

# APLICAÇÃO DE SOLO GRAMPEADO PARA RECUPERAÇÃO DE UMA ENCOSTA DO RIO MADEIRA

Alex Gomes Pereira (Centro Universitário São Lucas) E-mail: [alexgp885@gmail.com](mailto:alexgp885@gmail.com)

Rafael Luis da Silva (Centro Universitário São Lucas) E-mail: [rafaeluismat@gmail.com](mailto:rafaeluismat@gmail.com)

Alisson Schutz Abreu (Engenheiro Civil) E-mail: [alissonabreu10@hotmail.com](mailto:alissonabreu10@hotmail.com)

**Resumo:** O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de amenizar os danos ambientais em uma encosta, localizada no rio Madeira, causada pela construção da Usina Hidrelétrica (UHE), com sede no Município de Porto Velho, capital do estado de Rondônia (RO). Para reverter os processos erosivos formados no local, foi aplicada a técnica de grampeamento de solos com injeção de calda de cimento, com o objetivo de minimizar os deslocamentos do talude ocasionados pelo acréscimo de forças internas em direção contrária ao sistema natural de acomodamento, proporcionando a estabilidade do mesmo.

**Palavras-chave:** Encosta, contenção, solo grampeado, estabilidade de taludes.

## APPLICATION OF CLIPPED SOIL FOR THE RECOVERY OF A SLOPE OF THE MADEIRA RIVER

**Abstract:** The present work was developed with the objective of mitigating the environmental damages on a slope, located on the Madeira River, caused by the construction of the Hydroelectric Power Plant (UHE), based in the Municipality of Porto Velho, capital of the state of Rondônia (RO). To reverse the erosive processes formed at the site, the technique of soil clamping with injection of cement grout was applied, with the objective of minimizing the displacements of the slope caused by the addition of internal forces in the opposite direction to the natural settlement system, providing the stability of the same.

**Keywords:** Slope, containment, soil nailing, slope stability.

### 1. Introdução

Na década de 2000, o estado de RO, mais especificamente cidade de Porto Velho sofreu um rápido e desorganizado crescimento urbano sem que houvesse um controle do processo de uso e ocupação do solo. Segundo Nascimento, Santos e Silva (2012) a urbanização e crescimento urbano na década de 2000 teve dois grandes momentos. Sendo o primeiro entre 2004-2005, em virtude da comunicação do complexo de Usinas do rio Madeira. E o segundo momento em 2009, reflexo da efetiva implantação dos empreendimentos incentivados pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que ocasionou uma nova característica à cidade, a ocupação humana.

A combinação desses fatores proporcionou o surgimento de diversos problemas ambientais no município, como deslizamentos, mudanças climáticas, alargamentos, invasão de áreas protegidas e a ocupação desordenada da margem esquerda do Rio Madeira. Entre as áreas afetadas, destaca-se as encostas do Rio Madeira, local onde se encontram grandes empresas que transportam seus produtos por meio fluvial que, com o rápido crescimento demográfico da região, passaria a constituir uma área de risco para a população.

Com base neste conceito, diferentes técnicas de reforço de solos são utilizadas na engenharia, dentre as soluções encontradas, o solo grampeado se destaca por ser uma técnica que pode ser empregada em diversas situações de instabilidade de terra, tanto

em paredes de solo escavado em que se deseja manter uma parede de solo natural fixa, como em solo natural sem escavação, pode ainda ser utilizado para estabilização de escavação de túneis reforçando o solo para evitar desmoronamentos.

De acordo com Ortigão, Zirlis e Palmeira (1993) o solo grampeado é um método de contenção que tem ganhado destaque por proporcionar diversas vantagens, relacionados principalmente ao seu baixo custo e rapidez na execução. O método também denominado como solo pregado, foi utilizado no Brasil na construção de túneis no ano de 1970 e em seguida na França, desde esse momento, a técnica de solo grampeado vem sendo aplicado em diferentes partes do mundo.

Belato (2016) descreve que o solo grampeado é uma técnica de estabilização de taludes por meio da inserção de reforços do solo in situ, que resulta em um sistema construtivo que tende a promover uma redistribuição completa dos esforços atuantes sobre o maciço em solo, com ganhos significativos em termos de seu comportamento geotécnico global.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta a aplicação do método de grampeamento de solos com injeção de calda de cimento para estabilidade de uma encosta, localizada no rio Madeira em Porto Velho, no norte do Brasil.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1 Descrição do local**

A área de estudo corresponde a uma encosta em processo de instabilidade localizada no bairro Panair, no município de Porto Velho/RO. Acima da crista da encosta existe a empresa do ramo alimentício, cuja atividade é a produção e o processamento de alimentos. A Figura 01 a imagem de satélite do local.



