

## Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo

# PROJETO REMANESCENTE DA ADUTORA DE ÁGUA BRUTA DE NOVO HAMBURGO MEMORIAL DESCRITIVO HIDROMECÂNICO

<b>Responsável</b>	<b>Função</b>	<b>Nome</b>
Coordenador	Eng° Civil	Hélio Fernandes CREA-10R: 012790-6
Elaboração	Eng° Civil	Amaury Amaral Caldeira de Andrada CREA-10R: 008890-4
Elaboração	Eng° Civil	Vitor Pedro Werlang CREA-10R: 007313-1
Elaboração	Eng.º Sanitarista e Ambiental	Eduardo Pauly Fernandes CREA-10R: 134556-2

**MARÇO/2021**

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS REMANESCENTES .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>SISTEMA DE RECALQUE E ADUÇÃO DE ÁGUA BRUTA EM REGIME TRANSIENTE / PROJETO DAS UNIDADES DE CONTROLE .....</b>	<b>8</b>
2.1	Concepção do Projeto.....	8
2.2	Operação em Regime Transiente Elaborado / Unidade de Controle Projetada.....	8
2.2.1	<b>Características da Adutora de Água Bruta / Dados Relacionados .....</b>	<b>9</b>
2.2.1.1	Cálculo da Velocidade da Onda de Pressão (Celeridade) .....	9
2.2.1.2	Características do Trecho da Adutora de Água Bruta Assentada com envoltória de solo especial e tubulação em ferro fundido dúctil. ....	10
2.2.1.3	Características dos Trechos das Travessias Aéreas - Tubulação em Aço Carbono.....	10
2.2.1.4	Previsão da Instalação de Ventosas para o afastamento do ar no escoamento em Regime Permanente. ....	12
2.2.2	<b>Características da Estação de Bombeamento de Água Bruta - EAB / Dados Relacionados .....</b>	<b>14</b>
2.2.2.1	Cálculo da Inércia dos Equipamentos Girantes da EAB. ....	14
2.2.2.2	Especificação da Válvula de Retenção a ser instalada no Barrilete de Recalque das Bombas. ....	15
2.2.2.3	Procedimentos para a partida e parada programada das Bombas da <b>EAB</b> . .	16
2.2.3	<b>Apresentação do Estudo de Transientes.....</b>	<b>17</b>
2.2.3.1	Esquema do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta base do Projeto.....	17
2.2.3.2	Operação com os Equipamentos de Proteção projetados para possibilitar o controle do “Golpe de Aríete” e assegurar a adequada operação das instalações. ....	24
2.2.3.3	Planilhas dos Trechos da linha adutora e derivações para equipamentos....	27
2.2.3.4	Planilha dos Dados das Pressões do Regime Transiente (Planilhas dos Nós da linha adutora). ....	30
2.2.4	<b>Especificações dos Tanques Hidropneumáticos .....</b>	<b>33</b>
2.2.4.1	Especificações relacionadas ao tanque Hidropneumático de Bexiga.....	34
2.2.4.2	Especificações relacionadas aos Tanque Hidropneumáticos com Compressor de Ar.....	34
2.2.4.3	Consideração sobre o projeto da base dos tanques hidropneumáticos (projeto estrutural). ....	35
2.2.5	<b>Controle da Operação dos Tanques Hidropneumáticos.....</b>	<b>36</b>
2.2.5.1	Controle da Operação dos Tanques Hidropneumáticos com Compressor de Ar.....	36
2.2.5.2	Controle da Operação dos Tanques Hidropneumáticos com Bexiga. ....	38
2.2.5.3	Controle da Operação Adicionais para os Tanques Hidropneumáticos (com bexiga ou operados com compressor de ar). ....	39
2.3	<b>Ancoragens previstas no projeto da adutora de água bruta .....</b>	<b>42</b>
2.3.1	<b>Travessia Aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos – Ancoragens em geral (Trecho Sem Deflexão).....</b>	<b>42</b>
2.3.2	<b>Travessia Aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos – Ancoragem das Deflexões entre as Tubulações de Aço Carbono e Ferro Fundido Dúctil.....</b>	<b>44</b>
2.3.2.1	Ancoragem da Deflexão no Plano Vertical (Esforços de Tração / Aderência).....	45
2.3.2.2	Ancoragem da Deflexão no Plano Horizontal (Esforços de Cisalhamento) ...	46
2.3.3	<b>Ancoragem das conexões junta elástica da linha adutora.....</b>	<b>46</b>

2.3.3.1	<i>Primeira condição de Estabilidade: Força de Atrito &gt; Empuxo Hidráulico</i> .....	48
2.3.3.2	<i>Segunda condição de Estabilidade: Não ocorrência de giros ou tração no bloco</i> .....	49
2.3.3.3	<i>Terceira condição de Estabilidade: Respeitar a tensão admissível do solo</i> ..	50
2.3.3.4	<i>Considerações Utilizadas no Dimensionamento dos Blocos de Ancoragem</i> .....	50
2.3.3.5	<i>Ancoragem da conexão com junta elástica: Curva de 45°</i> .....	51
2.3.3.6	<i>Ancoragem da conexão com junta elástica: Curva com angulações entre 22°30' e 5°, exclusiva</i> .....	52
2.3.3.7	<i>Ancoragem da conexão com junta elástica: Curva com angulações iguais ou inferiores a 5°</i> .....	55
2.3.3.8	<i>Ancoragem da conexão: Té DN1000 com derivação de diâmetro entre 600 e 400 mm</i> .....	57
2.3.4	<b>Assentamento da tubulação em ferro fundido dúctil junto a Travessia Aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos</b> .....	59
2.4	<b>Travessia Aérea da Adutora sobre o Banhado do Rio dos Sinos – Soldagem das Tubulações de Aço Carbono</b> .....	60
2.4.1	<b>Preparação para a execução das soldas</b> .....	61
2.4.2	<b>Qualificação do soldador</b> .....	62
2.4.3	<b>Tipo de Eletrodo / Inspeção de Eletrodos em Obra</b> .....	62
2.5	<b>Proteção quanto à corrosão das tubulações de Aço Carbono</b> .....	63
2.5.1	<b>Proteção externa da tubulação das travessias em aço carbono com poliuretano elastomérico flexível</b> .....	63
2.5.1.1	<i>Proteção externa das juntas soldadas com poliuretano elastomérico flexível</i> .....	64
2.5.2	<b>Proteção interna da tubulação da travessia em aço</b> .....	64
2.5.2.1	<i>Proteção interna das juntas soldadas</i> .....	65
2.6	<b>Travessia Aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos - Absorção dos esforços resultantes da dilatação (Térmica) Linear da tubulação de Aço Carbono</b> .....	65
2.7	<b>Travessia Aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos – Aspectos de Segurança (Cerca e Portões para impedir o acesso de pedestres)</b> .....	65
3	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	67
4	<b>APÊNDICE</b> .....	70

