

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

Mestrado em Engenharia Geológica

**Uso de Polímero como
Substituto da Bentonite na
Estabilização de Escavações em
Solos**

Eónio Manuel Apolinário Trindade

Orientadores:

- Profª. Doutora Isabel Duarte
- Prof. Doutor António Pinho

186 516

Outubro 2010

I. Índice

I. Índice	i
II. Índice de Figuras	iii
III. Índice de Tabelas	vi
IV. Agradecimentos	vii
V. Abstract/Resumo	viii
1. Introdução	1
2. Fundações	3
2.1. Fundação Superficial	3
2.2. Fundação Profunda	5
2.2.1. Estaca Moldada	7
2.3. Parede Moldada	10
3. Metodologias Clássicas de Estabilização de Escavações	14
3.1. Entivação	14
3.2. Revestimento Permanente ou Provisório	15
3.3. Fluido de Estabilização	19
3.3.1. Controlo da Qualidade do Fluido de Estabilização	20
4. Bentonite	23
5. Polímeros	28
6. Análise Comparativa entre os Fluidos: Bentonite e Polímero	37

6.1. Lama Bentonítica	38
6.1.1. Mistura	39
6.1.2. Propriedades da Lama Bentonítica	41
6.1.3. Central de Lama Bentonítica	44
6.1.4. Limpeza da Lama Bentonítica	46
6.1.5. Eliminação da Lama Bentonítica	48
6.2. Lama Polimérica	48
6.2.1. Mistura	49
6.2.2. Propriedades da Lama Polimérica	52
6.2.3. Central de Lama Polimérica	55
6.2.4. Limpeza da Lama Polimérica	58
6.2.5. Eliminação do Polímero	59
6.3. Comparação entre Fluidos	60
7. Casos de Obra	64
7.1. Obra no Bairro do Morumbi em São Paulo (Brasil)	65
8. Conclusões	71
Referências Bibliográficas	73

Anexos:

- A – “THE EFFECT OF DRILLING FLUID ON AXIAL CAPACITY, CAPE FEAR RIVER, NC”
- B – “THE SLURRYPRO CDP SYNTHETIC SYSTEM”
- C – TABELA DE DADOS DE ESTACAS

II. Índice de Figuras

Figura 2.1 - Tipos de fundações superficiais: (a) sapata isolada, (b) bloco, (c) sapata corrida, (d) grelha, (e) ensoleiramento geral.	4
Figura 2.2 - Escavação com trado contínuo.	7
Figura 2.3 - Balde de escavação.	8
Figura 2.4 - Trado de escavação.	8
Figura 2.5 - Perfuratriz Liebherr LB28.	8
Figura 2.6 - Perfuratriz Bauer BG28H.	8
Figura 2.7 - Perfuração com uso de tubo guia e fluído de estabilização.	9
Figura 2.8 - Paredes moldadas colocadas no terreno e túnel após a conclusão da obra.	11
Figura 2.9 - “Grab” mecânico.	11
Figura 2.10 - “Grab” hidráulico.	11
Figura 2.11 - Fases de execução de um painel de parede moldada.	12
Figura 2.12 - Construção de uma cave subterrânea utilizando o método de parede moldada.	13
Figura 2.13 - Detalhe das ancoragens na face descoberta da parede moldada.	13
Figura 3.1 - Entivação de terreno	15
Figura 3.2 - Escavação com revestimento: a) por secções; b) secção única; c) em meio aquático.	16
Figura 3.3 - Perfuratriz com torno hidráulico incorporado.	17
Figura 3.4 - Vibrador acoplado ao topo da camisa metálica.	17
Figura 3.5 - Execução de estaca escavada com recurso a camisa integral.	18
Figura 3.6 - Acção estabilizadora de um fluído numa escavação.	20
Figura 3.7 - Funil de “Marsh” e copo graduado.	21
Figura 3.8 - Balança de lama.	22
Figura 3.9 - Tiras de pH.	22
Figura 3.10 - Conjunto de medição do teor de areia.	22
Figura 4.1 - Bentonite em estado puro (fonte: USGS).	23

Figura 4.2 - Estrutura mineralógica das Esmectites (adaptado de MURRAY, 2007).	24
Figura 4.3 a) - Placas de bentonite em repouso.	25
Figura. 4.3 b) - Placas de bentonite quando agitadas.	26
Figura 4.4 - Bentonite activada.	27
Figura 4.5 - Bentonite em pó.	27
Figura 5.1 - Monómero etileno e respectivo polímero por ele originado - - polietileno.	28
Figura 5.2 - Diversos produtos resultantes de polímeros.	29
Figura 5.3 - Granulado de polímero.	34
Figura 5.4 - Aspecto viscoso do polímero e paredes da escavação revestidas.	35
Figura 5.5 - Rede simplificada do polímero em solução aquosa.	36
Figura 6.1 - Acção estabilizante da lama numa escavação (adaptado de BOWLES, 1996).	37
Figura. 6.2 - Sacos de Bentonite de 25 kg (Sud-Chemie, Espanha).	39
Figura 6.3 - Misturadora de Bentonite.	40
Figura 6.4 - Esquema representativo de uma misturadora de bentonite (NUÑEZ, 2007).	40
Figura 6.5 - Mistura num tubo de Venturi.	40
Figura 6.6 - Lama bentonítica.	40
Figura 6.7 - Formação do “cake”.	42
Figura 6.8 - Central de lama bentonítica.	44
Figura 6.9 - Bomba centrífuga SELWOOD®D150 e detalhe do funcionamento da bomba.	45
Figura 6.10 - Central de Bentonite com sistema de desarenador.	46
Figura 6.11 - Esquema do circuito de lama num desarenador GOSAG®.	47
Figura 6.12 - Saco de polímero (PolyMud®; GEO).	49
Figura 6.13 - Mistura de polímero com água.	50
Figura 6.14 - Sistema de agitação.	50
Figura 6.15 - Fluido polimérico fresco.	51
Figura 6.16 - Fluido polimérico usado.	51

Figura 6.17 - Mistura directa do polímero à boca da escavação.	51
Figura 6.18 - Membrana química de polímero.	53
Figura 6.19 -Esquema ilustrativo de uma central de polímero.	56
Figura 6.20 - Central de fluido polimérico.	57
Figura 6.21 - Bomba SELWOOD® PD100 motorizada.	57
Figura 6.22 - Bomba WILDEN® pneumática.	57
Figura 6.23 - Bomba Peristáltica MAT®/BAUER®.	58
Figura 6.24 - Decantação natural: (a) no fundo da escavação e (b) no tanque de decantação.	59
Figura 7.1 - Registo de uma sondagem efectuada na obra do Morumbi.	66
Figura 7.2 - Lama de polímero.	67
Figura 7.3 - Lama bentonítica.	67

III. Índice de Tabelas

Tabela 6.1: Parâmetros adequados para uma boa utilização da lama bentonítica.	44
Tabela 6.2: Parâmetros adequados para uma boa utilização da lama polimérica.	55
Tabela 6.3: Comparação geral entre os fluidos de Bentonite e de Polímero.	61
Tabela 7.1: Tempo de duração médio de escavação da estaca.	68
Tabela 7.2: Percentagens médias de sobreconsumo de betão.	68

IV. Agradecimentos

Para a realização deste trabalho (dissertação de mestrado), tive o apoio de diversas pessoas e entidades às quais gostaria de deixar aqui os meus sinceros agradecimentos.

Primeiramente, devo agradecer aos meus orientadores: Professora Isabel Duarte e Professor António Pinho. Pela sua dedicação e ajuda preciosas na materialização de um trabalho escrito que se enquadra num tema tão particular e pouco conhecido na área da geotecnia. Do pessoal docente da Universidade de Évora tenho igualmente que agradecer ao Professor Paulo Mourão, do Departamento de Química, pelo seu importantíssimo contributo na minha melhor familiarização com o vasto mundo dos Polímeros.

Ao Prof. António Sousa Coutinho, tenho a agradecer as suas observações, críticas e sugestões feitas para a versão final deste trabalho.

À minha empresa, *Ground Engineering Operations* (GEO) Lda, devo a inspiração para a temática deste trabalho, uma vez que foi através dela que entrei em contacto com o mundo das fundações e as suas “lamas” de estabilização. Agradeço aos seus responsáveis pelo seu contributo e informação técnica prestados para esta tese, assim como aos meus colegas de trabalho com quem partilhei experiências e conhecimentos na forma de actuação do fluido sintético.

Por último, mas não menos importante, tenho que agradecer às pessoas que estão sempre perto de mim: a minha família e a Macarena. Que são aqueles que sempre me dão ânimo e apoio a cada novo projecto que enfrento.

V. Abstract

“The use of Polymer as Substitute of Bentonite on Stabilization of Soil Excavations”

Obtained from the research on oilfield drilling fluids as a way to improve colloidal and rheological properties of bentonite (sodium montmorillonite) mud (slurry), the polymer based synthetic fluid arrived to a point that itself can work as a substitute of mineral slurry on excavations for foundations of engineering structures.

The use of this type of fluid in the geoconstruction industry was born from the need to find a new solution with less environmental impact and at the same time improve the final results (saving time, improving excavation geometry and saving concrete).

Once there are a lot of doubts at the moment of using and accepting the synthetic mud as a real technical option, this report is intended to clear ideas about the characteristics, how to use and in which aspects can the use of polymer slurry be more advantageous than bentonite slurry on soil stabilization.

V. Resumo

Obtido através da pesquisa de fluidos utilizados na perfuração de petróleo, com o fim de melhorar as propriedades coloidais e reológicas da típica lama de bentonite (montmorilonite sódica), o fluido sintético produzido através de um polímero vem, de certo modo, concorrer com o uso desse fluido mineral, na área da escavação de elementos de fundação.

O uso da lama polimérica na construção civil surge da necessidade de encontrar uma solução de menor impacto ambiental e, simultaneamente, que melhore os resultados finais (redução de tempo de execução, escavação mais perfeita e menor consumo de betão).

Visto existirem muitas dúvidas acerca da utilização da lama sintética e na aceitação desta como uma verdadeira opção técnica, este trabalho visa elucidar sobre as suas características e modo de utilização, assim como, em que aspectos, pode o uso de fluido de polímero ser vantajoso, em detrimento da lama bentonítica, na estabilização de solos.

1. Introdução

O presente trabalho visa contribuir para o conhecimento de um fluido sintético, com base num polímero, aplicado na estabilização provisória de escavações para a implantação de elementos de fundação, em substituição da típica lama bentonítica, que, por razões técnicas e/ou ambientais, não convém ser utilizada, em situações cada vez mais frequentes, tornando-se o fluido sintético numa nova e importante opção para a estabilização deste tipo de escavações.

Já existe no mercado, há bastante tempo, a tecnologia das lamas com recurso a polímeros vinílicos sintéticos, mas tem tido uma utilização limitada, devido ao seu preço mais elevado, em comparação com o da lama à base de argila bentonítica ou com a utilização de contenção através de camisa metálica (recuperável e provisória ou permanente). A sua utilização, em detrimento de outras metodologias, estará relacionada com a questão ambiental, a exequibilidade do projecto e a sua rentabilização.

O uso de lamas sintéticas teve origem nas necessidades específicas da perfuração de poços de petróleo. Trabalhando em condições extremas e muito variáveis, este tipo de perfuração exige um fluido versátil que não dependa somente da bentonite. Desta forma, foi desenvolvido um produto que pudesse ser utilizado como aditivo à bentonite e que, pouco a pouco, se desenvolveu tornando-se ele próprio na base de um fluido.

Na construção civil o polímero aparece timidamente, sendo utilizado como último recurso, quando todas as outras metodologias de contenção não podem ser convenientemente aplicadas. As primeiras aplicações surgem em fundações profundas realizadas em áreas ambientalmente sensíveis.

Neste trabalho pretende-se dar a conhecer um pouco mais deste fluido, muitas vezes desconhecido, como uma aplicação viável na construção civil, sendo o mesmo apresentado como uma verdadeira solução prática e versátil na estabilização dos solos escavados para estacas e paredes moldadas.

Para além de ser caracterizado o produto e a forma de utilização do mesmo, tenta-se fazer uma comparação com a clássica lama mineral, de modo a facilitar a sua

compreensão e apresentar possíveis vantagens e desvantagens no uso de um ou de outro fluido de estabilização. Sendo igualmente expostos, exemplos de outros métodos utilizados, recorrentemente, na estabilização de solos, que não estão relacionados com o uso de fluidos de estabilização.

Nos próximos capítulos pretende-se, de certo modo, transmitir alguma da experiência adquirida pessoalmente durante o acompanhamento directo de várias realidades de trabalho, em obras de execução de estacas e paredes moldadas, com recurso a fluido de estabilização sintético. Tendo essa experiência sido maioritariamente dedicada ao fluido sintético, é após o contacto com o fluido mineral que se complementam os diversos elementos importantes para o estudo em causa.

Inicialmente, de modo a facilitar o enquadramento do tema, é feita uma abordagem ao tema das fundações.

2. Fundações

A fundação é uma das componentes de uma estrutura de engenharia que podendo apresentar diversas geometrias, ficando instalada no subsolo, transmite ao terreno as cargas suportadas pela fundação, assim como, o seu peso próprio. Por outras palavras, uma fundação constitui a interface entre a super-estrutura¹ e o terreno subjacente, seja ele de natureza terrosa ou rochosa. A sua função é a de transmitir as cargas impostas pela super-estrutura ao terreno subjacente, sem o sobrecarregar. Um bom projecto de fundações, deve atribuir um adequado factor de segurança à rotura e ao assentamento excessivo do terreno de modo a não comprometer a estabilidade da estrutura de Engenharia (CALAVERA, 1991).

Existem diversos tipos de fundações, e a escolha da mais indicada para cada caso depende das características do local de implementação: da topografia, das propriedades geomecânicas do maciço de fundação, do tipo de esforços a que a estrutura vai estar sujeita, da informação e da influência de construções vizinhas e, também, dos aspectos económicos (CGS, 1992).

Segundo COELHO (1996), os vários tipos de fundação são caracterizados por terem diferentes geometrias. A caracterização da geometria pode ser realizada através da sua largura (B) e da sua profundidade (D), no caso de uma situação simples (fundação com comprimento L muito maior que a largura B). Os diversos tipos de fundações podem assim ser divididos em dois grupos fundamentais: as fundações superficiais ($D < 4B$) e as fundações profundas ($D > 10B$). Entre estes dois grupos existem também as fundações semi-profundas, que no geral apresentam características similares às profundas mas onde: $10B > D > 4B$

2.1. Fundação Superficial

A fundação superficial, transmite a carga da edificação ao terreno através de pressões que se distribuem, exclusivamente, sob a face inferior do elemento de

¹ Super-estrutura ("superstructure"): termo que é, em regra, utilizado para descrever, nomeadamente no caso de edificios ou pontes, a estrutura construída acima da superfície do terreno que é responsável pela carga transmitida à fundação

fundação. Este tipo de fundações encontra-se tipicamente assente a uma profundidade quatro vezes menor em relação à sua menor dimensão em planta.

Os principais tipos de fundações superficiais são:

- Sapata isolada;
- Bloco;
- Sapata corrida;
- Grelha (sapatas ligadas por lintéis);
- Ensoleiramento geral (laje de fundação).

Na Figura 2.1 são ilustrados os principais tipos de fundações superficiais, utilizados na implantação de superestruturas.

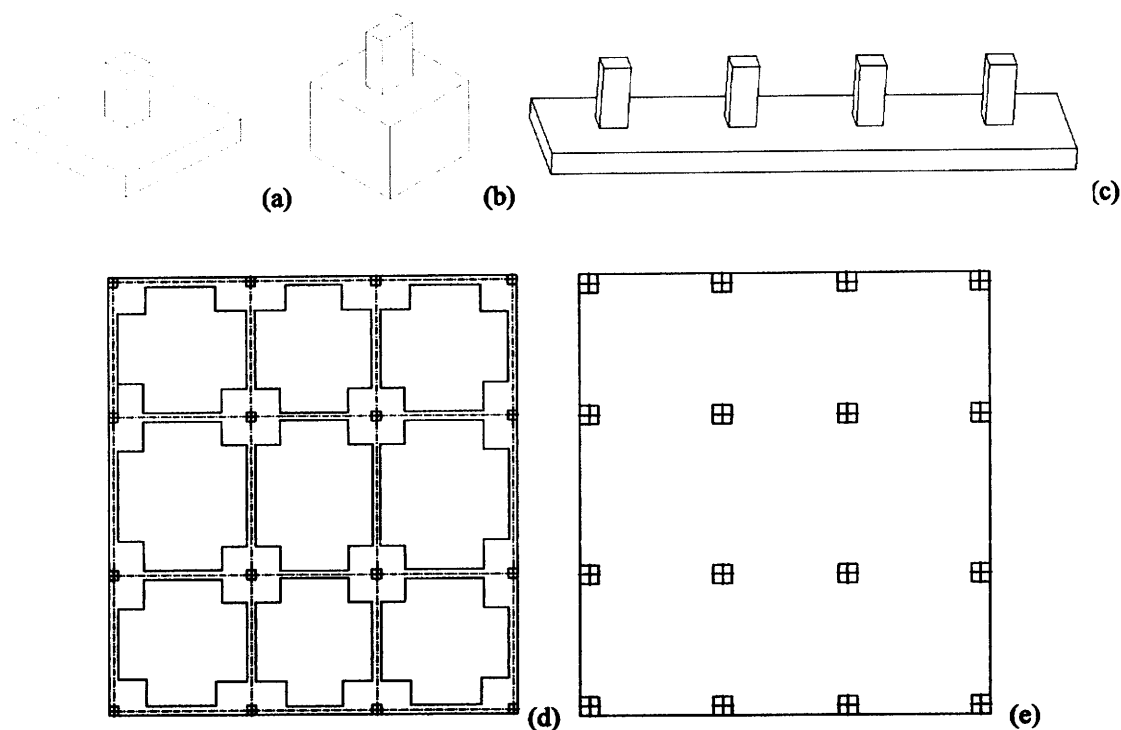


Figura 2.1 - Tipos de fundações superficiais: (a) sapata isolada, (b) bloco, (c) sapata corrida, (d) grelha, (e) ensoleiramento geral.

As fundações superficiais, uma vez que aplicam a carga directamente através da área da sua base, são apropriadas para terrenos que apresentam boa capacidade resistente e onde não existe a possibilidade de assentamentos consideráveis, que possam danificar a superestrutura. Desde modo, apesar de serem elementos simples e de fácil

implementação no conjunto da estrutura que se pretenda construir, a sua utilização está limitada a terrenos que apresentem boas condições de suporte.

2.2. Fundação Profunda

As fundações profundas são a opção encontrada para situações em que o terreno superficial de apoio da estrutura a ser construída não possui capacidade de suporte. Este tipo de fundação tem como objectivo a distribuição das cargas em litologias com melhor capacidade de suporte (através da transferência de carga para a extremidade do elemento de fundação), ou ao longo de litologias de baixa capacidade de suporte (através da distribuição de esforços de atrito que o solo exerce no elemento de fundação). Deste modo, a face lateral do elemento de fundação vai suportar parte da carga, independentemente de ser ou não considerada no cálculo (RAJAPAKSE, 2008).

COELHO (1996), divide as fundações profundas em quatro tipos: os caixões, as barretas, os pegões e as estacas. Estes tipos de fundações distinguem-se sobretudo pela sua esbeltez (relação comprimento/dimensão transversal) e pela dimensão e configuração da secção transversal.

As estacas são peças com reduzida secção transversal com esbeltez em regra maior que 6 ou 7 e cujo limite de esbelteza é muito elevado (FOLQUE, 1996). Consoante a perturbação que podem ocasionar no terreno, distinguem-se diversos tipos de estacas, nomeadamente a:

- Estaca que provoca uma grande perturbação do terreno - elementos pré-fabricados de secção transversal maciça, ou ocos com a extremidade obstruída, cravados pela acção de um pilão;
- Estaca com pequena perturbação do terreno - perfis metálicos ou elementos ocos com a ponta aberta;
- Estaca sem perturbação do solo - estaca escavada ou moldada no terreno.

Para além da classificação anterior existe a possibilidade, de acordo com outros autores (MUZÁS, 2007), de se distinguirem dois tipos de estacas: as estacas cravadas (sem substituição do terreno) e as estacas moldadas (com substituição do terreno). As estacas cravadas podem ser de aço, com uma grande variedade de perfis e que, regra geral, exibem grande esbelteza. As estacas cravadas de betão armado também são

comuns, sendo na sua maioria sempre pré-esforçadas, para sua maior robustez. Já nas estacas moldadas, referidas em pormenor na secção seguinte, pode-se distinguir dois tipos principais: a estaca em que o tubo moldador é cravado com extracção do terreno no seu interior e a estaca em que o tubo moldador é obturado o que permite a sua cravação sem remoção do terreno no seu interior.

Os caixões são prismas ou cilindros ocos geralmente de betão armado, de pouca esbelteza e em geral de grandes dimensões. São descidos gradualmente no terreno, através da escavação do seu interior, até à profundidade adequada para a fundação, ao mesmo tempo que se completa a betonagem da peça. Têm o inconveniente de o atrito lateral dificultar a sua instalação, por esse motivo são tomadas medidas de redução do mesmo através do uso de extremidades inferiores cortantes, bases mais alargadas e superfícies de baixo atrito ou ainda pela aplicação de lubrificantes, para além da eventual necessidade de escavação em avanço. Também é usual a aplicação de sobrecargas para aumentar o peso do caixão e assim facilitar a sua descida. Por estas e outras razões não é considerada, na capacidade resistente, o atrito lateral causado pelas paredes deste elemento estrutural de fundação.

As barretas são peças prismáticas, mais ou menos rectangulares, que são construídas com a tecnologia das paredes moldadas, que é tratada na Secção 2.3.. Estas possuem uma enorme capacidade de carga e, de um modo geral, trabalham do mesmo modo que as estacas escavadas moldadas no solo, através da distribuição de cargas na ponta e ao longo da superfície (atrito lateral) da barreta.

Os pegões são elementos de fundação com elevada secção transversal (circulares e por vezes quadrangulares) nunca inferior a 1 m^2 e esbeltez entre 5 e 8, sendo uma solução menos utilizada e que só se justifica para profundidades pequenas, entre 6 a 10 metros (FOLQUE, 1996). Os pegões, embora bastante semelhantes às estacas, apresentam menor esbelteza e um método construtivo distinto destas últimas. A escavação, que pode ser manual ou mecânica, é, na grande maioria dos casos, realizada com entivação. Têm a aparência de um tradicional poço de água, durante o processo de escavação, e são uma opção de fundação apropriada para terrenos em que exista uma camada competente a pouca profundidade e para a aplicação de cargas elevadas.

A estaca moldada será o elemento de fundação que terá maior relevo neste estudo, uma vez que só este método requer, na grande maioria dos casos, algum tipo de revestimento (provisório ou permanente), que torne a escavação da mesma possível, e na qual os fluidos de estabilização têm um grande destaque. Incluída na denominação de estaca com substituição do solo, existe também a metodologia de escavação com trado contínuo, mas este processo não requer o uso de qualquer elemento de estabilização do solo pois a remoção deste é feita através da substituição directa com o betão (Fig. 2.2).

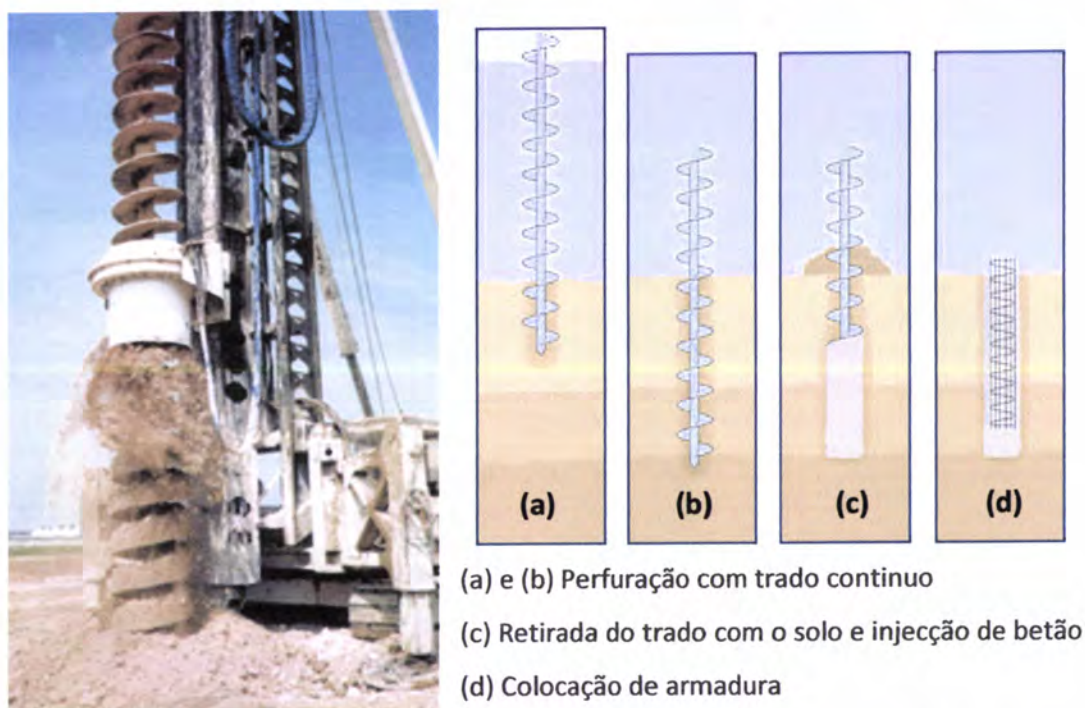


Figura 2.2 - Escavação com trado contínuo.

2.2.1. Estaca Moldada

Dentro das estacas moldadas (escavadas), excluindo à partida o método de perfuração com trado contínuo, têm-se em consideração, neste estudo, apenas as estacas de maior diâmetro ($d \geq 800$ mm), que removem o terreno através de trados e/ou baldes (Fig. 2.3 e 2.4). Apesar disso, são elementos de fundação que apresentam uma grande esbelteza já que podem atingir grandes profundidades (dependendo somente da capacidade do equipamento de escavação utilizado), comparativamente com o seu diâmetro. Para a sua execução são utilizados equipamentos (máquinas rotativas), de médio e grande porte, capazes de perfurar até um diâmetro de 2500 mm e a várias dezenas de metros de profundidade. Estes equipamentos são conhecidos como

perfuratrizes e existem diversas marcas e modelos no mercado (Fig. 2.5 e 2.6), capazes de se adaptar a vários tipos de projectos e locais.



Figura 2.3 - Balde de escavação.



Figura 2.4 - Trado de escavação.



Figura 2.5 - Perfuratriz Liebherr LB28.



