

FUNDAÇÃO DE PÁTIOS DE ESTOCAGEM COM COLUNAS CONFINADAS COM GEOTÊXTIL E REFORÇOS HORIZONTAIS EM ÁREAS DE SOLOS MOLES

Eng. Dimiter Alexiew,
Huesker GmbH, Alemanha

Eng. Cristina F. Schmidt,
Huesker Ltda, Brasil

Eng. Jan Selders,
ThyssenKrupp GfT do Brasil

Na área litorânea da Baía de Sepetiba, a cerca de 50 km do centro do Rio de Janeiro, encontra-se em operação a Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA), pertencente à ThyssenKrupp Steel AG. A nova planta destinada à produção de 5 milhões de placas de aço por ano, considerada o maior investimento privado no Brasil na década e um marco mundial na engenharia com geossintéticos de reforço de solos, ocupa uma área de aproximadamente 9 km², tendo sido construída entre 2006 e 2010. Inclui diversas estruturas dedicadas como alto-fornos, usina elétrica, aciaria, coqueria, planta de sinterização e um porto com dois cais de atracação. Os pátios para estocagem de matérias-primas como carvão, coque e minério de ferro apresentam área de 380 mil m². Ao lado das pilhas de materiais com cerca de 13 m de altura, os pátios incluem trilhos ou pistas de movimentação (runways) para as recupe-



Vista geral dos pátios de estocagem em operação

radoras (stacker reclaimers), similares às escavadeiras de grande porte de minas a céu aberto. Nesta publicação, é destacada a solução de fundação para o pátio de carvão e coque e para os trilhos dos equipamentos, sob condições geotécnicas extremamente desfavoráveis.

CONDIÇÕES GEOTÉCNICAS

O subsolo é composto por solos moles com capacidade de carga muito baixa e espessuras de até 20 m. O nível d'água apresenta-se praticamente na superfície do terreno. A camada superficial de solos moles saturados, de alta plasticidade, normalmente adensados, com espessura de 8 m a 10 m, é considerada mais crítica, apresentando os seguintes parâmetros geotécnicos:

- Módulo oedométrico $E_{s,E}$ entre 200 e 500 kN/m²



Aplicação do geotêxtil tecido Hate para estabilização da plataforma de trabalho

- Coeficiente de adensamento vertical c_v de 2 a 4 10⁻⁸ m²/s
- Coeficiente de adensamento horizontal c_h de 4 a 9 10⁻⁸ m²/s
- Resistência não drenada ao cisalhamento C_u entre 5 e 15 kPa

A baixa capacidade de suporte do terreno e os constantes alagamentos na área após chuvas intensas impuseram a construção de uma plataforma de trabalho com areia dragada sobre uma camada de geotêxtil de reforço construtivo, com espessura de aproximadamente 1,5 m a 2,0 m, de forma a permitir o acesso dos equipamentos de terraplenagem.

DIFICULDADES ADICIONAIS

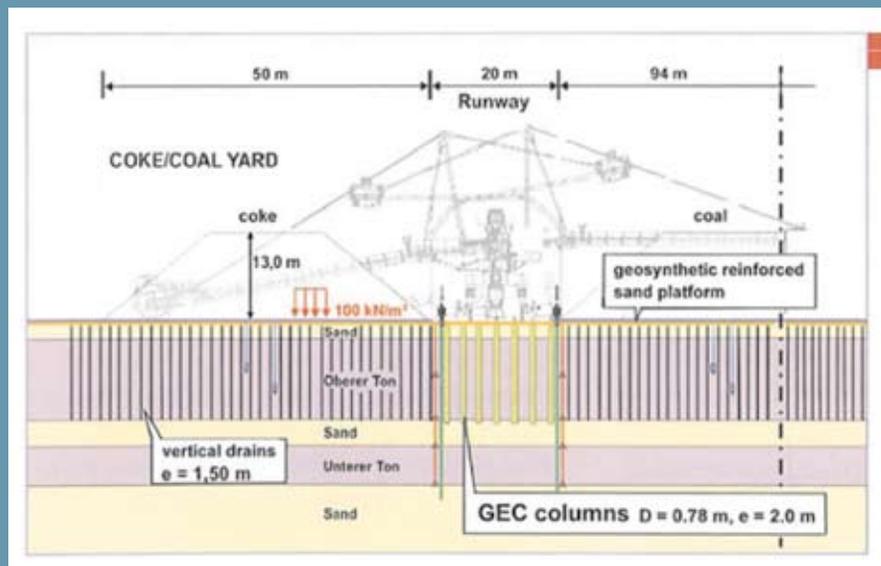
As estabilidades local e global calculadas para as pilhas de estocagem e os trilhos de movimentação eram

insuficientes, os recalques e deslocamentos horizontais estavam muito além dos limites aceitáveis para a operação dos pátios. O projeto apresentava condicionantes adicionais e específicos da aplicação. As pilhas de estocagem atingem sobrecargas superiores a 100 kN/m^2 (pátio de carvão) e 340 kN/m^2 (pátio de minério), em curtos períodos de tempo, devido ao rápido processo de empilhamento e remoção de material. As stacker reclaimers, com cargas de até 750 toneladas e movimentos translacionais e rotacionais, impõem limitações quanto aos deslocamentos horizontais e verticais admissíveis em seus trilhos de movimentação.

