

# NOVA METODOLOGIA PARA OBSTRUÇÃO DE POÇO ABANDONADO – O CASO DO ED. CAMAÇARI

Mario A. Valença dos Santos<sup>1</sup>; Waldir D. Costa<sup>2</sup>;

**Resumo** – A metodologia proposta para obstrução de poços abandonados, já testada em uma aplicação prática, é aqui divulgada para ser desenvolvida e aperfeiçoada. Consiste na utilização da própria seção filtrante, com auxílio de bomba, uma mistura de cimento, bentonita e água, desenvolvida em ensaios de laboratório, onde a pasta bentonita participa com 20% da massa final, conforme detalhado no trabalho “*Isolamento de Poços – Mistura Alternativa sem as Limitações da Pasta com Cimento Puro*”. É uma opção mais econômica e ágil do que a injeção feita através de furos no revestimento cego. O uso de uma tubulação de ferro galvanizado de Ø 1”, com um flange na base, fixado por selo de cimento de 2 m de comprimento dentro do revestimento, completam a estratégia do modelo. A aplicação da metodologia no poço do Edifício Camaçari, no Recife, foi muito bem sucedida. O custo da obra, da ordem de R\$ 7.000,00 (sete mil reais), é compatível com a eliminação de um poço abandonado que contamina o meio ambiente.

**Abstract** - The methodology proposal for blockage of abandoned wells, already tested in a practical application, here is divulged to be developed and to be perfected. It consists of the use of the proper filter section to inject with a pump, a paste of cement, bentonite and water, developed in laboratory assays, where the bentonite paste participates with 20% of the final mass, as detailed in the work “*Isolation of Wells - Alternative Mixture without the Limitations of the Paste with Pure Cement*”. It is a more economic and agile option of what the injection made through punctures in the casing. The use of a tubing of iron galvanized of Ø 1”, with a flange in the base, settled for cement stamp of 2 m of length inside of the covering, completes the strategy of the model. The application of the methodology in the well of the Camaçari Building, in Recife, was very successful. The cost of the workmanship, of the order of R\$ 7,000, 00 (seven thousand reais), is compatible of the elimination of an abandoned well that contaminates the environment.

**Palavras-Chave** – POÇO ABANDONADO; FONTE DE CONTAMINAÇÃO; OBSTRUÇÃO DE POÇO.

---

<sup>1</sup> Geólogo, especialista em águas subterrâneas com mestrado em hidrogeologia. Consultor. Rua Engº Oscar Ferreira, 101, Ap. 1701-Poço-/Recife/PE Cep 52.061-020; Tel: 81 9162-4368  
E-mail: mariovalenca@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Geólogo, especialista em águas subterrâneas, com mestrado e doutorado em hidrogeologia. Diretor-Presidente da COSTA Consult. e Serv. Técn. e Amb. Ltda. Av.Santos Dumont, 320-Recife/PE-E.mail:wdcosta@ibest.com.br

## **1 – INTRODUÇÃO**

O presente trabalho é parte de um estudo realizado por Costa - Consultoria e Serviços Técnicos e Ambientais Ltda. para o Ministério da Integração Nacional e a CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Pernambuco, concluído em Novembro / 2007.

Neste contexto, utilizando-se um poço abandonado aplicou-se no mesmo uma metodologia simples e funcional criada para isolamento de poços abandonados e fez-se uso experimental de uma nova mistura de cimento com bentonita.

A caracterização, fundamentada por ensaios de laboratório, das vantagens desta pasta está explicitada no trabalho “Isolamento de Poços – Mistura Alternativa sem as Limitações da Pasta com Cimento Puro”, também contido nos Anais do XV CABAS.

Entendem os autores que diante das evidências crescentes da contaminação de aquíferos a partir de poços abandonados, urge uma ação dos gestores das águas subterrâneas e do Ministério Público no sentido da obstrução sistemática dos mesmos.

A solução de obstrução proposta, acrescida de uma noção de custo para comprovar sua viabilidade econômica frente ao prejuízo que causam ao meio ambiente, é uma importante contribuição da comunidade técnica para sua exeqüibilidade.

## **2 – A METODOLOGIA PROPOSTA**

A metodologia proposta consiste na injeção sob pressão da mistura indicada através da própria seção filtrante do poço, mediante o uso de bomba de pistão e de tubulação galvanizada de Ø 1”, com flange de vedação colocado na sua extremidade inferior, próximo ao topo dos filtros. Acima do flange, para garantir sua fixação e estanqueidade, é fundamental que seja instalado um selo de cimento com 2 m.

A alternativa de executar furos ou cortes no revestimento, em substituição ao uso das ranhuras do filtro, não prescindirá a instalação do flange, e terá custo muito mais elevado.

A tubulação de Ø 1” só necessita ser adquirida uma vez, pois pode ser usada em diversos diâmetros de revestimento, desde o mínimo Ø 3”.

Este documento foi desenvolvido no sentido de definir diretrizes gerais da metodologia, através de procedimentos ou seqüência de atividades, sem a pretensão de exaurir todas as possibilidades e na certeza de vir a ser complementado com o tempo.

O poço do Edf. Camaçari, sito a Rua José de Alencar, 447, Boa Vista – Recife, abandonado por salinização (STD = 6.693 mg/L, em 26/02/2007), foi eleito para servir como piloto para aplicação do método, em virtude do Condomínio haver sido intimado pelo Ministério Público e pela

CPRH a obstruí-lo por constituir risco de contaminação.

As respostas do mesmo ao trabalho de obstrução dão o toque de praticidade a metodologia proposta, as quais, são colocadas e comentadas ao longo do texto conforme a abordagem dos procedimentos.

Este serviço pioneiro de obstrução do Camaçari foi escutado pela empresa ENGEC – Construções e Instalações Ltda., de Recife.

### **3 – PLANEJAMENTO DA EXECUÇÃO DA OBSTRUÇÃO**

O planejamento da obstrução de um poço abandonado apóia-se basicamente nas informações de suas características construtivas de revestimento, encascalhamento, cimentação e de seu perfil litológico.

São fundamentais também as informações advindas de perfis de raios gama, óptico e de condutividade existentes, ou executados apenas para este fim.

A importância e utilidade dessas informações serão explicitadas adiante.

Com a intenção de tornar mais didática as atividades de estudo e planejamento são apresentadas em Etapas, ora em termos teóricos, seguido da situação do poço Camaçari, ora os meros elementos deste poço como ilustração definitiva.

## **4 - DESCRIÇÃO DAS ETAPAS**

### **4.1 – Etapa I: Informações sobre as Características do Poço**

A Figura 01 constitui um esforço para sumarizar de modo ilustrado, a partir do Camaçari, os dados básicos necessários ao início do planejamento da obstrução de um poço.

