



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH

**PROJETO EXECUTIVO DO SISTEMA DE
TRANSPOSIÇÃO DO AÇUDE ORÓS PARA A
REGIÃO DO FEITICEIRO, EM ORÓS - CE**

TOMO I - RELATÓRIO GERAL

VOLUME 1 – TEXTO



FORTALEZA
Dezembro/2000



ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1 – APRESENTAÇÃO | 4 |
| 2 - INTRODUÇÃO | 5 |
| 2.1 - CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO ATENDIDA E FINALIDADE | 5 |
| 2.1.1 - Localização e Acesso | 5 |
| 2.1.2 - Aspectos Sócio-econômicos | 6 |
| 3 - SISTEMA PROPOSTO | 7 |
| 3.1 - PREMISSAS DE PROJETO | 7 |
| 3.2 - FONTE HÍDRICA, CAPTAÇÃO E OPERAÇÃO DO SISTEMA | 7 |
| 4. - ESTAÇÃO ELEVATÓRIA | 9 |
| 4.1 - VAZÕES BOMBEADAS | 9 |
| 4.2 - ESPECIFICAÇÃO DA TURBINA | 14 |
| 4.3 - ESPECIFICAÇÃO DA BOMBA | 15 |
| 4.4 - ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA HIDRÁULICO AÇUDE-BARRILETE | 15 |
| 4.5 - ESPECIFICAÇÃO DOS BARRILETES DE ADUÇÃO E RECALQUE | 19 |
| 4.5.1 Espessura da Parede das Tubulações | 19 |
| 4.6 - NÚMERO DE CONJUNTOS TURBO-BOMBA | 22 |
| 4.7 - METODOLOGIA DE CÁLCULO | 22 |
| 5 - ADUTORA | 24 |
| 5.1 - ESCOLHA DO TRAÇADO DO SISTEMA ADUTOR | 24 |
| 5.2 - ESCOLHA DO DIÂMETRO E NÚMERO DE ADUTORAS | 25 |



| | |
|------------------------------|-----------|
| 6 - CANAL | 26 |
| 6.1 - ESPECIFICAÇÃO DO CANAL | 26 |
| 6.2 - DERIVAÇÕES NOS CANAIS | 28 |
| 6.3 - ESTRUTURAS ESPECIAIS | 28 |
| 7 - MACROMEDIÇÃO | 29 |

1 – Apresentação

O presente documento consolida os trabalhos executados através do contrato nº 22/99/SRH-CE firmado entre a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará e a GHG Engenharia de Geologia Ltda. para a elaboração do Projeto Executivo denominado Sistema de Transposição do Açude Orós para a Região do Feiticeiro.

Os estudos desenvolvidos, conforme o Termo de Referência, são constituídos por atividades específicas que permitem a elaboração dos seguintes documentos, que compõem o acervo do projeto.

Este documento constitui o Volume 1 – Texto do Tomo I – Relatório Geral.

TOMO I – RELATÓRIO GERAL

Volume 1 – Texto

Volume 2 – Memorial de Cálculo

Volume 3 – Quantitativos e Custos

Volume 4 – Especificações Técnicas

Volume 5 – Normas de Medição e Pagamento

TOMO II – DESENHOS

Volume 1 – Arquitetura, Hidromecânica e Plantas Complementares

Volume 2 – Projeto Estrutural da Estação de Recalque

Volume 3 – Perfil e Caminhamento – Adução

Volume 4 – Perfil e Caminhamento – Canal

2 - Introdução

A transposição de água entre bacias hidrográficas visando atender a capital cearense, Fortaleza, assim como populações do interior do Estado, carentes quanto ao abastecimento de água para consumo, pecuária e irrigação é um problema fundamental para o desenvolvimento sócio-econômico das regiões interioranas do Estado do Ceará face à escassez de água.

O governo do Ceará, buscando atender à demanda crescente das cidades e o desenvolvimento das regiões no interior do estado, tem partido para soluções definitivas com o intuito de disponibilizar água através da integração de suas bacias e sub-bacias hidrográficas.

A elaboração dos projetos para transposição de águas denominados Sistema de Transposição Orós - Feiticeiro, cuja característica principal é a utilização de energia hidráulica para o recalque na estação de bombeamento, permitirá a transposição das águas do açude Orós para a região da Localidade de Feiticeiro, podendo vir a atender também localidades e demandas que se encontram no eixo de interligação das bacias, através de canal e/ou adutora, vindo de encontro com o programa da Secretaria dos Recursos Hídricos do estado do Ceará que visa a integração destas bacias.

2.1 - Caracterização da Região Atendida e Finalidade

2.1.1 - Localização e Acesso

O açude Orós, finalizado em 1961, localiza-se na bacia do Jaguaribe no Estado do Ceará, com coordenadas geográficas $6^{\circ}14'10''S$ / $38^{\circ}55'22''W$ de latitude/longitude e $6^{\circ}14'23''S$ / $38^{\circ}55'27''W$ de latitude/longitude. Limita-se ao Norte com o município de Jaguaribe e ao sul com o município de Icó.

O acesso rodoviário é feito, a partir de Fortaleza, através da BR- 116 até o entroncamento da CE/BR 282/404 prosseguindo até Lima Campos e a partir daí em

direção ao Município de Orós. A distância entre este açude e a capital do Estado é de aproximadamente 420 Km.

2.1.2 - Aspectos Sócio-econômicos

A transposição das águas do açude Orós para a região do Feiticeiro tem como objetivo melhorar as condições da estrutura fundiária existente nas regiões vizinhas a estes açudes. Busca-se com esta transposição a perenização de vários riachos que nascem ao longo do eixo de transposição e desaguam no Rio Jaguaribe, ou seja, toda o volume de água que for trasposto excedente retornará ao próprio Rio Jaguaribe, em seções a jusante do Açude de Orós.

