



COSTA FORTUNA

engenharia de fundações

HIDROFRESA

**PAREDE DIAFRAGMA E ESTACAS
BARRETE EM ROCHA**



Costa Fortuna Fundações e Construções

A **Costa Fortuna Fundações e Construções Ltda** opera no mercado de fundações e contenções e tem por filosofia o desenvolvimento empresarial baseado em parcerias sólidas, fundadas no bom atendimento, na seriedade e, sobretudo, no respeito pelos seus clientes.

Com quadro técnico composto por engenheiros e geólogos especializados, a **Costa Fortuna** vai além da simples prestação de serviços de fundações e age como real parceira de seus clientes, buscando as melhores soluções técnicas para a execução dos projetos de fundações.

Utilizando técnicas avançadas de engenharia de fundações a **Costa Fortuna** está apta a executar serviços de estacas escavadas de grande diâmetro, estacas barrete, estacas raiz, estacas hélice contínua, cravação de estacas metálicas, parede diafragma, tirantes, geodrenos, jet grouting, colunas de brita, solo grampeado e rebaixamento com poços profundos, bem como serviços para obras fluviais e marítimas como estacas escavadas em lâmina d'água com camisa metálica perdida, cravação de estacas de concreto pré-moldado e mistas e estacas escavadas engastadas em rocha com o uso de circulação reversa.

A **Costa Fortuna** atua no mercado internacional com a sua associada **Costa Fortuna del Uruguay** e busca continuamente sua expansão no mercado no setor de fundações e contenções especiais.



PAREDE DIAFRAGMA EM ROCHA COM USO DE HIDROFRESA



FUNDAÇÕES ESPECIAIS EM OBRAS MARÍTIMAS E FLUVIAIS



FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA

HIDROFRESAS

Parede diafragma em rocha

1. INTRODUÇÃO

Em grandes centros urbanos e na área industrial, as dificuldades construtivas para obras de porte crescente são evidenciadas e majoradas. Os projetos concebem artifícios executivos limitados ao que há de disponível em seu cenário regional. Sendo assim, às vezes, são idealizadas e utilizadas técnicas que nem sempre atendem com plena satisfação todos os envolvidos em cada empreendimento. A Hidrofresa

é uma ferramenta agora realista que já está em plena utilização em projetos pelo Brasil pode atender à demanda evolutiva dos serviços de perfurações profundas com a satisfação pretendida. O objetivo principal deste trabalho é a descrição e a aplicação desta nova técnica executiva para estacas barrete e paredes diafragma demonstrando da forma mais sucinta e clara possível a metodologia executiva

desta tecnologia bem como a apresentação do primeiro e maior empreendimento concluído em parede diafragma estrutural e estacas tipo barrete no Brasil. O objetivo secundário é já abrir uma linha de discussão quanto a parâmetros e conceitos normativos hoje empregados no Brasil em relação aos possíveis avanços que se possa obter com esta nova tecnologia.



Fig. 1 - Conjuntos de guindastes e hidrofresas para execução de parede diafragma em rocha - Salvador - BA

2. DESCRITIVO TÉCNICO X CONCEITUAL DE PAREDE DIAFRAGMA E ESTACAS BARRETE



Fig. 2 - Obra em São Luiz, MA - Conjunto de hidrofresas Casagrande FD60 e FD30.



Fig. 3 - Obra em São Luiz, MA - Conjuntos de hidrofresas Casagrande FD60.

Situação Pré Hidrofresa NBR 6122/2010

As paredes diafragma são elementos estruturais concebidos para contenção de grandes escavações que auferem empuxos de terra, água e sobrecargas de utilização nestas estruturas. São construídas em segmentos tangentes de forma a caracterizar um muro contínuo de excelente desempenho estrutural até longo prazo. Paredes diafragma em concreto armado moldado in loco são projetadas com limitação de f_{ck} de projeto em 20 Mpa e fatores de minoração de resistência altos, 1,9. As estacas barrete são elementos ou lamelas isoladas de parede diafragma projetados para receber grandes cargas axiais, horizontais e momentos no seu topo. Assim como para as estações, são dimensionadas para absorver 80% da carga em seu atrito lateral, impostos pelo seu processo executivo convencional.

Situação Hidrofresa Desenvolvimento

A técnica executiva da hidrofresa, por suas avançadas e conseqüentemente mais confiáveis técnicas executivas na fabricação destes produtos, como a introdução de juntas secantes, uso de lama permanentemente reciclada e limpa e alta precisão nas perfurações, aspiração ou limpeza eficaz da ponta do furo, entre outros benefícios, poderá quem sabe, criar avanços importantes para tais premissas conceituais de projeto, tornando-as mais otimistas e arrojadas. Abri-se, para tanto, uma linha de discussão entre projetistas e executores sobre as melhorias qualitativas e as conseqüentes resultados econômicos que podem ser atingidos com esta técnica. O avanço qualitativo no uso desta ferramenta é realista e palpável, assim este será amplamente discutido neste trabalho inclusive com a apresentação de um estudo de caso.

