

PREFEITURA MUNICIPAL DE MASSAPÉ DO PIAUÍ

ESTUDO DOS TRANSIENTES HIDRÁULICOS

ADUTORA DE MASSAPÉ DO PIAUÍ

CONVÊNIO CODEVASF Nº 7.091.00/2011 (SICONV nº 724766/2009)

DEZEMBRO/2014

O presente relatório consiste no estudo de transientes hidráulicos para o projeto da Adutora de Água Tratada com recalque da ETA para suprimento do Reservatório Elevado na MASSAPÉ DO PIAUÍ. O estudo visa o dimensionamento do sistema de proteção contra golpe de aríete na tubulação DN 150mm do sistema adutor.

APRESENTAÇÃO

O presente relatório consiste no estudo de transientes hidráulicos para o projeto da Adutora de Água Tratada com captação na ETA para suprimento do Reservatório Elevado da cidade de Massapê do Piauí, Estado do Piauí. O estudo visa o dimensionamento do sistema de proteção contra golpe de aríete na tubulação DN 150mm do sistema adutor.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do Sistema Proposto no Projeto Executivo	9
Figura 2 - Imagem de Satélite Sede Administrativa e Mapa Rodoviário de Acesso a MASSAPÊ DO PIAUÍ	20
Figura 3 – Evolução Populacional.....	21
Figura 4 – Esboço Geológico	23
Figura 5 – Esquema Atual do Sistema	24
Figura 6 – Esquema do Sistema Proposto.....	24
Figura 7 – Desenho, Dimensões e Especificações de Tubulação	26
Figura 8 – Válvula de Retenção	44
Figura 9 – Ventosa Tríplice Função	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Estacas de 08 a 491 – Trecho Extensão total da Adutora	36
Gráfico 2 Estacas 08 a 15.....	36
Gráfico 3 ESTACAS 19 à 27	37
Gráfico 4 ESTACAS 31 à 35	37
Gráfico 5 ESTACAS 44 à 49	38
Gráfico 6 ESTACAS 59 à 69	38
Gráfico 7 ESTACAS 89 à 94	38
Gráfico 8 ESTACAS 99 à 109	39
Gráfico 9 ESTACAS 114 à 119	39
Gráfico 10 ESTACAS 124 à 132	39
Gráfico 11 ESTACAS 137 à 144	40
Gráfico 12 ESTACAS 154 à 162	40
Gráfico 13 ESTACAS 172 à 210	40
Gráfico 14 ESTACAS 220 à 230	41
Gráfico 15 ESTACAS 245 à 258	41
Gráfico 16 ESTACAS 273 à 282	41
Gráfico 17 ESTACAS 287 à 307	42
Gráfico 18 ESTACAS 312 à 321	42
Gráfico 19 ESTACAS 336 à 346	42
Gráfico 20 ESTACAS 378 à 396	43
Gráfico 21 ESTACAS 401 à 416	43
Gráfico 22 ESTACAS 446 à 456	43
Gráfico 23 ESTACAS 486 à 491	44

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustrações 1 Carregando Layers	29
Ilustrações 2 Inserindo nós	30
Ilustrações 3 Definição do nó	31
Ilustrações 4 Definição de diâmetro da tubulação de sucção	31
Ilustrações 5 Dados da curva característica	32
Ilustrações 6 Dados do reservatório	33
Ilustrações 7 Dados das junções	33
Ilustrações 8 Simulação sendo processada farol vermelho	34
Ilustrações 9 Simulação processada farol verde	34
Ilustrações 10 Informações de Projeto	35

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

1	DESCRIÇÃO DO SISTEMA	8
2	METODOLOGIA DO ESTUDO	10
3	BASE CONCEITUAL.....	11
3.1	Equipamentos Usuais de Proteção Contra Transientes Hidráulicos	12
3.1.1	Ventosas e Registros de Descarga.....	12
3.1.2	Válvulas de Alívio.....	13
3.1.3	Volantes de Inércia	13
3.1.4	Válvulas Antecipadoras de Onda.....	14
3.1.5	Chaminés de Equilíbrio.....	14
3.1.6	Tanques de Alimentação Unidirecionais (One-Way)	15
3.1.7	Reservatório Hidropneumático ou Reservatório de Ar Comprimido (RAC).....	16
3.2	Equações básicas utilizadas na análise de transitórios hidráulicos.....	17
3.2.1	Cálculo da Celeridade da Onda:	18
3.2.2	Cálculo do Momento de Inércia Total do Sistema:	19
4	LOCAL DE ESTUDO– ADUTORA DA CIDADE DE MASSAPÊ DO PIAUI	20
4.1	Caracterização da Área de Influência Direta	20
4.1.1	Localização e Acesso	20
4.1.2	Aspectos Sócio-Econômicos	21
4.1.3	Aspectos Fisiográficos	21
4.1.4	Geologia	22
4.2	Diagnóstico do Sistema Existente – SAA	23
4.2.1	Manancial	23
4.2.2	Captação.....	23
4.2.3	Tratamento.....	24
4.2.4	Reservação	24
4.2.5	ESQUEMA DO SISTEMA ATUAL E O PROPOSTA EM PROJETO.....	24
4.3	MEMÓRIA DE CÁLCULO - ADUTORA DE ÁGUA TRATADA/RECALQUE (TRECHO – E.T.A a Estaca 491 - Cota 319,850).....	25
4.3.1	Dados.....	25

4.3.2	Diâmetro Nominal de Recalque	25
4.3.3	Dimensionamento Quanto a Pressão	25
4.3.4	Verificação do Golpe de Aríete (No tubo DEFoFo).....	26
4.3.5	Potência do Conjunto Elevatório.....	27
4.4	RESUMO DO PROJETO.....	27
5	ETAPAS DE EXECUÇÃO DO SOFTWARE CTRan	29
5.1	Importando dados da topografia em DXF.....	29
5.2	Inserindo NÓS.....	29
5.3	Simulação Gráfica.....	30
5.3.1	Condições de contorno	30
5.4	Executando a Simulação do CTran	34
6	CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DE CASO E ANÁLISE GRÁFICA	35
7	CONCLUSÃO	45

1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O município de Massapé do Piauí está localizado na Bacia do Canindé. A bacia hidrográfica do rio Canindé é a maior entre todas as bacias dos afluentes do Parnaíba. Apresenta cerca de 79.733 km², o que corresponde a 31,8% da área total do Estado. É caracterizada por apresentar sua rede hidrográfica constituída por um conjunto de tributários inter-relacionados (rios, riachos, córregos etc.), destacando-se os rios Canindé, Piauí, Itaim, Corrente, Emparedado, Gameleira, Salinas, dentre outros, abrangendo 35 municípios. A disposição desses tributários está intimamente ligadas ao regime pluviométrico, aos fatores lito estruturais, ao relevo, as características do solo, dentre outros. O trimestre mais seco está compreendido entre os meses de junho a agosto (Baptista, 1989). Com a construção da Barragem em aterro homogêneo (Barragem Dr. Hildo Diniz), barrando o Rio Boa Esperança na Localidade Caraíbas vislumbrou-se a possibilidade da utilização da Barragem como fonte de captação de água para atendimento à demanda urbana e rural do município, além de propiciar culturas de vazante, pequenas irrigações e implementação de projetos de piscicultura.

Com tais ações, serão beneficiados vários segmentos, e cairemos na retórica que a implantação dos sistemas públicos de abastecimento de água, esgotamento sanitário e destino adequado do lixo trazem uma rápida e sensível melhoria na saúde e condições de vida de uma população, como podemos citar o controle e prevenção de doenças, a promoção de hábitos higiênicos, o desenvolvimento de esportes, a melhoria da limpeza pública, a manutenção de praças e jardins, o combate a incêndios, e o Combate aos vetores.

Tínhamos em mãos alguns dados do potencial hídrico da Barragem Dr. Hildo Diniz, o que se configurou, sem sombras de dúvidas, o manual técnico que sustenta a viabilidade das ações de implantação do projeto ora proposto, e dos recursos a ele disponibilizados, então vejamos:

Algumas Características da Barragem Dr. Hildo Diniz:

a) Localização

- Município: MASSAPÊ DO PIAUÍ
- Rio: Boa Esperança
- Estado: Piauí
- Sub-Bacia: Rio Piauí
- Bacia: Canindé

b) Características Gerais

- Área da Bacia Hidrográfica: 86.076.9466ha
- Área da Bacia Hidráulica: 88,651 ha
- Volume do Reservatório: 3.878.000m³

Esquema do Sistema Proposto

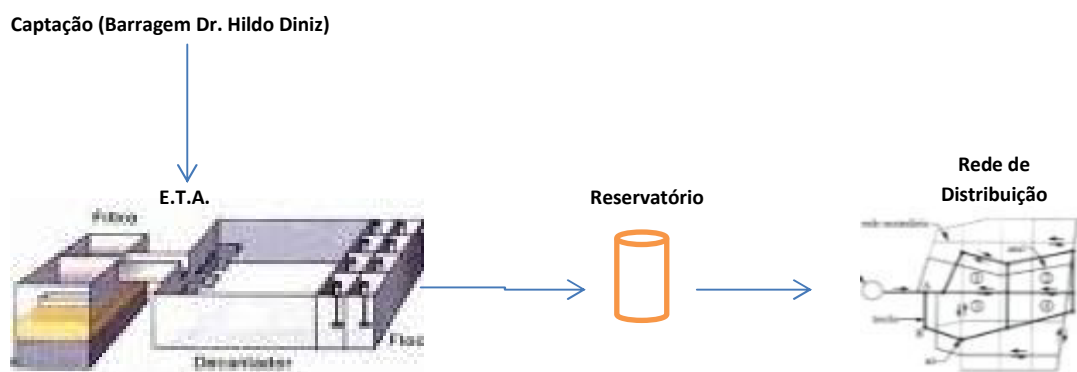


Figura 1 – Esquema do Sistema Proposto no Projeto Executivo

Neste trabalho desenvolveu-se um Estudo da adutora da cidade de Massapê do Piauí (PI), para a análise dos transientes hidráulicos utilizando modelo gráfico em ferramenta computacional para os entendimentos das variações de pressão causadas pelos fenômenos transitórios. Objetivou a simulação do fluido em escoamento permanente e transitório através de modelagem gráfica utilizando o software CTran, desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, numa adutora de água tratada pressurizada. Realizamos análises em trechos relativos à adutora que, por suas características topográficas, possivelmente pudessem sofrer ações de transientes hidráulicos, e a partir daí, com os resultados gerados determinarmos o uso, ou não, de dispositivos para evitar danos ao sistema, causados por fenômenos transitórios.

ADUTORA DE ÁGUA TRATADA/RECALQUE TRECHO 02 – E.T.A a Estaca 492 (Cota 319,850)

a) Dados

• Vazão do projeto (+ 4%).....	5,1114 l/s
• Extensão da adutora.....	9.720,00 m
• NA mínimo da ETA.....	277,904 m
• NA máximo (Cota 319,850).....	319,850 m
• Desnível Geométrico (Hg).....	41,946 m
• Tempo de Funcionamento.....	24,0 h

2 METODOLOGIA DO ESTUDO

Os estudos realizados tiveram a seguinte sequência:

a) 1ª ETAPA - Primeiramente foi analisado o sistema de recalque da ETA em regime permanente para se ajustar os parâmetros relativos ao tipo de bomba, rotação e rotor aplicável a cada caso;

b) 2ª ETAPA - Em seguida, foram simulados os transientes hidráulicos sem as proteções anti-golpe para se avaliar as envoltórias de sobrepressão e subpressão, determinando se haveria formação de vácuo na tubulação e a possibilidade de separação de coluna;

c) 3ª ETAPA – A partir dos dados encontrados na 2ª Etapa é que saberemos a necessidade de fazer nova simulação para possivelmente adotar dispositivos de proteção necessários para eliminar os efeitos adversos dos transientes hidráulicos, primando pela economicidade e eficiência da proteção.

3 BASE CONCEITUAL

De acordo com COUTO (2012 p. 89), os condutos forçados sofrem esforços diversos, como o peso próprio do conduto, peso do fluido que ele conduz, a pressão do fluido, os movimentos de abertura e fechamento de válvulas (transientes), as mudanças de temperatura (conduto na superfície e enterrado), variações de seções, inserções de peças e junções, atrito, esforços transversais, cargas decorrentes de recobrimento do conduto com solo, e por fim, recalques de pontos de apoio.

Porém, todas essas ações não ocorrem regularmente, nem simultaneamente. Devemos considerar que adutoras de condutos forçados, podem ser executadas com a tubulação enterrada ou superficial, acima do solo. Contudo, nosso estudo foi direcionado aos movimentos de manobra de abertura e fechamento de válvulas, de pressões transientes resultantes da interrupção do bombeamento por falha no fornecimento de energia aos motores, e por serem, esses fatores, os mais usuais seguidos também por falha humana na operação do sistema. Veja o que diz AZEVEDO NETTO em seu livro Manual de Hidráulica:

“O caso mais importante de golpe de aríete numa linha de recalque de bombas acionadas por motores elétricos é o que se verifica logo após uma interrupção de fornecimento de energia elétrica.

Nesse caso, devido a inércia das partes rotativas dos conjuntos elevatórios, imediatamente após a falta de corrente, a velocidade das bombas começa a diminuir, reduzindo-se rapidamente a vazão. A coluna líquida continua a subir pela canalização de recalque, até o momento em que a inércia é vencida pela ação da gravidade. Durante esse período, verifica-se uma descompressão no interior da canalização.” (AZEVEDO NETTO, 1998, p.332)

Continua então a descrever as ações sofridas ao longo do conduto e cita a inversão de sentido das bombas, sem um dispositivo que possa parar o retorno do fluido, vejamos:

“Em seguida, ocorre a inversão no sentido de escoamento e a coluna líquida retorna para as bombas. Não existindo válvulas de retenção, as bombas começariam, então, a funcionar como turbinas, girando em sentido contrário.” (AZEVEDO NETTO, 1998, p.332)

Devemos salientar que quando a corrente líquida inverte o fluxo, e a válvula de retenção estiver fechada, dá-se o que chamamos golpe de aríete, que nada mais é que uma onda de sobrepressão ocasionada pelo choque e a compressão do fluido, atingindo, dependendo do caso, um valor correspondente a duas vezes a altura manométrica.

Com relação aos movimentos de manobra, AZEVEDO NETTO, faz a seguinte consideração:

“Se a válvula de retenção funcionar normalmente, fechando-se no momento preciso, o golpe de aríete não atingirá o valor correspondente a duas vezes a altura manométrica. Se, ao contrário, a válvula de retenção não se fechar rapidamente, a coluna líquida retornará, passando através da bomba, e, com o tempo, ganhará velocidades mais altas, elevando-se consideravelmente o golpe de aríete, no momento em que a válvula funcionar (podendo atingir a 300% da carga estática, dependendo do tempo de fechamento).” (AZEVEDO NETTO, 1998, p.333)

Baseados nessas afirmações direcionamos nossos estudos buscando alternativas que pudessem aliviar possíveis pressões internas nos condutos da Adutora de Massapê do Piauí. Para que assim, pudéssemos verificar dentre os diversos dispositivos, cada qual com sua função específica, o que venha a se adequar melhor conforme análise gráfica.

A filosofia por trás do projeto da maioria dos equipamentos de proteção contra golpe de aríete é bastante similar. O objetivo na maioria dos casos é reduzir a subpressão na tubulação, causada pela parada das bombas, assim a correspondente sobrepressão, também seria reduzida ou mesmo eliminada.

O método mais comum de limitar-se a subpressão é alimentando-se a linha de recalque com água tão logo a pressão interna tenda a cair. Isto é conseguido através do emprego de uma série de equipamentos de proteção para os quais se faz, a seguir, uma breve descrição funcional.

