_0 \quad \text{Eq. 3}$$

Considera-se  $z_0 = 6\text{m}$ ; este valor de  $z_0$  foi considerado de acordo com uma série de ensaios em modelos reduzidos e medições em obras reais (NBR 9286/86).

O coeficiente  $f_0$  é avaliado pela expressão 4.

$$f^*_0 = 1,5 \text{ ou } f^*_0 = 1,2 \log Cu \quad \text{Eq. 4}$$

A verificação da ruptura por arranque visa assegurar que as inclusões não deslizem quando submetidas ao esforço de tração. Para isso a força de tração  $F_h$  deve então ser igual a uma força limite que é definida por:

$$F_{ARR} = 2 \cdot L \arg_{fita} \cdot L_{anc} \cdot (c_a + \sigma_v \cdot f) \quad \text{Eq. 5}$$

$$L_{anc} = \text{comprimento na zona resistente: } L_{anc} = \left| \frac{NBR}{T.Armada} \right. \quad \text{Eq. 6}$$



$$FS_{ARR} = \frac{F_{ARR}}{F_h} \geq 1,5 \quad \text{Eq.7}$$

O solo de Hokotor é coesivo, para considerar a coesão usou-se a equação 5 para formular a equação que determina o coeficiente de atrito aparente solo-fita  $f^*$ , que foi designada por equação 8.

$$F_{arr} = 2 \cdot \text{Área} \cdot (C_\alpha + \sigma'_v \cdot f^*) \Rightarrow f^* = \frac{\left( \frac{F_{arr}}{2 \cdot B \cdot L} \right) - C_\alpha}{\sigma'_v} \quad \text{Eq.8}$$

#### 5.4. Ensaio de arranque de fitas poliméricas

Com a intenção de avaliar a interação solo-fita polimérica foram realizados seis ensaio de arranque de fitas poliméricas com areia argilosa do Hokotora

As fitas poliméricas foram submetidas a ensaios de tração; o objetivo dos ensaios de tração foi de avaliar se as forças de arranque obtidas durante a execução de ensaios poderia provocar deformações excessivas ou não nas fitas poliméricas. Os ensaios foram executados em amostras não reduzidas, facilitando assim à comparação das resistências a tração durante os ensaios de tração e de arranque respectivamente. Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório Multidisciplinar da Glorias Consultorias & Engenharias, Lda

Foi necessário aplicar uma pré-carga para cada ensaio de modo a garantir que os deslocamentos devido ao ajuste na garra de arranque, não interferissem no percurso do LVDT. As pré-cargas foram consideradas e adicionadas às forças de arranque finais.

A Figura 11, abaixo mostra a inserção das fitas poliméricas no maciço, durante o processo de preparação do ensaio.



Fig. 11 - Inserção da fita polimérica no maciço (Maparagem, 2011)

##### 5.4.1. Ensaios com o solo de Hokotora

A tabela 4 Mostra os valores das forças de arranque e as pré-cargas aplicadas durante a execução dos ensaio de arranque de fitas poliméricas em solo de Hokotora.

Tabela 4 - Valores das forças de arranque e das pré-cargas usadas nos ensaios (solo de Hokotora)

Ensaio	$F_{ar}$ (KN)	$\Delta\sigma'_v$ (kPa)	$\sigma'_{v\ total}$ (KPa)	Pé-carga (KN)	$F_{arr\ total}$ (KN)
1_FPO <sub>47</sub> _H	5.400	41.470	46.492	0.392	5.792
2_FPO <sub>47</sub> _H	7.200	105.000	110.022	0.4214	7.621
3_FPO <sub>47</sub> _H	8.100	156.660	161.682	0.3234	8.423
1_FPO <sub>50</sub> _H	8.950	61.536	66.558	0.3822	9.332
2_FPO <sub>50</sub> _H	9.000	124.201	129.223	0.3626	9.363
A 3_FPO <sub>50</sub> _H	9.500	160.003	165.025	0.392	9.892

Tabela 5, Mostra os valores que caracterizaram os ensaios de arranque das fitas poliméricas em solo de Hokotora

Tabela 5 - Controle de hhumidade e grau de compactação.