3. EQUIPAMENTOS QUE COMPÕEM UMA FRENTE DE ESCAVAÇÃO COM HIDROFRESA

Uma frente de serviço de parede diafragma ou estacas barrete com uso de hidrofresa concebe os mesmos ferramentais já utilizados nas paredes diafragma convencionais agregando ainda novos e cruciais componentes de reforço.

Clam Shell

Esta ferramenta consiste em um robusto corpo em carapaça metálica de seção transversal retangular. É dotado, em sua extremidade inferior, de mandíbula de corte com dentes de aços resistentes e capazes de desagregar e reter o substrato terroso para avançarem as escavações.

Quando as mandíbulas estão carregadas ou cheias de solo escavado, o clam shell é levado à superfície e o solo é descarregado para conseqüente nova descida da ferramenta no furo em avanço. São utilizados no Brasil dois tipos deles, o mecânico e o hidráulico. O mecânico é livremente suspenso por cabos de aço e o hidráulico é suspenso e guiado por hastes especiais tipo "kelly bar". Hoje, já são utilizados clam shells mecânicos de ponta que atingem alta precisão. Ambas ferramentas podem também conter instrumentação eletrônica.

Hidrofresa

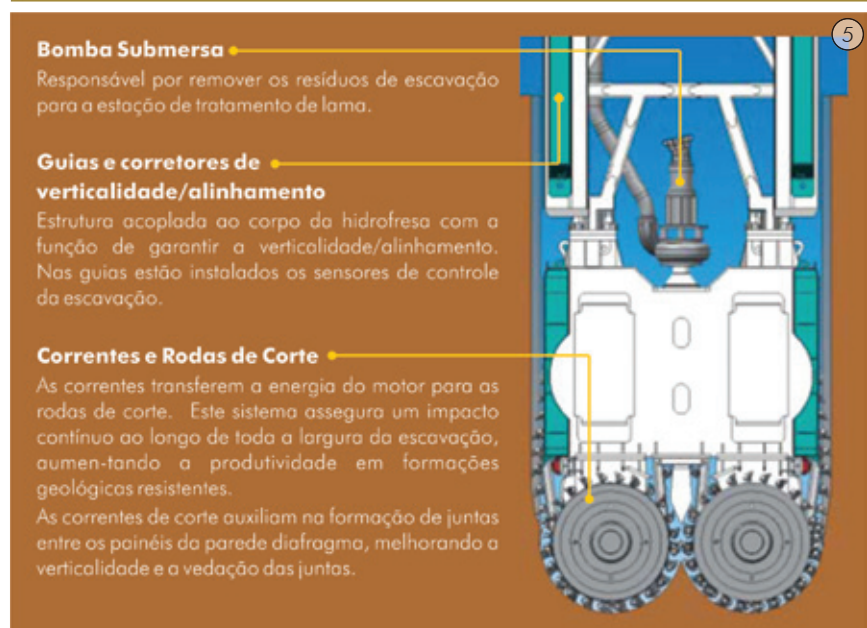
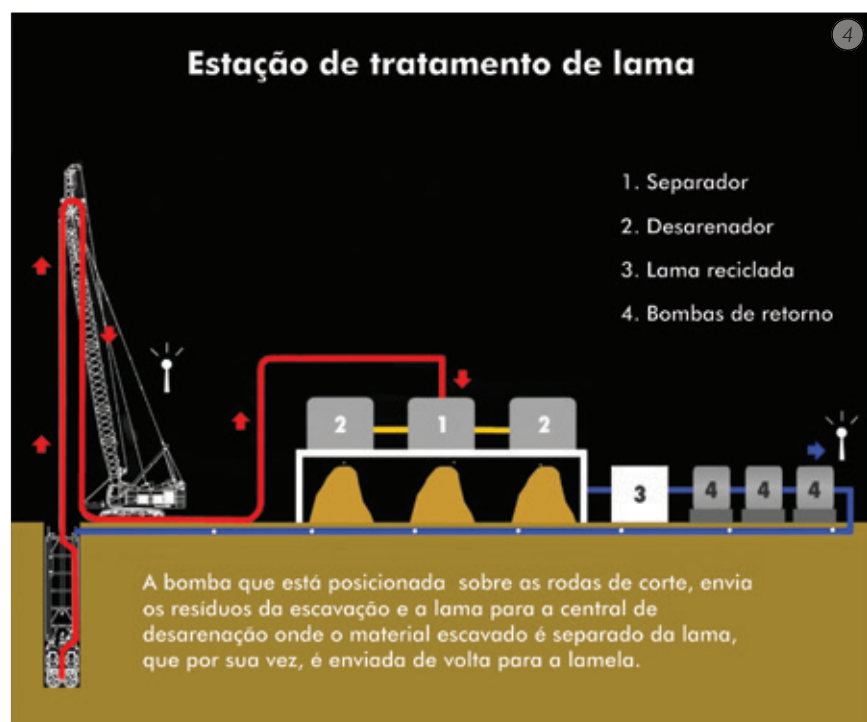
O equipamento consiste em uma estrutura de aço rígido, dois motores hidráulicos instalados na parte inferior da estrutura que giram alinhados no sentido horizontal e em direções opostas e uma bomba hidráulica de alta capacidade de sucção ($400 \text{ m}^3/\text{h}$). A ferramenta é montada em guindaste sobre esteiras de grande porte e com propulsor movido a diesel de potência adequada. Pode também ser acionada por unidade hidráulica instalada

na parte anterior do guindaste aferindo maior versatilidade em sua utilização.