3.1 Equipamentos Usuais de Proteção Contra Transientes Hidráulicos

3.1.1 Ventosas e Registros de Descarga

Os equipamentos convencionais de uso obrigatório para proteção de linhas de recalque são as ventosas, que devem ser instaladas nos pontos altos das canalizações, e os registros de descarga nos pontos baixos de curvas verticais, sendo estes últimos considerados mais um equipamento de utilidade operacional para limpeza e deságüe da canalização, do que propriamente um equipamento de segurança.

As ventosas, dependendo do tipo adotado, destinam-se a expulsar o ar durante a fase de enchimento da tubulação, ou mesmo das bolhas de ar que se formam durante operações normais, e de admitir também o ar para evitar as pressões negativas que podem ocorrer durante os transitórios hidráulicos, dependendo da conformação topográfica do terreno.

Do ponto de vista da segurança operacional das instalações de recalque, alguns autores recomendam que as ventosas sejam instaladas como dispositivos de proteção obrigatórios, projetadas conforme a topografia do terreno e das condições de fluxo na canalização, mas que sejam ignoradas para efeito de cálculo na análise dos transitórios hidráulicos.

Dessa forma, levando-se em conta a importância e o porte da linha de adução do presente projeto, não foi levada em conta a atuação de ventosas como equipamento auxiliar de proteção do sistema.

3.1.2 Válvulas de Alívio

As válvulas de alívio são dispositivos de proteção destinados a reduzir os efeitos das sobrepressões indesejáveis nas instalações de recalque, sendo normalmente colocadas imediatamente a jusante dos equipamentos da estação elevatória, de preferência imediatamente a jusante da Válvula de Retenção (VR). Seu funcionamento compreende a abertura da válvula durante os períodos de sobrepressão, liberando a água para manter as sobrepressões dentro de valores tolerados pelas canalizações.

Uma restrição que se faz é que a válvula deve abrir totalmente antes que a onda de pressão negativa retorne à bomba como onda de pressão positiva num segundo momento.

Nos casos em que não se admitem sobrepressões superiores àquelas da carga de pressão do regime permanente (carga operacional), a válvula deve ser dimensionada para descarregar todo o fluxo para uma carga igual à do regime operacional.

Quando é necessária uma precisão acurada contra o golpe de aríete, ou quando o golpe é provavelmente um problema durante desligamento parcial das bombas em importantes sistemas de recalque, recomenda-se a instalação de duas ou mais válvulas de alívio em paralelo, podendo ser as mesmas ajustadas para atuar a diferentes cargas de pressão.

3.1.3 Volantes de Inércia¹

Os volantes de inércia são dispositivos que atuam na proteção contra as depressões, devido à influência do tempo de parada no golpe de aríete. Ao se incorporar um volante ao grupo motobomba, sua inércia retardará a perda de rotações, aumentando o tempo de parada do conjunto e, conseqüentemente, diminuirá a intensidade do golpe. Devido à diminuição da depressão máxima, somente de forma indireta as sobrepressões serão atenuadas com estes dispositivos.

¹ file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/O_golpe_de_ariete.pdf

Assim, com a incorporação adequada de volantes, qualquer instalação poderá resultar em manobra lenta.

Quanto à utilização deste dispositivo de proteção, é importante ressaltar que o acoplamento de volantes a grupos motobomba, apesar da aparente simplicidade, introduz uma questão de ordem eletro-mecânica, pois quanto mais seu peso aumenta, mais potente deverá ser o motor para vencer a inércia do volante na partida e maior será a intensidade de corrente elétrica, elevando os custos de investimento e operação. Portanto, este tipo de proteção fica bastante limitado na prática, podendo, eventualmente, o uso de ventosas, por exemplo, eliminar o vácuo com um custo significativamente inferior.

3.1.4 Válvulas Antecipadoras de Onda

As válvulas antecipadoras de onda (VAO) tem a função de proteger o grupo de bombas contra as paradas repentinas devido à falta de energia. A válvula abre quando a pressão atinge um valor predeterminado pela regulagem de baixa pressão, e descarrega para a atmosfera o excesso de pressão provocado pela onda de alta pressão. A válvula começa a abrir depois da passagem da onda de baixa pressão e se mantém aberta até que a pressão permaneça entre as pressões máximas e mínimas de regulagem, e fecham lentamente para prevenir subseqüentes golpes de aríete. A descarga da válvula deve estar preferencialmente ao nível da bomba, isso evita que se verifique a condição de vazio.

A VAO protege o grupo de bombas, mas não é eficiente para proteção de toda linha de recalque, isto é, as subpressões na adutora não são completamente eliminadas pela instalação de VAO junto às bombas, daí, seu emprego deve ser considerado como um instrumento auxiliar de proteção contra o golpe de aríete, porém não substitui necessariamente outros mecanismos de proteção necessários tais como one-ways, chaminés de equilíbrio ou vasos hidropneumáticos para proteção da extensão de adutora.

3.1.5 Chaminés de Equilíbrio

As chaminés de equilíbrio são reservatórios em contato com a superfície livre atmosférica, que são intercalados ao longo das linhas de recalque, destinados a reduzir a intensidade do golpe de aríete nas canalizações a partir da divisão do comprimento da adutora em dois trechos, cujos comportamentos hidráulicos serão diferenciados no momento da ocorrência do transitório.

No caso de linhas de recalque de estações elevatórias, o trecho de jusante em relação à chaminé de equilíbrio, ou trecho protegido da adutora, sofre um processo de oscilação de massa

durante o transitório hidráulico, enquanto que o trecho de montante, ou trecho desprotegido, sofre um processo normal de golpe de aríete por ação da propagação da onda elástica quando da interrupção do bombeamento.

A principal vantagem da chaminé de equilíbrio, é a de proporcionar uma proteção adequada ao trecho de jusante da linha de recalque quer nas sobrepressões, quer nas subpressões, diminuindo substancialmente os efeitos do golpe de aríete na canalização.

Sua principal desvantagem reside no fato de requerer uma topografia favorável para sua instalação, o que nem sempre é disponível, principalmente em linhas de recalque de estações elevatórias. O uso mais comum de chaminés de equilíbrio se dá na proteção de tubulações de alimentação de turbinas em usinas hidrelétricas.

Uma variante muito útil da chaminé é o stand pipe ou tubo-em-pé que consiste numa tubulação colocando em linha na posição vertical e com altura adequada, ficando seu topo acima da linha piezométrica de regime permanente e da linha envoltória de sobrepressões máximas. O stand pipe desempenha o mesmo papel de uma chaminé de equilíbrio, porém com menor seção transversal e sem clapet na entrada, conectada diretamente com a linha a proteger.

3.1.6 Tanques de Alimentação Unidirecionais (One-Way)

Os tanques de alimentação unidirecionais (TAU) ou One-Way, tal como são comumente denominado na literatura inglesa, tem o objetivo de evitar a formação de subpressões indesejáveis na tubulação. Durante o funcionamento normal do sistema, os TAU's ficam hidraulicamente separados da tubulação de recalque por meio de uma válvula de retenção, enquanto o reservatório é alimentado por uma derivação em menor diâmetro a partir da própria adutora. Quando ocorre uma depressão na canalização motivada pelo golpe de aríete, a válvula de retenção se abre injetando água instantaneamente na adutora, evitando-se assim que a pressão interna diminua perigosamente. O one-way é dimensionado para manter a pressão interna sempre superior à tensão de vapor da água à temperatura do bombeamento.

O tanque é alimentado por um "by-pass" servido de um flutuador ou registro automático de entrada. Normalmente são empregados em pontos elevados da linha de recalque, podendo ser únicos ou distribuídos em sequência ao longo da tubulação.

A vantagem do sistema de one-ways em relação à chaminé de equilíbrio, é a de poderem ser instalados em condições topográficas mais desfavoráveis, não requerendo grandes alturas construtivas. Sua principal desvantagem é o custo de construção da estrutura (reservatório), peças especiais de controle operacional, e, a formação indesejável de lodo no fundo do reservatório

devido à sedimentação dos sólidos em suspensão quando se trata de água bruta, mas que pode ser solucionada pela construção de um sistema de drenagem do lodo. No caso de adutoras de água tratada, minimiza-se essa desvantagem.

3.1.7 Reservatório Hidropneumático ou Reservatório de Ar Comprimido (RAC)

O reservatório hidropneumático (RAC), é de utilização quase que obrigatória quando o transitório hidráulico pode causar subpressões inaceitáveis ao longo das canalizações que não podem ser solucionadas por sistemas de reservatórios do tipo “one-way”, ou chaminés de equilíbrio, em virtude das cotas topográficas disponíveis.

A restrição maior ao seu uso está associada às exigências rigorosas de operação e manutenção do dispositivo, que às vezes pode não ser implementada durante toda a vida útil da instalação, principalmente quando se trata de instalações de pouca importância que não disponham de um serviço contínuo de manutenção e operação permanentes.

A instalação de um reservatório hidropneumático requer a presença permanente de um sistema compressor de ar destinado a manter uma pressão interna adequada de ar dentro do vaso hidropneumático. Esta condição pressupõe também a instalação de um grupo gerador de forma a manter o sistema em condições operacionais permanentes, mesmo quando da interrupção do fornecimento de energia elétrica.

Esta restrição pode inviabilizar economicamente seu emprego, requerendo também a presença constante de profissional habilitado para sua operação e manutenção. Uma falha de operação pode causar acidentes indesejáveis caso não haja outros mecanismos de segurança para proteção do sistema.

Existe no mercado vasos hidropneumáticos constituídos por balões de bexiga, que eliminam a necessidade de instalação de compressores de ar para criação do colchão de amortecimento hidropneumático. A tecnologia é recente, porém, tem apresentado excelentes resultados na proteção de sistema de grande porte.

Na verdade, a proteção mais adequada quase nunca é conseguida com o emprego de um único equipamento numa instalação de recalque de grande importância, mas sim com uma combinação otimizada de equipamentos dimensionada e projetada para cada caso específico.

3.2 Equações básicas utilizadas na análise de transitórios hidráulicos

Os transientes hidráulicos ocorrem sempre que se pára de bombear a água numa instalação de recalque, porém a parada dos conjuntos pode ocorrer de forma controlada atenuando-se o golpe de aríete ou então de forma brusca, que é o pior caso, quando, por exemplo, a energia de alimentação dos conjuntos é bruscamente interrompida por um blackout energético.

Esta condição de parada dos motores, conforme indica TSUTIYA (2005, p.327), constitui-se na condição mais crítica de funcionamento do sistema, quando são provocadas as maiores sobrepressões e subpressões nas linhas de recalque.

Para se projetar os equipamentos de proteção contra o golpe de aríete simulamos computacionalmente o funcionamento das instalações em condições transientes para se avaliar as envoltórias de sobrepressão e subpressão que possam afetar as instalações. Para análise dos transientes hidráulicos nas linhas de recalque do presente estudo foi empregado o programa Ctran.

A formulação matemática da maioria dos programas de análise de transientes hidráulicos normalmente adota o Método das Características, apresentado por CHAUDHRY² e pode ser vista também em SOUSA³ dentre outros autores consagrados.

As equações básicas utilizadas na análise de transitórios hidráulicos podem ser matematicamente expressas pela equação dinâmica do escoamento dada pela Segunda Lei de Newton e pela equação da Continuidade. O sistema dado por essas equações diferenciais pode ser resolvido pelo Método das Características permitindo-se avaliar os valores da vazão **Q** e da carga piezométrica **H** ao longo da tubulação dada pela abscissa **x** e do tempo **t**. As equações são:

Equação do Movimento :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{f}{2DA} Q|Q| = 0 \quad Eq-1$$

onde o primeiro termo do membro esquerdo da equação representa a variação da aceleração do movimento, o segundo representa a variação do gradiente de pressão, e o terceiro, representa os efeitos decorrentes da dissipação de energia.

² Chaudhry, M.H., "Applied Hydraulic Transients", Van Nostrand Reinhold Co. Publ., New York, 1989

³ Souza, P. A; Martins, J. R. S.; Fadiga Jr., F. M., "Métodos Computacionais Aplicados à Engenharia Hidráulica", Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos, EPUSP, São Paulo, 1991.

Equação da Continuidade:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{c^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad Eq - 2$$

onde o primeiro termo do membro esquerdo da equação representa a variação de fluxo de massa, e o segundo termo, a variação de massa. O parâmetro c é a celeridade de propagação das ondas de pressão durante o transitório hidráulico, conhecida comumente como celeridade da onda.

A introdução de aparelhos e equipamentos de proteção na modelagem matemática do transitório é feita por aplicação de condições de contorno específicas para cada caso e tipo de equipamento.

3.2.1 Cálculo da Celeridade da Onda:

A celeridade da onda é função das características da tubulação (elasticidade, deformação, espessura da parede da tubulação, diâmetro, grau de fixação da tubulação, etc) e das características do fluido (compressibilidade, presença de ar, etc.). A seguinte equação geral é normalmente empregada nos programas de cálculo de transientes:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{K\Psi}{E}}} \quad Eq - 3 \quad \text{e} \quad \Psi = \frac{D}{e}(1 - \nu^2) \quad Eq - 4$$

para o caso de tubulação de parede fina ancorada contra movimentação longitudinal. Na maioria dos casos:

K = compressibilidade do fluido, igual a 2,19 GPa para escoamento de água;

ν = coeficiente de Poisson, valendo 0,25 para ferro fundido; 0,40 para PVC, 0,5 a 0,55 para PRFV;

E = Módulo de Elasticidade Circunferencial do material da tubulação, sendo normalmente adotado 170 GPa para ferro fundido, 30 GPa para PVC 1 Mpa DeFoFo;

ρ = massa específica do fluido, valendo 1000 Kg/m³ para água doce; e

D = diâmetro da tubulação em metros;

e = espessura do tubo;

3.2.2 Cálculo do Momento de Inércia Total do Sistema:

O momento de inércia total é a soma dos momentos de todas as partes girantes no conjunto moto-bomba. Este dado que é de suma importância no cálculo dos transientes hidráulicos, costuma ser apresentado de diversas formas pelos fabricantes, tanto das bombas quanto dos motores, gerando certa confusão. Apresenta-se a seguir, um sumário das diversas formas como estes são apresentados normalmente em catálogo de fabricantes:

J = momento de inércia ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);

$GD^2 = 4 \cdot \text{momento de inércia}$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);

$J = GD^2/4$;

G = massa girante (kg);

D = diâmetro de giração = $2 \cdot$ o raio de giração; e

$I = J$ = momento de inércia;

$$I = \sum_i m_i r_i^2 \quad \text{Eq - 6}$$

ou
$$I = MR_G^2$$

I = momento de inércia;

M = massa do corpo; e

R_G = raio de giração, igual à distância ao eixo da rotação em que toda a massa poderia ser concentrada sem variar o momento de inércia.

Os momentos de inércia das bombas e motores devem ser obtidos junto a catálogos de fornecedores em função das características particulares de cada equipamento.

4 LOCAL DE ESTUDO- ADUTORA DA CIDADE DE MASSAPÊ DO PIAUÍ

4.1 Caracterização da Área de Influência Direta

4.1.1 Localização e Acesso

O município está localizado na microrregião do Alto Médio Canindé, compreendendo uma área de 553,51 km², tendo como limites os municípios de Jaicós e Belém do Piauí ao norte, ao sul com Patos do Piauí e Caridade do Piauí, a leste com Belém do Piauí, Caridade do Piauí e Simões e, a oeste com Jaicós e Patos do Piauí. A sede municipal tem as coordenadas geográficas de 07°27'46" de latitude sul e 41°07'32" de longitude oeste de Greenwich e dista cerca de 364 km de Teresina.

