

GOVERNO DO ESTADO



CEARÁ

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS COGERH
PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROURB CE

**PROJETO EXECUTIVO DA
ADUTORA DE PINDORETAMA**

TOMO 1 RELATÓRIO GERAL

VOLUME 1 TEXTO

KL Serviços e Engenharia Ltda

**FORTALEZA
SETEMBRO DE 1997**

GOVERNO DO ESTADO



CEARÁ

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH
PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROURB/CE

PROJETO EXECUTIVO
DA ADUTORA DE PINDORETAMA

TOMO 1 - RELATÓRIO GERAL

VOLUME 1 - TEXTO

Lote: 02260 - Prep Scan () Index ()

Projeto N° 0209/01/01/B

Volume 1

Qtd A4 _____ Qtd A3 _____

Qtd A2 _____ Qtd A1 _____

Qtd A0 _____ Outros _____



KL - SERVIÇOS E ENGENHARIA LTDA

AV SENADOR VIRÍLIO TAVORA 1701 SALAS 106 108
FONE 361 8786/261 7732 FAX 361 4786
CSC DA D22 844/0001 87 CPF 06 843 884 3
FORTALEZA - CEARÁ
EMAIL: KLEND3@PORTALNET.COM.BR

FORTALEZA
SETEMBRO / 97

GOVERNO DO ESTADO



CEARÁ

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH
PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROURB/CE

PROJETO EXECUTIVO

DA ADUTORA DE PINDORETAMA

TOMO 1 - RELATÓRIO GERAL

VOLUME 1 - TEXTO

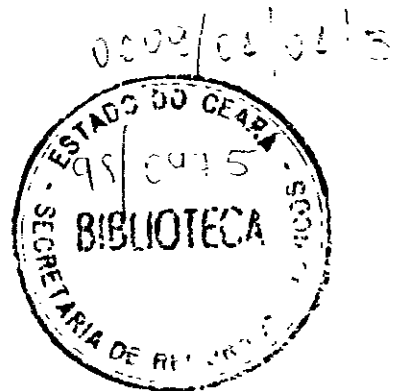


KL - SERVIÇOS E ENGENHARIA LTDA

AV. SENADOR VIRGÍLIO TAVERA, 1.701 SALAS 106 110
BIE 201 8700 201 7734 FAX 201 4700
CNPJ 08.022.644/0001-67 IGF 06.845.854-3
FORTALEZA - CEARÁ
E-MAIL: KL@KL@PORTALNET.EDM.BR

FORTALEZA
SETEMBRO / 97

000003



ÍNDICE

ÍNDICE

1 - APRESENTAÇÃO	7
2 - SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EXISTENTE	9
2 1 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXISTENTE	9
2 2 - SISTEMA PROPOSTO	9
3 - TRAÇADO DA ADUTORA PROPOSTA	12
4 - ESTUDOS DO MANANCIAL	14
4 1 - MANANCIAL	14
4 2 - CARACTERÍSTICA TÉCNICAS DA BARRAGEM MALCOZINHADO	14
4 3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS	15
5 - ESTAÇÃO ELEVATÓRIA	18
5 1 - DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO	18
6 - SISTEMA ADUTOR	22
6 1 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA ADUTOR	22
6 2 - EQUIPAMENTOS AUXILIARES DO SISTEMA ADUTOR.	22
6.2.1 - Ventosas	22
6.2.2 - Descarga de Fundo	23
6 3 - OBRAS CIVIS	23
6.3.1- Assentamento de tubulação	23

6 3 1 1 - Assentamento enterrado	. 23
6 3 1.3 - Caixas de proteção	24
6 3 1 4 Blocos de ancoragem	24
6 3 1 5 - Travessia da adutora em talvegues	25
7 - SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA	27
7 1 - SISTEMA DE FILTRAGEM	27
7 2 - RESERVATÓRIO	27
7 3 - CASA DE QUÍMICA	28
8 - SISTEMA DE PROTEÇÃO ANTI-TRANSIENTE	30
9 - PROJETO ELÉTRICO	32
9 1 - FINALIDADE	32
9 2 - CONCEPÇÃO GERAL	32
9 3 - CARGA INSTALADA	32
9.3.1 - Corrente Nominal do Motor de 125CV, 380V	32
9.3.2 - Potência Aparente da Subestação	33
9 4 - DEMANDA DA SUBESTAÇÃO	33
9 5 - NÍVEIS DE CURTO CIRCUITO	33
9 6 - FILOSOFIA DE PROTEÇÃO DA SUBESTAÇÃO	34
9.6.1 - Proteção de Alta Tensão (13.800v)	34
9.6.2 - Proteção de Baixa Tensão (380V)	34
9.6.3 - Proteção dos Motores	34

9.6.4 - Proteção de Sobretensão.....	35
9 7 - DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES	35
9.7.1 - Condutores de Alta Tensão	35
9.7.2 - Condutores de Baixa Tensão (380/220V)	35
9 8 - DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE CAPACITORES	36
9.8.1 - Motor de 125cv	36
9 9 - CÁLCULO DO ATERRAMENTO	36
9.9.1 - Fórmula da Resistência da Malha de Terra (condutores).....	36
9.9.2 - Fórmula da Resistência das Hastes do Aterramento	37
9.9.3 - Fórmula da Resistência Mútua entre Malha e Haste.....	37
9.9.4 - Fórmula da Resistência Total	37
9.9.5 - Cálculo da Resistência da Malha de Terra (condutores).....	39
9.9.6. Cálculo da Resistência das Hastes do Aterramento.....	39
9.9.7 - Cálculo da Resistência Mútua entre Malha e Haste.....	39
9.9.8 - Cálculo da Resistência Total	39
9 10 RELAÇÃO DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS DA SUBESTAÇÃO (500KVA)	40
10 - ANEXOS	41



1 - APRESENTAÇÃO

1 - APRESENTAÇÃO

O objetivo do presente relatório o detalhamento executivo do sistema de abastecimento de água da cidade de Pindoretama a partir da futura barragem Malcozinhado.

O sistema contempla também o abastecimento da Industria Ypioca distante 2 400 m da cidade de Pindoretama

No presente estudo serão detalhados a nível executivo as alternativas de captação, adução e bombeamento e tratamento de água preconizadas no estudo de concepção.



2 - SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EXISTENTE

2 - SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EXISTENTE

2.1 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA EXISTENTE

O sistema de abastecimento de Pindoretama atualmente é feito por intermédio de poços individuais. A água é farta e não recebe nenhuma forma de tratamento.

Devido a qualidade da água não ser satisfatória, a Fundação Nacional de Saúde optou por construir um sistema de abastecimento com água captada da Lagoa Tapuio, de ótima qualidade. O sistema é administrado pelo SAAE - Sistema Autônomo de Água e Esgoto.

O sistema já está implantado e entrará em operação em outubro de 1997 e consta de:

- Captação flutuante na Lagoa Tapuio
- Adutora de ferro fundido enterrada com 7 km de extensão diâmetro 150 mm
- Filtros ascendentes construídos em alvenaria e concreto
- Reservatório apoiado com 250 m³
- Estação elevatória de água tratada e sala de química
- Reservatório elevado com 200 m³ e altura 10 m
- 800 ligações domiciliares

A Indústria Ypioca é atualmente abastecida por uma captação flutuante na Lagoa Encantada

2.2 - SISTEMA PROPOSTO

O sistema proposto para o abastecimento de Pindoretama, substitui a captação na Lagoa Tapuio pela captação na futura barragem Malcozinhado, que será construída no Rio Malcozinhado, a aproximadamente 9 km da cidade. Pela mesma adutora que

conduzirá água para a cidade, será aduzida a água para o suprimento da Industria Ypioca.

O objetivo deste novo sistema é eliminar as captações nas lagoas Tapuio e Encantada que certamente trarão problemas ambientais futuros

Propõem-se ainda o aproveitamento integral dos reservatórios, filtros e estações elevatórias de água tratada existente, sendo bastante a ampliação das unidades para atendimento de um horizonte de 20 anos



3 - TRAÇADO DA ADUTORA PROPOSTA

3 - TRAÇADO DA ADUTORA PROPOSTA

A adutora sai da ombreira esquerda da barragem Malcozinhado e segue paralela ao rio Malcozinhado até a CE 253. Daí segue paralela a rodovia até a cidade de Pindoretama. Da cidade, a adutora segue até a indústria Ypioca por estradas locais

O levantamento topográfico detalhado do caminhamento da adutora bem como o cadastro completo da faixa de domínio foi feito em campo e apresentado no Relatório de Estudos Básicos



4 - ESTUDOS DO MANANCIAL

4 - ESTUDOS DO MANANCIAL

4.1 - MANANCIAL

O rio Malcozinhado será regularizado pela barragem de mesmo nome a ser construída a 6 km a montante.

A bacia do riacho Malcozinhado, na qual será implementado o reservatório, drena uma área de 240 Km², estando contida entre as coordenadas 4°00' e 4°15' de latitude sul e 38°05' e 38°30' de longitude oeste. A principal via de acesso à região é a rodovia CE-040 que faz a ligação entre Fortaleza e o litoral leste do estado.

4.2 - CARACTERÍSTICA TÉCNICAS DA BARRAGEM MALCOZINHADO

TIPO BARRAGEM	Terra Homogênea com trecho zoneado a jusante
COTA SOLEIRA	24,00 m
TIPO VERTEDOIRO	CREAGER
LARGURA VERTEDOIRO	60,00 m
LÂMINA MÁXIMA	1,80 m
ACUMULAÇÃO DO RESERVATÓRIO	34.637 171,6 m ³
VAZÃO REGULARIZADA	0,420 m ³ /s
COTA DE COROAMENTO	27,11 m
NÍVEL MÍNIMO OPERACIONAL	17,30 M
COTA DA TOMADA D'ÁGUA	16,50 M

4.3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os serviços hidrológicos realizados constam de estudos dos deflúvios do rio Malcozinhado, definição da cheia de projeto para o dimensionamento do sangradouro e estudo da capacidade de regularização do reservatório

A estimativa dos deflúvios na bacia do rio Malcozinhado, foi baseada no modelo de transformação chuva em deflúvio MODHAC

O estudo da capacidade de regularização do Açude Malcozinhado foi realizado por dois métodos

- Solução direta da equação do balanço hídrico,
- Diagrama triangular de regularização

Os resultados obtidos pelos dois métodos foram próximos e coerentes.