Figura 2.6 - Perfuratriz Bauer BG28H.

Com a remoção do terreno e a abertura de um furo (poço), este tipo de operação, dependendo também da estabilidade do solo, requer sistemas de contenção. Esta contenção/estabilização passa muitas vezes pela aplicação de revestimentos metálicos (“camisas”) que podem ser posteriormente recuperados. Existem, no entanto, situações

em que esta metodologia deixa de ser tecnicamente viável (e.g. profundidade excessiva), existindo a possibilidade de utilizar um revestimento não recuperável ou um fluido de estabilização. É, igualmente, normal conciliar métodos de estabilização. O mais comum é o de aplicar um revestimento metálico curto, neste caso designado de “tubo guia” (Fig. 2.7) que faz a contenção do terreno superficial e ajuda a manter a verticalidade da perfuração, sendo aplicada em seguida um fluido de estabilização que irá manter a integridade da restante escavação até à profundidade pretendida.



Figura 2.7 - Perfuração com uso de tubo guia e fluido de estabilização.

Quanto ao modo de funcionamento, as estacas podem distribuir a carga ao terreno de diversas formas: por ponta, por atrito lateral e através da combinação dos dois efeitos (BOWLES, 1996). As estacas trabalham unicamente por ponta quando a sua base está apoiada em terreno suficientemente resistente e espesso (e.g. maciço rochoso), havendo assim a transferência quase total da carga para a base do elemento de fundação, ao mesmo tempo que os terrenos superiores apresentam uma capacidade de resistência pobre. Nas estacas que trabalham por atrito ou adesão lateral, também conhecidas por estacas flutuantes, não existe a possibilidade de apoiar a estaca num maciço suficientemente resistente (e.g. maciço resistente localizado a grande profundidade). Neste caso, a resistência lateral da estaca é da maior importância, sendo os esforços aplicados, distribuídos através da adesão lateral que se gera entre a face

lateral da estaca e os terrenos de pouca capacidade resistente que a envolvem, podendo, deste modo, ser desprezada a resistência de ponta (CERNICA, 1995).

2.3. Parede Moldada

Denomina-se de parede moldada ao muro ou cortina, executada no solo, em grandes painéis sucessivos, que são betonados em trincheiras, previamente escavadas mecanicamente (COELHO, 1996).

Este tipo de parede, é construída através da remoção de terreno e pela sua substituição por betão armado, “in-situ” ou pré-fabricado. No processo de escavação é, na quase totalidade dos casos, usado um fluido de estabilização, sendo o mais típico a lama tixotrópica. Em comparação com a estaca escavada, na parede moldada vai-se igualmente criar uma cavidade, neste caso paralelepípedica, a uma profundidade pré-determinada, o que requer uma técnica de estabilização provisória até à entrada de armadura e betão (BOWLES, 1996). O uso de revestimentos metálicos neste caso, provisórios ou permanentes, tal como acontece com as estacas, não é possível pois as dimensões de cada painel de escavação da parede torna-o impraticável.

A parede moldada tende a servir como um elemento estrutural de fundação e como estrutura de contenção, uma vez que está pensada para, uma vez terminada, se possa remover o terreno que reveste uma das suas faces. Nela vão ser aplicados esforços verticais causados pelas cargas superiores (e.g. tecto de um túnel) e esforços laterais causados pela acção do terreno situado na face não descoberta da parede. Na Figura 2.8, pode ser vista uma aplicação das paredes moldadas, neste caso, trata-se de uma linha ferroviária subterrânea, sendo a técnica também muito utilizada na construção de caves.

Para a escavação das paredes é necessário o uso de baldes de maxilas (“grab” ou “benne”) que está normalmente suspenso através de cabos (sistema mecânico) ou através de uma vara do tipo “kelly” (sistema hidráulico), estando ambos associados a sistemas de grua (Figuras 2.9 e 2.10). Este tipo de balde é bastante pesado e o seu peso é utilizado como elemento verticalizante da escavação. Com cada movimento descendente da grua, o “grab” fecha a suas maxilas, cortando mecanicamente o terreno, que é posteriormente retirado pela acção ascendente.

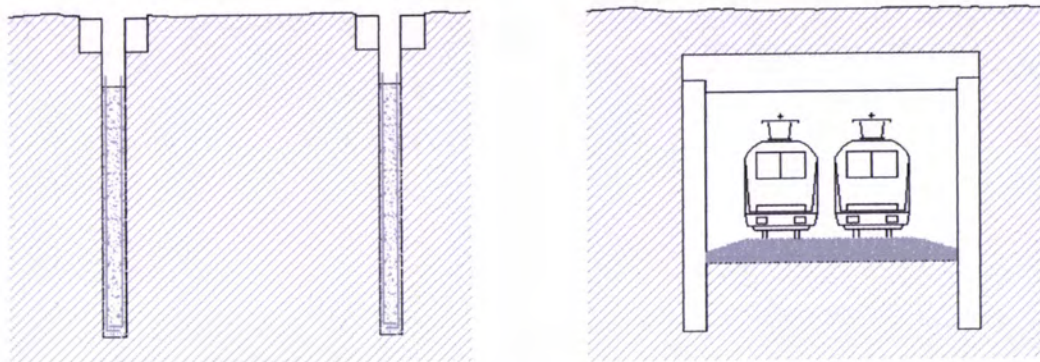


Figura 2.8 - Paredes moldadas colocadas no terreno e no túnel após a conclusão da obra.



Figura 2.9 - “Grab” mecânico.



Figura 2.10 - “Grab” hidráulico.

Na Figura 2.11 está representado um esquema simples das diversas fases de construção de uma parede moldada, os quais são descritos da seguinte forma:

1. Instalação de muretes guia;
2. Escavação do painel com “grab” mecânico em 3 secções, com o uso de fluido de estabilização;
3. Troca de fluido para limpeza do painel
4. Instalação da armadura;
5. Betonagem do painel.

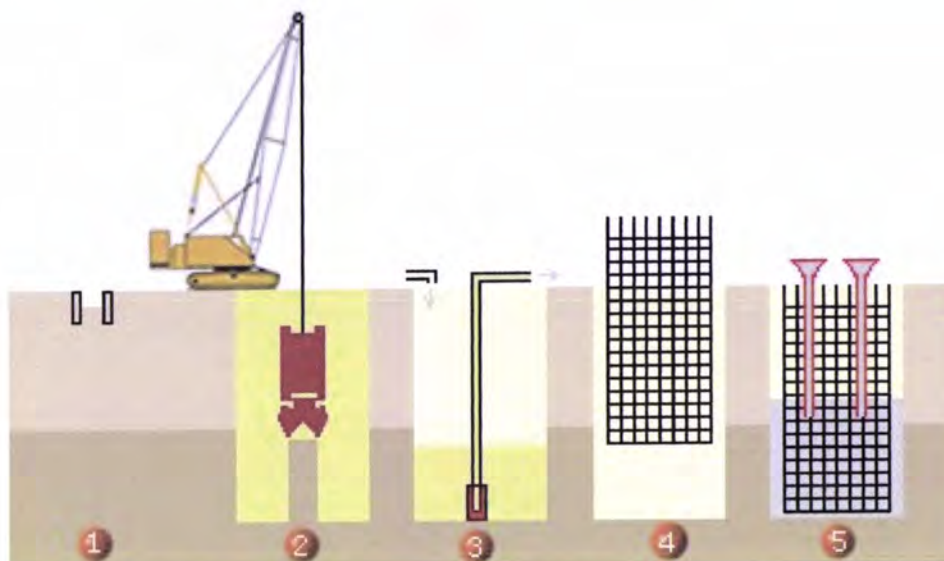


Figura 2.11 - Fases de execução de um painel de parede moldada.

Cada painel é um elemento unitário constituinte da parede que será composta de vários, unidos entre si, e que formam a parede moldada como um todo. As dimensões de cada painel (espessura, comprimento e altura) dependem das especificidades do projecto, das características do terreno e do equipamento utilizado na sua construção. A espessura do painel será sempre pequena quando comparada com a altura do elemento. Por outro lado, o comprimento mínimo de cada painel depende da dimensão da ferramenta de escavação e o comprimento máximo é determinado em função da natureza do solo e das cargas suportadas pelo terreno exterior, de tal modo, que a estabilidade das paredes da escavação seja garantida durante todo o processo de escavação, até à fase do seu preenchimento com betão. O comprimento máximo poderá ter várias vezes o comprimento da ferramenta, desde que a área de trabalho o permita (COELHO, 1996).

Quando as tensões aplicadas nas proximidades da escavação do painel são demasiado elevadas para que sejam controladas pelo impulso hidrostático, causado pelo fluido de estabilização, será necessário reduzir a dimensão de cada painel, e, se essa redução ultrapassa o limite mínimo, há que recorrer a um tratamento prévio do terreno ou a técnicas alternativas de contenção, tais como: estacas tangentes, consolidações, etc.

A escolha do comprimento do painel dependerá também dos seguintes factores:

- melhor aproveitamento da ferramenta de escavação, sendo vantajoso adoptar uma dimensão igual à da ferramenta;

- arranjo mais económico das ancoragens;
- possível redução do número de juntas e painéis;
- exigências da programação, sendo técnica e economicamente vantajoso terminar os painéis no mesmo dia.

Na Figura 2.12, pode ser observada uma área escavada, que posteriormente dará lugar às caves de um edifício, onde foram implementadas paredes moldadas “in-situ” e, igualmente, ancoragens que asseguram um melhor suporte às paredes e garantem a estabilidade global deste elemento de pouca espessura evitando a sua rotura. Estas ancoragens são instaladas à medida que é descoberta a face da parede, de forma gradual, evitando a sua instabilização. Um detalhe da face da parede assim como das cabeças das ancoragens pode ser observado na Figura 2.13.



Figura 2.12 - Construção de uma cave subterrânea utilizando o método de parede moldada.



Figura 2.13 - Detalhe das ancoragens na face descoberta da parede moldada.

3. Metodologias Clássicas de Estabilização de Escavações

Neste capítulo são identificadas e explicadas as várias metodologias existentes para a estabilização de escavações na construção civil, mais concretamente no âmbito da execução de fundações.

CERNICA (1995) indica que as técnicas de construção de fundações podem incluir-se num de três métodos: a seco, com revestimento ou com fluido de estabilização.

Existem situações em que o terreno escavado, devido às suas propriedades coesivas e por não interceptar níveis freáticos, possui uma grande capacidade de suporte (solos tipicamente argilosos ou margosos). Quando se encontram estas condições, será possível executar a escavação, com características provisórias e a muito curto prazo, sem a necessidade de se utilizar qualquer método de estabilização. Quando esta situação não se verifica e o terreno, só por si, não possui uma boa capacidade de auto-suporte é necessário recorrer a métodos de estabilização, através de um elemento de revestimento ou com recurso a algum tipo de fluido de estabilização.

São exemplos de metodologias de estabilização: a entivação, o revestimento permanente ou provisório e o uso de fluidos (geralmente conhecidos por lamas).

3.1. Entivação

A entivação é, normalmente, mais aplicada na construção de condutas subterrâneas. Trata-se de um método de suporte provisório, que permite a estabilização do terreno, e que também pode ser utilizado na área das fundações uma vez que propicia o acesso em profundidade a terrenos que possuem melhor capacidade resistente, onde pode ser implementada a estrutura de base de uma edificação, podendo esta ter as características de fundação superficial.

Esta metodologia pretende remover as camadas de terreno menos resistentes, abrindo caminho até um substrato capaz de suportar as cargas que estão previstas para um determinado elemento de fundação. É uma técnica utilizada para escavações a pouca profundidade, e onde há a possibilidade de apoiar as fundações directamente num

terreno adequado (e.g. remoção de terreno alterado até ao maciço rochoso). Trata-se de uma técnica muito usada na realização de pegões (Capítulo 2.2) e até de fundações, que pelas suas características, são consideradas superficiais.

As entivações tradicionais são compostas por parede de madeira ou metal, suportada e mantida em contacto com o terreno por quadros (escoras), que se encontram escorados contra um apoio fixo, normalmente a face oposta da escavação, onde se colocará outra parede de revestimento (Figura 3.1).

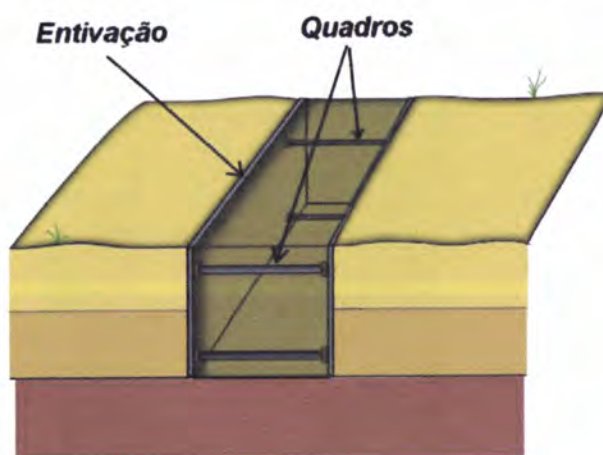


Figura 3.1 - Entivação de terreno

Segundo COELHO (1996), para as escavações não consideradas de pequena dimensão, ou seja, que ultrapassem 3 metros de profundidade, entivadas e com escoras de madeira com diâmetro mínimo de 0,2 m, afastadas, no máximo, 0,6 m, deve existir uma Nota de Cálculo que justifique o dimensionamento da entivação, garantido assim a sua segurança.

É uma metodologia, muitas vezes de cariz manual, apropriada para escavações acima do nível freático, caso contrário, deverá existir um sistema de drenagem eficaz que impeça a acumulação de água no interior da área entivada e que possibilite o avanço dos trabalhos.

COELHO (1996), afirma que a entivação é a forma mais comum na estabilização de escavações de pegões – ver Capítulo 2.2.

3.2. Revestimento Permanente ou Provisório

O uso de revestimentos, provisórios ou permanentes, é aplicável a situações onde são escavadas litologias de pouca coesão e alta permeabilidade (e.g. areias grosseiras e cascalheiras), que não permitem o uso de outro tipo de técnica de estabilização (CGS, 1992).

Existem vários tipos de revestimento, podendo estes ser constituídos por elementos de betão ou metálicos. Outra possibilidade, é a de os elementos serem de secção única ou compostos por várias secções, dependendo também das condicionantes de obra. Na Figura 3.2 estão representadas três escavações com revestimento metálico: uma por secções, outra de um só elemento e outra em meio aquático.

Para a aplicação destes revestimentos é necessário usar equipamento adequado e que tenha a capacidade de “cravar” as secções que o compõem. Normalmente, são utilizadas neste tipo de escavação perfuratrizes com elevada força hidráulica ou mesmo assistidas por um “torno hidráulico” (*“hydraulic vise”*) (Figura 3.3). Existe ainda a possibilidade, no caso de elementos metálicos únicos, da introdução através da acção de um vibrador hidráulico colocado numa grua (Figura 3.4). Estes são normalmente mais utilizados para a construção de fundações em meio aquático, fazendo a comunicação entre o leito e a superfície da lâmina de água (Figura 3.2.c). Na Figura 3.5 está representada a realização de uma estaca com camisa única e sem o uso de qualquer fluido de estabilização.

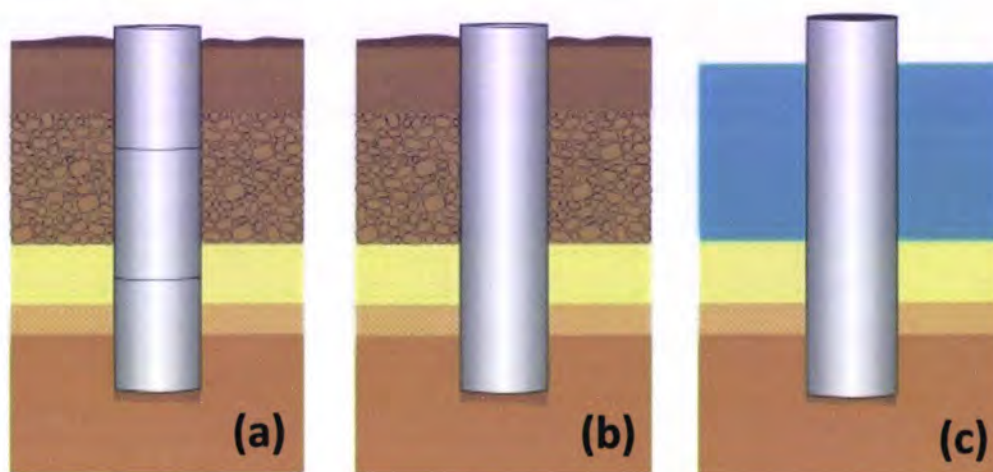


Figura 3.2 – Escavação com revestimento: a) por secções; b) secção única; c) em meio aquático.

Durante a escavação e até ao final da mesma, o revestimento deverá manter a integridade do “poço”. Nas condições de revestimento permanente o contacto betão-revestimento-solo deverá ser tido em conta no dimensionamento da fundação (COELHO, 1996). Para os revestimentos provisórios, com o início da betonagem, o revestimento deverá ser gradualmente retirado à medida que o betão preenche a escavação. A retirada integral do revestimento somente após o término da betonagem só é recomendada com o uso de maquinaria apropriada e/ou para revestimentos curtos, uma vez que quanto mais longo for o “entubamento”, maior é a dificuldade em ser retirado, e com o preenchimento de betão mais difícil se torna esse processo.



Figura 3.3 – Perfuratriz com torno hidráulico incorporado.



Figura 3.4 – Vibrador acoplado ao topo da camisa metálica.

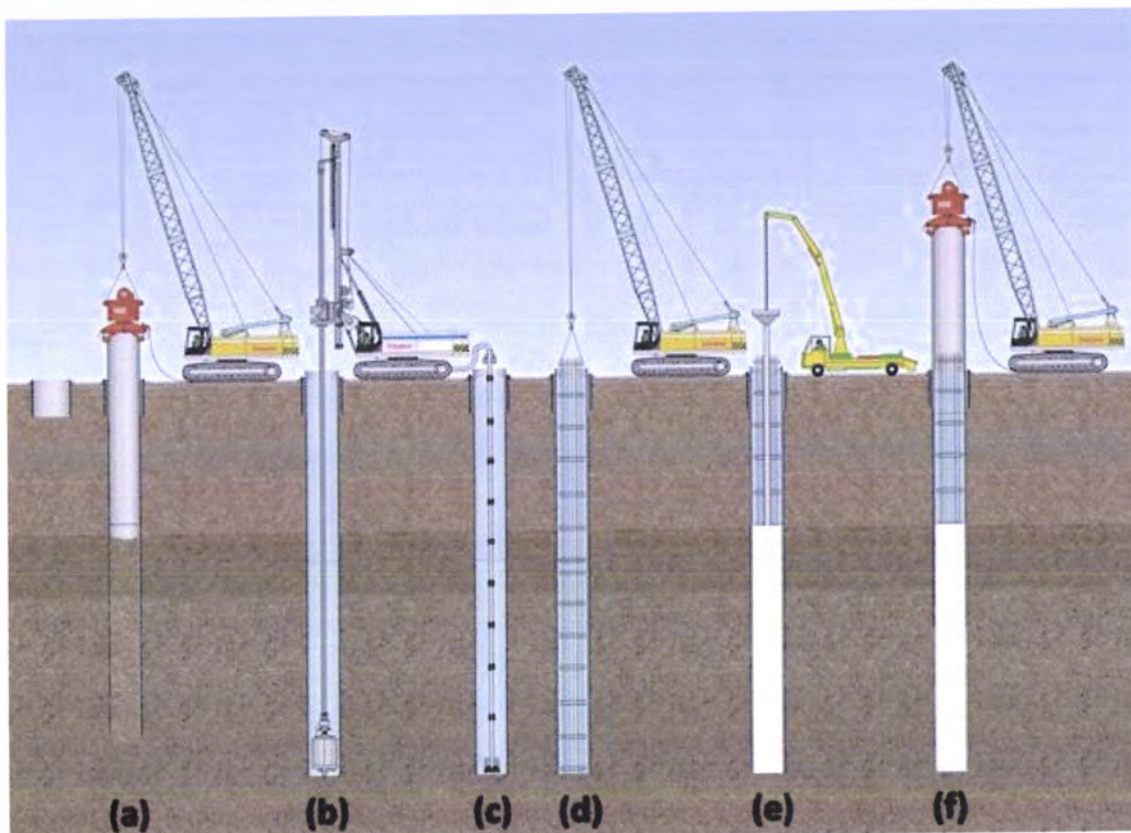


Figura 3.5 – Execução de estaca moldada com recurso a camisa integral (fonte: SPFE/Brasfond).

A Figura 3.5 ilustra o processo geral de construção de uma estaca com recurso a revestimento provisório. Nela estão identificadas as seguintes etapas:

- a) inserção do revestimento metálico com o auxílio de vibrador, após colocação do tubo guia;
- b) escavação da estaca, no interior do revestimento;
- c) limpeza da escavação;
- d) colocação de armadura metálica;
- e) betonagem;
- f) retirada do revestimento ainda antes de concluir a betonagem, por forma a facilitar a operação.

A técnica referida nesta secção pode também ser utilizada em simultâneo com o uso de um fluido de estabilização. A metodologia consiste em colocar revestimento nos metros iniciais, de modo a isolar as litologias mais problemáticas, e uma vez encontrada uma litologia mais adequada, é introduzido o fluido, sendo este utilizado até ser atingida

a profundidade pretendida (e.g. leitos de rios com muita cascalheira na superfície e terreno menos permeável em profundidade).

3.3. Fluido de Estabilização

Não sendo possível a perfuração a seco, não existindo litologias demasiado granulares (altamente permeáveis) e quando o revestimento provisório apresenta mais inconvenientes que aspectos positivos no processo de escavação, a melhor opção a ser tida em conta é o uso de algum tipo de fluido, que garanta a estabilidade da escavação até à fase de betonagem.

De certo modo esta metodologia é bastante prática pela sua simplicidade, rapidez de aplicação e pelos bons resultados que em geral produz. O fluido número um por excelência é a água (em situações em que o terreno o permite, basta que se equilibre o diferencial hidrostático originado pelo vazio da escavação), que pode, se necessário, ser misturada com algum tipo de argila ou polímero que lhe permita melhorar a acção estabilizadora.

O recurso a lamas especiais baseadas na mistura de água com uma argila montmorilonítica sódica, que vai melhorar a interacção fluido/solo, tornou-se a forma mais comum de estabilizar uma escavação de um elemento de fundação profundo. Actualmente, um pouco em detrimento da lama de natureza mineral, tem surgido o recurso a lama de base sintética. Esta tem a mesma finalidade de acção estabilizadora, ao mesmo tempo que é um produto mais versátil, principalmente no que diz respeito a normas ambientais.

De um modo geral, todos os fluidos de estabilização têm duas funções: i) selar o contacto terreno-fluido, não permitindo a entrada de água na escavação ou a penetração do fluido em demasia no solo; ii) aplicar carga hidrostática nas paredes, fornecendo suporte às mesmas (FPS, 2006). Na Figura 3.6 está representada esta acção.

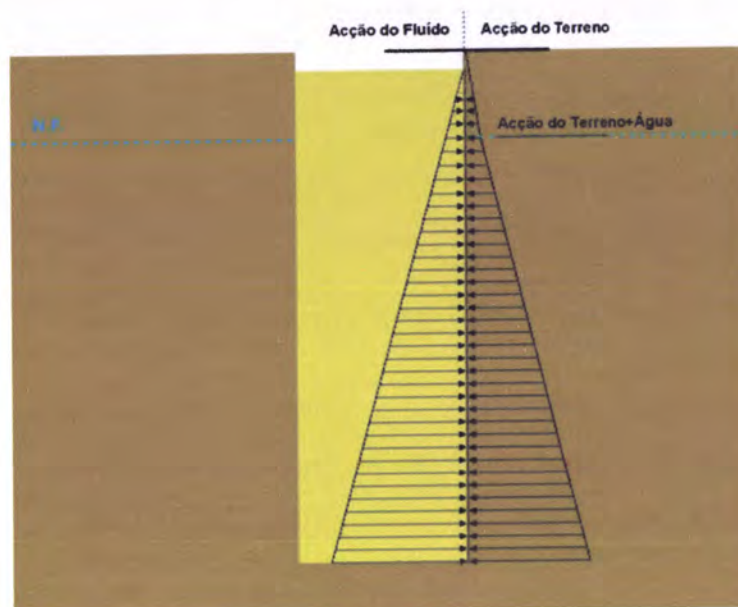


Figura 3.6 - Acção estabilizadora de um fluido numa escavação.

A forma como o fluido actua na estabilização de um terreno depende muito das características que este apresenta. O controlo destas é assim de grande importância, não só para garantir o melhor efeito de suporte, mas também para assegurar que a posterior betonagem do elemento de fundação possa decorrer em perfeitas condições, garantindo a boa qualidade deste.

3.3.1. Controlo de Qualidade do Fluido de Estabilização

De modo a garantir que o fluido utilizado na estabilização, durante a fase de escavação, não vai interferir negativamente nas características finais do elemento de fundação, é necessário manter um controlo da sua qualidade.

Uma vez que toda a tecnologia do uso de “lamas” para a estabilização, assim como os seus instrumentos de controlo, tiveram origem na perfuração petrolífera, todo o conhecimento adquirido nessa área foi transferido e adaptado à construção civil. Assim sendo, todo o equipamento utilizado no controlo de qualidade do fluido é idêntico ao que existe no campo petrolífero. Tal facto faz com que as normas que registam e controlam a execução deste tipo de elementos de fundação relacionados com as lamas de perfuração/estabilização estejam referenciados pelo “American Petroleum Institute” (API) – consultar API 13A (1993) e API RP 13B1 (2003).

Independentemente do tipo de fluido utilizado na escavação do elemento de fundação, os ensaios a ser efectuados são os mesmos que os usados na exploração petrolífera, e deverão ser realizados sempre que seja necessário, devendo existir uma especial atenção após a conclusão da escavação e antes de iniciar a betonagem.

Assim sendo, os ensaios usualmente realizados em obra são:

- **Viscosidade “Marsh”** – a sua determinação é efectuada através de um funil que transfere o seu conteúdo para um copo graduado de 946 ml (1 Quart Americano), sendo registado o período de tempo que o fluido demora a passar do funil para o copo (Figura 3.7), até completar os 946 ml (FANN, 2004);
- **Densidade** – medida através de uma balança (Figura 3.8), também conhecida por balança “Baroid”, desenhada especialmente para o uso com lamas de perfuração (FANN, 2007);
- **pH** – pode ser medido através de um leitor eléctrico ou utilizando tiras de pH (de uso habitual em piscinas), (Figura 3.9);
- **Percentagem de areia** – parâmetro obtido através de um provete de vidro graduado e que determina a quantidade de areia retida numa rede de 200 mesh (0,075 mm), existente num determinado volume de lama. Para tal é necessário um provete graduado de vidro de 10 ml, um crivo de malha 200 mesh e um pequeno funil (Figura 3.10), padronizados pelo API (FANN, 2007).