A primeira opção de acesso a cidade de MASSAPÊ é pela BR-343, percorrendo 200km até a rotatória próximo da cidade de Água Branca(PI), continuando pela BR-316 113km até a cidade de Picos(PI), onde continua o acesso pela BR-407 em direção a MASSAPÊ DO PIAUÍ, pouco mais de 60km.

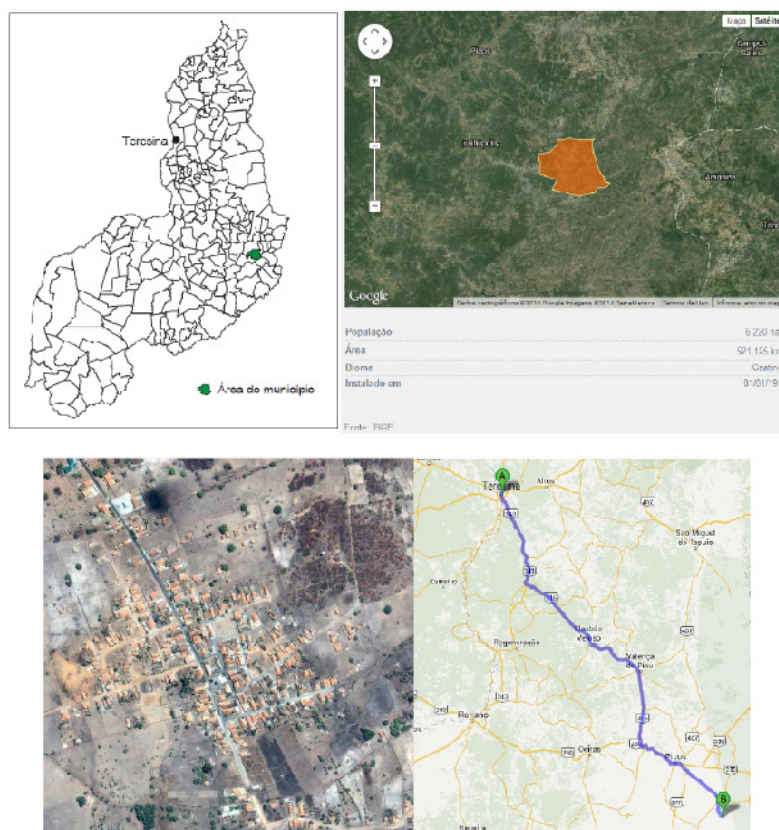


Figura 2 - Imagem de Satélite Sede Administrativa e Mapa Rodoviário de Acesso a MASSAPÊ DO PIAUÍ

4.1.2 Aspectos Sócio-Econômicos

Os dados socioeconômicos relativos ao município foram obtidos a partir de pesquisa nos sites do IBGE (www.ibge.gov.br) e do Governo do Estado do Piauí (www.pi.gov.br).

O município foi criado pela Lei Estadual nº 4.810 de 14/12/1995, sendo desmembrado do município de Jaicós. A população total, segundo o Censo 2000 do IBGE, é de 5.988 habitantes e uma densidade demográfica de 10,81, hab/km², onde 87,12% das pessoas estão na zona rural. Com relação a educação, 47,3% da população acima de 10 anos de idade são alfabetizadas.

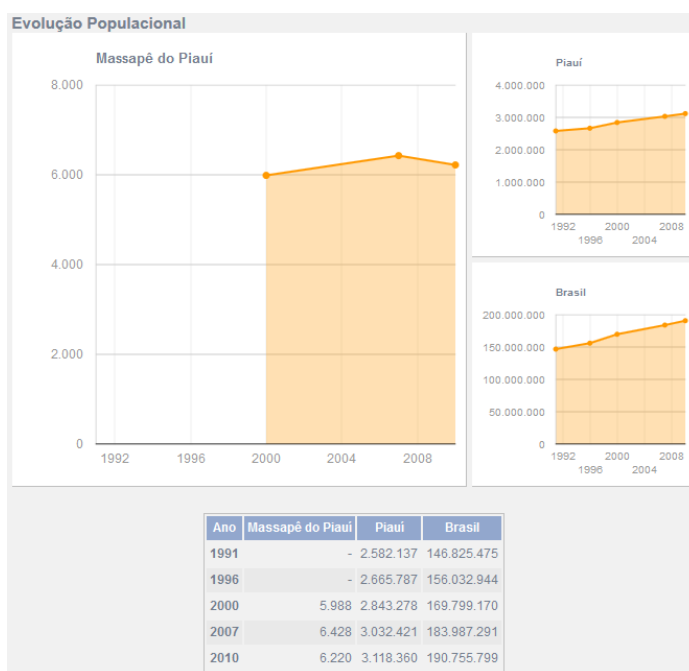


Figura 3 – Evolução Populacional

A sede do município dispõe de energia elétrica distribuída pela Companhia Energética do Piauí S/A - CEPISA, terminais telefônicos atendidos pela TELEMAR Norte Leste S/A, agência de correios e telégrafos, posto de saúde e escolas de ensino fundamental. A agricultura praticada no município é baseada na produção sazonal de feijão, algodão, mandioca e milho.

4.1.3 Aspectos Fisiográficos

As condições climáticas do município de MASSAPÊ DO PIAUÍ (com altitude da sede a 270 m acima do nível do mar) apresentam temperaturas mínimas de 18°C e máximas de 36°C, com clima semiárido, quente e seco. A precipitação pluviométrica média anual é definida no Regime Equatorial

Continental, com isoietas anuais em torno de 500 mm e trimestres janeiro-fevereiro-março e dezembro-janeiro- fevereiro como os mais chuvosos (IBGE, 1977).

Os solos da região, em grande parte provenientes da alteração de arenitos, siltitos, conglomerados, folhelhos, granitos, gnaisses, mármore, quartzitos e xistos, são rasos ou pouco espessos, jovens, às vezes pedregosos, ainda com influência do material subjacente. Dentre os solos regionais predominam latossolos álicos e distróficos de textura média a argilosa, presença de misturas de vegetais, fase caatinga hipoxerófila (grameal) e/ou caatinga/cerrado caducifólio. Secundariamente, solos podzólicos vermelho-amarelos, textura média a argilosa, fase pedregosa e não pedregosa, com misturas e transições vegetais, floresta sub-caducifólia/caatinga, além de areias quartzosas, que compreendem solos arenosos essencialmente quartzosos, profundos, drenados, desprovidos de minerais primários, de baixa fertilidade, com transições vegetais, fase caatinga hiper xerófila e/ou cerrado sub-caducifólio/floresta sub-caducifólia (Jacomine et al., 1986).

Os grandes traços do modelado nordestino atual devem-se a processos morfogenéticos sub atuais, com ênfase para as condições áridas dominantes desde o Neógeno ao Quaternário, em toda sua evolução geomorfológico-biogeográfica. As formas de relevo, na região em apreço, compreendem, principalmente, superfícies tabulares reelaboradas (chapadas baixas), relevo plano com partes suavemente onduladas e altitudes variando de 150 a 300 metros; superfícies tabulares cimeiras (chapadas altas), com relevo plano, altitudes entre 400 a 500 metros, com grandes mesas recortadas e superfícies onduladas com relevo movimentado, encostas e prolongamentos residuais de chapadas, desníveis e encostas mais acentuadas de vales, elevações (serras, morros e colinas), com altitudes de 150 a 500 metros (Jacomine et al., 1986).

4.1.4 Geologia

Conforme ao lado, as coberturas sedimentares e o embasamento cristalino distribuem-se em porções proporcionalmente iguais na área do município, estando o contexto geológico representado por arenitos, siltitos, conglomerados e folhelhos pertencentes ao Grupo Serra Grande e rochas do Embasamento Cristalino agrupadas em duas unidades: os Granitos e o Complexo Jaguaretama, esta última englobando gnaiss, mármore, quartzito e xisto. No restante da área predominam rochas sedimentares pertencentes à unidade denominada Depósitos Colúvio-Eluviais, constituída de areia, argila, cascalho e laterito.

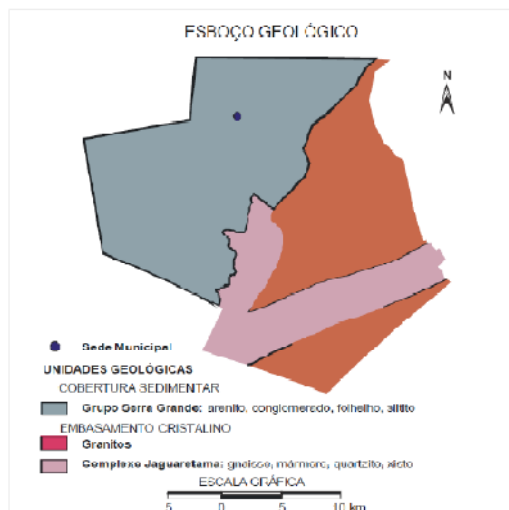


Figura 4 – Esboço Geológico

4.2 Diagnóstico do Sistema Existente – SAA

O sistema de abastecimento de água (SAA) de MASSAPÊ DO PIAUÍ é operado pela AGESPISA, sendo constituído de: captação, adução de água bruta, tratamento, reservação e distribuição. As informações apresentadas neste item foram obtidas através de material cedido pela AGESPISA e de informações coletadas durante a visita de campo.

4.2.1 Manancial

O sistema de abastecimento de água de MASSAPÊ DO PIAUÍ se baseia exclusivamente na exploração de água subterrânea.

4.2.2 Captação

A captação de água bruta é feita através de um poço tubular. A água captada é recalçada para o reservatório elevado. Durante a visita técnica, foi constatado que o sistema de bombeamento do poço encontra-se em bom estado de conservação, porém a qualidade da água captada não atinge os parâmetros mínimos de potabilidade sua vazão tornou-se menor ao longo do tempo, o que demonstra ser um manancial confinado sem reposição do aquífero, este caso recaia sob as observações anteriores que demonstram que as águas coletadas, nessas características, apresentam alto teor de minerais das rochas cristalinas, por esse motivo, a água em questão torna-se imprópria para o consumo humano.

4.2.3 Tratamento

O tratamento dado à água do sistema atual é apenas com dosador de cloro para desinfecção, não havendo qualquer outro tipo de tratamento.

4.2.4 Reservação

O reservatório utilizado no município tem capacidade de 50m³ de concreto armado. Necessitando manutenção para que possa vir a ser utilizado novamente.

4.2.5 ESQUEMA DO SISTEMA ATUAL E O PROPOSTA EM PROJETO

Esquema do Sistema Atual

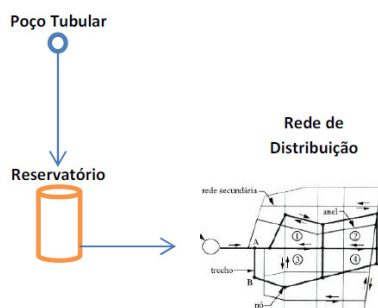


Figura 5 – Esquema Atual do Sistema

Esquema do Sistema Proposto

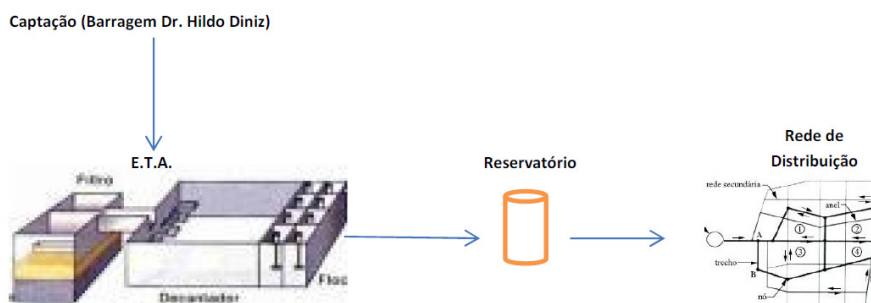


Figura 6 – Esquema do Sistema Proposto

4.3 MEMÓRIA DE CÁLCULO - ADUTORA DE ÁGUA TRATADA/RECALQUE (TRECHO – E.T.A a Estaca 491 - Cota 319,850)

4.3.1 Dados

• Vazão do projeto (+ 4%).....	5,1114 l/s
• Extensão da adutora.....	9.720,00 m
• NA mínimo da ETA.....	277,904 m
• NA máximo (Cota 319,850).....	319,850 m
• Desnível Geométrico (Hg).....	41,946 m
• Tempo de Funcionamento.....	24,0 h

4.3.2 Diâmetro Nominal de Recalque

$D = k * Q^{0,5}$, onde:

D = Diâmetro nominal (mm);

Q = Vazão de projeto (m³/s)

K = 1,2 (coeficiente adotado), então:

$D = 1,2 \times (0,0051114)^{0,5} = 0,0857928 \text{ m} = 85,79 \text{ mm}.$

CONCLUSÃO: Diâmetro nominal comercial adotado se deve pela topografia local e o desnível geométrico \Rightarrow 150 mm.

4.3.3 Dimensionamento Quanto a Pressão

4.3.3.1 Cálculo da altura manométrica total (Hmt)

Hmt = Hg + J, onde:

Hmt = altura manométrica total (m.c.a)

Hg = desnível geométrico (41,946 m)

J = Perda de carga da tubulação - Adotaremos a fórmula de Hazen-Williams para cálculo de (h), válido para diâmetros maiores do que 50mm e temperatura da água de 20°C.

Então:

$$J = \frac{10,643}{(140)^{1,85}} \times \frac{(0,0051114)^{1,85}}{(0,15)^{4,87}} = 0,000662348$$

$$J = 0,000662348$$

Logo, a altura manométrica total (Hmt) será:

$$Hmt = (319,850 - 277,904) + (9.720,00/100 \times 0,000662348) \times 1,05$$

$$Hmt = 44,11 \text{ m.c.a}$$

CONCLUSÃO: Usaremos o tubo PVC DEFoFo 1MPa DN 150mm (espessura = 6,8mm).

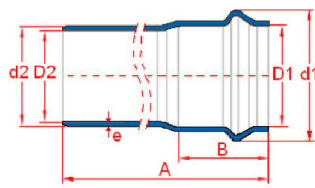
Desenho e Dimensões

Figura 1

Tabela 1

DN	100	150	200	250	300
D ₁	119,30	171,55	223,95	276,30	328,55
D ₂	108,40	156,40	204,20	252,00	299,80
d ₁	151,60	211,50	271,70	333,40	391,70
d ₂	118	170	222	274	326
e	4,8	6,8	8,9	11,0	13,1
A	6000	6000	6000	6000	6000
B	117	135	160	175	195
Peso (g)	15559	31779	51556	82661	116947

Medidas em milímetros

1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Matéria Prima: PVC
- Cor: Azul
- Tubos Ponta – Bolsa com 6 m de comprimento
- Bitolas: DN 100 a 300
- Pressão de Serviço: 1,0 MPa (10 Kgf/cm²) a 25° C, incluindo eventuais sobrepressões dinâmicas previstas e calculadas
- Compatível com Tubos e Conexões de Ferro Fundido para PN 10
- Anel de Vedação JERI (Junta Elástica Removível Integrada) fabricado em borracha EPDM (resistente aos raios UV)
- Normas de Referência:
 - ABNT NBR 7665 / 2007 – Sistemas para adução e distribuição de água - Tubos de PVC 12 DEFoFO com junta elástica – Requisitos
 - ABNT NBR 9822 - Execução de tubulações de PVC rígido para adutoras e redes de água

Figura 7 – Desenho, Dimensões e Especificações de Tubulação**4.3.4 Verificação do Golpe de Aríete (No tubo DEFoFo)****4.3.4.1 Celeridade**

Onde:

a ⇒ celeridade da adutora (m/s)

K ⇒ Coeficiente para tubo PVC = 0,030mm

D ⇒ diâmetro da tubulação = 150 mm

e ⇒ espessura do tubo DEFoFoDn 150 = 6,8mm

a = $9.900 / (48,3 + k * D / e)^{0,5}$, então:a = $9.900 / (48,3 + 30 * 150 / 6,8)^{0,5}$

a = 371,52 m/s

4.3.4.2 Máxima Sobrepressão

Considerando-se a paralisação brusca do bombeamento, tem-se:

h = a x V / g , então:

h = 371,52 * 0,85 / 9,81

h = 32,19m

4.3.4.3 Máxima Pressão

P = Hg + h, então:

P = 44,11 + 32,19

P = 76,30 m.c.a.