Os principais resultados destes estudos hidrológicos encontram-se sumarizados abaixo:

QUADRO 4.1 - RESULTADOS DO ESTUDO HIDROLÓGICO	
Climatologia	
Pluviometria Média Anual (sobre a bacia)	1222 mm
Evaporação Média Anual	1468 mm
Evapotranspiração Potencial (Hargreaves)	1563 mm
Insolação Média Anual	2694,3 h
Umidade Relativa Média Anual	78,3 %
Temperatura Média Anual: Média das Máximas	29,9 °C
Temperatura Média Anual: Média das Médias	26,6 °C
Temperatura Média Anual: Média das Mínimas	23,5 °C
Classificação Climática	C1SA'a'

Regime hidrológico médio da bacia e capacidade de regularização do reservatório:	
Área da Bacia Hidrográfica.	240,0 km ²
Coefficiente de Escoamento:	17,0%
Volume afluente médio anual	49,200 hm ³
Lâmina Escoada Média:	205 mm
Coefficiente de Vanação dos deflúvios	1,0
Capacidade total do reservatório	37,367 hm ³
Volume regulanzável anual com 90% de garantia:	0,426 m ³ /s
Dimensionamento do sangradouro:	
Tipo de sangradouro	Perfil Creager
Largura do sangradouro	60,00 m
Cota do sangradouro.	24,00 m
Vazão de pico afluente (Tr=1000anos)	505,0 m ³ /s
Vazão de pico amortecida (Tr=1000 anos)	314,8 m ³ /s
Altura da lâmina vertente (Tr=1000 anos):	1,8 m
Vazão de pico afluente de verificação (Tr=10000 anos)	1007,0 m ³ /s
Vazão de pico amortecida de verificação (Tr=10000 anos)	676,22 m ³ /s
Altura da lâmina vertente de verificação (Tr=10000anos)	2,99 m



5 - ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

5 - ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

5.1 - DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO

A estação elevatória para Pindoretama se constituirá de três bombas funcionando em paralelo com uma de reserva. A modulação (3+1 de reserva) foi escolhida devido ao fato do sistema atender a Indústria da Ypioca em Pindoretama. Duas das bombas atenderão a Ypioca que consumirá 400 m³/h (111 l/s) a terceira bomba será para o abastecimento da cidade

Optou-se por instalar todas as bombas imediatamente, bombeando a vazão total desde o início até o final de plano (20 anos) Não se justifica a instalação da adutora para a vazão de 20 anos, que representa seguramente 90% do custo do sistema, e a instalação das bombas para um período menor, pois a prática tem mostrado que a futura aquisição e substituição dos grupos motobomba nunca ocorre a contento

Não haverá desperdício de energia nos primeiros anos, pois o tempo de bombeamento será mínimo no início de plano, e crescente ano a ano de forma que o volume aduzido será sempre compatível com a demanda da cidade.

O QUADRO 5.1 e 5.2 mostram os dados básicos da estação elevatória

O QUADRO 5.3 apresenta os dados das bombas escolhida

O ANEXO A apresenta a curva da bombas selecionada.

QUADRO 5.1					
TUBULAÇÃO DE LIGAÇÃO ENTRE A TOMADA D'ÁGUA E AS BOMBAS					
DIAMETRO INTERNO	VAZÃO (l/s)	L (m)	RUGOSIDADE DO TUBO (m)	VELOCIDADE (m/s)	PERDA NO TRECHO (m.c.a)
500	154,27	80,00	0,0002	0,79	1,17

QUADRO 5.2 - DADOS BÁSICOS DA CAPTAÇÃO	
DISTÂNCIA DA TOMADA D'ÁGUA À ELEVATÓRIA	80
COTA DO EIXO DA TOMADA D'ÁGUA	16,70
COTA DO EIXO DAS BOMBAS	15,33
COTA DO PISO DA ESTAÇÃO	14,73
NÍVEL MÍN D'ÁGUA NA BARRAGEM (GARANTIA DE 90%)	17,30
CARGA HIDRÁULICA MÍNIMA NA SUCÇÃO	1,30
DIÂMETRO DO TUBO DE LIGAÇÃO DA TOMADA D'ÁGUA ÀS BOMBAS	500
PERDA DE CARGA NO TUBO DE LIGAÇÃO DA TOMADA D'ÁGUA ÀS BOMBAS	1,17

QUADRO 5.3 - DADOS BÁSICOS DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA	
VAZÃO TOTAL (l/s)	154,27
VAZÃO POR BOMBA (l/s)	51,42
ALTURA MANOMÉTRICA (m)	110,70
MODELO	WORTHINGTON 125 NM 1c
NÚMERO DE ESTÁGIOS	4
Nº DE CONJUNTOS MOTOBOMBA	3 (+1 de reserva)
RENDIMENTO (%)	70
NPSH (m)	2,5
POTÊNCIA DOS MOTORES (CV)	125
ROTAÇÃO (rpm)	1.775

A casa de bombas deverá ter espaço suficiente para acomodar as bombas e quadros de comando dos motores e será dotada de um ambiente para escritório.

O acesso à casa de bombas será feito por caminhos de serviço que serão abertos na ocasião das construção da barragem Malcozinhado



6 - SISTEMA ADUTOR

6 - SISTEMA ADUTOR

6.1 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA ADUTOR

O sistema adutor para abastecimento de água de Pindoretama é composto de dois trechos. O primeiro trecho vai da estação elevatória até a ETA de Pindoretama. Neste trecho a vazão aduzida é a da cidade e a da Indústria Ypioca. Neste ponto haverá uma derivação para a ETA e a adutora segue até a indústria com a vazão reduzida.

6.2 - EQUIPAMENTOS AUXILIARES DO SISTEMA ADUTOR

6.2.1 - Ventosas

Ao longo da rede foram utilizadas ventosas para permitir a admissão e expulsão de ar durante a operação normal e durante os períodos de enchimento e esvaziamento da rede.

Estes equipamentos impedem a formação de bolsões de ar na tubulação que causariam redução de seção de escoamento com conseqüente redução de vazão.

Utilizou-se apenas ventosas de tríplice função pelo fato destes aparelhos minimizarem os efeitos de eventuais transientes ao longo da rede provocados pela abertura e fechamento de válvulas.

O posicionamento das ventosas ao longo da rede, baseou-se nos seguintes critérios

- Pontos altos da rede.
- Longos trechos horizontais. Neste caso a cada 300 m

Conhecida a vazão da linha, e adotando-se um valor para o diferencial de pressão entre o interior da ventosa e a atmosfera no momento do enchimento ou esvaziamento da canalização (geralmente adota-se 3,5 m.c.a), obtém-se um ponto que dará o tamanho da ventosa utilizada

Para simplificar o dimensionamento, foram feitas várias simulações de vazões em diversos diâmetros e chegou-se ao seguinte quadro:

DIÂMETRO DA LINHA	DIÂMETRO DA VENTOSA
(mm)	(mm)
75 - 250	50
300 - 450	75

Os detalhes executivos de instalação das ventosas estão no Desenho PD-PE-HD-017-R0

6.2.2 - Descarga de Fundo

Nos locais mais baixos da rede foram previstos pontos de drenagem destinados a esgotar a água dos tubos por ocasião de reparos e limpeza.

O diâmetro das descargas de fundo foi considerado um diâmetro comercial acima da ventosa

Os detalhes executivos das descargas de fundo estão no Desenho PD-PE-HD-017-R0

6.3 - OBRAS CIVIS

6.3.1- Assentamento de tubulação

6.3 1.1 - Assentamento enterrado

As tubulações serão enterradas a uma profundidade mínima de 0,8 m acima da geratriz superior do tubo. A esta profundidade, pode haver tráfego de veículos sem afetar o tubo.

O material de reaterro da vala deverá estar isento de pedregulhos e deverá ser compactado a 90% do Proctor Normal.

O assentamento da adutora em valas só será realizado em material de 1º. Admite-se 2º categorias a partir de 30 cm acima da geratriz superior do tubo.

O detalhe tipo da vala para assentamento da tubulação está no Desenho PD-PE-HD-018-RD

6.3.1.3 - Caixas de proteção

Os dispositivos que serão dotados de caixas de proteção serão.

- Ventosas.
- Descargas de fundo.

As caixas serão em alvenaria de tijolo e terão função apenas de proteger os dispositivos

Para a drenagem das caixas foi previsto um colchão de brita de 20 cm no fundo da caixa que não será dotada de laje de fundo. A tampa será em malha de aço para garantir a ventilação e a inspeção visual dos equipamentos.

O detalhamento das caixas de proteção de descarga e ventosa poderá ser visto nos Desenhos PD-PE-HD-017-R0

6.3.1.4. Blocos de ancoragem

São estruturas em concreto ciclópico ou armado com a função de absorver os impactos causados pelas variações de fluxo na rede. Se localizam na seguintes peças:

- Tês de derivação.
- Reduções.
- Curvas

Os detalhes tipo do bloco de ancoragem se encontram no Desenho PD-PE-HD-018-R0.

6.3 1.5 - Travessia da adutora em talvegues

Na travessia de talvegues, a adutora deverá ser ancorada e envelopada com concreto para evitar o arranque por flutuação causada pela empuxo da água quando a mesma está vazia

O detalhe da ancoragem e envelopamento se encontra no Desenho PD-PE-HD-018-R0



7 - SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA

7 - SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA

7.1 - SISTEMA DE FILTRAGEM

O sistema de filtragem proposto para a ampliação da ETA existente, compõem-se de filtros ascendentes modulares pré-fabricados em fibra de vidro que combina as funções de clarificação e filtração numa única unidade.