Uma solução otimizada teria de considerar não somente aspectos técnicos, mas também custos, tempo de execução restrito de aproximadamente dois anos para uma área de cerca de 380 mil m^2 , requisitos diferenciados para cada partimentação dos pátios, aspectos de logística e disponibilidade de técnicas diversas no Brasil.

FUNDAÇÃO DO PÁTIO DE CARVÃO E COQUE

O projeto de fundação do pátio de carvão e coque foi desenvolvido de forma a garantir as estabilidades local e global, minimizar recalques totais diferenciais e, principalmente, limitar os deslocamentos horizontais nas runways devidos ao empuxo das pilhas de estocagem. Estes deslocamentos poderiam colocar em risco não somente a estabilidade como também o funcionamento adequado das stacker reclaimers, de suma importância para a operação de toda a planta de aço. Os Estados Limites de Serviço (SLS) e Último (ULS) foram calculados para diversos formatos e posições das pilhas de estocagem assim como das recuperadoras, simulando a operação real do pátio de estocagem. As análises numéricas e analíticas indicaram a necessidade de aplicação de reforços geossintéticos



Solução típica para o pátio de estocagem de carvão e coque e runways

cos ortogonais entre si na base dos pátios, nas direções N-S e W-E. O módulo de rigidez e a resistência à tração dos reforços, para efeitos de longo e curto prazo, apresentaram valores altos, levando à escolha de geossintéticos fabricados a partir de filamentos de álcool polivinílico (PVA), de baixa fluência e módulo de rigidez elevado, para atender às necessidades da obra.

De modo geral, a solução adotada consta de uma camada de geotêxtil tecido Robutec por toda extensão das pilhas de estocagem, alinhada

ao eixo Norte-Sul, seguida por uma camada intermediária de areia compactada com 15 cm de espessura e uma camada superior de geogrelha de PVA Fortrac M, paralela ao eixo Leste-Oeste. Esses materiais apresentavam resistências nominais à tração entre 500 kN/m e 1.600 kN/m . Fatores adicionais foram considerados para a solução final: produção sob medida dos reforços de forma a reduzir custos, bobinas de grande extensão para minimizar sobreposições nas direções de maior solicitação, coeficientes de adesão dos geossintéticos, etc.



Camadas ortogonais de geossintéticos de reforço dos pátios de estocagem



Preenchimento das colunas Ringtrac com areia

Camada superior de geogrelha Fortrac M para reforço dos pátios de estocagem

A precisa paginação dos reforços garantiu alta qualidade à construção e permitiu reduzir perdas de material, através da fabricação de painéis com comprimentos customizados ao projeto. Todas as bobinas desses materiais saíram da fábrica com etiquetas contendo informações específicas sobre suas propriedades e seu posicionamento na obra.

TRILHOS DE MOVIMENTAÇÃO (RUNWAYS) DAS RECUPERADORAS (STACKER RECLAIMERS)

Nas áreas ocupadas pelas pilhas de estocagem propriamente ditas, foram executados drenos verticais para acelerar o processo de consolidação da camada de solos moles. Entretanto,

essa solução não se mostrou viável para os trilhos de movimentação das recuperadoras.

As runways recebem uma carga móvel de 750 toneladas das stacker reclaimers, impondo movimentações ao longo do trilho e rotação no eixo perpendicular à superfície do terreno. Todas as deformações, recalques totais e diferenciais, rotações e deslocamentos horizontais precisam ser extremamente limitados. O principal desafio era garantir a baixa deformação após um curto período de construção, mesmo sem execução de um aterro de pré-carga, diante das elevadas cargas móveis das empilhadeiras durante a operação dos pátios.

A alternativa encontrada para o apoio dos trilhos de movimentação das recuperadoras foi a construção de colunas de areia confinadas com geotêxtil

tubo (Colunas Ringtrac), criando um sistema suficientemente rígido, mas ao mesmo tempo dúctil e autonivelante.