CONCLUSÃO: Foram especificados tubos PVC DEFoFo 1MPa DN 150mm, espessura = 6,8mm, conseqüentemente, será utilizado dispositivo anti Golpe de Aríete.

4.3.5 Potência do Conjunto Elevatório

$P = (\gamma \cdot Q \cdot Hmt) / 75 \cdot r$, onde:

P = Potência (CV);

Q = Vazão de exploração (m³/h);

Hmt = Altura manométrica total (m);

γ = Peso específico da água = 1.000kgf/m³;

r = Rendimento do conjunto = 75%,

Então:

$P = (1000 \times 0,0051114 \times 76,30) / 75 \times 0,75$

P = 3,90CV .

Considerando-se um acréscimo de 30%, temos:

P = 5,07 CV

P = 7,5 CV (motor comercial)

4.4 RESUMO DO PROJETO

Informações do Projeto:

PROJETO		
Projeto Técnico Executivo de Fortalecimento da Infra-Estrutura Hídrica da cidade de MASSAPÊ DO PIAUÍ-PI		
RESPONSÁVEL TÉCNICO (PROJETO E PLANILHAS ORÇAMENTÁRIAS)		PROGRAMA
Engº Civil Galvane Portela de Deus –CREA Nº 1905268270		Sistema de Abastecimento de Água.
MUNICÍPIO	LOCALIDADE	DATA DA ELABORAÇÃO DO PROJETO
MASSAPÊ DO PIAUÍ – PI	Sede Municipal	JUNHO/2013

Dados da População:

Método de Estimativa Populacional	Alcance do Projeto	Ano de Início do Projeto	População Inicial de Projeto (hab)	Ano Final de Projeto	População Final de Projeto (hab)
Método Geométrico $P_n = P_i \times (1 + q)^{t_n - t_i}$	20 anos	2013	1.486	2033	3.217
OBSERVAÇÕES: Taxa de Crescimento Populacional 3,91% P_n = População final (ano n) P_i = População inicial (ano i) q = Taxa de crescimento geométrico t_n = Tempo de final de projeto (ano n) t_i = Tempo de início de projeto (ano i)					

População:

Etapas	Ano	População Total (hab)	População Atendida (hab)	% Atendimento
Implantação	2013	1.486	1.486	100
Fim de Plano	2033	3.217	3.217	100

Vazões de Projeto:

Ano	VAZÃO (l/s)			VAZÃO (m ³ /h)		
	Média	Máx. Diária	Máx. Horária	Média	Máx. Diária	Máx. Horária
2013	2,36	2,832	4,248	8,496	10,195	15,293
2033	5,11	6,132	9,198	18,396	22,075	33,113

Captação:

Tipo	Vazão de Projeto + 4% (l/s)	Vazão (m ³ /h)	Manancial
Flutuante	5,1114	18,396	Barragem Dr. Hildo Diniz

Estação Elevatória

Elevatória	Tipo	Quant. Bombas		Q (l/s)		Hman (m)		Potência (CV)	
		Ativas	Reserva	1ª Etapa	2ª Etapa	1ª Etapa	2ª Etapa	1ª Etapa	2ª Etapa
Captação	Flutuante	1	1	5,1114	-	9,4	-	2	-
ETA	Eixo horizontal	1	1	5,1114	-	41,95	-	7,5	-

Adutora

Elevatória	Localização		Q de Projeto (l/s)	Material	Ø (mm)	Extensão (m)
	Montante	Jusante				
Captação	Flutuante	ETA	5,1114	PVC DEfofo	100mm	160,00
ETA	ETA	Reservatório	5,1114	PVC DEfofo	150mm	9,720,00

Tratamento de Água – ETA 30 l/s

Tipo	Unidades	Dimensões	Observação
Floculador	01	Comprimento: 15,00m Largura: 4,80m Altura Útil: 0,45m	
Decantador	01	Comprimento: 15,00m Largura: 5,50m Altura Útil: 2,28m	
Filtros	03	Diâmetro: 150mm Altura Total: 1,80m	

PRODUTOS QUIMICO/ DOSAGEM PARA VAZÃO DA ETA30 l/s

Produto Químico	Hora	Dia	Mês	Ano
Sulfato de Alumínio (Al ₂ (SO ₄) ₃) a 10%	16,2 L	388,8 L	11.664 L	139.968 L
Cal Hidratado (Ca (OH) ₂) a 10%	2,16 L	51,84 L	1.555 L	18.660 L
Hipoclorito de Cálcio (Ca(ClO) ₂) a 10%	10,8 L	259,2 L	7.776 L	93.312 L
Fluossilicato de Sódio (NaSiF ₆)	13,68 L	328,32 L	9.849,6 L	118.195,2 L

Reservatórios

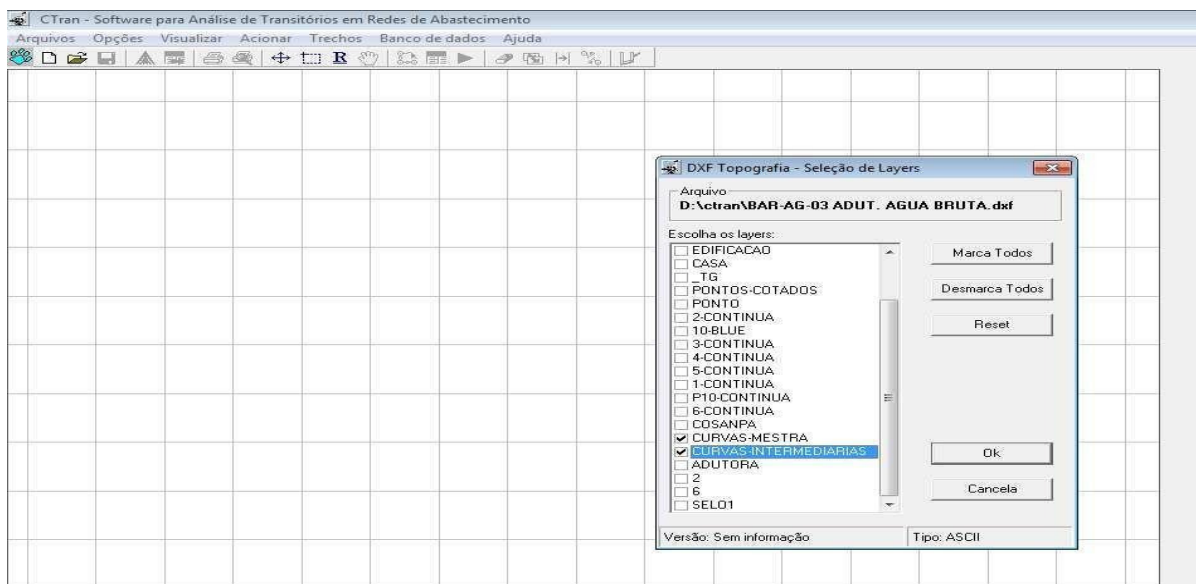
Reservatório	Local	Tipo	Volume (m³)	Fuste (m)	Situação
RESERV 01	Sede Administrativa	Elevado	50,00	9,60	Existente
RESERV 02	Sede Administrativa	Elevado	100,00	9,00	Projetado
RESERV 03	Juazeiro/Caraíba	Fibra de Vidro	20,00	10,00	Projetado
RESERV 04	Tabuleiro das Melancias	Fibra de Vidro	15,00	10,00	Projetado
RESERV 05	Juazeiro do Quitó	Fibra de Vidro	10,00	10,00	Projetado

Os dados do projeto embasaram as informações lançadas no CTran, onde foi possível gerar os gráficos necessários para a análise dos fenômenos transientes.

5 ETAPAS DE EXECUÇÃO DO SOFTWARE CTRan

5.1 Importando dados da topografia em DXF

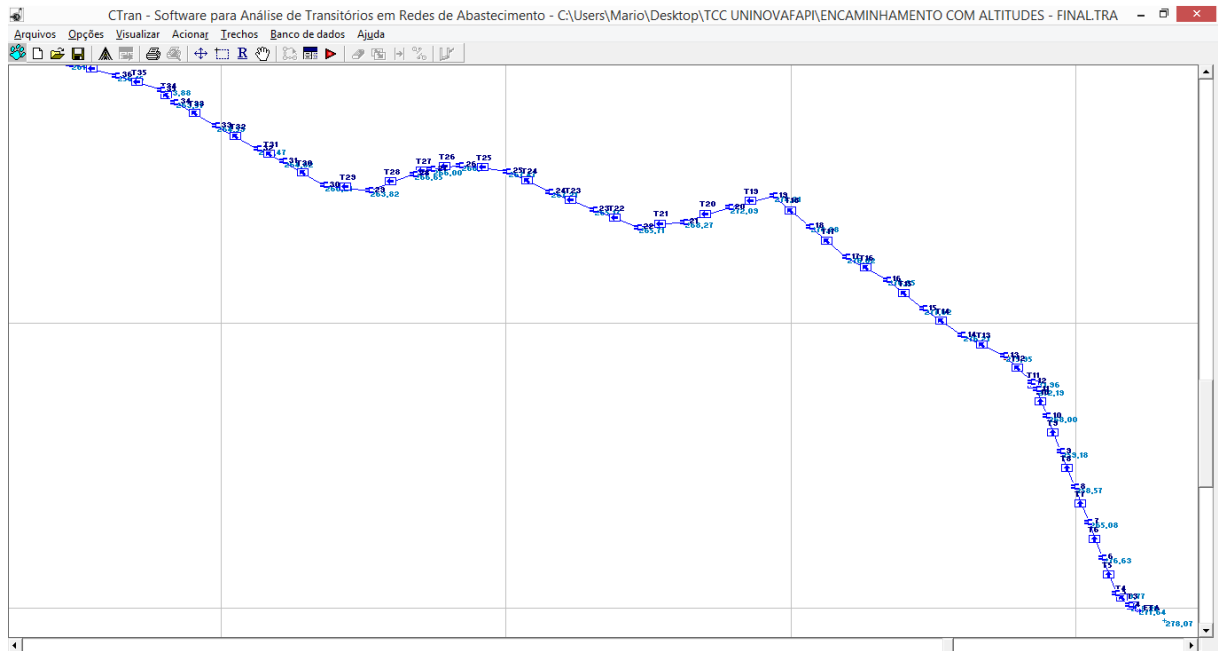
Os primeiros passos para inserção da topografia no software CTRan é transformar os arquivos necessários da extensão DWG para DXF, e a partir daí abrir o arquivo e marcar os layers necessários para o trabalho já na plataforma CTRan.



Ilustrações 1 Carregando Layers

5.2 Inserindo NÓS

Assim para que possamos dar continuidade, determinamos os nós, que são pontos conhecidos, com altimetria, e ao ligá-los serão automaticamente criados trechos. Para a simulação dos fenômenos transientes são determinados o tipo de tubulação, e no primeiro nenhum dispositivo que venham a atuar nas primeiras análises gráficas.



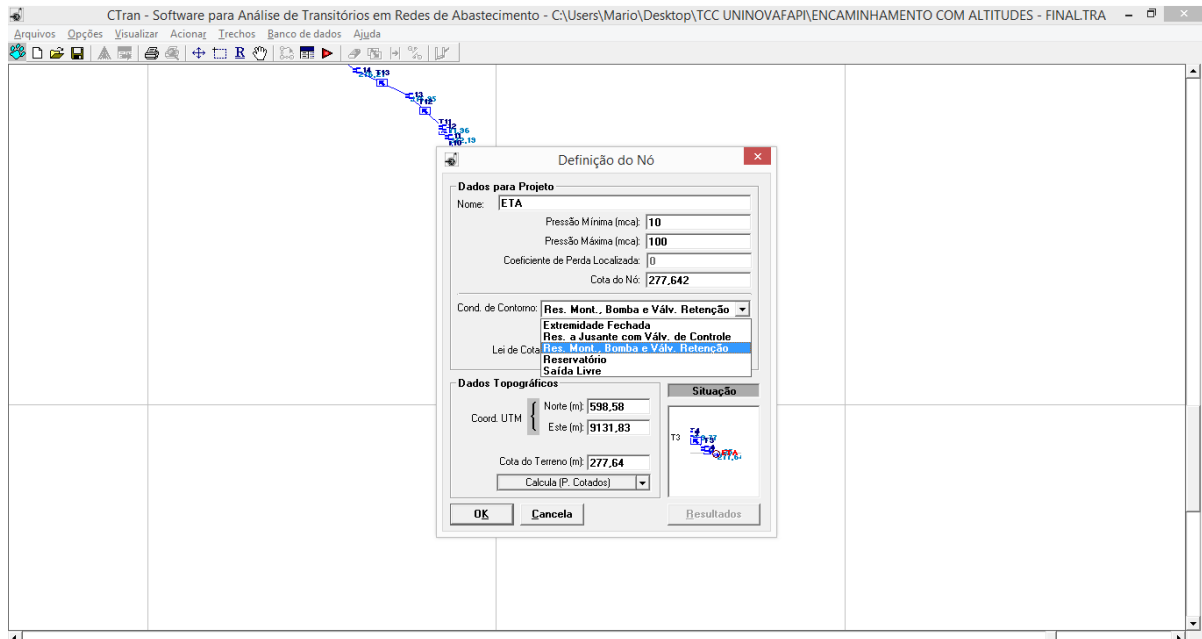
Ilustrações 2 Inserindo nós

5.3 Simulação Gráfica

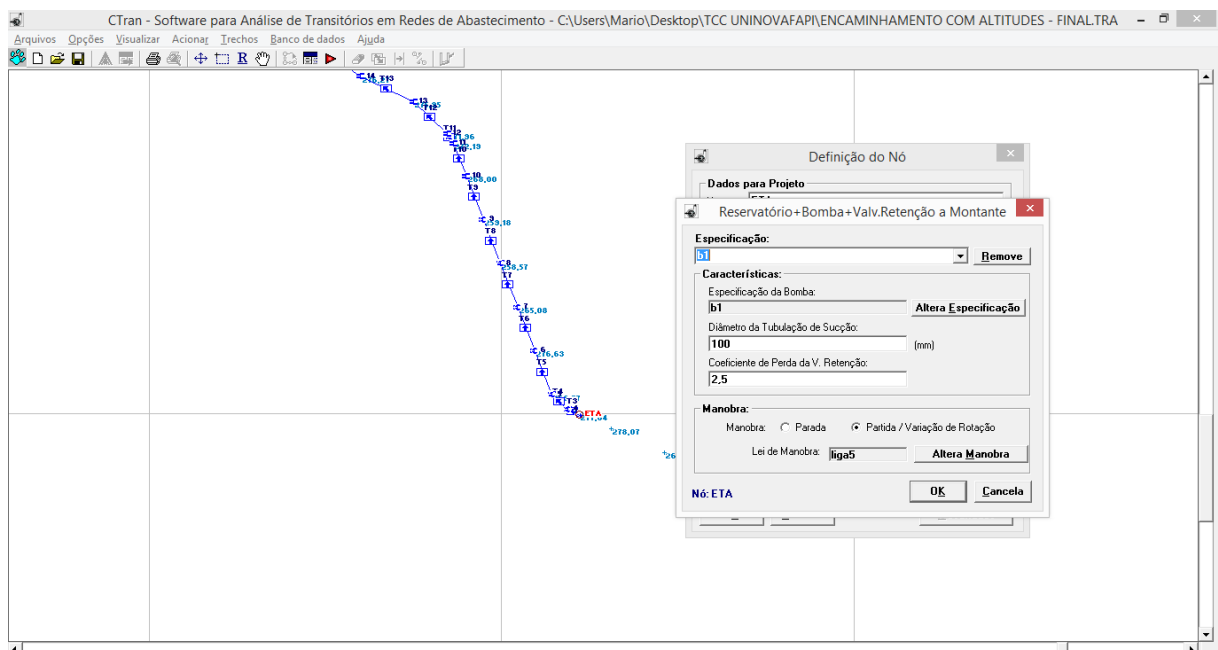
Dando continuidade o sistema faz a leitura dos nós, e solicita condições de contorno, comumente se faz nos cálculos matemáticos, determinando as especificações e leis referentes a cada informação inserida, para que possa processar os cálculos necessários.