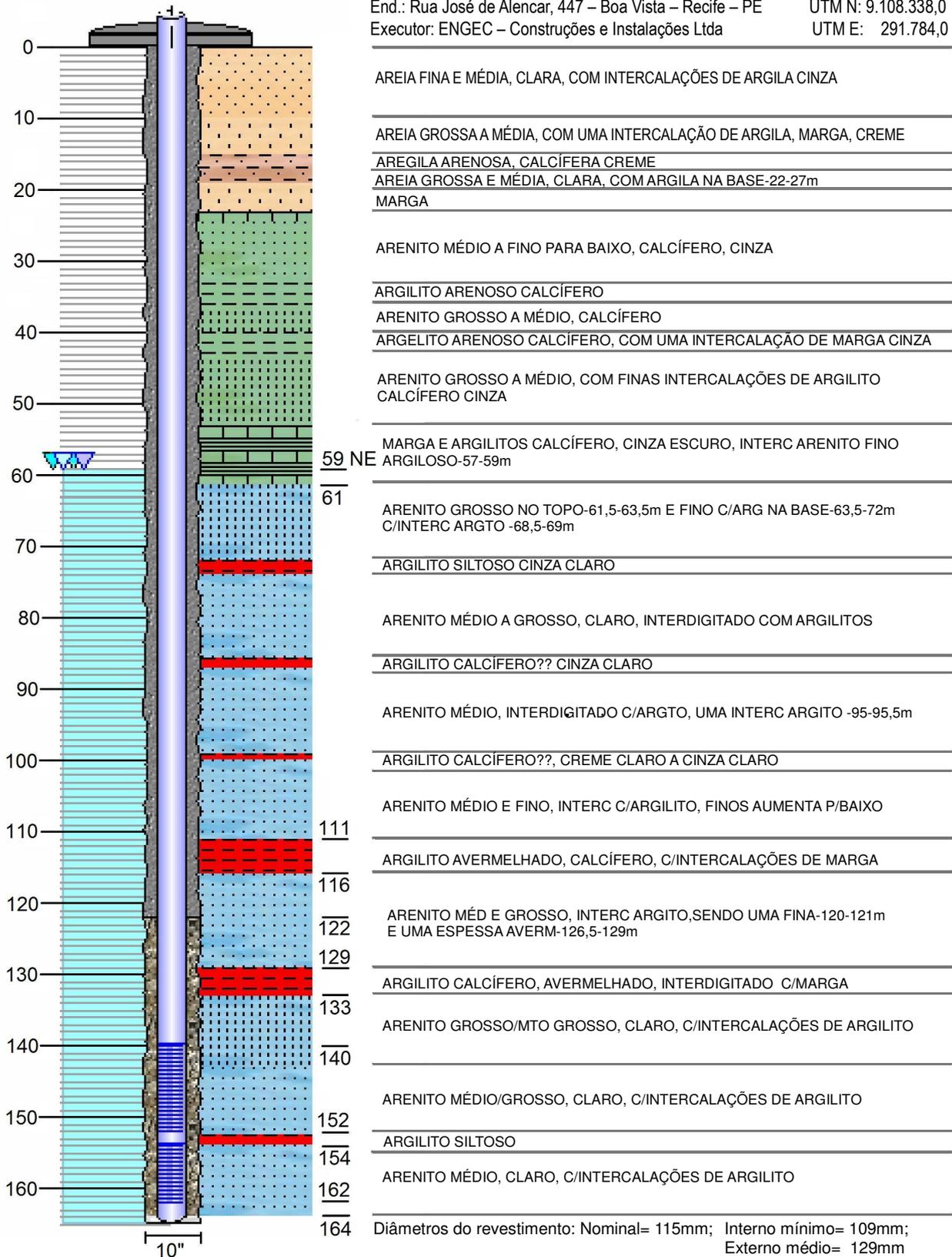


FIGURA 01 - Perfis construtivo e litológico do Poço do Edifício Camaçari

#### 4.1.1 – Comentários sobre a Utilidade das Informações da Figura 01

A obstrução de um poço abandonado deve obedecer a um planejamento detalhado para minimizar o risco das variáveis não previstas e decisões não conscientes.

Com exceção da medição do nível estático (58,86 m ~ 59 m) e dos intervalos de profundidade no perfil litológico, todas as informações foram transcritas da ficha técnica do poço. Os tubos cegos acima da seção filtrante têm comprimento de 4 m.

Os **diâmetros** interno e externo do revestimento e do furo são essenciais para cálculo de volumes a serem preenchidos pela pasta no interior do revestimento e no espaço anelar.

Os intervalos de colocação do **pré-filtro**, com volume de vazios estimado a partir porosidade de areias, e de **cimentação**, com volume de vazios inferido como porosidade de fissuras, permitem estimar o volume de pasta necessário para completar os intervalos já preenchidos.

A descrição do **perfil litológico** é útil para:

- a) Identificar os horizontes com risco de absorção do fluido injetado, como por exemplo, os arenitos muito grossos a conglomeráticos no intervalo de 36 a 53 m, (ou as camadas ricas em calcário que possam apresentar fissuras);
- b) Conhecer os horizontes argilosos acima da seção filtrante, no caso, os intervalos de 111 a 116m e 129 a 133 m, para identificar a extensão mínima desejável a ser isolada, quando não for possível preencher todo o espaço anelar até a superfície.

No caso, estando entre 164 e 116 m o aquífero inferior captado e o superior entre 61 e 111 m o desejável é que a pasta alcance no mínimo a profundidade de 111m para garantir o isolamento entre o aquífero captado e o superior, inclusive para eliminar a passagem de água através da parte superior do pré-filtro.

#### *4.1.2 – Informações Provenientes dos Perfis*

Se não existirem, é fundamental para o planejamento que os perfis sejam executados tendo em vista a importância das informações complementares que fornecem.

O **perfil de raios-gama** tem a finalidade de dar melhor precisão sobre as profundidades dos contatos entre as camadas, em particular das argilosas, tendo em vista as deficiências normais de retardo de chegada das amostras na calha ou mesmo erro de coleta ou de registro e, principalmente, quando a camada argilosa deixar de ser amostrada.

No caso do Camaçari as camadas argilosas entre 111 a 116m e 129 a 132m não estavam representadas nas amostras de calha.

O **perfil óptico** é um instrumento de trabalho muito importante vez que permite:

- a) Confirmar a profundidade do topo da seção filtrante;
- b) Esclarecer a condição de abertura das ranhuras dos filtros;

- c) Identificar a existência ou não de crostas de ferro ou carbonato de cálcio no revestimento que possam vir a dificultar a passagem do obturador;
- d) Saber sobre a existência ou não de vazamento e a(s) correspondente(s) profundidade(s) através do revestimento e que possa permitir o acesso da pasta para dentro do poço e assim vir a comprometer a recuperação da tubulação de injeção.

No caso do Camaçari confirmou-se a satisfatória abertura das ranhuras, o diâmetro livre do revestimento cego e o topo da seção filtrante a 140m. Manchas de óxido de ferro entre 0 e 20m e incrustações de óxido de ferro entre 32 a 52 m indicaram vazamentos.