O alcance do projeto em termos quantitativos prevê o abastecimento regular no eixo de transposição, com a vazão de projeto, até o ano de 2020, com os equipamentos funcionando em tempo integral, sem sazonalidades, sendo o único limitante o próprio volume do açude e a possibilidade de liberação de água.

Os objetivos principais do projeto são:

- abastecimento de regiões carentes de recursos hídricos em todo o eixo de transposição, assim como dos riachos que o cruzam, beneficiando direta e indiretamente uma população estimada em 15.000 habitantes.
- Promover o crescimento econômico da região, que tem como principal identidade econômica a agricultura e pecuária.

Procurou-se, em todo o projeto, utilizar o maior trecho possível em canal, visto que desta forma facilitaria a utilização de água por parte dos usuários, além de demonstrar ter um custo por metro linear inferior ao de um eixo de transposição feito totalmente com adutoras.

3 - Sistema Proposto

3.1 - Premissas de Projeto

O projeto é baseado a partir do melhor traçado para a adutora e canal, cujo ponto de entrega da adutora para o canal se dará a 6260 m do açude, de onde parte o canal em cota próxima a 200 m, servindo os riachos que nascem na encosta da Serra do Condado.

A estação de recalque foi projetada para operar com 4 conjuntos de recalque permitindo diferentes condições de operação para o sistema, que variam de acordo com a necessidade hídrica e também de acordo com as variações do ano hidrológico.

As vazões recalçadas foram obtidas através do cruzamento das curvas dos sistemas com as bombas utilizadas no projeto. O desenho do conjunto formado pelo acoplamento da turbina à bomba, pode ser visto no Tomo II, volume 1, referente aos desenhos de hidromecânica.

A vazão máxima a ser recalçada foi determinada em função da vazão regularizada, onde parte desta é utilizada pelas turbinas para o recalque. Também foram analisados o custo da tubulação de recalque e a vazão necessária para viabilizar o projeto. A carga no sistema das turbinas também foi considerada. Sendo assim, o sistema foi dimensionado para operar com a máxima capacidade possível dentro dos limites de energia hidráulica disponível baseado nos dados hidrológicos fornecidos pela COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará.

3.2 - Fonte Hídrica, Captação e Operação do Sistema

A fonte hídrica para este projeto de adução e recalque é o açude Orós, cuja bacia hidrográfica é apresentada na figura 1.

As máquinas motoras (turbinas) serão alimentadas da mesma forma que o sistema de captação das bombas; serão provenientes de uma das tomadas d'água do açude que são do tipo galeria com diâmetros de 3,50 m no seu interior e 1,50 m no flange que faz a conexão com a válvula dispersora cônica atualmente instalada.

O sistema hidráulico principal (ou coletor de adução) terá como ponto inicial a extremidade da atual tubulação de acesso à válvula dispersora, no flange, devendo ser removida a válvula dispersora cônica existente para a conexão deste sistema hidráulico. Cabe ressaltar que a válvula retirada será reinstalada na outra extremidade do sistema.

Em relação ao manancial, as retiradas de água a montante não foram consideradas por serem de baixíssima magnitude, a não ser, em certas e raras condições, para o abastecimento do Açude Lima Campos e outras de menor importância.

As retiradas a jusante são baseadas nas liberações históricas da COGERH, levando sempre em conta a demanda mínima de abastecimento a jusante.

O sistema baseado na utilização de turbo-bombas tem em sua simplicidade de operação uma das grandes vantagens de utilização. O sistema pode ser operado com apenas três (uma por turno) pessoas previamente instruídas e treinadas, intercalando-se em turnos de oito horas. Uma equipe de manutenção, composta por dois técnicos (que ficaria de sobreaviso em relação a alguma emergência) faria as tarefas rotineiras, preventivas e corretivas, quando for o caso, com periodicidade de 15 dias. O atual encarregado de fiscalização do açude também seria aproveitado, fazendo a mesma função atual e comunicando eventuais ocorrências e leituras de volumes totalizados e vazões do sistema a seus superiores regionais.

As regras de operação do sistema seriam ditadas pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos - COGERH de acordo com a necessidade de transporte de água para a região do Feiticeiro e principalmente pela possibilidade de liberação de água e demanda a jusante do açude Orós.

O sistema teoricamente pode se manter ativo 24 horas por dia, por não sofrer aquecimentos ou outros inconvenientes inerentes a sistemas dotados de moto-bombas convencionais.

4. - Estação Elevatória

4.1 - Vazões Bombeadas

As vazões bombeadas foram determinadas tendo como parâmetro a vazão regularizada de projeto e a cota do nível d'água do açude Orós. A cota do nível do reservatório para o projeto foi determinada com:

- O auxílio da Estatística Descritiva, onde foram considerados os registros mensais das cotas dos níveis do reservatório no período dos anos de 1986 a 2000, obtidos junto à COGERH, perfazendo um total de 169 meses.
- Geração por modelagem de novos dados hidráulicos com a utilização do software MODSIM.

A partir da cota de projeto (191,0 m) é determinada a carga bruta, que é da ordem de 26 m. A curva da cota em função do tempo para o açude Orós pode ser vista na figura 2. A vazão regularizada de projeto, que é de 20,4 m³/s, foi tomada como parâmetro na determinação das vazões bombeadas.

Tendo o padrão de operação historicamente aplicado ao açude (estaria operando a quarta bomba no período de agosto a dezembro, em média), fixou-se a vazão turbinada como devendo ser próxima (para melhor aproveitamento do potencial energético) e inferior (para evitar ociosidade do equipamento) à vazão regularizada, ou seja, em torno de 19,16 m³/s. Os resultados obtidos neste projeto mostram uma vazão total (bombeada+turbinada) de 20,88 m³/s.

Com a potência hidráulica obtida através da carga disponível e vazão regularizada foi possível a determinação dos conjuntos de recalque constituídos por uma bomba centrífuga acoplada a uma turbina do tipo Michell-Banki.