5.3.1 Condições de contorno

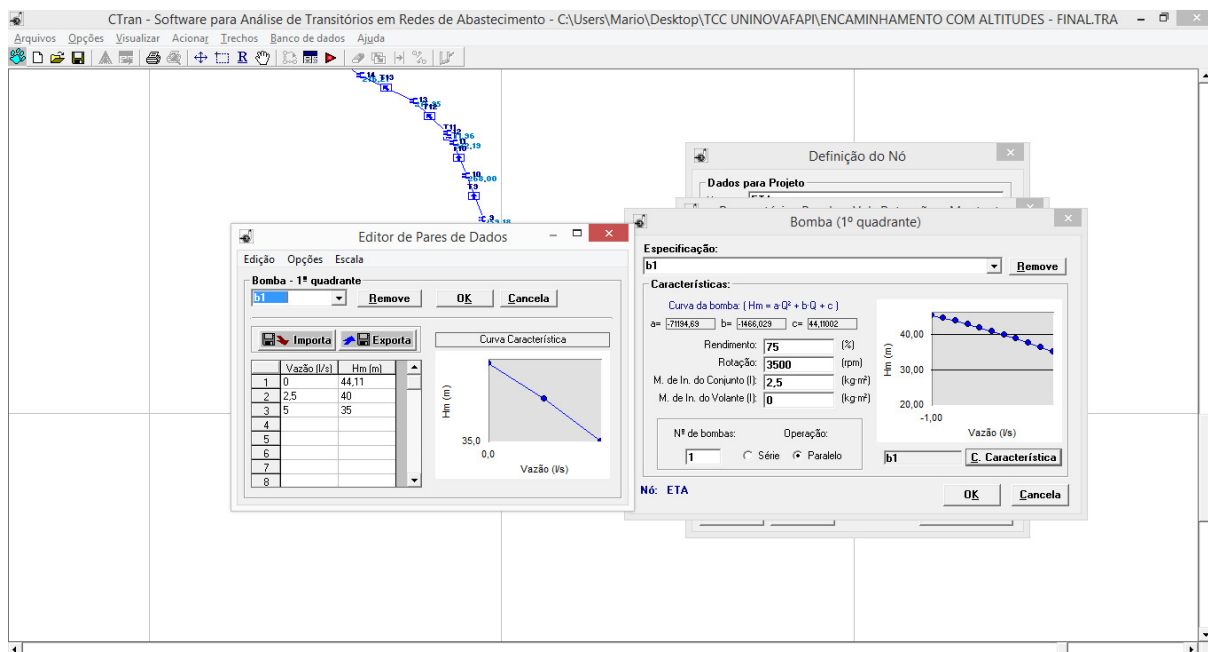
Logo no primeiro nó, que refere-se à bomba, determinamos a condição de contorno, **reservatório a montante, bomba e válvula de retenção**, inserindo as cotas do nó e do terreno, se os mesmo não possuírem, ou já vierem importados do arquivo em CAD. Neste momento, com os dados do projeto da cidade de Massapê do Piauí, inserimos o valor do **diâmetro da tubulação de sucção** a ser usada pela bomba de recalque. Em seguida são inseridas as informações relativas a **curva característica da bomba**, salvando e fechando a seção.



Ilustrações 3 Definição do nó



Ilustrações 4 Definição de diâmetro da tubulação de sucção

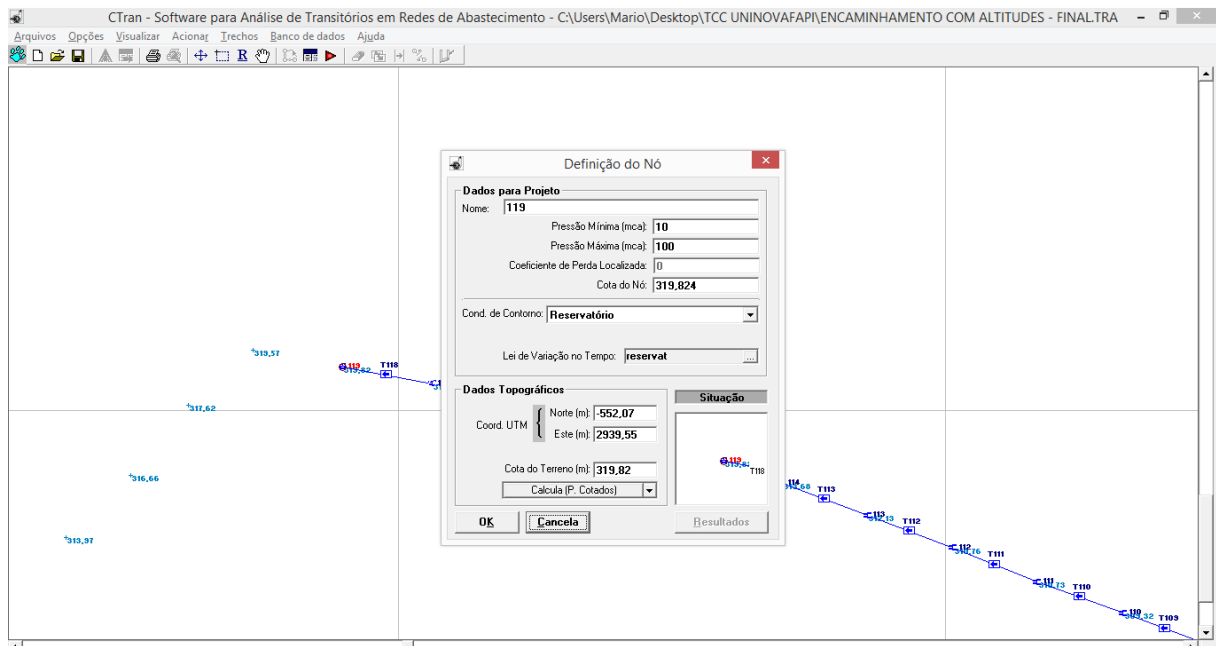


Ilustrações 5 Dados da curva característica

Assim que todas as informações iniciais forem cadastradas e devidamente inseridas, será feita a análise dos nós, relativamente, às linhas como válvulas, registros e o reservatório. As especificações de válvulas e registros possuem configurações semelhantes, sendo que a válvula de retenção não tem condições de lei para abertura de tempo, pois é um dispositivo de combate aos transientes.

Para o nosso estudo, inicialmente, não foram inseridos nenhum dispositivo de proteção, para que tivéssemos um gráfico de envoltória do trecho completo da adutora e pudéssemos evidenciar a presença dos transientes hidráulicos. Facilitando a identificação dos trechos críticos, e pudéssemos escolher o dispositivo mais adequado para extinguir os efeitos dos transientes.

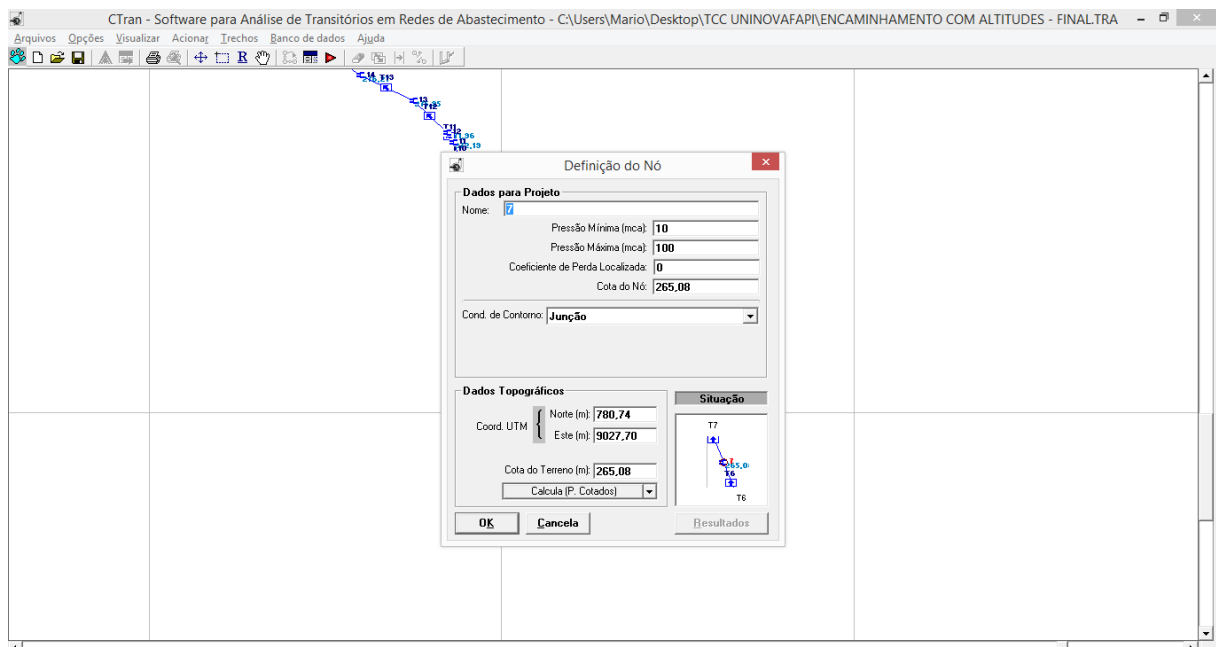
No último nó foram inseridos os dados relativos ao reservatório, seguindo o mesmo raciocínio, diferenciando apenas as determinações de cota e variações de tempo, para facilitar a simulação do trecho completo realizada pelo software.



Ilustrações 6 Dados do reservatório

Para finalizarmos a inserção de dados, determinamos os nós referente à tubulação (são as conexões entre os tubos), e os trechos, que são as tubulações propriamente ditas.

Como já falamos, no primeiro momento, escolhemos apenas a condição de junção para que pudéssemos ver como se comportava as curvas das envoltórias.

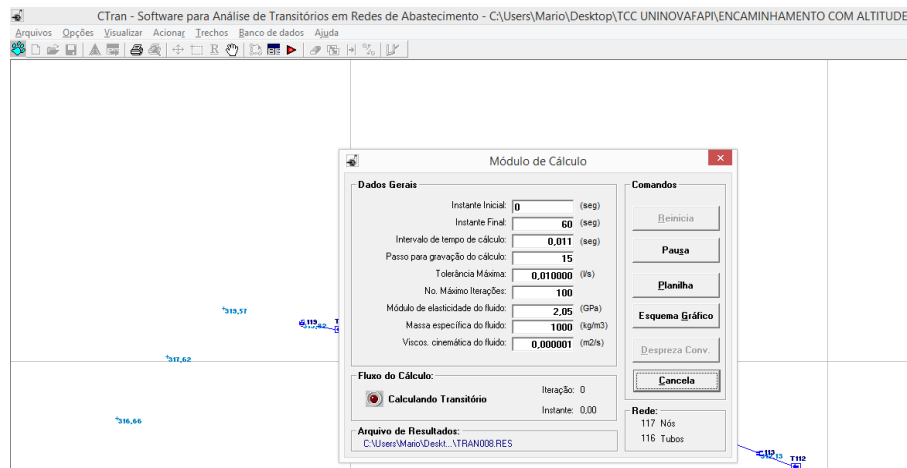


Ilustrações 7 Dados das junções

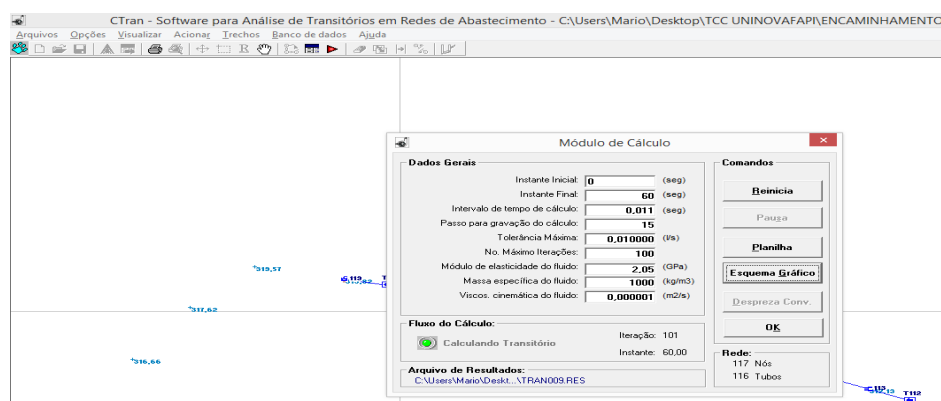
5.4 Executando a Simulação do CTran

Os dados inseridos são mantidos pelo programa, oportunizando fazer mais de uma simulação, sendo necessária a determinação do instante final, indicando assim, o instante de encerramento da simulação, importantes para determinar o intervalo de tempo dos cálculos. Lembrando que o software CTran se utiliza do Método das Características para esse modelo computacional. O programa rejeita um valor incoerente sugerindo um valor para inserção do intervalo de tempo. Podemos determinar também o número de iterações na medida do tempo.

Nesta mesma janela, visualizamos o Fluxo de Cálculo, que durante as iterações apresentaram a cor vermelha durante o processamento dos dados pelo software, e após a conclusão e gravação do arquivo, passou a ter a cor verde. Com isso, foi possível visualizar, tabelas, gráficos, e outras informações para uma boa análise dos fenômenos ocorridos na simulação do CTran.



Ilustrações 8 Simulação sendo processada farol vermelho



Ilustrações 9 Simulação processada farol verde

6 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DE CASO E ANÁLISE GRÁFICA

Para o nosso estudo, determinamos que a simulação tivesse um tempo de 60s, considerando a adutora de água tratada com tubo PVC DEfofo de 150mm 1Mpa e esp.=6,8mm, conforme ilustração abaixo e dados de projeto. Com posse dos resultados, e através de análise gráfica das envoltórias de pressão máximas e mínimas, foi possível identificação se havia a presença de transientes hidráulicos.

