PROGRAMA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
PARA A REGIÃO NORDESTE

POÇOS COLETORES COM DRENOS RADIAIS
- PROJETO EXPERIMENTAL -

Série Hidrogeologia
Pesquisa e Desenvolvimento
Volume 1

CPRM
Serviço Geológico do Brasil

RECIFE
1999

COMPESA

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Rodolpho Tourinho Neto
Ministro de Estado

Hélio Vitor Ramos Filho
Secretário Executivo

Luciano de Freitas Borges
Secretário de Minas e Metalurgia

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM
Serviço Geológico do Brasil

Geraldo Gonçalves Soares Quintas
Diretor-Presidente

Umberto Raimundo Costa
Diretor de Geologia e Recursos Minerais - DGM

Paulo Antônio Carneiro Dias
Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento - DRI

Thales de Queiroz Sampaio
Diretor de Geologia e Gestão Territorial - DHT

José de Sampaio Portela Nunes
Diretor de Administração e Finanças- DAF

Frederico Cláudio Peixinho
Chefe do Departamento de Hidrologia

Humberto José T. R. de Albuquerque
Chefe da Divisão de Hidrogeologia
e Exploração

Marcelo Soares Bezerra
Superintendente Regional do Recife

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL DO RECIFE

GOVERNO DO ESTADO DE PERNAMBUCO
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA
COMPESA - COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO

POÇOS COLETORES COM DRENOS RADIAIS
PROJETO EXPERIMENTAL

Série Hidrogeologia - Pesquisa e Desenvolvimento, Volume 1

José Ubaldo de Sá

RECIFE
1999

EQUIPE TÉCNICA

Enjôlras de A. Medeiros Lima
Gerente de Hidrologia e Gestão Territorial

Ivo Figueirôa
Gerente de Relações Institucionais e Desenvolvimento

José Carlos da Silva
Supervisor de Hidrogeologia e Exploração

Antônio de Souza Leal
Coordenação Nacional

Equipe Executora
José Ubaldo de Sá
José Walter F. da Silva

Colaboradores
Hélio Paiva M. de França - COMPESA
José Inácio S. Leão Ávila - UFPE
Tiago Rolim - UFPE
João Maria - UFPE
Ari T. de Oliveira - NAMO/CPRM

Editoração Eletrônica
Claudio Scheid
Flávio Renato A. de A. Escorel
Ana Paula Rangel Jacques

Analista de Informações
Dalvanise da Rocha S. Bezerril

Coordenação Editorial
Serviço de Edição Regional Luciano Tenório de Macêdo
Rua Escritor Souza Barros, 1001 - Afogados - Recife-PE

Série Hidrogeologia - Pesquisa e Desenvolvimento, nº 01

Sá, José Ubaldo de
Poços coletores com drenos radiais - Projeto experimental. Recife: CPRM, 1999.
32 p. il. + anexos (Série Hidrogeologia - Pesquisa e Desenvolvimento, 01).

"Programa de Água Subterrânea para a Região Nordeste. Projeto Poços Coletores com Drenos Radiais".

1. Poços Coletores. 2. Hidrogeologia. 3. Água Subterrânea. 4. Aluviões. 5. Brasil. 6. Pernambuco. I. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. II. Companhia Pernambucana de Saneamento. III. Série. IV. Título.

CDD 551.49

Capa: Instalação de fundo, piso de poço coletor revestido com tela de nylon e recoberto com uma camada de brita.

Permitida a reprodução desde que mencionada a fonte

Apresentação

*O **Serviço Geológico do Brasil - CPRM** vem desenvolvendo no Nordeste brasileiro, desde l996, o Programa de Águas Subterrâneas para a Região Nordeste, envidando ingentes esforços como resposta ao forte apelo social representado pela água na vida do cidadão, seja para atenuar os efeitos devastadores da seca ou como elemento fundamental na política de saúde pública.*

Atenção especial tem sido dispensada ao subprograma "ALUVIÕES E COBERTURAS RECENTES", no qual são desenvolvidos, prioritariamente, trabalhos que permitam a obtenção de resultados imediatos quanto a disponibilização de reservas hídricas subterrâneas, as quais, por falta de maiores conhecimentos, não estejam em uso pela população.

*As ações aí implementadas despertaram o interesse de diversos órgãos públicos, tendo possibilitado o envolvimento e a participação da **Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA**, para o desenvolvimento de tecnologia de captação de água em terrenos aluvionares, através de poços coletores com drenos radiais, principalmente no aprimoramento do tipo de revestimento das paredes do poço coletor, no processo de perfuração dos poços horizontais e na instalação dos drenos.*

O trabalho em tela representa os resultados obtidos na primeira fase dos estudos, os quais foram desenvolvidos em regime de cooperação e apoio técnico-científico com a Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA, na área aluvionar da Vila Mandaçaia, município do Brejo da Madre de Deus/PE.

É desta forma, através de um persistente trabalho na busca de um maior conhecimento sobre os fatores que regem a ocorrência e a circulação de água nesses reservatórios, aliado ao desenvolvimento tecnológico na área de captação de água, que a CPRM pretende disponibilizar para a sociedade brasileira, as informações técnicas que possibilitem um maior e melhor aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos em áreas aluvionares do sertão nordestino, contribuindo assim para o resgate de uma impagável dívida social.

Sumário

1 - INTRODUÇÃO 01
1.1 Considerações Gerais 01
1.2 Objetivos 03
1.3 Metodologia 04
1.3.1 Considerações Técnicas 04
1.3.2 Referências Construtivas 05

2 - CONSTRUÇÃO DO POÇO 10
2.1 Locação 10
2.2 Aspectos Físicos 11
2.3 Aspectos Operacionais 13
2.3.1 Pré-Moldados Especiais 13
2.3.2 Instalação dos Drenos 13
2.3.3 Estrutura de Custo 14

3. MONITORAMENTO 17

4 - EQUIPAMENTOS E ACESSÓRIOS UTLIZADOS 18

5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 19

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 20

7 - DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA 21

ANEXOS

Anexo I - Ensaios de Resistência de Peças Pré-Moldadas para Poços Profundos

Anexo II - Fôrma para Pré-Moldado em Concreto

1 - Introdução

1.1 Considerações Gerais

O Projeto Poços Coletores com Drenos Radiais, desenvolvido pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil em Convênio com a Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA e a consultoria técnica da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, visa sobremaneira o aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos de baixa profundidade, notadamente nas áreas aluvionares, que formam nos domínios dos terrenos cristalinos, as faixas de terras mais agricultáveis, e em conseqüência, ocupadas por núcleos habitacionais, principalmente na região Nordeste do país.

Um método para se calcular o volume hídrico potencial das reservas aluvionares, quando os dados hidrogeológicos não estão disponíveis, considera a área aluvionar em torno de 2% da área da bacia hidrográfica, a espessura saturada de 1,5 m, porosidade efetiva de 10% e possibilidade de aproveitamento anual de 60% (Costa, 1998).

Dessa forma, considerando que as áreas do Nordeste do Brasil, sob o domínio dos terrenos cristalinos situam-se em torno de 400.000 km² (Rebouças, 1998), pode-se avaliar a reserva potencial anual das aluviões em aproximadamente 7,2 x 10^8 m³/ano.

A disponibilidade hídrica é definida como a parcela máxima que pode ser utilizada da reserva potencial anual, correspondendo assim, a vazão anual a ser extraída do aqüífero ou do sistema aqüífero, sem que se produza efeito indesejável de qualquer ordem, sendo calculada para o caso do sistema aqüífero intersticial aluvial, em 20% da reserva potencial anual (Costa, op. cit.).

De acordo com estas considerações, a disponibilidade hídrica anual nas aluviões do Nordeste brasileiro, situa-se em torno de 1,44 x 10^8 m³/ano.

A racionalização no uso dessas águas com gerenciamento planejado, equipararia o Nordeste do Brasil, na oferta d'água, a países como Israel e algumas regiões dos Estados Unidos como a California, sem que seus habitantes fossem penalizados a cada ciclo de estiagem. A explotação intensiva dessas reservas hídricas renováveis, através de fontes que possibilitem o bombeamento de grandes vazões, é indutora da renovação das águas, provocando a médio prazo, uma melhoria nas suas composições químicas e um conseqüente ganho na qualidade de vida dos usuários (Rebouças, op. cit.).

A escassez de águas potáveis é um problema não apenas das áreas desérticas ou de baixos índices pluviométricos, como os apresentados no Nordeste do Brasil, mas uma preocupação universalizada a ser enfrentada pelas próximas gerações. A migração humana interna, notadamente no Nordeste, é motivada pela baixa qualidade de vida, que em grande parte está associada a escassez de recursos hídricos, fortalecida preponderantemente por um mau uso decorrente da falta de um gerenciamento racionalizado.

A construção de estruturas com a finalidade de explotação de reservas d'águas subterrâneas de baixa profundidade, remonta aos tempos bíblicos conforme registros históricos. Entre as obras mais famosas para captação destes recursos hídricos estão os "Q'anats do IRAN" (antiga Pérsia), que consistia na construção (**Figura 1**) de Shaft's interligados por galerias subterrâneas (Huisman, 1972).

Em 1934, o Engenheiro americano Ranney idealizou um sistema de captação de água o qual foi, posteriormente, aperfeiçoado pelo inglês Fehlmann e que consistia na construção, em concreto, de um poço de diâmetro de 3,00 m, com a instalação posterior de drenos horizontais (Custódio & Llamas H.10, 1983). A utilização deste método de captação poderia ser considerado como uma estrutura física construída em duas etapas distintas, sendo a primeira a construção do poço coletor, enquanto que a segunda envolveria os trabalhos de instalação dos drenos horizontais.

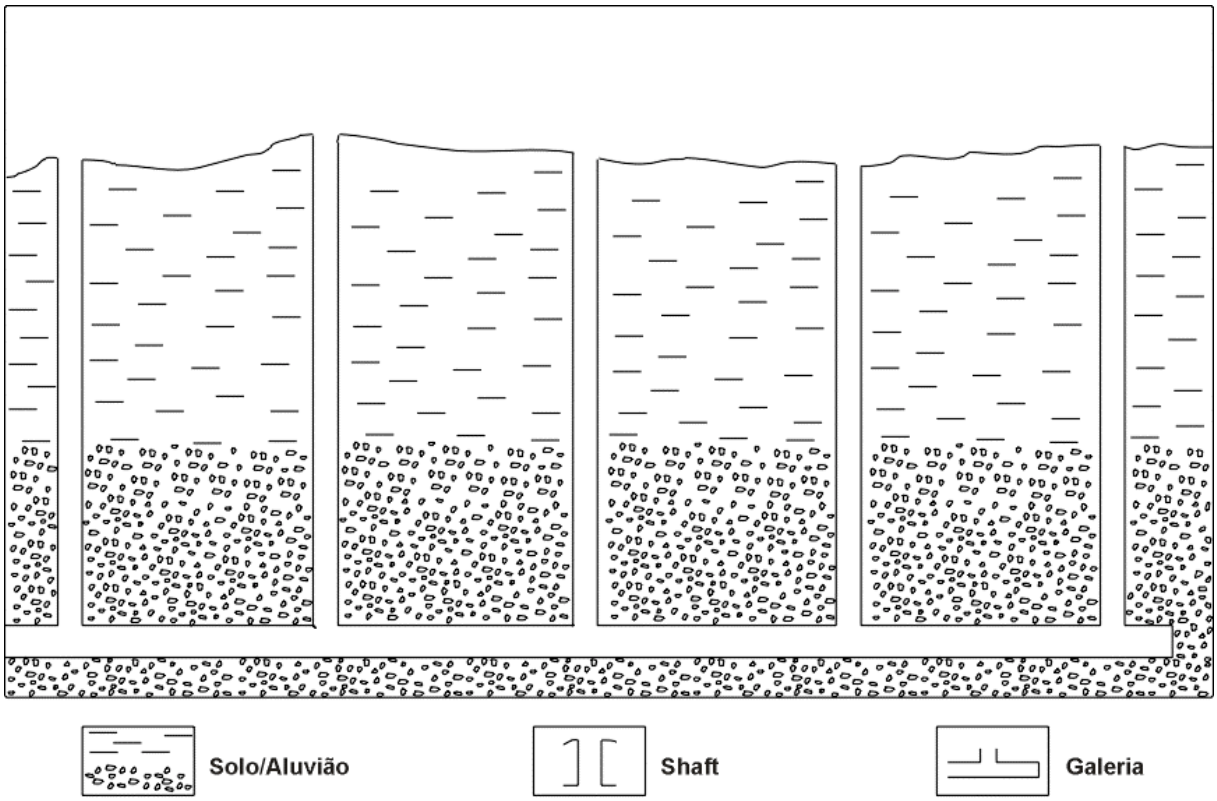


Figura 1 - Desenho esquemático dos Q'anats (modificado de Custódio & Llamas, 1983)

Poço Coletor

O poço coletor, consistia de um cilindro em concreto com espessura aproximada de 0,30 m, construído de forma contínua (**Figura 2)**.