Figura 01 – Local a ser recuperado, via imagem de satélite (*Google Earth*).

Após a construção da UHE, a encosta em questão apresenta constante degradação da área adjacente, o qual apresenta risco de desmoronamento dos silos que comportam

toneladas de grãos da citada empresa (Figura 02).



Figura 02 – Detalhe da encosta antes do início dos trabalhos.

De maneira geral, o subsolo local é formado por uma camada superficial de solo escuro, argiloso e orgânico, possuindo baixa resistência baixa permeabilidade e alta compressibilidade, mostrando várias fendas nas proximidades dos silos e vazios causados, principalmente, devido à decomposição de troncos e galhos de árvores trazidos pelo próprio rio.

## **2.2 Proposta e solução adotada**

Para amenizar os processos erosivos formados no local, foi empregado a técnica de grampeamento de solos com injeção de calda de cimento, com o intuito de aumentar a estabilidade da estrutura. Além disto, a área degradada também foi combatida por meio de drenagem superficial com o uso de valetas de concreto.

### **2.2.1 Execução dos serviços preliminares**

Para execução das medidas de recuperação do local, inicialmente, procedeu-se à execução dos serviços preliminares de terraplenagem e remoção da camada superficial mais saturada, objetivando a remoção das obstruções naturais ou artificiais, bem como possibilitar o acesso do maquinário e dos operários, conforme mostrado na Figura 03.



Figura 03 – Processo de limpeza do local.

Com objetivo de evitar o acúmulo de água no local de recuperação, bem como os problemas de infiltrações que motivam a saturação do solo e, conseqüentemente, a perda de funcionalidade da estrutura. Fez-se a proteção superficial da crista do talude por meio de valetas de concreto (Figura 04), o sistema construtivo possui uma declividade que possibilita o escoamento rápido e seguro da água pluvial na caixa de passagem.



Figura 04 – a) Execução da viga e valeta; e b) Caixa de inspeção.

### 2.2.2 Escavação

O talude a ser recuperado foi previamente demarcado pela equipe de topografia, seguido da escavação que foi realizada em estágios que variavam entre 1,0 e 1,5m. O avanço de cada estágio de escavação possibilita a execução de uma linha de grampos formando uma malha de grampos espaçados de 1,10m em ambas as direções. A Figura 05 mostra o primeiro corte feito no talude para início de perfuração referente à primeira linha de grampos.

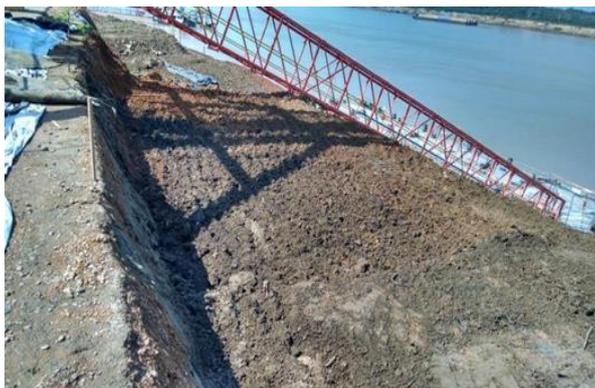


Figura 5 – Corte da camada superficial.

### 2.2.3 Perfuração e grampo

O processo de perfuração das bainhas para acomodar os grampos foi realizado por meio dos equipamentos de ar comprimido, conforme mostrado na Figura 06. Sendo utilizado brocas com diâmetro de 100mm. Este método de perfuração foi adotado, pois garantiu a estabilidade da cavidade até as etapas finais da bainha.



Figura 06 – Perfuração das bainhas.

Após a perfuração foram inseridas as barras de aço de 8m de comprimento e diâmetro de 16mm, devidamente protegido com pintura anticorrosiva para evitar possíveis problemas com a umidade. Para garantir que a barra de aço ficasse centralizada na bainha foram fixados centralizadores de material plástico a cada metro.

Para a realização das injeções com calda de cimento, juntamente com a barra de aço, são colocadas mangueiras de polietileno com pequenas perfurações a cada 50cm ao longo do seu comprimento essas injeções são feitas com equipamento capaz de bombear com alta pressão a calda de cimento com fator 0,5 (em peso) fazendo com que os espaços vazios que se encontram próximo ao grampo sejam preenchidos.