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – VENTOSA COMBINADA, TRÍPLICE FUNÇÃO, DE ALTA PERFORMANCE, DN150 – DESENHO ILUSTRATIVO.....	13
FIGURA 2 – VENTOSA COMBINADA, TRÍPLICE FUNÇÃO: CAPACIDADE DE ENTRADA E SAÍDA DE AR - VENTOSA CINÉTICA.....	13
FIGURA 3 – VENTOSA COMBINADA, TRÍPLICE FUNÇÃO: CAPACIDADE DE SAÍDA DE AR - VENTOSA AUTOMÁTICA.....	14
FIGURA 4 - VÁLVULA DE RETENÇÃO DE FECHAMENTO RÁPIDO – DN800 e DN1000 – PN16.....	15
FIGURA 5 – PROGRAMAÇÃO DA PARTIDA E PARADA DAS BOMBAS DA EAB – VARIAÇÃO DA CORRENTE ELÉTRICA COM O TEMPO DE OPERAÇÃO.....	17
FIGURA 6 – PROGRAMAÇÃO DA PARTIDA E PARADA DAS BOMBAS DA EAB – VARIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE ALIMENTAÇÃO DOS MOTORES COM O TEMPO DE OPERAÇÃO.....	17
FIGURA 7 – SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS EM REGIME TRANSIENTE - NOTAÇÃO DOS NÓS PRINCIPAIS NA PLANTA DA ADUTORA.....	18
FIGURA 8 - SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS EM REGIME TRANSIENTE - NOTAÇÃO DOS NÓS PRINCIPAIS NO PERFIL DA ADUTORA.....	19
FIGURA 9 – VISUALIZAÇÃO DO ESQUEMA BÁSICO UTILIZADO NAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS – <i>NOTAÇÃO DOS NÓS E TRECHOS JUNTO A EAB (NÓS R-GMB-2/ R-GMB-3/ R-GMB-4: POÇO DE SUCCÃO; TRECHOS P01/ P01A/ P01B: TUBO DE SUCCÃO; TRECHOS P02/ P02A/ P02B: ENTRADA DA BOMBA; TRECHOS P03/ P03A/ P03B: SAÍDA DA BOMBA; TRECHOS P04/ P04A/ P04B: BARRILETE DE SAÍDA DE CADA BOMBA; TRECHOS P05/ P06: LINHA ADUTORA JUNTO AS BOMBAS; P07: LINHA ADUTORA; NÓS GMB-2/ GMB-3/ GMB-4: GRUPOS MOTO-BOMBAS.....</i>	20
FIGURA 10 – VISUALIZAÇÃO DO ESQUEMA BÁSICO UTILIZADO NAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS – <i>NOTAÇÃO DOS NÓS E TRECHOS JUNTO AOS TANQUES HIDROPNEUMÁTICOS (P08/P08A/P09: TRECHOS DA ADUTORA EM FERRO FUNDIDO DÚCTIL; P08B/P08C: TRECHOS DE INTERLIGAÇÃO DA ADUTORA COM OS TANQUES HIDROPNEUMÁTICOS (HT); NÓS 06A/06B: INTERLIGAÇÃO COM O HT; NÓS HT-EAB-01/ HT-EAB-02: TANQUES HIDROPNEUMÁTICOS).....</i>	21
FIGURA 11 – VISUALIZAÇÃO DO ESQUEMA BÁSICO UTILIZADO NAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS – <i>NOTAÇÃO DOS NÓS E TRECHOS JUNTO A TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS – VISTA GERAL (TRECHOS P29 E P30: TRECHOS EM AÇO CARBONO; NÓ 25: FINAL DO TRECHO DE AÇO CARBONO; NÓ 24-V/AV-24: NÓS REFERENTE A VENTOSA; TRECHOS P28/P27: TRECHOS EM FERRO FUNDIDO DÚCTIL; NÓ 26: FINAL DO TRECHO DE AÇO CARBONO; NÓ 27-V/AV-27: NÓS REFERENTE A VENTOSA; TRECHOS P31/P32: TRECHOS EM FERRO FUNDIDO DÚCTIL).....</i>	22
FIGURA 12 – VISUALIZAÇÃO DO ESQUEMA BÁSICO UTILIZADO NAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS – <i>NOTAÇÃO DOS NÓS E TRECHOS JUNTO A TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS – NÓS E TRECHOS JUNTO AS VENTOSAS DE MONTANTE (TRECHO P29: TRECHO EM AÇO CARBONO; NÓ 25: FINAL DO TRECHO DE AÇO CARBONO; NÓ 24-V/AV-24: NÓS REFERENTE A VENTOSA; TRECHOS P28/P27: TRECHOS EM FERRO FUNDIDO DÚCTIL).....</i>	23
FIGURA 13 – VISUALIZAÇÃO DO ESQUEMA BÁSICO UTILIZADO NAS SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS – <i>NOTAÇÃO DOS NÓS E TRECHOS JUNTO A TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS – NÓS E TRECHO JUNTO AS VENTOSAS DE JUSANTE (TRECHO P30: TRECHO EM AÇO CARBONO; NÓ 26: FINAL DO TRECHO DE AÇO CARBONO; NÓ 27-V/AV-27: NÓS REFERENTE A VENTOSA; TRECHOS P31/P32: TRECHOS EM FERRO FUNDIDO DÚCTIL).....</i>	23
FIGURA 14 – SISTEMA DE RECALQUE E ADUÇÃO DE ÁGUA BRUTA – <i>SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO EM REGIME TRANSIENTE COM OS EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO PROJETADOS: TANQUE HIDROPNEUMÁTICO COM BEXIGAS OU TANQUE HIDROPNEUMÁTICO ACIONADO POR COMPRESSOR DE AR: VOL.: 30,0 m<sup>3</sup> + 30,0 m<sup>3</sup>; RELAÇÃO VOL. ÁGUA/VOL. AR: 60/40% – PERFIL DO TERRENO, COTAS PIEZOMÉTRICAS E PRESSÕES EXTREMAS NA LINHA ADUTORA.....</i>	25
FIGURA 15 – SISTEMA DE RECALQUE E ADUÇÃO DE ÁGUA BRUTA – <i>OPERAÇÃO EM REGIME TRANSIENTE COM OS EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO PROJETADOS: TANQUE HIDROPNEUMÁTICO COM BEXIGAS OU TANQUE HIDROPNEUMÁTICO ACIONADO POR COMPRESSOR DE AR: VOL.: 30,0 m<sup>3</sup> + 30,0 m<sup>3</sup>; RELAÇÃO VOL. ÁGUA/VOL. AR: 60/40% – DADOS DE PRESSÃO JUNTO AO TANQUE N.01.....</i>	26
FIGURA 16 – SISTEMA DE RECALQUE E ADUÇÃO DE ÁGUA BRUTA – <i>OPERAÇÃO EM REGIME TRANSIENTE COM OS EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO PROJETADOS: TANQUE HIDROPNEUMÁTICO COM BEXIGAS OU TANQUE HIDROPNEUMÁTICO ACIONADO POR COMPRESSOR DE AR: VOL.: 30,0 m<sup>3</sup> + 30,0 m<sup>3</sup>; RELAÇÃO VOL. ÁGUA/VOL. AR: 60/40% – DADOS DE PRESSÃO JUNTO AO TANQUE N.02.....</i>	26
FIGURA 17 – SISTEMA DE RECALQUE E ADUÇÃO DE ÁGUA BRUTA – <i>SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO EM REGIME TRANSIENTE COM OS EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO PROJETADOS: VAZÃO DE RECALQUE DE 650,00 L/s E TANQUE HIDROPNEUMÁTICO DE VOLUME IGUAL A 30,0 m<sup>3</sup>; RELAÇÃO VOL. ÁGUA/VOL. AR: 60/40% – PERFIL DO TERRENO, COTAS PIEZOMÉTRICAS E PRESSÕES EXTREMAS NA LINHA ADUTORA.....</i>	41
FIGURA 18 – DIAGRAMA DE FORÇAS JUNTO A BARRA - F <sub>YD</sub> , F <sub>BD</sub> , L <sub>B</sub> , F <sub>BD</sub> .....	44
FIGURA 19 – DIAGRAMA DE FORÇAS NORMAIS NA BARRA.....	44
FIGURA 20 – ANCORAGEM: DIMENSÕES E DETALHAMENTOS PRINCIPAIS UTILIZADOS.....	47
FIGURA 21 – DEFINIÇÃO DO EMPUXO HIDRÁULICO NAS CONEXÕES AINDA A SEREM EXECUTADAS NA LINHA ADUTORA – TIPO DE CONEXÃO / ANGULAÇÃO DA CONEXÃO / DIRECIONAMENTO DO EMPUXO HIDRÁULICO.....	47
FIGURA 22 – PRIMEIRA CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE – VARIÁVEIS ENVOLVIDAS.....	48
FIGURA 23 – SEGUNDA CONDIÇÃO DE ESTABILIDADE – VARIÁVEIS ENVOLVIDAS.....	49

FIGURA 24 – BLOCO DE ANCORAGEM PROJETADO PARA AS CONEXÕES 45° .....	52
FIGURA 25 – BLOCO DE ANCORAGEM PROJETADO PARA AS CONEXÕES DE ÂNGULOS ENTRE 22°30' E 5°, EXCLUSIVE.....	54
FIGURA 26 – BLOCO DE ANCORAGEM PROJETADO PARA AS CONEXÕES DE ÂNGULOS MENORES OU IGUAL A 5°.....	56
FIGURA 27 – BLOCO DE ANCORAGEM PROJETADO PARA AS CONEXÕES ATRAVÉS DE TÊS DE DIÂMETRO NOMINAL DE 1.000 MM E DERIVAÇÕES DE DIÂMETRO ENTRE 600 E 400 MM .....	58
FIGURA 28 – ASSENTAMENTO DAS TUBULAÇÕES DE FERRO FUNDIDO DÚCTIL JUNTO A ESTRUTURA DE APOIO N.01 DA TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS.....	59
FIGURA 29 – ASSENTAMENTO DAS TUBULAÇÕES DE FERRO FUNDIDO DÚCTIL JUNTO A ESTRUTURA DE APOIO N.16 DA TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS.....	60
FIGURA 30 - SOLDAGEM DAS TUBULAÇÕES - FORMA E DIMENSÕES DAS JUNTAS / DIMENSIONAMENTO DO CHANFRO .....	62
FIGURA 31 - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS – PLACA DE ADVERTÊNCIA .....	66