Com o levantamento topográfico do trajeto a ser percorrido pela adutora, da estação de recalque até o ponto de entrega ao canal, foi possível determinar o ponto de funcionamento do sistema hidráulico, através da elaboração do gráfico apresentado



na figura 3, onde consta a curva resultante da associação das duas bombas em paralelo e as curvas do sistema com diferentes pontos de abertura da válvula.

Embora a válvula borboleta não tenha se mostrado de alta eficiência no cálculo do ponto de funcionamento para as características da instalação em decorrência da grande extensão do sistema, a mesma poderá ser utilizada tendo o controle de vazão auxiliado pelas válvulas na saída da adutora e válvulas que controlam a vazão na turbina.



Curva Cota em Função do Tempo - Açude Orós

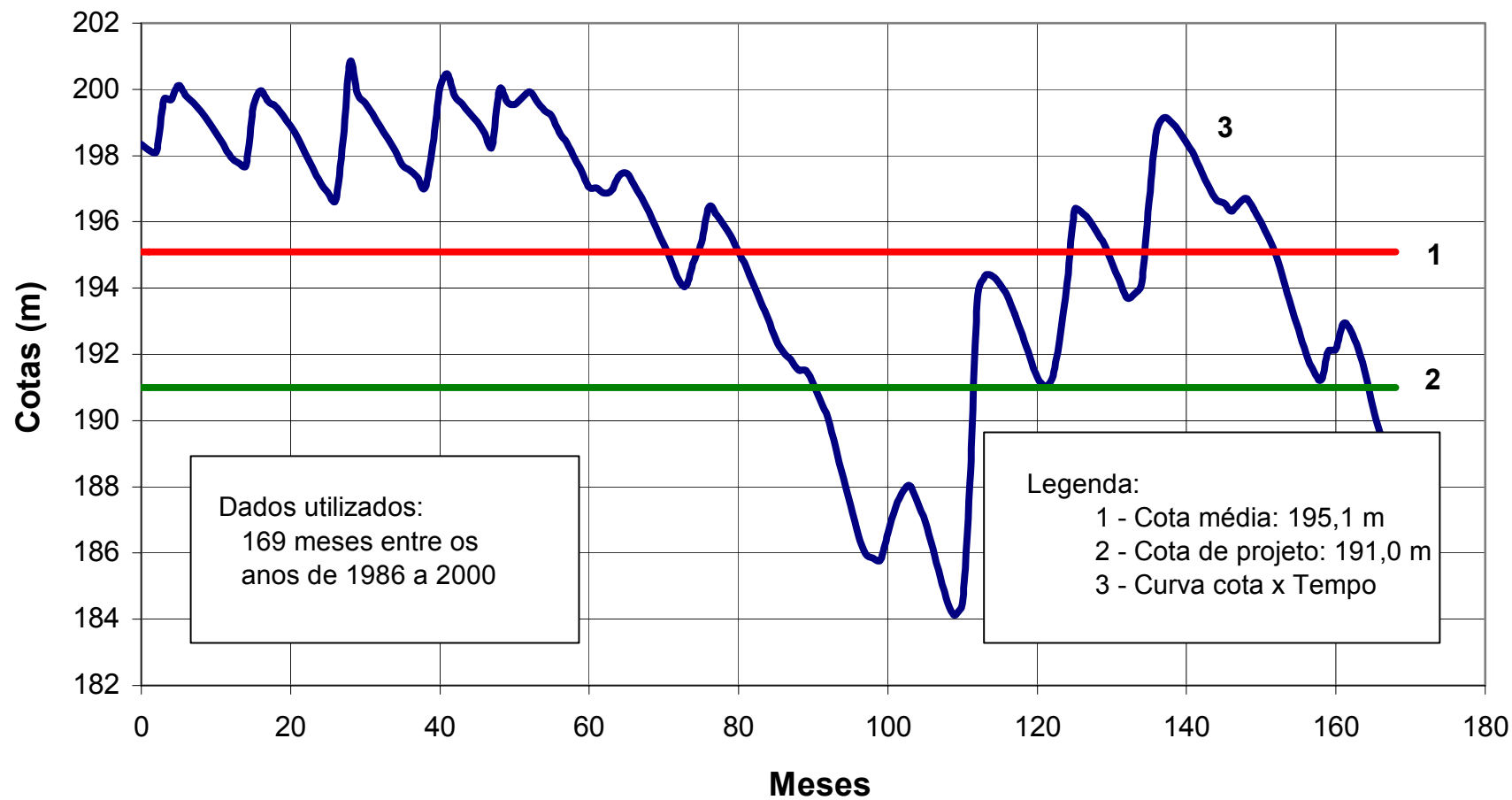


Figura 2 – Curva Cota x Tempo



Adutora Orós - Duas Bombas em Paralelo Sistema com Diferentes Pontos de Operação

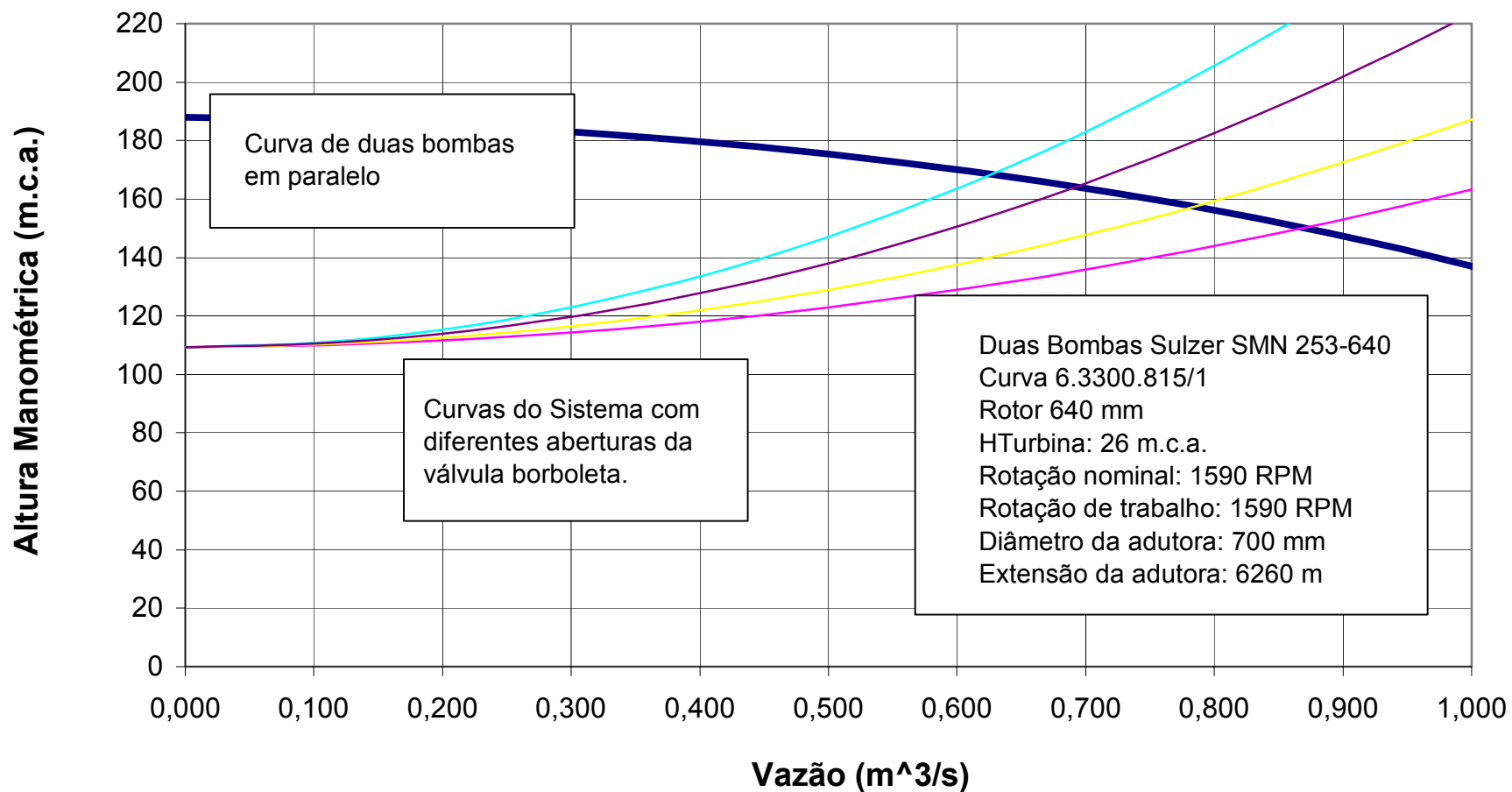


Figura 3 - Pontos de Funcionamento do Sistema Hidráulico de Recalque - Adutora Orós

A vazão esperada para o recalque é de 1,72 m³/s, tida como suficiente para o abastecimento e viabilidade deste projeto.

A energia hidráulica disponível, função da vazão regularizada e carga na turbina, é suficiente para o seu recalque.