Desenho e Dimensões

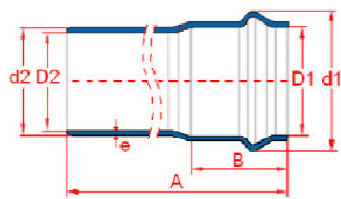


Figura 1

Tabela 1

DN	100	150	200	250	300
D ₁	119,30	171,55	223,95	276,30	328,55
D ₂	108,40	156,40	204,20	252,00	299,80
d ₁	151,60	211,50	271,70	333,40	391,70
d ₂	118	170	222	274	326
e	4,8	6,8	8,9	11,0	13,1
A	6000	6000	6000	6000	6000
B	117	135	160	175	195
Peso (g)	15559	31779	51556	82661	116947

Medidas em milímetros

1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

- Matéria Prima: PVC
- Cor: Azul
- Tubos Ponta – Bolsa com 6 m de comprimento
- Bitolas: DN 100 a 300
- Pressão de Serviço: 1,0 MPa (10 Kgf/cm²) a 25° C, incluindo eventuais sobrepressões dinâmicas previstas e calculadas
- Compatível com Tubos e Conexões de Ferro Fundido para PN 10

- Anel de Vedação JERI (Junta Elástica Removível Integrada) fabricado em borracha EPDM (resistente aos raios UV)
- Normas de Referência:
 - ABNT NBR 7665 / 2007 – Sistemas para adução e distribuição de água - Tubos de PVC 12 DEFOFO com junta elástica – Requisitos
 - ABNT NBR 9822 – Execução de tubulações de PVC rígido para adutoras e redes de água

Adutora

Elevatória	Localização		Q de Projeto (l/s)	Material	Ø (mm)	Extensão (m)
	Montante	Jusante				
Captação	Flutuante	ETA	5,1114	PVC DEfofo	100mm	160,00
ETA	ETA	Reservatório	5,1114	PVC DEfofo	150mm	9,720,00

Ilustrações 10 Informações de Projeto

Os resultados das simulações realizadas no CTran, objetivou a verificação do comportamento interno das pressões no conduto, em modelo computacional para o cálculo do fenômenos transientes, considerando para isso, movimentos de manobra de abertura e fechamento, ou mesmo, interrupção do bombeamento, para um trecho da adutora sem proteção prévia.

Conforme programação de estudo o primeiro gráfico de envoltória a ser analisado é o do trecho total da adutora, as observações serão feitas considerando as envoltórias de pressão máxima e mínima e relação à cota do terreno natural. Vejamos o gráfico a seguir:

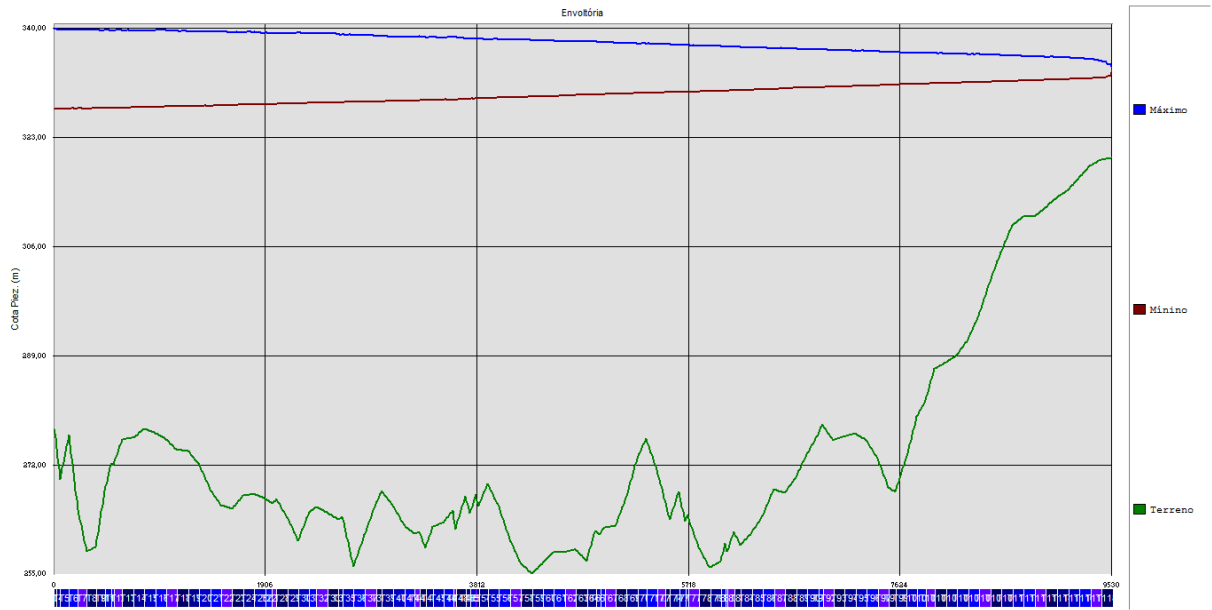


Gráfico 1 - Estacas de 08 a 491 – Trecho Extensão total da Adutora

Verificamos com o Gráfico 1 que as envoltórias de pressões máxima e mínimas apresentam-se acima do nível do terreno natural, indicando a ausência de transientes hidráulicos.

Para que possamos, definitivamente, indicar a ausência dos transientes serão feitas análises de alguns trechos da adutora onde apresentam características topográficas desfavoráveis ao sistema adutor.

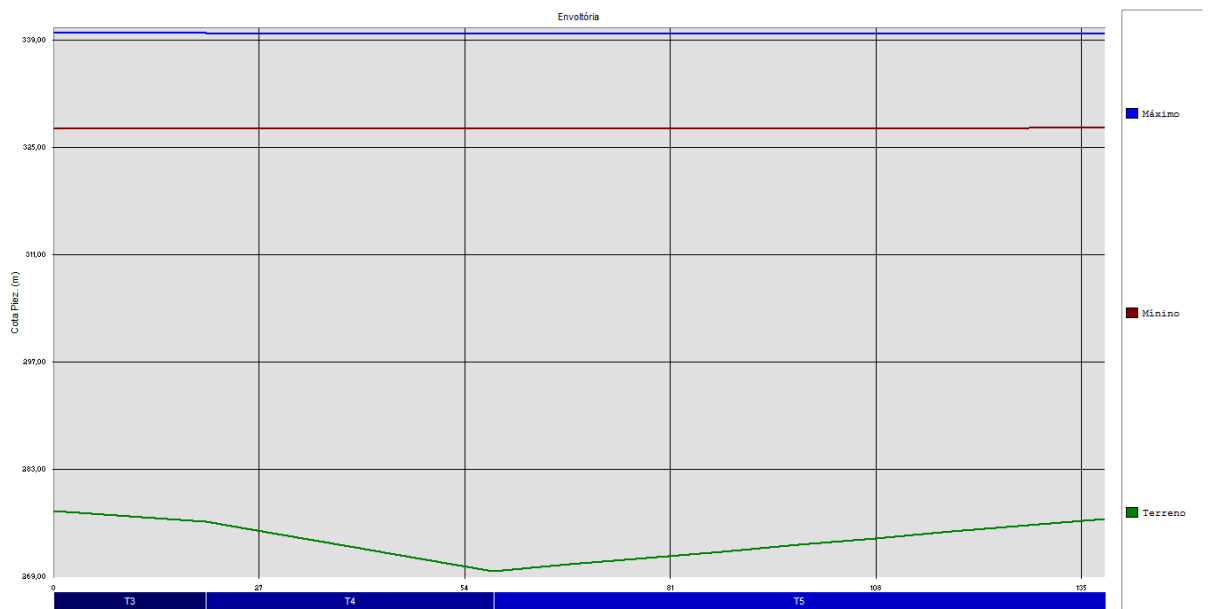


Gráfico 2 Estacas 08 a 15

O Gráfico 2 apresenta as mesmas características do Gráfico 1, as envoltórias de pressões máxima e mínimas apresentam-se acima do nível do terreno natural, indicando a ausência de transientes hidráulicos.

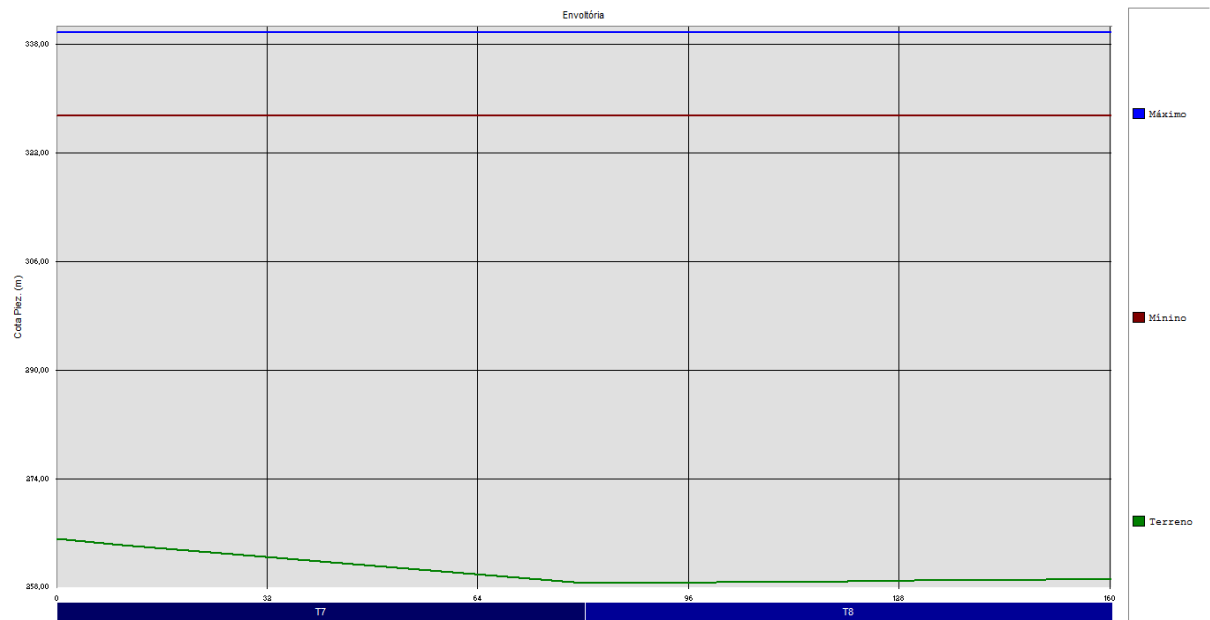


Gráfico 3 ESTACAS 19 à 27

O Gráfico 3 apresenta as mesmas características dos Gráfico 1 e 2, as envoltórias de pressões máxima e mínimas apresentam-se acima do nível do terreno natural, indicando a ausência de transientes hidráulicos.

Os demais gráficos apresentaram as envoltórias de pressão máxima e mínima acima do nível do terreno natural, caracterizando a ausência de transientes hidráulicos em toda a extensão da adutora, mesmo em trechos com topografia desfavorável.

GRÁFICOS:

