

**FACULDADE CAPIXABA DE NOVA VENÉCIA – MULTIVIX
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MÉTODOS PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES: SOLO
GRAMPEADO E BIOCIMENTAÇÃO**

**HANNA ROGIN BONOMO
RAYANE DE OLIVEIRA CHAGAS**

**NOVA VENÉCIA - ES
2017**

MÉTODOS PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES: SOLO GRAMPEADO E BIOCIMENTAÇÃO

**HANNA ROGIN BONOMO
RAYANE DE OLIVEIRA CHAGAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado à Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX , como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: André Lima Ferreira

**NOVA VENÉCIA - ES
2017**

MÉTODOS PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES: SOLO GRAMPEADO E BIOCIMENTAÇÃO

**HANNA ROGIN BONOMO
RAYANE DE OLIVEIRA CHAGAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil apresentado à Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em ____ de Dezembro de 2017

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof.º André Lima Ferreira / Arquiteto e Urbanista
Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX
Orientador

Titulação e nome do Profº
Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX
Examinador

Titulação e nome do Profº
Faculdade Capixaba de Nova Venécia - MULTIVIX
Examinador

MÉTODOS PARA ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES: SOLO GRAMPEADO E BIOCIMENTAÇÃO

André Lima Ferreira¹

Hanna Rogin Bonomo²

Rayane de Oliveira Chagas³

RESUMO

A estabilização de taludes tem se tornado nos últimos tempos um fator essencial de segurança, visto que as áreas de encostas naturais vêm sendo cada vez mais ocupadas devido ao crescimento desenfreado da população. O presente artigo aborda uma definição sucinta de talude, listando quais são as principais formas de escorregamento que pode ocorrer e os tipos de contenção que podem ser empregadas na estabilização do maciço de solo. Aponta ainda o que é solo grampeado, quais são as etapas do processo executivo e faz uma análise comparativa entre o solo grampeado e a biocimentação. O artigo também que o solo grampeado é uma técnica cujo seu processo executivo é considerado rápido em relação à biocimentação, visto que a mesma só apresentou resultados significativos depois de um longo período de tempo. Além disso, se comparada a biocimentação o solo grampeado utiliza-se de muitos equipamentos e mão de obra especializada.

Palavras-chaves: Talude. Estabilidade. Solo grampeado. Biocimentação.

ABSTRACT

The slope stabilization has lately become an essential safety factor, having in mind that the natural slope areas have been occupied more and more thanks to the reinless population

¹ Professor e Orientador da Faculdade Capixaba de Nova Venécia Multivix, Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade Brasileira – MULTIVIX Vitória e Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Brasileira – MULTIVIX Vitória. E-mail: andre.ferreira@multivix.edu.br

² Graduanda em Engenharia Civil pela Faculdade Capixaba de Nova Venécia Multivix. E-mail: bonomohanna@hotmail.com

³ Graduanda em Engenharia Civil pela Faculdade Faculdade Capixaba de Nova Venécia Multivix. E-mail: oliveirachagas.rayane@gmail.com

growth. This article approaches a succinct definition of slopes, listing what are the main forms of slip that may occur and the types of restraint that may be used at the massive soil stabilization. It also defines what stapled soil is, what are the phases of the executive process and makes an analysis between the stapled soil and the biocimentation. The article also shows that the stapled soil is a technique in which its executive process is considered a fast method compared to the biocimentation, seeing that this one have presented significant results only after a long period of time. Besides, if compared the biocimentation, the stapled soil method uses a lot of equipments and specialized labor.

Key words: Slope. Stability. Stapled soil. Biocimentation.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o crescimento desenfreado da população ocorreu devido às políticas desenvolvimentistas, as quais possibilitou a expansão do meio urbano (NETO et al. apud MARTINS, 2012). Esse crescimento provocou consequências tais como a aglomeração da população em locais inapropriados ao uso e ocupação, bem como a necessidade de construção de rodovias (DEJONG et al., 2006). Sendo assim, para a construção de rodovias mais seguras é necessária uma menor quantidade de curvas acentuadas e, para isso, são realizados serviços de terraplenagem, executando cortes ou aterro, e, assim, criando taludes nas margens da rodovia.

Os taludes podem ser bem difíceis de serem contidos, podendo em alguns casos ocasionar deslizamentos capazes de provocar acidentes em grande escala como, por exemplo, impedir a passagem de veículos nas estradas ou soterrar casas e pessoas (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2003). D'Orsi et al. (2016) listam os 50 maiores acidentes geológico-geotécnicos na cidade do Rio de Janeiro que ocorreram entre os anos de 1966 e 2016. Entre os acidentes apontados no estudo estão em sua maioria os escorregamentos, corridas de massa e quedas de blocos que provocaram muita destruição e mortes.

