

# MUROS DE CONTENÇÃO EM SOLO REFORÇADO EM ESTRUTURAS DE BRITAGEM EM MINERADORAS – CASOS DE OBRAS

**ANDRÉ ESTÊVÃO SILVA**

Huesker Ltda, São José dos Campos, SP – Brasil

**CRISTINA FRANCISCHETTO SCHMIDT**

Huesker Ltda, São José dos Campos, SP – Brasil

**GABRIEL DE OLIVEIRA CAMPOS**

Consulgeo Consultoria e Projetos Geotécnicos Ltda., Belo Horizonte, MG - Brasil

**MAURÍCIO LEMOS DA SILVA**

Companhia Vale do Rio Doce - Vale, Belo Horizonte, MG - Brasil

## RESUMO

São apresentados três casos de obras similares de muros de contenção com grande altura, implantados no contorno de estruturas de britagem, em duas minas distintas da Vale, em MG. As contenções foram executadas utilizando-se a técnica de solo reforçado com geogrelhas, com aproximadamente 12m de altura e face sub-vertical envelopada. As obras fazem parte do contexto do Projeto Itabiritos para expansão da produção de minério de ferro na região.

**Palavras-chave:** solo reforçado; geogrelhas; britadores

## ABSTRACT

*There are presented three cases of similar retaining walls with great height, executed in the outline of stone crushing structures, in two different mines of Vale, in Minas Gerais state. The walls were executed using the technique of reinforced soil with geogrids, approximately 12m high and sub-vertical wrap-around facing. These jobs are part of Itabiritos Project for increasing the production of iron ore in the region.*

**Keywords:** reinforced soil; geogrid; stone crusher

## 1. INTRODUÇÃO

Desde 2006, a Vale, uma das maiores produtoras de minério de ferro do mundo, está implantando o Projeto Itabiritos, com investimentos de US\$ 760 milhões. Trata-se da construção de uma nova planta de concentração, com capacidade para produção de dez milhões de toneladas de minério de ferro por ano, que será instalada na Mina do Pico, em Itabirito - MG, e da execução de uma usina de pelletização, com capacidade anual para produção de sete milhões de toneladas de pelotas, próxima à Planta de Beneficiamento de Vargem Grande, em Nova Lima - MG. As unidades serão interligadas por um mineroduto de cerca de cinco quilômetros de extensão. Estudos para a implantação do projeto identificaram reservas de mais de 600 milhões de toneladas de minério de ferro, predominantemente itabiritos, suficientes para manter as operações locais por, pelo menos, mais 25 anos.

Como parte das obras deste complexo de mineração, foram executadas três contenções, utilizando-se a técnica de solo reforçado com envelopamento da face. O projeto executivo dos muros foi elaborado pela empresa Consulgeo Consultoria e Projetos Geotécnicos, sob supervisão da Minerconsult Engenharia, em 2007. A construção dos muros iniciou-se em setembro de 2007 e foi concluída em fevereiro de 2008.

## **2. DIRETRIZES DE PROJETO**

Dois muros foram implantados na região de Itabirito, com o objetivo de permitir o acesso de caminhões à parte superior das estruturas de britagem. O muro implantado em Vargem Grande tem a finalidade de planificar uma área de estocagem de minério e apoiar as correias transportadoras.

As estruturas de britagem são utilizadas para reduzir o tamanho dos materiais provenientes da lavra do minério e/ou sua separação de acordo com a granulometria, para em seguida serem levados para uma próxima etapa do processo de beneficiamento. De forma a simplificar a operação da mina e reduzir os custos de transporte, os britadores devem ser instalados próximos aos locais de lavra do minério. A alimentação das estruturas de britagem é feita através de um funil localizado na parte superior do equipamento, utilizando-se caminhões fora-de-estrada fortemente carregados. O peso de cada caminhão carregado pode chegar a 80 tf.

O tempo de utilização previsto para os britadores em determinado sítio é de cerca de 3 anos, em função da área onde está sendo realizada a lavra do minério. Depois disso, toda estrutura deve ser desmontada e transferida para outro local, tornando os muros de acesso aos britadores um passivo ambiental para a empresa. Esta característica foi um dos condicionantes para a escolha da técnica de contenção adotada, já que o aterro reforçado configura-se em uma estrutura com menores impactos visual e ambiental.