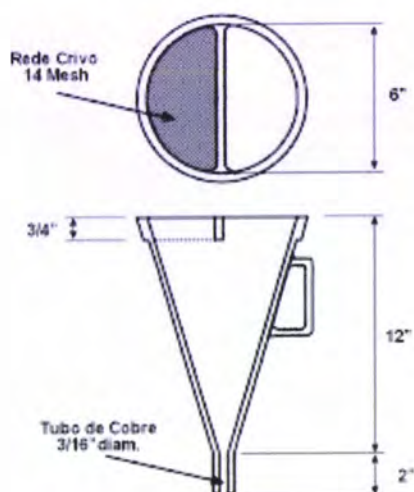


Figura 3.7 – Funil de “Marsh” e copo graduado.

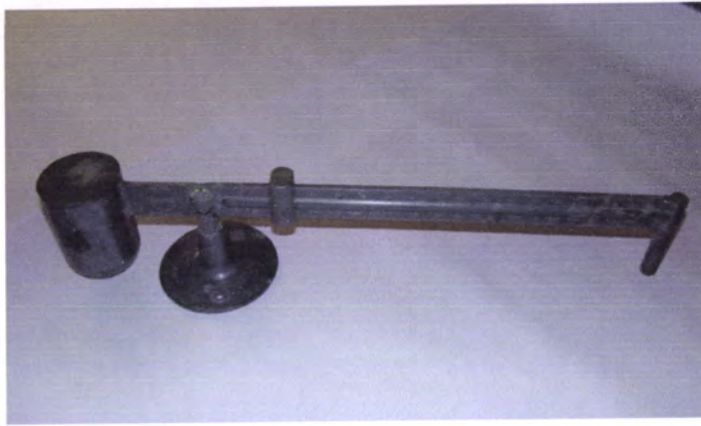


Figura 3.8 – Balança de lama.



Figura 3.9 – Tiras de pH.



Figura 3.10 – Conjunto de medição do teor de areia.

Os parâmetros admissíveis e que são controlados por este tipo de ensaios apresentam-se no Capítulo 6 (Tabelas 6.1 & 6.2), sendo um pouco diferentes consoante se utiliza uma lama com base em bentonite ou com base em polímero. A diferença verificada para alguns valores dos parâmetros de controlo de qualidade vem confirmar como estes dois fluidos são distintos (ver Capítulo 6).

4. Bentonite

A bentonite (Fig. 4.1) é uma argila impura (filossilicato de alumínio), sendo constituída essencialmente por um mineral conhecido por Montmorilonite¹ e pertencente ao grupo das Esmectites (FPS, 2006 e MURRAY, 2007). O seu nome foi-lhe atribuído por Wilbur C. Knight, em 1898, tendo como referência os depósitos cretácicos de argilitos de Fort Benton, no Wyoming (EUA) e trata-se de uma designação comum atribuída às argilas compostas essencialmente por minerais de esmectite. Existem vários tipos de bentonites e os seus nomes dependem do elemento químico predominante na sua constituição, como o Potássio (K), Sódio (Na), Cálcio (Ca) e Alumínio (Al). No que diz respeito à indústria, as duas classes principais de Bentonite são a sódica e a cálcica.



Figura 4.1 - Bentonite em estado puro (fonte: USGS).

Os minerais do grupo das esmectites são compostos por duas camadas tetraédricas de sílica com mais uma camada central octaédrica e a esta organização de camadas designa-se, mineralogicamente, de 2:1. Moléculas de água e catiões ocupam o espaço entre as camadas 2:1 (MURRAY, 2007). Na Figura 4.2 está representado um esquema da estrutura das esmectites.

Muitos geólogos do início do século XX reconheciam que a bentonite teria origem na alteração de material vulcânico transportado, mais precisamente de cinzas e

¹ Montmorilonite – mineral de argila identificado pela primeira vez em 1847 em Montmorillon, França, trata-se de um filossilicato e pertence ao grupo das esmectites. É conhecido pela sua grande capacidade de retenção de água, o que por sua vez faz aumentar consideravelmente o seu volume (argila expansiva).

tufos vulcânicos mas, como forma de englobar todas as argilas pertencentes ao grupo das esmectites, GRIM & GUVEN (1978, *in* MURRAY, 2007), não atribuem à designação industrial de bentonite qualquer tipo de origem.

De qualquer modo, o principal mineral da bentonite, a montmorilonite, tem a sua origem, segundo a MDP (2001), na alteração de tufos e cinzas vulcânicas, diques pegmatíticos e rochas que rodeiam depósitos minerais hidrotermais. Forma-se, geralmente, em condições alcalinas, de pouca drenagem, onde os cátions Mg, Ca, Na e K não são lixiviados, permanecendo no solo.

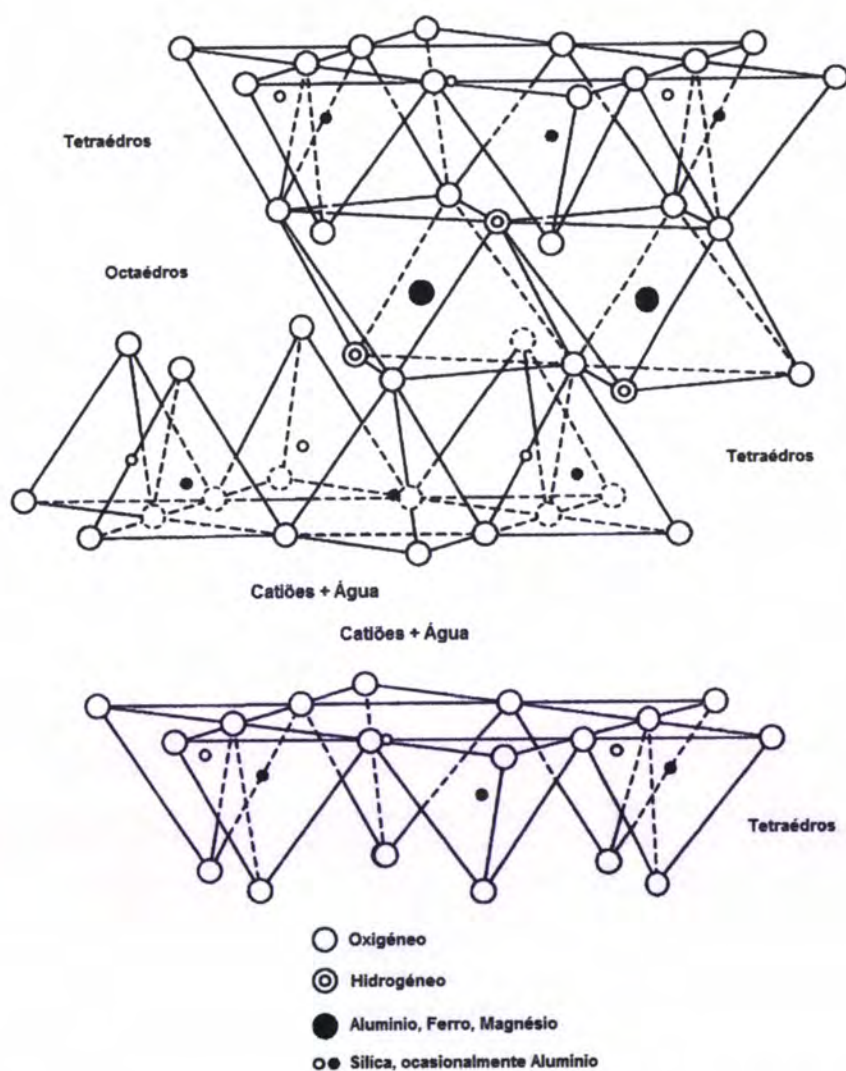


Figura 4.2 - Estrutura mineralógica das Esmectites (adaptado de MURRAY, 2007).

As montmorilonites, sódicas e cálcicas, são as argilas que, de um modo geral, recebem a denominação de bentonite. Apesar disso, entre elas existem bastantes diferenças que estão relacionadas, para além do elemento químico principal que lhes dá o nome, com as suas propriedades, que lhes atribuem aplicações específicas. As montmorilonites sódicas são conhecidas pela sua expansibilidade, viscosidade, tixotropia², formação de película impermeável (“cake”) e capacidade de dispersão. Já as montmorilonites cálcicas têm como propriedades importantes: a alta capacidade de absorção, grande poder de interligação e de branqueamento. Genericamente a bentonite sódica é conhecida como uma argila muito expansiva e a bentonite cálcica como uma argila pouco expansiva, apesar de muito absorvente (MURRAY, 2007).

A bentonite (montmorilonite) sódica é tipicamente utilizada como fluido de perfuração/estabilização. Esta tem a capacidade de se expandir quando hidratada, podendo absorver várias vezes o seu peso seco em água, tendo também a capacidade de funcionar como selante e impermeabilizante. Possui excelentes propriedades coloidais e reológicas o que propicia a sua utilização na perfuração quer seja para a exploração de petróleo ou gás natural, para sondagens de prospecção mineira ou geotécnica, quer para a execução de fundações profundas, nomeadamente de estacas moldadas (LUCKHAM & ROSSI, 1999).

Usualmente, para concentrações iguais ou superiores a 30 gramas de bentonite por litro de água (3%), forma-se uma solução homogénea (fluido viscoso) que é bastante espessa quando está em repouso mas bastante fluída quando agitada. Este fenómeno resulta da forma como as partículas de bentonite se orientam (tixotropia). Estas partículas em solução, apresentam-se sob forma de pequenas placas, possuem carga negativa ao longo da sua superfície e carga positiva nas suas extremidades. Quando estão em repouso existe a tendência para que as partículas se alinhem, através de afinidade eléctrica (FPS, 2006). Estas forças eléctricas vão dar origem a uma estrutura uniforme que causa uma “gelificação” do fluido (Fig. 4.3 a). Quando o “gel” é submetido de novo à agitação as uniões eléctricas são quebradas, ficando as pequenas placas orientadas aleatoriamente, e a mistura volta a adquirir fluidez (Fig. 4.3 b).

² Tixotropia – Capacidade de uma mistura manter-se fluída quando agitada ou em circulação e de formar um tipo de gel quando a movimentação cessa.



Figura 4.3 a) - Placas de bentonite em repouso. Figura. 4.3 b) - Placas de bentonite quando agitadas.

A “gelificação” também é possível através da perda de água da mistura. Quando se aplica a lama bentonítica numa escavação, o contacto desta com o terreno origina a absorção de água o que propicia uma acumulação de bentonite nas paredes da escavação, formando assim o chamado “cake”. Este “cake” é fundamental na estabilização de qualquer tipo de escavação. Forma-se através da penetração do fluido no terreno e é responsável pela distribuição da carga hidrostática nas paredes da escavação, contribuindo para o seu suporte.

As bentonites cálcicas não apresentam características tão favoráveis como as bentonites sódicas, no que diz respeito à sua aplicação como fluido de estabilização. No entanto, é possível a sua utilização através de um processo conhecido por activação alcalina e que consiste numa adição de carbonato de sódio que irá fomentar a troca dos iões de cálcio pelos de sódio (RADOJEVIC & MITROVIC, 2007). O resultado final será uma bentonite com características muito similares às da bentonite sódica natural (BLEYFUSS, 1973).

A maior parte das bentonites aplicadas na construção civil, como fluido de estabilização, são derivadas de bentonites cálcicas. A bentonite sódica natural é pouco utilizada devido ao seu preço mais elevado (FPS, 2006). Do grupo das esmectites, as bentonites (montmorilonites) cálcica e sódica são as mais abundantes, mas em comparação entre estas duas a sódica é relativamente rara (MURRAY, 2007). Deste modo, a forma mais económica para obter bentonite sódica, de melhores características para o uso na perfuração/estabilização de furos ou escavações em solos pouco coerentes é através do uso de bentonite sódica activada (Figuras 4.4 e 4.5).



Figura 4.4 - Bentonite activada (Permangel®, BRASGEL, BUN).



Figura 4.5 - Bentonite em pó.

5. Polímeros

A designação geral de polímero significa algo que é composto de muitas partes. Geralmente, na perspectiva da Química dá-se o nome de “Polímero” a uma macromolécula que é resultante da união de moléculas mais pequenas (DPLP, 2010). Sendo essas moléculas mais pequenas denominadas de monómeros (Fig. 5.1). Por outro lado, CAENN & CHILLINGAR (1996), apresentam a definição de polímero, no sentido estrito, como um “químico orgânico com peso molecular acima de 200, com mais de oito unidades repetitivas”.

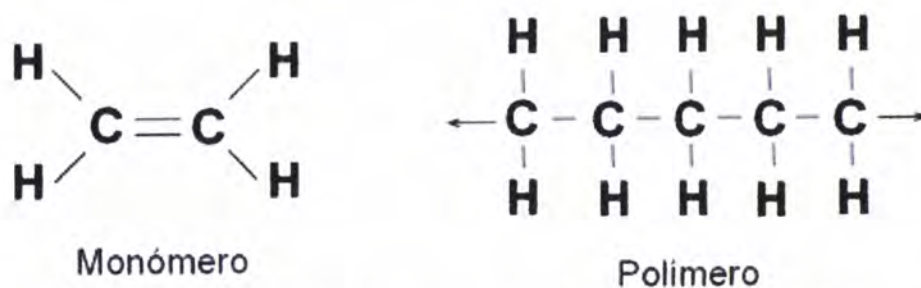


Figura 5.1 - Monómero etileno e respectivo polímero por ele originado - polietileno.

Na Figura 5.1 está representada a estrutura básica de um polímero vinílico, o qual se designa de Polietileno e que tem origem no monómero etileno.

Existem dois tipos de moléculas que, devido à forma como estão organizadas as suas estruturas, podem ser denominadas de polímeros e que, dependendo da forma de origem, são conhecidos por: naturais ou sintéticos. Os polímeros naturais são aqueles que são originados por processos naturais e sem a intervenção humana, como é o caso da celulose. Já os polímeros sintéticos são obtidos por acção humana, sendo sintetizados em laboratório através de vários tipos de polimerização (IUPAC, 1994).

Hoje em dia, a sociedade moderna está rodeada de polímeros sintéticos. Existe uma enorme variedade de aplicações, sendo os produtos “plásticos” os mais conhecidos. Do contacto no nosso quotidiano temos como exemplo:

- Polietileno – polímero usado para várias aplicações desde sacos de plástico até brinquedos;

- Poli(etileno teraftalato) – mais conhecido por PET ou poliester, é utilizado nas garrafas de bebidas e como fibra textil;
- Poli(cloreto de vinilo) – mais conhecido por PVC, é utilizado para tubos eléctricos e canalizações;
- Poli(metil metacrilato) – material termoplástico, comumente conhecido como metracrilato, usado como uma alternativa ao vidro, transparente e bastante resistente;
- Ácido poli(acrilico) e o Poliacrilato de Sódio – de características diferentes dos anteriores mas de grande utilidade, pois ambos possuem uma alta capacidade de absorção e são utilizados na constituição interna das fraldas descartáveis.

Na Figura 5.2, podem-se observar alguns exemplos de aplicação de vários polímeros em produtos quotidianos.



Figura 5.2 - Diversos produtos resultantes de polímeros.

Para se conhecer um pouco mais sobre os polímeros e as suas aplicações no nosso dia-a-dia, podem ser consultados os seguintes autores: SPERLING (2001), MELO et al (2004). Existe igualmente a possibilidade de consulta de uma página web

(em inglês) que trata o tema dos polímeros de um modo simples, da autoria do Departamento de Ciência de Polímeros da Universidade do Mississippi do Sul, em: <http://pslc.ws/macrog/maindir.htm>.

Por outro lado, existem vários polímeros passíveis de serem utilizados, isoladamente ou em conjunto, como fluidos de perfuração, que são muito diferentes entre si, quer na sua função quer nas suas propriedades básicas (e.g.: estabilidade, carga eléctrica, etc.).

Os polímeros utilizados como aditivos nos fluidos de perfuração/estabilização podem ser classificados como: naturais, naturais modificados e sintéticos. CAENN & CHILLINGAR (1996), referem exemplos destas três variedades de polímero, estando todas elas relacionadas com a indústria da exploração petrolífera e que foram desenvolvidas com o objectivo de melhorar o desempenho dos fluidos de perfuração.

Pertencentes ao grupo dos *polímeros naturais* temos:

- *Amido / "Starch"* – obtido a partir de milho ou batata, é geralmente fornecido como um pó pré-gelatinado, solúvel em água, que é por vezes tratado com um conservante. Trata-se de um produto não iónico ou ligeiramente aniónico, usado como agente (aditivo) de controlo de perda de fluido em todo o tipo de lamas, sendo particularmente útil em água salgada. Necessita de um bactericida para prevenir a sua rápida degradação.
- *Biopolímeros* – Polissacarídeos obtidos através da fermentação bacteriana. Possuem estruturas bastante complexas com elevado peso molecular (>1/2 milhões) e são ligeiramente aniónicos. Pertencem ao grupo dos biopolímeros: a goma "Xanthan" (e.g.: Kelzan XC, Zanvis, Xanvis, XC Polymer, Flodril S e Flopro); goma "Wellan" (e.g.: Biozan); goma "Scleroglucan" (e.g.: Shellfo-S). A principal função destes biopolímeros é como agente de controlo reológico e desenvolvem alta viscosidade com baixa resistência ao corte, que é muito útil para implementar a sua capacidade de suspender e transportar material.
- *Goma "Guar"* – é um polissacarídeo obtido através do endosperma da semente da planta de Guar. Possui uma estrutura complexa e alto peso molecular. São exemplos deste polímero a típica goma Guar, que é um material natural com impurezas, e a Hidroxipropilguar, que é uma goma

Guar purificada. É utilizada como agente viscosificante nos fluidos de finalização de poços e de fracturação de maciços. Não se utiliza nos fluidos de perfuração pois reage com as argilas, sendo difícil controlar a sua acção.

No ramo dos polímeros naturais modificados, existem:

- *Celuloses* – a Carboximetilcelulose (CMC) é um polímero polissacarídeo linear com uma estrutura base de celulose, sendo aniónico e com grupos carboxílicos. A sua função depende do grau de substituição (número das cadeias laterais de Carboximetil) e do seu peso molecular. Apresentam-se como exemplos de celuloses: com alto peso molecular e elevado grau de substituição, as celuloses polianiónicas (Drispac, Aquapac); de elevado peso molecular, as CMC de alta viscosidade; as CMC de baixa viscosidade e de baixo peso molecular; e CMC não refinadas, que podem conter até 40% de contaminação salina. Estas têm como finalidade o controlo de perda de fluido e, para os de maior peso molecular, o controlo da viscosidade, assim como o aumento da resistência ao corte.

- *Hidroxietilcelulose* (HEC) – é também um polímero polisacarídeo linear com base numa estrutura de celulose, mas é não iónico e a sua função depende do seu peso molecular. É usualmente distribuído como um produto de elevado peso molecular (>250000), não sendo habitualmente utilizado em fluidos de perfuração, mas sim como viscosificante das “brines” (água salgada) de finalização de poços, pacotes granulares, e fluidos para fracturação de maciços geológicos.

- *Carboximetil Amido* (“Starch”) (CMS) – é um polissacarídeo manufacturado a partir de milho e batatas que foi manipulado para possuir cadeias laterais de carboximetil. É usado com o objectivo de reduzir a perda de fluido, em todo o tipo de lamas com base em água, sendo mais eficiente e de maior estabilidade que o amido normal, em condições de temperatura mais elevada.

No conjunto dos polímeros sintéticos, existem:

- *Poliacrilatos* – são materiais sintéticos produzidos a partir do petróleo. Não são, estruturalmente, tão complexos como os polímeros naturais e, normalmente, possuem uma estrutura central linear de carbono associada a

uma vasta diversidade de cadeias laterais, que variam consoante a finalidade que se pretende atribuir ao produto. São tipicamente aniónicos e como exemplo de nomes gerais e marcas a eles atribuídos existem: poliacrilatos, polímeros vinílicos, copolímeros, acetato vinílico, anidrido maleico, Cypan, WL-100, Polydril, Polythin e Benex. Estes são utilizados para: aumentar a fluidez e como desfloculantes (baixo peso molecular; <1000); controlo de perda de fluido, floculante e estabilizador de xistos argilosos (“Shale”) (peso molecular médio, até 100000); floculante e extensor de bentonite (peso molecular elevado, superior a 100000).

- *Poliacrilamidas* – são habitualmente copolímeros compostos por várias porções de ácido acrílico e acrilamida, sendo, usualmente, designados pelo nome genérico de poliacrilamida parcialmente hidrolizada (“*partially-hydrolyzed polyacrylamide*” - PHPA). Apesar de serem geralmente fornecidos na forma aniónica, podem ser também catiónicos ou não iónicos, quando utilizados como floculantes, através da absorção de água (“*dewatering flocculant*”), ou com outras finalidades. A sua utilização principal é como estabilizador de formações do tipo argilitos (evitando a expansão da argila) e como floculante.

- *Polímeros Catiónicos* – são copolímeros que combinam grupos químicos de carga positiva com outros polímeros, tais como: poliacrilatos e poliacrilamidas. São utilizados como floculantes e para formular um fluido estabilizador de argilitos.

O aparecimento dos primeiros polímeros associados a fluidos de perfuração surge com o objectivo de melhorar as propriedades coloidais e reológicas da bentonite, tendo a capacidade de actuar como viscosificante (“*clay extenders*”) da lama bentonítica (LUCKHAM & ROSSI, 1999). Sendo, de igual modo, frequentemente utilizados como um agente floculante, que facilita a decantação dos sólidos contidos no fluido de perfuração (LYONS et al., 1996).

Outro factor que levou ao desenvolvimento dos polímeros neste domínio foi a intenção de otimizar a estabilidade de formações de argilitos ou ricas em argilas, que tendem a provocar dificuldade durante o processo de perfuração de um poço de petróleo, devido à sua expansibilidade (LUCKHAM & ROSSI, 1999). As argilas,

quando em contacto com a água do fluido de perfuração, hidratam, aumentando o seu volume, ao mesmo tempo que deixam a lama menos fluída, podendo originar dificuldades na limpeza do poço. A falta de limpeza do furo, pode provocar dificuldades na perfuração e até mesmo bloquear todo o dispositivo de perfuração, provocando avultados prejuízos (BAILEY L. & KEALL M., 1994).

De um modo geral, a maioria dos polímeros que são utilizados nos fluidos de perfuração de poços de petróleo possuem a capacidade de envolver minerais argilosos, evitando problemas de expansibilidade, devido à absorção de água, mas o PHPA e o álcool polivinílico (PVA) são reconhecidos como os melhores (CLARK et al, 1976, in CAENN & CHILLINGAR, 1996).

As soluções preconizadas para o fabrico de fluidos de estabilização recorrendo ao uso de polímeros verificam um aumento da sua viscosidade quanto maior for o peso molecular do polímero que compõe a solução (SCHULZ et al., 1991). Viscosidade essa que se mostra muito vantajosa para a aplicação destas soluções como fluidos aplicados à execução de poços petrolíferos.

Da investigação feita sobre aditivos de lamas com base em água foi obtido um fluido de perfuração sintético que, apesar de manter a sua base aquosa, tem como objectivo substituir por completo o uso de bentonite.

Aproveitando a forma como o PHPA actua com o terreno, este polímero sintético foi utilizado no desenvolvimento de um fluido de estabilização adequado à construção civil. Em alguns casos é o próprio PHPA que se utiliza na obtenção de um fluido de estabilização, que tem sido aplicado em escavações na área das fundações, como é o caso do Poly-Bore™ (BAROID, 2008).

O recurso a este fluido completamente alternativo à lama mineral começou, pouco a pouco, a ganhar o seu espaço como uma solução viável para a estabilização de escavações de elementos de fundação, tendo como principais vantagens: não manter o material desagregado em suspensão, decantando este naturalmente e ser um produto de impacto ambiental nulo.

Inicialmente, os polímeros utilizados nos fluidos sintéticos de estabilização de fundações eram relativamente similares ao PHPA. Recorrendo a uma melhor

investigação e desenvolvendo a possibilidade que existe de se modificar as ramificações na cadeia principal de átomos de carbono do PHPA, alterando, deste modo, a sua forma de actuação, foi encontrado um polímero com a mesma finalidade mas com propriedades mais apuradas para a sua aplicação. Trata-se igualmente de uma poliacrilamida, mais concretamente uma Poliacrilamida de Sódio (SlurryPro® CDP™, KB, 2001-2005). Todos os polímeros, considerados como de “última geração” são desenvolvidos a partir desta molécula, e têm como principal característica a obtenção de alta viscosidade em misturas que utilizam pouca quantidade de granulado de polímero (Fig. 5.3).

O granulado de polímero sintético de última geração é altamente concentrado sendo concebido especificamente, quando diluído em água, para interagir quimicamente com diversos tipos de solo. A sua estrutura molecular permite-lhe ser completamente solúvel na água, sem alterar a sua função primária de ligação química activa na estabilização das partículas de solo. De peso molecular alto, forma uma solução aquosa extremamente viscosa, sendo indicado para a estabilização de todo o tipo de fundações, para além de outras aplicações geotécnicas (GEO, 2005).



Figura 5.3 - Granulado de polímero.

Como exemplo desta nova gama de polímeros, temos o caso do Polymud® (GEO, 2005). Trata-se de um polímero de última geração desenvolvido e comercializado por uma empresa portuguesa. Este foi desenvolvido para trabalhar numa vasta gama de condições geológicas e como um verdadeiro substituto da bentonite.

O Polymud[®], em solução aquosa, não tem a capacidade de formar “cake”, como acontece com a lama mineral. Devido às suas cadeias longas e aos grupos hidrófobos, aniónicos e catiónicos, a elas associados, a solução de polímero tem uma forma muito particular de comportamento. Os grupos hidrófobos são responsáveis pela união das diversas cadeias entre si, formando uma rede tridimensional, que é responsável pela alta viscosidade da mistura e pelo revestimento do solo escavado. Na Figura 5.4 é visível o escoamento de polímero viscoso do balde de escavação assim como as paredes escavadas revestidas pelo fluido. Este revestimento, mais concretamente a forma como a rede tridimensional de filamentos de polímero envolve o solo, também é causado pela intervenção dos grupos catiónicos que, por diferença de carga eléctrica, se agregam às partículas de solo. Por outro lado, os grupos aniónicos são os responsáveis pela hidratação do produto e estabelecem ligações com as moléculas de água.



Figura 5.4 - Aspecto viscoso do polímero e paredes da escavação revestidas.