Na Tabela 01 é mostrada as informações anotadas durante o processo de injeções da primeira linha de grampos, ou seja, a linha mais acima. A tabela mostra os valores reais dos 42 grampos executados na primeira fase de escavação.

Tabela 01 – Boletim de Controle de Execução de Grampos - 1ª linha.

Grampos	Perfuração	ø (mm) 100	Comprimento (m) 8,25	Ang. c/horiz. 10									
	Parte Metálica	Aço 16 ø (mm)	Comprimento (m) 8										
Injeção	Proteção Anticorrosiva Tipo	Espaçador ø 100mm a cada (m)											
	Traço da Bainha	Fator A/C=0,5											
	Injeção	1sc cimento + 25 litros água = litros calda											
		1ª - Fator A/C = 0,5											
		Traço da Fase	1sc cimento + 25 litros água = litros calda										
				2ª - Fator A/C = 0,7									
				1sc cimento + 35 litros água = litros calda									
Vol. = Volume injetado em sacos Pa = Pressão de Abertura (kg/cm²) Pi = Pressão de Injeção (kg/cm²)													
Nº	Injeção												
	Bainha			1ª Fase					2ª Fase				
	Hora	Data	Vol.	Hora	Data	Pa	Pi	Vol.	Hora	Data	Pa	Pi	Vol.
1	18:30	23/10	77,4	09:47	24/10	5	4	590,4	14:25	24/10	[1]	N/D	6,45
2	10:47	24/10	68,8	08:52	26/10	8	10	34,4	14:01	26/10	7	8	21,5
3	11:24	24/10	258	09:04	26/10	6	10	21,05	14:05	26/10	5	8	8,6
4	16:53	24/10	83,85	09:13	26/10	7	10	17,2	14:07	26/10	7	8	4,3
5	16:58	24/10	96,75	09:24	26/10	8	10	12,9	14:16	26/10	7	9	15,05
6	10:36	26/10	279,5	08:10	27/10	5	5	234,35	13:55	27/10	5	10	17,2
7	17:48	24/10	49,45	09:32	26/10	9	10	75,25	14:09	26/10	7	10	17,2
8	14:55	21/10	92,45	09:03	22/10	6,5	3,0~4,5	17,2	13:35	22/10	3	3	34,4
9	16:11	23/10	58,05	08:20	24/10	2	3	0	13:55	24/10	[1]	N/D	6,45
10	13:50	22/10	84,32	09:17	23/10	3	8	4,3	15:24	23/10	3	8	21,5
11	16:07	22/10	53,75	08:29	24/10	3	6	4,3	14:00	24/10	[1]	5	6,45
12	13:54	22/10	74,79	09:25	23/10	10	8~9~4	32,35	03:50	23/10	4	6	17,2
13	16:03	23/10	79,55	08:43	24/10	10	Rompeu	4,3	14:05	24/10	3	2,5	12,9
14	10:25	22/10	111,8	09:03	23/10	10	Rompeu	6,02	01:12	23/10	4	4	4,3
15	17:58	23/10	116,1	08:45	24/10	8	6	17,2	14:10	24/10	[1]	N/D	43
16	17:30	22/10	131,2	09:35	23/10	8	10~4,5	37,84	15:14	23/10	4	6	30,1
17	15:50	23/10	180,6	08:50	24/10	10	Rompeu	4,3	14:15	24/10	[1]	N/D	4,3
18	18:18	22/10	137,6	09:49	23/10	10	Rompeu	21,5	15:11	23/10	10	N/D	2,15
19	09:18	22/10	107,5	09:54	23/10	10	Rompeu	12,9	15:08	23/10	2	2	2,15
20	15:40	23/10	251,6	08:53	24/10	8	Rompeu	6,45	14:20	24/10	1,5	4	2,15
21	18:08	23/10	70,95	08:59	24/10	6	Rompeu	8,6	13:45	24/10	4,5	4	36,55
22	18:27	22/10	150,5	09:59	23/10	8	Rompeu em 10	25,8	14:59	23/10	4	5	4,3
23	18:03	23/10	415,8	09:06	24/10	6	7	129	13:30	24/10	3,5	2	333,3
24	15:15	28/10	86	08:21	29/10	7	6	30,1	14:04	29/10	8	8	15,05
25	14:47	26/10	68,8	08:32	27/10	7	8	101,05	14:14	27/10	7	8	98,9
26	16:42	26/10	34,4	08:40	27/10	6	9	219,3	14:32	27/10	9	8	318,2
27	16:44	26/10	64,5	09:17	27/10	7	10	21,5	14:50	27/10	7	14	619,2
28	16:47	26/10	60,2	09:24	27/10	6	10	17,2	15:10	27/10	8	13	10,75
29	16:49	26/10	62,35	09:30	27/10	8	10	8,6	04:04	27/10	8	11	10,75