A profundidade máxima alcançada foi de 57,0 m, demonstrando sua viabilidade construtiva, principalmente na captação de reservas de águas acumuladas em aluviões ou zonas de decomposição de rocha, de alta friabilidade ou baixo grau de compactação.

No Nordeste, estudos realizados nos Estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco, fazem referências a ocorrência de recursos hídricos aluvionares a profundidades inferiores a 30 metros (Souza, 1986).

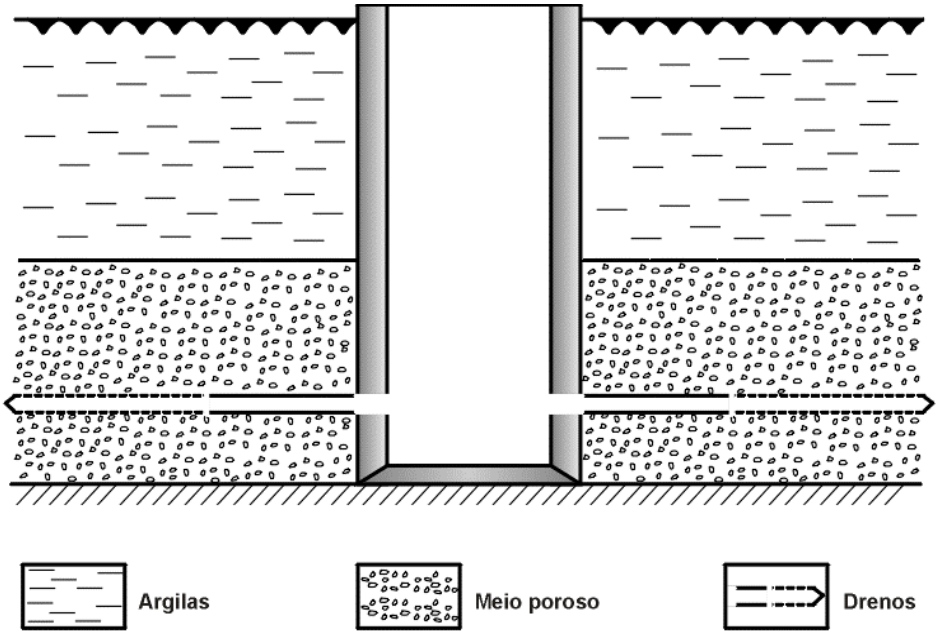


Figura 2 - Desenho esquemático do poço coletor de Ranney
(modificado de Custódio & Llamas, 1983)

Drenos Radiais

Os primeiros drenos radiais desenvolvidos para o abastecimento de Londres, consistiam na instalação de tubos metálicos, ao longo do substrato arenoso.

Tais tubos (drenos) eram perfurados ou rasgados em frestas longitudinais com dimensões mínimas, de modo que retivessem os grãos mais grosseiros das areias da unidade aqüífera, induzindo assim a formação de um pré-filtro natural.

A extensão horizontal desses drenos chegava a 50,0 m e poderiam ser instalados em número e diâmetros suficientes para proporcionar a captação de altas vazões, dependendo dos parâmetros geológicos pertinentes ao fluxo de fluido em aqüíferos livres.

A instalação de drenos radiais, através do prensamento de tubos rasgados como idealizados por Ranney em 1934 (Custódio & Llamas, op. cit.) ou de ponteiras filtrantes de 2 ½", com comprimento médio de 4,0 m de extensão (Ferreira et. al., 1994), requer grandes esforços físicos imprimidos por cilindos hidráulicos de alta potência. No projeto de Ranney (1934), essas pressões eram transmitidas às paredes do poço coletor no ponto diametralmente oposto ao dreno instalado, as quais eram constituídas por uma estrutura contínua em concreto armado com espessura de 0,30 m, robustez por ele considerada suficiente para resistir as pressões necessárias. No trabalho de Ferreira et. al. (op. cit.), não há referência ao caso.

1.2 Objetivos

O objetivo principal do Projeto de Construção de Poços Coletores com Drenos Radiais, é o de desenvolver tecnologia através de método específico de construção, visando uma melhor utilização dos recursos hídricos subterrâneos, principalmente dos terraços aluvionares, propiciando a exploração de águas em volumes relativamente elevados, que possam atender às comunidades instaladas nas proximidades de tais reservas.

Objetiva-se ainda, incrementar a exploração de águas subterrâneas acumuladas

em zonas de intemperismo de rocha ou mesmo em sedimentos argilo-arenosos superficiais, com baixos índices de permeabilidade, possibilitando o auto sustento de pequenos empreendimentos industriais ou agropecuários, no tocante a disponibilidade de água nos períodos de estiagem mais prolongados.

Configuram-se ainda as seguintes proposições:

- desenvolver método de construção de poços coletores em grande diâmetro, e especialmente quanto ao processo de revestimento, de tal forma que as comunidades alvos, sejam atendidas em suas necessidades de suprimento de água, de forma rápida em situações emergenciais;

- aproveitamento de águas acumuladas residentes em zonas de baixa permeabilidade;

- desenvolver tecnologia relativa a construção, instalação e operacionalização de drenos radiais em poços coletores, de forma a maximizar a exploração dos depósitos superficiais, reduzindo o número de pontos de captação com utilização individualizada;

- centralizar pontos de exploração dos aqüíferos, nos atendimentos comunitários, possibilitando uma distribuição mais equânime dos recursos hídricos disponíveis e, consequentemente, possibilitar um melhor gerenciamento dessas reservas;

- possibilitar a exploração das águas, de reservas renováveis em volumes maiores, suficientes para irrigações de médio porte e por conseguinte maior aproveitamento dos solos na agropecuária regional.

1.3 Metodologia

1.3.1 Considerações Técnicas

As variáveis físicas que influenciam diretamente no êxito ou insucesso na instalação dos drenos dependem de alguns fatores, tais como: composição do substrato, diâmetro do dreno, comprimento de instalação, grau de compactação do solo, presença de seixos e tamanho dos mesmos ao longo do eixo do dreno, presença de nódulos argilosos, irregularidades do nível do embasamento cristalino, etc.

Vista esta série de fatores limitantes da extensão a ser alcançada pelo dreno e da importância direta de seu comprimento no incremento de vazão, idealizou-se o projeto Poços Coletores com Drenos Radiais em duas fases distintas que pudessem dar respostas satisfatórias às necessidades exigidas, no que se referem principalmente a:

- praticidade construtiva;

- eficiência do modelo estrutural;

- alta resistência física à esforços mecânicos desenvolvidos na ocasião da instalação dos drenos;

- possibilidade de mecanização da construção da estrutura física;

- otimizar procedimentos para vencer as dificuldades de se cumprir um programa pré-estabelecido de número e comprimento de drenos a serem instalados, causadas pela heterogeneidade das estruturas aluvionares.

O Projeto do revestimento do poço foi desenvolvido pelo Engenheiro José Ubaldo de Sá, da CPRM, contando com a participação de consultores técnicos dos departamentos de Engenharia Civil e Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco (**Anexos I** e **II**). A construção consiste na formação de anéis articulados, com blocos de concreto de espessura de 0,12 m, altura de 0,50 m e em número de 15 unidades para fechamento do circulo (**Foto 1**).

A modelagem destes blocos pré-moldados foi concebida em fôrma metálica (**Foto 2**), desenvolvida pelo Departamento de Mecânica da UFPE, conforme projeto detalhado no **Anexo II**, cuja estrutura física apresenta as seguintes particularidades:

√ Fôrma em aço 1020 com chapas de 5/16”, reforçada com aspas de 3/8” para fazer face aos esforços físicos de adensamento da mistura de concreto;

√ Robustez projetada visando a reutilização do molde por tempo indeterminado, a

depender unicamente dos cuidados no manuseio;

√ Sistema de travamento específico e em número de três, que possibilita uma dupla regulagem de travamento;

√ Articulação que permite a retirada do bloco pré-moldado em tempo mínimo, sem que o mesmo sofra esforços de ruptura. Nos dias ensolarados as unidades permitem ser retiradas das fôrmas com tempo de cura de apenas 3,5 horas;

√ Tamanho e peso dos blocos pré-moldados, compatíveis para o manuseio por dois operadores (uma unidade pré-moldada tem comprimento de 0,62 m, altura de 0,50 m e peso aproximado de 90 kg);

√ Sistema de encaixe com precisão milimétrica, de forma a se obter no fechamento do círculo (pelos pré-moldados) espaço de folga mínima de 2 mm, que permite a facilidade operacional de montagem e máxima estabilidade aos esforços radiais de colapso e pressão interna.

A estrutura pré-moldada articulada forma um anel circular com três metros de diâmetro interno, ou 7,0 m² de área útil, espaço físico considerado necessário e suficiente para acomodação de três ou até quatro operadores nos serviços de escavação e instalação dos drenos.

1.3.2 Referências Construtivas

Ensaios Físicos

A malha metálica necessária para construção dos blocos pré-moldados foi desenhada pelo Departamento de Engenharia Civil da UFPE (**Foto 3**) e projetadas para suportar esforços físicos previstos em estruturas instaladas até 30,0 m de profundidade. A armação é construída em ferro industrial de 1/4" com amarração em arames de 3/16".

A construção dos corpos de prova foi operacionalizada pelo Engenheiro José Ubaldo de Sá, da CPRM, e encaminhadas ao Departamento de Engenharia Civil da UFPE para testes de resistência.

Duas etapas de ensaios foram realizadas, respectivamente em 20.05.1998 e 15.06.1998, utilizando malhas e relação de mistura diferentes, sendo aprovados os testes especificados em 15.06.1998.

Três diferentes tipos de esforços foram utilizados na avaliação dos corpos de prova, conforme esquematização descrita no relatório técnico 0298, **Anexo I**, Item 4.2.

O ensaio tipo 1, avaliou o esforço médio de ruptura da "aba de encaixe" das peças pré-moldadas num valor absoluto de 11,95 KN.

Sem um aprofundamento maior na questão, vale salientar que este esforço de ruptura foi quantificado para avaliação de uma peça individualizada. Fazendo parte de um conjunto articulado, esforços compressivos verticais originários do peso da estrutura aposta acima, somado às forças radiais de indução ao colapso, certamente aumentarão o ponto de ruptura do sistema de encaixe das unidades pré-moldadas a valores superiores ao definido no ensaio de resistência.

O ensaio tipo 2 avaliou o esforço de ruptura com ponto de apoio nas duas extremidades da peça num valor equivalente a 107,80 KN, o que pode ser considerado um valor confortável para suportar os esforços previstos na escavação de um poço coletor.

O ensaio tipo 3 avaliou esforços de resistência a compressão dos pré-moldados, obtendo-se valores da ordem de 245 KN, o que define neste sentido, aptidão suficiente para suportar profundidades de poços maiores que os propostos no projeto em estudo.

Relação de Mistura

Todos os blocos pré-moldados utilizados na construção do poço teste escavado em Mandaçaia, distrito de Brejo da Madre de Deus-PE, foram construídos dentro da especificação de malha, desenvolvida pela UFPE, enquanto que a relação de mistura, foi a mesma utilizada nos corpos de prova, com ensaio em 20.06.1998 e 28 dias de cura.

Relação de Mistura Volumétrica (Slamp)	
Areia	1,5
Brita (cascalhinho)	1,0
Cimento Portland	1,0

Estabilidade Estrutural

O revestimento formado por placas articuladas foi concebido dentro de um plano técnico inovador e portanto precisou ser repensado e reorientado por diversas vezes durante a materialização da idéia inicial. Dentro deste contexto foi idealizada uma estrutura com tubos de aço de uma polegada de diâmetro, conectada entre si sem luvas ou ressaltos tipo Tool Joints na conexão (**Foto 4**).

A estrutura metálica acima descrita, doravante designada centralizadora, tem por objetivo propiciar estabilidade vertical ao conjunto de placas pré-moldadas por ocasião da construção, e por mais algum tempo até que os esforços radiais convergentes provocados pela coluna de sedimentos localizados externamente, transformem-se em esforços de compressão, conforme mostrado no ensaio de teste tipo 3 do **Anexo I**.