Ensaio	w	m <sub>cilindro</sub>	m <sub>s+cilindro</sub>	m <sub>solo</sub>	V <sub>cilindro</sub>	ρ <sub>n</sub>	ρ <sub>d</sub>	GC
	(%)	(g)	(g)	(g)	(cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)
1_FPO <sub>47</sub> _H	14.50	1220.60	3199.27	1978.67	1006.838	1.96523	1.716	93.8%
2_FPO <sub>47</sub> _H	14.30	1220.60	2821.99	1601.39	1006.838	1.59051	1.392	94.6%
3_FPO <sub>47</sub> _H	14.65	1220.60	2837.00	1616.40	1006.838	1.60542	1.400	95.2%
1_FPO <sub>50</sub> _H	14.61	1220.60	2841.12	1620.52	1006.838	1.60951	1.404	95.4%
2_FPO <sub>50</sub> _H	14.65	1220.60	2827.01	1606.41	1006.838	1.5955	1.392	94.6%
3_FPO <sub>50</sub> _H	14.61	1220.60	2804.90	1584.30	1006.838	1.57354	1.373	93.3%

Assim, usando a equação 8, obtêm-se resultados apresentados na Tabela 6:

Tabela 6 - Resultados práticos sem considerar a coesão do solo

Ensaio	τ <sub>max</sub> (kPa)	F <sub>ar</sub> (KN)	Δσ <sub>v</sub> '(kPa)	σ <sub>v</sub> ' <sub>tatal</sub> (KPa)	L (m)	B (m)	H <sub>eq</sub> (m)	f* <sub>ad</sub>
1-FPO <sub>47</sub> _H	44.01	5.792	41.470	46.492	1.400	0.047	2.50	<b>0.95</b>
2-FPO <sub>47</sub> _H	57.91	7.621	100.460	105.482	1.400	0.047	5.67	<b>0.55</b>
3-FPO <sub>47</sub> _H	64.01	8.423	155.660	160.682	1.400	0.047	8.64	<b>0.40</b>
1-FPO <sub>50</sub> _H	66.66	9.332	120.000	125.022	1.400	0.050	6.72	<b>0.53</b>
2-FPO <sub>50</sub> _H	66.88	9.363	150.201	155.223	1.400	0.050	8.35	<b>0.43</b>
3-FPO <sub>50</sub> _H	70.66	9.892	160.003	165.025	1.400	0.050	8.87	<b>0.43</b>

Levando em consideração a norma e adotando  $f^*_0 = 1,5$ ; fez-se os cálculos que levaram aos resultados apresentados na tabela 8.

Tabela 7 - Resultados obtidos considerando a teoria, na norma 9286/86.

Ensaio	σ' (kPa)	f*	H <sub>eq</sub> (m)	Φ (°)	Z <sub>0</sub> (m)	τ <sub>max</sub> (kPa)	f* <sub>0</sub>
1-FPO <sub>47</sub> _H	46.492	1.132	2.50	31.7	6	52.64	1.500
2-FPO <sub>47</sub> _H	105.482	0.629	5.92	31.7	6	66.39	1.500
3-FPO <sub>47</sub> _H	160.682	0.618	8.69	31.7	6	99.24	1.500
1-FPO <sub>50</sub> _H	125.022	0.974	3.58	31.7	6	121.71	1.500
2-FPO <sub>50</sub> _H	155.223	0.618	6.95	31.7	6	95.87	1.500
3-FPO <sub>50</sub> _H	165.025	0.618	8.87	31.7	6	101.92	1.500

Também foi considerado o efeito da coesão através equação 8, uma vez se tratando de um solo coesivo e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados do ensaio considerando o efeito da coesão do solo

Ensaio	$\sigma'_{\text{total}}$ (KPa)	$F_{\text{arr}}$ (KN)	$H_{\text{eq}}$ (m)	$C\alpha$ (kPa)	$\tau_{\text{max}}$ (kPa)	$f^*$	L (m)	B (m)
1-FPO47-H	46.492	5.792	2.50	37.23	44.01	<b>0.146</b>	1.400	0.047
2-FPO47-H	105.482	7.621	5.67	37.23	57.91	<b>0.196</b>	1.400	0.047
3-FPO47-H	160.682	8.423	8.64	37.23	64.01	<b>0.167</b>	1.400	0.047
1-FPO50-H	125.022	9.332	6.72	37.23	66.66	<b>0.235</b>	1.400	0.050
2-FPO50-H	155.223	9.363	8.35	37.23	66.88	<b>0.191</b>	1.400	0.050
3-FPO50-H	165.025	9.892	8.87	37.23	70.66	<b>0.203</b>	1.400	0.050

As tabelas 10 e 11 apresentam as equações de envoltórias segundo a norma anbr 9286/86 e dos resultados práticos dos ensaios, respectivamente.

Tabela 9 -Para resultados teóricos segundo a norma NBR 9286/86

Ensaio	Ângulo de atrito da interface $\delta$ (°)	Adesão $C_a$ (kPa)	Equação da envoltória
FPO_H	25,11	39.77	$39,77 + \sigma \cdot \text{tang}25,11^\circ$

Tabela 10 - Para resultados práticos

Ensaio	Ângulo de atrito da interface $\delta$ (°)	Adesão $C_a$ (kPa)	Equação da envoltória
FPO_H	11,51	37,23	$37,23 + \sigma \cdot \text{tang}11,51^\circ$

### 5.5. Análise dos resultados

As fitas poliméricas durante a execução dos ensaios de arranque apresentaram a força de arranque máxima de cerca de 9,90 KN, (ensaio 3-FPO<sub>50</sub>-H) quando aplicada uma solitação de 165,03 kPa. Vê-se que o valor da força de arranque é menos que a metade da média da que foi usada nos ensaios de tração apresentado na figura 8.