### **2.1 Muros em Solo Reforçado**

Em maciços de solo reforçado, a inclusão de materiais geossintéticos como elemento de reforço do material de aterro proporciona uma redistribuição global das tensões e deformações, permitindo a adoção de estruturas com face vertical, com menor volume de aterro compactado. Este fato, associado à possibilidade de se utilizar solos disponíveis no local da obra, pode reduzir de forma significativa o custo da solução envolvendo solo reforçado, quando comparada a soluções tradicionais.

A adoção de tal processo permite a execução da contenção sem a necessidade de formas e escoramentos para concreto armado. Por outro lado, a mão-de-obra não precisa ser especializada e os equipamentos utilizados são simples. Como consequência, o tempo de construção é reduzido consideravelmente, quando comparado ao de outras técnicas (ABINT, 2004).

Com relação à situação específica desta obra, a opção de muros em solo reforçado traz como vantagem adicional o fato das contenções poderem ser desmontadas e ter sua geometria e estética modificadas, após a mudança de local dos britadores, de modo a atender às exigências ambientais por parte da mineradora.

## **3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS**

### **3.1 Solos Locais**

Para execução do aterro reforçado foram utilizados os solos disponíveis no local da obra, em especial o solo laterítico denominado Canga. Canga pode ser definida como uma rocha porosa, porém resistente, que ocorre próxima ou na própria superfície do terreno, constituída por fragmentos detríticos de rochas, comumente hematita ou itabirito, cimentados por uma matriz de limonita porosa. No Quadrilátero Ferrífero, a Canga pode constituir-se de limonita quase pura. Com o decréscimo da percentagem de limonita, a Canga passa a ser um solo laterítico ferruginoso. A matriz de limonita da Canga provém do intemperismo sofrido por rochas altamente ferruginosas como o itabirito.

Para definição dos parâmetros geotécnicos do solo, foram realizados ensaios de caracterização (granulometria e Limite de Plasticidade), de compactação (Proctor Normal e Índice de Suporte Califórnia) e de resistência ao cisalhamento direto. As Tabelas 1 a 3 apresentam os resultados obtidos nesta série de ensaios:

Limite de Plasticidade	Porcentagem de material que passa na peneira		
	# 4 (4,75mm)	# 40 (0,0425mm)	#200 (0,075mm)
Não plástico	65%	40%	32%

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de caracterização (Consulgeo, 2007).

Ensaio Proctor Normal		Ensaio Índice de Suporte Califórnia	
Umidade ótima	Densidade máxima	Índice de Suporte Califórnia	Expansão
4,5%	27,99 kN/m <sup>3</sup>	26,4%	0%

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de compactação (Consulgeo, 2007).

Coesão efetiva	Ângulo de atrito efetivo
48 kPa	47,5°

Tabela 3 – Resultados do ensaio de cisalhamento direto (Consulgeo, 2007).

Os resultados obtidos mostram que o solo adotado na execução do aterro é não plástico e não expansivo, apresentando ótimos resultados nos ensaios de compactação e de resistência ao cisalhamento.

### 3.2 Geogrelhas

Para reforço do solo nas contenções, foi adotado o uso de geogrelhas tipo Fortrac T de poliéster de alta tenacidade e baixa fluência, com revestimento protetor polimérico, fabricadas pela empresa Huesker Ltda. Essas geogrelhas são produzidas a partir de processo especial que garante maior módulo de rigidez e menor deformação em relação às geogrelhas de poliéster convencionais. Para o projeto em questão, foram escolhidas geogrelhas com resistência à tração nominal variando entre 55 kN/m e 200 kN/m, com deformação máxima na ruptura de até 10%. A Figura 1 a seguir apresenta as curvas isócronas para este tipo de geogrelha.

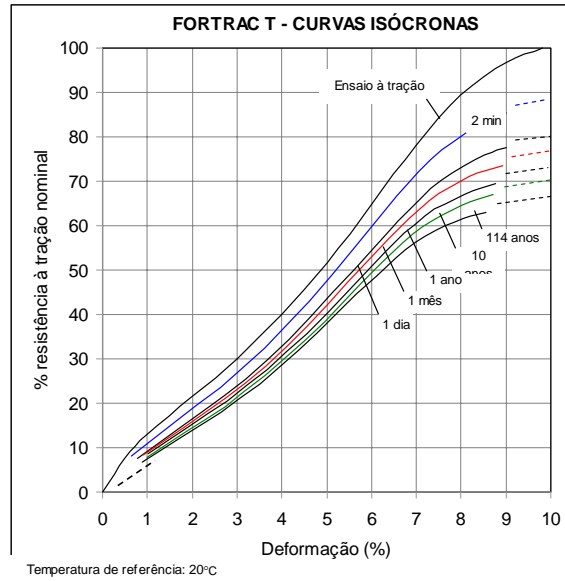


Figura 1 – Curvas isócronas para as geogrelhas Fortrac T.