O uso dos centralizadores mostrou-se de suma importância no êxito do empreendimento e portanto deve ser aprimorado por ocasião das próximas experiências.

A experiência sugere que os centralizadores têm funções diferentes quando em uso em terrenos friáveis desmoronantes, ou quando em uso em sedimentos não desmoronantes. No segundo caso conceitua-se que os mesmos possam ser removidos para reutilização, enquanto seu espaço pode ser preenchido por uma pasta formada por cimento e água, na proporção de um saco de cimento (50 kg) para 35 litros de água. Já no primeiro caso, os esforços radiais convergentes tendem a prensá-los às placas pré-moldadas, e por conseguinte não poderão ser removidas para nova utilização.

A **Foto 4**, mostra com clareza a flexibilidade da estrutura de concreto por ocasião da construção do poço teste, em decorrência da precisão nos encaixes dos blocos pré-moldados e das colunas centralizadoras, imprescindíveis na estabilidade vertical.

Perfuração Horizontal dos drenos radiais

A perfuração horizontal para instalação dos drenos idealizados no projeto, foi executada com tubos de aço Schedule 120, 6 5/8” de diâmetro externo e 5 13/16” de diâmetro interno, em unidades de 1,10 m de comprimento.

A conexão entre os tubos de 6 5/8” é feita através de rosca cônica tipo XL idealizada por apresentar facilidade de enroscamento e desenroscamento por ocasião dos trabalhos (**Foto 5**).

Como as condições operacionais são manuais, e portanto não oferecem meios que permitam imprimir torque (esforço de enroscamento), em valor tecnicamente recomendável (1.000 kg/m), sugere-se que essa operação seja realizada com a utilização de duas chaves de corrente (com cabo de aproximadamente 1,0 m de comprimento) acionadas através de dois operadores.

A sugestão acima deverá imprimir um esforço da ordem de 20% do valor recomendado e tem por objetivo minimizar os efeitos danosos impostos às roscas por insuficiência de torque, quando em trabalhos operacionais repetitivos.

À frente dos tubos foi acoplada uma sapata cortante, conectada apenas por encaixe e fixada com cola de alta resistência (**Foto 6**), construída em aço carbono 1040, com tratamento térmico para minimizar o desgaste operacional.

O desenho construtivo da sapata visou abranger uma maior área possível da frente de corte diminuindo assim os efeitos resistivos à penetração por prensamento dos tubos de 6 5/8”, após cada operação de desmonte hidráulico. O diâmetro externo da sapata cortante excede em apenas 4 mm o diâmetro dos tubos de 6 5/8”, o que teoricamente restringe o volume de material da formação a ser “prensado” contra as paredes e, por conseguinte, menores esforços necessários para a introdução mecânica dos tubos.

O acoplamento da sapata cortante, com tubos de 6 5/8" é feita apenas por encaixe (**Foto 6**), fixada com uso de cola, objetivando deixá-la dentro dos sedimentos (não recuperá-la), caso os esforços físicos por ocasião da operação de retirada superem a capacidade nominal dos equipamentos ou possam comprometer a estrutura física do poço coletor, onde estes esforços tem ponto de apoio.

O conjunto composto da sapata cortante e da coluna de tubos é prensado por meio de um cilindro hidráulico de alta potência para dentro dos sedimentos até que a penetração se interrompa pelos altos esforços de resistência compressiva (**Fotos 7, 8** e **13**).

Utilizou-se por ocasião dos trabalhos um cilindro hidráulico marca "ENERPAC" com capacidade de 75 toneladas, acionado por meio de um bomba hidráulica (manual) de duas velocidades, com capacidade volumétrica de 2,3 litros e pressões máximas de 25 kg/cm² no primeiro estágio e 700 kg/cm² no segundo estágio.

Observou-se que por ocasião da perfuração do poço teste, os esforços impostos na penetração dos tubos não excederam 5 toneladas, valor equivalente na leitura manométrica a 50 kg/cm².

Após atingir pressão equivalente, optava-se pelo desmonte hidráulico, objetivando preservar a estrutura, de maiores esforços, assim como imprimir um maior avanço.

A taxa média de avanço registrada (penetração dos tubos) foi de 1,5 mm por ciclo de bombeio, no primeiro estágio da bomba e de 0,6 mm no segundo estágio.

Quando cessa a penetração do tubo de 6 5/8" na aluvião por ocasião do prensamento, se faz necessário a remoção do material acumulado no interior dos tubos, que naturalmente se encontra prensado. Esta remoção é efetuada através da injeção de água à alta pressão, em volume suficiente para o carreamento até a extremidade dos tubos.

Desmonte e Limpeza Hidráulicas (Observações)

As **Fotos 9** e **16** demonstram diferentes meios utilizados na operação de desmonte hidráulico, seguido da limpeza dos tubos de 6 5/8" por carreamento (**Foto 19**).

Dois equipamentos de bombeio de água, foram utilizados no desmonte hidráulico:

√ uma bomba Bean Royal Triplex, com coluna adaptada a um jato de 5/16" imprimindo uma pressão de trabalho nominal da ordem de 70 kg/cm²;

√ uma bomba tipo submersa Schneider de 2", com capacidade de vazão de 26 m³/h.

A primeira unidade de bombeio foi utilizada normalmente no desmonte hidráulico, principalmente quando eram atingidos nódulos argilosos, possibilitando melhorar a eficiência da operação pela alta pressão de trabalho, enquanto que a segunda unidade entrava em operação quando a frente de desmonte era formada de areias inconsolidadas ou quando havia a presença de seixos (**Foto 16**).

A operação de desmonte deve ter avanço além da sapata cortante, objetivando formar uma frente de desmonte com área superior ao diâmetro externo da sapata. Esta metodologia alivia os esforços de resistência a penetração com melhor rendimento de avanço e em conseqüência, possibilidade de se alcançar maiores profundidades finais.

Na base das aluviões, normalmente residem seixos de diâmetros maiores, que quando se aproximam (em tamanho) do diâmetro do tubo penetrante (6 5/8"), dificultam muito a continuidade dos trabalhos, notadamente porque há uma tendência a aglutinação dos mesmos na frente da sapata cortante.

Por outro lado, estes mesmos seixos tendem a se alojarem abaixo da sapata, causando esforços verticais do sentido da base para o topo da aluvião e consequentemente impondo à coluna de 6 5/8" uma inclinação na mesma direção.

Sistema de Apoio

Tanto a operação de penetração dos tubos de 6 5/8", na aluvião, como da retirada desses mesmos tubos, exige-se esforços mecânicos da ordem de dezenas de toneladas que precisam ter ponto de apoio na estrutura de concreto que forma o poço coletor no ponto diametralmente oposto ao ponto de instalação do dreno. Visto que os blocos pré-moldados em concreto não suportariam tais esforços caso fossem aplicados de forma pontual, conforme demonstra análise de resistência física (**Anexo I**), foi desenvolvido um sistema que possibilita a distribuição das forças por uma área de aproximadamente 3,20 m², permitindo assim o uso de cilindro hidráulico de alta potência nas operações de prensamento e saca dos tubos de 6 5/8".

As **Fotos 8** e **17** ilustram o sistema de distribuição de esforços. A **Foto 17** mostra um arco, em madeira, de angulosidade radial equivalente ao formado pela estrutura de concreto, com apoio para o cilindro hidráulico (na base) e três encaixes que permitem a fixação (através de parafusos) de tubos metálicos de 2 ½" de diâmetro e 2 m de comprimento (**Foto 8**).

Limpeza Final

Designa-se de limpeza final a remoção total dos sólidos presentes dentro da coluna de 6 5/8" para possibilitar a operação de colocação da coluna filtrante.

Nas aluviões formadas por areias friáveis, o fluxo d'água penetrante através da sapata cortante carreia material desagregado para o interior da tubulação, impedindo a colocação dos filtros.

A remoção dos sólidos por meio de um fluxo com jato invertido, demonstrado na **Foto 10**, é eficiente em alguns casos, todavia quando o fluxo d'água originário da aluvião tem potência para carreamento dos sólidos, o artifício torna-se de eficiência relativa.

A limpeza "mecânica" realizada por meio de um fuso (parafuso sem fim), mostrou-se muito útil no processo de limpeza final, todavia precisaria ser aplicado meios que interrompessem o fluxo d'água e, conseqüentemente, o carreamento de sólidos.

Um dispositivo para esta aplicabilidade está sendo desenvolvido, de modo que a limpeza final possa ser realizada de forma a permitir a introdução da coluna filtrante.

Telamento dos Drenos Radiais

Após a limpeza final da coluna de tubos de 6 5/8", é procedida a colocação da coluna filtrante. Esta pode ser formada de filtros tipo PVC rígido, enroscáveis, acoplados a um tampão de fundo. O comprimento e diâmetro dos filtros devem ser compatíveis com a área do poço coletor e abertura interna da tubulação, respectivamente (**Foto 11**).

A prática demonstrou que o diâmetro de passagem não é o mesmo considerado para uma perfuração vertical de poços, tendo-se que levar em consideração algumas particularidades:

- a horizontalidade das colunas revestimento / coluna filtrante impede uma limpeza total do espaço anelar, exigindo um diâmetro de passagem teoricamente maior;

- a dificuldade de se conter o carreamento de materiais sólidos para dentro da coluna de tubos de 6 5/8", por ocasião da colocação dos filtros;

- a necessidade da retirada dos tubos de 6 5/8" logo após a colocação dos filtros, exige também um maior diâmetro perfurado.

Verificou-se que a centralização da coluna filtrante por meio de centralizadores, normalmente utilizados na indústria de perfuração de poços, deve ser considerada como uma tentativa válida para as próximas experiências, no sentido de minimizar os efeitos restritivos acima abordados.

Alguns procedimentos operacionais podem ser utilizados caso a limpeza final dos tubos seja deficiente, em função do carreamento constante de material sólido pela água da aluvião. Assim, tem-se as seguintes recomendações:

- ✓ a coluna de filtros deve ser introduzida com movimentos rotacionais e avanço mínimo para evitar o acúmulo de material sólido à frente da coluna;

- ✓ o bombeamento de fluido por dentro da coluna de filtros ajuda na expulsão de certa quantidade de material pelo o espaço anelar de filtros/coluna de tubos;

- ✓ o tampão de fundo, de imprescindível uso na operação, deve apresentar conicidade para facilitar a operacionalidade dos trabalhos de colocação dos filtros;

- ✓ evitar o uso de esforço físico de prensamento sobre os drenos por ocasião da operação de instalação visto que, a resistência a penetração demonstra obstrução do espaço anular (filtros/tubos de 6 5/8"), podendo causar rompimento dos filtros, quando da operação de retirada dos tubos metálicos.

Operação de retirada do tubo de perfuração

Consiste essa operação, em sacar a tubulação de 6 5/8" após a colocação da coluna filtrante. Nessa atividade utiliza-se da mesma estrutura de escoramento e equipamento de pressão (cilindro hidráulico) de forma invertida.

A adaptação de um cabeçote com ressalto, instalado à coluna de tubos de 6 5/8", mostrado na **Foto 12**, permite apoio de esforço suficiente para a remoção dos tubos.

Um aumento de pressão além do esperado, deve ser analisado com cuidado, para que não comprometa os trabalhos até então desenvolvidos.

Um adicional de pressão observado no manômetro acoplado ao cilindro hidráulico (acima da pressão registrada para introduzir os tubos) logo no início da operação de retirada do tubo, pode estar associado à necessidade de reorientação dos seixos alojados ao longo da coluna de tubos, o que não é motivo de preocupação maior. Todavia, não sendo esta a origem, a operação deve ser suspensa e a causa analisada.

Dentre os motivos deste aumento de pressão está o prensamento de material sólido (areias) na área anelar (filtros/tubos), o que pode colapsar a coluna de filtros em caso de esforço em demasia.

Uma segunda causa pode estar associada ao prensamento de seixos no espaço compreendido entre os tubos de 6 5/8" e as placas de concreto. Um aumento excessivo de pressão pode danificar a estrutura de placas articuladas.

No segundo caso, um jato d'água direcionado para dentro da coluna filtrante poderá desagregar os materiais sólidos depositados já no terceiro caso, o uso de uma lâmina de aço poderá detectar e desalojar um possível seixo prensado.

Telamento de Fundo

Os aproveitamentos hídricos das aluviões através de cacimbões, poços amazonas de outras denominações regionais, quando efetuados em terrenos essencialmente arenosos tendem a instabilizar a estrutura construtiva seja em alvenaria ou em concreto.