O aspecto simplificado de uma rede de polímero está representado na Figura 5.5, onde se pode ver a “espinha dorsal” de carbono, a união dos grupos hidrófobos e a “absorção” das moléculas de água pelos grupos aniónicos. Os grupos catiónicos ficam livres para estabelecer pontes com as partículas do solo. Uma vez estabelecidas as ligações com o solo, o fluido vai formar um revestimento conhecido por

“encapsulamento”¹ que evita a hidratação do solo e a sua consequente desintegração. Desse modo, é possível manter as paredes da escavação estáveis e evitar que o solo escavado se fragmente em excesso, tornando-se mais fácil a sua decantação e posterior remoção.



Figura 5.5 - Rede simplificada do polímero em solução aquosa.

A formação de uma película/membrana nas paredes da escavação, apesar da sua reduzida espessura, é igualmente essencial para a estabilização, nomeadamente, no que se refere à transmissão de carga hidrostática e equilíbrio de tensões na parede da escavação, tendo assim uma função similar à do “cake” do fluido mineral.

¹ Encapsulamento (“encapsulation”) – descrito em SHCLUMBERGER como o revestimento através de uma película de polímero, de cadeia longa, das paredes escavadas e/ou do solo desagregado. Este revestimento é, normalmente, associado à forma como o PHPA reveste argilas e argilitos através de ligações das extremidades negativas do polímero com as extremidades positivas das partículas de argila.

6. Análise Comparativa entre os Fluidos: Bentonite e Polímero

Antes de indicar as diversas características que distinguem cada uma destas metodologias de estabilização provisória de escavação, há que deixar claro, mais uma vez, que a sua finalidade é exactamente a mesma e, de um modo geral, a função base, em ambos os casos, consiste na transferência de carga hidrostática para as paredes da escavação, com o objectivo de evitar o colapso dos solos.

Na Figura 6.1 está representado o diagrama de tensões da acção da lama (fluido de estabilização) numa escavação. A tensão resistente é devida à acção da lama e as tensões actuantes são as tensões existentes no terreno, causadas pelo peso do solo, pelo peso da água contida nos seus poros e pelas possíveis sobrecargas que possam estar aplicadas no terreno (BOWLES, 1996).

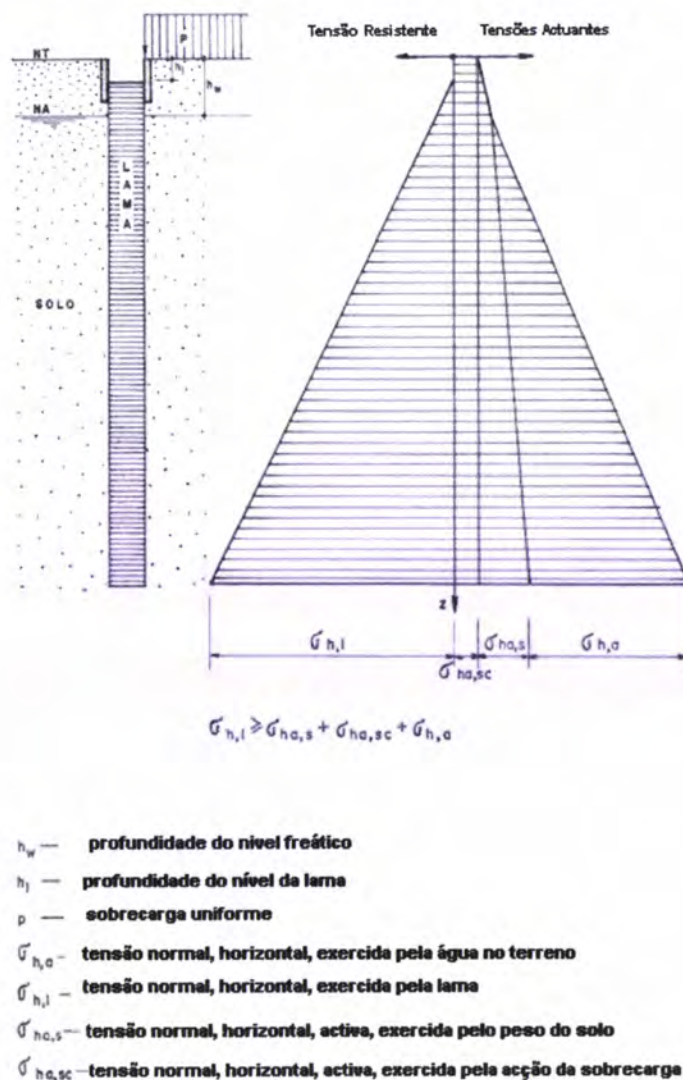


Figura 6.1 - Acção estabilizante da lama numa escavação (adaptado de BOWLES, 1996).

O uso de um fluido viscoso para fomentar a estabilização das paredes de uma escavação foi inicialmente utilizado na perfuração de poços de petróleo. Com esse objectivo, a adição de argilas ao fluido de perfuração teve a sua origem no início dos anos 90 do século XIX (ASME, 2005 e SAH, 2003), quando o uso apenas de água se mostrou insuficiente. Esta metodologia foi aplicada pela primeira vez na construção civil no início dos anos sessenta do século XX, na execução de paredes moldadas (BOWLES, 1996).

Do mesmo modo, a tecnologia do uso de polímeros em fluidos de perfuração/estabilização foi transferida da indústria de perfuração de petróleos para aplicação na construção civil. CAENN & CHILLINGAR (1996) referem que foi na década de 90, do século passado, que renasceu o interesse em novos produtos e sistemas relacionados com os fluidos de perfuração. Apesar de já serem usados anteriormente, como aditivos das lamas (BORCHARDT et al, 1989), os polímeros passam, então, a ter uma maior relevância na perfuração, mais concretamente na perfuração horizontal e na tentativa de substituir as lamas com base em óleos minerais, muito prejudiciais para o meio ambiente (LYONS et al., 1996). Nesta mesma década, a tecnologia foi adoptada na área da construção civil, tendo sido aplicada em detrimento das lamas bentoníticas, por razões, principalmente, de cariz ambiental.

Apesar de possuírem a mesma finalidade como fluido de estabilização, bentonite e polímero possuem propriedades distintas, comportam-se de forma diferente, e as metodologias de utilização têm características particulares em cada produto.

6.1. Lama Bentonítica (“Bentonite Slurry”)

A lama bentonítica é produzida através da mistura de bentonite em pó e água. A bentonite é, normalmente, fornecida em sacos de 25 kg (Figura 6.2) e existem diversos fornecedores. Na maioria dos casos, trata-se de uma bentonite activada, ou seja, é uma bentonite sódica derivada de bentonite cálcica através de um processo de troca iónica (Capítulo 4). Esta possui um menor custo que a bentonite sódica natural e pode ser encontrada um pouco por todo o mundo.



Figura. 6.2 - Sacos de Bentonite de 25 kg (Sud-Chemie, Espanha).

6.1.1. Mistura

A mistura típica de lama é feita com uma concentração de 4% a 6% de bentonite por volume de água. Isto significa que, em média, para cada mil litros de água é necessário adicionar 50 kg de bentonite em pó (concentração de 5%).

A água usada na mistura deverá ser potável e com alguns requisitos de qualidade, de modo a serem conseguidos os melhores parâmetros de qualidade da lama. Água salgada nunca deverá ser utilizada, pois o cloreto de sódio (NaCl) é prejudicial à formação de um fluido adequado, não existindo um tratamento químico simples para a sua remoção. Por outro lado, a presença de outros sais, tais como, o Cálcio (Ca) ou o Magnésio (Mg), que dificultam a boa dispersão da bentonite na água, pode ser contornada através de simples tratamentos químicos (FPS, 2006)

A mistura da bentonite com a água é feita gradualmente e necessita de uma misturadora (Figs 6.3 e 6.4), capaz de fazer com que todas as partículas de bentonite sejam envolvidas pela água, dando origem a uma mistura homogênea. Este tipo de misturadoras funcionam através de centrifugação a alta velocidade e não se aconselham tempos de mistura inferiores a 4 minutos, de modo a ser garantida uma dispersão correcta e a não formação de grumos (NUÑEZ, 2007). Na Figura 6.5 está representada outra forma de fazer a mistura através de um simples sistema de Venturi (ASME, 2005), mas este processo é mais frequente na preparação de lama para sondas de perfuração de petróleo, sendo pouco comum na construção civil. Uma vez dispersas correctamente na água, as partículas de bentonite hidratam e aumentam o seu volume. A partir deste

momento está criada a lama bentonítica (Fig. 6.6), a qual deverá ser acondicionada em grandes tanques, onde exista a possibilidade de agitação (mecânica ou através de ar comprimido) e/ou circulação. Uma vez preparada necessita de um período de maturação de 12 a 24 horas, que proporcionará uma posterior e mais completa hidratação. Tipicamente a hidratação também depende do factor tempo e continuará durante vários dias após a mistura (FPS, 2006).



Figura 6.3 - Misturadora de Bentonite.

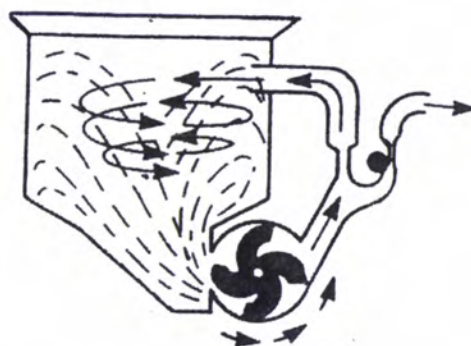


Figura 6.4 - Esquema representativo de uma misturadora de bentonite (NUÑEZ, 2007).

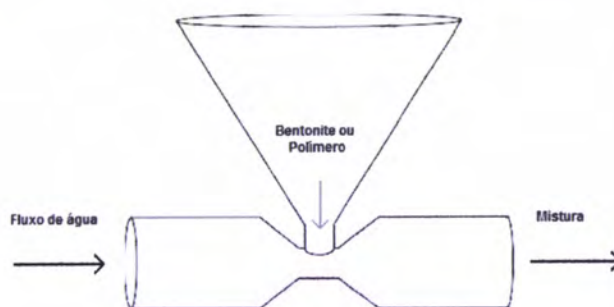


Figura 6.5 - Mistura num tubo de Venturi.



Figura 6.6 - Lama bentonítica

6.1.2. Propriedades da Lama Bentonítica

De acordo com COELHO (1996) e FPS (2006) a lama bentonítica, como fluido de estabilização, deverá possuir as seguintes características:

- a) favorecer o suporte das paredes da escavação através da transmissão de pressão hidrostática;
- b) permanecer na escavação, sem penetrar em demasia no terreno;
- c) suspender os detritos finos que foram desagregados pela acção mecânica da ferramenta de corte e evitar a sua acumulação no fundo da escavação;
- d) favorecer a subida limpa do betão, sem interferência na ligação armadura-betão;
- e) facultar a limpeza dos detritos em suspensão, através de crivos e hidrociclones, de modo a possibilitar a sua reutilização;
- f) facilitar a bombagem (circulação).

Para atender a todos estes aspectos, a lama deverá ser suficientemente densa e espessa (alíneas a, b, c), apresentando, ao mesmo tempo, boa fluidez (alíneas d, e, f). Deste modo, os parâmetros da lama deverão ser cuidadosamente ajustados, sendo também dependentes das necessidades específicas de cada caso (obra).

O segredo da acção do fluido de bentonite está na forma como as partículas de argila (montemorilonite sódica) se organizam em solução aquosa. No Capítulo 4, já foi referida a forma como as partículas interagem entre si, proporcionando o revestimento das paredes da escavação, possibilitando a transmissão de carga hidrostática e a tixotropia que caracteriza este tipo de lama.

Como forma de suportar as paredes da escavação a acção da bentonite passa pela filtragem do fluido através do terreno existindo perda de água da mistura. Esta perda de água faz com que a concentração de bentonite aumente na face de contacto com o terreno – formando-se o “cake”. Na Figura 6.7 está representada a formação típica do “cake”, que tem como função: revestir as paredes expostas, propiciar a transmissão de carga hidrostática e evitar a entrada de água na escavação. Mantendo assim a integridade do terreno escavado. Para que tal possa acontecer com sucesso é necessário que a pressão hidrostática exercida pela lama seja maior que a pressão conjunta exercida por possíveis lençóis de água que se encontrem no subsolo e pelo peso do terreno.

Quando a pressão de um lençol freático é mais elevada que a pressão da lama não haverá formação de “cake” e serão encontrados problemas para manter a integridade da escavação.

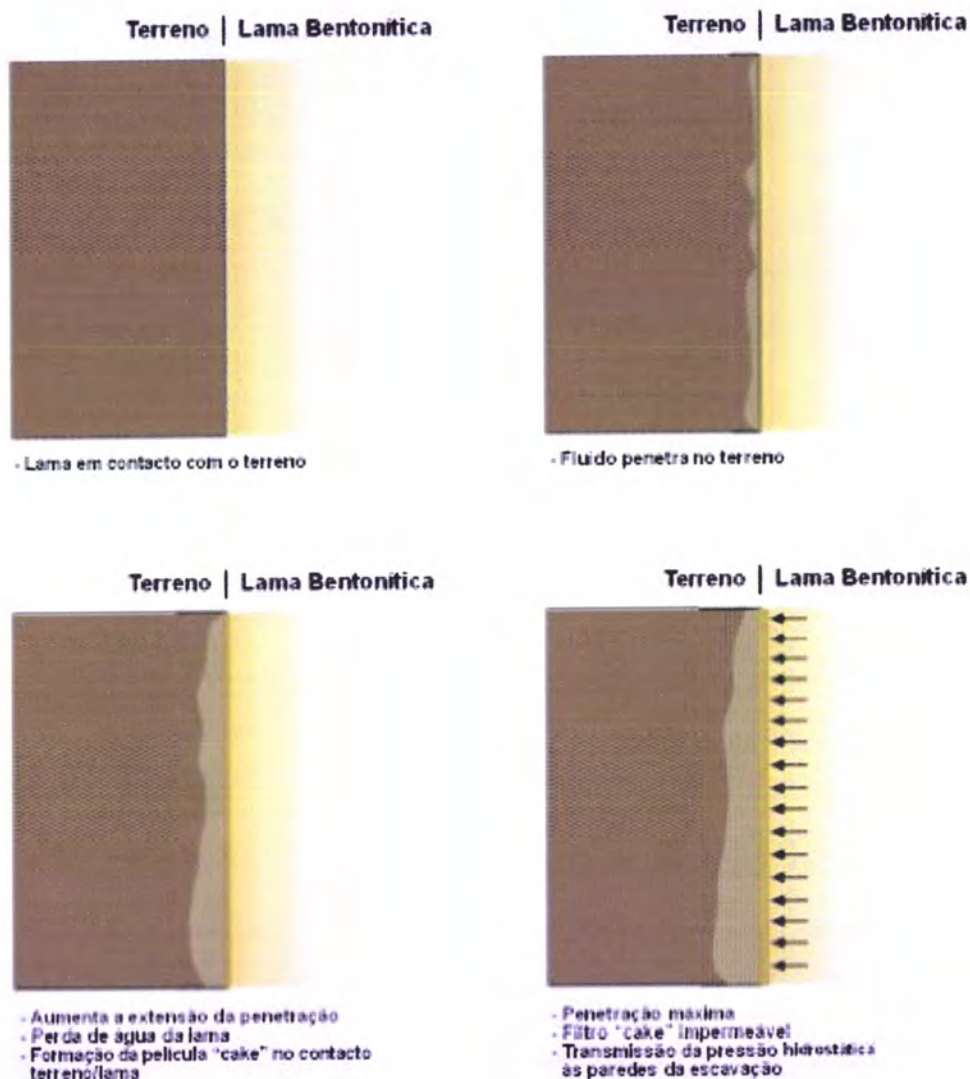


Figura 6.7 - Formação do “cake”.

Segundo a FPS (2006), para se conseguir estabelecer pressão numa superfície impermeável, a lama bentonítica deverá formar uma superfície selante (o “cake”) sobre ou próxima da parede escavada. Esta vai evitar a perda de fluido para o terreno impossibilitando assim o aumento da pressão intersticial no solo, favorecendo o efeito estabilizador máximo da lama.

A formação desta superfície pode, de acordo com a FPS (2006), acontecer de três formas, que de seguida se descrevem:

- Filtração superficial – que ocorre quando se dá a formação da película (“cake”) no contacto entre a lama e o solo. As partículas de bentonite interagem directamente com os poros do solo, sendo a penetração da lama no terreno quase nula. Havendo, posteriormente, percolação e perda de água através do “cake”, sendo esta maior ou menor consoante o tipo de terreno presente;
- Filtração profunda – quando a bentonite penetra no solo bloqueando, lentamente, os poros do solo, dando assim origem a um “cake” que é composto pelo conjunto da lama e das partículas de solo no interior do terreno, com uma espessura que pode variar entre 40 e 50 mm;
- Bloqueio reológico – acontece quando o fluido penetra no solo, vários metros. Estando esta penetração no terreno restrita apenas à capacidade máxima de percolação da lama.

A lama bentonítica, no geral, não regista grandes perdas de volume no interior da escavação uma vez que, com viscosidade (“Marsh”) na ordem dos 32 segundos, esta não penetra muito na maioria dos terrenos (argilas, siltes e areias finas). A excepção será quando se está na presença de solos mais porosos (e.g. cascalheiras), onde será necessário aumentar a concentração de bentonite no fluido (obtendo-se viscosidades “Marsh” entre 40 e 50 segundos) ou mesmo recorrer a outras metodologias/aditivos que permitam bloquear a alta porosidade do terreno. Viscosidades acima dos 50 segundos não são aconselháveis pois tornam a limpeza (desarenação) difícil (FPS, 2006).

A organização das partículas de bentonite em solução aquosa dá origem a outra propriedade importante deste fluido de estabilização. Trata-se da capacidade de suspensão de sólidos, que evita que estes decantem naturalmente e se depositem no fundo da escavação. Apesar desta característica ser útil durante a escavação, ajudando à estabilização do solo (aumento de densidade e melhor bloqueio reológico) não é favorável que a lama possua muitos finos em suspensão durante a betonagem. Esta situação vem complicar a boa ascensão do fluido durante a betonagem, podendo criar “podres” no betão e impedir a boa ligação betão-armadura. Igualmente, um fluido mais denso possui maior dificuldade em ser circulado através das bombas.

A possibilidade de a lama poder ser limpa (através de desarenadores), após um aumento substancial de finos e consequente aumento de densidade, é igualmente uma

característica importante, pois faz com que a bentonite seja um fluido versátil e as suas propriedades possam ser reajustadas.

Com o objectivo de manter as características adequadas, em cada fase do processo de execução de fundações, a lama bentonítica deverá respeitar os parâmetros que estão indicados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 - Parâmetros adequados para uma boa utilização da lama bentonítica (FPS, 2006).

Teste	Unidades	Etapas			Equipamento
		Lama nova	Pronta para reutilizar	Antes de betonar	
Densidade	g/cm ³	<1,10	<1,25	<1,15	Balança
Viscosidade Marsh (946ml)	seg.	32 a 50	32 a 60	32 a 50	Funil Marsh
Filtrado	ml	<30	<50	n.a.	Filtro API
pH	-	7 a 11	7 a 12	n.a.	Tiras pH
Areia	%	n.a.	n.a.	<4	Kit Areia

n.a. – não aplicável

6.1.3. Central de Lama Bentonítica

Na Figura 6.8 apresenta-se um esquema de uma central de bentonite. Neste caso, em vez do uso de vários reservatórios para armazenagem é utilizado um tanque circular, pré-fabricado, de grande volume.

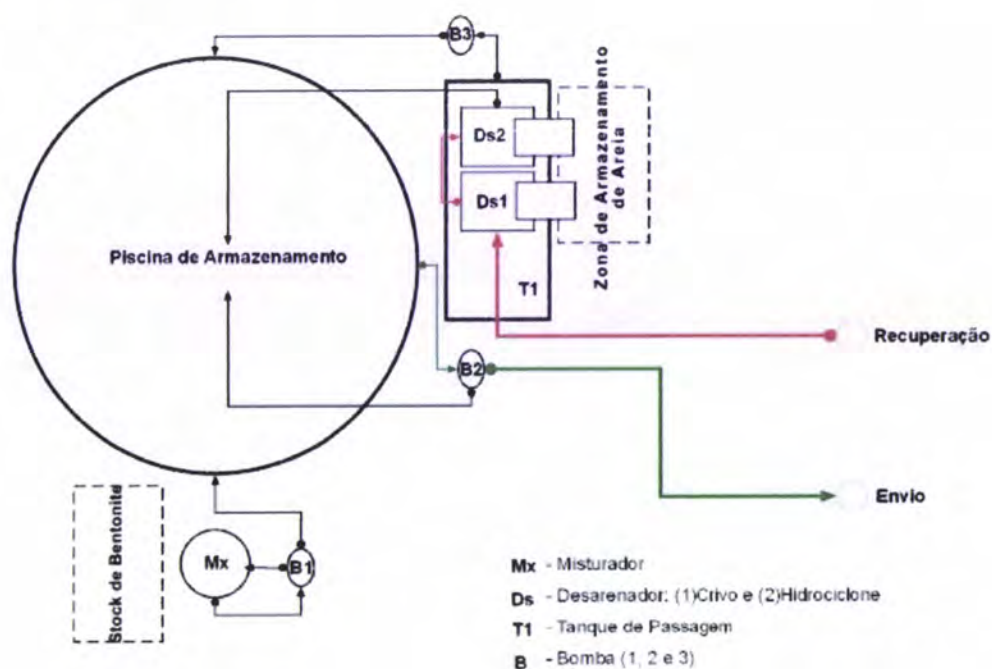


Figura 6.8 - Central de lama bentonítica.

Na Figura 6.8 estão representados os diversos elementos que deverão compor a estrutura de uma central típica de lama bentonítica. Assim, a central deverá estar composta por:

- misturador de bentonite, normalmente com bomba centrífuga incorporada;
- piscina, silos ou tanques de armazenagem;
- bombas para envio e recuperação da lama;
- sistema de limpeza da lama (conjunto desarenador/hidro ciclone).

O misturador típico de bentonite encontra-se representado nas Figuras 6.3 e 6.4, e a forma como é executada a mistura está descrita no Capítulo 6.1.1.

De modo a fazer circular a lama de estabilização entre a central e a área de trabalho e, durante a betonagem, recuperá-la, são utilizadas bombas centrífugas. Existem diversas opções no mercado e na Figura 6.9 está representada uma bomba de lamas muito comum em obra, com o detalhe do elemento que, através de centrifugação, fomenta a circulação do fluido. Esta bomba, em particular, possui um motor a Diesel e apresenta facilidade em ser mobilizada.



Figura 6.9 - Bomba centrífuga SELWOOD® D150 e detalhe do funcionamento da bomba.

Quando recuperada ou circulada de novo para armazenamento, a lama, deverá obrigatoriamente passar por um processo de limpeza, o qual vem descrito na sub-secção seguinte.

6.1.4. Limpeza da Lama Bentonítica

Como foi visto no Capítulo 6.1.2, a lama bentonítica deve respeitar certos requisitos, em cada uma das suas fases de utilização, de forma a garantir um melhor desempenho (Tabela 6.1). Para manter a lama bentonítica com valores dentro dos parâmetros aceitáveis à sua reutilização é necessário o uso de equipamento de desarenação. Tipicamente a “lama”, devido às suas características, acumula sedimentos finos, mantendo-os em suspensão por um período indeterminado. Este aumento de material em suspensão faz com que o fluido fique mais denso e espesso, o que não é aconselhável quando se pretende evitar contaminações do betão e possibilitar a reutilização deste fluido.

De modo a remover estes sedimentos, e uma vez que os mesmos dificilmente decantarão por gravidade, utiliza-se um sistema de desarenação. Na Figura 6.10 pode-se observar uma unidade de desarenação GOSAG[®]. Esta é composta por dois crivos vibratórios, estando um deles, associado a um hidrociclone.



Figura 6.10 - Central de Bentonite com sistema de desarenador.

Em maior detalhe, na Figura 6.11, estão representados, cada um dos componentes constituintes de uma unidade de desarenação típica (GOSAG[®]) e o circuito que a lama atravessa até voltar a ser armazenada e reutilizada. De forma a reduzir, substancialmente, a quantidade de sedimentos na lama, esta, ao ser recuperada passa por um primeiro crivo (Ds1 - 3 mm), caindo para o tanque inferior (Tanque 1) de onde é enviada, através de uma bomba (B1), para um segundo crivo (Ds2 - 1,5 mm).

Desde o segundo tanque de recepção (Tanque 2) do Ds2 uma outra bomba (B2) envia a lama para o hidrociclone (Hidcl) que separa o fluido mais limpo, (que sai na parte superior) para uma pequena caixa (CX) que comunica com a área de armazenagem, do fluido que ainda possua sedimentos, (que sai pela parte inferior do hidrociclone) passando novamente pelo Ds2 e voltando a cair no tanque 2 de onde será novamente enviada ao hidrociclone.



Figura 6.11 - Esquema do circuito de lama num desarenador GOSAG®.

É importante referir que existem vários tipos e modelos de desarenadores, dependendo o seu uso também das características de cada obra. O escolhido para este capítulo trata-se apenas de um exemplo e, assim como outras marcas similares, tem uma vasta utilização em obras de fundação.

Mais uma vez, é importante referir que o processo de limpeza é essencial para a lama bentonítica; só assim esta pode ser reutilizada e, na grande maioria dos casos, o elemento de fundação (estaca moldada ou parede moldada) requer que se realize uma desarenação (ou troca da lama) no final de cada escavação de modo a que a quantidade de areia existente em suspensão seja reduzida, evitando-se possíveis problemas na fase de betonagem.

6.1.5. Eliminação da Lama Bentonítica

Apesar de não ser considerado um produto perigoso, o fluido de bentonite deverá ser tratado com um cuidado especial na hora de ser descartado. As características da montmorilonite sódica, como a expansibilidade e capacidade de impermeabilização (Capítulo 3), fazem com que este tipo de lama seja considerado de algum risco ambiental, não podendo ser vertida ao acaso. Por isso a sua eliminação, quando deixa de ser necessária, requer um tratamento adequado.

Uma vez terminada toda a fase de escavação e de utilização, o fluido restante, que esteja na central, deverá ser tratado adequadamente de modo a separar a parte sólida da líquida. A FPS (2006) apresenta formas de eliminação do fluido de Bentonite, indicando que a forma mais simples e menos dispendiosa é através do depósito em aterro controlado e certificado para esse fim. Os métodos alternativos e mais dispendiosos, passam pela separação da fracção sólida através de: i) filtração contínua até obtenção de um produto final com um conteúdo sólido de 65%; ii) centrifugação e decantação, também até 65% de porção sólida; iii) floculação da bentonite, seguido da adição de cimento para obtenção de um produto final com 25 % de fracção sólida.