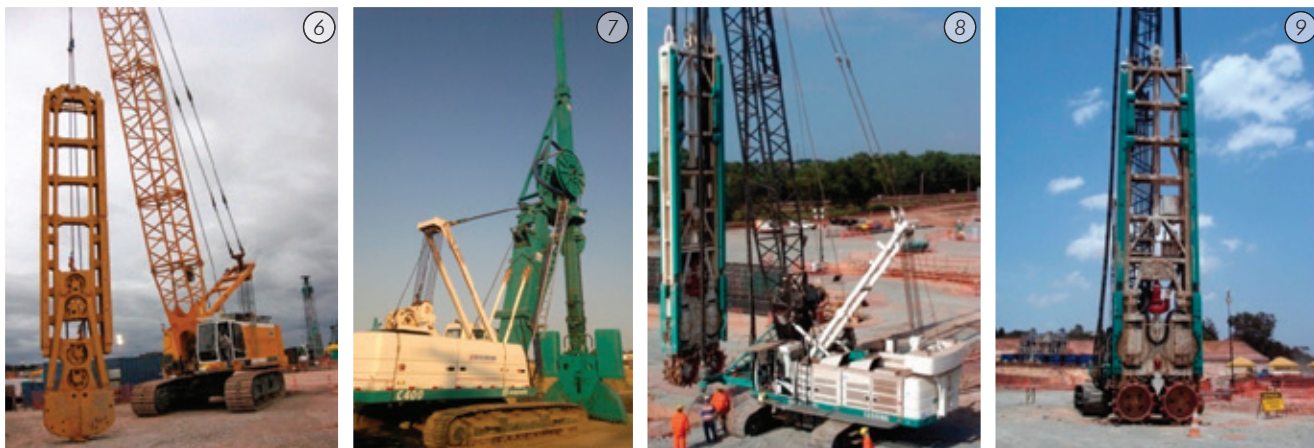
Os motores hidráulicos acionam as ferramentas de corte rotativas da extremidade inferior da ferramenta com auxílio do movimento de correntes à altíssima velocidade. As ferramentas de corte, bem como as correntes, são dotadas de extremidades de

corte (bits ou picos de tungstênio ou vídea) capazes de desagregar e escarificar materiais de alta resistência, terrosos ou rochosos. Estas extremidades de corte podem ser substituídas de acordo com o material a ser escavado e para as demandas de projeto.

Solo e rocha são triturados pelas rodas de corte e correntes, ficam em suspensão no fluido



Figs. 4 e 5 – Detalhes da circulação da lama e do corpo da hidrofresa



Figs. 6 e 7 - Conjuntos de clam shell mecânico e hidráulico de alta precisão,
Figs. 8 e 9 - Conjuntos de hidrofresas Casagrande FD60 acopladas a guindastes de alta potência.

estabilizante da perfuração e são imediatamente e continuamente direcionados até a abertura central do equipamento onde são aspirados à altíssima velocidade pela bomba hidráulica.

Ao contrário das metodologias convencionais esta ferramenta só é retirada do furo quando é atingida a cota de ponta estipulada em projeto. Isto devido ao seu princípio de funcionamento, conhecido como circulação reversa. Para tanto o maquinário convencional, clam shell, é utilizado para realizar a perfuração introdutória prévia a escavação via hidrofresa. Esta perfuração é necessária, pois propicia a condição de submersão da ferramenta principal para o funcionamento da circulação reversa.

Os detritos da escavação em suspensão ao fluido estabilizante são transportados à central de tratamento de fluidos. Nesta etapa, os detritos são separados do fluido estabilizante, que por

sua vez, retorna ao furo reciclado e limpo via conjunto de bombas e se inicia um novo ciclo.

Central de tratamento de fluidos

A central de tratamento de fluidos é dotada de desarenador de alta capacidade de vazão. Vazão esta compatível com a bomba da hidrofresa para se obtenha a circulação contínua dos fluidos. Caixas de reservatório de fluidos dimensionadas para atender a demanda das escavações da obra com "sobre-reserva" de 50% dos volumes teóricos dos furos em escavação, bombas, pulmões e tubulações semi-rígidas para circulação de fluido também compõem esta central.

