

PROD. TEC. ITV DS-N018/2020

DOI: 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2020.18.Fonseca

PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS

PONDERAÇÃO SOBRE AS POSSÍVEIS IMPLICAÇÕES DA PRÁTICA DE IRRIGAÇÃO COMO MEDIDA PARA REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO

Bernardo Villani Corrêa Fonseca

Sílvio Junio Ramos

Rafael Silva Guedes

Cecílio Frois Caldeira

Markus Gastauer

Belém / PA

Maio / 2020

| | |
|---|---------|
| Título: Ponderação sobre as possíveis implicações da prática de irrigação como medida para redução da resistência à penetração do solo | |
| PROD. TEC. ITV DS - N018/2020 | Revisão |
| Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública | 00 |

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F676 Fonseca, Bernardo Villani Corrêa.

Ponderação sobre as possíveis implicações da prática de irrigação como medida para redução da resistência à penetração do solo / Bernardo Villani Corrêa Fonseca ... [et al]. - Belém-PA, 2020.
11 f.

1. Resistência à penetração do solo. 2. Irrigação em taludes. 3. Estabilidade geotécnica. I. Ramos, Sílvio Junio. II. Guedes, Rafael Silva. III. Caldeira, Cecílio Frois. IV. Gastauer, Markus. V. Título.

CDD.23 ed. 622.34098115

Bibliotecário(a) responsável :Nisa Gonçalves CRB-2: 525

RESUMO

Análises realizadas em amostras de solo coletadas no Complexo Minerador de Carajás indicaram que a resistência à penetração do solo alterou ao longo do ano, reduzindo significativamente no período chuvoso. A resistência à penetração do solo é um atributo físico que se configura como um importante obstáculo ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas utilizadas nos serviços de revegetação de taludes. A constatação de que a resistência à penetração do solo reduz nos períodos de maior ocorrência de precipitações pluviométricas sugere que, para apoio e maior sucesso nos resultados da revegetação de taludes, sejam adotadas práticas de irrigação durante os períodos de seca. Entretanto, a saturação do solo em taludes e encostas pode influenciar outros parâmetros físicos, que podem prejudicar a estabilidade geotécnica. Esta pesquisa apresenta, com base em dados secundários, uma ponderação sobre a influência da água sobre a estabilidade de taludes, fato que deve ser levado em consideração caso seja tomada a decisão de se implementar práticas de irrigação como medida de aceleração do processo de recobrimento vegetal em taludes de mineração. Além disso, avalia a implementação de sistemas automáticos de monitoramento meteorológico e da umidade do solo como ferramenta para possibilitar a redução da resistência à penetração do solo, para favorecer o recobrimento vegetal, de modo a não prejudicar a condição de estabilidade geotécnica dos taludes.

Palavras chave: Resistência à penetração do solo. Irrigação em taludes. Estabilidade geotécnica.

ABSTRACT

Analyzes carried out on soil samples collected in the Complexo Minerador de Carajás indicated that the resistance to soil penetration changed throughout the year, reducing significantly in the rainy season. Resistance to soil penetration is a physical attribute that is configured as an important obstacle to the development of the root system of plants used in slope revegetation services. The finding that resistance to soil penetration reduces during periods of higher rainfall, suggests that, for support and greater success in the results of slope revegetation, irrigation practices should be adopted during periods of drought. However, soil saturation on slopes and slopes can influence other physical parameters, which can impair geotechnical stability. This research presents, based on secondary data, a consideration of the influence of water on the stability of slopes, a fact that should be taken into consideration if the decision is taken to implement irrigation practices as a measure to accelerate the process of vegetation recovery on mining slopes. In addition, it evaluates the implementation of automatic systems for monitoring meteorological and soil moisture as a tool to make it possible to reduce resistance to soil penetration, to favor plant cover, so as not to affect the slopes geotechnical stability parameters.

Keywords: Resistance to soil penetration. Slope irrigation. Geotechnical stability.

SUMÁRIO

| | | |
|---|---------------------------|----|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 2 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 5 |
| 3 | DISCUSSÃO..... | 5 |
| 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 9 |
| | REFERÊNCIAS..... | 11 |

1 INTRODUÇÃO

Os estudos de campo realizados nas áreas operacionais da Província Mineral de Carajás, apresentados no Apêndice A indicaram que a resistência à penetração do solo observada em taludes nas cavas de N5W e N4E reduziu significativamente nas análises realizadas durante a estação chuvosa.