Na construção civil, a maioria dos métodos utilizados para o tratamento de taludes produzem efeitos negativos, pois são geradores de grandes impactos ambientais como, por exemplo, a modificação do meio, a produção de resíduos, além da emissão de substâncias

poluidoras. Devido a esses fatores há necessidade de se utilizar métodos que sejam mais sustentáveis (VAN PAASSEN, 2010).

O solo grampeado é uma forma de estabilização realizada por meio da introdução de elementos resistentes, denominados grampos ou chumbadores (ORTIGÃO et al., 1993). Esta é uma técnica realizada em três etapas básicas: escavação, introdução dos grampos ou chumbadores e o jateamento do concreto para a impermeabilização do maciço (MAGALHÃES, 2011). O problema do processo de impermeabilização com concreto é que a própria produção do cimento emite quantidade significativa de dióxido de carbono (CO_2), o qual é responsável por problemas relacionados ao aquecimento global (VAN PAASSEN, 2010).

A biocimentação se dá pelo processo de formação de calcite por meio da hidrólise da ureia, sendo a calcite responsável pela ligação das partículas do solo, tornando-o mais resistente, pouco permeável e um bom método para a estabilização de taludes (PEDREIRA, 2014).

Este artigo tem como objetivos pontuar os principais fatores que podem causar a instabilidade de um talude, mostrar quais os tipos de contenção existentes atualmente, descrever a técnica do grampeamento de solo e como é executada, bem como da biocimentação, apontar quais fatores podem, de fato, influenciar no comportamento das bactérias alimentadas pelo líquido nutriente no processo da biocimentação, indicar as características do solo tratado por meio da biocimentação e, por fim, fazer um pequeno comparativo entre o método do solo grampeado e a biocimentação.

Atualmente existem diversas técnicas para a estabilização de taludes que proporcionam segurança e bons resultados, mas, cada um possui suas vantagens e desvantagens e produz impactos ambientais diferentes (TEIXEIRA, 2011). Por esse motivo, o presente artigo tem como foco abordar as técnicas do solo grampeado e da biocimentação, com intuito de analisar as facilidades e o desempenho de cada método.

2 METODOLOGIA

“A pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos,

páginas de web sites” (FONSECA apud GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T., 2009). Sendo assim, o presente artigo consiste em uma revisão bibliográfica, baseada em materiais de apoio como: obras literárias, monografias, banco de dados digital, artigos científicos e revistas eletrônicas a cerca do assunto.

Primeiramente o trabalho faz uma abordagem aos taludes, enfatizando os pontos que podem gerar a instabilidade do maciço de solo. Em seguida são expostos os tipos de contenção que podem ser utilizados para a estabilização de taludes, como funciona o método do solo grampeado e da biocimentação e, por fim, apresenta um pequeno comparativo entre os dois métodos abordados. No comparativo abordam-se as principais vantagens e desvantagens de cada técnica, destacando também em tabela as diferenças entre elas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Taludes

Entre os conceitos encontrados para talude o que mais se destaca é “toda e qualquer superfície inclinada que limita um maciço de terra, rocha ou de ambas, distinguindo igualmente talude natural (encostas ou vertentes) e artificial (cortes e aterros)” (CARMIGNANI E FIORI apud CORRÊA et al., 2016). De acordo com a ABNT NBR 11.682:1991 (Estabilidade de Taludes), “talude natural é aquele formado pela ação da natureza, sem interferência humana”. Ainda de acordo com a ABNT NBR 11.682:1991 (Estabilidade de Taludes), o “talude artificial é aquele formado, ou modificado, pela ação direta do homem”.

Em se tratando de taludes, oportuno se torna também mencionar os fenômenos que podem ocasionar a instabilidade do maciço de solo. Esses fenômenos são denominados movimentos de massa, tendo eles origens e ocorrência de forma distinta. A seguir são apresentados os principais tipos de movimentos de massa de interesse nesse artigo:

- a) **Rastejos:** são movimentos que ocorrem mais lentamente, ou seja, a baixas velocidades, com continuidade e não possuem superfície de ruptura definida. Esses movimentos podem ocorrer com grandes volumes de material, sendo geralmente

ocasionados por ação da gravidade juntamente com a variação de temperatura e umidade (GERSCOVICH, 2016).