A estação de tratamento utilizada na técnica da Hidrofresa é similar à utilizada em tratamentos de rejeitos e desassoreamentos de canais e rios. Conta com diversas etapas de separação dos detritos em suspensão no fluido estabilizante

até torná-lo totalmente reciclado e apto ao uso. Primeiramente o produto da escavação lançado numa caixa de amortecimento cinético e cai na peneira de malha grossa com inclinação negativa ao fluxo e vibratória de separação de material de granulometria grossa como pedregulhos de até 5cm de diâmetro a pedriscos (brita 0).

O material passante nesta peneira (fluido estabilizante + solo (areias, siltes e argilas)) é transferido ao primeiro tanque de decantação por gravidade e localizado logo abaixo da peneira grossa.

Com auxílio de bomba de circulação interna o material inserido neste tanque, é lançado diretamente no ciclone desarenador principal da estação de tratamento. Pelo auxílio da força centrífuga, neste ciclone as partículas de areia mais pesadas (areias grossas e médias) são separados do fluido estabilizante que por sua vez é transferido a um novo tanque de decantação.



Figs. 10, 11 e 12 - Vistas de uma central de tratamento para duas frentes de serviço concomitantes.



Figs. 13 e 14 - Material rochoso separado do fluido pela primeira fase do processo de limpeza.

Figs. 15, 16, 17 e 18 - Ciclone desarenador primário e material médio de descarte, conjunto de ciclones secundários e material de descarte fino.

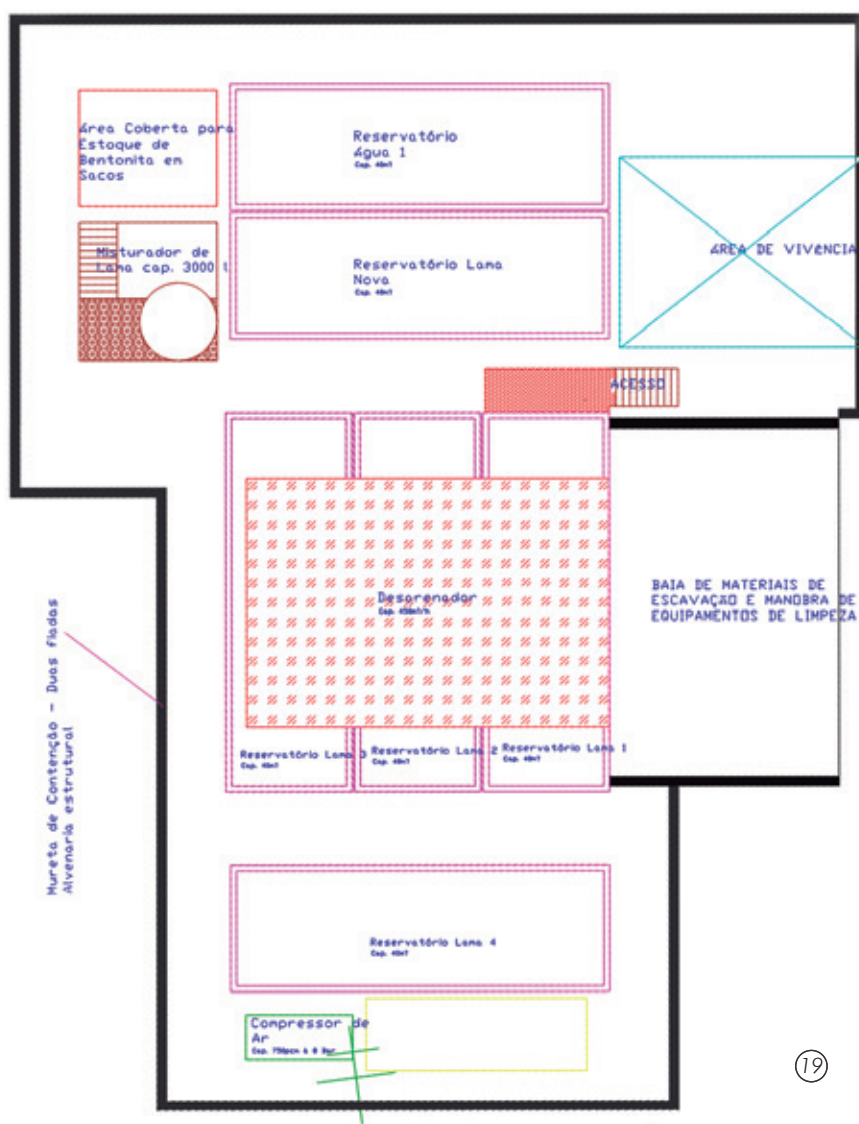


Fig. 19 - Planta da central de tratamento de lama bentonítica

O rejeito deste processo são despejados numa segunda trama de peneiras vibratórias e é descartado de maneira análoga à anterior.

O fluido estabilizante com areia fina, siltes e argilas que está inserido no segundo tanque de decantação, é novamente succionado e encaminhado ao grupo de ciclones secundários. Nesta etapa toda a areia remanescente, os siltes e as argilas incorporados ao fluido são separados e descartados.