Em termos práticos, essa constatação sugere que manter alguma medida de irrigação nos taludes de corte em cavas durante a estação seca, em teoria, contribuiria para menores índices de resistência à penetração pelas raízes, favorecendo o desenvolvimento e o recobrimento vegetal.

O correto suprimento de fertilizantes e de água sobremaneira contribui para o desenvolvimento das plantas, importante para que seja viável o recobrimento das faces dos taludes.

Entretanto, do ponto de vista de atributos físicos do solo, há que se considerar a influência da aplicação de água por meio de irrigação na estabilidade geotécnica dos taludes.

Este Apêndice apresenta uma revisão bibliográfica e uma discussão a respeito da influência do peso de água eventualmente aplicada em caráter de irrigação para recobrimento vegetal na estabilidade de taludes e encostas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta etapa, foram realizadas consultas a diversos trabalhos publicados em periódicos nacionais e internacionais, revistas científicas, livros e outros trabalhos semelhantes disponíveis na internet, afim de se levantar dados secundários e discorrer sobre o tema.

3 DISCUSSÃO

É indiscutível a importância da vegetação para recobrimento da face dos taludes conformados, para a recuperação de áreas degradadas.

A parte aérea das plantas contribui para interceptar e evaporar a precipitação, reduzindo a quantidade de água infiltrada no solo (COPPIN; RICHARDS, 1990). Além disso, indicam que o sistema radicular retira umidade, reduzindo a poro-pressão da água, e aumenta a rugosidade superficial do solo, minimizando o carreamento superficial de sedimentos.

O sistema radicular (ou reforçamento radicular) das plantas pode influenciar na estabilidade de taludes, especialmente por meio da variação dos parâmetros geotécnicos relativos à resistência ao cisalhamento do solo (COUTO *et al.*, 2010).

As fibras do sistema radicular da vegetação contribuem para o reforçamento dos solos através do incremento do parâmetro coesão aparente, que corresponde ao aumento da agregação e melhor estruturação das partículas do solo (GRAY; SOTIR, 1997). Ainda segundo os autores, a coesão aparente proporcionada pelas fibras radiculares pode fazer uma diferença significativa na resistência a deslizamentos superficiais ou em movimentações por cisalhamento.

As raízes das espécies vegetais contribuem para o incremento significativo da coesão aparente do solo, promovendo o ancoramento de grandes massas de solo (COELHO, 1999).

Uma maior concentração de raízes de menor diâmetro é mais eficaz do que um número menor raízes de maior diâmetro para o aumento da resistência ao cisalhamento de massas de solos permeadas por raízes (GREENWAY, 1987), e este aumento de resistência será diretamente proporcional à profundidade explorada pelas raízes. A ação mais eficiente neste aumento da resistência é verificada quando as raízes penetram ao longo do manto de solo até fraturas ou fissuras presentes na camada de rocha-matriz ou em zonas de transição onde a densidade e a resistência do solo ao cisalhamento aumentem com a profundidade. Atingindo esses pontos, as raízes se fixam, promovendo a transferência de forças de zonas de menor resistência ao cisalhamento para zonas de maior resistência ao cisalhamento.

Entretanto, há que se considerar que a função de melhoria das propriedades físicas do solo proporcionada pelas plantas somente se consolida a partir do momento em que o sistema radicular já estiver desenvolvido. Durante o período de germinação e desenvolvimento inicial das plantas, o solo ou substrato permanecem com suas propriedades físicas originais.

Nesse sentido, é relevante ponderar se eventuais serviços de irrigação em taludes durante o período de seca, que certamente contribuirão para o desenvolvimento e recobrimento vegetal, podem afetar parâmetros físicos do solo que influenciam sua estabilidade.

Vários artigos abordam a temática relacionada à influência da água sobre a estabilidade dos taludes, porém o foco principal dos mesmos é em relação às águas pluviais. Artigos específicos sobre a influência da infiltração de água de irrigação sobre face de taludes em processos de revegetação não foram identificados.