- b) Escorregamentos:** são caracterizados como movimentos rápidos de uma porção bem definida de solo e/ou rocha. O deslocamento ocorre em função da gravidade, sendo ele realizado tanto para baixo quanto para fora do talude (TOMINAGA, L. K; SANTORO, J.; AMARAL, R., 2009).
- c) Corridas de massa:** consiste no escoamento rápido do solo ocasionado pelo excesso de água. São movimentos que atingem grandes distâncias em um curto período de tempo, ainda que a área de ocorrência seja pouco inclinada, podendo ocasionar consequências em grande escala (TOMINAGA, L. K; SANTORO, J.; AMARAL, R., 2009).

Pelo exposto, cabe traçarmos um paralelo com relação ao grau de risco dos deslocamentos característicos e a velocidade característica média, por meio de tabela 1 baseada na ABNT NBR 11682:1991 (Estabilidade de Taludes), na qual aponta como sendo de alto risco quando o deslocamento na horizontal for maior que 20,0cm, na vertical maior que 10,0cm e com velocidade característica média maior que 20,0mm/dia para ambas as direções e, de baixo risco, quando o deslocamento na horizontal for menor que 5,0 cm, na vertical entre 2,0 e 10,0cm e com velocidade característica média entre 1,0 e 20,0mm/dia para ambas as direções.

Tabela 1 – Movimentos de massa – Grau de risco do processo em função do valor da movimentação.

Grau de risco	Deslocamento característico		Velocidade característica média	
	Horizontal (cm)	Vertical (cm)	Horizontal (mm/dia)	Vertical (mm/dia)
ALTO	> 20	> 10	> 20	> 20
MÉDIO	5 a 20	2 a 10	1 a 20	1 a 20
BAIXO	< 5	< 2	< 1	< 1

FONTE: NBR 11681 – Estabilidade de Taludes

Outro fator de grande relevância no estudo da estabilização de taludes é o fator de segurança do mesmo. Conforme a ABNT NBR 11682:1991 (Estabilidade de Taludes), fator de segurança consiste na “relação entre os esforços estabilizantes (resistentes) e os esforços instabilizantes (atuantes) para determinado método de cálculo adotado”.

Para Teixeira (2011), o fator de segurança (FS) é que define a condição de estabilidade do talude e indica o grau de segurança de um projeto. Para garantir a estabilidade o talude deve

apresentar fator de segurança superior a 1,0, tendo como limite de estabilidade em iminência de ruptura o valor igual a 1,0 e se torna instável quando apresenta valores inferiores a 1,0.

3.2 Tipos de Contenções

As contenções podem ser definidas como estruturas construídas com intuito de promover a estabilidade do talude. Funcionam como suporte, evitando que ocorram escorregamentos ou quaisquer outras formas de movimentação do solo que possam causar a instabilidade (BARROS, s.d).

Em outras palavras, as estruturas de contenção são utilizadas para estabilizar taludes quando o fator de segurança do maciço apresenta valores inferiores aos exigidos na norma (TEIXEIRA, 2011). Geralmente são estruturas dispendiosas, portanto, é importante fazer uma análise rigorosa antes de adotar qualquer tipo de contenção (MEDEIROS, s.d).

Segundo Marangon (2009), o tipo de contenção mais adequado é definido conforme a avaliação do talude com relação aos processos que possam instabilizar o mesmo, ou seja, analisando a situação do maciço e pontuando quais os fatores instabilizantes que atuam no mesmo.

De acordo com Teixeira (2011), os principais tipos de contenção são as que trabalham com peso, as que trabalham com ancoragem (solo grampeado, cortina atirantada e terra armada), as que trabalham por ficha (estaca justaposta) e os sistemas mistos (estaca justaposta com estronca ou tirante).

Este artigo dará enfoque ao processo da biocimentação e fará um comparativo com o método do solo grampeado, com o intuito de caracterizar e listar os benefícios da utilização de um processo menos agressivo ao meio natural. O destaque na biocimentação se dá devido à necessidade de se promover novas técnicas que possibilitem uma maior sustentabilidade para o meio ambiente e que sejam mais econômicas e no solo grampeado por ser um dos métodos mais utilizados atualmente.

3.3 Solo Grampeado

O solo grampeado consiste em uma técnica de reforço “in situ” do talude realizado por meio da introdução de elementos resistentes no solo. Tais elementos são denominados grampos, sendo estes instalados na horizontal de maneira a introduzir esforços resistentes de tração e cisalhamento (ORTIGÃO et al., 1992).

De acordo com o engenheiro Roberto Kochen, diretor técnico da Geocompany, esse processo de grampeamento do solo estabiliza o talude através do aumento da coesão do conjunto solo-reforço. Se projetado, executado e supervisionado corretamente por pessoas qualificadas e experientes o método oferece benefícios como econômica e segurança.