O fluido estabilizante remanescente, totalmente reciclado e livre de impurezas é bombeado novamente à perfuração que está sendo realizada num ciclo contínuo.

O material de descarte, tanto solo quanto rocha, é rejeitado pela central de tratamento através das rampas de descarte. Este material pode ser descartado tanto ao chão para posterior retirada por retro escavadeiras pequenas e caminhões basculantes quanto diretamente sobre caminhões basculantes.

Instrumentação e controle eletrônico

Em complemento ao ferramental descrito, a hidrofresa conta com completo sistema de instrumentação informativa de bordo. Sensores eletrônicos incorporados ao corpo da ferramenta registram todas as informações pertinentes

à escavação que está sendo realizada como:

- **Torque do motor e velocidade de avanço:**

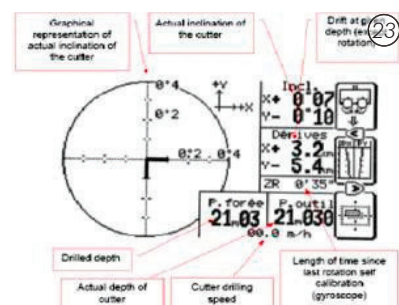
Com este registro é possível identificar, com base em sondagens existentes, a natureza e dureza do material atravessado em tempo real.

Com isso a paralisação ou continuidade das perfurações podem ser re-avaliadas à medida que as lamelas ou estacas vão sendo executadas.

- **Registro e Controle de Verticalidade:**

É utilizado o sistema TARALOG® da marca Jean Lutz, ferramenta esta de extrema valia em paredes diafragma e estaqueamentos. Com esta tecnologia é possível avaliar, controlar e corrigir possíveis desaprumos ou perdas de verticalidade da escavação em tempo real.

Detectado o desvio da ferramenta, ajusta-se a velocidade de rotação dos motores, controlando um isoladamente ao outro e assim retoma-se ou afere-se a verticalidade sempre almejada. Uma outra inovação nos equipamentos mais recentes de origem italiana, é a existência de um dispositivo hidráulico (pistões suplementares com esquis ou "flaps") no próprio corpo da Hidrofresa, que podem ser acionados ao longo da perfuração, escorando o corpo da ferramenta no furo e retomando o prumo da perfuração.



Figs. 20, 21, 22 e 23 Display multifuncional "touchscreen", cabine de operação, display multifuncional do controle e registro da perfuração "real time".



Fig. 24 - detalhe do dispositivo hidráulico - "flaps"

Avanços metodológicos

Outro grande diferencial deste equipamento para projeto, em relação ao que se tem hoje no Brasil, é a confecção de juntas secantes entre painéis sem a necessidade de instalação de chapas juntas totais entre painéis ou lamelas adjacentes. Sendo assim, o concreto da lamela adjacente é escarificado tendo como produto uma superfície rugosa conferindo excelente qualidade no contato concreto fresco e endurecido entre painéis minimizando possíveis percolações de água entre juntas e melhorando o desempenho

estrutural da contenção, pois ao escarificar o concreto todo resíduo de solo aderido à junta é eliminado pelo processo.

Além disto, as hidrofresas italianas utilizadas no Brasil, contam ainda com outro diferencial para confecção de juntas. Trata-se da confecção de um trilho longitudinal de concreto escarificado aos painéis adjacentes pré-executados, auferido pelo afastamento longitudinal das correntes do corte. No corpo da ferramenta ainda são instaladas peças especiais tipo “espaçadores-guia” que correm nos trilhos recém

confeccionados pela extremidade de corte da ferramenta.

As amaduras de painéis podem ser projetadas com menores distâncias da face de escavação, 15cm ante os 30cm típicos atuais, aferindo melhor desempenho estrutural aos elementos.

Assim, projetos em parede diafragma com uso de hidrofresa concebem painéis apenas de abertura e fechamento (primários e secundários) eliminando os painéis seqüentes utilizados quando de metodologias convencionais.



Figs. 25, 26 e 27 - Detalhe das correntes alargadas e guias.



Figs. 28 e 29 - Detalhe das juntas secantes planas e dotadas de trilho.

Especificações técnicas das hidrofresas

		FD 30	FD 60
Profundidade de escavação	m	50	125
Abertura do painel	mm	2500	3130
Espessura do painel	mm	600÷1000	700÷1200
Torque nas todas de corte	kNm	2 X 36	2 X 67
Rotações na roda de corte	rpm	0÷27	0÷31
Velocidade na roda de corte	m/sec	1,8	2,5
Altura manométrica máxima da bomba de sucção	m	28	40
Máxima vazão da bomba de sucção	m³/h	400	450
Peso	t	25	33

4. ESTUDO DE CASO – Primeira obra de parede diafragma estrutural com uso de Hidrofresa no Brasil

É de comum conhecimento que o mercado da construção encontra-se em contínua evolução, deparando-se cada dia mais com projetos de obras urbanas, industriais e de infraestrutura de porte sempre crescentes e arrojadas, que requerem a execução de obras subterrâneas mais profundas e escavadas, na maioria dos casos, em solos de altas resistências e rochas.