30	16:51	26/10	15,5	09:46	27/10	5	10	25,8	15:23	27/10	11	11	361,2
31	15:52	27/10	45,15	09:42	28/10	11	10	32,25	13:38	28/10	9	6	159,1
32	15:54	27/10	64,5	09:47	28/10	12	8	12,9	13:52	28/10	10	8	17,2
33	15:56	27/10	73,1	09:52	28/10	13	14	12,9	14:13	28/10	8	7	23,65
34	15:58	27/10	51,6	09:59	28/10	10	14	172	14:17	28/10	12	11	6,45
35	16:00	27/10	64,5	10:17	28/10	11	12	32,25	14:22	28/10	13	12	4,3
36	16:03	27/10	124,7	10:30	28/10	9	13	8,6	14:24	28/10	12	14	4,3
37	16:05	27/10	86	10:36	28/10	13	13	6,45	14:39	28/10	8	7	247,3
38	16:27	27/10	135,5	10:39	28/10	13	13	4,3	14:43	28/10	11	11	8,6
39	18:18	27/10	522,5	10:45	28/10	6	6	17,2	14:47	28/10	7	8	25,8
40	18:36	27/10	227,9	10:59	28/10	8	8	709,5	14:52	28/10	9	9	4,3
41	18:48	27/10	193,5	11:32	28/10	6	6	77,4	14:59	28/10	11	7	8,6
42	15:05	28/10	60,2	10:18	29/10	7	7	30,1	14:23	29/10	8	8	4,3
Teste	17:50	20/10	68,8	14:35	20/10	6	3,5~4	17,2	18,35	21/10	8	6	4,3

\* [1] = Foi aumentando a pressão de injeção até 10kg/cm<sup>2</sup>, no qual ocorre a ruptura da mangueira.

Os intervalos de 12 horas entre preenchimento da bacia e a primeira fase de injeção e de 6 horas entre si para as injeções, durante o processo de execução, nem sempre foram possíveis de serem respeitados à risca os intervalos, devido a problemas que sempre surgem durante a execução do serviço.

As leituras de pressões foram feitas por aparelho manométrico instalado no magote de injeção, somente as injeções eram feitas sobre pressão as bacias eram preenchidas livremente por meio de um tubo plástico rígido inserido até o fim da bacia e sendo retirado aos poucos conforme o enchimento.

A leituras de pressão foram feitas no início da injeção na abertura dos registros (Pa) e depois quando a pressão se mantinha constante ou ainda atingindo o limite máximo de injeção estipulado que era de 10 kg/cm<sup>2</sup> chamado de (Pi) no boletim, geralmente estourando a mangueira de injeção.

O processo de injeção com alta pressão garante o preenchimento de todos os vazios encontrados próximos aos grampos, assim por vezes era possível observar o afloramento da gorda na superfície do talude longe do grampo devido ter encontrado alguma veia de vazio no solo.

A Figura 07 mostra a face do conjunto de 175 grampos distribuídos em 5 linhas, sendo que o número de grampos por linha reduz da crista do talude até a base, visto que as tensões solicitantes também diminuem.

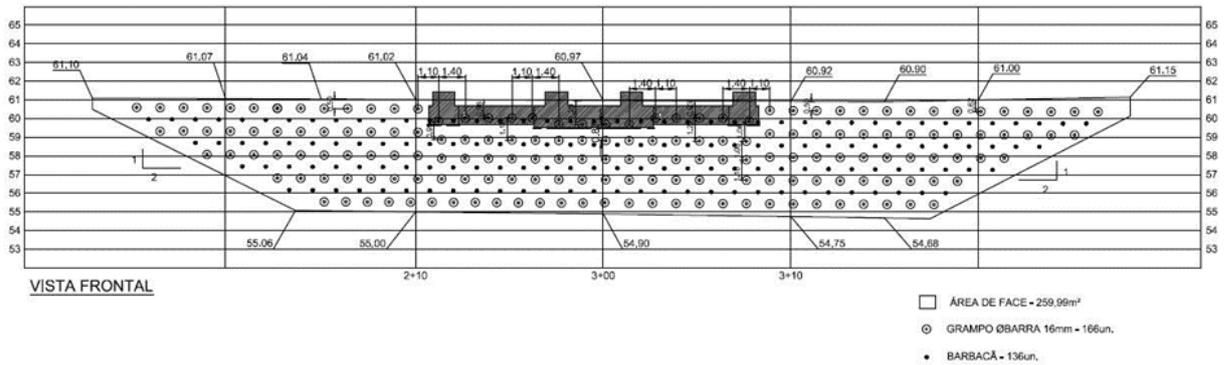


Figura 07 – Face do talude de solo grampeado.