No geral, deverão ser tidas em conta as normativas técnicas e ambientais vigentes em cada situação, de modo a encontrar a forma mais adequada à eliminação do fluido restante.

6.2. Lama Polimérica (“Polymer Slurry”)

O fluido de estabilização com base em polímero, tal como acontece com a bentonite, também é produzido através da mistura, neste caso, de um granulado sólido de polímero, com água, para além da existência de alguns tipos de polímero que são comercializados já em estado líquido.

Neste caso concreto será referenciado um produto específico, o PolyMud[®], que pertence à empresa portuguesa GEO, Lda. Este trata-se de um polímero vinílico de

última geração, capaz de produzir viscosidades altas, e a forma como opera, apesar de possuir características próprias, não difere muito dos restantes produtos existentes no mercado. O granulado é distribuído, no geral, em sacos de 25 kg e, apesar de em menor número que no caso da bentonite, existem vários fornecedores. Na Figura 6.12 pode-se observar um saco de polímero.



Figura 6.12 - Saco de polímero (PolyMud®; GEO)

O PolyMud®, é um polímero que pode ser até 45 vezes mais caro que a bentonite, mas a sua dosagem na mistura é muito menor. Na grande maioria dos casos, basta adicionar um quilograma por cada mil litros de água (concentração de 0,1%).

6.2.1. Mistura

A mistura do polímero tende a ser mais simples que a da bentonite, não sendo necessário utilizar qualquer tipo de misturador. A mistura do granulado seco com água passa por uma adição lenta e cuidada num fluxo contínuo de água, sendo que, a lentidão do processo tem como objectivo a obtenção de uma melhor hidratação do produto, evitando a formação de aglomerados e permitindo uma mistura mais homogénea. Na Figura 6.13 pode-se observar o processo de mistura, através da adição directa de granulado num fluxo de água constante. Também pode ser aplicado o sistema do tubo de Venturi (Fig. 6.5) para efectuar a mistura, mas este possui mais inconvenientes no que diz respeito à sua aplicação em obra. Importa realçar, mais uma vez, que a

quantidade de polímero a adicionar em cada mistura é bem menor de que no caso da preparação de lama bentonítica.

Para melhorar a homogeneidade da mistura, e dar-lhe melhores propriedades, é necessário haver uma mistura/agitação secundária assegurada pela acção de ar comprimido. A instalação de mangueiras perfuradas no fundo dos tanques de mistura e armazenagem é importante com o objectivo de injectar ar, proveniente de um compressor, de forma a proporcionar um sistema de agitação (Figura 6.14). A utilização de agitadores mecânicos não é adequada ao fluido polimérico, uma vez que a sua acção tende a degradar o fluido, fazendo-o perder as suas propriedades.



Figura 6.13 - Mistura de polímero com água.

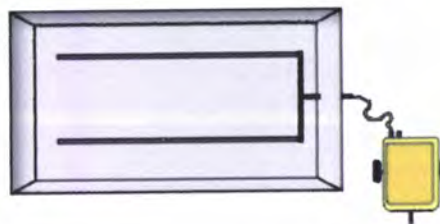


Figura 6.14 - Sistema de agitação.

Como forma de melhorar as características finais do fluido à base de polímero é necessário aumentar o seu pH para valores entre 11-12, este aumento é conseguido através da adição de Hidróxido de Sódio (NaOH) na água, que vai servir posteriormente para misturar o polímero. O NaOH, também conhecido por Soda Cáustica, tem como função proteger o fluido contra a contaminação de sais, como o Ca e Mg, e melhorar o arranjo da sua estrutura (esticando a cadeia de polímero), que se verifica pelo aumento da sua viscosidade. A dosagem normal de NaOH (solução de 45 a 50%) é de 1 litro por m³ de água (GEO, 2005).

Ao contrário da bentonite, o polímero tem a possibilidade de ser utilizado quase de imediato, após a sua mistura, não existindo a necessidade de um tempo prolongado de maturação (entre 12 a 24 horas, no caso da bentonite). Se a hidratação for bem executada logo na mistura, basta um pequeno período de agitação (através de ar comprimido) para obter a homogeneização do fluido, e deste modo tê-lo pronto para ser utilizado na escavação. Outra diferença é a falta de coloração do fluido; quando fresco

este é transparente como a água (Fig. 6.15), ganhando a coloração do terreno escavado à medida que é utilizado (Fig. 6.16).



Figura 6.15 - Fluido polimérico fresco.



Figura 6.16 - Fluido polimérico usado.

Uma opção para a obtenção do fluido polimérico é através da mistura directa na escavação. Apesar de não ser muito recomendada, esta é possível através do envio de água (preferencialmente já tratada com NaOH) directamente para a escavação onde se adiciona o granulado no fluxo (Fig. 6.17). Este procedimento pode ser útil em alguma situação específica de obra mas, apesar de ter bons resultados em termos de rapidez e eficácia do processo, o controlo de gasto de polímero, assim como, da sua qualidade, torna-se mais difícil.



Figura 6.17 - Mistura directa do polímero à boca da escavação.

6.2.2. Propriedades da Lama Polimérica

Como fluido de estabilização, a lama de polímero deverá possuir as seguintes características:

- a) favorecer o suporte das paredes da escavação através da transmissão de pressão hidrostática;
- b) permanecer na escavação, sem penetrar demasiado no terreno;
- c) favorecer a decantação natural dos detritos originados pela escavação;
- d) propiciar a subida limpa do betão, sem interferência na ligação armadura-betão;
- e) capacidade de limpeza dos detritos decantados, através da própria acção de escavação, possibilitando a continuidade de um fluido limpo;
- f) suficiente fluidez que facilite a circulação.

Como se pode observar existem muitas semelhanças entre o polímero e a bentonite (alíneas a, b, d, f) mas a diferença fulcral é a forma de limpeza do fluido. Ao contrário da bentonite, o polímero tem a capacidade de auto-limpeza, uma vez que não possui propriedades tixótropicas, não havendo a necessidade de se utilizarem desarenadores/hidrociclones.

A principal característica do fluido de polímero é a sua alta viscosidade devida, como já foi indicado no Capítulo 5, ao seu alto peso molecular. Esta viscosidade tem origem na forma como as moléculas de polímero se “organizam” entre si na solução aquosa, o que favorece a sua actuação com as partículas do solo.

A propriedade determinante do fluido polimérico passa pela sua capacidade de interacção química com o solo. Uma vez em contacto com a parede da escavação e penetrando um pouco no terreno vão-se estabelecer ligações por diferença de carga eléctrica. Esta interligação fluido-solo vai favorecer uma concentração de polímero na parede da escavação, dando origem a uma película designada por membrana (Fig. 6.18). Esta, com uma espessura de apenas alguns milímetros, será a responsável pela transmissão de carga hidrostática para as paredes da escavação. É importante que a pressão exercida pelo fluido seja sempre superior à da água contida no solo, pois se for inferior haverá percolação de água do terreno para a escavação, eliminando a membrana

de polímero. Esta “lavagem” e destruição da membrana vão consequentemente, provocar a falta de suporte do terreno e a sua instabilização (GEO 2005).

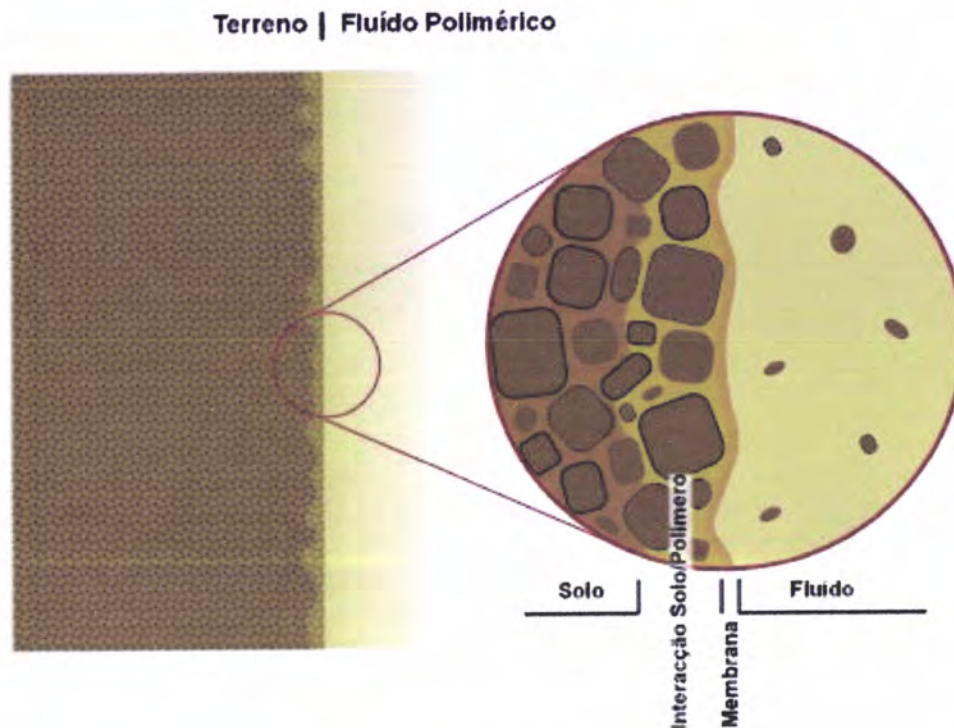


Figura 6.18 - Membrana química de polímero.

A interação do polímero com o solo dá origem a um fenómeno de “encapsulamento”, que resulta de um revestimento, por parte do fluido, do material desagregado, o que é típico de polímeros com alto peso molecular (ASME, 2005). Esta capacidade faz com que seja evitada uma maior dispersão e desintegração das partículas de solo, ajudando a manter o fluido mais limpo, sem muitas partículas finas em suspensão.

Outra característica particular do polímero é que este não fornece densidade ao fluido que integra. Uma mistura fresca deverá manter a densidade da água com a qual é efectuada, na ordem de 1,00 a 1,01 g/cm³. Com a reutilização do fluido, e o aumento de partículas finas (silte e argila) em suspensão, a densidade poderá aumentar um pouco mas nunca exageradamente (< 1,08 g/cm³).

Um factor de grande relevância e vantajoso no uso de polímero é a sua não acumulação no meio ambiente e que o torna um produto ambientalmente mais seguro. As cadeias longas e o seu alto peso molecular fazem com que o polímero possua alguma resistência à biodegradação mas a sua alta solubilidade e sensibilidade à acção dos raios ultra violeta (UV), faz com que as suas cadeias sejam fragmentadas não havendo bio-acumulação e tornando-se possível o ataque de micróbios (biodegradação) (GEO, 2005). Por outro lado, a sua estrutura e composição química, fazem com que este fluido seja mais “sensível”, relativamente a determinados factores. Por exemplo, o uso de bombas centrífugas tem tendência a romper a cadeia (estrutura) do polímero, alterando o seu poder de interacção com o solo e, conseqüentemente, de estabilização, o que se pode verificar através da perda de viscosidade. Já a existência de grandes concentrações de contaminantes químicos na água ou no terreno, como os Carbonatos de Cálcio, o Ca, o Mg ou o Cloro, podem igualmente degradar o polímero fazendo com que este perca qualidade. Todas estas circunstâncias favorecem e são determinantes na eliminação do polímero no meio ambiente.

No que diz respeito à manutenção da boa qualidade do polímero, o controle dos parâmetros do fluido ganha maior importância e será necessário saber a sua condição em cada estágio do processo de utilização.

Na fase inicial, para uma primeira preparação do fluido, é esperado que para uma mistura típica de 1 kg/m^3 se obtenha uma viscosidade Marsh de 60-65 segundos (caso do polímero vinílico de alto peso molecular e de ultima geração). Quando este valor de viscosidade não é atingido poderá dever-se, provavelmente, ao facto da água utilizada na mistura possuir dureza elevada ou devido à presença de contaminantes químicos prejudiciais a um melhor rendimento do polímero. À medida que vai sendo utilizado na escavação, a sua interacção com o solo vai fazendo com que o fluido altere as suas características, pelo que deve existir um controlo das mesmas, durante todo o processo.

A tabela 6.2 apresenta os parâmetros adequados a cada etapa do processo de execução de fundações. Esses valores são apropriados para estaca moldada e parede moldada e são resultado, principalmente, da experiência em campo, uma vez que ainda não existem, oficialmente, valores tabelados. Normalmente, cada fornecedor de

polímeros apresenta também a sua própria tabela de valores e, muitas vezes, estes são adaptados a cada situação em obra.

Tabela 6.2 - Parâmetros adequados para uma boa utilização da lama polimérica.

Teste	Unidades	Etapas			Equipamento
		Lama nova	Pronta para reutilizar	Antes de betonar	
Densidade	g/cm ³	1,00 a 1,04	≤1,05	≤1,06	Balança
Viscosidade Marsh (946ml)	seg.	50 a 140	50 a 140	40 a 140	Funil Marsh
Filtrado	ml	n.a.	n.a.	n.a.	Filtro API
pH	-	11 a 12	11 a 12	9 a 12	Tiras pH
Areia	%	n.a.	<2	<4	Kit Areia

n.a. – não aplicável

Para interactuar com o fluido polimérico, em situações onde o bom desempenho deste se encontra condicionado pelas características do terreno escavado, foram desenvolvidos outros produtos sintéticos, que, em casos específicos, podem melhorar o comportamento do mesmo. Existem produtos que ajudam a melhorar a acção de estabilização, em condições mais exigentes, e outros que melhoram a capacidade de decantação dos sólidos desagregados durante a escavação. Cada fornecedor poderá ter aditivos relacionados e adequados para interactuar com o seu produto principal. No caso da empresa GEO, os produtos mais utilizados são:

- Alfabond[®], também um polímero, mas em estado líquido, é utilizado para aumentar o poder de estabilização e evitar perdas de fluido;
- Microbond[®], aplicado com o objectivo de diminuir os finos em suspensão;
- Super DSand[®], utilizado também para limpeza do fluido mas para situações mais extremas.

Para além destes produtos, existe também a possibilidade de se recorrer a Silicato de Sódio e Aluminato de Sódio, em casos particulares, de modo a controlar perdas de fluido e melhorar as condições de estabilidade do terreno escavado.

6.2.3. Central de Lama Polimérica

A Figura 6.19 representa um esquema de uma central de polímero que operou durante a realização de uma obra e que pode ser utilizada como exemplo geral.

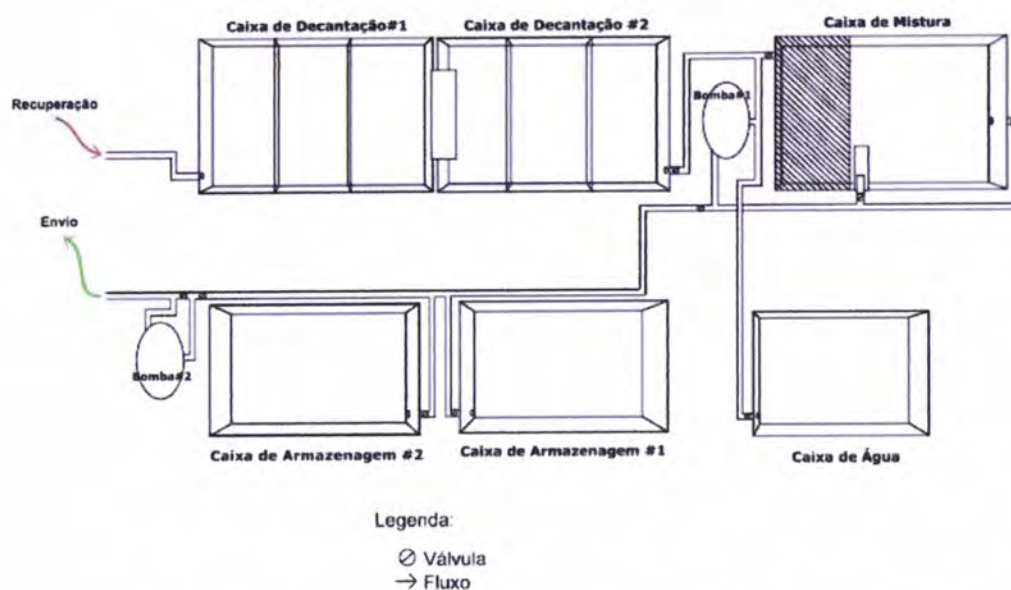


Figura 6.19 - Esquema ilustrativo de uma central de polímero.

No referido esquema (Fig. 6.19) estão representados os elementos que deverão estar presentes na estrutura de uma central de lama à base de polímero. Assim, a central deverá possuir os seguintes componentes:

- uma caixa de mistura;
- piscina, silos ou tanques/caixas de armazenagem;
- bombas, não centrífugas, para mistura, envio e recuperação da lama;
- caixa de decantação (pelo menos uma).

Na Figura 6.19 são apresentadas duas caixas de decantação devido a uma situação específica de obra, onde a lama recuperada tinha tendência a possuir mais material em suspensão do que o normal. De um modo geral, o polímero deverá manter-se bastante limpo durante a escavação, mas alguns detritos mais finos, que permaneçam no fluido, podem ser sedimentados posteriormente na passagem por uma caixa intermédia (de decantação), antes de aquele ser armazenado. Um sistema de limpeza como o utilizado na lama bentonítica é desnecessário e inadequado no caso do uso do polímero uma vez que este irá bloquear o crivo do desarenador, devido às suas propriedades intrínsecas, prejudicando o bom funcionamento do equipamento.

Na Figura 6.20 pode-se observar outro exemplo de uma central de polímero composta por: caixa de mistura, caixa de decantação e silos de armazenagem. A primeira caixa, da frente, é relativa ao processo de decantação, a caixa posterior serve para a mistura da lama sintética, e os silos, para armazenagem da lama sintética, excepto o primeiro da esquerda que serve para armazenagem de água.



Figura 6.20 - Central de fluido polimérico.

Na central será importante incluir um compressor de ar assim como o uso de mangueiras perfuradas no fundo, pelo menos, na caixa de mistura, de forma a melhorar a hidratação do polímero. Igualmente importante é o uso de bombas não centrífugas para a circulação do fluido, uma vez que a rotação das pás da bomba vai fazer com que o polímero rompa a sua estrutura, perdendo qualidade. Nas Figuras 6.21 e 6.22, pode-se observar dois tipos de bombas de diafragma e, na Figura 6.23, apresenta-se uma bomba peristáltica. Estas são as bombas mais adequadas para trabalhar com o fluido polimérico, uma vez que não geram fluxo através de centrifugação.



Figura 6.21 - Bomba SELWOOD®PD100 motorizada

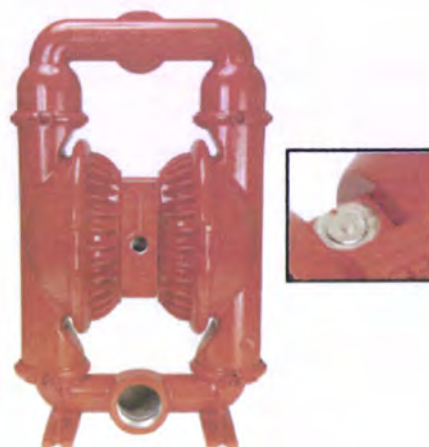


Figura 6.22 - Bomba WILDEN® pneumática.

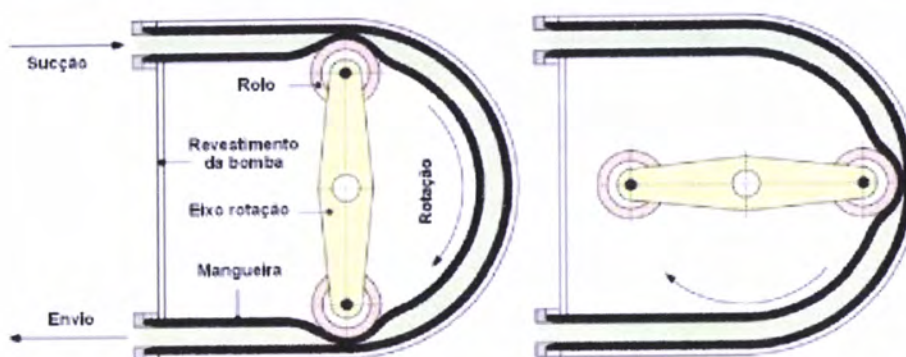


Figura 6.23 - Bomba Peristáltica MAT®/BAUER®.

6.2.4. Limpeza da Lama Polimérica

O fluido polimérico tem a capacidade de auto-limpeza uma vez que não possui tixotropia. Uma vez que não fica em estado de “gel” quando a lama está em repouso, não tem a capacidade de manter as partículas de solo desagregado em suspensão, indo estas decantando naturalmente. Na Figura 6.24, apresenta-se esquematicamente o que sucede no fluido: a) durante a escavação, com decantação no fundo; b) quando este regressa à central na sua passagem pelo tanque de decantação.

Após a passagem pelo tanque de decantação, o fluido recuperado pode ser imediatamente armazenado e reutilizado. Se, por alguma razão, os valores para as propriedades do mesmo estiverem abaixo do esperado pode-se fazer um reforço através

da adição de mais granulado de polímero e/ou NaOH, na caixa de mistura ou directamente na escavação. Deste modo, podem ser garantidas as melhores condições para a sua reutilização.

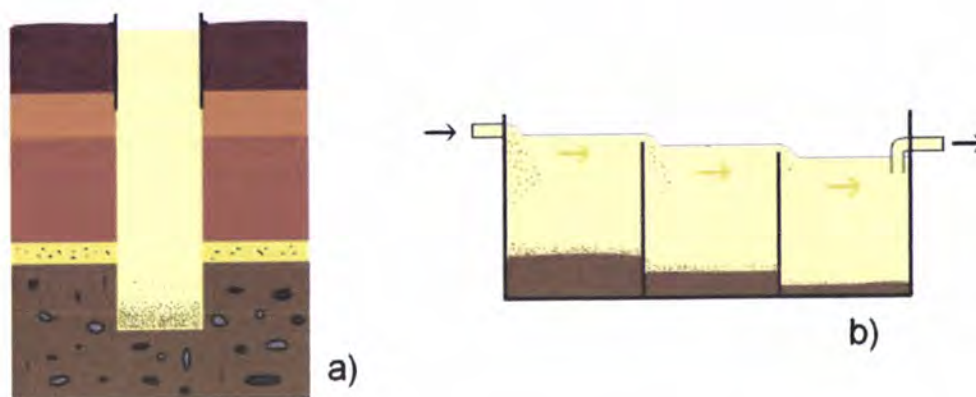


Figura 6.24 - Decantação natural: (a) no fundo da escavação e (b) no tanque de decantação.

Geralmente, após terminada a escavação, há a possibilidade de ser realizada a betonagem, de imediato. Devido à sua capacidade de auto-limpeza é normal que, antes da betonagem, os parâmetros do fluido polimérico se encontrem dentro dos limites estipulados. Caso isso não aconteça, existem diversos produtos, aditivos, que interactivam com o polímero de modo a favorecer uma limpeza, por decantação, mais eficiente (ver Capítulo 6.2.2).

6.2.5. Eliminação do Polímero

Após a utilização do fluido polimérico, este pode ser eliminado directamente no local da obra através de um tratamento químico que tem como finalidade a “destruição” das cadeias de polímero, obtendo-se como produto final uma água residual.

De forma a obter uma água residual passível de ser descarregada em qualquer tipo de sistema de esgoto o fluido polimérico deverá ser previamente tratado com Hipoclorito de Cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) e Ácido Clorídrico (HCl) (GEO, 2005). Este tratamento consiste na adição, numa primeira fase, de HCl para redução do pH (para 6-9) e, na segunda fase, na adição de Hipoclorido de Cálcio que vai destruir as cadeias de

polímero, perdendo o polímero a sua viscosidade (viscosidade Marsh: 28-30s). A adição de HCl (solução a 30%) deverá variar entre 3 a 5 litros por metro cúbico de fluido a tratar e o Hipoclorito de Cálcio, que pode ser encontrado em granulado ou solução (60-70%), deverá ser adicionado numa proporção de 0,1 a 0,5 kg por metro cúbico (GEO, 2005). Ambos os processos de adição deverão ser acompanhados por agitação de forma a homogeneizar e melhorar a acção dos produtos. Muitas vezes a adição de HCl pode ser evitada desde que a redução de pH seja possível apenas com a diluição com água.

No final do referido tratamento, o fluido deverá encontrar-se dentro das especificações do Decreto Lei nº 236/98, de 1 de Agosto, e poderá ser descarregado, numa rede de colectores de águas ou directamente no meio ambiente como água residual.

Outro processo simples para eliminação do fluido polimérico, que não requer qualquer tipo de tratamento químico, é o uso deste para rega de caminhos com o objectivo de reduzir a formação de poeiras. Normalmente são utilizados camiões cisterna com água que, através de dispersão, molham os caminhos a cada passagem evitando a formação de pó na circulação de veículos pesados. Esta “molhagem” pode ser igualmente realizada com o fluido de polímero que se pretende eliminar. As suas propriedades ajudam a manter o solo sem originar poeiras, por mais tempo, mantendo as suas partículas unidas e, através da acção dos raios UV os vestígios de polímero serão destruídos. Mesmo quando chove, a dispersão do produto, que já é considerado não contaminante, é tão grande que, através da diluição, não haverá qualquer risco de infiltração e/ou contaminação.

Entre estes dois processos de eliminação, o segundo é mais simples e menos dispendioso, mas só pode ser tido em conta em situações de obra onde se recorra ao processo de rega dos caminhos.

6.3. Comparação entre fluidos

Uma vez caracterizados os fluidos referidos neste estudo, podem-se comparar as suas propriedades e metodologias de aplicação, de uma forma sintética (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 - Comparação geral entre os fluidos de Bentonite e de Polímero.

	Lama Bentonítica	Lama Polimérica
Preparação	Uso de misturador. Concentração: 30-60 kg/m ³ .	Adição directa num fluxo contínuo de água. Concentração: 1 kg/m ³ . Água previamente tratada com NaOH.
Circulação	Bombas centrífugas	Bombas não centrífugas
Suporte	Por filtração e formação de cake.	Interacção química polímero/solo e formação de membrana.
Betonagem	Depois de desarenação.	Imediata após a escavação ou após a aplicação de aditivos de limpeza.
Limpeza	Uso de sistema de desarenação.	Decantação natural.
Reutilização	Após desarenação e correcção de parâmetros, se necessário.	Após passagem por tanque de decantação e correcção de parâmetros, se necessário.
Eliminação	Deverá ser transferida para uma central onde se possa separar a fase líquida da sólida.	Possível tratamento em obra e eliminação como água residual.