A técnica do solo grampeado não é recomendada para aterros, terrenos muito arenosos ou em locais cujo nível d'água seja elevado, pois esses fatores dificultam o processo de construção e implantação dos grampos. O ambiente ideal para ser empregado é em taludes naturais ou resultantes de escavações (BOLTON e STEWART, 1990).

Segundo Zirlis e Pitta (1992), esse procedimento tem como objetivo resistir aos esforços externos como afundamentos e escorregamentos e esforços internos através dos chumbadores que possuem função de estabilizar todo o volume de solo abrangido. Cada componente de reforço deve manter o solo em equilíbrio, tornando o ambiente seguro para as possíveis ações de escorregamento. Esses elementos são cravados no solo de maneira a permitir a introdução dos esforços resistentes de tração e cisalhamento (ORTIGÃO et al., 1992). De modo geral, os grampos são responsáveis pela estabilização geral do talude (ZIRLIS E PITTA, 1992).

De acordo com Magalhães (2005), o método executivo do grampeamento do solo resume-se basicamente na escavação do talude, introdução dos grampos e jateamento do concreto projetado. Sendo assim, torna-se oportuno mencionar tais pontos a seguir:

a) Escavação do talude

De acordo com Teixeira (2011), as profundidades recomendadas para a escavação são de 1 a 2 metros conforme o tipo de solo, com intuito de evitar grandes deformações na face do talude. Outra recomendação seria a inclinação da face do talude, quando for possível, a fim de aumentar a estabilidade e reduzir o uso de armaduras de reforço.

b) Introdução dos grampos

Os grampos podem ser introduzidos no talude de duas maneiras distintas, sendo uma delas por meio da injeção e a outra por cravação. No método de injeção, após o pré-furo as barras são posicionadas no talude e logo após é inserida uma calda de cimento, sendo que esta deve atender aos requisitos do projeto, não contendo, portanto, cimentos que possam ser altamente agressivos aos grampos (ZIRLIS E PITTA apud TEIXEIRA, 2011). Já o método por cravação o grampo é introduzido por percussão com auxílio de marteleto. Este possui um processo executivo mais ligeiro, apresentando como desvantagem uma menor resistência ao cisalhamento (ORTIGÃO et al. apud TEIXEIRA, 2011).

c) Jateamento do concreto

O jateamento do concreto consiste no revestimento do paramento do talude. O concreto, por sua vez, pode ser projetado de duas maneiras distintas: por via seca ou por via úmida. No concreto projetado por via seca, o preparo é feito a seco, sendo que a água é adicionada somente no bico de projeção. Já no concreto projetado por via úmida, a mistura é preparada com água e assim projetada na superfície (SOLOTRAT, 2017).

O maquinário para a execução do solo grampeado consiste basicamente de uma máquina para escavação de terra, uma máquina perfuradora, um equipamento de injeção e outros equipamentos leves. Os trabalhos de escavação, perfuração e injeção podem ser efetivados respectivamente em posições diferentes de trabalho, proporcionando rapidez na construção (BRUCE E JEWEL, 1987).

Este processo não é muito agressivo ao meio ambiente (TEIXEIRA, 2011), porém, o grande problema vem do processo de impermeabilização com concreto, pois a própria produção do cimento emite quantidade significativa de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera (VAN PAASSEN, 2010).

3.4 A Biocimentação e seu Processo Químico

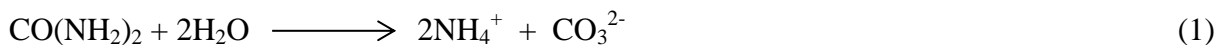
A biocimentação consiste em uma técnica, na qual a formação da calcite é responsável pela ligação das partículas do solo, provocando ganhos na rigidez e resistência. Essa técnica também é conhecida como MICP – Calcite Introduzida Microbiologicamente por Precipitação (PEDREIRA, 2014).

Este processo utiliza uma mistura de ureia [$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$] e água (H_2O), formando um líquido nutriente que, quando introduzida no solo, alimenta as bactérias conhecidas como *Sporosarcina pasteurii*, comumente presentes nele (PEDREIRA, 2014). A introdução dos nutrientes no solo, em condições favoráveis, faz com que as bactérias se desenvolvam rapidamente e aumentem de quantidade. Após a fermentação, a mistura dá lugar a um material ligante que proporciona o aumento da resistência do solo (RIBEIRO, 2015).

O processo de precipitação de carbonato de cálcio (CaCO_3), por meio da hidrólise da ureia, é o meio mais direto e com capacidade de produzir grandes quantidades de carbonatos em pouco tempo (DHAMI et al. 2013).