A infiltração pode ser entendida como a água que penetra nos poros do solo, podendo ser desencadeada por chuvas (precipitação), irrigação ou de formação de lâmina sobre a superfície (SANTOS, 2004). A infiltração pode causar os seguintes efeitos em um solo não saturado: a redução da coesão (coesão aparente), o aumento da condutividade hidráulica do solo e o aumento do peso específico do solo.

As ações das precipitações nos taludes são as seguintes: alteração dos parâmetros de resistência dos materiais, diminuição da coesão aparente, diminuição da sucção, dissolução da cimentação; aumento da sollicitação externa; aumento do peso específico dos materiais que formam o talude; avanço da frente de saturação no maciço, provocando o desenvolvimento de pressões neutras positivas nos solos, supressões nas discontinuidades rochosas e forças de percolação; e alteração do perfil da encosta por erosão de materiais (ZANARDO, 2014).

A alteração dos parâmetros e propriedades do solo, especialmente em taludes, pode afetar sua estabilidade causando escorregamentos ou rupturas.

Escorregamentos são movimentos de massa, geralmente rápidos e com volumes bem definidos, onde o centro de gravidade é deslocado para baixo e para fora do talude. A velocidade de avanço de um escorregamento cresce mais ou menos rapidamente, de quase zero a pelo menos 0,30 m por hora (TERZAGHI, 1950). Velocidades maiores também podem ser atingidas.

A condições geológicas, geomorfológicas e a intervenções antrópicas são os principais fatores que influenciam a ocorrência de deslizamentos. Destaca também que além desses fatores, a precipitação pluviométrica (incidência de água sobre o substrato) é considerada um estímulo que pode provocar a mobilização dos materiais constituintes de uma encosta, seja pelo aumento rápido dos esforços ou pela redução da resistência ao cisalhamento (MUÑOZ-HOYOS, 2014).

Condições hidroclimáticas são fatores determinantes para a ocorrência de deslizamentos (ARISTIZÁBAL, 2007). A maior parte dos deslizamentos em encostas e taludes ocorre nos meses com maior precipitação pluviométrica, indicando que esses fenômenos estão diretamente relacionados com a quantidade de água nas camadas superficiais do solo.

Para a ocorrência de um escorregamento é necessário que a relação entre resistência média ao cisalhamento do solo e as tensões médias na superfície potencial de movimentação decresçam de tal forma a serem menor que 1, de tal forma que as tensões na superfície sejam maiores que a resistência ao cisalhamento (GUIDICINI; NIEBLE, 1983)

Porém para que ocorra a ruptura é necessário que haja uma diminuição da resistência ao cisalhamento do material, que pode ser explicada pelo intemperismo, diminuição da coesão do material e aumento da pressão hidrostática (TERZAGHI, 1950).

Existem diversos métodos de cálculo para avaliação da estabilidade de taludes, as quais envolvem equações que levam em consideração diversos parâmetros físicos do solo (MUÑOZ-HOYOS, 2014).

No âmbito da mineração, a que se refere o presente trabalho, é grande a preocupação com relação à ocorrência de escorregamentos ou ruptura de taludes.

Uma ruptura de talude em uma mina, pode causar consequências que englobam segurança, fatores sociais, econômicos e ambientais (ZANARDO, 2014). Dentre as consequências estão perdas de vidas ou invalidez, danos econômicos para os trabalhadores, perda de credibilidade da corporação tanto da parte de acionistas como da sociedade em geral, perda de equipamentos, custos adicionais com limpeza, interrupção das operações, perda de minério entre outros prejuízos, reforçando assim a necessidade de uma atenção especial para uma análise de estabilidade confiável para que tais riscos sejam evitados.

Nesse sentido, a busca por medidas de monitoramento contínuo da condição hidroclimática em áreas com taludes de corte e de aterro em áreas de mineração se faz extremamente relevante.

Para tanto, em primeiro lugar há que se ressaltar a importância de que as condições meteorológicas sejam monitoradas. A instalação e operação de estações meteorológicas automáticas no entorno da área para monitoramento da ocorrência de

chuvas pode ser uma importante ferramenta não somente para a otimização dos serviços de irrigação de taludes, mas também para acompanhamento de chuvas intensas e tempestades que são considerados gatilhos para processos de instabilização geotécnica.