Os filtros possuem na parte inferior uma camada de pedregulho especialmente graduada, sobre a qual encontra-se disposta uma camada de areia com granulometria apropriada.

A água coagulada no mecanismo de neutralização de cargas entra na parte inferior do filtro, numa câmara central, de onde através de difusores é distribuída uniformemente na camada de pedregulho, onde ocorrem fundamentalmente, as operações floculação por contato e sedimentação

Para a ampliação do sistema é necessário um filtro com vazão $110 \text{ m}^3/\text{h}$ que será interligado ao filtro existente cuja capacidade é de $40 \text{ m}^3/\text{h}$ A retrolavagem dos filtros será feita pelo reservatório elevado.

7.2 - RESERVATÓRIO

O reservatório elevado não será ampliado. A reserva necessária ao sistema será complementada com a construção de outro reservatório apoiado de forma que o volume total armazenado seja de $1/5$ do consumo diário para final de plano (20 anos).

Desta forma temos:

Vazão de final de plano = $41,21 \text{ l/s}$

Volume de armazenamento necessário ($1/5$ do abastecimento diário): 750 m^3

Reservatório elevado existente: 200 m^3

Reservatório apoiado existente: 250 m^3



Volume necessário do reservatório apoiado a ser construído: 300 m³

Os detalhes arquitetônicos e hidráulicos do sistema de filtragem se encontram nos Desenhos PD-PE-HD-015-R0 e PD-PE-HD-016-R0

7.3 - CASA DE QUÍMICA

Para a casa de química de Pindoretama será aproveitada a obra civil existente no sítio da ETA.



8 - SISTEMA DE PROTEÇÃO ANTI-TRANSIENTE

8 - SISTEMA DE PROTEÇÃO ANTI-TRANSIENTE

O estudo de transientes indicou a necessidade de construção de um Tanque de Alimentação Unidirecional (TAU) na estaca 57 da adutora de Pindoretama.

Os detalhes arquitetônicos e a hidráulica do TAU se encontra no Desenho PD-PE-HD-014-R0

O cálculo estrutural se encontra nos Desenhos PD-PE-HD-004-R0 e PD-PE-ES-005-R0.



9 - PROJETO ELÉTRICO

9 - PROJETO ELÉTRICO

9.1 - FINALIDADE

Este documento tem como objetivo apresentar à CONCESSIONÁRIA para análise o projeto de uma subestação abaixadora de 13 800-380/220V, com uma potência instalada de 500KVA, com 2(dois) transformadores de 225KVA, operando em paralelo, que se destina ao suprimento de energia elétrica de uma ESTAÇÃO DE BOMBEAMENTO em PINDORETAMA

9.2 - CONCEPÇÃO GERAL

A subestação em questão será do tipo abrigada com entrada mista, montada ao nível do solo, em estrutura de alvenaria, devidamente isolada por cerca de arame farpado, e constituída das seguintes unidades:

- a – unidade de entrada e medição de faturamento;
- b - unidade de seccionamento e disjunção com proteção de sobrecorrente;
- c – duas unidades de transformação de 225 KVA

9.3 - CARGA INSTALADA

A carga instalada da subestação será de 4(quatro) motores de 125CV com tensão nominal de 380V, 60HZ, todos partindo de forma compensada com 80% de sua tensão nominal. A carga real será de 3(três) motores de 125 CV tendo em vista que 1(hum) será instalado como reserva, e mais a dos serviços auxiliares que é estimada em 10KVA.

A seguir é demonstrado os cálculos da potência aparente da subestação levando em consideração as características estimadas do motor de 90% de rendimento e 85%(IND) de fator de potência, e 10KVA para os serviços auxiliares.

9.3.1 - Corrente Nominal do Motor de 125CV, 380V

$$I_n = \frac{CV \times 736}{\sqrt{3} \times V \times \eta \times FP} [A]$$

Onde:

CV = potência do motor

V = tensão nominal do motor

η = rendimento do motor

FP = fator de potência do motor com compensação de reativo

$$I_n = \frac{125 \times 736}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,9 \times 0,85} = 182,72[A]$$

$$\sqrt{3} \times 380 \times 0,9 \times 0,85$$

9.3.2 - Potência Aparente da Subestação

$$S = \frac{380\sqrt{3} (3 \times 182,72)}{1000} + 10 = 370,79 [KVA]$$

Logo, considerando os padrões de potência da ABNT e evitando a operação da subestação próximo de sua capacidade nominal, a mesma terá uma potência instalada de 500KVA(dois transformadores de 225KVA em paralelo).

9.4 - DEMANDA DA SUBESTAÇÃO

A estação de bombeamento deverá operar nas 24(vinte e quatro) horas com uma carga variável em função da vazão exigida, tendo uma previsão de uma demanda máxima de aproximadamente 290Kw.

Quando a natureza da carga, a mesma é praticamente constituída de motores de indução, com partida compensada em 80% da tensão nominal (380V).

9.5 - NÍVEIS DE CURTO CIRCUITO

Todos os materiais e equipamentos pertencentes à Alta Tensão (13.800V) serão dimensionados para um nível de curto circuito simétrico de 10 KA. Quanto a Baixa Tensão (380V) os materiais e equipamentos ligados aos transformadores de 225KVA serão dimensionados para 20KA, bem como os ligados aos barramentos do QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO (QGBT) e ao QUADRO DE COMANDO E SERVIÇOS AUXILIARES (QCSA).

9.6 - FILOSOFIA DE PROTEÇÃO DA SUBESTAÇÃO

9.6.1 - Proteção de Alta Tensão (13.800v)

O projeto da subestação prevê proteção de sobrecorrente através de CHAVE FUSÍVEL com capacidade de 10KA completa de elo fusível de 25K para os cabos isolados (15 KV) do RAMAL DE ENTRADA, muflas e equipamentos de medição da faturamento da concessionária. Para o barramento de Alta Tensão (13.800V) e transformadores de força, a proteção é feita através de relés de sobrecorrente regulado em 32A os quais atuarão de forma direta no disjuntor de Alta Tensão (13 800V).

9.6.2 - Proteção de Baixa Tensão (380V)

A baixa tensão ligada aos transformadores de 225KVA será protegida por disjuntor termomagnético, 750V, 400A de corrente nominal, com capacidade de interrupção simétrica de 20KA

Pelo DIAGRAMA UNIFILAR pode ser observado que o Projeto contempla 2(dois) disjuntores de baixa tensão (380V) por transformador em série. Um instalado no Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) o qual se localiza no prédio da subestação e outro instalado na entrada do Quadro de Comando e Serviços Auxiliares (QCSA), dando assim proteção individualizada para os cabos de alimentação de 750V e ao Quadro de Comando e Serviços Auxiliares (QCSA).

9.6.3 - Proteção dos Motores

Os motores serão comandados por chaves compensadoras as quais deverão possuir proteção contra curto circuito através de fusíveis tipo NH devidamente dimensionados, proteção contra sobrecarga, falta de fase, sub e sobretensão.

Para maior segurança, todas as chaves seccionadas dos circuitos dos motores serão do tipo Abertura com Carga e os circuitos dos Serviços Auxiliares serão protegidos com disjuntores termomagnéticos com capacidade de interrupção compatíveis com o item 6.2 deste documento

9.6.4 - Proteção de Sobretensão

A subestação estará protegida contra sobretensão de origem atmosférica (onda plena e onda cortada), sobretensão de manobra e à frequência industrial (60Hz) através de pára-raios localizados na estrutura de entrada da subestação no ponto de encontro do cabo nu e o cabo isolado, e outro conjunto na unidade de entrada e medição de faturamento, no encontro de cabo isolado e o barramento. Todos os pára-raios são do tipo DISTRIBUIÇÃO, com tensão nominal de 12 KV e fabricados com resistor não linear de óxido de zinco.

9.7 - DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES

9.7.1 - Condutores de Alta Tensão

O barramento de alta tensão será dimensionado para a potência da subestação (500 KVA), o mesmo será de vergalhão de cobre eletrolítico de 25 mm², 5,6 mm de diâmetro. Para os cabos isolados de 15KV será mantida a mesma área do condutor do barramento, no caso 25mm².

9.7.2 - Condutores de Baixa Tensão (380/220V)

Os condutores ligados aos tratos de 225KVA foram dimensionados para uma capacidade de 402A por transformador. Na saída dos transformadores, cada fase terá 3(três) cabos de cobre isolados EPR, 750V, 185mm² de área, os quais farão a interligação do transformador ao Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) e do aludido quadro ao Quadro de Comando e Serviços Auxiliares (QCSA). Os cabos serão instalados em eletrodutos (4 da norma NRB-5410).

Para a alimentação dos motores de 125CV serão utilizados 2(dois) cabos de cobre isolados, EPR, 750V, 50mm² por fase, instalados em eletrodutos (4 da norma NBR-5410) com uma capacidade de 198A.

Os condutores por fase serão em todos os casos instalados em eletrodutos individuais de ferro galvanizado com 4" de diâmetro.