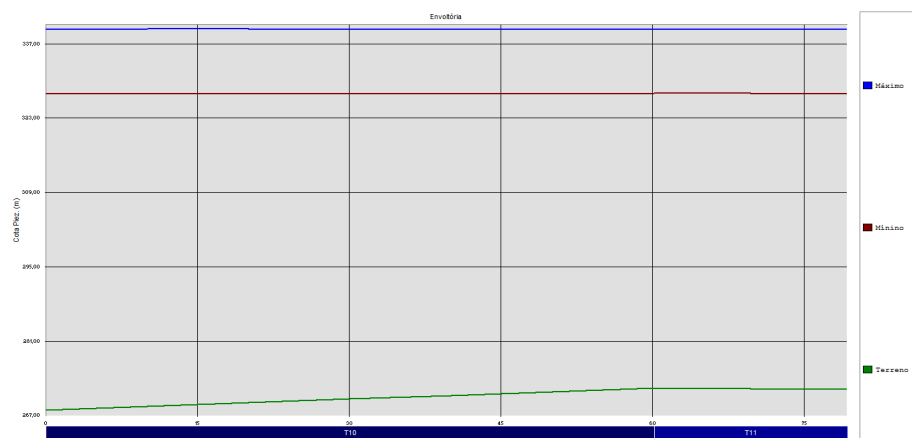


Gráfico 4 ESTACAS 31 à 35

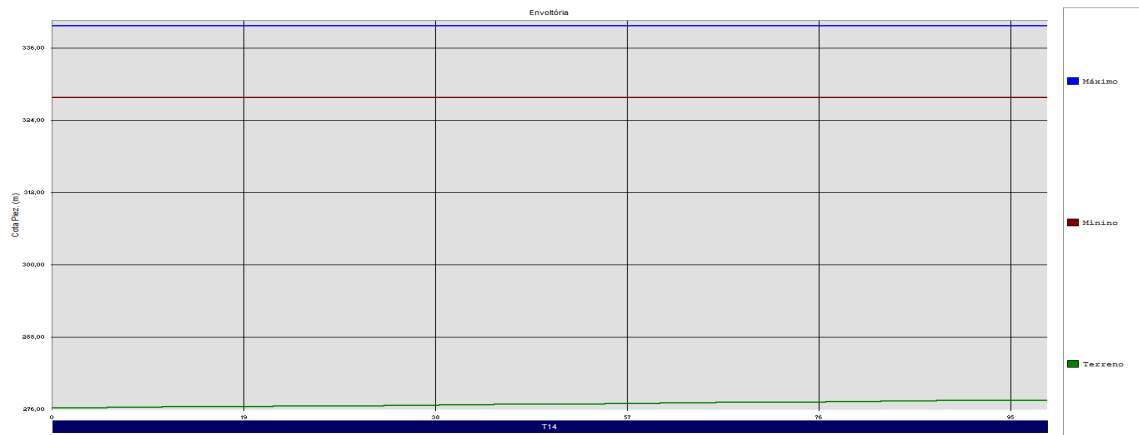


Gráfico 5 ESTACAS 44 à 49

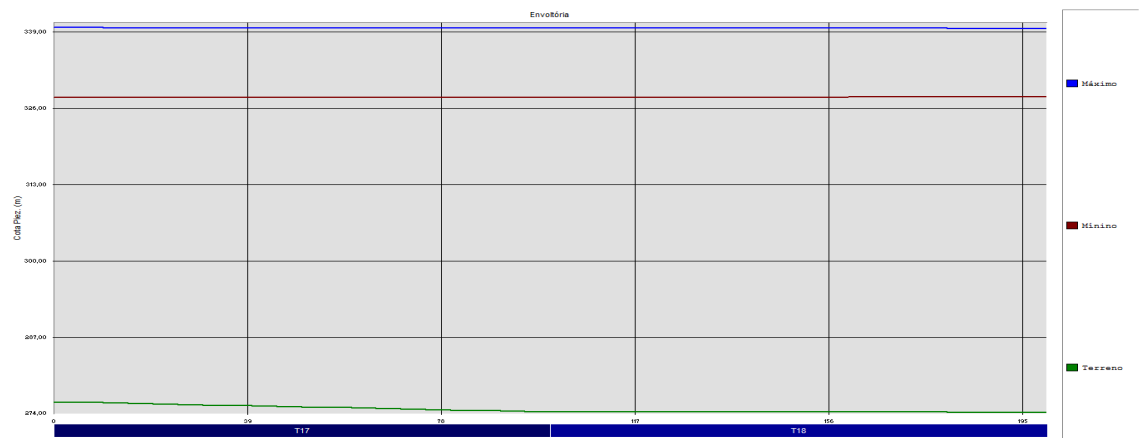


Gráfico 6 ESTACAS 59 à 69

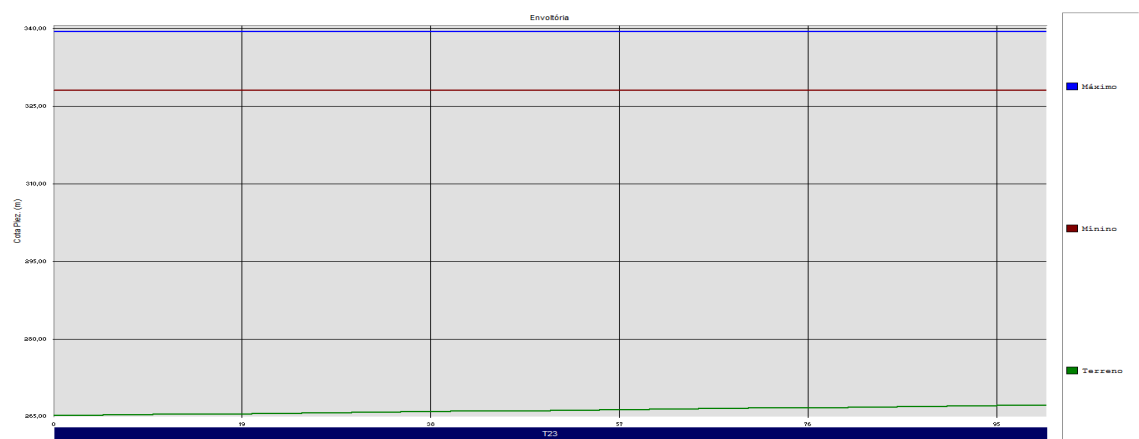


Gráfico 7 ESTACAS 89 à 94

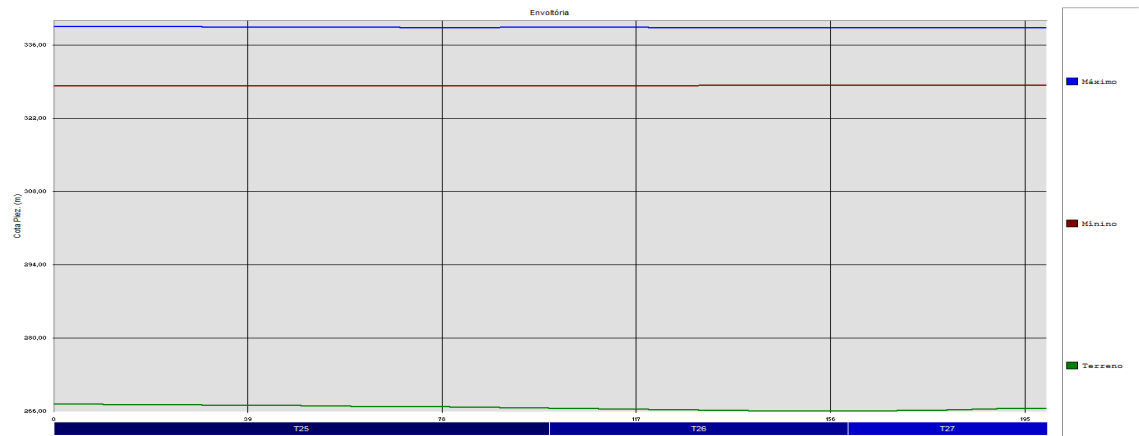


Gráfico 8 ESTACAS 99 à 109

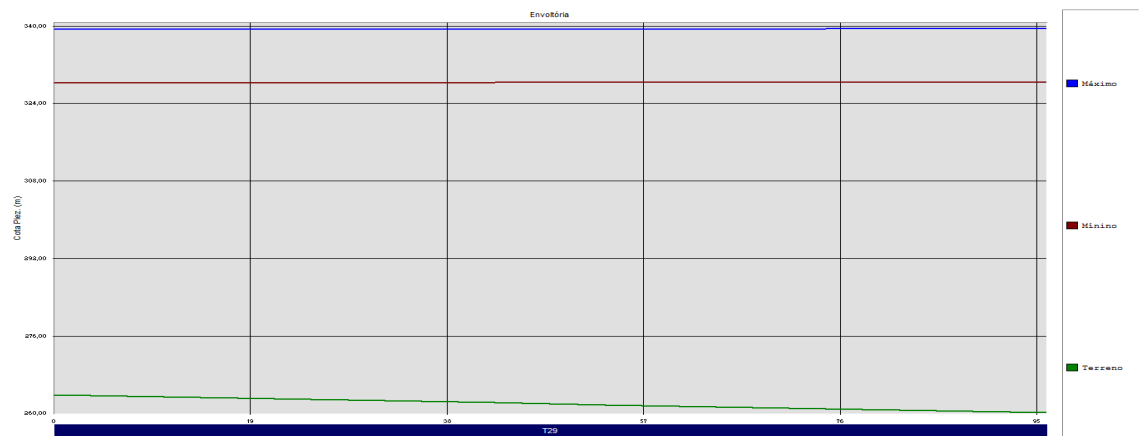


Gráfico 9 ESTACAS 114 à 119

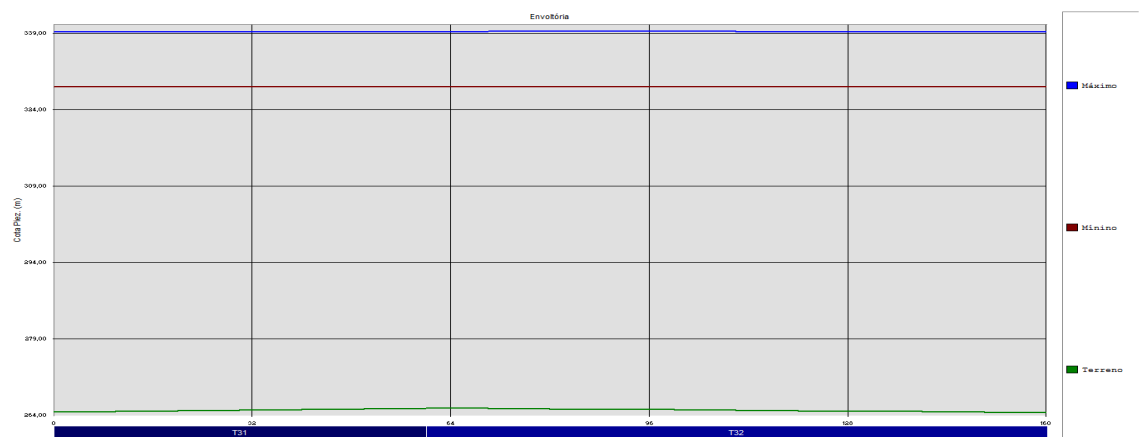
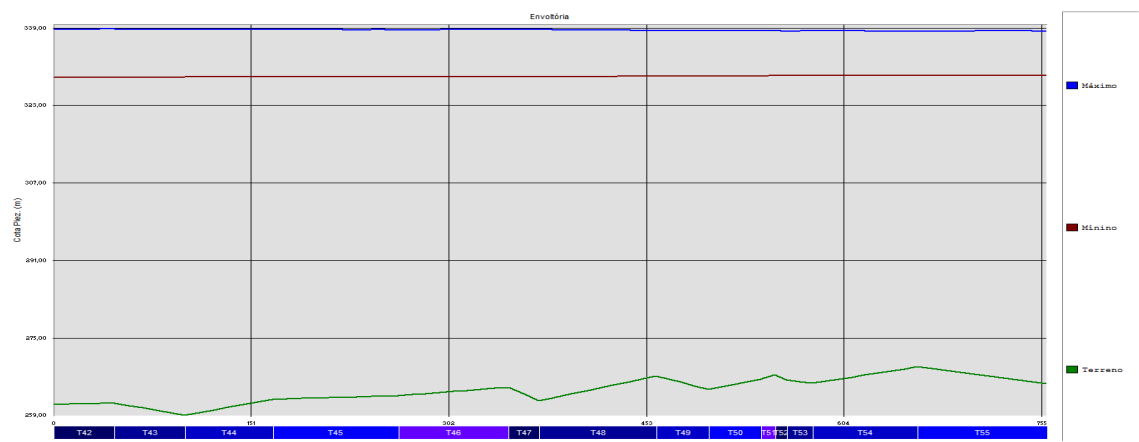
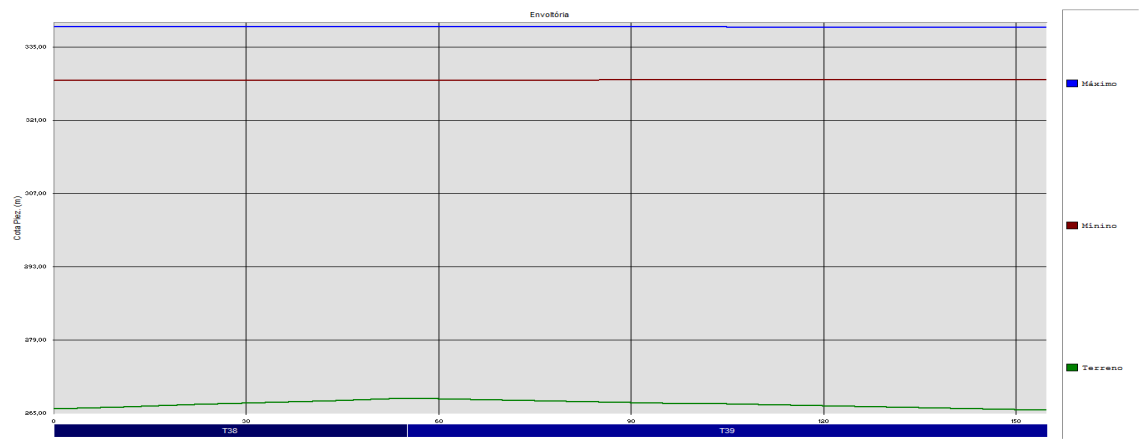
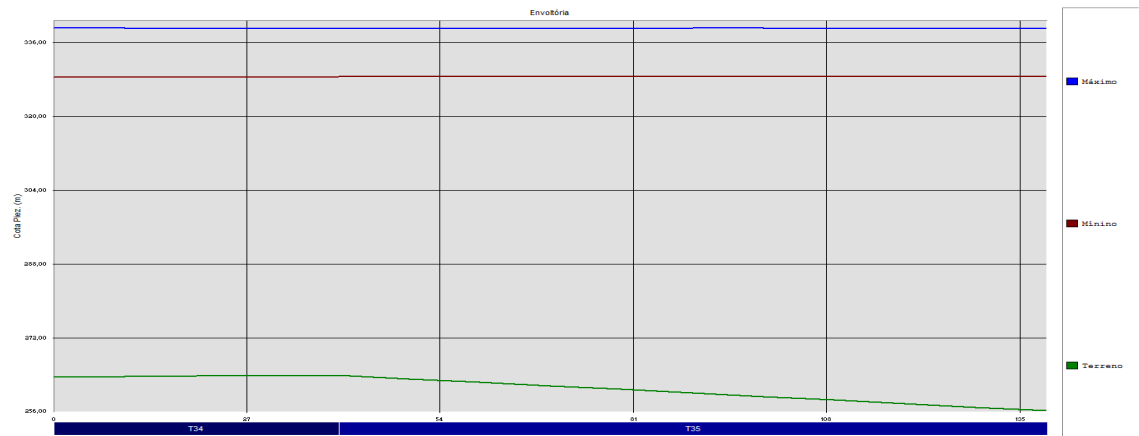