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 – PLANILHA DOS TRECHOS E DERIVAÇÕES PARA OS EQUIPAMENTOS INSTALADOS – PARTE 01. ....	28
TABELA 2 – PLANILHA DOS TRECHOS E DERIVAÇÕES PARA OS EQUIPAMENTOS INSTALADOS – PARTE 02. ....	29
TABELA 3 – PLANILHA DAS PRESSÕES DO REGIME TRANSIENTE COM OS EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO (PLANILHA DOS NÓS DO SISTEMA DE RECALQUE E ADUÇÃO DE ÁGUA BRUTA) – PARTE 01. ....	30
TABELA 4 – PLANILHA DAS PRESSÕES DO REGIME TRANSIENTE COM OS EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO (PLANILHA DOS NÓS DO SISTEMA DE RECALQUE E ADUÇÃO DE ÁGUA BRUTA) – PARTE 02. ....	31
TABELA 5 – PLANILHA DAS PRESSÕES DO REGIME TRANSIENTE COM OS EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO (PLANILHA DOS NÓS DO SISTEMA DE RECALQUE E ADUÇÃO DE ÁGUA BRUTA) – PARTE 03. ....	32
TABELA 6 – PLANILHA DAS PRESSÕES DO REGIME TRANSIENTE COM OS EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO (VASOS DE PRESSÃO).....	33
TABELA 7 – TIPO DE SOLO - VALORES DE $t\varphi$ .....	49

## 1 APRESENTAÇÃO DOS REMANESCENTES

O presente trabalho tem como objetivo a apresentação dos Projetos Executivos Remanescentes de Engenharia para Conclusão da Obra da Adutora de Água Bruta do Município de Novo Hamburgo.

Os remanescentes abrangem:

- Transposição da Adutora de Água Bruta nova sobre o Banhado do Rio dos Sinos;
- Continuação do lançamento dos tubos na chegada da EAB (Elevatória de Água Bruta).

O projeto inicial passou por uma verificação/revisão, a qual garantiu e alterou a solução anteriormente projetada em virtude de condições e inconformidades levantadas durante a execução das obras no passado. Essa verificação foi elaborada pela Empresa Hidráulica Engenharia Ltda., no ano de 2017, e resultou em alterações de projeto que são discutidas no decorrer deste trabalho. A Comusa com a finalidade de concluir a execução da Adutora de Água Bruta em sua totalidade agregou ao projeto da citada empresa a instalação dos tubos restantes na chegada da EAB, conforme prancha 18/18.

## 2 SISTEMA DE RECALQUE E ADUÇÃO DE ÁGUA BRUTA EM REGIME TRANSIENTE / PROJETO DAS UNIDADES DE CONTROLE

### 2.1 Concepção do Projeto

O Estudo da operação do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta em Regime Transiente foi elaborado objetivando identificar as pressões máximas e mínimas geradas neste escoamento irregular, neste caso originado pela parada não programada das bombas da *Estação de Bombeamento de Água Bruta – EAB* (parada ocasionada pela falta de energia elétrica de alimentação dos motores). Após a parada brusca das bombas há a ocorrência imediata da depressão inicial pela redução da velocidade do escoamento até o momento do fechamento rápido da válvula de retenção da linha de recalque; O fechamento quase imediato da válvula de retenção é uma ação operacional necessária de modo a evitar danos nas instalações de bombeamento, mas proporciona a variação brusca da velocidade do escoamento, ação geradora do chamado “golpe de aríete”; mas ainda, caso o fechamento da válvula seja retardado, a elevação da pressão na válvula de retenção é maior, podendo atingir, por exemplo, 2,5 vezes a pressão normal (Parmakian, John - Análise do Golpe de Aríete - Colorado).

O controle das pressões extremas originadas na parada não programada da *EAB* vai assegurar a operação do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta sem os riscos de colapso da tubulação submetida ao vácuo nos trechos das travessias aéreas e de rompimento por pressões positivas mesmo nas tubulações enterradas com a envoltória de solo granular projetada. As variações de pressões controladas junto a EAB proporcionarão uma maior vida útil aos equipamentos instalados, bombas e válvulas.

A instalação dos Vasos de Pressão na saída da *EAB* foi projetada e houve a disposição alterada em relação ao projeto existente em função da necessidade da execução dos blocos de ancoragem. A válvula de alívio existente na caixa de manobras foi retirada em função não somente de não contribuir para amenizar as pressões, mas principalmente por poder possibilitar distúrbios operacionais no vaso de pressão no período do regime transiente (poderia haver um decréscimo quase imediato da pressão interna da tubulação ocasionada pela abertura da válvula de alívio à atmosfera e o vaso não estar então preparado para a pressão positiva que deve aparecer em 2L/a segundos).

### 2.2 Operação em Regime Transiente Elaborado / Unidade de Controle Projetada

O Estudo da operação do Sistema de Recalque a Adução de Água Bruta foi elaborado considerando as características da *EAB* e da linha adutora. O material preponderante da adutora de água bruta é em ferro fundido dúctil e tem a tubulação assentada em vala. A adutora apresenta duas travessias aéreas onde a tubulação projetada foi o aço carbono. As características das adutoras são melhores apresentadas a seguir.

A linha de adução do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta é formada por *três trechos característicos*:

\_Trecho 1\_ Trecho formado pela Adutora de Água Bruta, já praticamente todo assentado e respeitando o projeto existente; Para a adutora com envoltória em solo especial está faltando unicamente as interligações com a saída do barrilete da *Estação de Bombeamento de Água Bruta e com a Travessia Aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos*, executado com tubulação em férreo fundido dúctil.

\_ Trecho 2: Trecho formado pela Travessia Aérea da Adutora: a Travessia Aérea do Arroio Manteiga; Trecho da adutora, já executado com tubulação em aço carbono;

\_ Trecho 3: Trecho formado pela Travessia Aérea da Adutora: a Travessia Aérea do Banhado do Rio dos Sinos; Trecho de maior complexidade e objeto principal deste projeto, a ser executado com tubulação em aço carbono.

As Simulações Hidráulicas foram executadas através do software “*Hammer*”. Trata-se de um poderoso simulador hidráulico do regime transiente que vem sendo utilizado nos estudos e projetos de maior complexidade, a nível mundial. Os resultados do “*Hammer*” possibilitam identificar com segurança a alternativa ótima de controle às variações de pressão com a parada não programada do Sistema de Recalque e Adução. A vazão de operação do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta, anteriormente a parada não programada da *EAB*, é de 1.300,00 L/s. As definições base do estudo transiente e do projeto da Unidade de Controle são apresentadas a seguir.

## 2.2.1 Características da Adutora de Água Bruta / Dados Relacionados

### 2.2.1.1 Cálculo da Velocidade da Onda de Pressão (Celeridade).

O Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta teve o cálculo da velocidade da onda de pressão “a” (celeridade), necessário à elaboração das análises hidráulicas em regime transiente, obtido através da expressão seguinte:

$$a = \sqrt{\frac{E_1}{\rho_1 \left(1 + \frac{d}{\delta} \frac{E_1}{E_2}\right)}}, \quad \text{onde:}$$

*a*: celeridade da onda de pressão (m/s);

$\rho_1$ : massa específica da água a 20°C ( $\rho_1 = 1,018E+02 \text{ Kgf.s}^2/\text{m}^4$ );

*d*: diâmetro interno da tubulação (m);

$\delta$ : espessura de ferro da parede da tubulação (m);

$E_1$ : módulo de elasticidade volumétrica da água ( $E_1 = 2,090E+08 \text{ Kgf/m}^2$ );

$E_2$ : módulo de elasticidade volumétrica do material da tubulação ( $\text{Kgf/m}^2$ ).