**O perfil de Condutividade Elétrica** denuncia a falta de estanqueidade do revestimento em conexões ou em rachaduras onde são indicadas anomalia de valor.

No caso do Camaçari este perfil não deu resultado satisfatório por defeito apresentado pelo condutivímetro na oportunidade.

#### 4.2 – Etapa II: Cálculo do Volume da Pasta

O volume total de pasta necessário para obstrução do poço constituirá sempre uma ordem de grandeza tendo em vista: a) A impossibilidade de se prever as perdas diretas eventuais em cavernas ou sedimentos muito porosos, e, b) A estimativa que necessita ser feita do porcentual de área aberta tanto da porosidade do pré-filtro como do sistema de fissuras / espaços não preenchidos / descontinuidades da cimentação do poço. Por isto recomenda-se que a pasta seja preparada em frações do volume total estimado, pois se dimensionado a maior minimiza-se a perda de pasta e preserva-se a matéria prima.

Para permitir a sistemática de cálculo adiante, considera-se a seguir alguns parâmetros e informações básicas relativas ao poço Camaçari:

- a) Os volumes por metro linear relativos ao revestimento e ao furo correspondem a:
  - No furo com Ø 10” (254 mm), conforme relato do perfurador = 49,88 L/m;
  - No revestimento reforçado, com diâmetro externo médio, conforme Tabela Fortilit, de Ø 5” (129 mm) = 13,07 L/m;
  - No espaço anelar entre o furo (Ø 10”) e o revestimento (Ø 5”) = 36,81 L/m;
  - No revestimento reforçado com DN, conf. Tabela, de Ø 115 mm = 10,39 L/m
- b) Relativo ao filtro Geomecânico Fortilit reforçado com DN externo de 129 mm são conhecidos os seguintes parâmetros:
  - Abertura das ranhuras = 0,75 mm;
  - Velocidade máxima de passagem do fluido pela ranhura = 3,0 cm/s;
  - Área aberta do filtro por metro linear = 4,1 ~ 4,0 % (conforme inferido do ábaco da

Fortilit Geomecânico Agosto /2001 - Capacidade Filtrante por Metro);

c) São os seguintes os parâmetros da bomba de pistão utilizada:

- Marca: Bean Royal Triplex, com pistões (3) de Ø 60 mm e curso de 55 mm.
- Vazão na velocidade máxima = 50 L/min. = 3.000 L/h

d) O flange de vedação, adiante descrito, foi colocado 3 m acima do topo da seção filtrante, ou seja, aos 137 m de profundidade e instalado um selo de cimento entre 137 e 135 m.

#### 4.2.1 - Detalhamento do Cálculo do Volume

O volume total estimado de pasta para executar a obstrução do poço Camaçari, foi de 2.182 L, conforme discriminado no Quadro 1 a seguir

Quadro 1 - Volume estimado para isolamento integral do poço Camaçari

	Descrição	Litros
<b>1.0</b>	<b>Dentro do revestimento e abaixo do flange</b>	
<b>1.1</b>	<b>Entre o flange e o topo da seção filtrante</b> No intervalo entre 140 e 137 m, no interior do revestimento com DN = 115 mm com capacidade de 10,39 L/m, tem-se: 3,00 m x 10,39 L/m = 31,02	31
<b>1.2</b>	<b>Na seção filtrante</b> No intervalo entre 162 a 140 m, no interior da seção filtrante com DN = 115 mm, admitindo que o fluido para elevar-se pelo espaço anelar necessite preencher com pasta todo este intervalo, tem-se: 22 m x 10,39 L/m = 228,58 L	229
<b>2.0</b>	<b>Fora do revestimento.</b>	
<b>2.1</b>	<b>No espaço anular encascalhado</b> , com capacidade para 36,81 L/m entre o furo de Ø 10" (254 mm) e o diâmetro médio externo do revestimento reforçado de Ø 4 ½" (129 mm), com porosidade efetiva do pré-filtro estimada em 20 % (*), e ainda considerando os dois intervalos: - O trecho de 22 m, o mesmo da seção filtrante (162 a 140 m) que ficaria saturado com a pasta durante a operação, e; - O intervalo de 18 m entre o topo da seção filtrante (140 m) e o topo do pré-filtro (122 m) tem-se: (22,00 + 18,00) x 36,81 L/m x 20% = 294,48	294
<b>2.2</b>	<b>No espaço anular cimentado</b> , com a mesma capacidade de 36,81 L/m do espaço anelar e no intervalo entre o topo do pré-filtro (122,00 m) e a boca do poço e ainda, estimando a área de vazios do trecho cimentado em 5% (**), tem-se: 122,00 m x 36,81 L/m x 5% = 224,54	225
	<b>Subtotal</b>	<b>779</b>
<b>3.0</b>	<b>Dentro do revestimento e acima do selo de cimento</b> Considerando o selo de cimento de 2m, o preenchimento total do poço até a boca corresponde 135,00 m. Assim, o volume total de pasta a ser empregada nesta segunda fase corresponde a: 135,00 m x 10,39 L / m = 1.402,65 L	1.403
	<b>Subtotal</b>	<b>1.403</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>2.182</b>

Nota:(\*) Tendo por base o intervalo de 10 a 35 % da areia bem selecionada, segundo Fetter<sup>(1)</sup>, 1988; Domenico e Schwartz<sup>(2)</sup>, 1990; Norton e Knapp,<sup>(3)</sup> 1977, in Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos, Giampá e Galdeano, Signus Editora, 2006;

(\*\*) Tendo por base o intervalo de 0 a 10 % da porosidade total de rocha cristalina fraturada, segundo Op. Cit.

#### 4.3 – Etapa III – Previsão das Quantidades de Insumos e dos Equipamentos

Este item tem por objetivo prever as quantidades de cimento, bentonita e água e os equipamentos necessários para serem colocados no campo e para subsidiar a montagem do orçamento.

A definição das quantidades desses insumos é feita através do Quadro 2 adiante, o qual corresponde a transcrição direta do Quadro 8 do trabalho “Isolamento de Poços – Mistura Alternativa sem as Limitações da Pasta com Cimento Puro”.

Quadro 2 – Base para cálculo das quantidades de cimento, bentonita e água, para diferentes volumes de massa final, com 20% de pasta de bentonita.