A inserção das colunas Ringtrac promove significativa melhoria da condição de suporte de toda a área caracterizada originalmente por solo mole. Apesar de serem colunas drenantes (o geotêxtil de reforço é permeável), a aceleração de adensamento não é o mecanismo dominante. As próprias colunas, por apresentarem rigidez vertical significativamente superior ao do solo mole no entorno, minimizam a carga no topo do solo mole e o consequente recalque por adensamento. Desta forma, não só limita-se a magnitude dos recalques percebidos após (ou durante) a execução do aterro, mas também se evitam recalques de longo prazo. Os recal-



Retirada do funil na execução das colunas Ringtrac preenchidas com areia

ques ocorrem, basicamente, devido ao equilíbrio do sistema, durante o período de alteamento do aterro.

O dimensionamento estrutural do Ringtrac foi realizado com base no Método de Raithel (1999) e nas orientações da Recomendação Alemã EBGEO. Especial atenção foi dada quanto ao comportamento de longo prazo esperado para as colunas encamisadas sob o efeito das elevadas cargas móveis e transitórias das empilhadeiras. Conforme apresentado por Di Prisco et al (2006), a rigidez das colunas deve aumentar após repetidos ciclos de carga e descarga.

O comprimento das colunas variou de 10 m a 12 m, atravessando a ca-

mada mais superficial de solo muito mole e encontrando a camada de areia intermediária, com espaçamento entre colunas tipicamente de 2 m x 2 m. A camisa geotêxtil utilizada foi o Ringtrac 100/200, 100/250 e 100/275, com resistência à tração nominal diametral de 200 a 275 kN/m e diâmetro nominal de 0,78 m.

ASPECTOS CONSTRUTIVOS

A grande maioria das colunas Ringtrac foram executadas pela própria ThyssenKrupp, utilizando-se martelos vibradores hidráulicos Müller, da divisão de fundações da empresa.

A cravação das camisas metálicas se baseia no princípio de redução da coesão de solos através da vibração, fluidificando efetivamente o solo. Quando o solo está nessa condição, o peso próprio do martelo e a força aplicada são suficientes para a cravação dos tubos à profundidade necessária, de forma rápida, discreta e eficiente. No projeto da CSA em particular adotaram-se martelos de até 11 toneladas, com força centrífuga de 1.430 kN e momento excêntrico de 50 kgm. O equipamento altamente eficiente garantiu uma produção de 30 estacas por dia por frente. O tempo completo de execução de uma coluna, incluindo o deslocamento da máquina, chegou a ser de menos de 10 minutos.

Depois de cravada a camisa metálica, o geotêxtil tubular é preenchido com material granular, utilizando-se um funil. Em seguida, o martelo vibratório é novamente conectado ao topo do tubo. Ao mesmo tempo em que saca a camisa metálica, o martelo vibratório densifica o material dentro da coluna, completando o ciclo de execução da coluna.

Quanto ao material de preenchimento das colunas, utilizou-se a areia disponível na região, que cumpria as características granulométricas preconizadas pelo EBGEO. Nessa obra, foram também executadas colunas Ringtrac preenchidas com brita em uma parcela significativa do outro pátio de estocagem (pátio de minério de ferro), fato que não trouxe nenhuma dificuldade ao processo. Em função do encamisamento geossintético, foi possível estimar com maior precisão o consumo de material granular necessário para a execução das colunas, pois não houve perda de material por formação de bulbos no solo mole. Além disso, o geotêxtil tubular evitou a contaminação do material drenante, promovendo a separação entre a coluna granular e o solo mole, e garantiu a integridade das colunas perante a solicitação.

CRAVAÇÃO DA CAMISA
METÁLICA COM MARTELO
VIBRATÓRIO, NA EXECUÇÃO
DAS COLUNAS RINGTRAC



RECUPERADORAS (STACKER RECLAIMERS) EM OPERAÇÃO



Preenchimento
das colunas
Ringtrac
com brita

No total, foram executados cerca de 270 mil metros lineares de colunas Ringtrac e instalados mais de 1 milhão de metros quadrados de geotêxteis e geogrelhas com resistência à tração nominal de até 1.600 kN/m para reforço horizontal dos pátios de estocagem, justificando o posto de maior obra de

engenharia com geossintéticos de reforço de solos do Brasil.

DESEMPENHO

As primeiras investigações e monitoramentos confirmam baixas deformações das pistas das recuperadoras e

pequenos deslocamentos horizontais devidos às pilhas de estocagem. Os recalques oriundos da execução da plataforma e do lastro se estabilizaram em 3 meses, com valores de até 20 cm. A primeira passagem de uma stacker reclaimer, com carga de até 350 kN/m por trilho, causou um recalque de apenas 2 cm. Quando esse equipamento ficou estacionado em um mesmo ponto por uma semana, com carga de 750 toneladas, observou-se um recalque menor que 3 cm.

Essa obra já está em operação há mais de 2 anos. Assim, diante das medidas de desempenho bastante favoráveis, podemos concluir que, de forma geral, as soluções, materiais, conceitos e projetos demonstraram-se efetivos e adequados à realidade da obra. 