O cálculo da velocidade da onda de pressão para a adutora assentada em vala e para os trechos aéreos do Sistema de Recalque e Adução de Água é apresentado nos itens seguintes.

### 2.2.1.2 Características do Trecho da Adutora de Água Bruta Assentada com envoltória de solo especial e tubulação em ferro fundido dúctil.

Conforme descrito no documento anterior, foi executado assentamento em vala da adutora em ferro fundido dúctil, classe K7, DN1000, junta elástica JGS. Conforme definições do fabricante, a tubulação da adutora tem Pressão de Serviço Admissível (Pressão interna, excluindo o golpe de aríete, que um componente pode suportar com total segurança, de forma contínua, em regime hidráulico permanente) igual a 2,2 MPa, Pressão Máxima de Serviço (Pressão interna máxima, incluindo o golpe de aríete, que um componente pode suportar em serviço) igual a 2,6 MPa e Pressão de Teste Admissível (Pressão Hidrostática Máxima, que pode ser aplicada no teste de campo, a um componente de uma canalização recém-instalada) igual a 3,1 MPa.

O Trecho foi executado com base no projeto existente. Está em conformidade com os requisitos técnicos previstos para a sua estabilidade desde que as pressões de serviço admissível e pressões máximas de serviço (regime transiente) limites do tubo de ferro fundido dúctil sejam respeitadas. Quanto as pressões negativas, *considerando o assentamento da tubulação e o material da adutora, fica garantida a sua estabilidade mesmo com pressões próximas ao "vácuo absoluto, resultado da operação em regime transiente"*.

Com relação ao revestimento interno da tubulação de ferro dúctil (argamassa de cimento), o processo de fabricação assegura em função da rugosidade da superfície do ferro uma ancoragem que impossibilita que mesmo os efeitos do vácuo venham ocasionar processos acumulativos significativos de erosão.

A análise hidráulica considerou o valor da velocidade da onda de pressão (celeridade):  $a = 976,0 \text{ m/s}$ , para a adutora em ferro fundido dúctil, classe K7, DN1000, calculada através da expressão já apresentada, com os seguintes valores das variáveis da equação:

$\rho_1$ : massa específica da água a 20°C:  $\rho_1 = 1,018E+02 \text{ Kgf.s}^2/\text{m}^4$ ;

$d$ : diâmetro interno da tubulação:  $d = 1,015 \text{ m}$  (\*);

$\delta$ : espessura de ferro da parede da tubulação:  $\delta = 10,5 E-3 \text{ m}$ ;

$E_1$ : módulo de elasticidade volumétrica da água:  $E_1 = 2,090E+08 \text{ Kgf/m}^2$ ;

$E_2$ : módulo de elasticidade volumétrica do ferro fundido dúctil:  $E_2 = 1,750E+10 \text{ Kgf/m}^2$ .

(\*) considerada a espessura da argamassa de cimento centrifugado igual a  $6,0 \times 10^{-3} \text{ m}$ .

### 2.2.1.3 Características dos Trechos das Travessias Aéreas - Tubulação em Aço Carbono.

O material disponível para a travessia aérea sobre o Arroio Manteiga, travessia já executada, e para travessia aérea sobre o banhado do Rio dos Sinos, a executar, é o tubo fabricado pela empresa Compasso de metais ferrosos Ltda.; O tubo é de aço carbono, de diâmetro externo igual a 1025,4 mm, de espessura  $e = \frac{1}{2}$ ", e de comprimento unitário igual a 12,00 m.

Os dados obtidos junto ao fabricante indicam que as chapas de aço carbono utilizadas na confecção dos tubos são do tipo ASTM A36, pertencentes ao grupo P1 do QW 422 da Secção IX do ASME, na espessura especificada de  $\frac{1}{2}$ ", tensão de escoamento igual a 250 MPa ( $254,929 \times 10^5 \text{ Kgf/m}^2$ ), tensão admissível igual a 87,75 MPa ( $89,480 \times 10^5 \text{ Kgf/m}^2$ ), Módulo de Elasticidade Volumétrico igual:  $E = 200.000 \text{ MPa}$  ( $2,039 \times 10^{10} \text{ Kgf/m}^2$ ) e coeficiente de segurança igual a 2,85.

Na superfície externa dos tubos foram aplicadas três demãos de tinta à base de alcatrão de hulha (resina epoxídica curada com poliamina ou poliamida) com espessura de película seca de 80 µm por demão, observando-se a utilização de cores alternadas em cada demão a fim de facilitar a aplicação e fiscalização.

Na superfície interna dos tubos foram aplicadas quatro demãos de tinta à base de resina epóxi com espessura de película seca de 80 µm por demão. A resina utilizada teve propriedades “sanitárias” específicas para o uso em tubulações condutoras de água para abastecimento público (no caso, água bruta).

Em face da travessia não possuir a envoltória de solo característica do trecho com o assentamento em vala definida em projeto, para a garantia da sua estabilidade, *as travessias aéreas não podem estar submetidas a pressão negativa*, resultado da operação em regime transiente. O Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta, ora projetado, inclui a instalação de Unidades de Controle das Pressões originadas no regime de operação transiente que ocorre com a parada da **EAB** por falta de energia elétrica. Conforme verificado “in loco” na travessia sobre o Riacho Manteiga, não houve a instalação de juntas flangeadas previstas em projeto. Desta forma a pressão positiva limitada a 10,0 bar (100,0 mca) passa a não ser um limitante ao projeto ou não será necessária à sua substituição para aumento da segurança operacional no regime transiente. A instalação ao lado da travessia sobre o Arroio Manteiga apresenta válvulas de gaveta (registro de parada e registro de descarga) com pressão flangeados de PN 10; Estas válvulas devem ser substituídas por válvulas PN16. Na tubulação elevada (aérea) da travessia do Arroio Manteiga, a classe de pressão da flange disponibilizada para a instalação da ventosa deve ser também de classe de pressão PN16.

Estão excluídas aqui manobras de inadequadas das válvulas da **EAB**; Trata-se de Estação Elevatória com a operação de Inversor de Frequência na partida e parada da Estação Elevatória, o que permite a entrada em operação o desligamento da **EAB** com variações mínimas da velocidade da adução de água bruta. Ressalta-se aqui que a manobra de válvulas de característica “ON – OFF”, isto é, de operação somente para o fechamento e para a abertura totais (secção total da válvula), só deve ser feita com a **EAB** desativada. O projeto do Sistema de Recalque e Adução não incluiu válvulas especiais de controle de vazão para a Estação de Tratamento de Água ou para a partida e parada das bombas.

A análise hidráulica considerou para o tubo de aço carbono de diâmetro externo: 1025,4 mm, espessura  $e = \frac{1}{2}$ ”, o valor da velocidade da onda de pressão (celeridade):  $a = 1.586,0 \text{ m/s}$ , calculada através da expressão já apresentada, com os seguintes valores das variáveis da equação:

$$\begin{aligned} \rho_1 &: \text{massa específica da água a } 20^\circ\text{C: } \rho_1 = 1,018\text{E}+02 \text{ Kgf.s}^2/\text{m}^4; \\ d &: \text{diâmetro interno da tubulação: } d = 1,000 \text{ m}; \\ \delta &: \text{espessura de ferro da parede da tubulação: } \delta = 12,70 \text{ E-3 m}; \\ E_1 &: \text{módulo de elasticidade volumétrica da água: } E_1 = 2,090\text{E}+08 \text{ Kgf/m}^2; \\ E_2 &: \text{módulo de elasticidade volumétrica do aço carbono em estoque: } E_2 = 2,039\text{E}+10 \text{ Kgf/m}^2. \end{aligned}$$

#### 2.2.1.4 Previsão da Instalação de Ventosas para o afastamento do ar no escoamento em Regime Permanente.

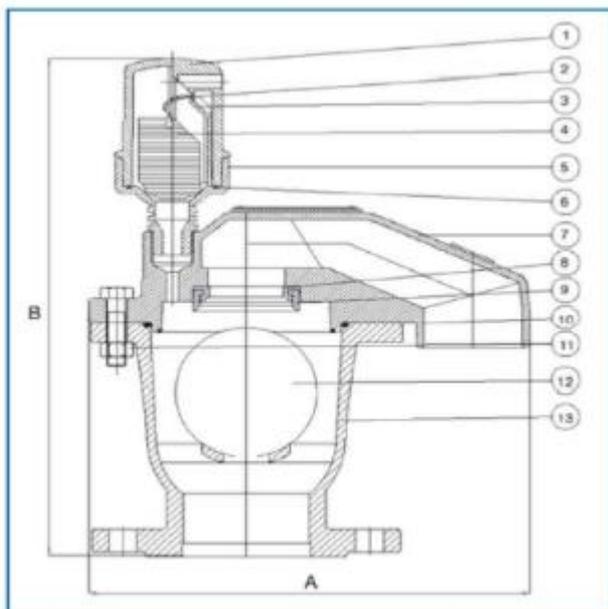
Mesmo sabendo-se da limitação de benefícios ao controle do regime transiente com a atuação de ventosas sua instalação é necessária de modo a evitar o deslocamento do ar e a sua conseqüente acumulação em pontos altos na linha adutora e em proximidade das travessias aéreas; A operação com a instalação das válvulas de ar de tríplice função possibilitará o escoamento com vazão e pressão constantes em regime permanente, e facilitará a entrada do Sistema de Recalque e Adução no regime transiente, quando haverá as variações de pressão previstas na adutora com a parada não programada Estação de Bombeamento de Água Bruta – **EAB**.