Segundo Pedreira (2014), a calcite é formada por uma reação que se divide em duas etapas.

A primeira:



A reação da ureia com água libera amônio e carbonato (reação 1). O amônio, por sua vez, quando reage com água aumenta o pH, proporcionando condições adequadas para a produção de carbonato (COSTA, 2016).

A segunda etapa (reação 2) consiste na reação entre os íons carbonato e os íons de cálcio provenientes da primeira reação, originando a calcite, responsável pelo agrupamento das partículas (PEDREIRA, 2014).



A propósito, é indiscutível que para qualquer método que seja adotado para a estabilização de taludes existem fatores que podem afetar negativamente a estrutura durante ou após sua execução. No caso da biocimentação, convém citar a seguir os principais itens

que podem influenciar no comportamento das bactérias e que podem interferir na produção do biocimento.

3.5 Principais Fatores que podem Influenciar no Comportamento das Bactérias

As bactérias produzem a calcite com eficiência se o ambiente em que se encontram garantir as condições adequadas. Logo, alguns fatores podem influenciar no comportamento delas e, conseqüentemente, na produção do biocimento, entre eles estão pH, temperatura e quantidade de nutrientes (RIBEIRO, 2015).

O pH é considerado ótimo quando atinge valores entre 7,5 e 8, garantindo a máxima atividade da enzima. Todavia, se apresentar pH de 9 a enzima ainda consegue realizar sua atividade, porém, com rendimentos inferiores (STOCKS-FISCHER apud PEDREIRA, 2014).

Quanto à temperatura, Pedreira (2014) afirma que as bactérias *Sporosarcina pasteurii* são capazes de sobreviver em temperatura ambiente, porém, atingem sua eficiência máxima quando são submetidas à temperatura de 30°C. Sendo assim, quando submetidas a temperaturas inferiores ou superiores a 30°C as bactérias não se multiplicam com a mesma eficiência, tornando o processo mais lento ou até mesmo ineficiente.

Com relação ao nutriente, a quantidade pode afetar o rendimento da bactéria. Dependendo da proporção ela pode produzir mais ou menos calcite em determinado tempo (BORGES, 2015).

Tendo em vista os argumentos mencionados finalmente é possível caracterizar os aspectos do solo após receber o tratamento denominado biocimentação.

3.6 Aspectos do Solo Tratado por meio da Biocimentação

Um dos solos mais usados nas obras geotécnicas é o laterítico¹. São obras como as de estradas, aeroportos e barragens que utilizam especificamente as argilas lateríticas no processo de pavimentação por possuir uma ótima trabalhabilidade (VILLIBOR et al., 1996).

¹ Solos lateríticos “são solos superficiais, típicos das partes bem drenadas das regiões tropicais úmidas, resultante de uma transformação da parte superior do subsolo pela atuação do intemperismo” (ZORZI, 2008).

Com a adição do processo de biocimentação, essas obras podem usufruir de um aumento de resistência. A precipitação da calcite, pelo processo de cimentação das partículas aumenta a rigidez e resistência do solo, evitando suas deformações (DEJONG et al., 2010).

A biocimentação é realizada por “in situ”, reforçando o solo e melhorando a resistência à erosão, pois ao introduzir as bactérias no solo, estas estão sujeitas a produzir o biocimento. O biocimento, por sua vez, reduz os vazios, diminuindo o processo que causa o arrastamento de pequenas quantidades de solo (MEURS et al. apud MUÑETÓN, 2103). Bang et al. (2001), através de ensaios pôde notar que o principal motivo da resistência ao cisalhamento é o fato de que na metabolização das bactérias ao redor das células há um aumento significativo de cristais de carbonato de cálcio. Isso faz com que as partículas do solo fiquem mais interligadas e com menos poros, tornando o solo mais duro e resistente, tanto na ação de intemperismos quanto na resistência ao corte e deslizamento. A National Earthquake Hazards Reduction Program, por meio de suas experiências, obteve resultados tão positivos que comparou o solo após o tratamento, com um tipo de “rocha”, pois apresentou uma velocidade de 1200 m/s de onda de corte ou até mais que isso (NEHRP, 2003).

Outro fator de grande relevância na caracterização do solo tratado por meio da biocimentação é a permeabilidade do solo. Ferris et al. (1992), observou que houve uma redução de 15% a 20% da permeabilidade com uma comparação inicial. Já Whiffin et al. (2007), de maneira muito semelhante, observou uma redução da permeabilidade de 22% a 75%. Isso pode ser explicado pelo aumento da regularidade e aumento da densidade do solo.