A origem dessa instabilidade é causada sobretudo por ocasião das estiagens prolongadas quando há a necessidade de escavações de aprofundamento com o objetivo de se atingir níveis cada vez mais baixos dos lençóis freáticos, expondo assim a base da estrutura a acomodações provocadas por tais instabilidades, decorrentes do fluxo de areias carreadas pelo fluxo d'água.

Conforme demonstram as **Fotos 20** e **21**, o piso do poço coletor foi revestido com tela de nylon, de 1 mm de malha, e posteriormente recoberto com uma camada de brita com 0,30 m de espessura.

A operação de telamento deu ênfase a cobertura do espaço compreendido entre o piso do substrato cristalino e a estrutura de concreto, ponto crítico de passagem das areias carreadas pelos os fluxos d'água radiais.

2 - Construção do Poço

2.1 Locação

Souza (1986), em seu trabalho "Aproveitamento dos Aqüíferos Aluvionares", descreve amplamente a importância de se conhecer a estrutura aluvionar que se deseja explorar para aproveitamento hídrico, assim como detalha metodologias de pesquisa imprescindíveis para um aproveitamento eficiente desse potencial, embasado nas heterogeneidades físicas dessas estruturas sedimentares e na variabilidade de suas espessuras dentro de um mesmo corpo sedimentar.

Na pesquisa aluvionar para a definição da locação de um poço coletor é necessária a perfuração a trado, em seções transversais distribuídas ao longo do eixo central da aluvião, de uma série de furos com espaçamento de, aproximadamente, 10 metros.

A pujança da maior espessura saturada de sedimentos arenosos, define tecnicamente o ponto ideal da locação excetuando outras variáveis, tais como: distância de bombeio, disponibilidade de área, necessidade volumétrica de explotação, etc.

Dentre as definições necessárias para uma tomada de decisão na escolha da locação de um poço coletor, estão:

- a profundidade máxima do poço, de modo a atender necessidades de explotação;
- a quantidade de placas pré-moldadas a serem construídas (função da profundidade do poço);
- o nível estático da reserva hídrica associada a seqüência sedimentar, o qual influenciará na escolha dos equipamentos necessários para a construção física do poço coletor;
- a obtenção de amostra d'água para uma análise físico-química e bacteriológica, a fim de que possa ser julgada apta ao consumo pretendido;
- o orçamento dos custos e a avaliação da relação custo/benefício;
- o nível do embasamento cristalino (no caso da perfuração alcançá-lo), orientará o posicionamento das placas pré-moldadas especiais (definidas no Item 2.3.1) através das quais os drenos serão instalados.

Várias áreas foram visitadas objetivando a escolha de um ponto para a locação do primeiro poço coletor teste, construído pela CPRM em convênio com a COMPESA:

A primeira, situa-se no município de Sertânia, estado de Pernambuco, nas aluviões formadas pelo rio Moxotó e tinha por objetivo o abastecimento público da área urbana do município. Um amplo levantamento dos pontos d'água (cacimbões) existentes, permitiu concluir com a anuência da COMPESA, pela escolha de um segundo ponto, pois dentre as razões estavam o argumento de que a necessidade de esgotamento por ocasião da construção poderia, de certa forma, comprometer o abastecimento público que já passava por dificuldades, em virtude da longa estiagem.

Uma segunda área situada no Bairro de Dois Irmãos, área norte da cidade do Recife/PE, foi avaliada por meio da perfuração de um furo a trado, em terreno próprio da COMPESA. O resultado mostrou uma seqüência sedimentar essencialmente argilosa até a profundidade de 15,50 m que nos levou a optar por uma área mais favorável, no tocante a expectativa de vazão.

Ainda dentro do objetivo de se determinar uma localização para perfuração do poço teste, foi visitada a área situada às margens da PE-15, entre os municípios de Paulista e Abreu e Lima; todavia como a área não era de propriedade da COMPESA, precisaria ser desapropriada, o que poderia demandar certo tempo para viabilização do empreendimento.

Uma outra localidade foi sugerida pela COMPESA, situada no distrito de Mandaçaia, município de Brejo da Madre de Deus: a Vila de Mandaçaia, situada na região agreste do estado de Pernambuco, sob domínio político do município de Brejo da Madre de Deus, com acesso a partir da cidade do Recife pelas es-

tradas BR-232, BR-104 e PE-20, numa distância total de 190 km (**Foto 14**).

O Distrito possui uma população aproximada de 1.000 habitantes e tem sua economia baseada na produção agropecuária e na indústria textil de transformação.

O abastecimento d'água da população urbana é realizado pela COMPESA e tinha como fonte, um cacimbão escavado nas aluviões formadas pelo rio Tabocas (**Foto 15**).

Vários aspectos influenciaram na decisão conjunta, entre os técnicos da COMPESA e da CPRM, na definição deste ponto para construção do poço coletor (teste), tais como:

- a exigüidade de tempo para cumprimento dos prazos estabelecidos no convênio entre a CPRM e a COMPESA;
- a área em questão faz parte do conjunto aluvionar formado pelo rio Tabocas, que tem intenso aproveitamento de suas reservas hídricas;
- não necessitaria de desapropriação do terreno;
- poços amazonas construídos nas proximidades (a montante e a jusante) do rio Tabocas, permitiam através de observação direta, uma análise conclusiva favorável na definição da área;

Soma-se a estas justificativas a necessidade urgente da revitalização do sistema de captação de água para o abastecimento do distrito de Mandaçaia, que em breve entraria em colapso, como mostra a **Foto 15**, cacimbão de alvenaria com evidentes sinais de colapsamento dos sedimentos circunvizinhos.

2.2 Aspectos Físicos

Localização

O poço coletor situado no distrito de Mandaçaia, município de Brejo da Madre de Deus, está localizado nas aluviões do rio Tabocas e tem as seguintes coordenadas: UTM 9.104.097 N e 805.674 S.

Seqüência Aluvionar

A área aluvionar onde está localizado o poço coletor com drenos, apresenta uma seqüência de areias friáveis, quartozosas, feldspáticas, granulometria de forma angulosa e tamanho médio, grosseira a muito grosseira, no sentido da base.

A seqüência sedimentar apresenta com freqüência, a ocorrência de seixos de quartzo de tamanho decimétrico, assim como nódulos dispersos de argila plástica de cor escura, fruto do processo erosivo das margens do rio Tabocas por ocasião das cheias.

A espessura aluvionar localizada é de 4,5 m, enquanto que a largura, na superfície transversal ao rio é de 60 metros, incluindo-se aí o terraço aluvionar de característica essencialmente argilosa.

Aspectos Operacionais do Poço Coletor Radial

Os trabalhos de escavação do poço coletor tiveram início em 11.09.1998, e foram concluídos em 11.10.1998.

A seqüência operacional desenvolveu-se a partir da montagem do primeiro anel de placas pré-moldadas com o posicionamento das hastes centralizadoras.

É importante observar no início da montagem a convexidade correta da primeira placa, pois a aparente simetria pode levar a um posicionamento incorreto da mesma e como conseqüência, uma maior dificuldade no fechamento do círculo, proporcionando evidente instabilidade dos blocos pré-moldados.

Na montagem dos anéis que irão posicionar-se na faixa inferior do poço coletor (quando concluído), deve-se ter atenção na escolha das peças que devem estar isentas de pequenos defeitos construtivos, avariados em transporte ou manuseio inadequados, já que são estes blocos que irão suportar os maiores esforços físicos causados pela pressão da coluna de sedimentos, inclusive para a instalação dos drenos.

A montagem inicial deve ser posicionada em terreno aplainado, preferencialmente com o uso de um nível de bolha adaptado a uma régua de madeira.

Para orientar o posicionamento dos blocos no terreno, é útil a marcação do solo pelo uso de um círculo com diâmetro de 3 metros. O posicionamento de um gabarito definirá a distância pré-definida entre as placas.

Os centralizadores, mostrados na **Foto 4**, devem ser posicionados aproximadamente a 0,15 m abaixo do nível inferior das placas, visando proporcionar à estrutura de concreto que irá se formar, uma orientação no deslocamento do conjunto, estabilizado por eles próprios.

Vale salientar que todos os anéis que irão posicionar-se acima, sofrerão influência da primeira montagem anelar, portanto, esta deve ter o melhor posicionamento possível.

Após a montagem do primeiro anel, inicia-se os trabalhos de escavação e retirada do material desagregado, que pode ser manual até a profundidade em torno de 2,0 m.

Durante a fase de escavação recomenda-se liberar, inicialmente, a extremidade de todos os estabilizadores por meio da perfuração localizada, com o devido escoramento dos blocos com toras de madeira.

Sempre que o último anel for montado, ao atingir a altura de aproximadamente 0,30 m acima da superfície do solo, deve-se reiniciar a montagem de um novo círculo anelar, pois esta altura é a que melhor favorece o posicionamento correto de novos blocos.

O tempo despendido para a montagem de um círculo anelar situa-se, na prática, em torno de uma hora, sendo necessária a utilização da mão-de-obra de dois operadores braçais e um terceiro (mestre de obra) responsável pela orientação operacional.

O peso da estrutura anelar de concreto é de 2.700 kg/m, suficiente para vencer o esforço de resistência transmitidos pelas “paredes” do poço de escavação. Desta forma, em terrenos constituídos por areias friáveis, a acomodação dos blocos se processa espontaneamente sem que seja necessária a interferência dos operadores, os quais apresentam nestas situações uma tendência a concentrarem a escavação em um mesmo ponto, provocando assim um diferencial de pressão nos lados opostos da estrutura e, conseqüentemente, uma ovalização do poço coletor.

O conjunto de informações ora relatadas é fruto da experiência na escavação de um único poço coletor com placas pré-moldadas, salientando-se que outras situações deverão revelar-se em experiências futuras, pois o comportamento dinâmico da estrutura de concreto deve apresentar-se diferentemente em terrenos consolidados com resistência ao desmoronamento natural.

O processo de escavação foi totalmente manual com o uso apenas de pás, já que as areias da aluvião não apresentavam nenhum grau de compactação.

Somente a partir da profundidade de 2,0 m, foi utilizado um guincho equipado com caçamba de capacidade volumétrica de 90 litros, para retirada do material de escavação (**Foto 22**).

Um conjunto telescópico fixo, equipado com roldanas (**Foto 23**) permitindo o giro da caçamba em ângulo de até 90º, proporcionou descarga do material escavado com relativa praticidade. O volume matemático de areia *in situ*, por metro de profundidade, para um poço coletor de diâmetro útil de 3 metros, é de 8,20 m³/m, todavia, constatamos que por ocasião das escavações realizadas, o volume extraído “desagregado” de areia situava-se em torno de 15,0 m³/m, fruto do empolamento e dos desmoronamentos produzidos durante os serviços operacionais.

Esta movimentação de volume excedente de areia, retardou a conclusão da perfuração do poço coletor, no entanto, a adoção de uma segunda caçamba, em situações semelhantes, sem dúvida agilizaria significativamente os trabalhos de escavação.

Os trabalhos operacionais podem ser desenvolvidos por três operadores (sem qualificação profissional) e um técnico (operador de guincho e encarregado de obra).

2.3 Aspectos Operacionais

2.3.1 Pré-Moldados Especiais

As placas pré-moldadas idealizadas para construção do poço coletor tem uma espessura de 0,12 m de concreto com armação metálica (malha) projetada especialmente para tal uso. Estas placas não devem sofrer modificação estrutural, para permitirem a adaptação de escadas ou suporte para instalação dos drenos.

Os blocos pré-moldados por onde serão introduzidos os drenos estão sendo rotulados de blocos especiais. Estas placas são moldadas da mesma forma que as restantes, com a diferença de portarem um tarugo de madeira torneado de 7" de diâmetro e comprimento de 0,09 m, somente removido após a conclusão do poço coletor e por ocasião da instalação dos drenos.

Ao conjunto de placas, definidas como necessárias para a construção do poço coletor, instala-se já por ocasião da modelagem e num universo de 7%, um vergalhão de 1/2" em forma de "U" que servirá de escada e terão posicionamento previamente definido (**Foto 24**).

2.3.2 Instalação dos Drenos

Aspectos Hidrogeológicos

A instalação de drenos em poço coletor tem por objetivo proporcionar um incremento significativo na capacidade de produção de água com a utilização de um mesmo ponto de captação.