MASSA FINAL		CIMENTO		BENTONITA		ÁGUA	
(A)	(B)	(C)		(D)		(E)	
	$B = A \times d_{mf}$	$C_1 = B \times K_1$	$C_2 = C_1/d_{ec}$	$D_1 = B \times K_2$	$D_2 = D_1/d_{eb}$	$E_1 = B \times K_3$	$E_2 = ((C_1+D_1+E_1)/d_{mf}) - (C_2+D_2)$
(L)	(kg)	(kg)	(L)	(kg)	(L)	(kg)	(L)
1,00	1,51	0,72	0,24	0,07	0,02	0,72	0,74
2,00	3,03	1,44	0,48	0,14	0,04	1,44	1,48
5,00	7,57	3,60	1,20	0,36	0,09	3,60	3,71
10,00	15,13	7,20	2,40	0,72	0,18	7,20	7,42
20,00	30,26	14,41	4,80	1,44	0,36	14,41	14,84
50,00	75,65	36,02	12,01	3,60	0,90	36,02	37,09
100,00	151,30	72,05	24,02	7,20	1,80	72,05	74,18
200,00	302,60	144,10	48,03	14,41	3,60	144,10	148,37
500,00	756,50	360,24	120,08	36,02	9,01	360,24	370,91
1.000,00	1.513,00	720,48	240,16	72,05	18,01	720,48	741,83

1,39	2,10	1,00	0,33	0,10	0,03	1,00	1,03
2,78	4,20	2,00	0,67	0,20	0,05	2,00	2,06
6,94	10,50	5,00	1,67	0,50	0,13	5,00	5,15
13,88	21,00	10,00	3,33	1,00	0,25	10,00	10,30
27,76	42,00	20,00	6,67	2,00	0,50	20,00	20,59
34,70	52,50	25,00	8,33	2,50	0,63	25,00	25,74
69,40	105,00	50,00	16,67	5,00	1,25	50,00	51,48

Quadro 3 – Parâmetros considerados para montagem do Quadro 1

PASTAS	DENSIDADE APARENTE	DENSIDADE ESPECÍFICA – d <sub>e</sub> –	VISCOSIDADE	TEMPERATURA MÁXIMA DE PEGA	RELAÇÃO VOLUME (L) x PESO (kg)
	(g/ml)	(g/ml)	Poise (m <sup>2</sup> /s)	(°C)	
<b>Cimento</b>	1,646	3,0 <sup>(1)</sup>	27,32	42	1 L = 1,65 kg
<b>Bentonita</b>	1,142	4,0 <sup>(2)</sup>	-	-	1 L = 1,14 kg
<b>Massa Final</b>	1,513	-	23,51	36	1L = 1,51 kg
<b>Equivalências:</b>		1dm <sup>3</sup> = 1 L	1cm <sup>3</sup> = 1ml	1.000cm <sup>3</sup> = 1dm <sup>3</sup> = 1L = 1.000ml	

(1) d<sub>cc</sub> = 3,0 g/ml, conforme informação verbal de técnicos do ITEP e da fábrica de Cimento Poty

(2) d<sub>eb</sub> = 4,0 g/ml, conforme indicação verbal de técnico da fábrica de bentonita NERCON, de Campina Grande, PB.

#### 4.3.1 – Definição das Quantidades Totais dos Insumos e para as Parcelas

Para a produção de 2.182 L de pasta para obstrução do poço, a **quantidade de cimento** necessária é obtida, na parte superior do Quadro 1 considerando na coluna A as parcelas 1.000 + 1.000 + 100 + 50 + 20 + 10 + 2 e na coluna C<sub>1</sub> a soma das parcelas correspondentes 720,48 + 720,48 + 72,05 + 36,02 + 14,41 + 7,20 + 1,44 = 1.572,08 kg, equivalente a 31,44 sacos de cimento de 50 kg ou, em favor da segurança = **38 sacos**.

Dado que para esta mistura a massa de bentonita coincide com 10 % da do cimento, a **quantidade de bentonita** equivale a (1.572,08x10%)/25=6,29, ou seja, **9 sacos** de 25 kg.

Do mesmo modo, somando as parcelas correspondentes da coluna E<sub>2</sub> chega-se que a **quantidade de água** para produção de toda a pasta é = **1.618,67 L**.

O volume de pasta a ser produzido em **parcelas** do volume total depende da capacidade da unidade misturadora disponível. No caso foi uma betoneira de cerca de 200 L e as quantidades de insumos adotadas foram: 2 sacos de cimento (100 kg), 10 kg de bentonita e 103 L de água, conforme última linha da coluna E<sub>2</sub>, na parte inferior do Quadro 1 (2 x 51,48 = 102,96 L). A prática revelou a conveniência de misturar os pós secos de sacos recém abertos de cimento e bentonita na betoneira e a seguir adicionar água.

O **volume total de pasta produzido em cada parcela** foi (2 x 69,40) **138,80 L** conforme última linha da coluna A, da mesma parte inferior do Quadro 1.

O **volume total de água estocado** correspondeu a um carro pipa de **9.000 L** conforme se justifica a seguir:

- Para elaboração do volume total de pasta de 2.182 L..... 1.619 L
- Para o **teste de estanqueidade** do revestimento (59–2,0) x 8,4L/m = 478,8 ..... 479 L

- Para o **teste de injeção** antes da aplicação da pasta, admitiu-se ..... 1.000 L
- Para limpeza dos equipamentos, outros usos e perdas estimou-se ..... 702 L
- Total = .....3.800 L

A pasta de cimento de 16,9 L que gerou o citado selo, instalado no dia 19.10.07 através de tubos de PVC de Ø ¾”, atendeu as especificações do Quadro 4 a seguir e sua profundidade foi conferida após a cura.

Quadro 4 – Definição do volume e das especificações técnicas da pasta de cimento para instalação do selo de cimento

Diâmetro interno de revestimento (1)		Volume entre revestimento do poço e a tubulação de Ø 1”, com h = 2 m	Quantidades para formação da pasta	
			Cimento - 59,5 %	Água - 40,5 %
Pol.	mm (D <sub>1</sub> )	(L)	(L)	(Kg)
3	76,20	7,3	4,35	2,95
4	101,60	14,4	8,57	5,83
4 1/2	115,00	18,7	11,13	7,57
4 1/2 R	109,00	16,9	10,05	6,84
6	152,40	34,7	20,65	14,05

Nota: (1) Conforme catálogo Geomecânico Agosto 2001

(2) O diâmetro externo do tubo galvanizado de Ø 1” é D<sub>2</sub> = 33,7 mm.

#### 4.3.1.1 – Avaliação dos Testes de Estanqueidade e de Injeção de Água do Poço Camaçari

Tendo em vista que a tubulação de Ø 1” foi acoplada com a melhor técnica de vedação e o selo de cimento após a cura impede a comunicação com o aquífero, a variação do nível da água no **teste de estanqueidade** refletirá vazamento apenas pelo revestimento.