9.8 - DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE CAPACITORES

Para o dimensionamento em questão vamos estimar em 85% o Fator de Potência dos motores de 125CV. Para atender a legislação em vigor que estabelece 92% como valor mínimo, a correção para os referidos motores é a que se segue:

9.8.1 - Motor de 125cv

Potência aparente	$S = \frac{380\sqrt{3} \times 182,72}{1000} + 10 = 120,26 \text{ [KVA]}$
Potência ativa	$P = 120,26 \times 0,85 = 102,22 \text{ [Kw]}$
Ângulo de potência	$\theta = \cos^{-1}0,85 = 31,79^\circ$
Potência reativa	$Q = 120,26 \times \sin 31,79^\circ = 63,35 \text{ [KVAr]}$
Compensação	$C = 22,5 \text{ [KVAr]}$
Fator de potência corrigido	$FP = \cos[\arctg^{-1}(40,85/102,22)] = 0,93$

9.9 - CÁLCULO DO ATERRAMENTO

O cálculo da resistência da malha será baseada no método de SCHWARZ publicado no IEEE80-1976 (Guide for Safety in Substation Grounding)

Fórmulas:

9.9.1 - Fórmula da Resistência da Malha de Terra (condutores)

$$R_c = \frac{\rho a}{\pi L} [\ln(2L/a_1) + K_1(L/\sqrt{A}) - K_2]$$

πL

9.9.2 - Fórmula da Resistência das Hastes do Aterramento

$$R_h = \frac{\rho_a}{2\pi n L_1} [\ln(4L_1/b) - 1 + (2K_1 L_1 / \sqrt{A}) \times (\sqrt{n} - 1)^2]$$

9.9.3 - Fórmula da Resistência Mútua entre Malha e Haste

$$R_m = \frac{\rho_a}{\pi L} [\ln(2L/L_1) + K_1(L/\sqrt{A}) - K_2 + 1]$$

9.9.4 - Fórmula da Resistência Total

$$R_t = \frac{R_c R_h - R_m^2}{R_c + R_h - 2R_m}$$

Onde

ρ_a = resistividade aparente do solo em [OHM cm]

L = comprimento total dos condutores em [cm]

$a_1 = \sqrt{dz}$ para os condutores aterrados na profundidade z em [cm]

z = profundidade da malha em [cm]

d = diâmetro do condutor em [cm]

A = área coberta pelos condutores em [cm²]

L₁ = comprimento da haste em [cm]

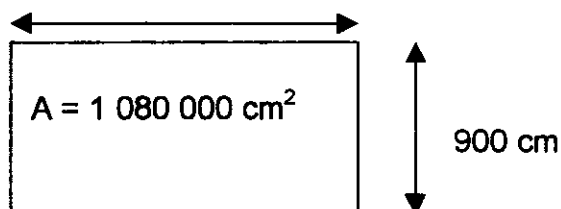
b = raio da haste em [cm]

n = número de haste na área A

K1 e K2 = coeficientes em função da razão comprimento/largura da malha

1200 cm

Cálculo do Sistema de Aterramento



Área da malha

Dados:

$\rho_a = 15.000[\text{OHM.cm}]$ (valor estimado)

$L = 16.500 [\text{cm}]$

$a_1 = \sqrt{0,757 \times 60} = 6,74[\text{cm}]$

$z = 60 [\text{cm}]$

$d = 0,757 [\text{cm}]$

$L_1 = 300 [\text{cm}]$

$b = 1,905 [\text{cm}]$

$n = 16$

$K1 = 1,4125 - 0,0425 (1200/900) = 1,36$

$K2 = 5,49 - 0,1443 (1200/900) = 5,30$

9.9.5 - Cálculo da Resistência da Malha de Terra (condutores)

$$R_c = \frac{15\,000}{\pi 16\,500} \left[\ln \left(\frac{2 \times 16\,500}{6,74} \right) + 1,36(16\,500/\sqrt{1\,080\,000}) - 5,30 \right] = 7,19 [\text{OHM}]$$

9.9.6. Cálculo da Resistência das Hastes do Aterramento

$$R_h = \frac{15\,000}{2\pi \times 16 \times 300} \left[\ln(4300/1,905) - 1 + (2 \times 1,36 \times 300/\sqrt{1\,080\,000})(\sqrt{16} - 1)^2 \right]$$

$$R_h = 6,92 [\text{OHM}]$$

9.9.7 - Cálculo da Resistência Mútua entre Malha e Haste

$$R_m = \frac{15\,000}{\pi \times 16\,500} \left[\ln(2 \times 16\,500/300) + 1,36(16\,500/\sqrt{1\,080\,000}) - 5,30 + 1 \right]$$

$$R_m = 6,38 [\text{OHM}]$$

9.9.8 - Cálculo da Resistência Total

$$R_t = \frac{7,19 \times 6,92 - 6,38^2}{7,19 + 6,92 - 2 \times 6,38} = 6,70 [\text{OHM}]$$

$$7,19 + 6,92 - 2 \times 6,38$$



9.10. RELAÇÃO DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS DA SUBESTAÇÃO (500KVA)



KL - SERVIÇOS E ENGENHARIA LTDA

10 - ANEXOS



KL - SERVIÇOS E ENGENHARIA LTDA

ANEXO A - DETALHAMENTO DAS CONEXÕES PONTO A PONTO

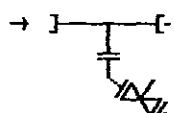
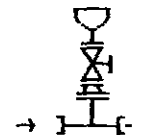
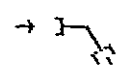
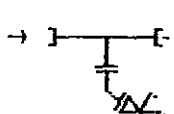
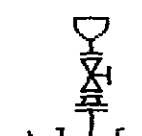
FONTO A FONTO

23/10/97

PROJETO: PINDURETAMA

EB. 1

ADUTURA: FF1

PUNTO	ESTACA	DESCRICAO	ESQUEMA
0.1	5	1 te bbt foto 350 x 100 FN 10 1 c 45o rf foto DN = 100 FN 10 1 rgfc DN = 100 FN 10 1 ept foto DN = 100 FN 10	
0.2	10	1 te bbt foto 350 x 100 FN 10 1 reducao rf foto 100 x 75 FN 10 1 rotv DN = 75 FN 10 1 vet DN = 75 FN 10	
0.3	13	1 c 45o bb te foto DN = 350	
0.4	15	1 te bbt foto 350 x 100 FN 10 1 c 45o rf foto DN = 100 FN 10 1 rotv DN = 100 FN 10 1 ept foto DN = 100 FN 10	
0.5	24	1 te bbt foto 350 x 100 FN 10 1 reducao rf foto 100 x 75 FN 10 1 rotv DN = 75 FN 10 1 vet DN = 75 FN 10	

000045

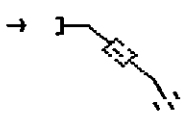
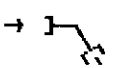
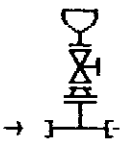
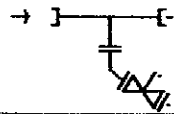
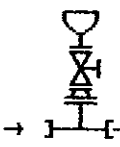
PONTO A PONTO

23/10/97

PROJETO: PINDORETAMA

EB: 1

ADUTORA: FPI

PONTO	ESTACA	DESCRIÇÃO	ESQUEMA
0.6	49	1 c 900 bb je foto DN = 150 1 c 225 bb je foto DN = 150	
0.7	19	1 c 110 bb je foto DN = 150	
0.8	10	1 te bbf foto 150 x 100 PN 10 1 reducao ff foto 100 x 75 PN 10 1 rgfv DN = 75 PN 10 1 vtr DN = 75 PN 10	
0.9	44	1 te bbf foto 150 x 100 PN 10 1 c 450 ff foto DN = 100 DN 10 1 rgfv DN = 100 PN 10 1 opt foto DN = 100 PN 10	
0.10	54	1 te bbf foto 150 x 100 PN 10 1 reducao ff foto 100 x 75 PN 10 1 rgfv DN = 75 PN 10 1 vtr DN = 75 PN 10	

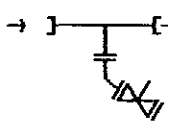
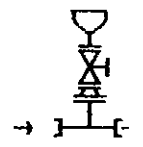
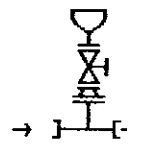
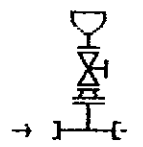
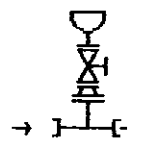
PONTO A PONTO

22/10/97

PROJETO: FUNDREIAMA

EB: 1

ADUTORA: FF1

PONTO	ESTACA	DESCRIÇÃO	ESQUEMA
0.11	35	1 te bbf tubo 350 x 100 FN 10 1 c 450 ft tubo DN = 100 FN 10 1 rafa DN = 100 FN 10 1 ept tubo DN = 100 FN 10	
0.12	32	1 te bbf tubo 350 x 100 FN 10 1 reducao ff tubo 100 x 75 FN 10 1 rafa DN = 75 FN 10 1 vtf DN = 75 FN 10	
0.13	7	1 te bbf tubo 350 x 100 FN 10 1 reducao ff tubo 100 x 75 FN 10 1 rafa DN = 75 FN 10 1 vtf DN = 75 FN 10	
0.14	-	1 te bbf tubo 350 x 100 FN 10 1 reducao ff tubo 100 x 75 FN 10 1 rafa DN = 75 FN 10 1 vtf DN = 75 FN 10	
0.15	109	1 te bbf tubo 350 x 100 FN 10 1 reducao ff tubo 100 x 75 FN 10 1 rafa DN = 75 FN 10 1 vtf DN = 75 FN 10	

000047

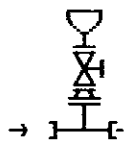
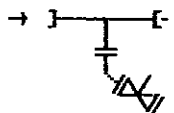
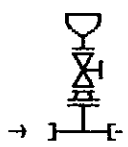
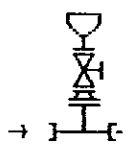
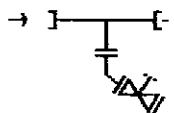
PONTO A PONTO

23/10/97

PROJETO: PINDORE LAMA

EB: 1

ADUTORIA: FFL

PONTO	ESTACA	DESCRIÇÃO	ESQUEMA
0.15	125	1 te bbt foto 250 x 100 FN 10 1 reducao fr foto 100 x 75 FN 10 1 rqtv DN = 75 FN 10 1 vlv DN = 75 FN 10	
0.17	140	1 te bbt foto 250 x 100 FN 10 1 c 45o fr foto DN = 100 FN 10 1 rafc DN = 100 FN 10 1 eot foto DN = 100 FN 10	
0.18	149	1 te bbt foto 250 x 100 FN 10 1 reducao fr foto 100 x 75 FN 10 1 rqtv DN = 75 FN 10 1 vlv DN = 75 FN 10	
0.19	167	1 te bbt foto 250 x 100 FN 10 1 reducao fr foto 100 x 75 FN 10 1 rqtv DN = 75 FN 10 1 vlv DN = 75 FN 10	
0.20	189	1 te bbt foto 250 x 100 FN 10 1 c 45o fr foto DN = 100 FN 10 1 rafc DN = 100 FN 10 1 eot foto DN = 100 FN 10	