Custódio & Llamas (1983), registram o conceito de raio equivalente para projetar matematicamente as vazões obtidas de um poço coletor antes e após a instalação dos drenos, ou seja:

$$Rp = \frac{c}{\sqrt[n]{4}}$$

Onde: Rp = Raio equivalente
c = comprimento médio dos drenos
n = número de drenos

O conceito de raio equivalente significa que um poço com drenos radiais em número e diâmetros suficientes para drenarem todo o volume de água armazenada, corresponderia a um poço escavado com diâmetro pleno de perfuração.

O dimensionamento da vazão de explotação, baseado neste conceito, precisa ser detalhadamente elaborado, pois na prática um grande número de variáveis interferem na execução física da obra, sendo necessário definir:

- número de drenos;
- comprimentos dos drenos;
- diâmetro da parte filtrante;
- número de níveis produtores, onde serão instalados os drenos;
- parâmetros hidrogeológicos da aluvião (condutividade hidráulica) transmissividade, porosidade efetiva, etc.);
- parâmetros físicos da aluvião (grau de compactação, tipo de sedimento, presença de seixos de grande diâmetro);
- intercalação de níveis argilosos ou presença aleatória de nódulos argilosos na faixa arenosa da aluvião;
- variação litológica dos sedimentos ao longo do eixo horizontal dos drenos;
- elevações do substrato cristalino.

Fica aqui evidenciada a experiência obtida na instalação de drenos em terrenos formados por areias friáveis do rio Tabocas, no município de Brejo da Madre de Deus, estado de Pernambuco.

Posicionamento Final dos Drenos

A **Foto 18** mostra o aspecto físico do poço concluído, assim como a marcação de três pontos (definidos por tubos azuis) onde projeta-se na superfície a extensão dos três drenos instalados.

Os drenos foram revestidos com filtros de PVC de 4" ranhurado (diâmetro interno) e 2 m de comprimento, enroscáveis e adaptados com tampão (cônico) de fundo.

As seções filtrantes foram instaladas a 0,75 m acima do fundo do poço, altura mínima suficiente para o manuseio operacional.

Dreno nº 1 – Foi denominado de dreno nº 1, o localizado à esquerda da **Foto 18**, com extensão de 10 metros (medidos a partir da face externa do poço coletor), a qual foi limitada para prevenir possíveis danos a um poço utilizado pela COMPESA para suprimento d'água à população da Vila Mandaçaia.

Os sedimentos atravessados por este dreno são essencialmente arenosos, de granulometria grosseira a muito grosseira, ocasionalmente intercalados por nódulos de argilas plásticas e seixos rochosos (**Foto 16**).

Dreno nº 2 – A segunda seção filtrante, representada na **Foto 18**, na posição central, tem comprimento de 8 metros. Sua extensão foi definida em função da interrupção do avanço pela coluna de 6 5/8" em virtude da elevação localizada do nível do embasamento cristalino.

A litologia é semelhante à encontrada no primeiro dreno e composta por areias quartzosas de granulometria grosseira a muito grosseira, com presença de nódulos argilosos e seixos rochosos, de aproximadamente 0,10 m de diâmetro.

Dreno nº 3 – A terceira seção filtrante tem 13,40 metros de comprimento (**Foto 18**). A seqüência sedimentar é semelhante às duas já apresentadas, com a mesma aleatoriedade de nódulos argilosos e seixos rochosos.

Como o eixo da linha dessa seção de filtros posiciona-se paralelamente ao leito do riacho e no sentido inverso do movimento de fluxo do rio, um comprimento maior deste dreno pouco influenciaria na contribuição de vazão.

As F**otos 12** e **20** mostram contribuições de fluxos de dois dos três drenos instalados no poço coletor, perfurados na Vila Mandaçaia. Essa evidente insignificância de vazão, é justificada pelo rebaixamento excessivo dos níveis d'água na aluvião, fruto da prolongada estiagem, ocorrida no ano de 1998 em toda a região do Nordeste do país, com índice pluviométrico anual de apenas 381,70 mm, registrado na área do município de Brejo da Madre de Deus, somado ao alto grau de exploração do aqüífero, para irrigação de hortaliças.

Em decorrência de tais fatos, os níveis d'água rebaixaram além dos níveis dos eixos dos drenos, propiciando contribuições de vazão de valor desprezível.

Esta anomalia prejudicou uma análise mais aprofundada da contribuição individual de cada seção filtrante do poço, assim como inviabilizou a execução do teste de vazão programado onde seriam observadas as variações de níveis d'água através de um poço de observação (piezômetro), visando uma análise técnica-científica do custo/benefício da execução de obras semelhantes no aproveitamento dos recursos hídricos de baixa profundidade.

2.3.3 Estrutura de Custo

A estrutura de custo para a construção de um poço coletor, com drenos radiais, precisa ser elaborada de forma a demonstrar um alto índice de realismo de cálculo. Para definir tal propósito, foram considerados os seguintes custos:

- Despesas de investimento
- Custos fixos
- Custos variáveis: Construção do poço
  Instalação dos drenos

Despesas de investimento

Os equipamentos necessários para a construção de poços coletores capazes de proporcionar o máximo de produtividade operacional, são os seguintes:

- bombas para esgotamento;
- bomba de pressão para desmonte hi dráulico;
- conjunto gerador trifásico para acionamento das bombas para esgotamento (caso não haja disponibilidade de energia elétrica);
- guincho equipado com motor diesel;
- fôrmas para a modelagem dos blocos pré-moldados;
- conjunto bomba x cilindo hidráulico de alta potência.

O custo inicial para aquisição ou adaptação destes equipamentos está atualmente estimado em R$ 15.000,00 (quinze mil reais).

Para estimativa dos custos envolvidos na contrução de um projeto padrão, foi considerada a taxa de depreciação do equipamento, por poço.

Custos Fixos

A estimativa dos custos fixos está apresentada para a execução de um projeto padrão, utilizando os equipamentos dimensionados e mão-de-obra treinada na locação do poço. Foi considerado um poço coletor com 10 metros de profundidade, 3 metros de diâmetro interno, formado por blocos pré-moldados e suprido por quatro drenos horizontais de 15 metros cada, com revestimento em filtros PVC rígido de 4".

Nos custos fixos, assim definidos, considerou-se as despesas com material de construção e mão-de-obra na modelagem de 300 blocos pré-moldados, utilizando-se cinco fôrmas de concretagem.

Composição volumétrica para a modelagem de 300 unidades de pré-moldados:

Insumos	Razão de Mistura	Volumes Proporcionais (%)	Volume (m^3)
Areia	1,5	42,88	3,76
Brita	1,0	28,57	2,50
Cimento	1,0	28,57	2,50 (*)

(*) 63 sacos de 50 kg.

- Volume total de concreto = 8,76 m^3

- Material necessário para modelagem de 300 unidades de pré-moldados:

  - ferro (1/4") - 6,0 m/unidade pré-moldada = 150 vergalhões
  - ferro (3/16") - 8,6 m/unidade pré-moldada = 285 kg
  - mão-de-obra:
    na construção das malhas = 800 horas
    na modelagem dos pré-moldados = 480 horas
  - filtro geomecânico de 4" = 60 m
  - centralizador = 150 m
  - laje para cobertura do poço = 7 m^2

- Composição do custo fixo

- areia (4,0 m^3 x 35,00/m^3) ..... R$ 140,00
- brita (2,5 m^3 x 25,00/m^3) ..... R$ 62,50
- cimento (63 sc x R$ 6,50/sc) ..... R$ 409,50
- ferro ¼" (150 verg x R$ 3,30/vergalhão) ..... R$ 495,00
- ferro 3/16 (285 kg x R$ 1,30/kg) ..... R$ 370,50
- filtros (60 m x R$ 15,00/m) ..... R$ 900,00
- centralizadores (150,0 m x R$ 2,70/m) ..... R$ 405,00
- laje de cobertura (7 m^2 x R$ 25,00/m^2) ..... R$ 175,00
- mão-de-obra (construção malhas) (800 h x R$ 1,26 h) ..... R$1.008,00
- mão-de-obra (modelagem dos pré-moldados) (480 h x R$ 0,94/h) .. R$ 451,20
- depreciação do equipamento ..... R$ 250,00

Total custo fixo ..... R$ 4.666,70

Custos Variáveis

As despesas referenciadas como variáveis estão sendo assim destacadas em virtude da sua estrutura de custo poder sofrer alterações consideráveis em função do grau de mecanização que venha a ser empregado, assim como estão diretamente relacionadas ao tipo de aluvião e ao seu grau de compactação, os quais determinarão as taxas de avanço/dia das escavações.

Algumas considerações necessitam ser registradas objetivando ser um referencial para outras bases de cálculo, já que a experiência vivenciada é única, ou seja:

√ considerou-se a composição da unidade sedimentar, formada por areias inconsolidadas passíveis de sofrer desmonte manual;

√ grau de mecanização semelhante ao utilizado nas escavações do poço coletor de Mandaçaia, conforme relação de equipamentos referenciados no Item 11, com a substituição da bomba manual de duas velocidades por uma bomba similar, mas de acionamento automático;

√ leito dos sedimentos onde serão instalados os drenos, tendo composição semelhante a encontrada no perfil vertical do poço coletor, registrado no item a;

√ equipe de mão-de-obra formada por 3 operários sem exigência da qualificação profissional, 1 operador de guincho e encarregado operacional.

Dentro dessas considerações, estimou-se um avanço de 0,7 m/dia para os trabalhos de escavação do poço coletor e de 2,0 m/dia para as atividades de instalação dos drenos radiais, já contabilizado o tempo dispendido na operação de retirada dos tubos de 6 5/8".

- **Composição do custo variável**

- tempo de escavação poço coletor

$$\frac{10\ m}{0{,}7\ m/dia} = 15\ dias$$

- tempo dispendido na instalação dos drenos

$$\frac{60\ m}{2\ m/dia} = 30\ dias$$

- tempo total = 45 dias úteis

- Custo operacional/dia por equipe = R$ 40,16

Custo variável = R$ 1.807,20

Custo Total (custo fixo + custo variável) = R$ 6.473,90

- **Considerações Finais**

Foi considerado um poço coletor definido como padrão, para efeito de base de cálculo na avaliação de custo, com as seguintes características:

- profundidade: 10 m
- diâmetro: 3 m
- profundidade dos drenos: 15 m
- nº de drenos: 4 m
- diâmetro dos drenos: 4"

De acordo com o conceito teórico de raio equivalente abordado por Custódio (op. cit.) - (hidráulica de captação de águas subterrâneas) p 9267, um poço coletor com drenos radiais com as especificações acima corresponderia a uma unidade de captação de água de diâmetro pleno de acordo com a fórmula:

$$Rp = \frac{c}{\sqrt[n]{4}}$$

$$Rp = \frac{15}{\sqrt[4]{4}} = \frac{15}{1{,}4142} = 10{,}60\ m$$

Diâmetro equivalente = 21,20 m

3 - Monitoramento

A metodologia construtiva do poço coletor com a instalação de drenos radiais, através do desmonte hidráulico, demonstrou por ocasião dos trabalhos desenvolvidos (em experiência única), que o volume de sedimentos (areias) extraídos durante as escavações ultrapassaram consideravelmente o volume esperado.

O fato registrado, que pode ser característico apenas das formações arenosas inconsolidadas merece atenção, pois a estrutura de concreto formada por blocos articulados deverá sofrer consideráveis esforços físicos decorrentes da acomodação dos sedimentos, que precisam ser observados no tempo.

Estima-se que a acomodação dos sedimentos circundantes do poço coletor e aos drenos só se completará após o ciclo chuvoso anual, por conseguinte, sugere-se um monitoramento do poço para uma avaliação técnica.

4 - Equipamentos e Acessórios Utilizados

Tubos Schedule 120, de 1,20 m de comprimento e roscas cônicas tipo XL, OD 6 $^{5}/_{8}$", ID 5 $^{13}/_{16}$" (**Foto 5**).

Bomba manual de duas velocidades referência P-80, fabricação ENERPAC, pressão máxima 7000 kg/cm² .

Cilindro hidráulico referência RC-756, capacidade 71.400 kg (**Foto 13**).

Bomba Bean Royal Triplex, com saídas em jatos de ¼", $^{3}/_{8}$" e ½".

Duas Bombas Schneider de 2" e 3" com vazões nominais de 26 e 76 m³/h.

Guincho adaptado a motor Yamar com redutor de velocidade e caçamba para esgotamento com capacidade para 90 litros (**Foto 23**).

Estrutura de escoramento para distribuição de esforços aplicados na instalação dos drenos, com área de 2,40 m² (**Foto 17**).