A parte escura localizada na primeira linha de grampos é referente à fundação da estrutura, já existente, do Píer de acesso às balsas.

#### 2.2.4 Drenos

Com o objetivo de manter a continuidade do fluxo d'água foram feitos drenos ao longo de toda a face de revestimento. Esses drenos foram instalados entre as linhas de grampos.

O tipo de dreno utilizado neste projeto é do tipo barbacã (Figura 08). O sistema de barbacã se caracteriza por se localizar nas proximidades da face do revestimento, não se aprofundando muito ao solo. O dreno empregado formado por um tubo de plástico de 75mm com pequenas perfurações na parte onde ficará dentro do solo, essas perfurações são envoltas por uma primeira manta bem fina e posteriormente colocado aproximadamente 20 litros de pedra brita do tipo 1 e por fim uma segunda manta geotêxtil para separar a pedra brita do solo.



Figura 08 – Dreno tipo Barbacã.

#### 2.2.5 Revestimento da face

Posteriormente a finalização de cada linha de grampos e antes de iniciar a escavação da próxima linha foi executado o revestimento da face feito com malha de aço eletro soldada, fixadas diretamente na dobra dos grampos e concreto projetado com espessura de 10cm.

A superfície a receber o concreto projetado foi devidamente preparada sendo removido o material solto, a vegetação e todas as impurezas que poderiam afetar a aderência do concreto com o solo. A superfície foi previamente humedecida conforme as recomendações da norma técnica NTS 162 (SABESP, 2001).

Em função do concreto projetado executado estar sob incidência direta de raios solares e ainda reflexo destes por meio do espelho d'água do rio, foi necessária uma rigorosa aspersão de água evitando assim o surgimento de patologias no concreto e aumentando a monoliticidade do revestimento.

### 2.2.6 Colchão renomac

Concluído todo processo de reforço por meio de solo grampeado a base do talude ainda possuía boa parte exposta e sujeita a degradações, para evitar tal problema a solução encontrada foi a instalação de colchão Renomac.

A instalação dos colchões foi feita manualmente com pedras brita do tipo matacão, acomodando pedra por pedra em cada pano e conforme indicação de fabricante em linhas por toda a base do talude, conforme apresentado na Figura 09.



a)

b)

Figura 09 – Colchão Renomac: a) Instalação dos colchões; e b) Acomodação manual das pedras.

### 2.2.7 Face finalizada

Na Figura 10 é mostrado o processo final de recuperação do talude por meio da técnica de solo grampeado. Em pouco mais de 3 meses a obra foi concluída, apesar da técnica ser pouco conhecida pela maioria dos profissionais da região, não houve muita dificuldade quanto à execução, pois a técnica se mostrou de fácil execução.



Figura 10 – Talude concluído.

### **3. Conclusões**

A presente pesquisa teve como principal objetivo apresentar um caso de obra em uma encosta do rio Madeira em Porto Velho/RO, onde foi utilizado a técnica de grampeamento de solos com injeção de calda de cimento para proteção e mitigação do processo de degradação ambiental ocasionada pela construção de uma UHE.

Como resultado desse trabalho, constatou-se que, sob as condições analisadas, que a contenção da encosta meio da técnica de grampeamento de solos com injeção de calda de cimento proporcionou estabilidade da área degradada, constituindo-se, assim, uma promissora metodologia para ser utilizada na recuperação de encostas do estado de RO.

### **Referências**

NASCIMENTO, C. P.; SANTOS, C.; SILVA, M. Porto Velho: a produção do espaço urbano de Rondônia (1980/2010). **Revista Geografar**, v.7, p. 20-52, 2012.

NORMAS TÉCNICAS SABESP. **NTS 162: Obras Lineares Executadas em Concreto Projetado pelo método NATN**. São Paulo, 2001.

ORTIGÃO, J. A. R.; ZIRLIS, A. C.; PALMEIRA, E. M. Experiência com solo grampeado no Brasil. **Solos e Rochas**, v. 16, n. 4, p. 291-304, 1993.