Na preparação dos ensaios as fitas foram instrumentadas com *strain gages* como se tem referido nos capítulos anteriores; esses sensores serviram para facilitar a compreensão do andamento da tração ao longo do comprimento das fitas poliméricas. A figura 12, mostra o comportamento típico verificado nos ensaios, em que a tendência foi do *strain gage* mais próximo do ponto da aplicação da força de arranque estar mais solicitado á tração, e, na medida em que se afasta do ponto de aplicação há uma tendência de redução do valor registado; sendo o *strain gage* que regista o menor força, o último.

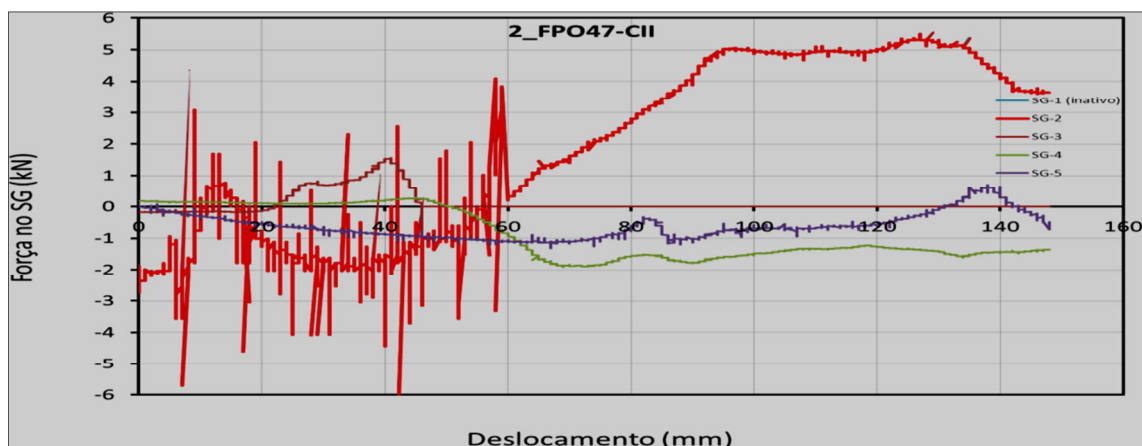


Fig. 12 - Comportamento do andamento das trações ao longo das inclusões (Hokotora)

De modo a permitir uma melhor compreensão da comparação dos resultados dos ensaios em termos de coeficientes de atrito aparente solo-inclusão foi traçada a curva teórica preconizada na norma e depois, na mesma área, lançou-se os resultados dos ensaios; calculados levando em conta a relação teórica, a relação direta sem considerar a coesão e finalmente a relação real para os solos coesivos, a que considera a coesão através da incorporação da adesão solo-reforço nos cálculos.

Depois do traçado das curvas  $f^*$  vs profundidade foram traçadas as envoltórias típicas da interação solo inclusão que permitem calcular os valores típicos da adesão, a seguir são apresentadas a comparação entre a curva teórica e os resultados obtidos calculados considerando as diferentes relações. Onde pode se observar que os resultados obtidos dos ensaios não são coerentes com os teóricos.

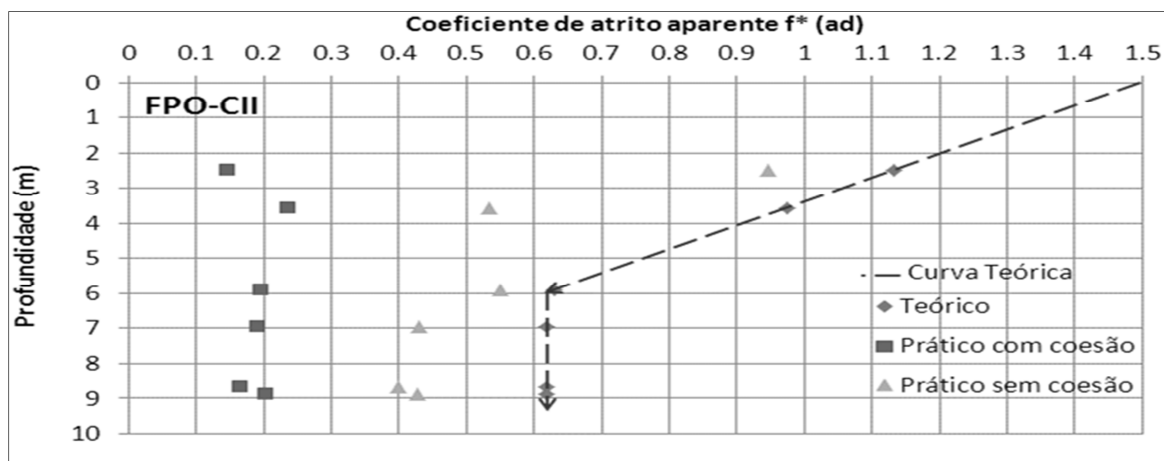


Fig. 13 - Distribuição dos resultados de ensaios em relação à curva da norma NBR9286/86 - solo-fita polimérica