Como se pode observar, pela análise da Tabela 6.3, existem pequenas, mas importantes diferenças, entre lama bentonítica e lama polimérica. Para começar é importante referir que o equipamento utilizado na preparação e tratamento de cada um dos fluidos possui características distintas, sendo o relativo à lama bentonítica mais complexo. Enquanto que, o polímero utiliza para a sua mistura uma caixa de armazenagem adaptada para um sistema de circulação fechado e uma caixa de transição que serve para decantação, no caso de uma central de lama bentonítica é necessário a existência de um misturador e de um desarenador mecânicos.

Por outro lado, a lama polimérica, tratando-se de um fluido sensível relativamente à acção mecânica das bombas centrífugas, é necessário usar outras mais adequadas (como as indicadas no Capítulo 6.2.3), limitando a gama de escolha deste tipo de equipamento.

Apesar de o movimento mecânico das bombas centrífugas danificar a rede tridimensional do fluido, este é, utilizando bombas adequadas, suficientemente resistente para ser reutilizado várias vezes. No entanto, não representando qualquer

risco ambiental, uma vez que a alta solubilidade, sensibilidade química e a acção dos raios ultra violeta (UV) faz com que as suas cadeias sejam fragmentadas não havendo bio-acumulação no meio ambiente. Neste aspecto a bentonite apresenta mais inconvenientes uma vez que tem tendência a acumular em contacto com o solo e criar uma camada impermeável.

Quanto à complexidade do processo geral de manuseio de cada um dos fluidos, não haverá grande diferença, uma vez que, com as devidas adaptações, este se poderá manter igualmente eficaz. O que pode ser vantajoso, é a maior rapidez e facilidade de preparação de fluido novo de polímero, uma vez que para a mistura de 25 m³, havendo disponível em obra um tanque de mistura com essa capacidade, só é necessário um preparado, enquanto que para a bentonite será preciso fazer 25 misturas individuais (para o típico misturador com 1m³ de capacidade) e, em cada uma das 25 misturas, é necessário adicionar até 50 kg (concentração de 5%).

De maior relevância, será o facto de o polímero não possuir densidade muito superior à da água e capacidade tixotrópica, ao contrário do que acontece com a bentonite. Esta, produz um fluido mais “pesado” e com capacidade de manter sedimentos em suspensão que, em certos casos, pode ser de grande importância para a melhor estabilização do terreno, não sendo necessária a aplicação de aditivos, como acontece com o fluido de polímero em situações mais delicadas.

Falta ainda referir o factor económico. Sendo o polímero um produto bastante mais caro que a bentonite, o que pode fazer com que seja menos procurado, no entanto, apresenta uma taxa de gasto muito menor. Logo na mistura inicial o custo pode ser equiparado uma vez que para 1000 litros de água a mistura de bentonite necessita de 50 kg (concentração 5%), e a mistura de polímero pode ser feita apenas com 1 kg. Isto significa que, sabendo que o custo por quilo de bentonite é de 0,20 a 0,26 € e o custo do Polymud® é de 13 €/kg, para 1000 litros de água o custo seria, para os dois tipos de fluidos (para valores de bentonite a 0,26 €), de 13 €. Há também que ter em consideração a necessidade de adicionar NaOH à mistura de polímero o que, por outro lado, vem encarecer a opção do fluido sintético. Deste modo, na fase inicial de obra, o fluido polimérico deverá ser uma opção mais dispendiosa, comparativamente ao fluido mineral.

Numa situação concreta de obra onde se gaste o mesmo volume de fluido, a vantagem de uso de polímero estará na menor necessidade de equipamento e na redução do tempo necessário para a execução dos elementos de fundação. Apesar disso a opção do fluido sintético é directamente mais dispendiosa, existindo a possibilidade de, através de uma boa e melhor reutilização, reduzir o consumo do mesmo. A partir dessa rentabilização, o consumo total de fluido polimérico pode ser mais reduzido, em situações similares, que o consumo de lama bentonítica.

Com uma boa optimização da utilização do uso do fluido sintético, onde o recurso a aditivos seja mínimo, assim como a redução de equipamento necessário no circuito da lama e redução da duração de obra, será possível compensar o preço mais elevado do produto, podendo mesmo esta opção ser mais eficiente e menos dispendiosa que o uso da lama bentonítica. À lama mineral é ainda acrescido o custo final do seu transporte e tratamento de eliminação por uma empresa especializada, o qual não se verifica com o fluido polimérico.

7. Casos de Obra

Não existem muitas obras onde se possam encontrar os fluidos de Polímero e de Bentonite trabalhando lado a lado e, por esse motivo, não se dispõe de informação passível de se estabelecer uma comparação adequada e perfeitamente fiável entre ambos os produtos. A informação de carácter comparativo ainda é bastante mais rara nos casos de parede moldada, existindo apenas alguns trabalhos efectuados em estaca moldada.

No entanto, em anexo, neste trabalho, estão disponíveis dois artigos de comparação. O Anexo A corresponde a um trabalho (em inglês) que compara a execução de duas estacas similares com fluidos de estabilização diferentes; o Anexo B, relativo a uma marca de polímero americano (Slurry Pro[®] CDPTM; KB, 2001-2005), apresenta alguns exemplos de comparação, também em estacas moldadas.

Nos dois artigos é referido que, com a utilização do fluido sintético se obtém melhores resultados finais. No Anexo B, é importante destacar a averiguação de que a resistência lateral e de ponta da estaca de fundação é mais elevada naquela que foi escavada com o uso de polímero. Sendo tal facto justificado pelo melhor contacto obtido entre betão e terreno.

Um melhor contacto betão-terreno é conseguido porque o polímero não “contamina” as paredes da escavação e favorece uma geometria de escavação mais perfeita. Devido às suas propriedades, o fluido polimérico é destruído pela alta alcalinidade do betão, algo que não acontece nas escavações onde se utiliza lama bentonítica. Neste caso, aquando da subida do betão na estaca haverá sempre retenção de algum material residual do “cake” na zona de contacto betão-solo.

Para além dos dois artigos referidos, durante a realização deste trabalho houve a oportunidade de se acompanhar uma obra, no bairro do Morumbi em São Paulo (Brasil), que inicialmente estava projectada para ser executada apenas com polímero e onde, posteriormente, foi usada igualmente bentonite devido a condicionalismos impostos pelo solo escavado. Foi possível, desde modo, fazer uma análise comparativa, que a seguir se apresenta de forma resumida.

7.1. Obra no Bairro do Morumbi em São Paulo (Brasil)

Esta obra geotécnica de fundação, destinada a um edifício de escritórios, teve o seu desenvolvimento entre os dias 15 de Abril e 22 de Junho de 2010, no bairro do Morumbi, na cidade de São Paulo (SP-Brasil). No projecto estavam incluídas estacas moldadas de uma variada gama de diâmetros (800, 1000, 1200, 1400, 1500 e 1600 mm).

A geologia da área de trabalho foi analisada previamente, com base numa campanha de sondagens, a partir da qual foram diferenciadas três unidades geotécnicas principais, desde a superfície topográfica até à profundidade atingida: aterro (0 a 7-12 metros), argila silto-arenosa (até 18 metros) e silte arenoso (até 30 metros) que, a partir de 28 m, apresenta aspecto típico de solo residual. A presença do aterro na parte superficial do terreno, o qual não foi executado de forma controlada, veio revelar a existência, em diversas áreas, de lixo e matéria orgânica na sua composição. Na Figura 7.1 apresenta-se o registo de uma sondagem realizada no local da obra.

A presença do material de aterro, não controlado e com a presença de lixo e matéria orgânica, veio dar origem a bastantes problemas de estabilização durante a escavação das estacas de fundação. Por isso, estando inicialmente a escavação destinada a ser estabilizada com recurso a lama sintética, devido aos grandes problemas de estabilização entretanto verificados neste trecho, foi também utilizada lama bentonítica. Na Figura 7.2 pode-se ver a realização da escavação com lama sintética e na Figura 7.3 a escavação com recurso a lama mineral.

O uso de lama bentonítica em vez da lama de polímero, nas áreas onde o aterro de má qualidade possuía maior espessura, veio possibilitar uma melhoria na estabilização da escavação mas não resolveu por completo o alto consumo de betão. Devido à capacidade de aumento de densidade durante a escavação, a bentonite possibilitou a escavação do elemento da estaca com menos problemas que o polímero, que não tem a capacidade para aumentar consideravelmente a densidade. De um modo geral, a densidade na lama bentonítica chegou a atingir $1,24 \text{ g/cm}^3$ e o polímero ficou na ordem dos $1,10 \text{ g/cm}^3$.

Sondagem SP-2 Morumbi				
(N - 7.386.552,164 E - 322.342,294)				
(774,74)		0 m		
N.F. 771,52 2009-05-11	1		1,9	Aterro de argila silto-arenosa, mole, cinza e amarela.
	2			
	3			
	4		7	Aterro de silte argiloso pouco arenoso, solto, roxo a castanho-escuro. Com presença de lixo.
	5			
	6			
	7			
	8		8,8	Areia fina argilosa, pouco siltosa, pouco compacta, cinzenta.
	9			
	10		10,8	Argila siltosa pouco arenosa, mole a consistência média, cinzenta.
	11			
	12		27,35	Silte arenoso medianamente compacto
	13			
	14			
	15			Silte arenoso pouco argiloso, pouco micáceo, compacto a muito compacto, cinzento e roxo. (Solo Residual)
	16			
	17			
	18			
	19			
	20			Silte arenoso com fragmentos de rocha.
	21			
	22			
	23			
	24			
	25			
	26			
	27			
	28			Fim Sondagem

Nota: Amostrador tipo "Terzaghi & Peck". Diâmetro externo de 2" e diâmetro interno 1,3/8".

Figura 7.1 - Registro de uma sondagem efectuada na obra do Morumbi.



Figura 7.2 - Lama de polímero.



Figura 7.3 - Lama bentonítica.

Sendo do conhecimento das equipas intervenientes que a zona do aterro tinha grande influência na escavação e no resultado final, em termos de consumo de betão, nasceu o interesse de se tentar saber se, em condições geológicas normais (sem a presença do aterro problemático, composto de lixo e/ou matéria orgânica), existia uma grande diferença de resultados imediatos, entre a utilização dos dois tipos de fluido, mais concretamente no que diz respeito a uma escavação mais eficiente e com menor consumo de betão.

Sabendo também, que foram as estacas de menor diâmetro (800 e 1000 mm) que apresentaram mais dificuldades, foi seleccionado um conjunto de estacas escavadas em locais onde o terreno superficial (até 10 metros) era mais homogéneo e estável, e que, independentemente do fluido utilizado, apresentaram características similares de execução (escavação). Os dados obtidos nesse conjunto de estacas encontram-se na tabela do Anexo C.

A partir dos dados analisados, tentou-se saber se o uso de um determinado fluido apresenta algum tipo de diferenciação quanto ao resultado final. Não existindo a possibilidade de realizar ensaios de carga, tentou-se saber se existe uma melhoria no período de execução de cada estaca e no consumo de betão, ou seja, se a escavação é mais “perfeita”. É importante referir que estes dados são importantes, visto estarem directamente relacionados com os custos de obra.

Da análise dos dados apresentados no Anexo C foram obtidas as Tabelas, 7.1 e 7.2, que indicam o tempo de duração médio da escavação e o sobreconsumo percentual

de betão registado, respectivamente, para fluidos diferentes em estacas com as mesmas características.

Tabela 7.1 - Tempo de duração médio de escavação da estaca.

	Tempo (hh:mm)	
Ø (mm)	<i>Bentonite</i>	<i>Polímero</i>
800	02:26	02:25
1000	02:50	03:05

Tabela 7.2 - Percentagens médias de sobreconsumo de betão.

	Sobreconsumo	
Ø (mm)	<i>Bentonite</i>	<i>Polímero</i>
800	22,58%	19,87%
1000	21,56%	21,45%

Através da análise dos dados constantes na Tabela 7.1 pode-se verificar que, para estacas com diâmetro 800 mm, não existe uma diferença significativa na duração do processo de escavação, dependente do fluido de estabilização. Já nas estacas de 1000 mm de diâmetro, existe uma diferença de 15 min, sendo a execução das estacas com bentonite mais rápida. Apesar destes resultados, é importante referir que nas estacas executadas com lama bentonítica é necessário, após o término da escavação, haver um processo de desarenação do fluido, de modo a garantir a manutenção da sua qualidade, assim como, uma betonagem sem problemas.

O tempo médio de todo o processo de desarenação, é cerca de 15-20 min, neste caso concreto, sendo este período de tempo relativo apenas à escavação com recurso a lama bentonítica, uma vez que o uso de polímero possibilita a betonagem logo após o final da escavação. Assim, apesar de a escavação ser efectuada um pouco mais rapidamente com bentonite, a vantagem ganha aí, é perdida no processo de desarenação. Isto é, os tempos finais necessários à execução das estacas, com a qualidade necessária, aproximam-se entre os dois métodos.

Já nas estacas de diâmetro, 800 mm, e uma vez que apresentam a mesma duração no tempo de escavação, independentemente do fluido utilizado, a vantagem é da lama polimérica, uma vez que com esta não é necessário o tempo do processo de desarenação.

Pela análise da Tabela 7.2, comparando as percentagens de sobreconsumo de betão, em estacas que foram escavadas em condições o mais similares possíveis, pode-se observar que existe um menor consumo de betão nas estacas de diâmetro 800 mm, realizadas com lama sintética, apesar da diferença ser pouco expressiva. A discrepância entre estacas escavadas com recurso a bentonite e as escavadas recorrendo a polímero não chega a alcançar os 3%, o que, em estacas de tão baixo volume, não pode ser considerada uma diferença importante. Já nas estacas de diâmetro 1000 mm, os valores de sobreconsumo de betão são idênticos, independentemente do fluido de estabilização utilizado.

De qualquer modo, pode-se dizer que há uma ligeira melhoria, no que diz respeito ao consumo de betão, nas estacas que utilizam o fluido de polímero, o que pode ser explicado pela forma de actuar do fluido nas paredes da escavação. Com o uso do polímero, a penetração do fluido e formação de película de revestimento, para transmissão da carga hidrostática, não depende da perda de água do fluido, sendo possível evitar a instabilização do terreno devido a absorção de água. Este facto faz com que se obtenha uma estaca mais “perfeita”, do ponto de vista geométrico, o que vem a concretizar-se numa diminuição do consumo de betão.

Concluída a obra no Morumbi e analisadas estacas similares, pode-se dizer que:

- é necessário um menor espaço para armazenamento do granulado de polímero em obra e a sua mistura é mais rápida e limpa;
- o uso da lama sintética torna o processo de execução mais rápido, uma vez que não é necessário proceder à desarenação do fluido antes da betonagem da estaca;
- é possível obter uma ligeira melhoria no consumo de betão nas estacas escavadas com uso de lama polimérica;
- com o uso de polímero, o contacto betão-solo será mais “limpo” e a geometria do elemento de fundação mais perfeita.

Apesar de não se tratar de um exemplo prático perfeito, por falta de testes mais elucidativos quanto à qualidade final da estaca de fundação como são os ensaios de carga, esta análise de execução de diferentes elementos de fundação, escavados com diferentes fluidos, contribui para uma melhor antevisão dos resultados que se podem obter utilizando um ou outro fluido.

No entanto, com esta análise comparativa, não se pretende desvalorizar a lama bentonítica, pois esta continua a ter propriedades de grande importância para a estabilização de solos, principalmente a maior densidade e a tixotropia, que nesta obra demonstraram ser de grande ajuda. Pode-se então dizer, extrapolando para a generalidade de obras geotécnicas de fundação, que o uso de um fluido à base de polímero pode ter mais vantagens para além das ambientais, já evidenciadas neste trabalho. É possível, com este fluido de estabilização, se utilizado adequadamente, e em terrenos sedimentares com pouca intervenção humana (e.g. aterros), reduzir o tempo de execução de cada elemento de fundação, assim como, reduzir o consumo de betão, favorecendo uma economia nos gastos de obra.

Há ainda a referir que, uma vez terminada a obra de fundação, o fluido sintético restante foi adequadamente tratado *in-loco* e vertido sem qualquer tipo de risco ambiental numa linha de água próxima. Por outro lado, para a lama bentonítica foi necessário contratar uma empresa especializada para a sua recolha e tratamento.

8. Conclusões

Como principal constatação deste trabalho pode-se dizer que, como fluido de estabilização utilizado na área de fundações, o polímero é uma opção tão viável como a da lama bentonítica, capaz de obter os mesmos, ou até melhores, resultados relativamente à qualidade do produto final (estaca moldada ou parede moldada e betonadas *in-situ*). Ambos os produtos actuam de forma semelhante, tendo apenas como diferenças imediatas, no âmbito das respectivas características: a densidade, menor no polímero; e a tixotropia, propriedade apenas existente na bentonite.

Nas operações de estabilização de terrenos, como função principal dos fluidos, ambos revelam bons resultados. No entanto, está associada à lama polimérica um melhor desempenho, para condições de solo similares, na forma como o fluido interage com o solo e evita pequenos colapsos, havendo a possibilidade de conseguir elementos de fundação geometricamente mais perfeitos. Este melhor desempenho é fundamental na redução de consumo de betão necessário à execução dos elementos de fundação, bem como para a previsão de custos envolvidos.

Para além da redução no consumo de betão, o polímero, apesar de possuir um valor de mercado mais elevado que a bentonite, pode ser rentabilizado devido a outras melhorias nos gastos gerais de operação e execução em obra. No que respeita à operacionalidade, contribui com uma menor necessidade de equipamento, não sendo necessário à lama de polímero, o misturador ou o desarenador mecânicos. O tempo de preparação do fluido também é menor e, a cada elemento finalizado, é poupado o tempo de desarenação antes do preenchimento com betão, uma vez que o fluido polimérico se mantém mais limpo, através da decantação natural, sendo possível manter os seus parâmetros de qualidade adequados à betonagem.

No final, com um reaproveitamento eficiente do fluido, e se contabilizados todos os aspectos apontados é possível conseguir alta competitividade da lama polimérica em relação à lama bentonítica. Para além da redução de tempos de execução e de equipamento utilizado, é igualmente possível obter uma melhor qualidade do produto final, uma vez que, não existindo o “cake”, típico da lama bentonítica, e devido à alta sensibilidade química do polímero aos carbonatos de cálcio, o contacto betão-solo resultará mais limpo. Este resultado também pode contribuir para um melhor

desempenho das estacas moldadas, recorrendo a este fluido estabilizador, devido ao incremento alcançado na resistência friccional solo-betão, reproduzindo-se consequentemente, numa melhoria, tanto na resistência lateral como na resistência de ponta.

Falta ainda referir que existe o factor ambiental a ter em conta. A aplicação do fluido sintético em detrimento do mineral é considerada uma solução mais “ecológica”, pelo facto de este não apresentar riscos ambientais. Devido à sua alta solubilidade e possibilidade de degradação até ao ponto de completa eliminação, não existe a possibilidade da sua acumulação no meio ambiente. Por outro lado, o fluido mineral tem tendência a acumular-se, em contacto com o solo, e a formar áreas impermeabilizadas que alteram radicalmente as condições de percolação e drenagem naturais.

Considerando o risco ambiental que apresenta, quando deixa de ser necessária, a lama bentonítica tem o custo final acrescido, devido ao transporte e tratamento de eliminação, enquanto que a lama polimérica pode ser tratada e eliminada directamente em obra.

Apesar de ser uma alternativa bastante viável e com bastantes aspectos positivos, a lama sintética nem sempre é adequada a todo o tipo de situações, principalmente em casos de obra onde é necessário um fluido mais denso. Igualmente, situações com terrenos muito instáveis (tipicamente soltos e brandos), fazem com que se aumente o consumo de polímero e de grandes quantidades de aditivos, enquanto que para melhorar a estabilização da lama bentonítica basta, na grande maioria dos casos, aumentar a sua concentração.

De modo a se obterem os melhores resultados, em cada nova situação de obra de fundação, é fundamental ter em conta os estudos geotécnicos prévios, que revelam as condições de solo existentes, o que permite seleccionar o tipo de fluido com que será mais vantajoso trabalhar. Pode-se até mesmo chegar à conclusão que o uso de fluido não será a melhor alternativa, e ter de se recorrer a outra técnica de estabilização.

Referências Bibliográficas

- API 13A - "Specification for Drilling Fluid Materials"; American Petroleum Institute, Washington, D.C. 15th Edition, May 1993. Section 6 (OCMA grade bentonite).
- API RP 13B1 - "Recommended Practice for Field Testing Water-Based Drilling Fluids". American Petroleum Institute, Washington, D.C.. 3rd Edition, Nov. 2003.
- (ASME) American Society of Mechanical Engineers - Shale Shakers Committee; "Drilling Fluids Processing Handbook". Elsevier, Gulf Professional Publications. 2005. pp: 4-7, 56-57.
- BAILEY L. & KEALL M. - "Effect of Clay/Polymer Interactions on Shale Stabilization during Drilling"; Shale Stabilization by Polymers; Langmuir, Vol.10, N°5; American Chemical Society, 1994. pp: 1544-1549.
- BAROID; "Poly-Bore™ - Borehole Stabilizing Dry Polymer". Halliburton, 2008. Disponível em: www.baroidmud.com.
- BLEYFUSS, R. J.; - "Activation of Non-Swelling Bentonites"; Clay Mineralogy, 10. 1973. pp: 41-55.
- BOWLES, Joseph E. - "Foundation Analysis and Design" (5th Edition). The McGraw-Hill Companies Inc., 1996. pp: 820-826.
- BORCHARDT, John K. et al - "Chemicals Used in Oil-Field Operations". Oil-Field Chemistry, ACS Symposium Series, Chapter 1. American Chemical Society. Washington DC, 1989.
- BRANTLEY, J. E. - "History of Oil Well Drilling". Gulf Publishing Co.. Houston, 2007. pp: 38-47.
- CAENN, Ryen & CHILLINGAR, George V. - "Drilling Fluids: State of the Art" - Journal of Petroleum Science and Engineering 14; Elsevier; 1996; pp: 221-230.
- CALAVERA J. - "Cálculo de Estructuras de Cimentación", 3ª Edición. ITEMAC; 1991. pp: 13-16.
- CERNICA, John N. - "Geotechnical Engineering: Foundation Design"; John Wiley and Sons, Inc., 1995. pp: 420-426.
- CETCO, Construction Drilling Products; "Shore Pac®, Drilling and Mixing Guide". Disponível em: www.constructiondrilling.com.
- (CGS) Canadian Geotechnical Society; "Canadian Foundation Engineering Manual", 3rd edition. BiTech Publisher. Vancouver, 1992. 512 p.

- CLARK, R.K., SCHEURMAN, R.F., RATH, H. & VAN LAAR, H.G. - "Polyacrylamide/Potassium Chloride Mud for Drilling Water Sensitive Shales". J. Pet. Technol., 28(6), 1976. pp:642-651 (in CAENN & CHILLINGAR, 1996).
- COELHO, Silvério A. - "Tecnologia de Fundações", 1ª Edição. Edições E.P.G.E.. Setembro 1996;. pp: 24.1-24.15, 33.1-33.3, 38.1-40.8, 62.1-62.5, 65.1-65.36, 75.1.
- Decreto Lei nº 236/98, de 1 de Agosto; Diário da República 176/98 Série I-A; Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1998. Disponível em: www.dre.pt.
- (DPLP) Dicionário Priberam da Língua Portuguesa; Dicionário on-line. Disponível em: www.priberam.pt/DPLP.
- FANN Instrument Company; Product Information: "Marsh Funnel Viscometer". 2004. Disponível em: www.fann.com.
- FANN Instrument Company; Product Information: "Density Balances", "Sand Content". 2007. Disponível em: www.fann.com.
- FERNANDES, M. Matos - "Mecânica dos Solos", Volume 1. FEUP Edições, 2006. p. 450.
- FOLQUE, J. - "Fundações Superficiais". Inf. Téc. - Geotecnia 1, 3ª Edição; LNEC. Lisboa, 1996.
- (FPS) Federation of Piling Specialists; "Bentonite Support Fluids in Civil Engineering" (2nd Edition). January 2006. pp 1-5.
- (GEO) Ground Engineering Operations, Lda. (empresa); documentação interna de formação técnica da empresa; Lisboa, 2005 – não publicado.
- GRIM & GUVEN - "Bentonites: Geology, Mineralogy, Use and Physical Properties". Elsevier Publishing Company, 1978. 256 pp (in MURRAY, 2007)
- IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry); "Basic Classification and Definitions of Polymerization Reactions" – IUPAC Recommendations 1994. Pure and Appl. Chem., vol.66, nº12; 1994. pp. 2483-2486.
- (KB) KB International LCC; "The SlurryPro® CDP™ Synthetic System" – A technical discussion. 2001-2005. Disponível em: www.kbtech.com .
- LADEIRA, Fernando & GOMES, Luís Ferreira - "Paredes Moldadas – Uma Técnica ao Alcance do Pequeno Construtor". Geociências, Revista da Universidade de Aveiro, vol.5, fasc. 2; 1990. pp:129-134.
- LYONS, William C. et al - "Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering" (Volume 1). Gulf Publishing Company. Houston, Texas; 1996. pp: 650-674.