Este **teste de estanqueidade**, que consistiu na colocação de 200 L de água, foi realizado às 10 horas do dia 22.10.07 e o de **injeção de água** às 16 horas do mesmo dia. Os registros e falhas cometidas permitem a seguinte avaliação:

a) Aferições sistemáticas do nível da água devem permitir a comprovação de vazamentos e suas magnitudes, a partir de diferentes profundidades: 1) depois da colocação do selo de cimento, quando o nível da água sobe 2 m e alcançou sua maior profundidade (no caso 57,35 m), e 2) após a completação total ou parcial do espaço anelar quando o nível pode ser elevado para diferentes profundidades, com distintos níveis de carga hidráulica.

b) Por não haver sido feito o registro inicial e subsequente do nível da água após a instalação do selo de cimento deixou-se de saber se havia vazamento no revestimento do poço abaixo da

profundidade do nível 57,36 m (59,36m - 2,0 m do selo).

c) O NE medido em 22/10/2007 as 10h00min, por dentro da tubulação de Ø 1", foi 59,36 m . Constatou-se as 10h:10min, cerca de 10 minutos após a colocação de 200 L de água, que o nível estava na profundidade de 32,35 m e as medições sucessivas revelaram evolução do rebaixamento que alcançou um total de 1,97 m às 13 horas (com 110 min.), numa velocidade média de 18 mm / min., confirmando assim está ativo um reduzido sistema de vazamentos indicado pelo perfil óptico no intervalo entre 32 e 52 m. Não deu para constatar se a evolução do rebaixamento é decrescente com a redução da carga hidráulica.

d) A confirmação de vazamento, de reduzida vazão de 9,07 L / h [(1,97m x 8,44 L/m)/ 110 min.], alertou para a necessidade de aferir o nível nos próximos eventos e reduziu a preocupação com relação ao retorno da pasta para dentro do poço durante a injeção.

e) O teste de injeção revelou que o poço absorveu sem anomalia cerca de 1.000 L de água porém, por lapso próprio de um serviço pioneiro, deixou-se de fazer registro sistemático de leituras do manômetro e do nível da água cujo valor inicial, as 16 horas, era de 41,31 m. Este nível, além de ter sido aferido de uma referência diferente da anterior, refletiu também o rebaixamento devido a retirada da tubulação de PVC de Ø ¾".

f) O lapso de registro da pressão ocorreu por ter sido igual a zero durante toda a operação exceto quando no final percebeu-se 5 kg/cm<sup>2</sup>, passando despercebido quando iniciou a elevação. Houve também indicação que a bomba apresentou sobre-esforço na fase final.

g) O teste de injeção foi realizado com a ventosa do cabeçote de injeção fechada e indicou condições favoráveis para execução do serviço de obstrução. (O cabeçote será considerado adiante)

#### 4.3.2 – Previsão dos Equipamentos Necessários no Canteiro da Obra

Para evitar improvisações e retardamentos que resultam em custos financeiros e prejuízos técnicos, é recomendável que todos os equipamentos necessários sejam previstos e distribuídos da maneira mais operacional no canteiro da obra antes do início da operação.

No caso da obstrução do Camaçari foram alocados os seguintes equipamentos:

- a) Betoneira com capacidade para 200 L,
- b) Bomba Bean Royal Triplex, com vazão 50 L/min. = 3.000 L/ hora,
- c) Estrado para colocação dos sacos de cimento e bentonita em local isento de umidade,
- d) Recipiente próximo a bomba para receber a mistura preparada pela betoneira,
- e) Recipiente para reservar água ao lado da betoneira para suprimento das misturas,
- f) Reservatório grande de água para atender a bomba na injeção e outros suprimentos,
- g) Reservatório maior de suporte com bomba ou o próprio caminhão pipa com mangueira,

- h) Recipientes para medir a quantidade de bentonita (10 kg) das parcelas (com volume de peso conhecido) e para colocação de água na betoneira de modo a completar 103 L ,
- i) Tubulações de ferro galvanizado de Ø 1" e de PVC de Ø ¾", pré-dimensionados,
- j) O flange de vedação, adiante ilustrado e detalhado no orçamento,
- k) O cabeçote de injeção, adiante ilustrado e detalhado no orçamento.
- l) Um manômetro com escala de 0 a 10 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 4.3.2.1 – Caracterização do Cabeçote de Injeção

O cabeçote de injeção, ilustrado pela Figura 2 a seguir, foi concebido para permitir as manobras de injeção de pasta e de água, a instalação de manômetro e a descompressão do sistema, além de aceitar o acesso de um tarugo de borracha.

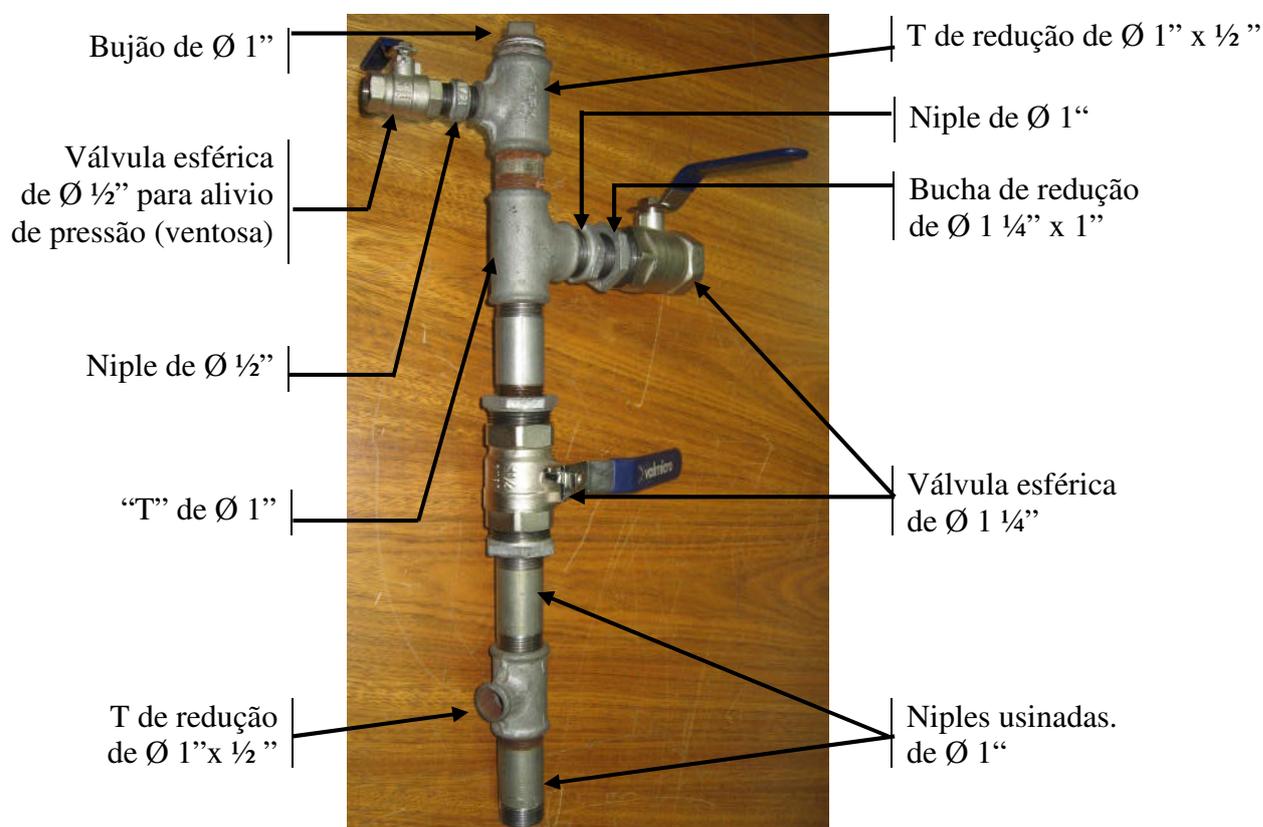


FIGURA 2 – Detalhamento do Cabeçote de Injeção

Instalado no topo da tubulação de injeção de Ø 1", o cabeçote atende as seguintes características:

- a) Dois registros de esfera de Ø 1 ¼" sendo um na parte superior, onde num extremo está acoplado a um Te de Ø 1" e no outro recebe o engate da mangueira da bomba, e outro, abaixo, para ser acionado quando houver retorno da pasta por efeito de pressão diferencial.