000048

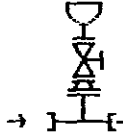
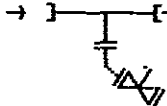
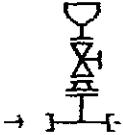
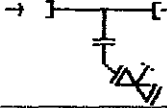
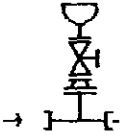
PONTO A PONTO

23/10/97

PROJETO: FINECURETAMA

ER: 1

ADU/DRA: FP1

PUNTO	ESTALA	DESCRICAO	ESQUEMA
0.11	204	1 te bbf foto 350 x 100 FN 10 1 reducao ff foto 100 x 75 FN 10 1 rqtv DN = 75 FN 10 1 vtf DN = 75 FN 10	
0.22	212	1 te bbf foto 350 x 100 FN 10 1 c 45o ff foto DN = 100 FN 10 1 rqtv DN = 100 FN 10 1 epf foto DN = 100 FN 10	
0.23	215	1 te bbf foto 350 x 100 FN 10 1 reducao ff foto 100 x 75 FN 10 1 rqtv DN = 75 FN 10 1 vt DN = 75 FN 10	
0.24	255	1 te bbf foto 350 x 100 FN 10 1 c 45o ff foto DN = 100 FN 10 1 rqtv DN = 100 FN 10 1 epf foto DN = 100 FN 10	
0.25	285	1 te bbf foto 350 x 100 FN 10 1 reducao ff foto 100 x 75 FN 10 1 rqtv DN = 75 FN 10 1 vtf DN = 75 FN 10	

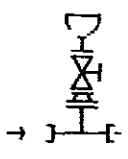
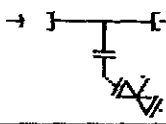
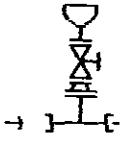
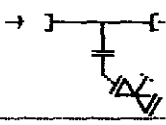
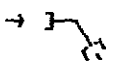
PONTO A PONTO

23/10/97

PROJETO: F'INDO RETAMA

Lb: 1

ADUTORIA: FP1

PUNTO	ESTACA	DESCRIÇÃO	ESQUEMA
0.26	294	1 te bbf foto 350 x 100 PN 10 1 reducao tt foto 100 x 75 PN 10 1 rotv DN = 75 PN 10 1 vtr DN = 75 PN 10	
0.27	328	1 te bbf foto 350 x 100 PN 10 1 c 450 tt foto DN = 100 PN 10 1 rotv DN = 100 PN 10 1 ept foto DN = 100 PN 10	
0.28	332	1 te bbf foto 350 x 100 PN 10 1 reducao tt foto 100 x 75 PN 10 1 rotv DN = 75 PN 10 1 vtr DN = 75 PN 10	
0.29	351	1 te bbf foto 350 x 100 PN 10 1 c 450 tt foto DN = 100 PN 10 1 rotv DN = 100 PN 10 1 ept foto DN = 100 PN 10	
0.30	355	1 c 110 lb te foto DN = 350	

000050

PONTO A PONTO

23/10/97

PROJETO: PINDORETAMA

EB: 1

ADUTORA: FP1

PONTO	ESTALA	DESCRIÇÃO	ESQUEMA
0.31	181+3	1 te bbr tofo 350 x 100 FN 10 1 reducao ff tofo 100 x 75 FN 10 1 rqtv DN = 75 FN 10 1 vtr DN = 75 FN 10	
0.32	185	1 te bbr tofo 350 x 100 FN 10 1 c 450 ff tofo DN = 100 FN 10 1 rqtv DN = 100 FN 10 1 ept tofo DN = 100 FN 10	
0.33	171	1 te bbr tofo 350 x 100 FN 10 1 reducao ff tofo 100 x 75 FN 10 1 rqtv DN = 75 FN 10 1 vtr DN = 75 FN 10	
0.34	182	1 te bbr tofo 350 x 100 FN 10 1 c 450 ff tofo DN = 100 FN 10 1 rqtv DN = 100 FN 10 1 ept tofo DN = 100 FN 10	
0.35	181	1 te bbr tofo 350 x 100 FN 10 1 reducao ff tofo 100 x 75 FN 10 1 rqtv DN = 75 FN 10 1 vtr DN = 75 FN 10	

000051

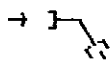
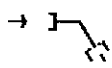
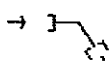
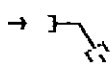
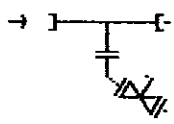
PONTO A PONTO

23/10/97

PROJETO: PINDORETAMA

EB: 1

ADUTORA: FP1

PUNTO	ESTACA	DESCRIÇÃO	ESQUEMA
0.36	387	1 c 110 bb te foto DN = 350	
0.37	393	1 c 220 bc te foto DN = 350	
0.38	404+13	1 c 900 bb te foto DN = 350	
0.39	406+17	1 c 700 bb te foto DN = 350	
0.40	407	1 te bbf foto 350 x 100 PN 10 1 c 450 tt foto DN = 100 PN 10 1 foto DN = 100 PN 10 1 ept foto DN = 100 PN 10	

000052

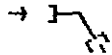
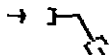
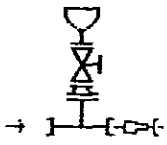
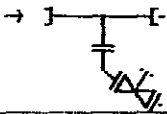
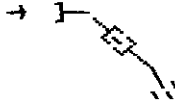
PONTO A PONTO

23/10/97

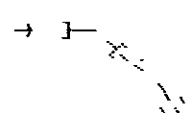
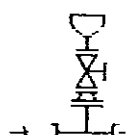
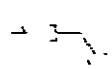
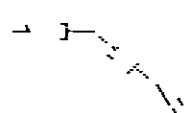
PROJETO: FIMDOR ETAMA

EB: 1

ADUTORIA: FFI

PUNTO	ESTACA	DESCRICAO	ESQUEMA
0.41	4.1+8.5	1 c 900 bb je foto DN = 150	
0.42	4.7+7.5	1 c 900 bb je foto DN = 150	
0.43	48.1	1 te bbf foto 350 100 FN 10 1 reducao rf foto 100 75 FN 10 1 rgty DN = 75 FN 10 1 vti DN = 75 FN 10 1 reducao pd je foto 100 75 FN 10	
0.44	47.6	1 te bbr pvc 100 x 100 FN 10 1 c 450 pvc rf DN = 100 FN 10 1 rgty DN = 100 FN 10 1 ebf pvc DN = 100 FN 10	
0.45	48.1	1 c 900 pvc bb je pvc DN = 300 1 c 110 pvc bb je pvc DN = 300	

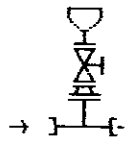
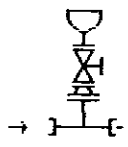
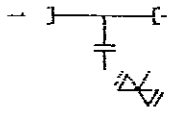
000053

NO.	DESCRIPTION	QUANTITY	REMARKS
			
402	PIPE	100	
			
			

0002

PUNTO A PUNTO

23.10.97

CANTIDAD	DESCRIPCION	UNIDAD
1	1. ... 2. ... 3.
1	1. ... 2. ... 3.
1	1. ... 2. ... 3. ...	
1	1. ... 2. ... 3. ...	
1	1. ... 2. ... 3. ...	



KL - SERVIÇOS E ENGENHARIA LTDA

ANEXO B - ESTUDO DE TRANSIENTES HIDRÁULICOS

1. MEMÓRIA DESCRITIVA

Este trabalho compreende o estudo dos Transientes Hidráulicos para a adutora de Pindoretama, no município de Pindoretama no Estado do Ceará

O presente estudo foi feito para a adutora, visando determinar as pressões máximas e mínimas que poderão ocorrer nas tubulações em caso de desligamento brusco das bombas (por falta de energia elétrica, por exemplo) e para se verificar a necessidade ou não de se utilizarem dispositivos de proteção de tais linhas, se essas pressões extrapolarem os valores admitidos pelos tubos

Em uma instalação de recalque, quando há um desligamento das bombas de maneira brusca, são desenvolvidas ondas de choque que percorrem a tubulação alterando transitoriamente o comportamento das pressões internas e das vazões de adução. Neste caso, a primeira onda que se forma é de depressão e pode provocar a separação da coluna líquida, dependendo das condições instantâneas de pressão e do perfil topográfico da linha. Com a vinda, em seguida, da onda de sobrepressão, há possibilidade de junção da coluna e, em consequência, as pressões podem chegar a atingir valores insuportáveis para o material das tubulações

As equações básicas que descrevem este fenômeno são obtidas a partir dos princípios da quantidade de movimento e da continuidade e têm a seguinte forma geral

$$gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{f}{2DA} Q \cdot |Q| = 0$$
$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

onde Q = vazão no instante t ,

H = pressão no instante t ,

x = distância entre a origem da linha e a seção estudada,

D = diâmetro da adutora;

f = coeficiente de atrito de escoamento,

A = área da seção transversal do tubo,

a = celeridade da onda de pressão

Existem vários processos numéricos de resolução dessas equações, porém o mais utilizado é o das características, que será aqui empregado. De acordo com este método, a linha estudada é dividida num certo número de trechos, de modo a se ter o histórico do transiente nos pontos de maior interesse, ou próximos a eles, como é permitido. A partir daí, o cálculo todo se baseia na determinação dos valores de pressão e de vazão que satisfaçam o sistema de equações acima, para um ponto considerado e num determinado instante, desde que sejam conhecidas essas grandezas num instante anterior.