- LUCKHAM, Paul F. & ROSSI, Sylvia - "The Colloidal and Rheological Properties of Bentonite Suspensions". Advances in Colloidal and Interface Science, 82. Elsevier, 1999. pp: 43-92.
- (MDP) Mineral Data Publishing: "Montmorillonite". Version 1.2; 2001. Disponível em: www.handbookofmineralogy.org
- MELO, Sérgio Seixas de et al - "Química de Polímeros". Imprensa da Universidade de Coimbra, 2004.
- MURRAY, Haydn H. - "Applied Clay Mineralogy". Elsevier. Amsterdam, 2007. pp: 12-14, 50-59, 79-81 e 111-119.
- MUZÁS, Fernando Labad - "Mecánica de Suelos y Cimentaciones". Fundación Escuela de la Edificación. Madrid, 2007.
- NUÑEZ, David Becerra - "Lodos Tixotrópicos en Cimentaciones Profundas". Artículo de cimentaciones profundas en la Revista Obras Urbanas. Agosto 2007. pp: 32-40.
- PECK Ralph, B. et al - "Ingeniería de Cimentaciones", 13ª edición. Limusa, 2001. p.557.
- RADOJEVIĆ, Z. & MITROVIĆ, A.; "Study of Montmorillonite and Cationic Activators System Rheological Characteristic Change Mechanism"; J. European Ceramic Soc.; 27, 2007; pp: 1691-1695.
- RAJAPAKSE, Ruwan - "Pile Design and Construction Rules of Thumb". Elsevier Inc., 2008. pp: 15-35, 37-39.
- SAH, S. L. - "Encyclopedia of Petroleum Science and Engineering", Volume 7. Gyan Publishing House, 2003. pp: 13-15.
- SALAS, José A. Jiménez et al - Geotécnia y Cimientos III, Vol. 1; Editora Rueda. Madrid, 1980. pp: 1-480.
- SCHLUMBERGER, Oilfield Glossary; Glossário técnico ,on-line, da indústria do petróleo. Disponível em: www.glossary.oilfield.slb.com
- SCHULZ, D., et al. - "Polymers as Rheology Modifiers"; ACS Symposium Series. American Chemical Society. Washington DC, 1991. pp: 1-15.
- SPERLING, L. H. - "Introduction to physical polymer science", 3rd edition. Wiley-Interscience, 2001. p.671.
- SPFE/Brasfond, Sociedade Portuguesa de Fundações Especiais Lda. (Grupo Brasfond); "Estacas Escavadas Sem o Uso de Lama Bentonítica ou Polímero". Disponível em: www.spfe.com.pt
- (USGS) United States Geological Survey; on-line picture archive. Disponível em: www.usgs.gov

Websites de interesse:

- <http://pslc.ws/macrog/maindir.htm>
- <http://vulcan.wr.usgs.gov/LivingWith/VolcanicPast/Notes/bentonite.html>
- www.bauer.de
- www.brasfond.com.br
- www.bentonit.com.br/bentonitas.asp
- www.constructiondrilling.com
- www.estacas.com.br
- www.geosoil.com
- www.gosag.com
- www.liebherr.com
- www.mat-oa.de
- www.selwoodpumps.com
- www.sud-chemie.com
- www.wildenpump.com

Anexos:

A – “THE EFFECT OF DRILLING FLUID ON AXIAL CAPACITY, CAPE FEAR RIVER, NC”	78
B – “THE SLURRYPRO CDP SYNTHETIC SYSTEM”	84
C – TABELA DE DADOS DE ESTACAS	97

**ANEXO A – “THE EFFECT OF DRILLING FLUID ON AXIAL
CAPACITY, CAPE FEAR RIVER, NC”**

THE EFFECT OF DRILLING FLUID ON AXIAL CAPACITY, CAPE FEAR RIVER, NC

Dan Brown, Auburn University, AL, USA

Mike Muchard, Applied Foundation Testing, Green Cove Springs, FL, USA

Bud Khouri, TREVIICOS, Clearwater, FL, USA

Two drilled shaft foundations were subjected to axial load tests in order to measure the influence of drilling fluid on performance. Other than the differing drilling fluids, the shafts were constructed with great care to ensure identical conditions. The results indicate superior performance in both side shear and base resistance of the shaft constructed using a polymer over that of the shaft constructed using bentonite drilling slurry.

Introduction

The U.S. 17 Wilmington Bypass project includes a 9 km (5.5 mile) bridge over the Northeast Cape Fear River near the North Carolina coast. This bridge is currently under construction and, when completed will include over 500 drilled shaft foundations. The shafts range from 1.2 m to 2.4 m diameter and lengths typically ranging from 22 to 30 m to bear into a dense silty sand known locally as the PeeDee Formation. Although the NCDOT specifications only provided for construction using bentonite drilling slurry, subcontractor TREVIICOS proposed to use polymer fluids to construct the shafts. To gain acceptance for this alternate from the DOT, a load test program was performed on a pair of 1.2 m diameter drilled shafts constructed under identical conditions except for the drilling fluid.

Soil Conditions

Soil Conditions at the test shaft locations are composed of silty fine sands as indicated on Figure 1. The alluvial sands above -11 m are subject to scour during the design loading (includes hurricane conditions) and are not considered for design. Underlying these shallow sands are dense to very dense silty sands of the Pee Dee Formation. These sands are calcareous with lightly cemented layers and phosphate particles. Standard penetration test (SPT) values generally ranged from 50 to 100 blows/30cm (b/f).

Construction of Test Shafts

Two test shafts were constructed at locations about 6 m apart. The shafts were constructed with care so as to produce identical conditions except for the

differing drilling fluids. Test shafts were full size at 1.22 m diameter and 24 m length, and constructed under conditions identical to those proposed for production shafts on the project.

A schematic diagram of the test shafts is illustrated on Figure 1. Each shaft was constructed using a permanent steel liner to elevation -13.8 m, as specified for production shafts. The test shafts also utilized a larger diameter isolation casing to elevation -10.8 m to separate the scourable overburden materials through this zone.

The test shafts were constructed using a SoilMec R-825 hydraulic track mounted drill rig. The excavation within the bearing formation was made using a drilling bucket with soil cutting (spade type) teeth that extended to a width beyond the diameter of the bucket. The base of each shaft was cleaned using a flat bottom bucket, followed by a hydraulic pump. Following cleanout, the base was inspected using a downhole camera and sediment measurement system (miniature shaft inspection device, or mini-sid, Figure 2). Shaft bottom cleanliness was controlled to have less than 12 mm of loose material the base. Both shafts were cleaned to near identical conditions. In addition, the consistency of the bearing materials was checked by performing an SPT at the bottom of each shaft. SPT values were 41 and 52 b/30cm (b/f) for the polymer and bentonite shafts, respectively. Soil conditions during drilling appeared identical for the two shafts.

The polymer slurry used was a liquid polymer manufactured by KB Technologies with a density of 1.01 kg/m³, marsh funnel viscosity of 65 s/.95l (65 s/qt), pH=10.5, sand content of 1%. The bentonite was Baroid Aquagel with a density of 1.05 kg/m³, marsh funnel viscosity of 35 s/.95l (35 s/qt), pH=9, sand content of 0.5%.

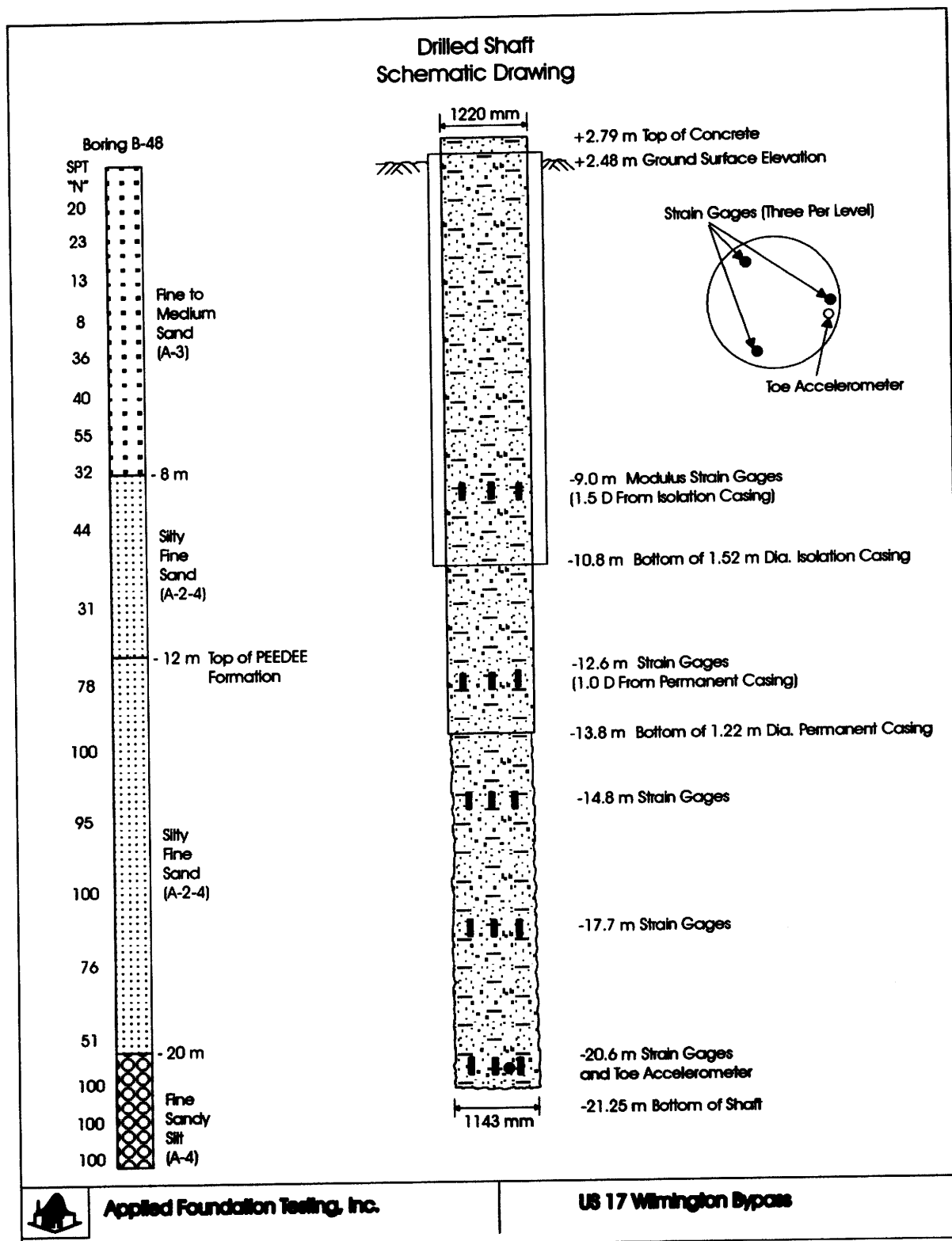


Figure 1 Soil and Test Shaft Conditions



Figure 2 Mini SID Device for Inspection Of Shaft Base Conditions

In order to keep the construction time constant between the two test shafts, each shaft was drilled, cleaned, and poured during a single 12 hour construction period. Concrete met the standard NC drilled shaft requirements with 31 MPA compressive strength (4500 psi), slump of 183 to 222 mm (7 to 9 inches) and 19mm (3/4 inch) maximum aggregate size. The rebar cage was the same as for production shafts except for the additional strain gauge instrumentation. Longitudinal bars were epoxy coated (green), with 20 #36(metric) bars with approximately 133 mm clear spacing (5 inches). Spirals were SP-1 type (cold drawn wire type, not rebar) with metric designation #16 at 125mm (5 inch) pitch. Four 50mm diameter steel tubes were included within the cage for crosshole sonic logging (CSL).

Concrete volume measurements on the two shafts were near identical and within 4% of theoretical volume for both shafts. CSL tests after completion of the test shafts indicated good quality concrete for the full length of the shafts.

Test Setup and Instrumentation

Axial load tests were conducted using the rapid load test method utilizing a statnamic device, shown on Figure 3. This device is capable of applying downward load to the top of the shaft of up to 18 MN (2000 tons). A mechanical catching mechanism allowed multiple load cycles to be applied in a quick and efficient manner.

Instrumentation included sister-bar mounted strain gauges at the elevations shown on Figure 1. The strain gauges are included to provide determination of base and side shear resistance. The sister bars included full bridge resistance type strain gauges. The full bridge (four active gauges) provides stable strain measurements to a precision of less than ½ microstrain and inherent temperature compensation. The resistance gauges allow high frequency data logging during the rapid load testing. A base accelerometer was also included to allow direct measurement of motion at the shaft base.

As is typical with the rapid load test setup, load was measured with a calibrated load cell and displacement was measured with a photo-voltaic sensor triggered by a stationary laser reference. Three capacitive type accelerometers provide redundant measurement of displacement and also measure any eccentricity at the shaft head.

A high speed data acquisition was used to monitor all instrumentation with a measurement frequency of 5000 samples per second. Traditional survey was performed before and after each test to provide a check on permanent displacements.



Figure 3 Statnamic Rapid Load Test Device

Test Results

The axial load tests were conducted 12 and 20 days after completion of construction of the polymer and bentonite test shafts, respectively. All of the instrumentation performed very well and redundant measurements provided excellent agreement. The uppermost strain gauge measurements provided calibration of the concrete modulus for interpretation of axial forces from the strain data. All of the gauges worked well and indicated very little eccentricity in the shafts. These measurements suggest that relatively uniform base resistance was mobilized during the test loading. Overall static load vs deflection response is provided on Figure 4. The derived static forces were determined from the statnamic test measurements using the segmental unloading point method (Mullins et al, 2002). Note that two cycles of load were applied to the polymer shaft in order to mobilize capacity at higher displacements (consistent with the FHWA failure criteria of displacements equal to 5% of the shaft diameter).

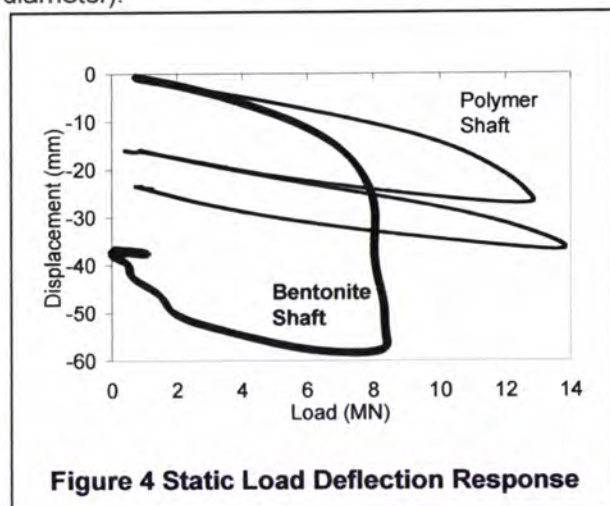


Figure 4 Static Load Deflection Response

The polymer shaft mobilized a maximum static capacity of 13.8 MN (1550 tons) at a deflection of 37 mm (1.5 inches), and a total permanent displacement of 24 mm (1 inch). The bentonite shaft mobilized a maximum static resistance of 8.4MN (940 tons) at a deflection of 58 mm (2.3 inches). Note that the load vs deflection curve appears to plateau at a displacement of around 25 mm (1 inch).

The strain data provide a measure of the mobilized base resistance and the mobilized average unit side shear resistance in the Pee Dee Formation, as indicated on Figures 5 and 6. The deflections for the base movements are computed from measurements

with adjustments for elastic shortening of the shaft based upon strain measurements. The displacements shown for the side shear curves are average relative displacements for that shaft segment. Maximum unit values are summarized on Table 1.

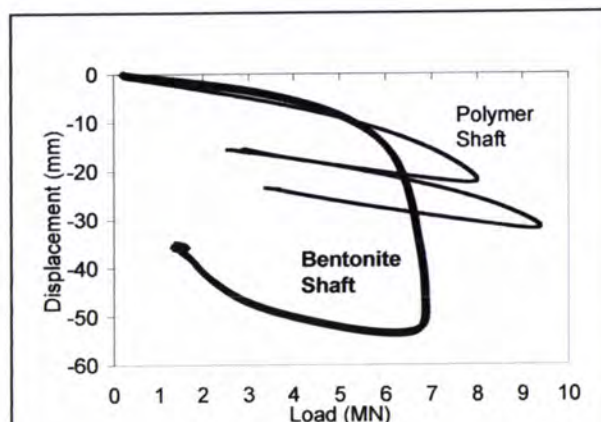


Figure 5 Base Load Deflection Response

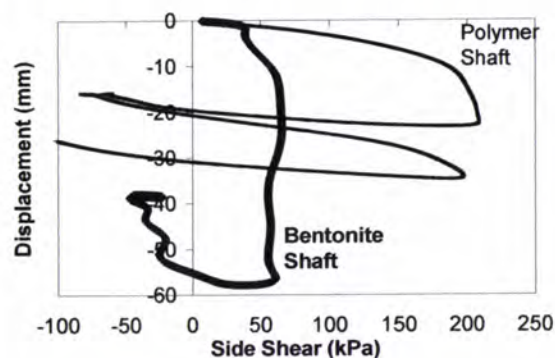


Figure 6 Side Shear Load Deflection Response

The base resistance curves show significant residual forces after loading, which are reflected in the termination of the test at nonzero load magnitude in the base. These residual forces are indicated in the side shear by negative residual side shear stresses as the side resistance acts to "hold down" the shaft base after unloading. Note also that most of the side shear is mobilized at around 10 to 15 mm ($\frac{1}{2}$ inch) of displacement. The base resistance of the bentonite shaft appears to plunge at around 15 to 20 mm ($\frac{1}{2}$ to $\frac{3}{4}$ inch), or between 1% and 2% of the shaft diameter. The base of the polymer shaft was loaded to a maximum of around 2.5 % of the shaft

diameter and showed no indication of plunging failure at that point.

The differences in unit side shear between the two shafts are substantial, with the polymer shaft mobilizing approximately three times larger unit side shear than the bentonite shaft. This trend is consistent with that noted by Brown (2002) for silty soils in the Southeastern Piedmont Formation. In that study the bentonite was observed to leave a thin residual film at the shaft/soil interface in silty soils, even with limited exposure times.

The higher base resistance for the polymer shaft was somewhat surprising, in that the SPT resistance at the bottom of this shaft was slightly lower than for the bentonite shaft. Both shafts show good bottom resistance curves with no indication of soft material present. It seems plausible that an increase in bond between the concrete shaft and the bearing formation could contribute to an increase in base resistance, but the magnitude of the differences observed in these two shafts appears larger than would be expected from surface bond differences alone.

Summary and Conclusions

Two instrumented test shafts were constructed under identical conditions except for the use of bentonite drilling slurry in one shaft and polymer slurry in the other. The results of the load testing program indicate a three fold increase in side shear resistance in the dense silty sands for the shaft constructed with polymer over that of the shaft with bentonite. This difference is thought to be due to improved bond at the shaft/soil interface. The base resistance was also higher for the polymer shaft, although the difference appears to be larger than can be logically attributed to improved bond at the interface.

References

MULLINS, G., LEWIS, C., and JUSTASON, M.D. 2002. Advancements in Statnamic Data Regression Techniques. ASCE Geotechnical Special Publication 116, pp. 915-928.

BROWN, D, 2002. Drilled Foundations in Piedmont Residual Soils: Effect of Construction on Axial Capacity, accepted for publication, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE (to be published in Dec., 2002)

Table 1 Unit Side Shear and End Bearing Load Transfer Summary		
Shaft Location	Polymer	Bentonite
-9.8 to -14.8 meters	33 kPa @ 12 mm	10 kPa @ 12 mm
-14.8 to -20.6 meters	208 kPa @ 23 mm	65 kPa @ 23 mm
End Bearing	8,970 kN @ 32.1 mm	6,572 kN @ 32.2 mm 6,754 kN @ 58.4 mm

ANEXO B – “THE SLURRYPRO CDP SYNTHETIC SYSTEM”

A Technical Discussion

The SlurryPro® CDP™ Synthetic System



Technology to Build On™

The SlurryPro® CDP™ System

Description and Function

SlurryPro CDP is a water-soluble vinyl polymer in an innovative easy-mixing dry granular form. SlurryPro CDP is designed for preparation of viscous earth-stabilizing fluids or slurries for a variety of excavation techniques including drilling, trenching and walling applications in the geoconstruction industry.

Application

SlurryPro CDP polymer is recommended for the following construction applications:

- Drilled Shafts/Bored Piles
- Diaphragm Walls
- Tieback Anchors
- Tunneling/Horizontal Drilling
- Slurry Trenching

Performance

High-performance products yield multiple benefits which improve construction economics in many ways. SlurryPro CDP's high performance saves time and money while improving construction quality and reducing defects.



Above: Hydrocutter operating on the Boston Central Artery Project along active rail tracks at North Station.

- Highly concentrated. Very small quantities required.
- Controls fluid loss in sands and gravels. Stabilizes excavations.
- Reduces chipping and cleaning of poured concrete.
- Improves productivity of machines and crews.
- Requires less mixing/processing equipment, reducing capital investment, job site congestion and fuel costs.
- Unlimited storage life (other polymers can degrade in storage before they are used).
- Reduces or eliminates disposal costs. Product is environmentally safe.
- Reduces transport costs and storage space requirements.

SlurryPro CDP polymer replaces bentonite at ratios ranging between 1-to-50 and 1-to-200 in typical applications. This means that 20 pounds (10 kg) of SlurryPro CDP can replace one-half to two tons (500 to 2000 kilos) of bentonite.

SlurryPro CDP mixes readily with water and requires no special mixing equipment. Small quantities of SlurryPro CDP can rapidly create a viscous soil-stabilizing slurry.

SlurryPro CDP stabilizes loose sands, clays, and water-sensitive formations. SlurryPro CDP fluids cohesively bind excavated soil solids together, facilitating their removal from the excavation and preventing them from dispersing into the slurry. SlurryPro CDP maximizes spoil loading on augers and in grabs, increasing excavation rates. SlurryPro CDP makes it



possible to slurry-drill with augers, even in sand and gravel, often eliminating the need to use a bucket. This feature can reduce drilling time, increase productivity and reduce slurry wastage.

SlurryPro CDP slurries are non-gelling, even at high viscosities. This property facilitates settling of fines and maintenance of a clean fluid. Sand settles readily to the bottom of the excavation and can be easily removed. Mechanical desanding is not required. Unlike bentonite slurries, which tend to suspend sand and require



Performance, continued:

mechanical desanding, SlurryPro CDP slurries are self-cleaning by gravity sedimentation. The addition of dilute SlurryPro MPA™ or ImPac™ to a SlurryPro CDP system enhances the agglomeration, or gluing together, of dispersed particles for accelerated sedimentation. This facilitates cleaning of the fluid and of the excavation toe.

SlurryPro CDP, and most of the Vinyl System's additives, can be mixed directly in the borehole or excavation when desired. This can be helpful in successfully excavating through problematic granular soils such as loose sand, gravel, cobbles and other unstable formations. SlurryPro CDP is highly efficient, requiring small quantities of product to prepare large volumes of slurry. Operating efficiency of SlurryPro CDP can exceed by a factor of five the performance of competitive liquid polymers.

In addition to providing superior viscosity development, SlurryPro CDP polymer's membrane development and adhesion characteristic improve loading and removal of spoil, stabilize excavation walls and



Above: SlurryPro CDP being added directly to a bored pile in Bangkok.

improve skin friction in bored piles. Diaphragm wall panels are smoother and require less finishing work.

Because SlurryPro CDP is highly concentrated, its higher level of performance provides greater economy and simplified storage and handling.

SlurryPro CDP also provides excellent control of fluid loss to permeable sands and granular formations by plugging and sealing pore spaces and voids with a Gel Membrane™ seal formed by the polymer within the walls of the excavation. This is a unique and valuable feature of SlurryPro CDP, which can dramatically reduce slurry consumption and operating/production costs while improving soil stability. Gravel and cobbles can be handled by adding KobbleBlok™ to the SlurryPro CDP system.

Formations as challenging as clean cobbles in the Pacific Northwest of the United States to highly channelled corals in Miami Florida are able to be successfully excavated through with true fluid loss control as seen at the top of the next column.

SlurryPro CDP lubricates excavating tools, reducing friction and wear. This allows increased operations time even with hydro-cutter.

Proven Performance Advantages

SlurryPro CDP polymer system's have been shown, in definitive laboratory research and in numerous full-scale load tests and construction projects, to provide the following advantages over bentonite slurries:



- Greater frictional load bearing capacity (skin friction) in bored piles; higher success rate on load tests.
- Significantly increased concrete to rebar bonding capacities.
- Cleaner, harder top surfaces on concrete in bored piles and

The SlurryPro® CDP™ System

diaphragm walls; virtually eliminates cleaning, chipping and dressing.

- Cleaner, smoother exposed diaphragm wall surfaces.
- Tighter joints between wall panels; improved water tightness.
- Increased tension loading achieved in tieback anchors.
- Sea water tolerant.
- Improved recyclability and re-usability.
- Cleaner, more manageable sites.
- Drier, cleaner, firmer spoil which can be used for fill.
- Simplified disposal.

When all of the SlurryPro System's advantages are taken into consideration and their economic impact is understood, it becomes clear that SlurryPro CDP is the technology that will replace both mineral and conventional polymer slurries because neither slurry technology cannot remain competitive. Numerous foundation contractors, including some of the largest and most respected companies in the international industry, have adopted this new technology after trying it on critical, high-profile jobs where efficient performance was required to meet schedules and make a profit. In some cases, the CDP Vinyl System has been tried only after repeated load test failures in problem soils with bentonite or conventional polymer systems, and in every case the CDP Vinyl System has shown much better results. Removing uncertainty on excavation stability, concrete overbreaks, load tests and keeping projects on schedule translates into large monetary savings and reduced liability.

SlurryPro's Impact on Concrete Interfaces.

One of the most visual benefits of the SlurryPro CDP Vinyl System is its dramatic improvement in concrete interfaces and reduced concrete overbreak rates. The reduction in concrete overbreak rates is due in part to the clean, uncontaminated concrete interface eliminating the need to over pour excavations with several cubics of concrete to insure the absence of bentonite contamination. The improvement is also due in part to improved excavation stability which yields more gauge excavations. These factors combine to yield significant reductions in concrete consumption and thereby concrete expenditures.

The following photographs clearly illustrate the improvement in concrete interfaces when utilizing the CDP Vinyl System.

More importantly then the reduction in concrete consumption, or cost, is the very significant reduction in preparation costs for the connection of the foundation system to the superstructure. The reduction in chipping or surface preparation of the foundation element may yield projects savings that more than compensate for the cost of the entire slurry system.

The CDP System's Impact on Equipment Requirements is Remarkable

The equipment requirements for SlurryPro CDP Vinyl System are far simpler than those required for mineral slurries (e.g. bentonite) to the extent that vibrating screens

and cyclonic desanders are not required. Mixing apparatus is also simpler than for bentonite, because of the ease with which CDP polymer can be mixed into flowing water



Top: A typical bentonite diaphragm wall covered with contaminated Bentonite / Concrete.

Center: A panel completed with the CDP Vinyl System on the same project just a few panels away.

Below: A 12 ft. diameter pile dug in water sensitive clay with the Vinyl System.



Impact on Equipment Continued:

without forming lumps. A sloping pan over which a water flow is directed into a standard tank takes the place of a bentonite mixer. Typical recirculating bentonite mixers, which can prepare one or two cubic meters or yards of slurry at a time, can require many hours to prepare significant volumes of slurry, which must be aged to achieve full hydration. By contrast, a simple 6 cubic meter agitated tank can be used to prepare 20 to 60 cubic meters or yards of SlurryPro CDP slurry in a matter of minutes, and the slurry can be used immediately.

One or two sedimentation tanks or pits take the place of mechanical desanding plants. Holding the fluid recaptured from a hole or panel for a short period of time in sedimentation tanks allows the CDP fluid, which is non-gelling, to be cleaned by gravity. Any sand and silt which did not settle in the excavation will instantaneously settle in the sedimentation tanks and can be cleaned out intermittently.

The photographs of a bentonite plant operating a hydrocutter, or hydrocutter in water dispersible formations compared with a SlurryPro CDP System plan operating under the same parameters at flow rates of up to 1500 gal/min. clearly demonstrate numerous advantages associated with the SlurryPro CDP System.