Sapata cortante construída em aço 1.020, conforme figura nos Anexos (desenho esquemático).

Cabeçote (saca) construído em aço 1.020 e rosca tipo cônica XL (**Foto 12**).

5 - Conclusões e Recomendações

O projeto foi desenvolvido com o objetivo principal de oferecer alternativas aos processos utilizados atualmente no Nordeste do Brasil, para o revestimento das paredes de Poços Coletores e para os métodos de perfuração horizontal e instalação dos drenos radiais. Neste contexto pode-se considerar que os resultados obtidos, no que se refere a técnica desenvolvida, alcançaram plenamente o objetivo, demonstrados tanto na viabilidade construtiva do projeto quanto na funcionabilidade do sistema, notadamente nos seguintes casos:

- blocos pré-moldados de concreto para o revestimento do Poço Coletor, e
- sistema hidráulico combinado com jato d'água para perfuração e instalação dos drenos.

Os custos de construção do poço e coletores são bastante atrativos, visto que a opção pelo uso da tecnologia apresentada para o revestimento do poço, deve ser adotada nos casos onde as atuais não sejam tecnicamente recomendadas ou ainda, quando se faz necessária uma maior extensão dos poços horizontais para o aumento do volume de água captada.

Além das sugestões contidas no texto do trabalho ressaltam-se as seguintes, adotáveis na realização dos próximos projetos de construção:

- utilizar, no mínimo, três fôrmas metálicas visando reduzir o tempo gasto na construção dos blocos de concreto;
- aprimorar o uso dos centralizadores, entre os blocos de concreto, no sentido de recuperá-los e dar maior flexibilidade ao deslizamento e articulação das peças pré-moldadas;
- avaliar as conveniências técnicas e financeiras da mecanização do processo de escavação do poço coletor e da remoção do material desagregado;
- aprimorar o sistema hidráulico do "macaco", mecanizando o acionamento;
- aperfeiçoar o sistema de pressão para desmonte e limpeza da aluvião durante a perfuração do poço horizontal e da instalação dos drenos;
- efetuar melhorias nos procedimentos de centralização e instalação dos drenos;
- adotar um eficiente programa de testes de produção de água, por unidade de dreno e com todos os drenos produzindo em conjunto utilizando-se, inclusive, poços de observação instalados nas proximidades do Poço Coletor com monitorização da qualidade da água.

6 - Referências Bibliográficas

COMPANHIA SIDERÚRGICA MANNESMANN. Tubos de aço sem costura. 5ª ed. [s. l.], 1976. 32 p.

COSTA, Waldir Duarte. Avaliação de Reservas. Potencialidade e Disponibilidade de Aqüíferos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10, 1998, São Paulo. Anais. São Paulo: ABAS, 1998. Disponível em: 01 CD.

COTAÇÕES. Construção, v. 25, n. 303, p 25, ago. 1998.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M.R. Hidrologia Subterrânea. Barcelona: OMEGA, 1983, 2v.

ENERPAC CILINDROS HIDRÁULICOS. Cilindros para uso geral. [s. l; s. n.], 1997.

FERREIRA, José de Assis; REVOREDO, Inaldo Moraes; ROCHA, Wilton José da Silva; RIBEIRO, José Pires. Poços amazonas com drenos radiais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 8., 1994, Recife. Anais. Recife: ABAS, 1994. 544 p. il. p. 405-410.

HUISMAN, L. GROUNDWATER RECOVERY. London: The Macmillan Press, 1972. p. cap. 12, p. 301-326.

INSTITUT FRANÇAIS DU PETROLE. Drilling data Handbook. Paris: Technip, 1978. 413 p.

REBOUÇAS, A. da C. Delírio da águas e as panelas vazias. In: ABAS informe, São Paulo, n. 79, p. 7, jun. 1998.

SOUZA, Marcos Fernandes de. Aproveitamento dos Aqüíferos Aluvionares. Campina Grande: CDRM, 1986. 87 p.

Foto 1 - Conjunto de blocos pré-moldados aguardando tempo de cura para utilização, construídos para teste experimental

Foto 2 - Fôrma em aço desenvolvida pela UFPE para modelagem de blocos

Foto 3 - Malha metálica em ferro 3/16” desenhada pela UFPE

Foto 4 - Início da montagem dos blocos pré-moldados e escavação manual, observando-se, na vertical, os “centralizadores” responsáveis pela estabilização dos blocos

Foto 5 - Tubo de 6 5/8" com rosca tipo caixa para perfuração dos drenos

Foto 6 - Sapata cortante utilizada na perfuração dos drenos e um tubo centralizador de 1"

Foto 7 - Prensamento com cilindro hidráulico dos tubos de 6 5/8”

Foto 8 - Sistema de apoio formado por um aço em madeira e hastes verticais

Foto 9 - Sistema de desmonte hidráulico com jato de 5/16”

Foto 10 - Sistema de limpeza com jato invertido

Foto 11 - Colocação de filtros em PVC rígido de 4”

Foto 12 - Operação de retirada dos tubos de 6 5/8” com sistema de escoramento dos filtros por tubo de 1”

Foto 13 - Cilindro hidráulico com cap. 75 t e bomba manual equipada com manômetro para 10.000 lbs

Foto 14 - Vista parcial da Vila de Mandaçaia

Foto 15 - Fonte de abastecimento d'água da Vila de Mandaçaia

Foto 16 - Seixos extraídos por ocasião do desmonte para instalação dos drenos

Foto 17 – Estrutura de apoio para distribuição de esforços físicos

Foto 18 – Marcação em superfície da projeção dos três drenos instalados

Foto 19 - Sistema de limpeza dos tubos por carreamento hidráulico

Foto 20 - Instalação de fundo com brita nº 19

Foto 21 - Telas de nylon para retenção de sólidos para dentro do poço coletor

Foto 22 - Caçamba com capacidade de 90 litros para extração de material de desmonte

Foto 23 - Guincho com estrutura telescópica utilizados na extração de material de desmonte

Foto 24 - Blocos especiais com estrutura metálica para suporte de escada

RELATÓRIO TÉCNICO 0298

ENSAIOS DE RESISTÊNCIA DE PEÇAS PRÉ-MOLDADAS PARA POÇOS PROFUNDOS

JOSÉ INÁCIO DE SOUZA LEÃO ÁVILA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CENTRO DE TECNOLOGIA DA UFPE
RECIFE, JUNHO DE 1998

1 - INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados dos ensaios experimentais realizados para determinação da capacidade resistente de peças pré-moldadas em concreto armado, atendendo solicitação da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM. As peças são utilizadas em paredes de revestimento de poços profundos para abastecimento de água que possuem diâmetro de 3,0 m. As paredes são executadas por meio de anéis horizontais de 50 cm de altura e espessura de 12 cm, onde cada anel é formado por 15 peças pré-moldadas unidas entre si por meio de encaixes macho e fêmea nas extremidades.

Ainda atendendo solicitação da CPRM, foram feitos estudos para determinação da armação necessária para suportar os esforços correspondentes a um poço de 30,0 m de profundidade utilizando um concreto com resistência características de 15 Mpa aos 28 dias de idade. Estruturalmente, a forma como os encaixes foram executados resulta em ligações rotuladas que impedem os deslocamentos tangenciais da parede, mas permitem a rotação em torno do eixo vertical e os deslocamentos na direção radial. Desta forma, são transmitidos apenas os esforços normais à seção da peça pertencente a um plano vertical passando pelo centro do anel, conseqüentemente, a armação foi determinada apenas para este tipo de solicitação. Os desenhos das armações estão em anexo.

2 - CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova foram fornecidos pela CPRM, não sendo informada a resistência do concreto aos 28 dias.

Inicialmente, foram fornecidas 04 peças inteiras, 02 armadas com ferro de bitola 6,3 mm e 02 com bitola de 5,0 mm cujos ensaios foram realizados em 20/03/98.

Posteriormente, foram fornecidas 3 peças inteiras e 03 corpos de provas formados por meia peça onde uma das extremidades correspondia a um tipo diferente de encaixe. Todos os corpos de prova foram armados com ferros de bitola 6,3 mm. Os ensaios destes últimos corpos de provas foram realizados em 15/06/98.

3 - TIPOS DE ENSAIOS

Foram realizados três tipos de ensaios, os quais são descritos, de forma simplificada, a seguir:

- No ensaio tipo 1, as peças foram colocadas sobre 02 apoios contínuos conforme indicado na Fig. 1. A carga P, distribuída ao longo da face superior, foi aplicada continuamente até a ruptura da peça.
- No ensaio tipo 2 (ver Fig. 2), a carga P, também distribuída ao longo da face superior, foi aplicada no meio da peça que estava continuamente apoiada no prato da prensa.

- No ensaio tipo 3, foram utilizadas as duas partes da peça colocando-se as diferentes extremidades uma contra a outra e aplicando-se a carga na direção tangencial ao círculo médio, conforme indicado na Fig. 3. Entre as duas peças foi colocada uma barra de ferro com bitola 32 mm, de modo que, a transmissão dos esforços ocorreu através desta barra.

4 - RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os resultados apresentados representam a média aritmética dos valores lidos nos equipamentos.

4.1 Ensaios realizados em 20/05/98

a) Tipo 1 com armação de 6.3

→ Valor médio da força de ruptura atuante no ponto B = 7,8 KN

b) Tipo 1 com armação de 5.0

→ Valor médio da força de ruptura atuante no ponto B = 7,7 KN

c) Tipo 2 com armação de 6.3

→ Valor médio da força de ruptura = 51,8 KN
→ Valor médio da força de fissuração da peça = 31,0 KN

d) Tipo 2 com armação de 5.0

→ Valor médio da força de ruptura = 27 KN
→ Valor médio da força de fissuração = 27 KN

4.2 Ensaios realizados em 15/06/98

a) Tipo 1

→ Valor médio da força de ruptura atuante no ponto B = 11,95 KN

b) Tipo 2

→ Valor médio da força de ruptura = 107,80 KN

c) Tipo 3

→ Valor da carga de ruptura = 245,0 KN

5 - COMPORTAMENTO OBSERVADO

Nos ensaios do tipo 1 verificou-se que todas as peças apresentaram comportamentos semelhantes com a superfície de ruptura inclinada em relação a superfície média da peça e ruptura do tipo dúctil.

Nos ensaios do tipo 2 verificou-se que ocorriam ruptura dúcteis apenas nas peças armadas com ferro de 6,3 mm e as fissuras eram de flexão ocorrendo no meio do vão. Nas peças com ferro de 5,0 mm houve ruptura brusca sem que surgissem fissuras antes da ruptura.

No ensaio do tipo 3, a ruptura ocorreu ao longo da superfície definida pelo círculo médio da peça e praticamente em toda a sua extensão. Há de se destacar que, a armação de fretagem projetada para este tipo de ruptura não foi utilizada nos corpos de prova enviados pela CPRM.