O sistema de recalque é constituído de 4 (quatro) conjuntos Turbo-Bomba, o que permite diferentes formas de operação.

A tabela 1 apresenta o ponto de funcionamento (vazão) para diferentes números de conjuntos operando, assim como a vazão obtida pelo sistema para uma carga bruta na turbina reduzida de aproximadamente 25%, ou seja, uma carga de 19,5 m.c.a.

Tabela 1 - Vazões de Recalque para Diferentes Condições de Operação

| Número de conjuntos de recalque | Número de conjuntos por Adutora ($\phi=700$ mm) | Número de conjuntos operando por adutora | Carga na turbina (m.c.a.) | Rotação na Bomba (RPM) | Vazão recalçada por adutora (m ³ /s) | Vazão total Turbinada (m ³ /s) |
|---------------------------------|--|--|---------------------------|------------------------|---|---|
| 4 | 2 | 1 | 26 | 1590 | 0,50 | 10,74 |
| | | | 19,5 | 1367 | 0,35 | 6,43 |
| | | 2 | 26 | 1590 | 0,86 | 20,16 |
| | | | 19,5 | 1367 | 0,55 | 11,2 |

4.2 - Especificação da Turbina

A turbina especificada é do tipo fluxo-cruzado (cross-flow), está dentro das características exigidas pelo aproveitamento (carga, vazão e rotação) e apresenta um custo de fabricação e manutenção menor em relação a sua concorrente direta, a Francis. A turbina Michell-Banki possui a característica de manter o mesmo rendimento para diferentes condições de vazão, além de não estar sujeita a cavitação. A turbina Michell-Banki é apresentada na figura 4.