The SlurryPro CDP Vinyl System has been utilized continuously for the past six years on the Boston Central Artery Project on both hydrocutter, hydraulic grab, and conventional mechanical grab walls.

KB's System in Boston



Competitive Bentonite System



Mobility and simplicity speak for themselves!

It has been utilized on major sections of the Artery Project ranging from the far northern Leverett Circle / North Station area to the Callahan Tunnel . State Street area to the Southern Fort Point Channel site. The System has also been utilized on significant expansions of Boston's Mass Transit System or MBTA System including the construction of the new Super Station facility next to North Station.

The SlurryPro CDP System has also been utilized to construct significant portions of the Taipei MRT, Singapore MRT, and Bangkok MRT. Additionally, many of the worlds largest structures rest on walls constructed with KB's CDP Vinyl System. Many of these walls have been quite deep and in adverse conditions. The photograph below is of a deep wall constructed in Keoshung Taiwan in sands, cobble and sea water conditions. Note that this is the bottom section of the cage, or half the total depth of the excavation.



The SlurryPro® CDP™ System

The Importance of Dosage on Excavation Stability

SlurryPro CDP polymer is mixed with water at dosage rates ranging from 0.3 to 1.5 kilo per cubic meter (2.5 to 8.3 pounds per 1000 gallons, or 0.5 to 1.7 pounds per cubic yard) for most applications. Higher dosage rates are used to stabilize loose or coarse granular soils or to excavate in sea water environments.

Data from field tests and laboratory research show that higher CDP doses and viscosities yield higher perimeter load shear or skin friction values than do lower doses and viscosities. In general, Marsh Funnel Viscosities of 55 or greater are desirable for best soil stabilization and highest perimeter load shear. Lower viscosities (30 to about 45), while functionally effective in some soils, generally provide lower levels of overall performance and operating economy.

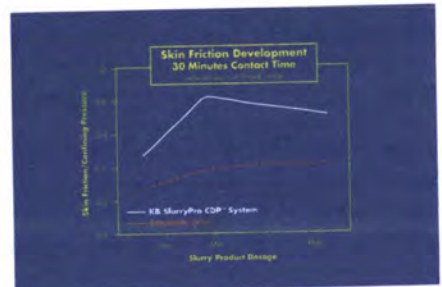
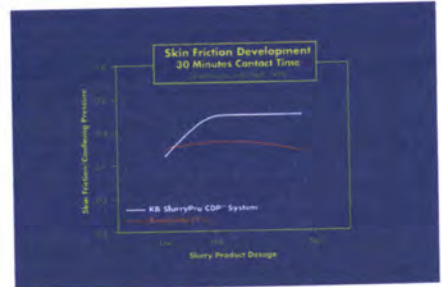
The CDP Slurry System adds cohesion, or a chemical grouting effect, to low cohesion porous soils. This chemical grouting effect dramatically improves the formations strength and stability. This allows the CDP Vinyl System to be utilized in soil conditions previously thought too challenging for slurry technology and requiring temporary casing. An extreme example of the chemical grouting effect of KB's CDP System is presented below where a sugar sand formation excavated with conventional polymer has collapsed. The surface casing was extracted, the pile backfilled



with the excavated spoils and then redrilled the same day with KB's CDP System and an auger.

The Importance of Dosage on Skin Friction

The superior perimeter load shear and excavation stabilization qualities of the SlurryPro CDP Vinyl System were clearly documented in a three year study conducted by Dr. Mike O'Neill and Dr. Edmundo Majano at the University of Houston.



Above: Three model bored piles from the U of Houston Study poured after 24 hrs. of excavation open time show perfect geometry.

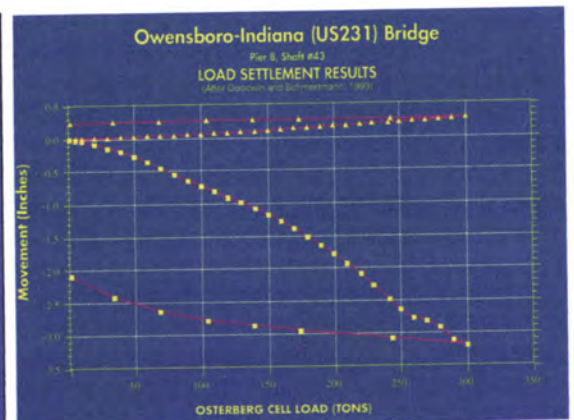
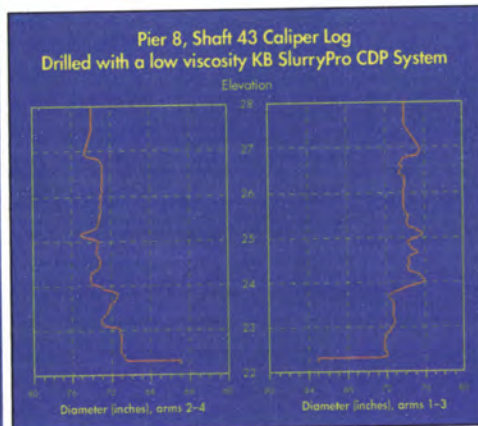
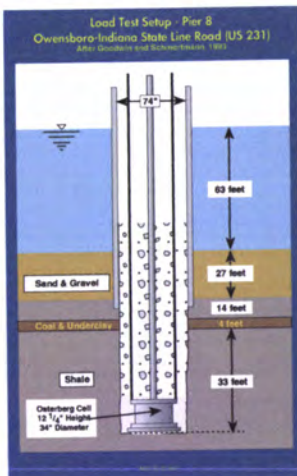
A Real World Look at the Importance of Dosage on Skin Friction

The four large graphs on the adjacent page show results from load tests and borehole calipers for two bored piles constructed on the Ohio River near Owensboro, KY, U.S.A. Both shafts were slurry-drilled with the CDP Vinyl System into a weathered, hydratable clay-bearing shale which was subject to softening on contact

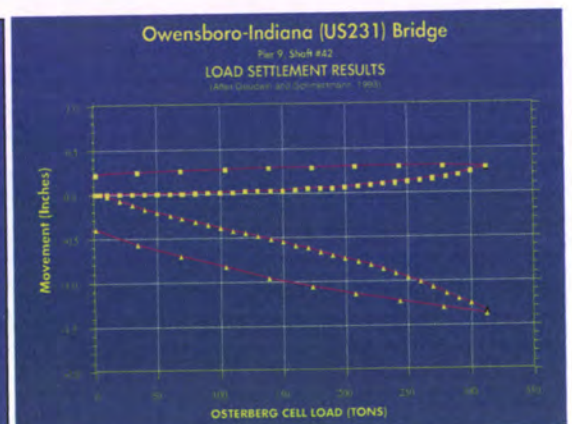
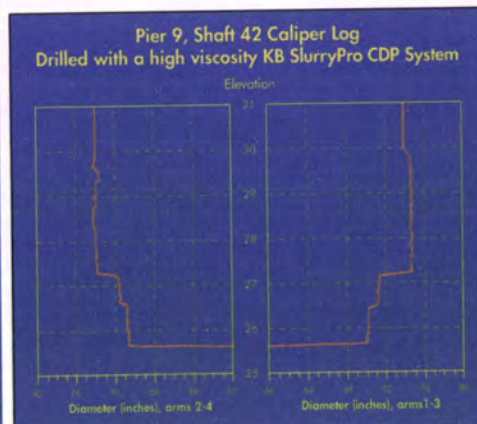
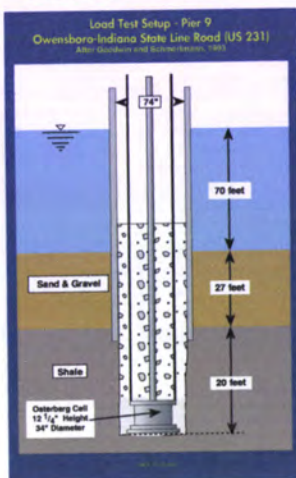
with water or slurry. Shaft 43 at Pier 8 was drilled with a low-dose CDP slurry with viscosity near 40. Shaft 42 at Pier 9 was drilled with a higher dose CDP slurry with viscosity near 60, in accord with KB recommendations. The load-settlement curves and caliper logs show that the high-dose CDP slurry produced a more geometrically correct shaft with superior capacity.



Pile No. 8 Run at an Average Marsh Funnel Viscosity of 40 Seconds



Pile No. 9 Run at an Average Marsh Funnel Viscosity of 60 Seconds



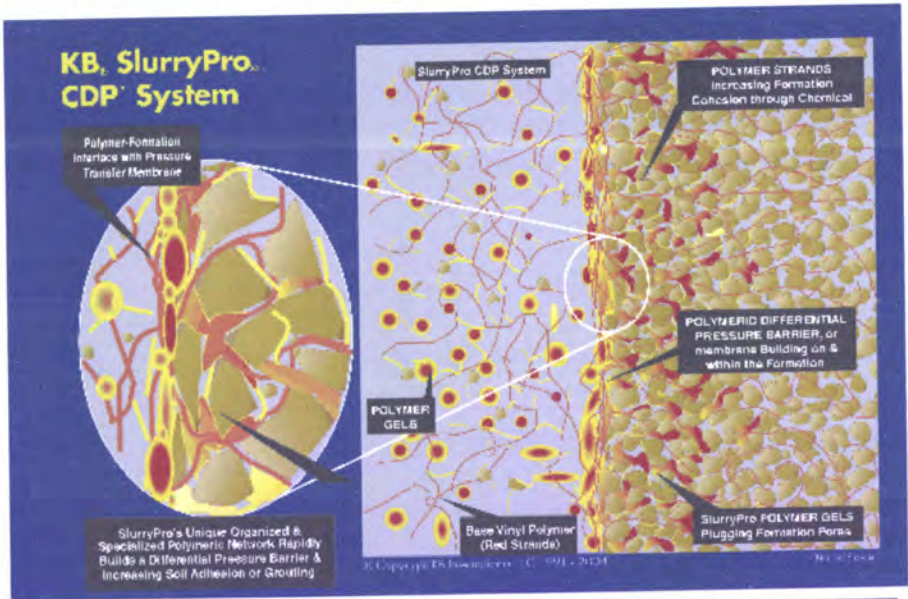
The SlurryPro® CDP™ System

How SlurryPro CDP's Vinyl Gel Membrane Technology Works

In permeable soils, especially sand and gravel, SlurryPro CDP penetrates the soil surrounding the excavation with a high-viscosity gel fluid, which becomes immobilized in the pore system of the soil due to the unique chemical and physical properties of the fluid. Millions of small "microgels" and an organized microfilament system lodge in and span across soil pores. This microgel-and-microfilament-reinforced fluid acts to seal the walls of the excavation without depositing a conventional filter cake on the soil face, as is the case with mineral slurries (e.g. bentonite). Due to the electrochemical activity of the polymer fluid, it acts as a soft grouting additive within cohesionless soils, effectively "gluing" the grains of soil together during the excavating process. Thereby, allow even cohesionless soils to be stabilized and excavated under the CDP System.

This relatively thin zone of gel-permeated, cohesion-enhanced soil surrounding the excavation is the Gel Membrane™, or pressure transfer vehicle. Due to this membrane's high fluid loss control characteristics coupled with its grouting

effects allows the CDP membrane to achieve significant levels of positive hydrostatic pressure exerted from the slurry column to the walls of the excavation, insuring support of the surrounding formation. In mineral slurries this function is served by the clay filter cake which is deposited on the face of the excavation. But the clay filter cake can reduce skin friction by interfering with concrete/soil bonding, and has none of the adhesive properties of the SlurryPro CDP Gel Membrane. With other types of polymer slurries, stabilization of granular soils is relatively poor because the polymers have no mechanism of controlling fluid loss (the uncontrolled permeation of the polymer fluid into the soil). A SlurryPro CDP System combines all the benefits of each competitive system while eliminating their negative impacts.



Double Concrete's Bonding Capacity to Rebar vs. Bentonite!

The rebar bonding performance of the SlurryPro CDP System offers great advantages over conventional bentonite. In independent testing overseen by Caltrans and the FHWA, KB's CDP System has shown virtually double the performance results as bentonite and essentially the same bonding capacity as water soaked rebar.

Tensile Strength Data

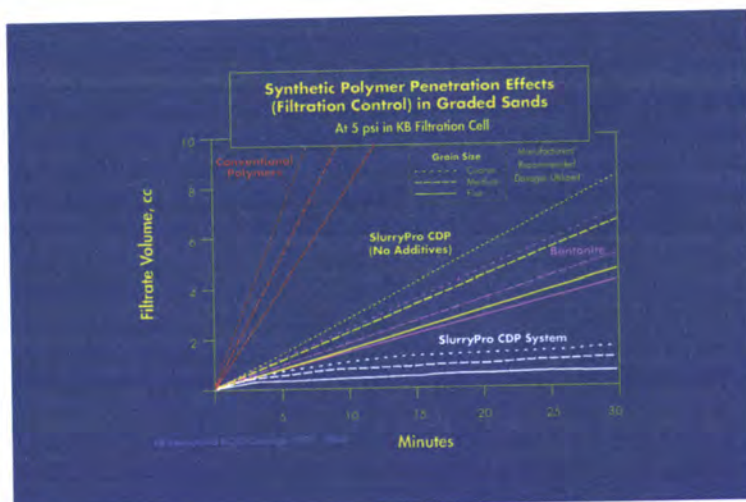
Slurry Product	Water	Bentonite	PHPA	SlurryPro Vinyl	Water	Bentonite	PHPA	SlurryPro Vinyl
Concentration	N/A	50.0 g/L	2.86 g/L	1.0 g/L	N/A	50.0 g/L	2.86 g/L	1.0 g/L
Marsh Funnel Value	26	40	63	70	26	40	63	70
Viscosity sec/qt								
Tensile Load, Lbs.				Tensile Load, Lbs.				
7 - Days				28 - Days				
1	4,900	1,900	3,180	4,200	4	4,950	2,350	4,020
2	4,500	2,100	3,460	3,750	5	5,200	2,200	3,560
3	5,200	2,100	4,260	5,400	6	5,060	2,150	3,420
Average	4,870	2,030	3,630	4,450	Avg.	5,090	2,230	3,870
								4,470
								4,700
								4,780
								4,670

A Comparison of the Three Major Slurry Technologies

The importance of fluid loss control and the maintenance of positive differential pressure against the formation sidewall can not be stressed enough. Apart from the lack of fluid loss control causing excavation enlargement or collapse as illustrated on page 6, increased fluid loss results in significantly increased consumption of slurry materials. Therefore, it is important to be aware of a number of factors prior to choosing a slurry technology solely on its cost per pound or kilo.

Professional Engineering Service and Support

The SlurryPro CDP Vinyl System is supported by the technological know-how and comprehensive service capability of KB International, the leader in synthetic slurry and earth stabilization technology. KB offers a complete service, starting with analysis of geotechnical borings and continuing through site-specific slurry formulation, cost estimating, equipment selection, slurry plant design, and on-site supervision as required.



Concrete Mixed with the SlurryPro CDP Vinyl System Demonstrates Increased Concrete Compressive Strengths!

After extensive independent testing under the direction of Caltrans and the FHWA analyzing the impact of SlurryPro CDP System's on the compressive strength vs bentonite and water it is clear that there is no detrimental effects. In fact, the concrete mixed with SlurryPro CDP has a higher integrity than that mixed with water.



Compressive Strength Data

Slurry Product	Water	Bentonite	SlurryPro Vinyl
Concentration	N/A	50.0 g/L	1.0 g/L
Marsh Funnel Value	26	40	70
Viscosity sec/qt			

Water	Bentonite	SlurryPro Vinyl
N/A	50.0 g/L	1.0 g/L
26	40	70

Compressive Strengths, psi

Compressive Strength, psi

7 - Days

1	5,070	5,480	5,360
2	4,940	5,360	5,380
3	5,005	5,420	5,420

28 - Days

4	5,720	6,480	6,460
5	5,860	6,620	6,440
6	5,790	6,550	6,450

The SlurryPro® CDP™ System

Unaffected by Seawater and Other Harsh Environments

Sea water is often present in the ground in coastal or beach areas. Some soils contain layers of gypsum or marl (calcium-bearing deposits which are white, pink or gray in color). All of these soil or ground water conditions can negatively affect the performance of conventional slurries. KB International's SlurryPro CDP Vinyl System is unaffected by seawater. In fact, seawater has been utilized as the make-up water for the CDP Slurry System on several projects including the Richards Bay Port expansion (see opposite page), Leverett Circle and Fort Point Channel on the Boston Central Artery project.



Organic contaminants such as gasoline, diesel oil, hydraulic oil, and other similar hydrocarbon liquids, which are frequently found in the soil on industrial or hazardous-waste sites, normally have no effect on SlurryPro CDP systems. These hydrocarbon liquids are immiscible with CDP, and the small amounts liberated by excavating will normally float to the surface of the fluid in the excavation. Most of the volume of such liquids, if present in the soil being excavated, will remain in the soil due to the hydrostatic overbalance pressure exerted by

the column of CDP slurry in the excavation.

If large quantities of hydrocarbons or solvents are encountered in excavated soil and are carried to the surface plant with the CDP Slurry System, appropriate environmental absorbent materials may be placed on the slurry tank to significantly reduce the quantity of hydrocarbon or solvent present. This practice has been utilized on contaminated soils on the Boston Central Artery.

Environmentally Friendly

SlurryPro CDP fluids are non-toxic and are readily degradable to facilitate disposal. Because SlurryPro CDP contains no oil, it is environmentally cleaner than liquid emulsion polymers (PHPA, or partially-hydrolyzed polyacrylamides). SlurryPro CDP is high-purity, high-performance Dry Vinyl™ synthetic polymer. In contrast, liquid emulsion PHPA polymers typically contain less than 30% active polymer, up to 35% refined hydrocarbon oil, 3% to 5% surfactants (detergents and emulsifiers), and 30% to 35% water.

In many cases, used SlurryPro CDP fluid can be readily disposed of on-site without treatment. SlurryPro CDP fluids can be further broken down to facilitate disposal or cleanup by treating with Klean-Break™. This "kills" the polymer and reverts the slurry to water. Treated fluids are environmentally safe when handled as directed.

Disposal methods vary from area to area. Although SlurryPro CDP slurries are considered non-hazardous, local, state and federal

regulations must be adhered to with regard to handling and disposal. In many cases the spent slurry can be disposed of on-site or into nearby drains or watercourses with an appropriate permit.

KB and contractors utilizing SlurryPro polymer systems have obtained disposal permits and have disposed of residual CDP-based slurries in a number of locales. These include areas with stringent environmental controls in the U.S.A. such as: Puget Sound (WA); tributaries of the Columbia River (WA, OR); the Salt River (AZ); Boston Harbor (MA); Ohio River (KY, IN); Red River (OK, TX); and several California cities including Long Beach and San Diego. KB has also obtained clearance from the Singapore Department of the Environment for direct discharge to sewers and bodies of water throughout the Republic of Singapore.

The photographs below show a large pier being constructed in Richards Bay South Africa. The specifications for bentonite required that all excavated spoils be captured and hauled to a certified landfill. KB and the contractor petitioned the South African Environmental Authorities for approval for the use of the SlurryPro CDP System to ease environmental impact potential. *In fact, we were successful in*





obtaining certification to directly release all spoils and residual CDP Slurry directly into the bay saving the contractor millions of dollars. Excavated spoils being directly disposed of into Richards Bay



A bridge being constructed over Cedar Creek. A highly protected Salmon spawning tributary to the Columbia River.



Looking down Scenic Cedar Creek.



A close-up of broken down SlurryPro CDP being released to the Creek.



Alternative Methods for Slurry Disposal

Residual CDP slurry is an excellent and non-toxic dust control agent for construction sites and dirt roads. It can be applied by transferring residual slurry (without chemically breaking it down) to a tank truck fitted with spray bars. The truck then distributes the slurry over the surface of a site or road by spraying. A thin layer of vinyl polymer slurry binds the soil together and dries rapidly, to suppress dust. Using slurry as a dust control agent is a productive and economical way to use a non-toxic waste product to reduce airborne dust pollution.

For more detailed information on mixing, handling and disposing of SlurryPro CDP fluids, please contact your KB International representative or review our technical bulletins on various topics related to the use of the product.

Human Exposure

A SlurryPro CDP Vinyl System, when run under recommended specifications, has no known adverse effects to humans. Divers have even worked immersed in the Vinyl System for prolonged periods and with multiple exposures over days and weeks for various rea-



sons with not reported or observed adverse reactions, including dermatitis or skin rashes.

Numerous KB employees have been exposed to the SlurryPro Vinyl System on virtually a daily basis for up to seven years with no reported or recognized adverse health impact.

For More Information...

Additional information on all aspects of the SlurryPro CDP System is available from KB International on request. Standard Operating Procedures provide detailed recommendations for the use of the system in bored piles, diaphragm walls, and other applications. An extensive library of technical information, toxicological and environmental information, case histories and comparative load testing are available on the KB SlurryPro product line.

Packaging

SlurryPro CDP is available in convenient 10 kilo (22 pound) resealable pails. 25 kilo (55 pound) bags are also available. All additives are available in small resealable pails and in 25 kilo or 55 gallon, 200 liter drums.

Legal Compliance

Users of our products are responsible for compliance with all government regulations and disposal laws. KB recommends broken down slurry is discharged to local municipalities whenever possible.

The SlurryPro System is covered by the following US Patent's, 5,407,909; 5,663,123; and 6,248,697 and various corresponding International patents. Other U.S. and International patents pending.

The SlurryPro® CDP™ Earth Stabilization System™



The SlurryPro Vinyl System:

SlurryPro® CDP™
SlurryPro MPA™
SlurryPro LA-1™
SandSeal® MMS™
ProTek® 100

Advanced SlurryPro Vinyl Additives:

InstaFreeze™
InstaFreeze C-2
WeightIt™
SeaDrill®
KobbleBlok®
ImPac™
KnockOut™

Introducing KB's Next Generation in Slurry Technology:

Raising the Standards to New Levels of Simplicity and Quality Assurance!

SlurryShield® PBS™

SlurryShield® FGP™

**Please Contact KB International or one of our Agents For Assistance
when Planning to Utilize our Products!**

KB International LLC

Main Offices:
735 Broad St, Suite 209
Chattanooga, TN 37402
USA
P: 1-281-880-7505

F: 1-832-201-9196
Email: info@kbtech.com

For More Information:

Additional information on all aspects of the SlurryPro CDP Vinyl System is available from KB International LLC on request. General Operating Procedures provide more detailed recommendations for the use of KB's System in bored piles, diaphragm walls, and other applications.

The information in this bulletin is given in good faith and is accurate to the best of our knowledge. Because we can neither anticipate nor control the different conditions under which this information and our products are used, we make no warranty of performance, expressed or implied. Typical properties given herein are not specifications. Our policy is to continually review product formulations and manufacturing to assure technical suitability and cost-effectiveness. Product characteristics are subject to change without notice. Users of our products are responsible for compliance with government regulations and patent laws. The SlurryPro System is covered by the following US Patent's, 5,407,909; 5,663,123; 6,248,697; and 6,897,186 and various corresponding International patents. Other U.S. and International patents pending. All users should discuss the product with an appropriate representative of KB International, LLC before utilizing the product.

ANEXO C – TABELA DE DADOS DE ESTACAS

C – Tabela com dados de estacas executadas em São Paulo (Morumbi)

Ano	Semana	Escavação	Tempo de Escavação	Diâmetro da Camisa	Comp. Camisa	Diâmetro da Estaca	Prof.	Data da Escavação		Arrazamento	Ferragem		Volume Teórico	Volume Real	Sobreconsumo Betão
		Estaca #	(hh:mm)	m	m	m	metros	Início	Fim	(-) m	kg	m3	m3	m3	%
2010	23	P55/124	02:35	1,0	2,5	0,8	27,20	02-Jun-10	02-Jun-10	4,00	200	0,03	11,66	16,00	28,63%
2010	24	P62	01:40	1,0	2,5	0,8	27,50	08-Jun-10	08-Jun-10	4,30	200	0,03	11,66	13,00	11,48%
2010	24	P134	02:45	1,0	2,5	0,8	25,00	09-Jun-10	09-Jun-10	4,90	200	0,03	10,10	12,00	18,77%
2010	24	P61	02:45	1,0	2,5	0,8	27,00	10-Jun-10	10-Jun-10	4,30	200	0,03	11,41	16,00	31,48%
2010	24	P78	02:05	1,0	2,5	0,8	24,60	12-Jun-10	12-Jun-10	5,50	200	0,03	9,60	13,50	40,81%
2010	25	P80	03:00	1,0	2,5	0,8	27,80	14-Jun-10	14-Jun-10	4,70	200	0,03	11,61	14,00	20,57%
2010	25	P137	02:15	1,0	2,5	0,8	25,00	16-Jun-10	16-Jun-10	5,00	200	0,03	10,05	11,00	9,42%
2010	25	P148	02:20	1,0	2,5	0,8	25,10	16-Jun-10	16-Jun-10	5,00	200	0,03	10,10	11,00	8,87%
2010	20	P89	02:40	1,1	2,5	1,0	29,50	12-Mai-10	12-Mai-10	5,20	240	0,03	19,09	23,00	20,51%
2010	20	P102	02:45	1,1	2,5	1,0	30,00	14-Mai-10	14-Mai-10	5,10	240	0,03	19,56	24,00	22,72%
2010	21	P96	02:40	1,1	2,5	1,0	30,00	19-Mai-10	19-Mai-10	5,00	240	0,03	19,63	24,00	22,23%
2010	21	P99	03:15	1,1	2,5	1,0	30,00	20-Mai-10	21-Mai-10	4,70	240	0,03	19,87	24,00	20,78%
2010	21	P97	03:30	1,1	2,5	1,0	30,20	17-Mai-10	17-Mai-10	5,10	240	0,03	19,71	24,00	21,74%
2010	22	P49	02:50	1,1	2,5	1,0	28,80	24-Mai-10	25-Mai-10	3,90	240	0,03	19,56	24,00	22,72%
2010	22	P126	03:00	1,1	2,5	1,0	30,00	26-Mai-10	27-Mai-10	5,30	240	0,03	19,40	24,00	23,72%
2010	25	P64/140	03:00	1,1	2,5	1,0	29,30	01-Jun-10	02-Jun-10	4,40	240	0,03	19,56	23,00	17,61%

Legenda:

	Estaca executada com Bentonite
	Estaca executada com Polímero

Arrazamento – profundidade a que fica a “cabeça” da estaca.

Ferragem – características (peso e volume) da armadura metálica que integra a estaca.

Volume teórico – volume de betão teórico para preencher a escavação.

Volume Real – volume real de betão utilizado para preencher a estaca.

Sobreconsumo de betão – valor percentual de diferença entre volume teórico e volume real.