A **Costa Fortuna**, visando atender estas exigências, foi à primeira empresa Brasileira a introduzir no nosso mercado as hidrofresas, a primeira no final do ano de 2009 e as outras duas ao longo do ano 2010.

A hidrofresa é um equipamento que permite a escavação profunda de solos de altas resistências e rochas sendo constituída por uma estrutura de aço rígido, dois motores hidráulicos instalados na parte inferior da estrutura e de uma bomba hidráulica de alta capacidade de sucção. A ferramenta é montada em um guindaste sobre esteiras e trás, na sua parte inferior, o mecanismo de corte da ferramenta, este constituído por correntes que transferem a energia propelida do motor às rodas de corte, ambas dotadas de picos de tungstênio ou videa, capazes de desagregar e escarificar materiais de altas resistências.

Solo e a rocha são desagregados do maciço pelas rodas de corte. Os resíduos da escavação ficam em suspensão no fluido estabilizante e são continuamente aspirados, a altíssima velocidade, pela bomba hidráulica de sucção e transportados à estação de tratamento, de onde os fluidos, depurados dos resíduos voltam reciclados e limpos ao furo em perfuração.

As hidrofresas contam com um completo sistema de instrumentação eletrônica informativa de bordo, constituído por sensores elétricos, incorporados ao corpo da ferramenta que registram todas



Fig. 30 - Vista do conjunto de hidrofresa e ferragem em "T" introduzida 35 m dentro de um furo.



Fig. 31 - Vista da Central de tratamento de fluidos completa para atendimento das duas frentes de serviço simultâneas em São Luiz - MA.

as informações pertinentes a escavação, tais como: torque, velocidade, avanço e sobre tudo, o controle de verticalidade sendo utilizado, por este fim, o sistema TARALOG da Jean Luz que permite avaliar, controlar e corrigir possíveis desvios ou perdas de verticalidade da escavação em tempo real.

As hidrofresas utilizadas pela Costa Fortuna e fabricadas pela Casagrande, importante empresa Italiana que fabrica equipamentos para serviços de geotecnia e fundações, possuem, como diferencial de seus concorrentes, dispositivos hidráulicos adicionais

(pistões suplementares, com esquis ou flaps) incorporados ao corpo da ferramenta e nos sentidos X e Y que, detectado o desvio do furo (precisão de 0,1°) são acionados e funcionam como escoras da ferramenta para retomada da verticalidade precisa. Além disto, pode-se ajustar a velocidade de rotação dos motores, controlando um isoladamente ao outro, e assim, retoma-se ou afere-se a verticalidade almejada com maior rapidez.

Outro grande diferencial deste equipamento, em comparação com os clams shell mecânicos e hidráulicos, é a possibilidade

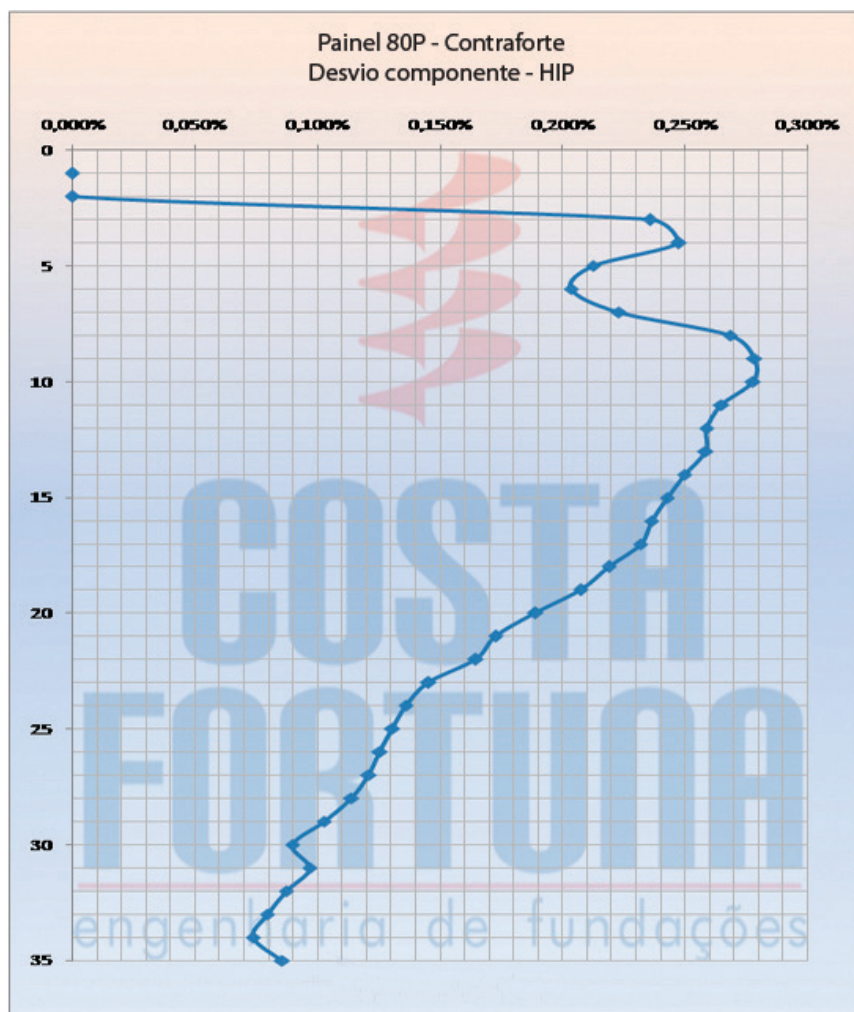
de confecção de juntas secantes que substituem entre lamelas de diafragma evitando a instalação de chapas juntas.