3.7 Biocimentação X Solo Grampeado

O tratamento do solo por meio da biocimentação é considerado por Pedreira (2014) como um método natural que não acarreta prejuízos ao meio ambiente. A técnica tem como objetivo aumentar a resistência do solo e reduzir a deformabilidade de forma sustentável. Contudo, existem ainda outras técnicas que são utilizadas com intuito de melhorar o solo, porém, se comparadas com a biocimentação podem acarretar em grandes impactos ao meio ambiente como, por exemplo, a modificação do meio físico e a geração de resíduos, além contribuir com a poluição do mesmo. Um exemplo dessas técnicas que podem provocar grandes mudanças no meio é a do solo grampeado.

Comparando-se a biocimentação com a técnica do solo grampeado, nota-se que a biocimentação por ser um método natural, pode ser considerada como uma técnica mais sustentável (PEDREIRA, 2014). Já o solo grampeado, apesar de não ser muito agressivo ao meio ambiente (TEIXEIRA, 2011), ainda assim causa mudanças no meio físico, pode gerar resíduo e por utilizar o concreto para a impermeabilização da face do talude pode ser considerado o risco de emissão do CO₂ na atmosfera na produção do cimento (VAN PAASSEN, 2010).

O solo grampeado deve passar por inspeções rigorosas e manutenção adequada para que a estrutura não seja submetida a condições de instabilidade. A inspeção desse tipo de contenção geralmente é visual, sendo observado o estado do concreto e se há existência de manchas de umidade, as quais indicam que pode haver uma ineficiência da drenagem (SOLOTRAT, 2017).

Abaixo segue a tabela 2, que aponta as principais diferenças entre a técnica da biocimentação e do solo grampeado, sendo listadas: o modo de desempenho, as alterações das características do solo, a mobilização de esforços nos elementos introduzidos no solo, solicitações da face e a sustentabilidade.

Tabela 2 – Comparativo entre os métodos do solo biocimentado e solo grampeado

	SOLO BIOCIMENTADO	SOLO GRAMPEADO
Modo de desempenho	Nova biotecnologia de consolidação, na qual o carbonato liberado a partir da hidrólise microbiana precipita com íons de cálcio para formar a calcite, resultando na solidificação do solo.	Reforço de todo o volume de solo através da introdução de chumbadores no terreno.
Alterações das características do solo	A precipitação da calcite pelo processo de cimentação das partículas aumenta a rigidez e resistência do solo, evitando suas deformações.	O processo estabiliza o talude através do aumento da coesão do conjunto solo-reforço, que possibilitam tensões resistentes no maciço.
Mobilização de esforços nos elementos introduzidos no solo	A cimentação química do solo é devido à precipitação de material nos espaços vazios, ligando as partículas entre si.	Cada componente de reforço deve manter o solo em equilíbrio, tornando o ambiente seguro para as possíveis ações de escorregamento. Esses elementos são cravados no solo de maneira a permitir a

		introdução dos esforços resistentes de tração e cisalhamento.
Solicitações na face	Após as atividades microbianas a biocimentação pode evitar a erosão do solo, pois aumentam sua força e a propriedade de rigidez através do ligamento das partículas (IVANOV E CHU, 2008).	O concreto projetado é o elemento utilizado para realizar a impermeabilização da face.
Sustentabilidade	O processo é uma nova tecnologia que visa soluções mais sustentáveis, tendo em vista que o solo é organismo vivo e suas propriedades são melhoradas com ajuda de materiais biológicos e químicos, chamadas de bio-geotecnologias (DEJONG et al., 2010)	Não é um processo muito agressivo ao meio ambiente, porém, um grande problema é que o processo impermeabiliza o talude com concreto, sendo que a própria produção do cimento emite quantidade significativa de dióxido de carbono (CO ₂) na atmosfera.

4 CONCLUSÃO

Analisando-se os dados apresentados, para que os dois métodos sejam efetivados de maneira eficiente e segura é preciso uma minuciosa avaliação do local e suas condicionantes. Após essa criteriosa avaliação analisa-se o tipo de contenção mais apropriada e calcula-se o melhor fator de segurança para a estabilização. Apesar da avaliação local, podem ainda ocorrer situações em que as condicionantes locais não são analisadas de forma adequada, o que poderá acarretar restrições ou a inviabilização do uso.

Para fins de estudo, foi verificado que após a execução de uma escavação os taludes de corte ficam sob uma condição de instabilidade, necessitando de cuidados especiais. Percebe-se ainda que, as intempéries influenciam diretamente nas condições do talude, provocando deslizamentos e carregamento de solo. Portanto, os dois métodos abordados tem a finalidade de impermeabilizar o maciço, evitando esses tipos de problemas.