A preocupação maior na instalação de ventosas é na existência de trechos retos horizontais longos da adutora, o que é observado neste Sistema de Recalque e Adução. A adutora tem o trecho horizontal de pouco mais de 3.500,00 m, mas há neste trecho declividades localizadas onde foram previstas a instalação das ventosas, a saber, conforme notação constante no esquema apresentado nas figuras seguintes, na saída da **EAB** (instalação posicionada no Nó 11-V), junto e próxima a travessia sobre o Banhado do Rio dos Sinos (instalação posicionada nos Nós 23A-V e 28A-V), e aquelas localizadas próximo a travessia sobre o Riacho Manteiga (instalação posicionada no Nó 45 v e no Nó 40A-V, esta não prevista no projeto anterior, mas prevista agora em função da cota do terreno igual a 12,613, superior as cotas vizinhas, e junto a travessia sobre o Riacho Manteiga (instalação posicionada no Nó 45A-V). *Todas estas ventosas devem ser previstas de classe de pressão PN16. As demais e seguintes (em direção a ETA) podem ser previstas de classe de pressão PN10.* Esta definição de pressão serve para todas as instalações localizadas desde a **EAB** até o ponto da adutora identificado como Nó 45-V, inclusive; neste trecho todas as conexões, principalmente as flangeadas, devem ter classe PN16 ou superior (resistência a pressão mínima de 16,0 bar).

As ventosas incluídas no estudo têm diâmetro nominal igual a 150 mm (flanges), diâmetro do orifício cinético igual a 150 mm (para a admissão e expulsão de ar de grandes vazões - conforme gráfico) e orifício de 12,0 mm<sup>2</sup> para a expulsão normal de ar na operação da adutora em regime permanente (ventosa automática – capacidade conforme gráfico apresentado). No “*Hammer*” foram inseridas as ventosas combinadas (tríplice função): “*DN150 (Orifice: 3,91/150/150mm/Transition Pressure: 4,00 mH<sub>2</sub>O)*”.

A especificação da ventosa é a seguinte: Ventosa Automática de tríplice função na admissão e expulsão de ar de tubulações de água (função automática para a expulsão de pequenos volumes de ar com o sistema pressurizado; função cinética para admissão de grandes volumes de ar no início da operação/enchimento da linha e na expulsão de grandes volumes de ar no término da operação/esvaziamento da linha ); Corpo menor em nylon reforçado e maior em ferro fundido; Tira de elastômero em EPDM; Guia em nylon reforçado. Flutuador menor em polipropileno expandido e maior em polipropileno ou aço inox; Base em latão; Junta tórica em buna-N; Tampa em ferro fundido; Orifício de assento em bronze; Junta de orifício em EPDM. Três saídas opcionais (lateral, para baixo e configuração circular - formato cogumelo), com rotação 360° - fácil de instalar nas mais variadas condições. Projetada de acordo com as normas EN-1074/4, AWWA C-512 e as exigências para fornecimento de água. Controle de qualidade - desempenho e especificações testadas e medidas em bancada de testes especializada, incluindo condições de pressão à vácuo.

Figura 1 – Ventosa Combinada, tríplice função, de alta performance, DN150 – Desenho Ilustrativo.



LISTA DE COMPONENTES

N.º	Nome	Material
1.	Corpo	D-050 Nylon reforçado
		D-050-C Ferro Fundido ASTM A-48 Cl. 35B
		D-052 Ferro Nodular ASTM A-536 60-40-18
2.	Fita de borracha dobrável	EPDM
3.	Guia	Nylon reforçado
4.	Bóia	Polipropileno expandido
5.	Base	Latão ASTM B124
6.	Junta tórica	RIJINA-N
7.	Tampa	PN16 Ferro Fundido ASTM A-48 Cl. 35B
	PN16 6"-8", PN25	Ferro Nodular ASTM A-536 60-40-18
8.	Assento orifício	Bronze ASTM B-62 B271 C83600
9.	Junta orifício	EPDM
10.	Junta tórica	BUNA-N
11.	Parafuso e porca	Aço cromado
12.	Bóia	2"-4" Policarbonato
	6"-8"	Aço Inox SAE 316
13.	Corpo	PN16 Ferro Fundido ASTM A-48 Cl. 35B
		PN25 Ferro Nodular ASTM A-536 60-40-18
■	Cesta	2" Polipropileno

Figura 2 – Ventosa Combinada, tríplice função: Capacidade de Entrada e Saída de Ar - Ventosa Cinética.

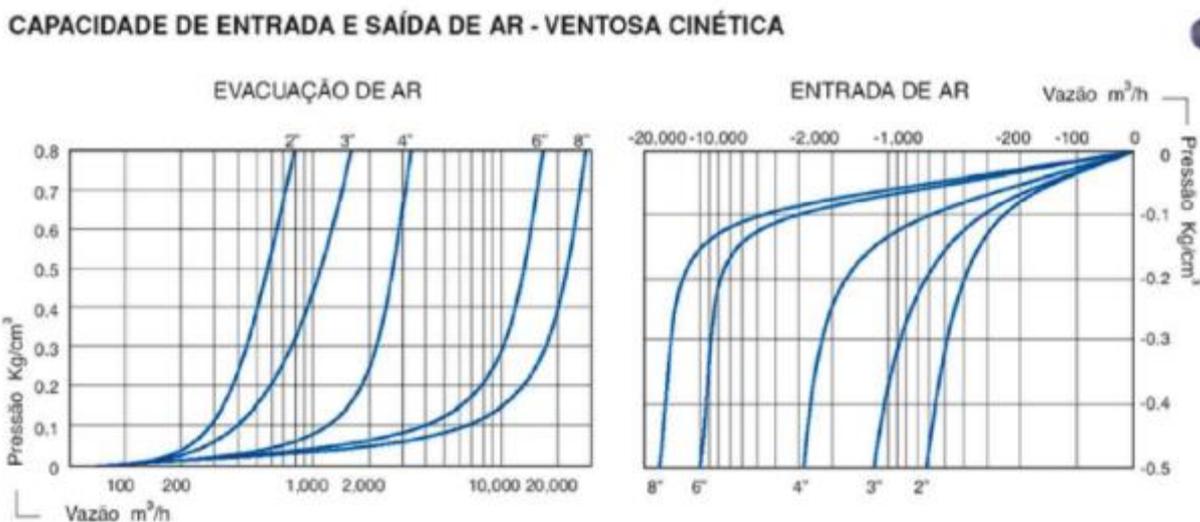
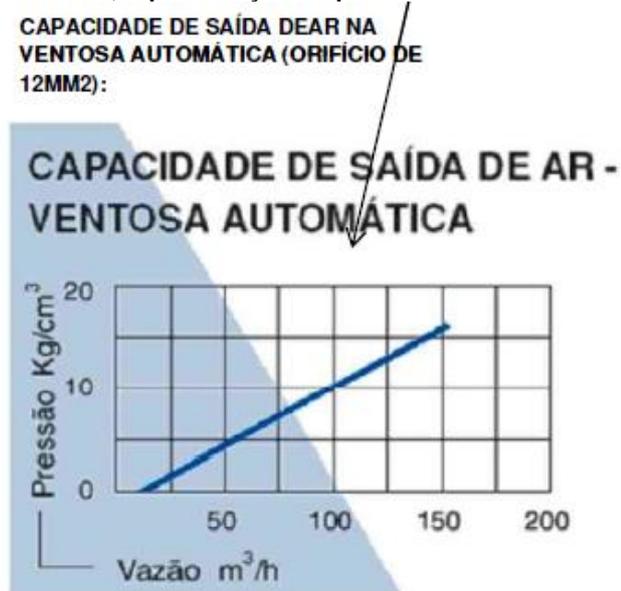


Figura 3 – Ventosa Combinada, tríplice função: Capacidade de Saída de Ar - Ventosa Automática.