Após a escolha dos modelos de geogrelhas a serem adotados, foram realizados ensaios de cisalhamento direto em equipamentos de grandes dimensões, para obtenção dos parâmetros de resistência da interface solo/geogrelha. Os resultados desses ensaios são apresentados a seguir.

Material	Coesão efetiva	Ângulo de atrito efetivo
Geogrelha T=110 kN/m	31,9 kPa	35,6°
Geogrelha T=200 kN/m	68,9 kPa	37,2°

Tabela 4 – Resultados do ensaio de cisalhamento direto na interface solo/geogrelha (Consulgeo, 2007)

Os resultados obtidos mostram parâmetros elevados de resistência ao cisalhamento, evidenciando a boa interface entre a geogrelha e o solo utilizado no aterro compactado.

#### 4. GEOMETRIA DAS CONTENÇÕES

As contenções em solo reforçado apresentam altura total máxima de 12,5m. A altura livre é de 11,5m, com 1,0m de embutimento da base no terreno natural. A face é sub-vertical, com inclinação de cerca de 2° (deflexão horizontal de 0,5m no topo do muro).

Para execução do solo reforçado, foram utilizadas 24 camadas de geogrelhas de poliéster de alta resistência à tração e elevado módulo de rigidez tipo Fortrac T, com espaçamento característico entre camadas de 0,4m a 0,6m. As camadas de geogrelha apresentam comprimento característico de 8,0m a partir da face, com exceção das últimas camadas superiores, que mostram comprimentos maiores, de até 10,0m. Para ancoragem de envelopamento, foi adotado o valor de 1,0m a 2,0m a partir da face do muro, para todas as camadas de geogrelha. A Figura 2 a seguir apresenta a seção transversal típica de uma das contenções da Mina do Pico.

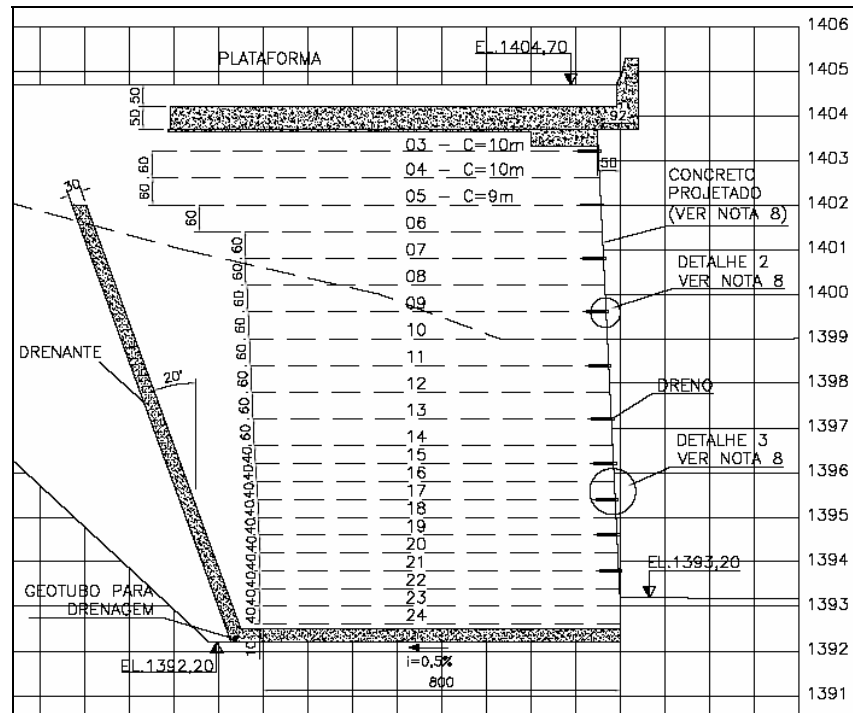


Figura 2 – Seção transversal típica da contenção em solo reforçado (Minerconsult, 2007)

Em planta, os muros próximos à Mina do Pico apresentam uma estrutura contínua em formato de “U” duplo. Uma das contenções tem uma extensão total em planta de cerca de 145m, enquanto o outro muro mostra comprimento total em planta em torno de 127m. A contenção da planta de pelotização é composta por dois segmentos em forma de “L”, totalizando 143m de contenção. A Figura 3 apresenta a vista de uma das contenções em Itabirito durante sua execução.