Gráfico 10 ESTACAS 124 à 132



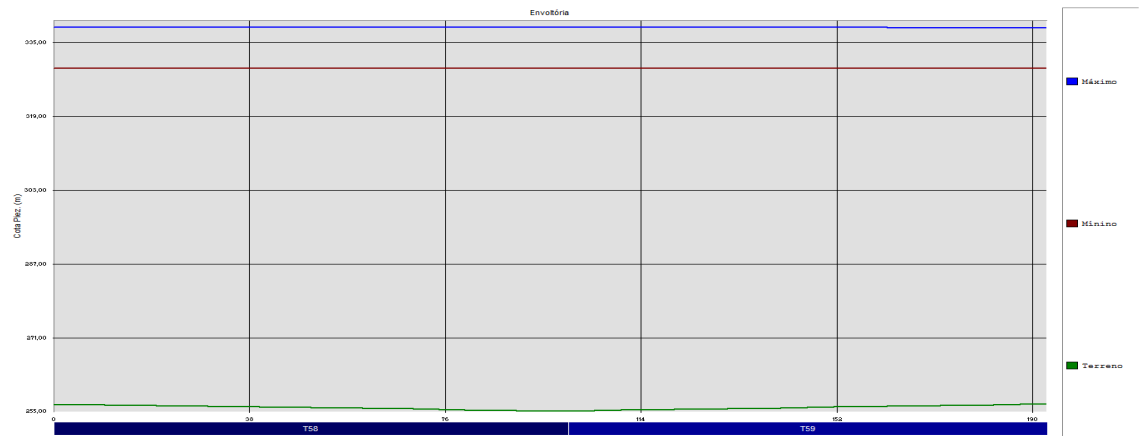


Gráfico 14 ESTACAS 220 à 230

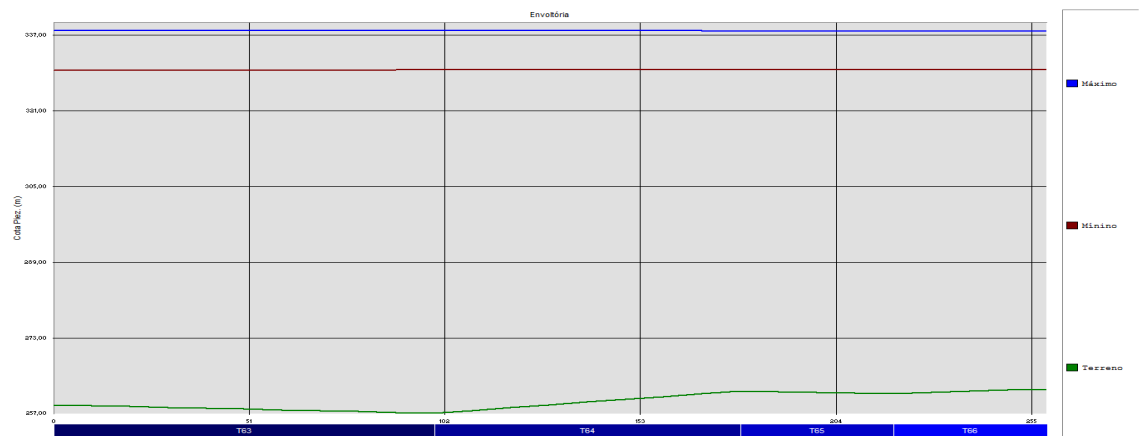


Gráfico 15 ESTACAS 245 à 258

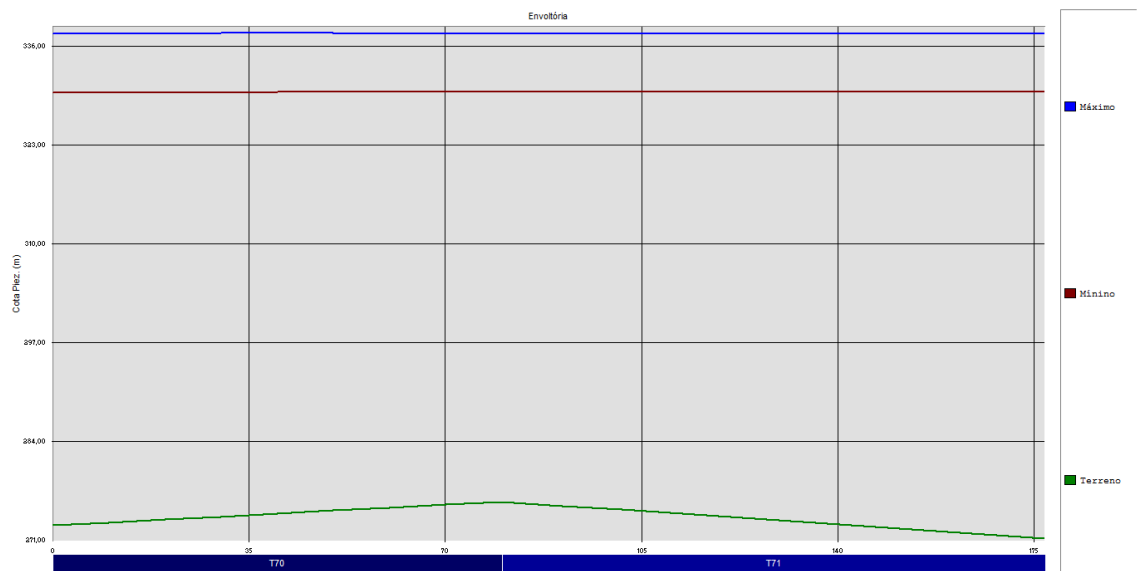


Gráfico 16 ESTACAS 273 à 282

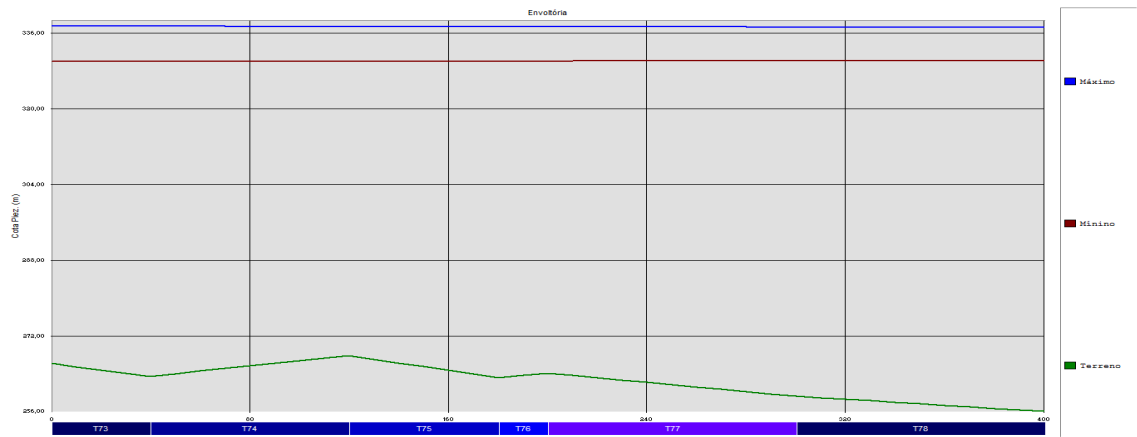


Gráfico 17 ESTACAS 287 à 307

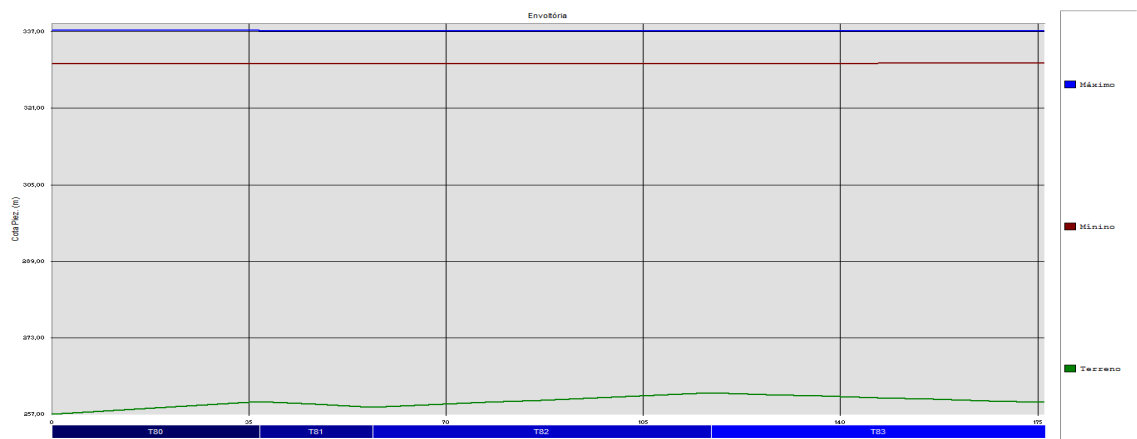


Gráfico 18 ESTACAS 312 à 321

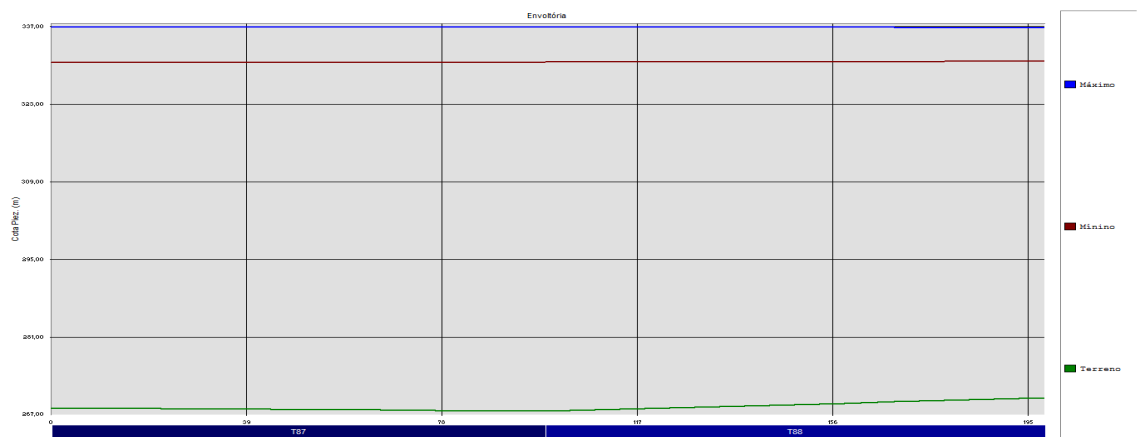


Gráfico 19 ESTACAS 336 à 346

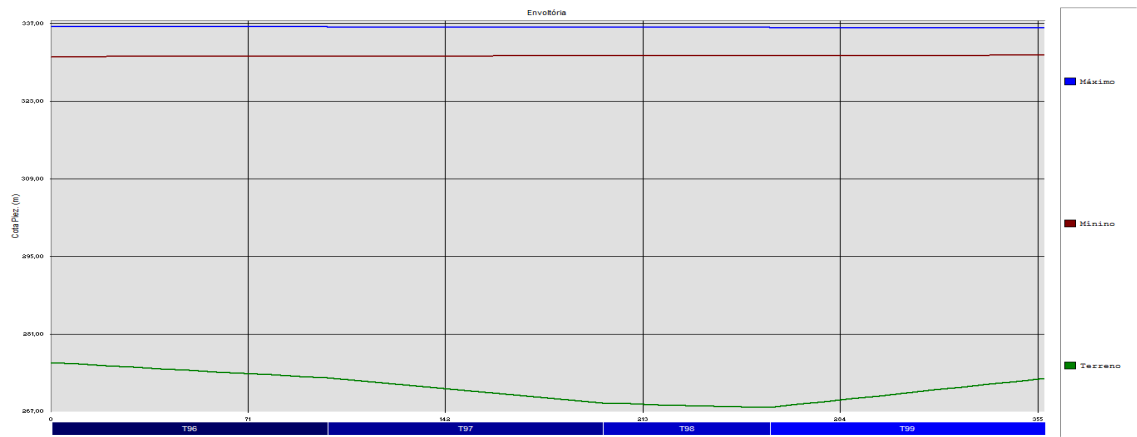


Gráfico 20 ESTACAS 378 à 396

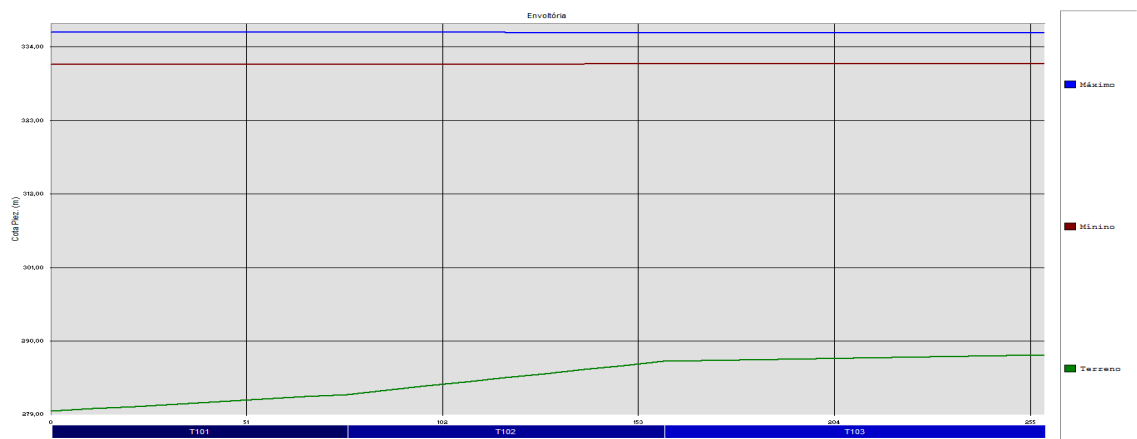


Gráfico 21 ESTACAS 401 à 416

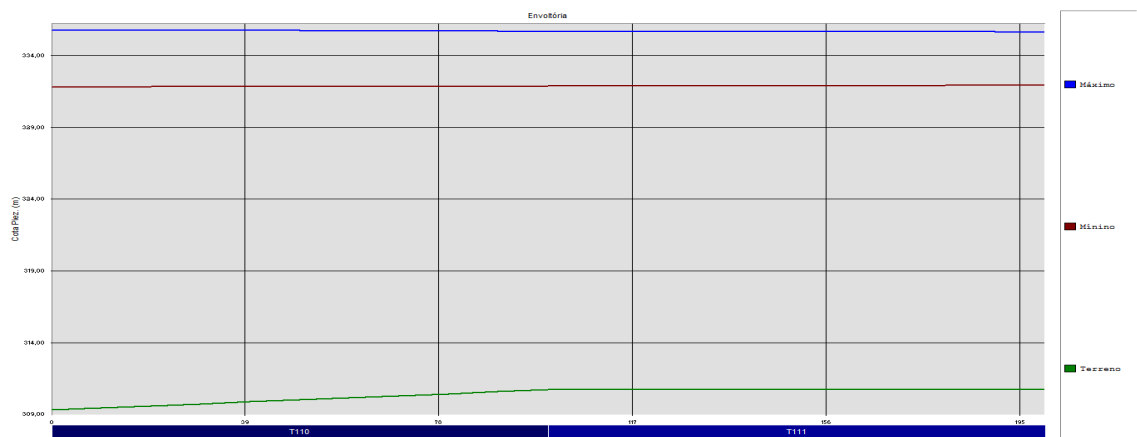


Gráfico 22 ESTACAS 446 à 456

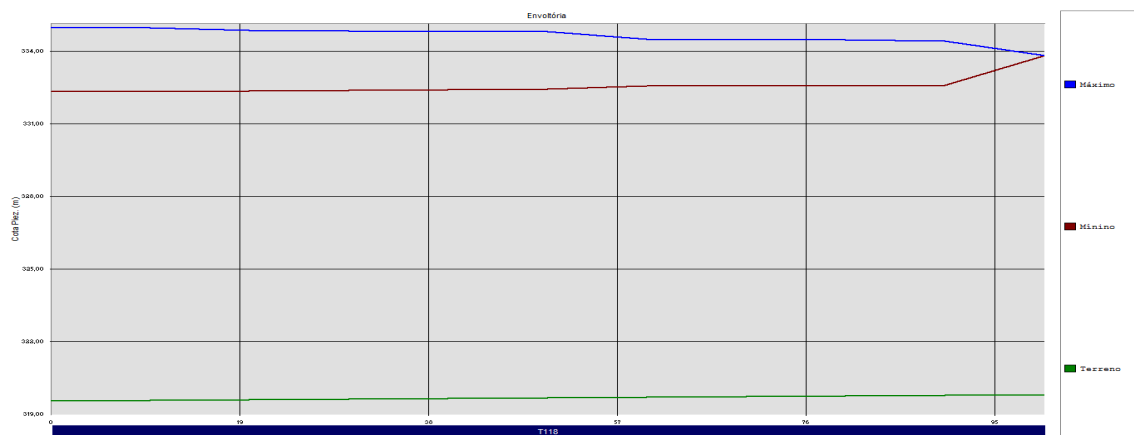


Gráfico 23 ESTACAS 486 à 491

Não realizamos nova simulação (3ª Etapa) porque a adutora em estudo não apresentou transientes que justificassem o uso de dispositivos ou peças especiais para combate aos fenômenos transitórios. Porém, para maior proteção será implantado uma válvula de retenção tipo portinhola simples, conforme figura ao lado.

VÁLVULA RETENÇÃO PORTINHOLA ANSI 150 LBS



- > Corpo e tampa aparafusada em aço carbono ASTM A 216 WCB;
- > Trim (superfície de vedação) em aço inox AISI 410, Trim em AISI 304 ou 316 ou c/ Stellite sob consulta;
- > Construção: Projeto BS 1868, Face-a-face ANSI B16.10, Flanges ANSI B 16.5, Ponta para solda (BW) ANSI B16.25;
- > Condições de trabalho (sem choques): Vapor a 300°C = 140 Lbs/pol2
Água, óleo e gás a 40° = 280 Lbs/pol2
- > Fabricação: DN de 2" a 8".

Figura 8 – Válvula de Retenção

Independentemente do equipamento de proteção escolhido, devem ser empregadas ventosas de tríplice função nos pontos altos da tubulação, ou em trechos de no mínimo 600m. Sua ação de combate aos transientes hidráulicos na adutora foi desconsiderado no presente estudo, uma vez que causa instabilidade numérica na simulação, podendo mascarar os efeitos benéficos de possíveis dispositivos atenuadores do golpe de aríete. Esses dispositivos serão usados apenas para melhorar a eficiência do sistema adutor.



- Tamanhos:** DN 50 a 200 mm
- Corpo e Tampa em Ferro fundido Dúctil EN-JS 1030 (GGG-40)
 - Internos em Aço Inox 316
 - Classe de Pressão de PN 10 a PN 40
 - Pintura interna e externa em Epóxi espessura 250mm, cor Azul RAL 5005
 - Acessórios disponíveis: Slow Closing

Figura 9 – Ventosa Tríplice Função

7 CONCLUSÃO

O presente estudo objetivou a análise de transientes hidráulicos na Adutora da cidade de Massapê do Piauí(PI), utilizando análise gráfica do modelo computacional do software CTran, que utiliza o Método das Características. Este programa, de fácil manuseio e operação, gera informações bastante consistentes e satisfatórias para analisar o comportamento de ondas de sobrepressão e subpressão ocasionadas por fenômenos transitórios em condutos forçados, cabe aqui conferir todos os créditos de desenvolvimento do software a Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Ao alimentarmos o banco de dados do CTran, determinamos as condições de contorno, e geramos os gráficos das envoltórias, possibilitando a análise e boa visualização dos resultados, além da verificação das variações de pressão nos trechos onde pudessem ocorrer os fenômenos transitórios, nos dando condições de verificar a necessidade de utilização de dispositivos ou peças especiais para atenuar as pressões internas que pudessem a vir a levar o sistema ao colapso.

No caso específico do sistema adutor da cidade de Massapê do Piauí(PI), estudo deste trabalho, e com base nos dados do projeto da adutora, verificamos ao longo de toda sua extensão, não haver a presença de transientes hidráulicos pela simulação realizada no CTran. Consideramos os resultados das análises dos gráficos satisfatórios, pois foi possível verificar a ausência de fenômenos transitórios no sistema e assim utilizar os equipamentos mais simples como válvulas de retenção e ventosas de tríplex função, apenas para melhorar a eficiência do sistema como um todo.