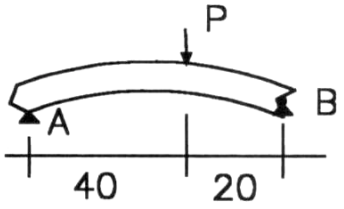


Figura 1 – Ensaio Tipo 1

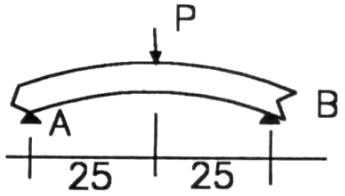
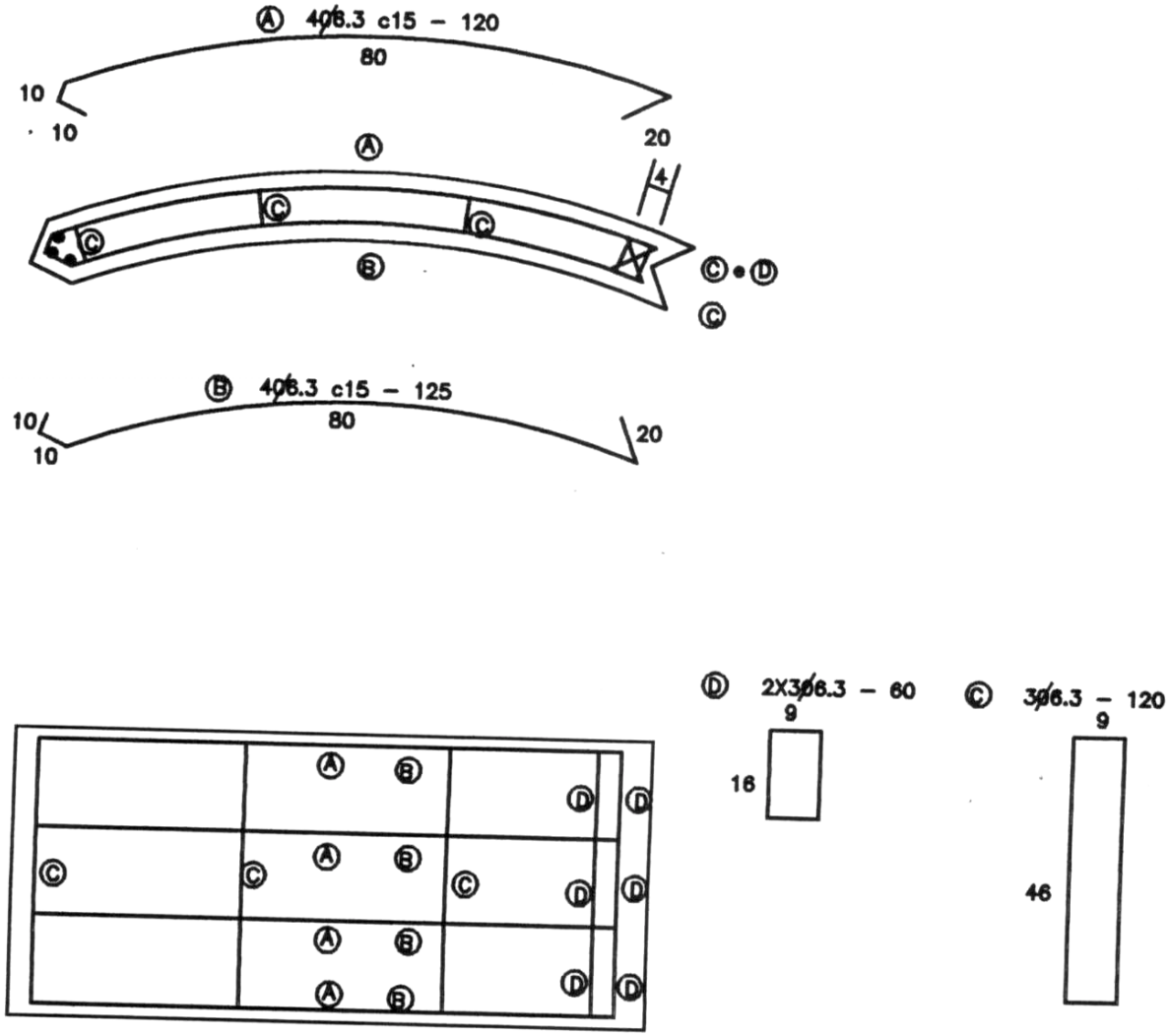


Figura 2 – Ensaio Tipo 2

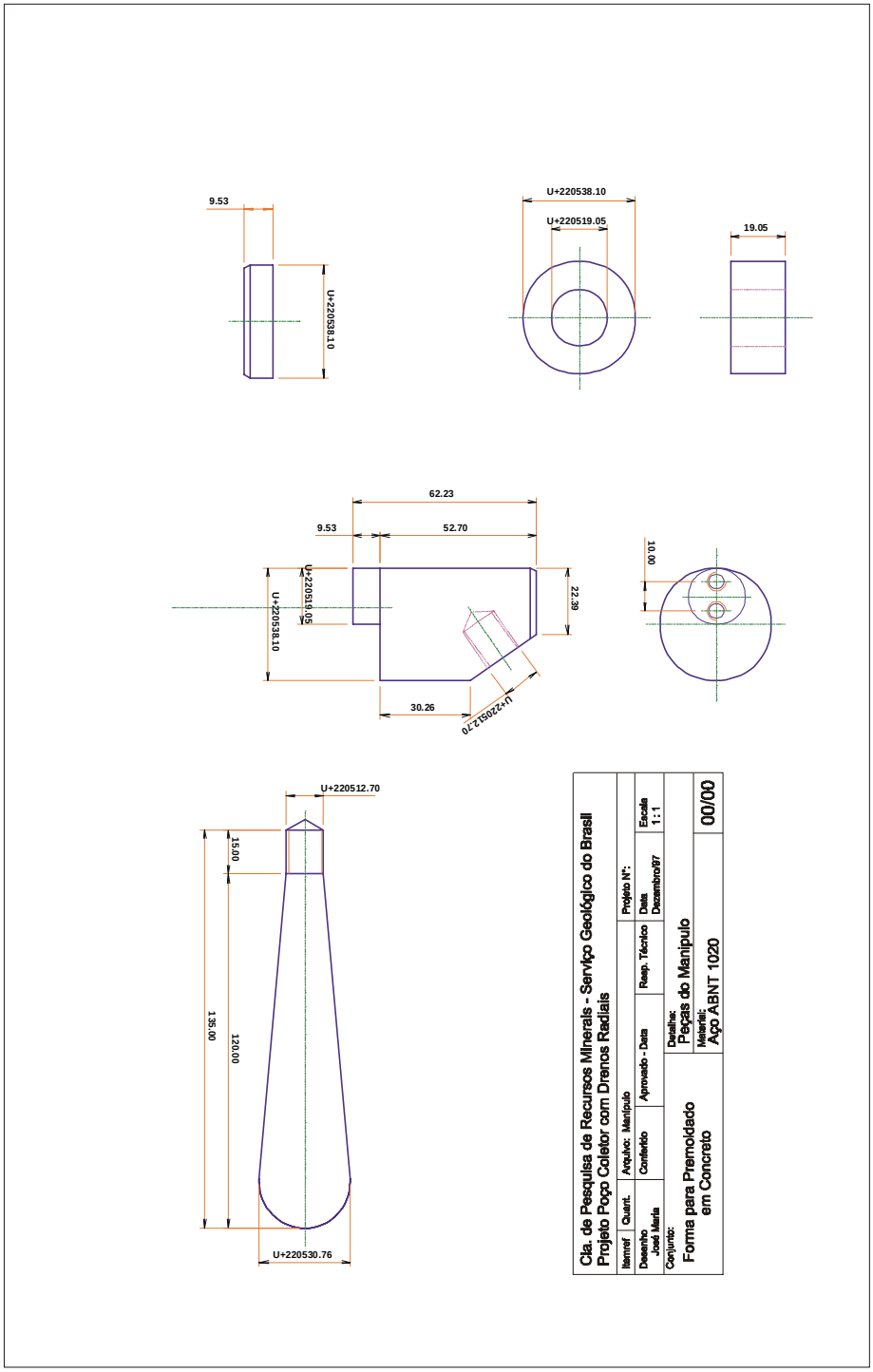
Figura 3 – Ensaio Tipo 3

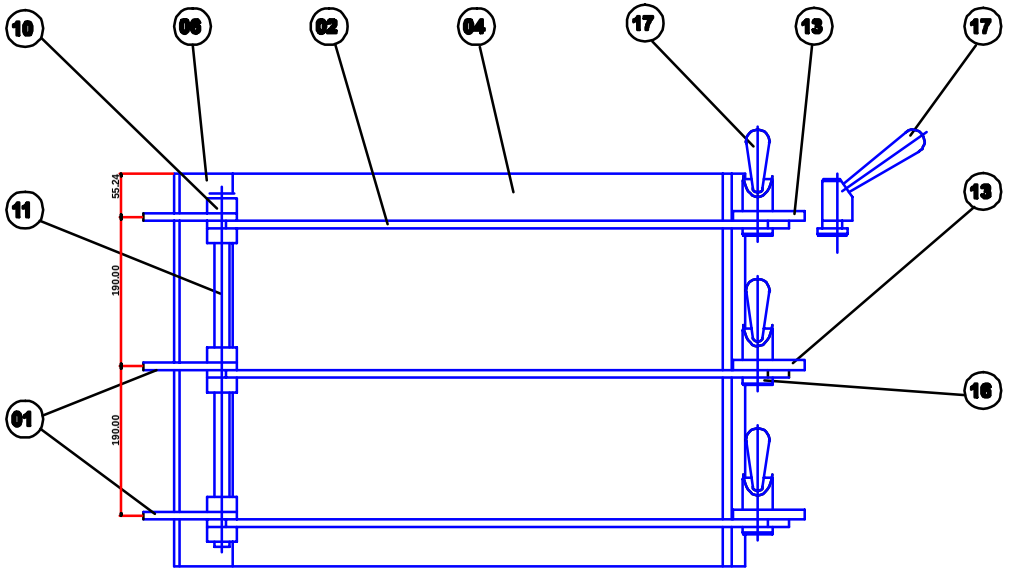
ARMACAO DAS PECAS PRE-MOLDADAS (1X)