- b) No topo da seqüência, um Te de redução de  $\text{Ø } 1'' \times \frac{1}{2}''$ , que acima receberá um bujão de  $\text{Ø } 1''$  (por onde poderá descer a peça de borracha cuja finalidade adiante se esclarece) e, do lado, receberá um registro de esfera de  $\text{Ø } \frac{1}{2}''$ , que funcionará como válvula manual para alívio de pressão.
- c) O Te de redução de  $\text{Ø } 1'' \times \frac{1}{2}''$  colocado na base da seqüência, permite a instalação da mangueira do manômetro para registro da variação da pressão, de fundamental importância para o desenvolvimento do trabalho e suporte para tomadas de decisão.
- e) Os “T”s são unidos por niples usinados a partir de segmentos de tubo galvanizada de  $\text{Ø } 1''$  para garantir a livre passagem do tarugo de borracha já citado até a base da tubulação de  $\text{Ø } 1''$ . O registro de  $\text{Ø } 1 \frac{1}{4}''$  tem diâmetro interno livre de  $\text{Ø } 1''$  para atender ao mesmo objetivo.

#### 4.3.2.2 – Caracterização do Flange de Vedação

O flange de vedação visto na Figura 3 a seguir, que constitui suporte para instalação do selo de cimento como garantia para fixação e estanqueidade, assim se caracteriza:

- a) A parte superior desta peça é um tubo galvanizado de 3 m com rosca a esquerda na outra extremidade para ser acoplado em luva usinada da tubulação de injeção;
- b) O flange propriamente dito é formado por dois discos de metal usinados de diâmetros diferentes que comprimem por parafusos dois discos de borracha com rigidez e diâmetros distintos, de modo a descer o mais justo possível no revestimento;
- c) O niple Tupy de  $\text{Ø } 1''$  colocado acima do flange tem o objetivo de impedir a passagem do tarugo de borracha, gerando um aumento de pressão no manômetro, e assim indicar o momento em que toda a pasta contida dentro da tubulação de injeção foi expulsa.

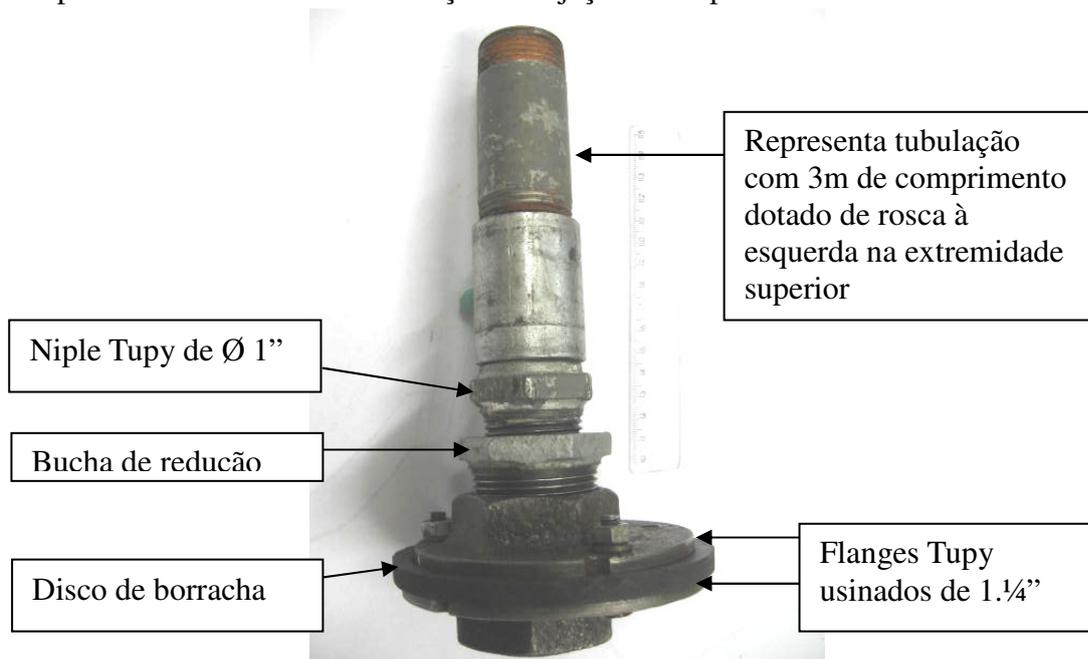


FIGURA 3 – Detalhamento do flange de vedação

d) Os discos de metal e de borracha de maior diâmetro estão na parte basal do flange e a excentricidade do eixo teve a finalidade de facilitar a descida da tubulação de PVC.

#### 4.4 – Etapa IV - Orçamento e Justificativa Econômica

Os poços abandonados, salinizados ou não, constituem uma fonte real ou potencial de contaminação de um aquífero e seu isolamento permite a preservação de um patrimônio de grande utilidade para a sociedade.

O objetivo deste item é fornecer subsídio para exame da viabilidade econômica da metodologia de obstrução de poços abandonadas. Os benefícios sociais, econômicos e ambientais que proporcionará a eliminação de uma importante fonte de contaminação podem ser comparados com um custo da ordem de R\$ 7.000,00, conforme orçamento contido no Quadro 5 adiante.

Além da discriminação de todos insumos, materiais e serviços no orçamento, e das especificações já apresentadas, detalham-se adiante os procedimentos de campo para facilitar o pleno acesso à metodologia a todos os interessados.