O sistema de duas equações diferenciais parciais acima, de 1ª ordem, do tipo hiperbólico, pode ser transformado em outro sistema de quatro equações diferenciais ordinárias que pode ser trabalhado sob a forma de diferenças finitas. Isto permite calcular os valores de H_p e Q_p no ponto considerado, por meio das expressões:

$$H_p = C_p - B \cdot Q_p$$

$$H_p = C_M + B \cdot Q_p$$

onde C_p e C_M são constantes para cada seção considerada pois dependem dos valores de H e de Q para o instante anteriormente considerado, e B é uma função da celeridade da onda e da área da seção transversal do tubo.

O intervalo de tempo de trânsito da onda de choque é constante para todo o histórico do transiente, inclusive o tempo de percurso dessa onda entre as seções consecutivas, definido como

$$\Delta t = \frac{\Delta L}{a}$$

onde ΔL é a extensão de cada trecho e "a" a celeridade da onda. Esta equação corresponde ao critério de estabilidade de Courant para equações deste tipo.

Esse procedimento permite verificar se há possibilidade de separação da coluna líquida na tubulação, dependendo do valor de H_p em relação à cota do terreno na seção considerada. Se, nesse ponto a pressão calculada for inferior, em valor absoluto, à pressão de vapor da água, haverá separação de coluna e, portanto, necessidade de se utilizarem dispositivos de proteção.

Dentre estes, os mais usuais são:

- chaminés de equilíbrio;
- tanques de amortecimento unidirecionais - TAU;

- volante de inércia nas bombas,
- tanques hidropneumáticos

Dependendo do caso específico, pode-se empregar um ou mais desses dispositivos, tendo em vista as condições econômicas, construtivas e funcionais de cada situação.

O estudo completo é feito em duas etapas complementares, com a primeira delas compreendendo o diagnóstico da linha, caso ocorra uma paralisação brusca, sem nenhum dispositivo de proteção. Em seguida, caso seja constatada a necessidade desses dispositivos, é feita a verificação de seu funcionamento, de modo que as pressões resultantes não provoquem danos ao sistema.

No caso presente, como está apresentado na Memória de Cálculo, a adutora analisadas estão sujeitas à separação de coluna e, por isto, serão utilizados TAU para combater esses efeitos. Os volantes de inércia não foram utilizados, uma vez os necessários para a proteção desses sistemas seriam maiores do que as instalações físicas e as potências dos motores poderiam suportar. Quanto aos tanques hidropneumáticos, sua operação é delicada e exige equipamentos adicionais como compressores, manômetros, sistemas automáticos de controle de nível, etc.

Em cada caso, a quantidade e o posicionamento dos dispositivos foram definidos, em função das linhas de pressão e dos perfis dos terrenos, de modo que as adutoras não fiquem sujeitas a pressões próximas da pressão de vapor da água (aqui admitida igual a -9,50 m.c.a., relativa). Para efeito de uniformização dos projetos estruturais desses tanques, procurou-se adotar um modelo único para todos eles, com variações apenas de suas dimensões e das tubulações de interligação à linha principal. No caso aqui estudado, houve necessidade de um único TAU para cada linha, cujas características principais são as seguintes:

SISTEMA	Distância à EB(m)	Diâmetro interno (m)	Diâmetro Entrada (mm)	Diâmetro Saída (mm)	Extensão Ligação (m)	Cota do Terreno (m)	Cota do NA máximo	Altura Total (m)
Pindoretama	2 000	3,00	50	350	8,00	33,47	60,47	28,00

A adutora de Pindoretama, que se estende até Ypioca, está prevista uma sangria a 2 460 metros dessa localidade. No local dessa sangria o diâmetro da linha sofre uma redução de 350 para 300, porque a vazão passa de 154,27 para 116,55 l/s. Neste caso, o sistema foi analisado para a situação mais desfavorável, que é aquela em que toda a vazão de recalque está sendo transportada de um extremo a outro da linha, sem qualquer derivação. Nestas circunstâncias, a vazão de recalque passa a ser de 142,00 l/s, a que corresponde uma altura manométrica de 104,50 m c a.

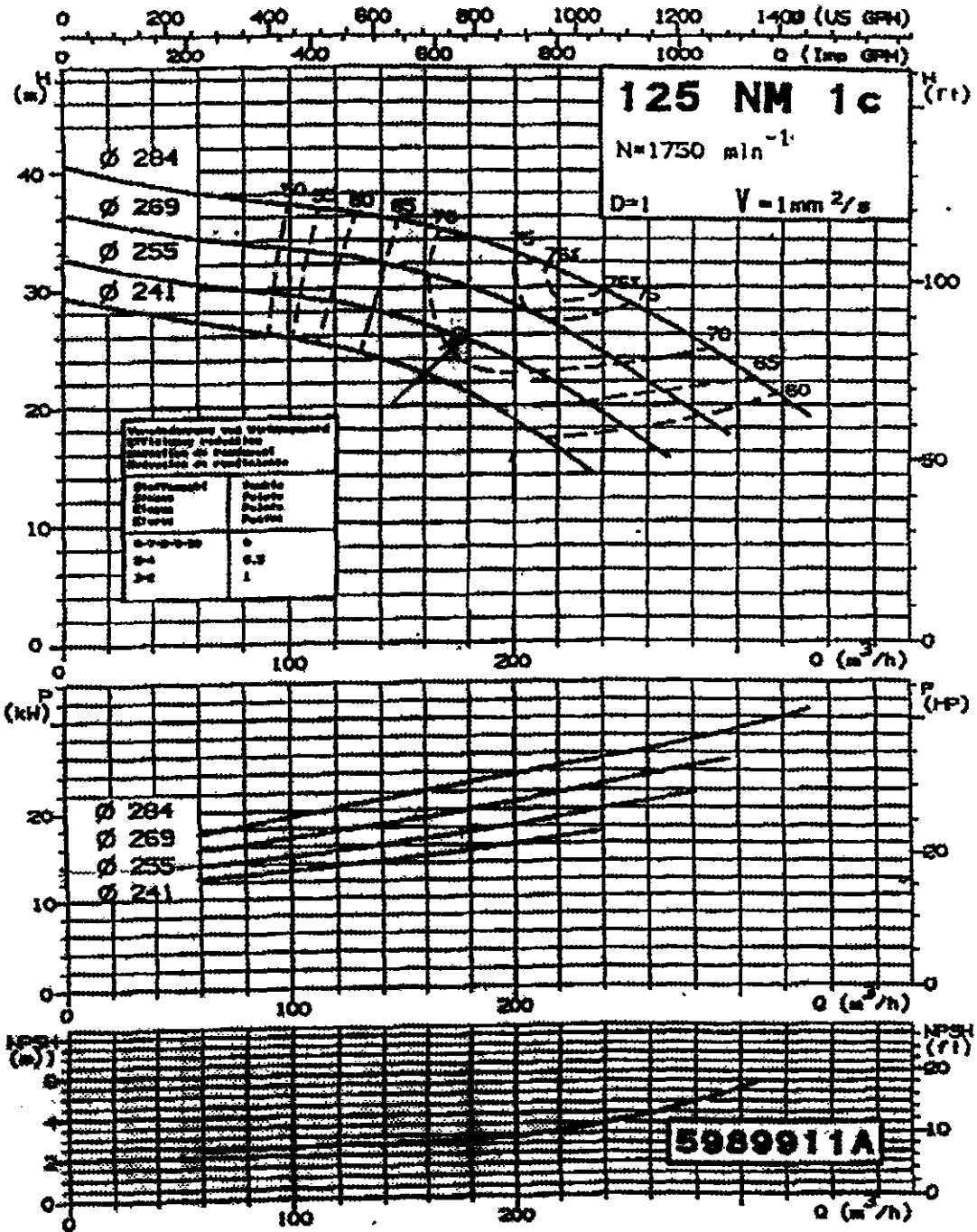
Por medida de segurança, cada TAU será dotado de duas tubulações de saída. Esta observação vale para todos os trechos.

2. MEMÓRIA DE CÁLCULO

A seguir estão apresentadas as planilhas de cálculo para cada sistema analisado. Primeiramente é feito o diagnóstico das linhas, cujos resultados mostram que todas elas ficarão sujeitas a pressões negativas em grande parte de suas extensões, o que pode provocar separação de coluna líquida no seu interior. Deste modo foram projetados os dispositivos de proteção (TAU), cujo funcionamento foi simulado em seguida, quando observou-se que os mesmos protegerão as linhas de maneira conveniente.