Em estudo ao método de grampeamento, que é o mais conhecido, seus resultados já foram bastante analisados. É um tipo de contenção que pode ser utilizada na maioria dos tipos de solos. Porém, mesmo não sendo muito nocivo ao meio ambiente, exige muitos materiais em seu processo executivo, além de demandar um ótimo controle de qualidade e profissionais

habilitados. Já a biocimentação é um processo mais recente, pouco utilizado e que ainda está em estudo, mas que até o presente momento apresenta resultados satisfatórios. É uma técnica que depende muito das condições do ambiente para produzir as bactérias, sendo que elas somente são produzidas com eficiência se estiverem em condições adequadas. Sua execução, conforme estudo realizado por Pedreira (2014), não é muito demorada, constituindo-se basicamente de uma mistura de ureia e água, que formam um líquido nutriente, sendo injetado por “in situ” para alimentar as bactérias. Após a introdução do nutriente aguarda-se o resultado da proliferação e formação da calcite, criando uma maior resistência do solo.

Todavia, não é possível julgar qual método é mais eficaz e eficiente, pois existem diversos fatores a serem analisados como: o tipo de obra, o tamanho dela, qual tipo de solo predomina no local e a frequência de ocorrência das intempéries. Além disso, a biocimentação é uma técnica que apesar de apresentar bons resultados os estudos realizados até o momento apresentaram resultados em dois anos.

O trabalho consiste em uma revisão bibliográfica, porém, torna-se interessante para pesquisas futuras analisar os resultados tanto do processo de grampeamento do solo como da biocimentação através de ensaios de caracterização, tais como: resistência e permeabilidade. Outro ponto de interesse seria a observação em campo, a fim de averiguar a eficácia de cada um no mesmo tipo de solo e condições locais similares, obtendo assim resultados comparativos mais específicos.

5 REFERÊNCIAS

- 1 BANG, S.; GALINAT, J.; RAMAKRISHNAN, V. **Calcite precipitation induced by polyurethaneimmobilized bacillus pasteurii**. Enzyme and Microbial Technology, 28, 404-409, 2001.
- 2 BARROS, P. L. A. **Obras de contenção**. Manual técnico. Maccaferri: banco de dados. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/maccaferri/obras_de_contencao_opt.pdf> Acesso em: 17 outubro 2017.
- 3 BOLTON, M. D.; STEWART, D. I. **The response of nailed walls to the elimination of suction in clay**. Proceedings of the international conference on reinforced soil. Glasgow, 1990.
- 4 BORGES, H. M. R. R. **Bio-cimentação como técnica de reparação de argamassas cimentícias**. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil) – Técnico Lisboa, 2015.
- 5 BRUCE, D. A.; JEWELL, R. A. **Soil mailing: Application and practice – part 2**. Ground Engineering, 1987.
- 6 CORRÊA, M. A. M.; SANTO, A. P. C. E.; CRUZ, A. G. E. R. Z. C.; SILVA, B. G. R.; SANTOS, G. L.; MARIOTTO, T. B. **Estabilidade de taludes**. Artigo de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Centro Universitário Salesiano de São Paulo, São Paulo, 2016.
- 7 COSTA, N. S. D. **Precipitação do carbonato de cálcio por indução de enzimas como solução cimentante para estabilização do solo**. Monografia. (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.
- 8 DEJONG, J. T.; FRITZGES, M. B.; NÜSSLEIN, K. **Microbially induced cementation to control sand response to undrained shear**. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering © ASCE, 2006.
- 9 DEJONG, J. T.; MORTENSEN, B. M.; MARTINEZ, B. C.; NELSON, D. C. **Bio-mediated soil improvement**. Ecological Engineering, 36, 196-210, ASCE, 2010.
- 10 DHAMI, N. K.; REDDY, M. S.; MUKHERJEE, A. **Biomining of calcium carbonate polymorphs by the bacterial strains isolated from calcareous sites**. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2013.
- 11 D'ORSI, R. N.; PAES, N. M.; MAGALHÃES, M. A.; JUNIOR, L. R. S.; VALENTE, L. R. S. **Os 50 maiores acidentes geológico-geotécnicos na cidade do Rio de Janeiro entre 1966 e 2016**. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <www.sistema-alerta-rio.com.br/wp-content/uploads/2016/12/PDF_ESTRUTURA-DO-LIVRETO_50-MAIORES-ACIDENTES-A5.pdf> Acesso em: 17 nov. 2017.