## 2.2.2 Características da Estação de Bombeamento de Água Bruta - **EAB** / Dados Relacionados

### 2.2.2.1 Cálculo da Inércia dos Equipamentos Girantes da EAB.

O cálculo da Inércia dos Equipamentos Girantes da Estação de Bombeamento de Água Bruta – **EAB**, a saber:

\_ Bomba: “ $I_p$ ”;

\_ Motor Elétrico: “ $I_e$ ”;

foi realizado através das expressões de Thorley:

$$I_p = 1,5 \cdot 10^7 \cdot \left( \frac{P_p}{N_p^3} \right)^{0,9956}, \quad \text{onde:}$$

$P_p$  : Potência útil da Bomba:  $P_p = 403,3 \text{ kW (540,6 CV)}$  (\*);

$N_p$  : Rotação da Bomba:  $N_p = 1.750 \text{ rpm}$ ;

$I_p$  : Inércia da Bomba:  $I_p = 1,21 \text{ Kg.m}^2 (11,89 \text{ N.m}^2)$ .

(\* Potência útil da bomba para o rendimento estimado:  $\eta = 85,0\%$  e  $Q = 433,33 \text{ L/s}$ .

e

$$I_e = 118 \cdot \left( \frac{P_e}{N_e} \right)^{1,48}, \quad \text{onde:}$$

$P_e$  : Potência útil do Motor:  $P_e = 403,3 \text{ kW (540,6 CV)}$  (\*);

$N_e$  : Rotação do Motor:  $N_e = 1.750 \text{ rpm}$ ;

$I_e$  : Inércia do Motor Elétrico:  $I_e = 14,05 \text{ Kg.m}^2 (137,67 \text{ N.m}^2)$ .

(\* Considerada a potência útil do motor igual a potência útil da bomba.

**2.2.2.2** Especificação da Válvula de Retenção a ser instalada no Barrilete de Recalque das Bombas.

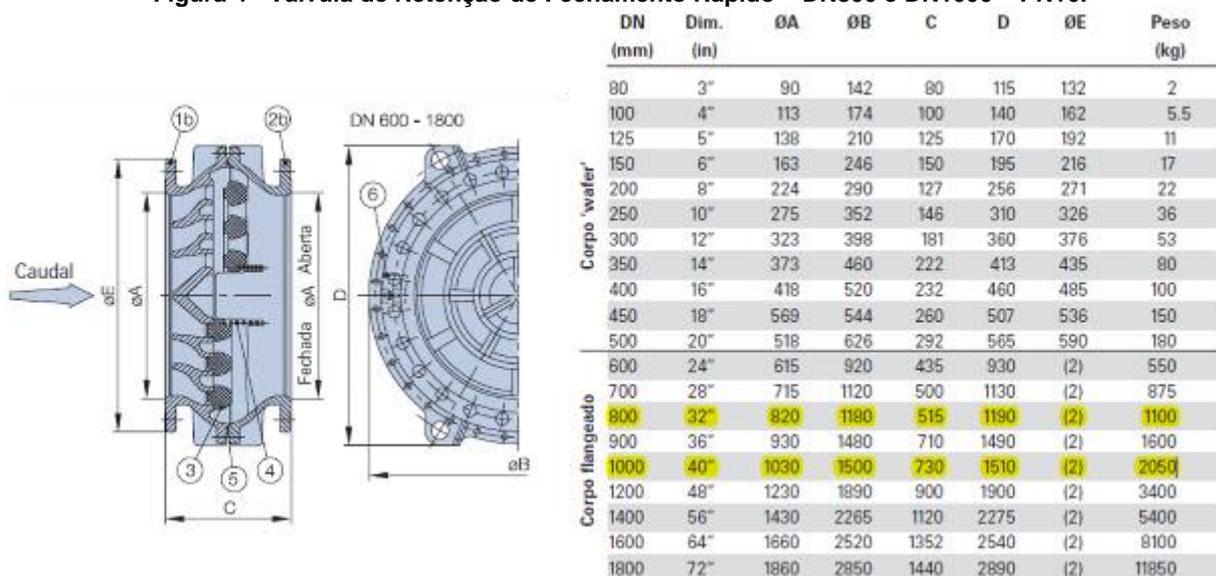
Em função da importância da Válvula de Retenção na operação do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta em regime transiente é aqui apresentada a sua especificação básica. Trata-se da válvula de retenção de fechamento rápido, DN800, PN16, a ser instalada no barrilete de recalque de cada bomba, e da válvula de retenção de fechamento rápido, DN1000, PN16, a ser instalada na adutora (locação conforme projeto existente), ambas de deslocamento axial e baixa inércia; tempo de fechamento de 0,01 a 0,05 segundo; Corpo, Anel fundido com aletas de batente e suporte para mola, em ferro fundido; Mola helicoidal de compressão em aço inoxidável; Obturador de movimento longitudinal, leve, de baixa inércia, formado por anéis concêntricos, em poliuretano, de curso operacional limitado a 1/10 do diâmetro nominal. Constituição: \_corpo montante tipo monobloco em ferro fundido com anéis concêntricos perfilados utilizados como assento do obturador; \_corpo jusante tipo monobloco em ferro fundido com guia central para a mola e aletas de reforço; \_obturador circular em poliuretano; \_mola helicoidal de compressão em aço inoxidável; \_cordão tipo O’ring de borracha utilizado na ligação entre corpos montante e jusante.

Materiais: \_Fundidos: DIN 1693 Ferro Fundido GGG40; \_Obturador: Poliuretano; \_Mola: AISI 302; \_Cordão Circular: Borracha SBR.

Inspeção, testes e ensaios: execução e apresentação de testes hidrostáticos com pressões de 1,5 vezes a pressão nominal.

Proteção anticorrosiva: \_superfícies internas e externas: preparação da superfície com Jato de granalha ao metal quase branco, Norma SSPC-SP10, padrão SA 2 ½; \_Tinta Primer/Acabamento: 01 demão de tinta epóxi poliamida AR com alta resistência química e abrasão, Macropoxy 646 da Sherwin Williams ou similar, espessura mínima da película de 150 micrometros.

**Figura 4 - Válvula de Retenção de Fechamento Rápido – DN800 e DN1000 – PN16.**



### 2.2.2.3 Procedimentos para a partida e parada programada das Bombas da **EAB**.

Os procedimentos para a partida e parada programada das bombas da **EAB** são aqui apresentados em face da sua importância realização destas operações, que podem ser diárias, sem que haja efeitos negativos para os materiais e equipamentos da Estação Elevatória e da Adutora de Água Bruta; Os efeitos negativos estão sempre relacionados principalmente a ocorrência de variação brusca da velocidade do escoamento que tem relação direta com as pressões dinâmicas elevadas junto a **EAB**. As bombas centrífugas são equipamentos de torque e potência variável com relação quadrática e cúbica com a variação da rotação do motor, respectivamente.

O inversor de frequência para a alimentação do motor de indução trifásico permite um acionamento com velocidade variável, controlando a tensão e a frequência de alimentação dos motores. A redução da rotação do motor assegura as condições hidráulicas ótimas na partida e parada das bombas sem ocasionar problemas ao motor elétrico; Tais problemas estariam relacionados principalmente pela redução da ventilação, mas tal redução tem relação direta com a redução do torque solicitado / corrente elétrica utilizada, o que nos garante o não aquecimento dos equipamentos girantes.