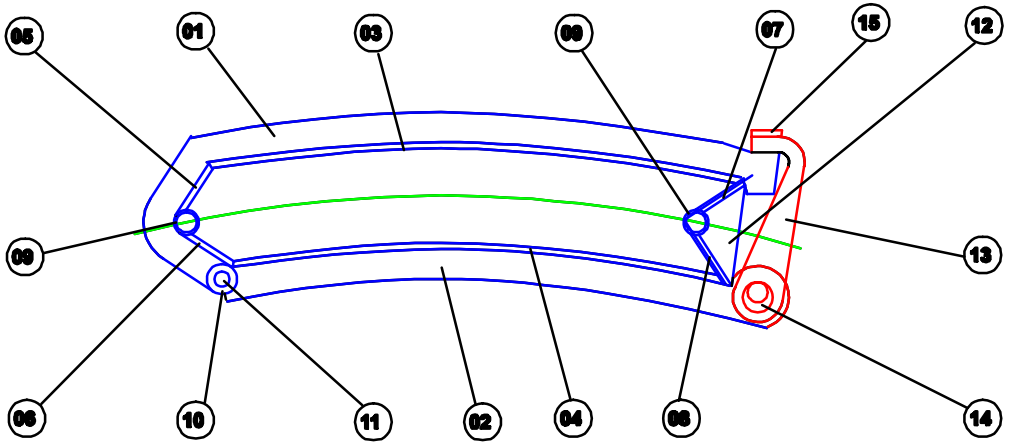


FÔRMA PARA PRÉ-MOLDADO EM CONCRETO

FÔRMA PARA PRÉ-MOLDADO EM CONCRETO





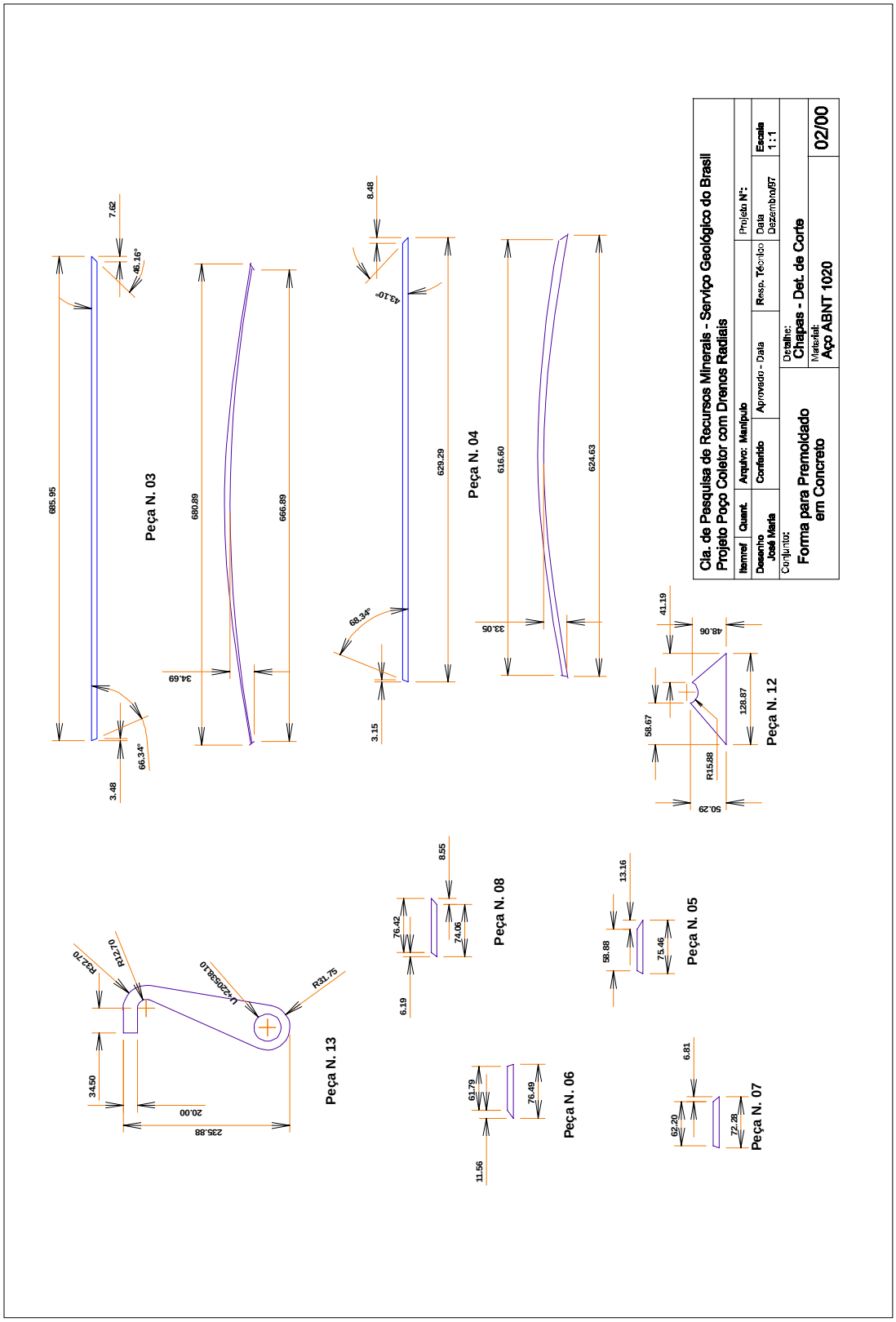


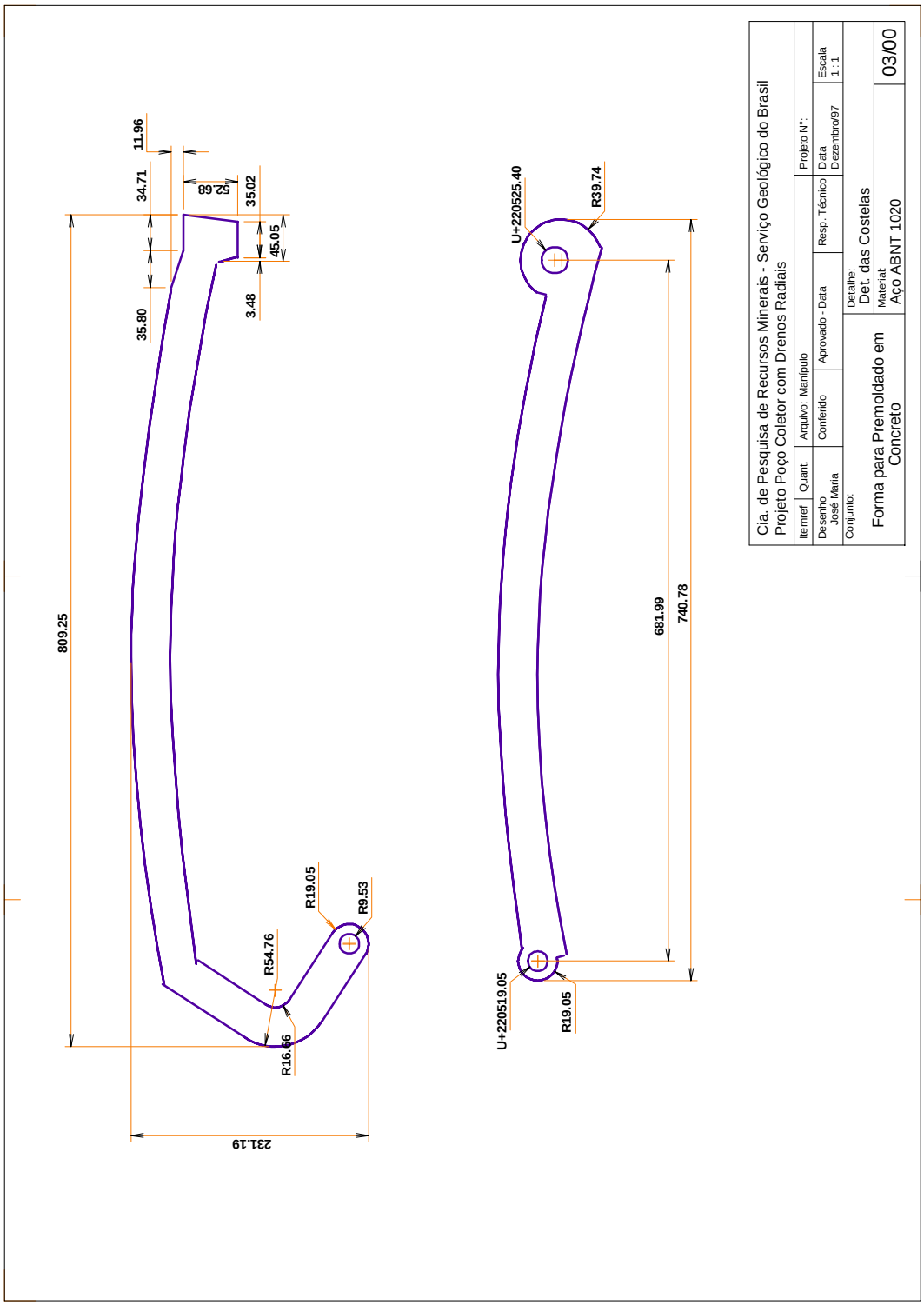
N.	Qtd.	Material	Dimensões	Descrição
17	3	Aço 1020	30x135	Manípulo
16	3	Aço 1020	Ver Des.	Parafuso
15	3	Aço 1020	#1/4"x1"x2"	Apoio do Ferrolho
14	3	Aço 1020	Ver Des.	Excentrico
13	3	Aço 1020	#5/16"x236x63.5	Ferrolho
12	3	Aço 1020	#5/16"x50x129	Costela Triangular
11	1	Aço 1020	3/4"x452	Eixo
10	6	Aço 1020	ø1 1/2"x3/4"	Luva
09	2	Aço 1020	1 1/4"x500	Tubo
08	xx	Aço 1020	#5/14"x84.5x500	Chapa
07	1	Aço 1020	#5/16"x73x500	Chapa
06	1	Aço 1020	#5/16"x80.00x500	Chapa
05	1	Aço 1020	#5/16"x78.50x500	Chapa
04	1	Aço 1020	#5/16"x500x624.00	Chapa Interna
03	1	Aço 1020	#5/16"x500x680.00	Chapa Externa
02	3	Aço 1020	#3/8"x1 1/2"x740	Costela Interna
01	3	Aço 1020	#3/8"x1 1/2"x756	Costela Externa

Cia. de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil
Projeto Poço Coletor com Drenos Radiais

Itemref	Quant.	Arquivo: Manípulo			Projeto N°:	
Desenho José Maria		Conferido	Aprovado - Data	Resp. Técnico	Data Dezembro/97	Escala 1 : 3

Conjunto:	Detalhe:	
Forma para Premoldado em Concreto	Desenho do Conjunto	
	Material: Aço ABNT 1020	01/00


Cia. de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil
Projeto Poço Coletor com Drenos Radiais
Itemref
Quant.
Arquivo: Manipulo
Projeto Nº:
Desenho
José Maria
Conferido
Aprovado - Data
Resp. Técnico
Data
Dezembro/97
Escala
1 : 1
Conjunto:
Forma para Premoldado em Concreto
Detalhe:
Chapas - Det. de Corte
Material:
Aço ABNT 1020
02/00
Peça N. 03
Peça N. 04
Peça N. 12
Peça N. 13
Peça N. 08
Peça N. 05
Peça N. 06
Peça N. 07


11.96
34.71
52.68
35.02
45.05
35.80
3.48
809.25
R19.05
R9.53
R54.76
R16.66
231.19
U+220525.40
R39.74
681.99
740.78
U+220519.05
R19.05
Cia. de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil
Projeto Poço Coletor com Drenos Radiais
Item/ref
Quant.
Arquivo: Manipulo
Projeto N°:
Desenho
José Maria
Conferido
Aprovado - Data
Resp. Técnico
Data
Dezembro/97
Escala
1 : 1
Conjunto:
Forma para Premoldado em Concreto
Detalhe:
Det. das Costelas
Material:
Aço ABNT 1020
03/00

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

Sede
SGAN Quadra 603 - Conjunto "J" - Parte A - 1º andar
CEP: 70830-030 - Brasília - DF
Telefones: (61)312-5252 - (61)223-5253 (PABX)
Fax: (61)225-3985

Escritório Rio de Janeiro
Av. Pasteur, 404 - Urca - CEP: 22292.040
Rio de Janeiro - RJ
Telefones: (21)295-5337 - (21)295-0032 (PABX)
Fax: (21)295-6347

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial
Telefone: (21)295-5804
Fax: (21)295-5804
E-Mail: thales@cristal.cprm.gov.br

Departamento de Hidrologia
Telefone: (21)295-4546
Fax: (21)295-6347
E-Mail: peixinho@cristal.cprm.gov.br

Diretoria de Relações Institucionais
e Desenvolvimento
Telefone: (21)295-5837
Fax: (21)295-5947
E-mail: pdias@cristal.cprm.gov.br

Divisão de Documentação Técnica
Telefones: (21)295-5997
Fax: (21)295-5897
E-Mail: seus@cristal.cprm.gov.br

Superintendência Regional de Belém
Av. Dr. Freitas, 3645 – Marco
CEP: 66095-110 - Belém - PA
Telefones: (91)226-0016 - (91)246-8577 (PABX)
Fax: (91)246-4020
E-Mail: cprmbe@cprmbe.gov.br

Superintendência Regional de Belo Horizonte
Av. Brasil, 1731 – Funcionários
CEP: 30140-002 - Belo Horizonte - MG
Telefones: (331)261-3037 - (331)261-5977 (PABX)
Fax: (331)261-5585
E-Mail: cprmbh@estaminas.com.br

Superintendência Regional de Goiânia
Rua 148, 485 - Setor Marista
CEP: 74170-110 - Goiânia - GO
Telefones: (62)281-1342 - (62)281-1522 (PABX)
Fax: (62)281-1709
E-mail: cprmgo@zaz.com.br

Superintendência Regional de Manaus
Av. André Araújo, 2160 - Aleixo
CEP: 69065-001 - Manaus - AM
Telefones: (92)663-5533 - (92)663-5640 (PABX)
Fax: (92)663-5531
E-Mail: suregma@internext.com.br

Superintendência Regional de Porto Alegre
Rua Banco da Província, 105 - Santa Teresa
CEP: 90840-030 - Porto Alegre - RS
Telefones: (51)233-4643 - (51)233-7311(PABX)
Fax: (51)233-7772
E-Mail: cprm_pa@portoweb.com.br

Superintendência Regional do Recife
Rua das Pernambucanas, 297 – Graças
CEP: 52011- 010 - Recife - PE
Telefone: (81)3221-7456 (PABX)
Fax: (81)3221-7645
E-Mail: cprm@fisepe.pe.gov.br

Superintendência Regional de Salvador
Av. Ulisses Guimarães, 2862
Centro Administrativo da Bahia
CEP: 41213.000 - Salvador - BA
Telefones: (71)230-0025 - (71)230-9977 (PABX)
Fax: (71)371-4005
E-Mail: cprmsa@bahianet.com.br

Superintendência Regional de São Paulo
Rua Barata Ribeiro, 357 - Bela Vista
CEP:01308-000 - São Paulo - SP
Telefone: (11)3333-4721 - (11)3333-4712
E-Mail: cprmsp@uninet.com.br

Residência de Fortaleza
Av. Santos Dumont, 7700 - 4º andar - Papicu
CEP: 60150-163 - Fortaleza - CE
Telefones: (85)265-1726 - (85)265-1288 (PABX)
Fax: (85)265-2212
E-Mail: refort@secrel.com.br

Residência de Porto Velho
Av. Lauro Sodré, 2561 - Bairro Tanques-
CEP: 78904-300 - Porto Velho - RO
Telefones: (69)223-3165 - (69)223-3544 (PABX)
Fax: (69)221-5435
E-Mail: cprmrepo@enter-net.com.br

Residência de Teresina
Rua Goiás, 312 - Sul - CEP: 64001-570 - Teresina - PI
Telefones: (86)222-6963 - (86)222-4153 (PABX)
Fax: (86)222-6651
E-Mail: cprmrest@enter-net.com.br

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - http://www.cprm.gov.br

CPRM
Serviço Geológico do Brasil

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA

GOVERNO
FEDERAL