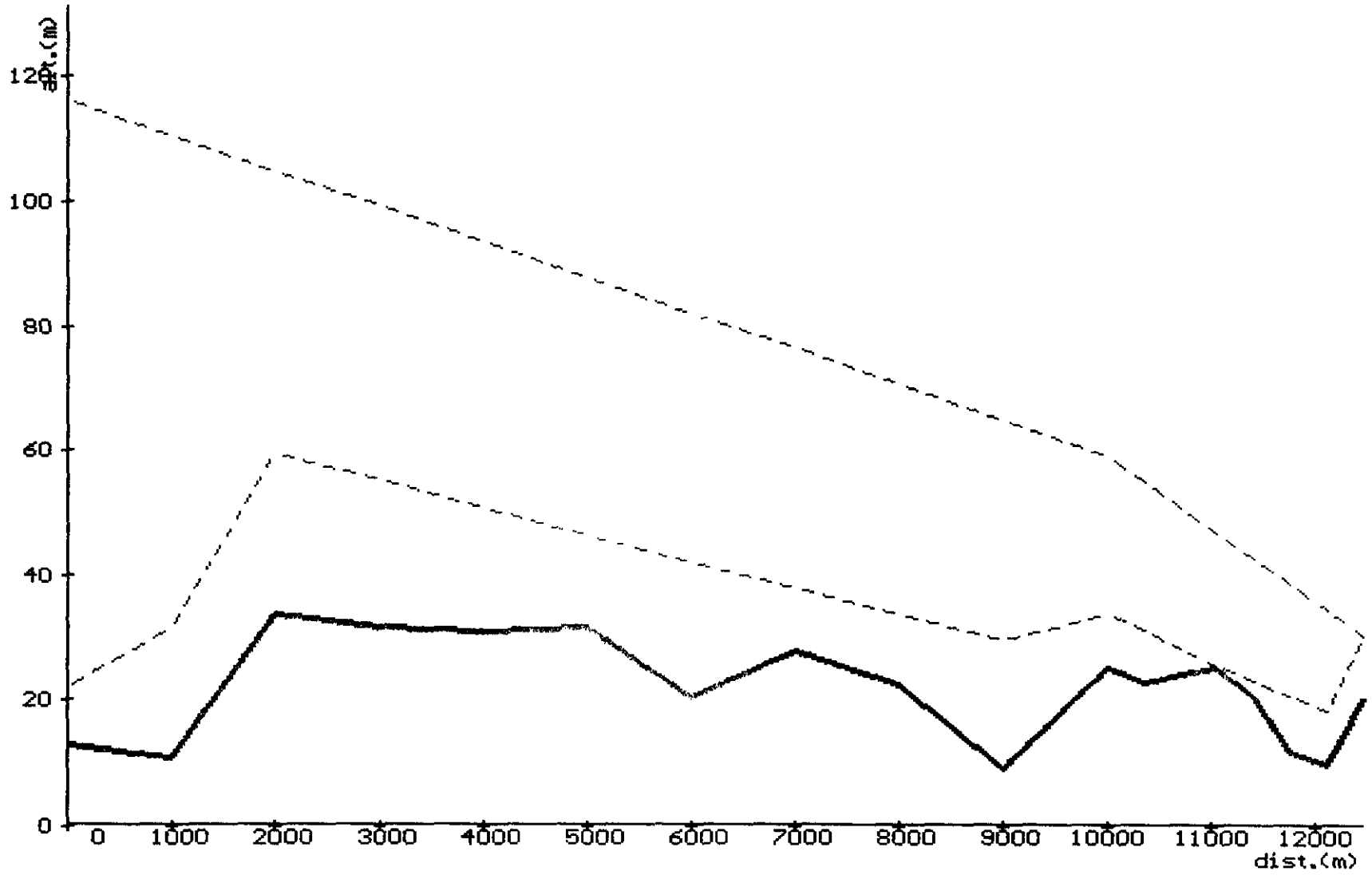
Em cada listagem é mostrado o funcionamento do sistema em regime normal de operação ($T=0,0$ s), o funcionamento das bombas após a parada brusca, as envoltórias das pressões máximas e mínimas em cada seção considerada e um esquema com o perfil do terreno e essas envoltórias, para melhor visualização. O critério utilizado para a divisão em seções, em cada sistema estudado foi o de representar a linha com a maior fidelidade possível, a partir dos pontos considerados mais críticos para o funcionamento em regime transitório.

As listagens apresentadas mostram as características físicas de cada sistema (diâmetros, extensões, celeridades, vazões, etc.), pelo que as mesmas não serão aqui repetidas. No caso das bombas, foram consideradas as características informadas pelos fabricantes. Suas curvas de performance estão apresentadas junto com as listagens respectivas.



ANALISE DE TRANSIENTES HIDRAULICOS Envoltorias das Pressoes com Protecao

140 -



000003

INVOLTORIA DE PRESSOES DO TRECHO 3

SECAO	DIST. (m)	ALT.PRES.MIN. (m)	PRES.MIN. (m)	ALT.PRES.MAX (m)	PRES.MAX (m)
1	10000.0	33.56	8.79	58.87	34.10
2	10351.4	30.98	8.48	54.77	32.27
3	10702.9	28.09	4.09	50.67	26.67
4	11054.3	25.39	.39	46.57	21.57
5	11405.7	22.87	2.87	42.47	22.47
6	11757.1	20.42	8.92	38.38	26.88
7	12108.6	17.96	8.46	34.28	24.78
8	12460.0	30.18	10.18	30.18	10.18

- Program terminated.

ORTRAN>

ENVOLTORIA DE PRESSOES DO TRECHO 2

SECAO	DIST. (m)	ALT.PRES.MIN. (m)	PRES.MIN. (m)	ALT.PRES.MAX (m)	PRES.MAX (m)
1	2000.0	59.14	25.67	104.56	71.09
2	3000.0	54.83	23.54	98.85	67.56
3	4000.0	50.44	19.57	93.14	62.27
4	5000.0	45.97	14.45	87.43	55.91
5	6000.0	41.57	21.30	81.71	61.44
6	7000.0	37.44	9.76	76.00	48.32
7	8000.0	33.42	11.16	70.29	48.03
8	9000.0	29.37	20.63	64.58	55.84
9	10000.0	33.56	8.79	58.87	34.10

ENVOLTORIA DE PRESSOES DO TRECHO 1

SECAO	DIST. (m)	ALT.PRES.MIN. (m)	PRES.MIN. (m)	ALT.PRES.MAX (m)	PRES.MAX (m)
1	.0	21.90	9.32	115.99	103.41
2	1000.0	31.28	20.56	110.28	99.56
3	2000.0	59.14	25.67	104.56	71.09

FUNCIONAMENTO DA BOMBA APOS O DESLIGAMENTO

TEMPO (s)	ROTACAO (rpm)	VAZAO (m ³ /s)	ALT. DE PRESSAO (m)	PRESSAO (m)
.0	1750.0	.142	115.99	103.41
1.0	1300.4	.100	70.83	58.25
2.0	1022.1	.079	48.49	35.91
3.0	832.5	.070	35.71	23.13
4.0	695.7	.063	28.12	15.54
5.0	591.0	.062	22.99	10.41
5.9	523.9	.028	22.92	10.34
6.9	473.9	.008	21.90	9.32
7.9	433.2	.000	25.77	13.19
8.9	433.2	.000	32.22	19.64
9.9	433.2	.000	66.13	53.55
10.9	433.2	.000	87.84	75.26
11.9	433.2	.000	92.30	79.72
12.9	433.2	.000	85.95	73.37
13.9	433.2	.000	52.99	40.41
14.9	433.2	.000	31.89	19.31
15.8	433.2	.000	27.51	14.93
16.8	433.2	.000	33.67	21.09
17.8	433.2	.000	65.68	53.10
18.8	433.2	.000	86.11	73.53
19.8	433.2	.000	90.39	77.81
20.8	433.2	.000	84.61	72.03
21.8	433.2	.000	53.49	40.91
22.8	433.2	.000	33.61	21.03
23.8	433.2	.000	29.40	16.82
24.8	433.2	.000	35.00	22.42
25.8	433.2	.000	65.25	52.67
26.7	433.2	.000	84.51	71.93
27.7	433.2	.000	88.61	76.03
28.7	433.2	.000	83.08	70.50
29.7	433.2	.000	53.64	41.06

ESCOAMENTO NO REGIME PERMANENTE - T = 0.0

TRECHO 2

SECAO	DISTANCIA (m)	VAZAO (m ³ /s)	ALT. DE PRESSAO (m)	PRESSAO (m)
1	10000.0	.142	58.87	34.10
2	10351.4	.142	54.77	32.27
3	10702.9	.142	50.67	26.67
4	11054.3	.142	46.57	21.57
5	11405.7	.142	42.47	22.47
6	11757.1	.142	38.38	26.88
7	12108.6	.142	34.28	24.78
8	12460.0	.142	30.18	10.18

000008

FUNCIONAMENTO DA BOMBA APOS O DESLIGAMENTO

TEMPO (s)	ROTACAO (rpm)	VAZAO (m ³ /s)	ALT.DE PRESSAO (m)	PRESSAO (m)
.0	1750.0	.142	115.99	103.41
2.0	1027.8	.074	49.73	37.15
4.0	706.1	.057	29.46	16.88
5.9	522.9	.052	20.93	8.35
7.9	401.9	.052	16.55	3.97
9.9	315.9	.049	14.46	1.88
11.9	255.4	.045	13.49	.91
13.9	209.9	.041	12.97	.39
15.8	176.1	.036	12.73	.15
17.8	149.8	.033	12.59	.01
19.8	129.3	.030	12.53	-.05
21.8	113.0	.027	12.51	-.07
23.8	100.3	.024	12.54	-.04
25.8	90.3	.021	12.55	-.03
27.7	82.3	.018	12.58	.00
29.7	75.9	.016	12.60	.02

EVOLUÇÃO DE PRESSÕES DO TRECHO 1

SEÇÃO	DIST. (m)	ALT.PRES.MIN. (m)	PRES.MIN. (m)	ALT.PRES.MAX (m)	PRES.MAX (m)
1	.0	12.49	-.09	115.99	103.41
2	909.1	13.58	4.08	110.80	101.30
3	1818.2	19.00	-9.50	105.60	77.10
4	2727.3	23.50	-9.50	100.41	67.41
5	3636.4	15.82	-7.38	95.22	72.02
6	4545.5	20.50	-9.50	90.02	60.02
7	5454.5	21.00	-9.50	84.83	54.33
8	6363.6	14.72	-7.28	79.64	57.64
9	7272.7	15.50	-9.50	74.44	49.44
10	8181.8	14.00	-9.50	69.25	45.75
11	9090.9	12.52	3.52	64.06	55.06
12	10000.0	15.27	-9.50	58.87	34.10