Quadro 5 - Orçamento Detalhado para Execução do Isolamento de Poços

DISCRIMINAÇÃO	QUANTIDADE		VALOR (R\$)	
	Prevista	Adotada	Unit.	Total
Cimento (saco de 50 kg)	31,44	38 <sup>(1)</sup>	15,00	570,00
Bentonita (saco de 25 kg)	6,29	8 <sup>(1)</sup>	10,00	80,00
Água (m <sup>3</sup> ) <sup>(2)</sup>	2,90	9 <sup>(1)</sup>	10,00	90,00
<b>SUB-TOTAL 1</b>				<b>740,00</b>
<b>Equipamentos Recuperáveis <sup>(3)</sup> e serviços:</b>				
- Cabeçote de injeção:				
▪ Tê de redução galv. Tupy Ø1" x ½"	2	2	5,00	10,00
▪ Tê de redução galv. Tupy Ø 1"	1	1	4,60	4,60
▪ Niple galvanizado Ø 1"	1	1	2,70	2,70
▪ Niple galvanizado Ø 1 ¼ "	1	1	3,50	3,50
▪ Niple galvanizado Ø ½ "	1	1	1,00	1,00
▪ Bucha de redução Tupy Ø ½ " x ¼"	1	1	1,20	1,20
▪ Bucha de red. galv. Tupy Ø 1 ½" x 1 ¼"	1	1	4,50	4,50
▪ Bucha de redução Tupy de Ø 1 ¼" x 1"	3	3	4,50	13,50
▪ Válvula esférica de latão Valmicro Ø 1 ¼"	2	2	42,50	85,00
▪ Válvula esférica Mipel de Ø ½"	1	1	12,00	12,00
▪ União ACB de Ø 1 ½"	1	1	30,00	30,00
▪ Bujão galvanizado de Ø 1"	1	1	1,45	1,45
▪ Segmento de 40 cm de tubo de ferro galv. Ø 1" e usinagem de 04 niples de 8 cm			verba	35,00
- Tubo de ferro galvanizado de 1" com roscas	138	138	13,50	1.863,00
- Luvas de ferro galvanizado de 1"	24	24	6,00	144,00
- Tubo de PVC de Ø ¾"	138	138	3,50	483,00
- Luvas de PVC de Ø ¾"	24	24	0,90	20,70
- Pequeno recipientes			verba	100,00
<b>Sub-Total 2</b>				<b>2.815,15</b>
<b>Equipamentos não Recuperáveis <sup>(3)</sup> e serviços:</b>				
- Flange e contra-flange Tupy torneados para diferentes diâmetros e para excentricidade	1	1	verba	80,00
- Tubo de ferro galvanizado de 1" com 3 m e usinagem de rosca a esquerda no tubo e na luva			verba	80,00
- Lençol de borracha s/lona (15 cm larg.)(4,8mm) <sup>(4)</sup>				10,00
- Lençol de borracha s/lona(15cm larg)(6,35mm) <sup>(4)</sup>				8,00
- Cordão de borracha s/lona de 1" c/ 20cm <sup>(4)</sup>				6,00
<b>Sub-Total 3</b>				<b>184,00</b>
<b>Mão de obra</b>			verba	3.000,00
<b>Sub-Total 4</b>				
<b>TOTAL</b>				<b>6.734,15</b>

**Observações:**

<sup>(1)</sup> Quantidades adotadas em favor da segurança.

<sup>(2)</sup> O carro pipa ficará à disposição da obra.

<sup>(3)</sup> Peças e conexões: MAK Válvulas, Fone: 3224 4036; Promáquinas, Fone: 2125 6667.

<sup>(4)</sup> Lençol e cordão de borracha: Recife Borrachas, Rua da Palma, 401, Fone: 3224 7831.

## 5 – PROCEDIMENTOS NO CANTEIRO DE OBRAS E NO POÇO

Os trabalhos a seguir apresentados foram executados pela firma ENGEC – Construções e Instalações Ltda. no período de 17 a 23.10.2007:

- a) Limpeza, preparação e instalação do canteiro da obra e a remoção do selo sanitário do poço para permitir acompanhar a resposta da injeção da pasta em superfície.
- b) Bombeamento intensivo do poço para garantir sua integral desobstrução e limpeza.
- c) Preparação em superfície do flange, do tubo de 3m e da luva usinada com rosca a esquerda, e instalação no poço da tubulação de injeção de Ø 1” com a melhor técnica de vedação em todas as roscas para garantir sua total estanqueidade. O cabeçote de injeção é então acoplado e apoiado na boca do poço.
- d) Instalação da tubulação de PVC de Ø ¾” até topar no flange e colocação por gravidade da pasta de cimento puro, com volume rigorosamente medido para a extensão de 2 m, para garantir que o metro superior do tubo de 3 m fique livre. Aferir em seguida a profundidade inicial do nível da água para investigar a existência de vazamento, mediante medições sistemáticas, e conferir, após 24 horas com a própria tubulação de Ø ¾”, a profundidade do topo do selo.
- e) Executar o teste de estanqueidade do revestimento mediante colocação de volume(s) medido(s) de água para encher até nível(is) desejado(s), e aferir a profundidades inicial e sucessivas a cada 5 minutos durante 20 minutos para verificar o comportamento do vazamento, se houver. O perfil óptico pode sugerir esta(s) profundidade(s). Se o vazamento for pequeno segue adiante, se não, deve-se pensar na colocação de pasta de bentonita dentro do revestimento. O que se pretende é controlar o risco da pasta vir para dentro do revestimento e prender a tubulação de Ø 1”.
- f) Para confirmar a normalidade de funcionamento do sistema, executar, antes da injeção da pasta isolante, o teste de injeção com um máximo de 1.000 L de água, e, durante o teste registrar de modo sistemático a leitura do manômetro e a medição do nível da água no espaço anular entre o revestimento e a tubulação de injeção. Se houver vazamento o nível da água deve subir a partir de certo momento. O aparecimento de pressão, em tese, não deve ocorrer já que a reduzida vazão da bomba (3 m<sup>3</sup>/h) é facilmente absorvida pelo aquífero. Se acontecer, cabe analisar e, provavelmente, é uma indicação do limite de volume para a pasta de injeção.
- g) Realizar, de modo contínuo, em no máximo 3 horas, a obstrução do poço com registro sistemático da pressão e aferição inicial e consecutiva a cada 5 minutos do nível da água. (vide Figuras 4, 5 e 6 (no ANEXO 1)).

- h) Se o poço foi mal completado e o espaço anular furo x revestimento permitir passagem até a boca, é de se esperar que aflore inicialmente água e depois a pasta em superfície.
- i) Concluída a injeção, com afloramento da pasta em superfície ou por elevação da pressão, deve-se expulsar a pasta contida dentro da tubulação de Ø 1” através de injeção de água. Em ambos os casos é de se esperar que haja uma tendência para retorno da pasta. No final da operação estão fechados os registros da mangueira da bomba e o da ventosa e aberto apenas o inferior. O fechamento deste último permite retirar o bujão do topo do cabeçote colocar o tarugo de borracha e acionar a bomba para injetar água de lavagem. O aumento de pressão provocado pelo impedimento da passagem do tarugo pelo niple situado no topo do flange, indicará o momento de parar a bomba e de voltar a fechar o registro inferior vez que o sistema ainda deve estar sob pressão. Aguarda-se então 24 horas até a cura da pasta.
- j) Concluindo, faz-se a retirada da tubulação de injeção com o auxílio da rosca a esquerda e através dela completa-se com a mesma pasta o revestimento até um pouco abaixo do nível do solo para permitir cortar a boca do poço.
- k) É muito útil que se eleja um nível de referência fixo para fazer medições do nível da água para permitir comparações ao longo de toda a operação (o que não foi feito no Camaçari).