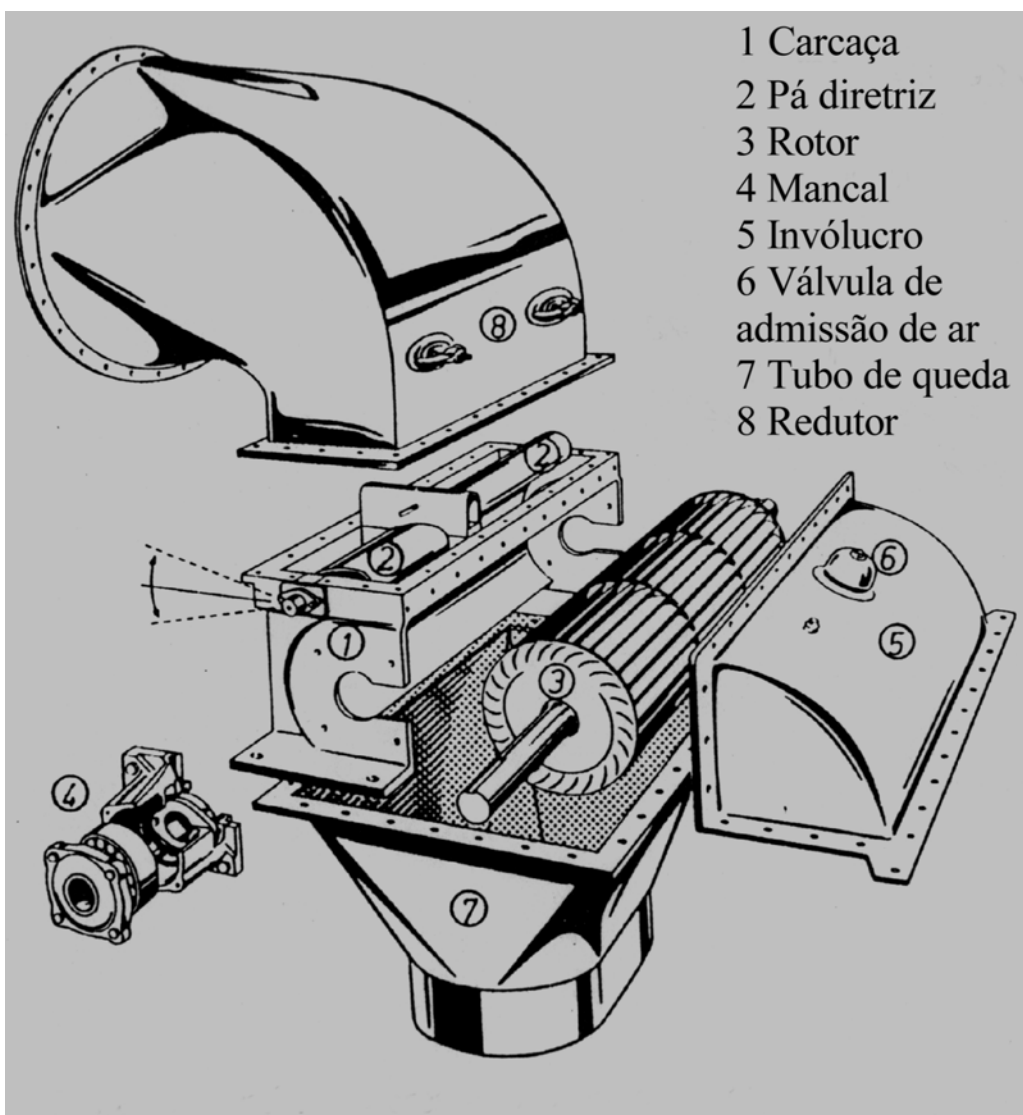


Figura 4 - Turbina Michell-Banki

4.3 - Especificação da Bomba

Para a especificação das bombas foram consideradas as seguintes variáveis: altura manométrica, vazão e rendimento necessárias na linha de recalque assim como a potência máxima possível de ser fornecida pela turbina, que é função das características do aproveitamento hidráulico.

4.4 - Especificação do Sistema Hidráulico Açude-Barrilete

A conexão hidráulica entre açude e barrilete será feita através de uma tubulação em aço, tendo seu início no flange que liga a válvula dispersora (a ser removida) e seu término se dará após passar pela casa de máquinas. A válvula removida será instalada na extremidade final deste sistema.

Este sistema hidráulico de adução parte com o diâmetro do flange da válvula retirada (1,50 m) e segue até o final com esse diâmetro, possuindo duas derivações antes do seu término, na altura da estação de recalque (casa de máquinas).

As duas derivações são para os barriletes de adução da turbina e captação das bombas. O diâmetro destas derivações obedecem aos critérios técnicos de velocidade, fornecidos por fabricantes de turbinas e bombas, sendo o limite máximo de 2 m/s para as bombas e 4 m/s para as turbinas. As figuras 5, 6, 7 e 8 são fotografias do local e o esquema geral deste Sistema Hidráulico Açude-Barrilete pode ser visto na figura 9; as figuras são apresentadas a seguir.



Figura 5 – Detalhe da Válvula Dispersora e Flange de conexão do barrilete



Figura 6 – Válvula Dispersora e Casa de Comando a serem reposicionados



Figura 7 – Vista Geral da Válvula Dispersora e Serra do Condado ao fundo



Figura 8 – Vista Invertida da Válvula Dispersora e Caminhamento Inicial da Adutora