Figura 3 – Vista de uma das contenções em Itabirito

## 5. METODOLOGIA EXECUTIVA

Durante toda a execução do aterro reforçado, foram adotados controles rigorosos de geometria e de compactação. A compactação do aterro foi realizada com o uso de rolo compactador vibratório tipo pé-de-carneiro na maior parte do maciço. Em uma área a cerca de 1,0m de distância da face, foram utilizados compactadores manuais e soquetes, de forma a minimizar os deslocamentos da face da contenção durante a compactação do solo adjacente à face. A especificação técnica de projeto definiu grau de compactação de 100% do ensaio Proctor Normal e desvio de umidade máximo de 2%. Para garantir o alinhamento e a inclinação dos muros conforme o projeto executivo, foi necessário o acompanhamento constante da equipe de topografia da obra (Consulgeo, 2007).

Para execução do solo reforçado, inicialmente são feitos o posicionamento e a fixação da fôrma executiva da face acima da camada anteriormente executada. Foi utilizado um gabarito perdido da face, travado transversalmente, para possibilitar uma adequada compactação do aterro neste local. Em seguida, são posicionados a geogrelha e o geotêxtil não-tecido, ambos apoiados no gabarito. Este geotêxtil na face foi colocado entre a geogrelha e o corpo do aterro, para impedir a fuga de solo pelas aberturas da geogrelha.

A seguir, são executadas as camadas seguintes de aterro compactado, até atingir a altura do gabarito da face. É feita então a escavação de uma pequena vala na superfície do aterro, a pequena distância da face, chamada de vala de pré-tracionamento. Na seqüência, a geogrelha é dobrada por cima da camada de aterro compactado e esticada até o comprimento previsto em projeto. Assim o envelopamento ocorre de cima para baixo, conforme apresentado no desenho a seguir:

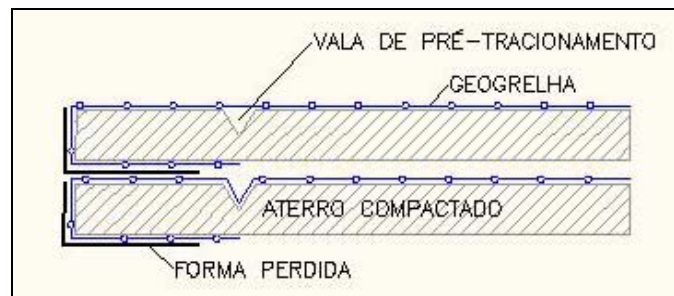


Figura 4 – Detalhe das camadas executadas do solo reforçado

A utilização do envelopamento da face por baixo de cada camada de geogrelha e a existência da vala de pré-tracionamento permitem que a geogrelha seja parcialmente solicitada ainda durante a execução do aterro compactado. Desta forma, a face apresenta melhor acabamento e menos ondulações, quando comparada à técnica mais usual de envelopamento da face por cima da camada de geogrelha, sendo esta a grande vantagem da metodologia executiva adotada. O acabamento e proteção da face foram dados pela aplicação de concreto projetado com espessura de 5cm.

O sistema de drenagem da face é composto por barbacãs instalados a cada duas camadas de geogrelha na direção vertical e com espaçamento horizontal de 2,0m. O dreno chaminé por trás do aterro compactado apresenta espessura de 30cm de areia, com um geotubo colocado na direção longitudinal do muro, conforme apresentado na Figura 2, protegendo o corpo do aterro contra o acesso da água.

Para garantir o bom alinhamento da face da contenção, alguns cuidados devem ser adotados durante sua execução. Inicialmente, deve-se atentar à padronização das formas perdidas, com

todas as peças com as mesmas dimensões e geometria. Outra medida importante é o correto posicionamento da forma durante a execução do muro, com base em marcos de referência externos à estrutura da contenção, utilizando-se, por exemplo, linhas de referência alinhadas com a face.