Em complemento, a instalação de sensores de umidade no solo pode ser outra estratégica ferramenta para minimizar o risco de saturação porventura proporcionada por serviços de irrigação em taludes. Sistemas de automação que vinculam os sensores de umidade à ativação do sistema de bombeamento e/ou início de aspersão e irrigação podem sobremaneira contribuir para que menores índices de resistência à penetração do solo sejam atingidos sem que a estabilidade geotécnica dos taludes seja afetada.

Cabe ressaltar que a implementação de sensores de umidade do solo é uma prática relativamente comum em cultivos agrícolas, como ferramenta de otimização de serviços de irrigação e aumento de produção. Face às especificidades topológicas, de elevado desnível e de características do substrato, é certo que para implementação sistemas automáticos de monitoramento de umidade do solo interligados a redes de irrigação em áreas de lavra de minério de ferro necessitam ser adequados. Entretanto, ainda que ajustes sejam necessários, a implementação de tal solução pode vir a ser considerada tecnicamente viável para ser adotada em áreas de mineração de ferro.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda que se pondere o fato de que a área objeto desta Dissertação se localiza na porção sudeste do Estado do Pará, em região de clima tropical onde elevados índices pluviométricos são registrados anualmente, há que se considerar que a adoção de irrigação em períodos de seca para aceleração do recobrimento vegetal torna-se necessária, mas deve ser conduzida com cautela, a fim de evitar a perda de solo e o deslocamento dos taludes em eventuais excessos de água.

As consultas à base bibliográfica demonstraram que de fato existe uma direta relação da presença de água sobre taludes e encostas com a ocorrência de deslizamentos e escorregamentos (incidentes geotécnicos).

Tendo em vista que o objetivo principal de uma eventual medida de irrigação em taludes é favorecer o crescimento vegetal e a permanência da vegetação no

período de seca, se faz necessário o desenvolvimento de novos experimentos, com a adoção de sistemas automáticos de monitoramento hidroclimático e de irrigação para que seja identificado um ponto “ótimo” de umidade do solo, de modo que favoreça o desenvolvimento radicular, minimizando a resistência à penetração do solo, mas sem afetar a estabilidade geotécnica dos taludes.

REFERÊNCIAS

- ARISTIZÁBAL, É. **SHIA Landslide**: Developing a physically based model to predict shallow landslides triggered by rainfall in tropical environments. PhD., Universidad Nacional de Colombia, Colombia, Medellín, 220 p. 2013
- COELHO, A. T. **Avaliação dos efeitos do recobrimento vegetativo nos processos erosivos laminares em talude de corte rodoviário, em Ribeirão das Neves/MG** . 1999. 198 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Recursos Hídricos e Meio Ambiente) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1999.
- COPPIN, N. J.; RICHARDS, I. G. **Use of vegetation in civil engineering**. Sevenoaks, Kent: Butterworths, 1990. 305 p.
- COUTO *et al.* **Técnicas de Bioengenharia para revegetação de Taludes no Brasil** – Boletim Técnico CBCN n001. Viçosa/MG: Centro Brasileiro de Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável, 2010.
- GUIDICINE, Guido; NIEBLE, Carlos M. 1 Escavação 2. **Estabilização do solos**. 3. Taludes (Mecânica dos Solos). 2. ed. São Paulo: Blucher, 1983. 194 p.
- GRAY D. H.; SOTIR, R. B. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization - A practical guide for erosion control**. New York: Wiley, 1997. 377 p.
- GREENWAY, D. R. Vegetation and slope stability. *In*: Anderson, M.G.; Richards, K.S. (Eds). **Slope stability** . Chichester: Wiley, 1987. p. 37-39.
- MUÑOZ HOYOS, Estefanía. **Influência dos parâmetros hidrológicos e geotécnicos na estabilidade de taludes**. 2014. xviii, 107 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- SANTOS, C. R. dos. **Análise paramétrica da infiltração e sua influência na estabilidade de taludes em solo não saturado**. Escola de Engenharia de São Carlos, 2004.
- TERZAGHI, Karl. **Mecanismo dos Escorregamentos de Terra**. São Paulo: Grêmio Politécnico, 36 p. 1950.
- ZANARDO, B. **Análise de Estabilidade de Taludes de Escavação em Mina de Bauxita**. Poços de Caldas: Universidade Federal de Alfenas - UNIFAL MG, 2014.