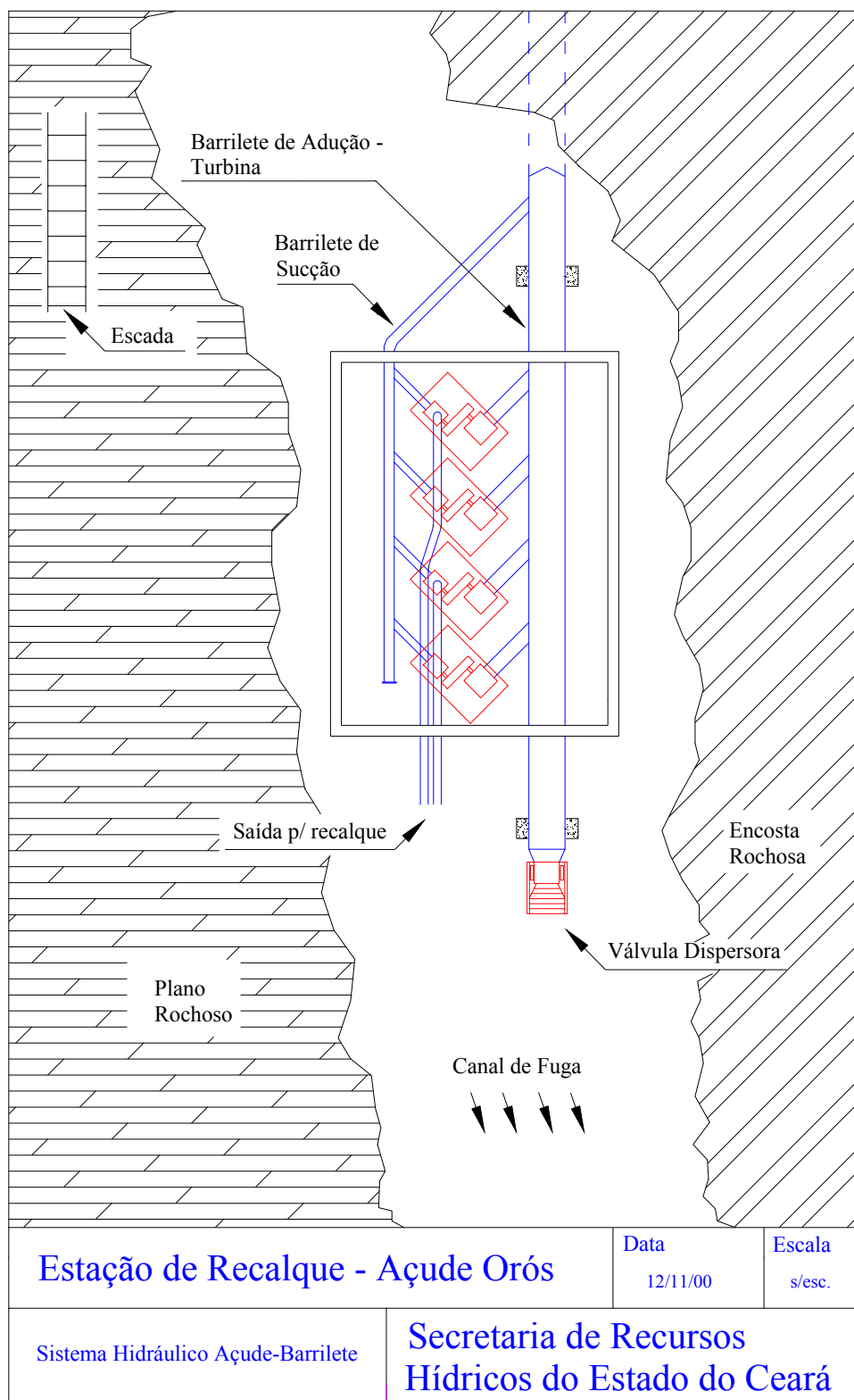


Figura 9 – Sistema Hidráulico Açude-Barrilete

4.5 - Especificação dos Barriletes de Adução e Recalque

Os barriletes foram projetados de forma que possibilitem o máximo de uniformidade na distribuição e coleta da água. O critério principal utilizado para o dimensionamento foi o critério de velocidade, tanto na adução da turbina e bomba, quanto no recalque das bombas até a conexão com a adutora.

Os barriletes de recalque são ampliados a partir da saída da primeira bomba até atingir o diâmetro da adutora. Já os de adução das turbinas são reduzidos até a última turbina a ser atendida.

4.5.1 Espessura da Parede das Tubulações

a) Espessura da Tubulação do Sistema Hidráulico Açude-Barrilete e Barriletes (Adução turbina e Sucção bombas)

Para a especificação da espessura da tubulação no sistema hidráulico Açude-Barrilete foi necessário determinar-se a carga de projeto no sistema, que neste caso, não é considerada a carga de 26 m.c.a., mas sim a carga máxima em decorrência das variações do nível do reservatório.

Portanto a carga de projeto neste item foi de 35,83 m.c.a., valor obtido quando o reservatório atinge a cota de 200,83 metros somada ao incremento de carga devido a algum transitório gerado por operações inerentes a instalação, ou ainda por falhas humanas e ou de equipamentos.

A partir desta pressão de projeto, com base na tensão admissível do aço, e coeficientes de segurança, determina-se a espessura da tubulação do Sistema Hidráulico Açude-Barrilete, onde foram verificadas as resistências a pressão interna e externa.

O transitório foi calculado a partir da equação de MICHAUD, onde para o fechamento lento da válvula (15 segundos) tem-se uma sobre carga de 3,77 m.c.a.. Portanto a carga de projeto neste item será de 39,6 m.c.a., resultante da soma da carga que é função do nível do reservatório mais a sobrecarga devido ao transitório.

Os resultados obtidos da espessura de cálculo tanto para adução das turbinas (caso mais crítico) quanto para sucção das bombas foram inferiores a espessura mínima de cálculo.

A espessura de projeto, no caso da calculada ser menor que a mínima, foi tomada como sendo a menos crítica entre as mínimas presentes na literatura encontrada, ou seja, 9 mm para diâmetros maiores que 14" (Tubulações Industriais, Telles, 1976) e 1% do diâmetro como espessura mínima (Curso de Tubulações Hidráulicas", UFMG, 1972).

- Diâmetro utilizado no cálculo (adução turbinas): 1500 mm
- Diâmetro utilizado no cálculo (sucção bombas): 1500, 1300, 1062 e 750 mm
- Espessura calculada (adução turbinas): $e = 2,67$ mm
- **Espessura de projeto (adução turbina): $e > (15+3) = 18$ mm**
- Espessura calculada mais crítica (sucção bomba): $e = 2,67$ mm
- **Espessura de projeto (sucção bomba): $e > 18$ mm**
- Espaçamento máximo entre apoios (adução turbina): 4 m
- Espaçamento máximo entre apoios (sucção bomba): 3 m
- Flecha máxima admitida: 0,0025 m

Obs: Os valores da espessura de projeto foram compostos com base na espessura mínima (1% do diâmetro, e se em meios agressivos, sobre espessa de 3 mm) ou o valor mínimo de 9 mm para meios agressivos. Devido a grande diferença entre o valor de cálculo e o de projeto, desprezou-se as imperfeições na fabricação que é de 0,25 mm.

b) Espessura da Tubulação do Barrilete de Recalque

A carga de projeto para este sistema foi considerada como sendo a carga do ponto de operação (da ordem de 150 m.c.a.), acrescida por uma carga devida a um transitório decorrente de alguma manobra ou falha no sistema.