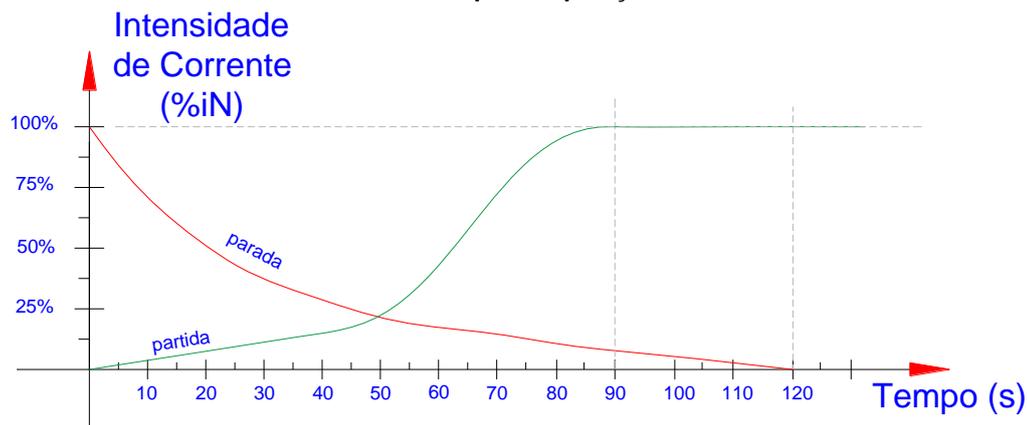
As operações de partida e parada da **EAB** serão programadas com a utilização do Inversor de Frequência, o que proporcionará o controle natural da variação da velocidade / vazão de adução pela redução da rotação do motor elétrico. A(s) bomba(s) então com velocidade de rotação variável tem a possibilidade de ter sua partida ou parada “com graduação programada”. Estas operações serão estendidas no seu tempo para proporcionar a aceleração ou desaceleração lenta, o que proporcionará a variação lenta da velocidade do escoamento na linha de descarga (na parada da bomba o fechamento da válvula de retenção será lento e associado a redução da vazão da **EAB**).

O tempo de partida e parada definido para os equipamentos girantes da **EAB** são de 90 segundos e 120 segundos, respectivamente, e vale para a operação de acionamento do conjunto de bombas em paralelo; Na partida geral da **EAB**, a segunda bomba deve ser acionada somente após a primeira bomba entrar em rotação normal. Na parada geral da **EAB** a parada da segunda bomba deve ser iniciada após a parada total da primeira bomba.

Se por motivo operacional, desejar-se alcançar um valor de vazão menor com a alteração da frequência dos inversores, as duas bombas podem ter a variação da frequência em conjunto. Se a transição desejada for ao contrário (de frequência menor para maior), da mesma forma, as duas bombas podem ter a variação da frequência em conjunto.

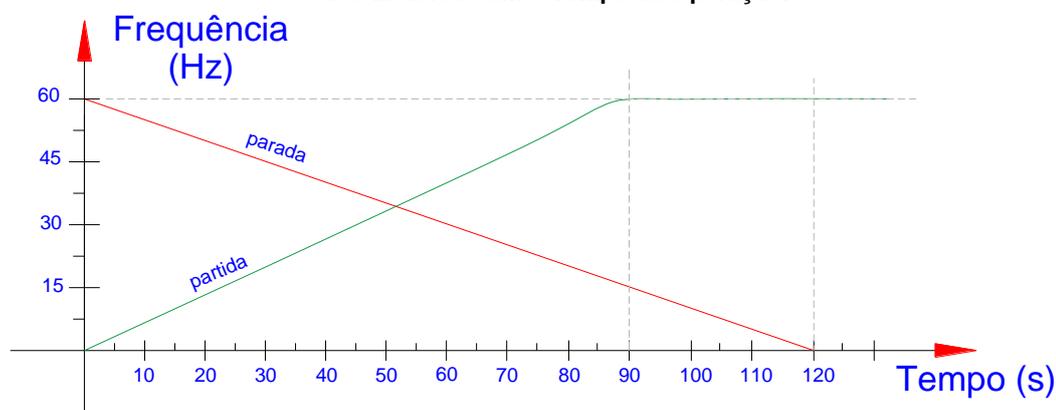
Os gráficos apresentados nas figuras seguintes apresentam estas operações com a variação da intensidade de corrente elétrica e a variação da frequência de alimentação dos motores.

Figura 5 – Programação da Partida e Parada das bombas da **EAB** – Variação da Corrente Elétrica com o Tempo de Operação.



Conjunto Moto-Bomba - Motor de rotação variável  
(curvas da intensidade de corrente em função do tempo)

Figura 6 – Programação da Partida e Parada das bombas da **EAB** – Variação da Frequência de Alimentação dos Motores com o Tempo de Operação.



Conjunto Moto-Bomba - Motor de rotação variável  
(curvas da frequência em função do tempo)

## 2.2.3 Apresentação do Estudo de Transientes

### 2.2.3.1 Esquema do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta base do Projeto.

O Esquema Básico utilizado nas simulações hidráulicas é apresentado nas figuras seguintes. A notação de todos os nós é identificada em planta da adutora e a notação dos nós principais (pontos altos) é identificada em corte do perfil da adutora.

Figura 7 – Simulações hidráulicas em Regime Transiente - Notação dos Nós Principais na Planta da adutora.

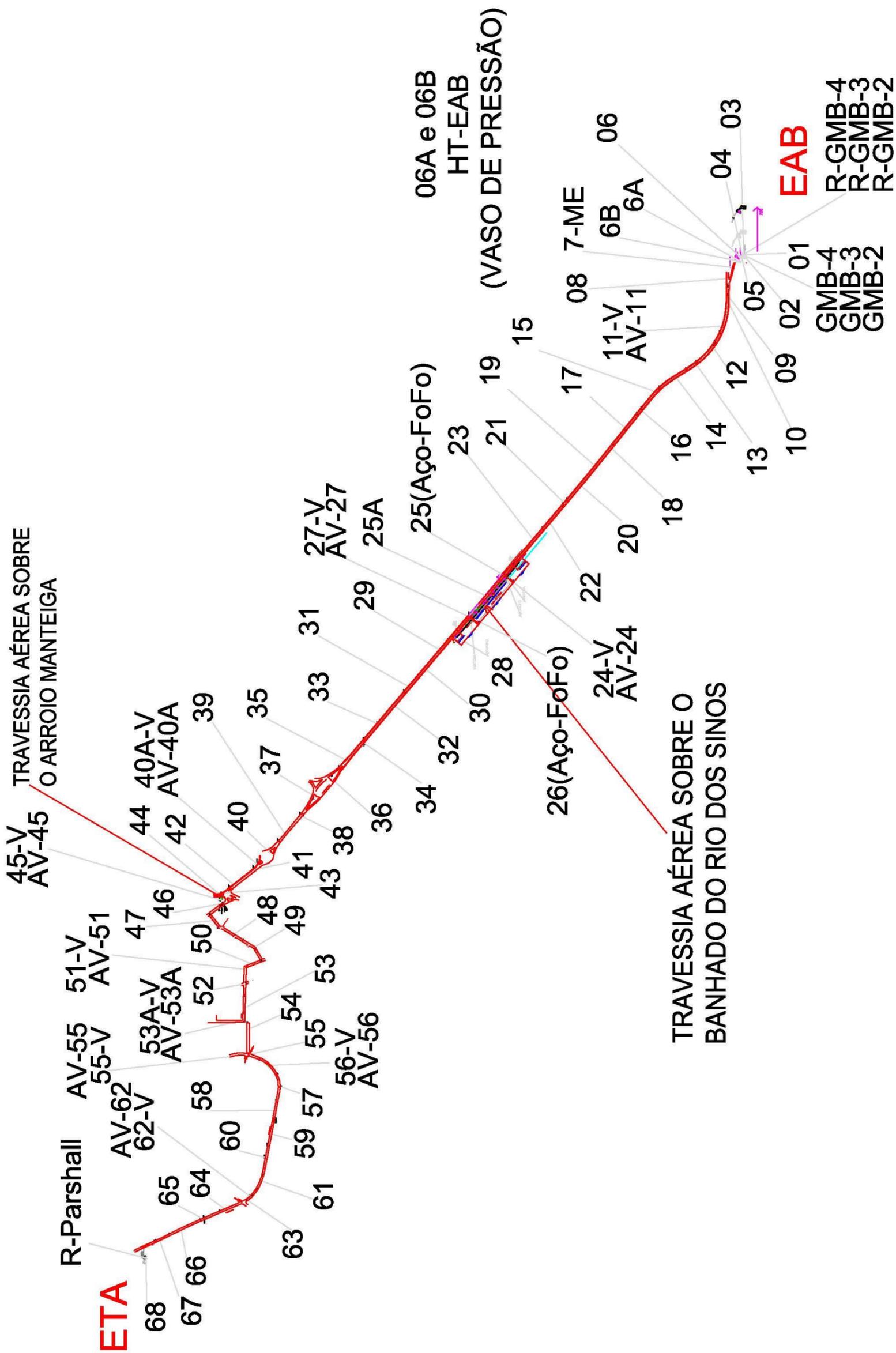


Figura 8 - Simulações hidráulicas em Regime Transiente - Notação dos Nós Principais no Perfil da adutora.