## 6. CONCLUSÕES

Foram realizados 06 ensaio de arranque de grande escala em laboratório com o objetivo de avaliar a interação solo-fitas poliméricas para soluções em terra armada solos problemáticos em áreas agrícolas e de mineração artesanal de Hokotora. Os objetivos incluíam a comparação

com a norma brasileira de terra armada NBR 9286/86 e dos critérios usados para a validação de obras que consideram inclusões poliméricas.

Dos resultados dos ensaios concluiu-se que;

- 1- Quanto maiores foram as profundidades, representadas pelos valores maiores de acréscimos da tensão vertical, o coeficiente de atrito aparente solo-fita tendia a reduzir.
- 2- Para solos coesivos de Hokotora, os valores do  $f^*$  são muito menores. A pior situação foi constatada quando se considera a influência da coesão tão elevada dos solos.
- 3- O andamento das tensões ao longo do comprimento das fitas durante os ensaios de arranque, avaliados a partir dos registros de sensores (*strain gages*), mostraram que as tensões de tração são maiores próximo do ponto de aplicação da força do arranque e os seus valores vão reduzindo em direção à zona resistente ou para o interior do maciço (extremidade posterior da fita).
- 4- Os resultados dos ensaios mostram que as forças de tração nas fitas são muito menores aos obtidos nos ensaios de tração para a caracterização ou calibração das mesmas, não havendo assim, perigo de ocorrência de deformações excessivas nas fitas.
- 5- O comprimento das fitas dentro do maciço é muito menor na caixa de ensaios e não permite tirar a vantagem de maior número de nervuras inseridas no maciço, no caso das fitas metálicas nervuradas, muito menos da superfície rugosa das fitas poliméricas.
- 6- Os resultados obtidos com fitas poliméricas considerando a norma para o solo de Hokotora; são satisfatórios para profundidades de até 3,0 metros.

## REFERÊNCIAS

- [1]-ABRAMENTO, M.; KOSHIMA, A. & ZIRLIS, A.C. Reforço do terreno. Fundações Teoria e Prática, São Paulo, 1998, Editora Pini, 2ª. edição, pp.641-690.
- [2]-ALIMI, I. et al (1977)-“Étude de l'adhérence sol-armature en place en laboratoire” - 9<sup>th</sup> ICSMFE, Tokyo.
- [3]-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9286-TERRA ARMADA. RIO DE JANEIRO, 1986.
- [4]-BASTICK, M., SCHOLESSER, F., E CANEPA, Y. (1991) “Efforts et déformations dans une cullée expérimentale en terre armée” - X ECSMF, Firenze.
- [5]-BUENO, B. S., Geosynthetic - Reinforced Soil walls and Slopes: Brazilian Perspectives, Geofrontiers., Austin T., 2005, 14p.
- [6]-BUENO, b. S., VILAR, O. M. e ZORMBERG, J.G. Use of tropical soil as backfill of reinforced soil structures in Brazil, 8th International Conference on geosynthetics, Yocohama, 2006, pp.1209-1212.
- [7]-FELIX, C. M. S. (1991). Comportamento dos Muros de Terra Armada. FEUP-portugal.
- [8]-MACCAFERRI-Technical data sheet-Paraweb<sup>TM</sup> MD (30.01.2007).
- [9]-Maparagem, A. S e Bueno B.S Avaliação da Interação Solo-Fita metálicas e poliméricas para Soluções em Terra Armada em Solos não Convencionais 2011

[10]-Maparagem, A. S, Machanically Stabilized Eath with Concret wall facing Technique-  
Estudo de comparação de custo entre muro de arrimo e de flexão 2013

[11]-MECHANICALLY STABILIZED EARTH WALLS AND REINFORCED SOIL  
SLOPES DESIGN & CONSTRUCTION GUIDELINES No. FHWA-NHI-00-043, NHI  
Course No. 132042., 2001, PP 20-136.

[12]-MIRANDA, S. B. (2009). Estudo da Resistência ao Cisalhamento de Interfaces em  
Reforços Unidirecionais.

[13]-NBR 6323- Produtos de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente.  
Rio de Janeiro, 1990.

[14]-SERAPHIN E MELO 2003-PUC- Rio- certificação Digital nº 0321277/CA