EVOLUTORIA DE PRESSOES DO TRECHO 2

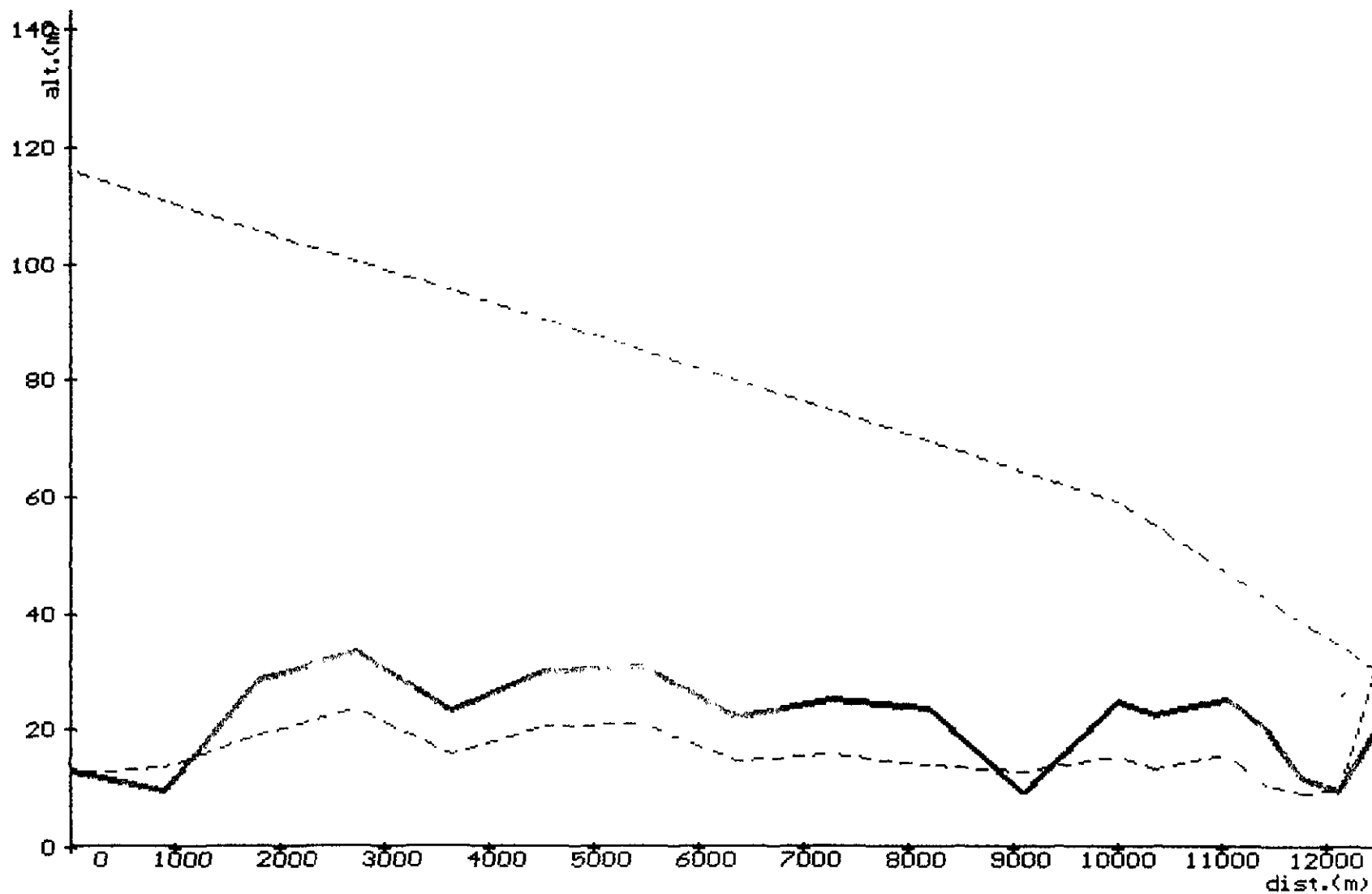
SECAO	DIST. (m)	ALT.PRES.MIN. (m)	PRES.MIN. (m)	ALT.PRES.MAX (m)	PRES.MAX (m)
1	10000.0	15.27	-9.50	58.87	34.10
2	10351.4	13.10	-9.40	54.77	32.27
3	10702.9	14.50	-9.50	50.67	26.67
4	11054.3	15.50	-9.50	46.57	21.57
5	11405.7	10.50	-9.50	42.47	22.47
6	11757.1	8.95	-2.55	38.38	26.88
7	12108.6	9.43	-.07	34.28	24.78
8	12460.0	30.18	10.18	30.18	10.18

- Program terminated.

IRIRAN>

ANALISE DE TRANSIENTES HIDRAULICOS Envoltorias das Pressoes sem Protecao

160 -



ADUTORA DE PINDORETAMA
Linha com proteção

000073

=====

CALCULO DE TRANSIENTES EM CONDUTOS FORCADOS

=====

NUMERO DE TRECHOS = 3
 No. DE TRECHOS DA LINHA PRINCIPAL = 3
 NUMERO DE SECOES DO ULTIMO TRECHO = 7
 NUMERO DE BOMBAS EM PARALELO = 3
 VAZAO DE PROJETO (m³/s) = .142
 VAZAO DA LINHA SECUNDARIA = .000
 ROTACAO NOMINAL DO MOTOR (r.p.m.) = 1750.0
 TEMPO MAXIMO DE CALCULO (s) = 30.0
 VAZAO POR BOMBA (m³/s) = .047
 ALTURA MANOMETRICA (m) = 104.50
 MOMENTO DE INERCIA (kg.m²) = 2.08
 COTA DO N.A. DA SUCCAO = 12.58
 PERDAS LOCALIZADAS (m.c.a.) = .50

DADOS DAS CURVAS DAS BOMBAS:

Q(m ³ /s)	HM(m)	P(CV)
.000	130.8	29.96
.028	117.6	32.90
.051	100.0	38.31

DADOS DOS TRECHOS

TRECHO	NOS		EXTENSAO	DIAMETRO	CELERIDADE	VAZAO
	MONT	JUS	(m)	(m)	(m/s)	(l/s)
1	1	2	2000.0	.35	1009.6	142.00
2	2	3	8000.0	.35	1009.6	142.00
3	3	4	2460.0	.30	354.8	142.00

DADOS DOS TAUS

TAU	DIAMETRO (m)	DIAMETRO LIGACAO (m)	COTA N.A. MAXIMO	COTA TERRENO
2	3.00	.35	60.47	33.47

ESCOAMENTO NO REGIME PERMANENTE - T = 0.0

TRECHO 1

SECAO	DISTANCIA (m)	VAZAO (m ³ /s)	ALT. DE PRESSAO (m)	PRESSAO (m)
1	.0	.142	115.99	103.41
2	1000.0	.142	110.28	99.56
3	2000.0	.142	104.56	71.09

000076

ESCOAMENTO NO REGIME PERMANENTE - T = 0.0

TRECHO 2

SECAO	DISTANCIA (m)	VAZAO (m ³ /s)	ALT. DE PRESSAO (m)	PRESSAO (m)
1	2000.0	.142	104.56	71.09
2	3000.0	.142	98.85	67.56
3	4000.0	.142	93.14	62.27
4	5000.0	.142	87.43	55.91
5	6000.0	.142	81.71	61.44
6	7000.0	.142	76.00	48.32
7	8000.0	.142	70.29	48.03
8	9000.0	.142	64.58	55.84
9	10000.0	.142	58.87	34.10

000077

ESCOAMENTO NO REGIME PERMANENTE - T = 0.0

TRECHO 3

SECAO	DISTANCIA (m)	VAZAO (m ³ /s)	ALT. DE PRESSAO (m)	PRESSAO (m)
1	10000.0	.142	58.87	34.10
2	10351.4	.142	54.77	32.27
3	10702.9	.142	50.67	26.67
4	11054.3	.142	46.57	21.57
5	11405.7	.142	42.47	22.47
6	11757.1	.142	38.38	26.88
7	12108.6	.142	34.28	24.78
8	12460.0	.142	30.18	10.18

000078

ADUTORA DE PINDORETAMA
Linha sem proteção

000079

=====

CALCULO DE TRANSIENTES EM CONDUTOS FORCADOS

=====

NUMERO DE TRECHOS = 2
 No. DE TRECHOS DA LINHA PRINCIPAL = 2
 NUMERO DE SECOES DO ULTIMO TRECHO = 7
 NUMERO DE BOMBAS EM PARALELO = 3
 VAZAO DE PROJETO (m³/s) = .142
 VAZAO DA LINHA SECUNDARIA = .000
 ROTACAO NOMINAL DO MOTOR (r.p.m.) = 1750.0
 TEMPO MAXIMO DE CALCULO (s) = 30.0
 VAZAO POR BOMBA (m³/s) = .047
 ALTURA MANOMETRICA (m) = 104.50
 MOMENTO DE INERCIA (kg.m²) = 2.08
 COTA DO N.A. DA SUCCAO = 12.58
 PERDAS LOCALIZADAS (m.c.a.) = .50

DADOS DAS CURVAS DAS BOMBAS:

Q(m ³ /s)	HM(m)	P(CV)
.000	130.8	29.96
.028	117.6	32.90
.051	100.0	38.31

DADOS DOS TRECHOS

TRECHO	NOS		EXTENSAO	DIAMETRO	CELERIDADE	VAZAO
	MONTE	JUS	(m)	(m)	(m/s)	(l/s)
1	1	2	10000.0	.35	917.8	142.00
2	2	3	2460.0	.30	354.8	142.00

ESCOAMENTO NO REGIME PERMANENTE - T = 0.0

TRECHO 1

SECAO	DISTANCIA (m)	VAZAO (m ³ /s)	ALT. DE PRESSAO (m)	PRESSAO (m)
1	.0	.142	115.99	103.41
2	909.1	.142	110.80	101.30
3	1818.2	.142	105.60	77.10
4	2727.3	.142	100.41	67.41
5	3636.4	.142	95.22	72.02
6	4545.5	.142	90.02	60.02
7	5454.5	.142	84.83	54.33
8	6363.6	.142	79.64	57.64
9	7272.7	.142	74.44	49.44
10	8181.8	.142	69.25	45.75
11	9090.9	.142	64.06	55.06
12	10000.0	.142	58.87	34.10

000081