O tempo de fechamento para a válvula foi considerado como sendo de 30 segundos para o cálculo do transitório à partir da equação de MICHAUD e também através do método das características, que resulta em uma sobre carga de 95 m.c.a., dando origem a uma carga de projeto de 245 m.c.a.

A partir desta pressão de projeto, com base na tensão admissível do aço, e coeficientes de segurança, determina-se a espessura da tubulação do Sistema Hidráulico de recalque, que tem origem na saída das bombas até o encontro com a adutora. O barrilete de recalque neste caso terá dois diâmetros internos, um de 850 mm que é o trecho do barrilete propriamente dito até a adutora (700 mm de diâmetro), e o primeiro trecho que correspondente às derivações e o trecho anterior à contribuição da segunda bomba (600 mm).

Os coletores das duas bombas que fazem a ligação entre as mesmas e o barrilete possuem diâmetro interno de 600 mm, assim como o início do barrilete até o coletor da segunda bomba, onde o barrilete toma o diâmetro de 850 mm. Os resultados obtidos foram:

- Diâmetro utilizado no cálculo (recalque bombas): 850 e 600 mm
- Espessura calculada (recalque bombas): 9,29 e 6,6 mm (menor que o mínimo de 1% do diâmetro e que 9 mm, critérios presentes nas referências citadas anteriormente)
- **Espessura de projeto (recalque bombas): $e > 13$ mm** (mínimo para meios agressivos, local não agressivo adotar 9,5 mm)
- Espaçamento máximo entre apoios (recalque bombas): 3 m
- Flecha máxima admitida: 0,0025 m

4.6 - Número de Conjuntos Turbo-Bomba

O número de conjuntos Turbo-Bomba foi determinado a partir da vazão a ser recalçada, da altura manométrica exigida e potência da bomba, sendo que esta última limitada pela potência máxima fornecida pela turbina. Portanto após a escolha da bomba, determina-se a turbina em função da potência exigida pela bomba, buscando-se maximizar a potência da turbina, resultando assim em um número de conjuntos menores. A maximização da potência da turbina está limitada por fatores construtivos.

Conseguiu-se assim fixar o número de conjuntos em 4 unidades, aproveitando ao máximo a potência fornecida pelo sistema hidráulico, que é dada pela vazão regularizada e carga disponível. A soma das vazões de recalque mais a turbinada é superior à vazão regularizada de projeto, porém como se admitiu a possibilidade do sistema operar de forma não contínua, tomou-se como parâmetro o fato de que a vazão total utilizada para projeto deva ser próxima ao valor da vazão regularizada.

4.7 - Metodologia de Cálculo

Uma vez definido o traçado e perfil topográfico da adutora, estima-se para os cálculos iniciais uma vazão a ser recalçada. Determina-se o diâmetro da adutora a princípio baseando-se no critério de velocidade.

Calcula-se a altura manométrica, determina-se a(s) bomba(s) necessária(s) para o recalque, verifica-se a potência necessária para acionamento da(s) bomba(s) pela(s) turbina(s), fixa-se a carga na turbina, determina-se a vazão necessária para que a turbina forneça a potência requerida pela bomba. A soma de todas as vazões (turbinada e recalçada) deve ser próxima à vazão regularizada de projeto no caso de operação descontínua do sistema de recalque.

Verificam-se também os limites construtivos da turbina e também o tamanho da casa de máquinas, pois caso opte-se por um número elevado de conjuntos de recalque incorre-se em casa de máquinas com grande extensão.



Caso seja extrapolado o limite construtivo da turbina, uma bomba de menor potência deve ser escolhida, mas que atinja a altura manométrica necessária, porém com vazão menor.

O cálculo é repetido até que se encontre a melhor opção dentro das bombas existentes e possibilidades de construção e operação das turbinas. O número de conjuntos é alterado de acordo com a escolha da bomba, que é função da potência, e também com a vazão a ser recalçada.

5 - Adutora

5.1 - Escolha do Traçado do Sistema Adutor

O sistema adutor proposto tem seu percurso sendo realizado parte em adutora e parte em canal, devendo ser observado na figura 10 as opções de caminhamento. Este sistema misto se deve ao fato de que o metro linear em canal é mais econômico do que em adutora. A adutora só foi projetada para trechos onde é impossível a utilização de canal como meio de transporte da água.

Este traçado foi definido com base em cartas e levantamentos topográficos, sendo considerado no caso da adutora o menor desnível geométrico, a possibilidade de margear as estradas carroçáveis facilitando assim a manutenção e reduzindo custos de desapropriação, como também a menor distância dentro das alternativas possíveis sendo que, após a escolha do melhor traçado, foi feito o levantamento topográfico em campo, onde também foram verificadas algumas alternativas possíveis.

No caso do canal, o seu traçado foi feito procurando-se mantê-lo baseado nas curvas de nível naturais do terreno, evitando despesas extras com aterros ou cortes e com uma inclinação adequada para o transporte de água.

Na figura 11 é mostrado o perfil esquemático do sistema composto por adutoras e canal.

5.2 - Escolha do Diâmetro e Número de Adutoras

Normalmente na escolha do diâmetro em sistemas de recalque, é feita uma aproximação através da fórmula de Bresse, fórmula que em sua concepção considera o custo de consumo de energia elétrica no sistema e o custo da tubulação. Para uma maior precisão deve-se traçar as duas curvas características do sistema (custo devido ao consumo de energia elétrica x custo da tubulação) em função do aumento do diâmetro.

No caso de sistemas operados com Turbo-Bombas, o diâmetro escolhido está limitado pelo seu custo (no caso de diâmetros maiores) e pelo baixo aproveitamento da energia hidráulica, no caso de diâmetros menores se considerada a mesma vazão, uma vez que grande parte da energia nestes casos é gasta em perda de carga.