### 5.1 – Avaliação da Obstrução do Poço Camaçari

A primeira fase da obstrução do poço Camaçari (dentro do poço, abaixo do flange, e ao longo do espaço anelar furo x revestimento) foi realizada entre às 9h:00min. e às 10h:25 min. do dia 23.10.2007, sendo utilizados 832,80 L de pasta, correspondente a 6 parcelas de 138,80 L (12 sacos de cimento, 2,4 sacos de bentonita e 618 L de água). Desta fase, realizada com o registro/ventosa fechado, faz-se a seguinte avaliação:

- a) A falta de registro sistemático das leituras do **manômetro**, pela segunda vez, impediu de definir com mais segurança o comportamento da pressão durante a injeção de pasta. Contudo, constatou-se que as 9h:25min. a pressão era 0,7 kg/cm<sup>2</sup>, as 9h:45 min. acusou 1,1 kg/cm<sup>2</sup> e as 10h:05min. oscilava entre 3 e 5 kg/cm<sup>2</sup>. Às 10h:10min. a bomba parou de injetar por desconexão da embreagem, provavelmente por alcançar seu limite, e a pressão estabilizou a seguir em 0,8 kg/cm<sup>2</sup>, ou seja, a normal do início. Com a religação da bomba constatou-se que o poço não estava mais aceitando injeção e se parou em definitivo. Instantes depois, abriu-se aos poucos o registro programado de funcionar como ventosa e o manômetro indicou zero.
- b) Diante deste resultado não foi necessário usar o tarugo de borracha.

- c) Daí surgem dois questionamentos: 1) o que impediu a injeção de continuar ? e, 2) qual a razão da coluna de pasta dentro da tubulação de 1” ficar estabilizada? No caso 1) é provável que o fluxo para cima com o preenchimento dos vazios foi interrompido pela cimentação do poço e, no caso 2), o peso da coluna de pasta dentro da tubulação de 1” gerou o equilíbrio que persistiu mesmo depois de solto quando então, houve nova condição de equilíbrio, agora com a coluna de água + pasta do revestimento.
- d) Apesar da falta de registro sistemático das medições do nível de água no revestimento, a profundidade do nível as 08h:20min. era 43,27 m, e após iniciada a injeção constatou-se um rebaixamento de 3,7 cm entre 09h:20min. e 09h:35min. As 09h:45min. quando o manômetro acusava 1,1 kg/cm<sup>2</sup> e o nível apresentava-se em elevação até antes da bomba parar as 10h:10min. Depois que a bomba parou o nível desceu 18 cm. Quando se insistiu no funcionamento da bomba a pressão chegou a 5 kg/cm<sup>2</sup> o nível voltou a subir. Logo, na profundidade de 43,27 m chegou o efeito da mobilidade da pasta vez que quando submetida a pressão fez subir o nível da água dentro do revestimento. Não se sabe porém até que profundidade a pasta elevou-se no espaço anelar.
- e) Depois de confirmada a ausência de pressão, libertou-se a tubulação de Ø1” na rosca a esquerda e colocou-se cerca de 80 L de água para expulsar toda a pasta. O nível da água medido antes do início da injeção (08h:20min.) era 43,27 m e as 11h:40min. (após a expulsão da pasta) era 40 m. Mesmo estando obscuro o entendimento da elevação de apenas 3,27 m, diante do volume de água que foi colocado no poço, pode-se concluir que o isolamento foi plenamente consumado vez que não ocorreu o rebaixamento para 59 m que era o nível de pressão inicial do aquífero.
- f) A seguir, após preencher o poço com água, fez-se aferições sucessivas no nível e constatou-se que ainda apresentava pequeno rebaixamento, indicando que o vazamento do revestimento continuava e que portanto a pasta não alcançou o espaço anular no intervalo de 32 a 52 m.
- g) No dia seguinte completou-se com 1.294,20 L de pasta o interior do revestimento a partir dos 135 m de profundidade, consumindo-se 18 sacos de cimento, 4 sacos de bentonita e 927 L de água.

## 6 – CONCLUSÕES

A aplicação da metodologia de trabalho em um poço abandonado, se por um lado foi importante porque provou a sua funcionalidade, por outro, demonstrou a necessidade de diversos aperfeiçoamentos nas verificações em campo.

Na realidade só a aplicação do método em diversos poços, é que permitirá conter o avanço de contaminações dos aquíferos por poços abandonados, esclarecer questões de hidráulica que no

momento estão sem explicação.

É importante avançar nesta direção, vez que os benefícios ambientais e socioeconômicos certamente serão de grande valia, desde que a solução proposta seja encampada pelos órgãos gestores e pelo Ministério Público

## **7 – AGRADECIMENTOS**

Agradecimentos especiais são devidos pelos autores ao Sr. Antônio José Miranda R. de Melo, diretor da ENGEC – Construções e Instalações Ltda. pela contribuição ativa na concepção da proposta e na sua aplicação no poço do Edifício Camaçari.

São também devidos agradecimentos pela dedicação ao trabalho a Engenheira Civil Denise J. Cavalcanti, a Geóloga Mônica M. Barbosa e a Engenheira Agrônoma Raquel A. Pedrosa.

## **8 – REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:**

- <sup>(1)</sup> Fetter, C. W., 1988, Applied hydrogeology. Sec. Ed. Merrill Pub. Toronto, 592p.
- <sup>(2)</sup> Domenico, P. A. and Schwartz, F. W., 1990, Physical and chemical hydrogeology, John Wiley & Sons, New York, 823 p.
- <sup>(3)</sup> Norton, D. and Knapp, R., 1977, Transport phenomena in hydrothermal systems: Nature of porosity: Amer J. Sci. v. 27, p 913-936.

## ANEXO 1



FIGURA 4 – Preparação da mistura dos pós

É importante que os pós de cimento e a bentonita sejam recém produzidos e que os sacos sejam abertos na hora para evitar hidratação prévia.

A hidratação complementar da bentonita deve acontecer dentro do poço para que use o excedente de água do cimento.

Para maior agilidade de preparação da pasta, faz-se a homogeneização dos pós de cimento e bentonita a seco na betoneira. Depois, uma vez pronta, retira-se a mistura e a substitui pela quantidade prevista de água. A seguir adiciona-se aos poucos a mistura a água na betoneira.



FIGURA 5 – Colocação de água na mistura dos pós



FIGURA 6 – Pasta de isolamento pronta

A pasta resultante da mistura cimento/bentonita/água, é despejada em um depósito para ser injetada com brevidade no poço através de bomba e mangotes. A operação de injeção deve limitar-se ao tempo máximo de 03 horas.