Com relação ao pré-tensionamento da geogrelha, a geogrelha deverá ser colocada bem esticada por cima da vala de pré-tracionamento e a compactação da camada de aterro deve ser iniciada do fundo para frente, em direção à face. Assim, esta metodologia executiva providenciará um melhor acabamento de face (Huesker, 2007).

A Figura 5 a seguir mostra a fotografia durante a execução da contenção.



Figura 5 – Vista geral da implantação de uma das contenções

## 6. INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação instalada teve como objetivo acompanhar as deformações e deslocamentos que ocorreram durante e após a execução dos muros. Foram efetuadas medidas de deslocamentos no paramento, deslocamento horizontal nas geogrelhas, deslocamento vertical do aterro e deslocamentos na superfície.

As deformações da face durante a execução foram monitoradas através da medição topográfica de marcos de madeiras posicionados no centro de cada camada envelopada pela geogrelha. Após a conclusão do muro, os marcos de madeira foram substituídos por insertes metálicos, fixados no concreto projetado. As leituras de deformações foram realizadas a cada novo evento da obra como, por exemplo, conclusão de nova camada de envelopamento, execução das lajes de aproximação e batentes, instalação do britador e início da operação do britador. Após o equipamento de britagem entrar em operação, foram realizadas leituras semanais, durante um período de oito semanas.

Para controle dos recalques internos dos aterros, foram previstos medidores tipo IPT, constituídos por tubos de aço galvanizados fixados em placas de dimensões 0,6m x 0,6m apoiadas nas profundidades 0,1H, 0,3H, 0,6H e 0,9H, sendo H a altura do muro. Entretanto, em função do cronograma da obra, decidiu-se não realizar o monitoramento vertical do aterro. Para medição das deformações horizontais das geogrelhas, foram instalados arames galvanizados com 2mm de diâmetro, envoltos por tubo de náilon com trama de aço, com diâmetro interno de 7mm. Os arames foram fixados nas geogrelhas e sua extremidade ficaram cerca de 50cm para fora do muro, de forma a possibilitar a realização da leitura do instrumento. As leituras foram previstas para serem realizadas a cada novo evento, a exemplo das leituras de deformação de face, obtendo-se as coordenadas norte e este e as elevações das extremidades dos arames alinhadas no gabarito de leitura (nível de bolha horizontal e vertical), para medição com equipamento de topografia.

Ao final da execução da contenção, foram colocados marcos de recalques superficiais do aterro, adequadamente protegidos do tráfego dos caminhões ou de qualquer outra ação capaz de danificá-los.

As leituras da instrumentação instalada mostraram que o procedimento executivo influencia sobremaneira as deformações na estrutura em solo reforçado. Parte dos resultados do monitoramento ainda está sendo processada pela empresa responsável pelos trabalhos.

## 7. CONCLUSÕES

A solução em aterro reforçado com geogrelha para execução de contenções com altura acima de 12,0m mostrou-se altamente adequada à implantação de acessos para as estruturas de britagem, com significativa redução do volume de terraplenagem e do impacto ambiental na implantação das obras. Outra consequência direta da alternativa adotada foi a redução dos prazos de execução dos muros em relação a muros de arrimo convencionais.

O comportamento das contenções durante sua execução e nas semanas seguintes à conclusão da obra foi muito bom. Este desempenho deve-se em grande parte ao rigoroso controle de qualidade adotado na terraplenagem e na instalação das geogrelhas. O elevado módulo de rigidez e a baixa deformabilidade das geogrelhas utilizadas garantiram que o comportamento geral da contenção esteja compatível com as previsões feitas em período de projeto e dentro dos limites considerados adequados. O sucesso desta solução condicionou a adoção de uma solução similar em outras plantas de mineração.

A Figura 6 apresenta a vista geral da contenção já concluída na área da usina de pelotização.



Figura 6 – Vista geral da contenção na área da usina de pelotização.



## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABINT (2004). Manual Brasileiro de Geossintéticos, ed. J.C. Vertematti / Editora Blücher.

CONSULGEO (2007). Relatório Técnico nº 2, Belo Horizonte, MG, 50p.

HUESKER (2007). Relatórios de Visita Técnica, São José dos Campos, SP.

MINERCONSULT (2007). Projeto Detalhado – TCLD Sapecado – Muro Britagem Primária  
– Aterro Reforçado – Seções.