Desta forma o concreto dos painéis adjacentes é escarificado criando uma superfície rugosa que confere uma excelente qualidade das juntas no contato entre concreto fresco e o endurecido, que somado à alta precisão do corte do equipamento reduz consideravelmente as percolações de água entre as juntas.



Figs. 32 e 33 - Displays da cabine de comando do guindaste com o controle e registro eletrônico das perfurações e eficiência do sistema em trabalho "real time"

Apresentação de um caso específico de contenções com parede diafragma utilizando hidrofresa.



Representação gráfica do desvio no painel 80P em função da profundidade.

Para a ampliação das obras "Onshore" do terminal marítimo da Ponta da Madeira em São Luis do Maranhão, os quatro novos viradores de vagões previstos foram inicialmente projetados adotando uma solução de contenções das escavações já utilizada na construção das estruturas precedentes e existentes, no caso a utilização de estacas escavadas de grande diâmetro e parede interna moldada in loco, cuja execução, além de demorada, não deu garantias de verticalidades nem de estanqueidade.

Para superar estas limitações, foi elaborado pela **Costa Fortuna** junto com a engenharia do cliente, projetista e consultor, uma solução alternativa que previa a execução de uma parede diafragma de 1,00m de espessura e 43 m de profundidade, com contrafortes e vão livre de 24,5 m, para a contenção dos viradores e das



Fig. 34 - Guindaste sobre esteiras hidráulico de capacidade 120 ton e hidrofresa Casagrande FD60



Fig. 35 - Lçamento de armadura com 43 m de extensão e peso de 43 tf verticalizada e pronta para introdução no furo.

galerias de transporte de minério; os apoios intermediários, onde serão descarregados os trens de minério, foram projetados em estacas barretes em cruz, com 51 m de comprimento.

A adoção desta solução utilizando clams Shell convencionais, não seria possível pelas características do subsolo, representado por horizontes de argilas duras intercaladas a formações rochosas, constituídas por argilitos muito duros e siltitos compactos.

Graças à disponibilidade da Costa Fortuna de alocar a obra três conjuntos de hidrofresa, foi possível executar com sucesso a primeira parede diafragma estrutural com contrafortes escavada em rocha no Brasil.

Em virtude da confiabilidade do processo e do rigoroso controle de verticalidade perseguido, foi possível montar as gaiolas num único elemento em T com 43 m de extensão e peso de 43 tf, com uma taxa média

de aço de 180 kg/m³, cujo o posicionamento no furo se deu utilizando, simultaneamente, dois guindastes: um de 250 tf e outro de 110 tf.

Na concretagem das lamelas em T, foram utilizadas duas tubulações tipo "tremie", chegando a lançar, em cada lamela e no prazo de 5 hs., um volume de até 235 m³ de concreto com fck, aos 28 dias de "inovadores" 30 Mpa.

Todas as escavações das lamelas foram integralmente monitoradas eletronicamente quanto à verticalidade e prumo nos eixos longitudinais, transversais e no giro das ferramentas, durante o avanço nas camadas de argilitos, dados estes, representados no registro de saída do software utilizado e nos gráficos de análise dos resultados de excentricidade a cada metro de escavação.