- 12 EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Práticas de Conservação do Solo e Recuperação de Áreas Degradadas**. ISSN 0104-9046, Documento 90, Rio Branco - AC, 2003. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/498802/1/doc90.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2017.
- 13 ESTABILIZAÇÃO de taludes. ABNT NBR 11682:1991 p. 3. Rio de Janeiro, 1991.
- 14 FERRIS, F. G.; LAWSON, R. D.; COLWELL, F. S.; SMITH, R. W. **Calcium carbonate precipitation by ureolytic subsurface bacteria**. Geomicrobiology Journal, 17, 305-318, 1992.
- 15 GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: <www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2017.
- 16 GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de taludes**. 2ª ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2016.
- 17 IVANOV, V.; CHU, J. **Applications of microorganisms to geotechnical engineering for bioclogging and biocementation of soil in situ**. Ver Environ Sci Biotechnol, 2008.
- 18 MAGALHÃES, M. A. **Resistência ao arranchamento de grampos com fibras de polipropileno**. 2005. Dissertação. (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- 19 MARANGON, M. **Notas de aula: Estabilidade de taludes**. Unidade 4. Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais, 2009.
- 20 MARTINS, K. G. **Expansão urbana desordenada e aumento dos riscos ambientais à saúde humana: o caso brasileiro**. 2012. Monografia. (Graduação em Gestão Ambiental) – Faculdade UnB Planaltina, Distrito Federal, 2012.
- 21 MEDEIROS, Marcelo. **Sistemas de contenções**. Universidade Federal do Paraná.
- 22 MUÑETÓN, C. M. G. **Expansão urbana desordenada e aumento dos riscos ambientais à saúde humana: avaliação geotécnica de um perfil de solo tratado biotecnologicamente para fins de pavimentação: o caso brasileiro**. Tese. (Doutorado em Geotecnia). Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2013.
- 23 NEHRP RECOMMENDED PROVISIONS (National Earthquake Hazards Reduction Program). **For seismic regulations for new buildings and other structures**
- 24 ORTIGÃO, J. A. R.; ZIRLIS, A. C.; PALMEIRA, E. M. **Experiência com solo grampeado no Brasil**. São Paulo: Solos e rochas, 1993.
- 25 ORTIGÃO, J. A. R., D'ÁVILA, C. J. R., SILVA, S. P., MAIA, H. S., 1992, **Solo grampeado no morro da formiga, RJ**. Anais da I Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE), v. 1, pp. 47-56, Rio de Janeiro, 1992.

- 26 PEDREIRA, R. R. **Biocimentação de solos arenosos para melhoramento das suas características hidro – mecânicas**. Lisboa: 2014.
- 27 RIBEIRO, Tatiane. **Europeus criam biocimento fabricado por bactérias. QIQUEMINOVA: banco de dados**. Disponível em: <<https://queminova.catracalivre.com.br/inventa/europeus-criam-biocimento-fabricado-por-bacterias/>> Acesso em: 24 maio 2017.
- 28 SOLOTRAT. **Solo grampeado**. Grajaú. São Paulo, 2017. Disponível em: <www.solotrat.com.br/assets/pdf/solo-grampeado.pdf> Acesso em: 08 novembro 2017.
- 29 TEIXEIRA, I. J. R. **Estudo comparativo de duas alternativas para contenção de taludes verticais: solo grampeado e cortina atirantada**. Monografia. (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2011.
- 30 TOMINAGA, Lídia Keiko.; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela. **Desastres Naturais, Conhecer para prevenir**. 1ª edição. Instituto Geológico, São Paulo, 2009.
- 31 VAN PAASSEN, L. A.; GHOSE, R.; VAM DER LINDEN, T. J. M.; VAN DER STAR, W. R. L. **Quantifying biomediated ground improvement by ureolysis: large-scale biogROUT experiment**. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering © ASCE, 2010.
- 32 VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S.; MIRANDA, P. R.; ZUPPOLINI, A. **A importância dos solos tropicais em pavimentação**. Anais da 7ª Reunião de Pavimentação Urbana. São José dos Campos, 1996.
- 33 WHIFFIN, V.; VAN PAASSEN, L. A.; HARKES, M. P. **Microbial carbonate precipitation as a soil improvement technique**. Geomicrobiology Journal, 24, 1-7, 2007.
- 34 ZIRLIS, A. C.; PITTA, C. A.; SOUZA, G. J. T.; OLIVEIRA, M. **Soil mailing: Chumbamento de solos – Experiência de uma equipe na aplicação do método**. COBRAE (Conferência Brasileira de Encostas), vol. 1, 81-99, Rio de Janeiro, 1992.
- 35 ZORZI, C. **Caracterização dos solos tropicais lateríticos para reforço de pavimentos**. Monografia. (Graduação em Engenharia Civil). Universidade São Francisco, Itatiba, São Paulo, 2008.