Devido às características do sistema de recalque proposto, o diâmetro escolhido foi de 700 mm, onde os fatores que mais influenciaram a escolha deste foram o custo da tubulação e vazão recalçada. Um diâmetro menor implicaria em grandes perdas de carga, resultando em uma vazão baixa e bombas que exigiriam potências elevadas das turbinas, o que encarece o custo das mesmas, além de necessitarem de uma energia hidráulica maior, resultando em vazões reduzidas.

Já a possibilidade de uma adutora com um diâmetro mais elevado resultaria em um grande sobrecarga no investimento. A solução escolhida, com dois conjuntos de recalque, permite a implantação em uma primeira etapa de um único conjunto turbo-bomba, o que possibilita a implantação do outro conjunto de recalque em ocasião posterior.

6 - Canal

6.1 - Especificação do Canal

O Canal, cuja função é dar continuidade ao transporte inicialmente feito pela adutora, mas agora utilizando a força da gravidade, deverá funcionar em regime permanente e uniforme, tendo seus parâmetros geométricos determinados de acordo com as seguintes considerações:

- Facilidade de construção, rapidez e custo de montagem
- Declividade admissível para projeto (velocidade máxima e mínima)
- Vazão máxima para transporte

Alguns aspectos são abordados, e devem ser levados em consideração no projeto, referentes à borda livre, que visa impedir o transbordamento de água, trechos para aceleração e desaceleração do escoamento, estruturas de dissipação de energia, estruturas para derivações durante o percurso e dispositivos de segurança.

A facilidade na montagem, aliado ao custo acessível do canal pré-moldado, foram fatores decisivos na escolha em detrimento dos canais convencionais. As seções, por fatores construtivos, são semi-circulares, e sua dimensão foi determinada em função da vazão de projeto e declividade admissível para o escoamento, evitando assim que o mesmo tenha uma grande diferença de nível entre a saída e a chegada do mesmo, o que o tornaria inviável.

Foram verificadas as condições de escoamento para vazões parciais a fim de que não ocorram baixas velocidades, causando a sedimentação de material em suspensão. A velocidade limite também foi verificada, cuja finalidade é se evitar a possibilidade de mudança no regime de escoamento, causando instabilidade no escoamento.

Os fabricantes deste tipo de canal apresentam nos seus catálogos especificações em relação aos seus produtos, que constam de canais semi-circulares, retos, em curva e pontes-canal. As especificações do catálogo são:

- Vazão

Máxima: 1800 l/s

Mínima: 10 l/s

- Velocidade (recomendada)

Máxima: $1 < V_{\text{máx}} < 1,5$ m/s

Mínima: $0,25 < V_{\text{mín}} < 0,5$ m/s

- Diâmetro do Canal

$1500\text{mm} < D < 2500$ mm

Para a vazão de projeto, haverá a necessidade de fabricação sob encomenda, uma vez que os canais atualmente fabricados que constam no catálogo da maioria dos fabricantes que fornecem canais pré-moldados regularmente não possuem capacidade para transportar a vazão de projeto.

Na impossibilidade de fabricação, ou custo elevado, estes canais deverão ser construídos em alvenaria estrutural ou concreto armado.

6.2 - Derivações nos Canais

As derivações são necessárias em locais onde pode haver necessidade ou interesse em desvios parciais ou totais das vazões. As estruturas para estas operações são as mesmas utilizadas para desaceleração do escoamento, necessárias também ao amortecimento das ondas positivas e negativas. São denominadas caixas e permitem através de comportas e vertedores o controle de vazão a jusante, assim como nas derivações laterais.

6.3 - Estruturas Especiais

Poderão ser executadas estruturas especiais no canal desde que solicitado pela SRH. Para isto deverá ser incluído seus projetos nos Projetos Complementares a serem entregues pela própria empresa executora.

A demanda para este tipo de obras serão verificadas quando da época de execução visando atender às demandas vizinhas ao canal e outras solicitações que justifiquem sua inserção neste projeto.

7 - Macromedição

Devido à importância da gestão dos recursos hídricos, todo e qualquer tipo de transferência de água deste porte, deve ser quantificado. Para tal deve(m) ser previsto(s) macromedidor(es) para a totalização tanto do volume turbinado quanto do bombeado.

A escolha correta do tipo de macromedidor também permite o conhecimento da vazão instantânea o que auxilia a operar todo o sistema sempre próximo de seu ponto ótimo, independente da vazão liberada ou do nível d'água do açude.

O macromedidor mais adequado para a medição de vazão instantânea e volume totalizado tanto na entrada do barrilete de adução quanto na saída do barrilete de recalque é do tipo ultrassônico, por apresentar várias vantagens que tornam o seu custo-benefício atraente sobre os demais tipos, como por exemplo:

- Alta precisão ($\pm 1\%$)
- Boa repetibilidade
- Facilidade de manutenção e em longos períodos
- Data-logger interno
- Capacidade de transmissão 4-20 mA ou RS-232
- Software de tratamento de dados
- Possibilidade de alimentação variada em AC ou DC
- Não descalibra por não possuir partes móveis
- Instalação não-intrusiva
- Previamente testado e aprovado em adutoras do estado

O medidor mais apropriado para a situação é o Panametrics DF-868-2 por possuir dois canais de entrada independentes num único conversor, o que desonera bastante a macromedição em dois pontos próximos, que é o caso. Este medidor trabalha com o



princípio tempo de trânsito, mais recomendado para a situação(água bruta com baixo índice de sólidos em suspensão).

O medidor deverá ser instalado respeitando a condição de que não exista nenhuma singularidade(válvula, registro, tê, ventosa, etc.) ou evidência de qualquer distúrbio do fluxo a 10 diâmetros a montante e a 5 diâmetros a jusante do ponto de instalação.

Deverá ser previsto a instalação de painéis solares geradores de energia com capacidade mínima de 100W e controladores de carga e bateria selada com capacidade de 70Ah para a alimentação do medidor. Desta forma, garante-se a alimentação do medidor independente de qualquer falta de energia, além de se prever o equipamento de possíveis surtos na linha de alimentação.