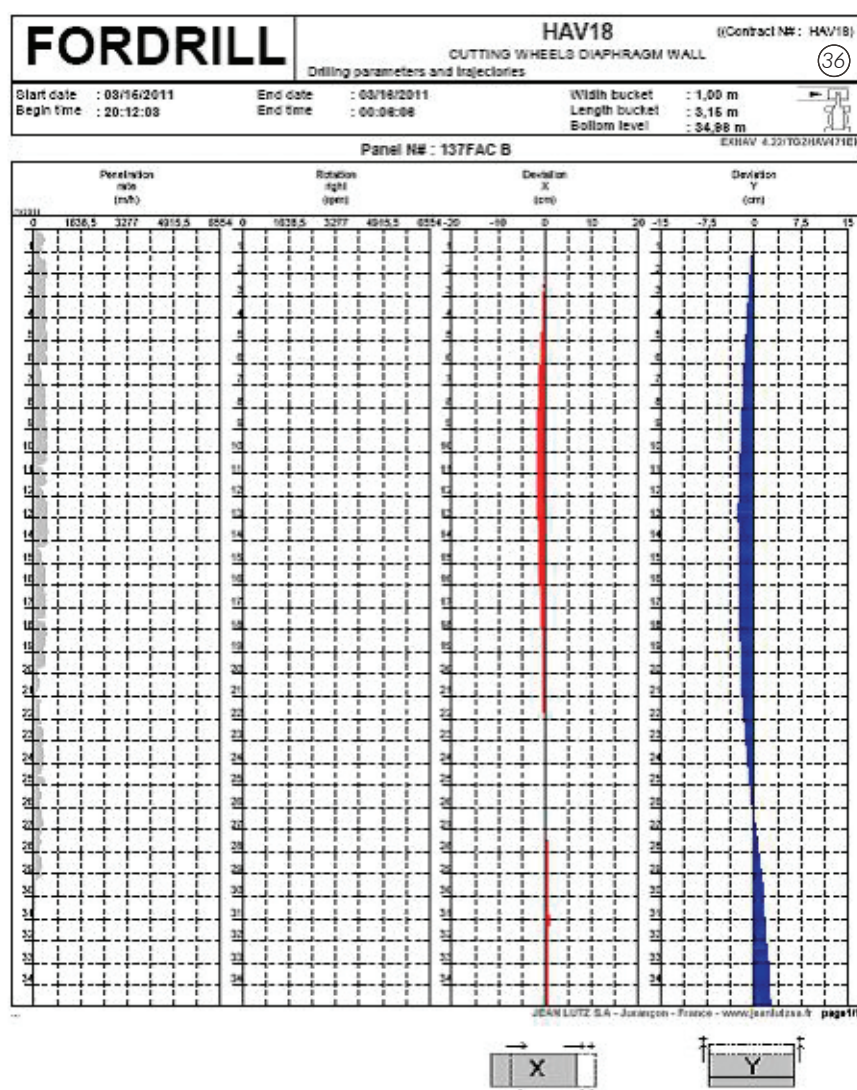


Fig. 36 - Relatório gráfico de verticalidade com uso dos equipamentos "real time".

Fig. 37 - Detalhe da guia metálica da hidrofresa que proporciona maior nível de escoramento para centralizar e guiar a ferramenta.



Médias dos Desvios Percentuais da Obra Global			
Desvios	Escavação		Média Global
	Face	Contraforte	
Máximos	0,212%	0,217%	0,214%
Mínimos	0,031%	0,036%	0,033%
Médios	0,091%	0,102%	0,096%

Assim, os desvios assinalados no gráfico referem-se sempre a profundidade correspondente do painel; nestes casos, fica evidente a eficácia do sistema de correção ou retomada vertical, proporcionado pela hidrofresa, mediante operação de manipulação da rotação dos motores hidráulicos, bem como do uso dos "flaps" laterais de escora do corpo da ferramenta, possibilitando a inversão do desvio da ferramenta e garantindo uma média de desvios percentualmente muito baixa, conforme demonstra a tabela adiante relacionada:

Em resumo, a precisão média da obra fora superior a 0,1%,

ou seja, a cada metro escavado a ferramenta desviava 1,0 mm, marca esta muito expressiva que consagra a utilização deste equipamento, abrindo horizontes de aplicação impensáveis até alguns anos atrás.

Ao todo foram realizados 30.000 m² de parede diafragma e estacas barretes, atingindo metas de produção muito elevadas e constantes, beirando os 5.600 m² mensais com dois conjuntos em operação.

Hoje a obra já se encontra escavada e em plena atividade até a cota de fundo a - 29,50, com vão livre de 24,55 m demonstrando um grande desempenho estrutural,

o que confirma os grandes avanços qualitativos das paredes diafragma com hidrofresa cuja utilização proporciona alta precisão de verticalidade e prumo das perfurações, menores sobre consumos de concreto, juntas secantes de melhor estanqueidade e uma excelente limpeza de fundo das escavações.

Esta ultima condição propicia melhores garantias de contatos de ponta entre concreto e substrato natural não deformado, abrindo a possibilidade de pensar em projetar estacas barretes ou lamelas com capacidade de absorção de carga superior aos usuais 20% (vinte por cento).



Figs. 38, 39 e 40 - Vistas do término das escavações e exposição de paredes diafragma e barretes, em plena atividade estrutural.



www.costafortuna.com.br



COSTA FORTUNA ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES
Rua Dr. Ladislau Retti, 675 - km. 29 Rod. Raposo Tavares
CEP 06714-150 - Cotia - SP
Fone/Fax: (011) 4702-0855
costafortuna@costafortuna.com.br



COSTA FORTUNA DEL URUGUAY S/A
25 de Mayo N° 713, Of. 207, Edificio Imperium Building
Montevideo - Uruguay
Tels: 2 9022271 – 2 9028596
costafortuna@costafortuna.com.uy