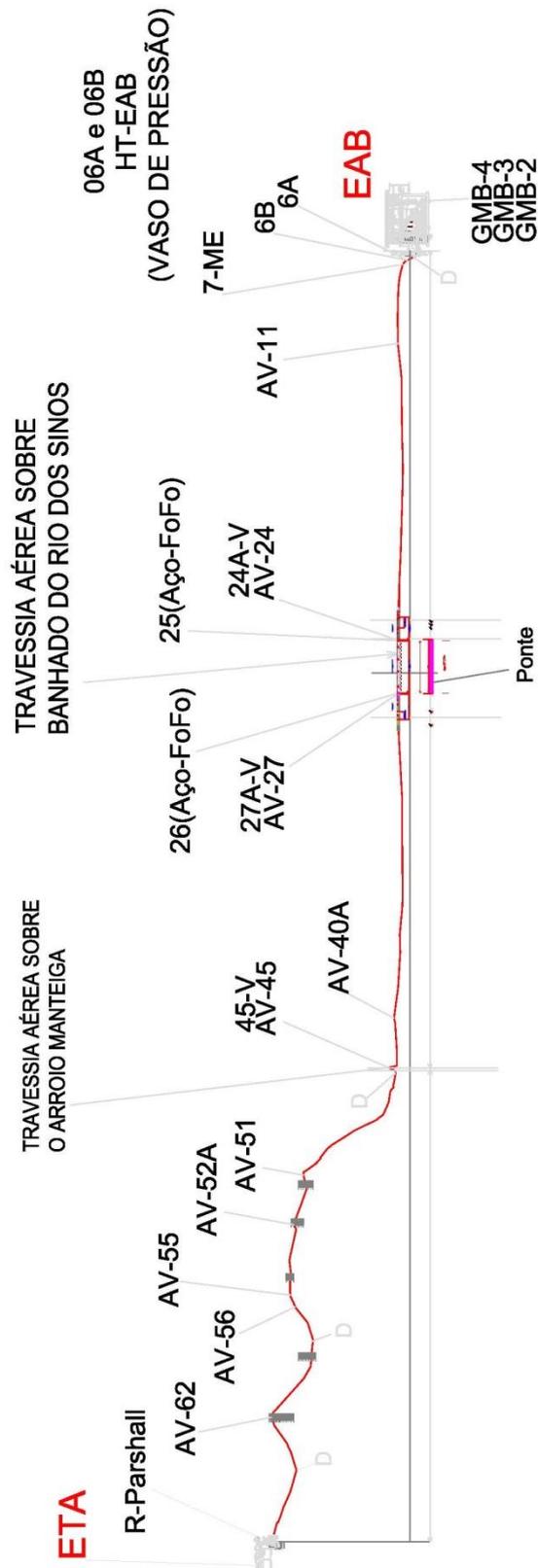


Figura 9 – Visualização do Esquema Básico utilizado nas simulações hidráulicas – **Notação dos Nós e Trechos junto a EAB** (Nós R-GMB-2/ R-GMB-3/ R-GMB-4: poço de sucção; Trechos P01/ P01A/ P01B: tubo de sucção; Trechos P02/ P02A/ P02B: Entrada da Bomba; Trechos P03/ P03A/ P03B: Saída da Bomba; Trechos P04/ P04A/ P04B: Barrilete de saída de cada Bomba; Trechos P05/ P06: linha adutora junto as bombas; P07: linha adutora; Nós GMB-2/ GMB-3/ GMB-4: grupos moto-bombas).

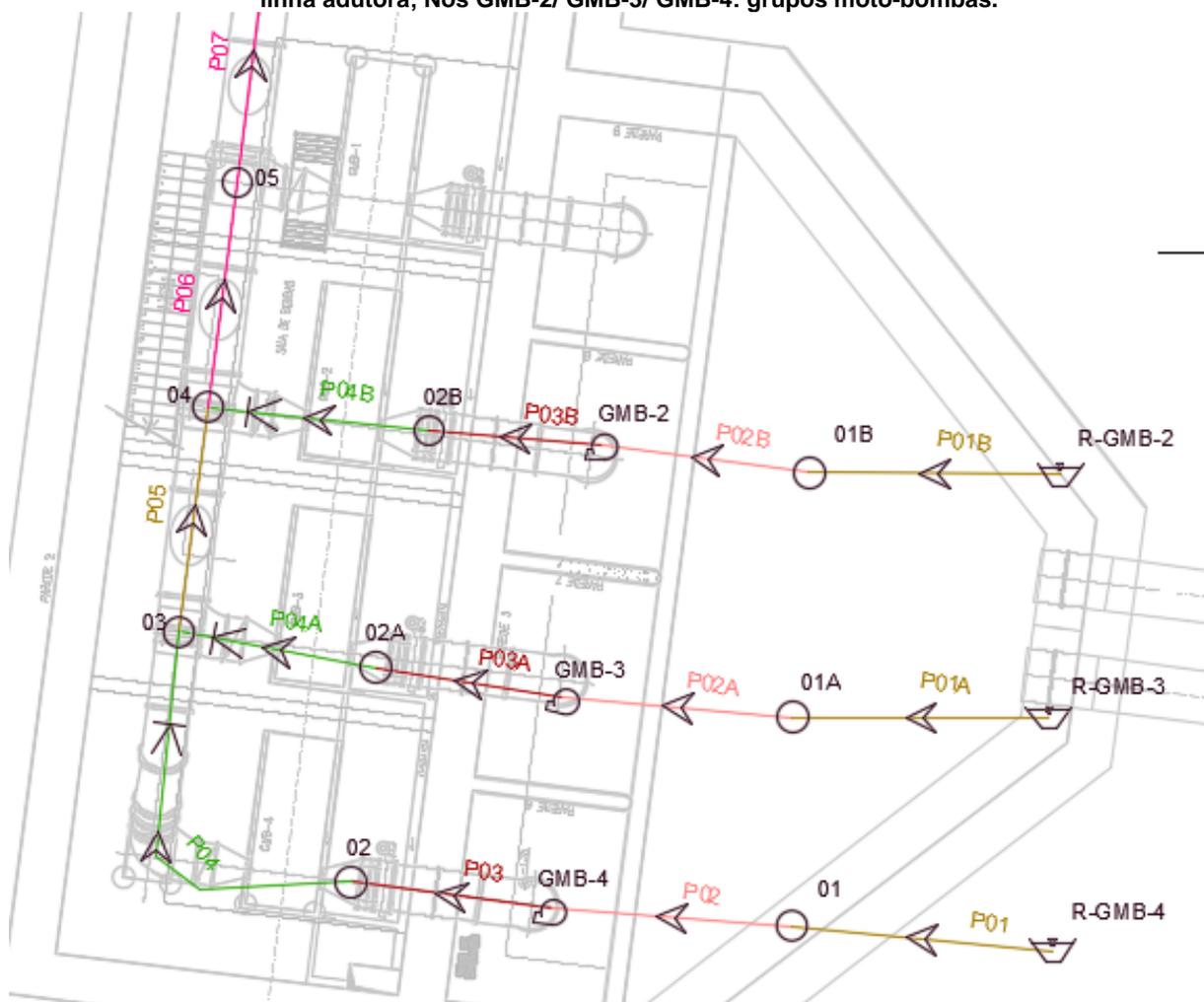


Figura 10 – Visualização do Esquema Básico utilizado nas simulações hidráulicas – **Notação dos Nós e Trechos junto aos Tanques Hidropneumáticos** (P08/P08A/P09: trechos da adutora em ferro fundido dúctil; P08B/P08C: trechos de interligação da adutora com os tanques hidropneumáticos (HT); Nós 06A/06B: interligação com o HT; Nós HT-EAB-01/ HT-EAB-02: tanques hidropneumáticos).

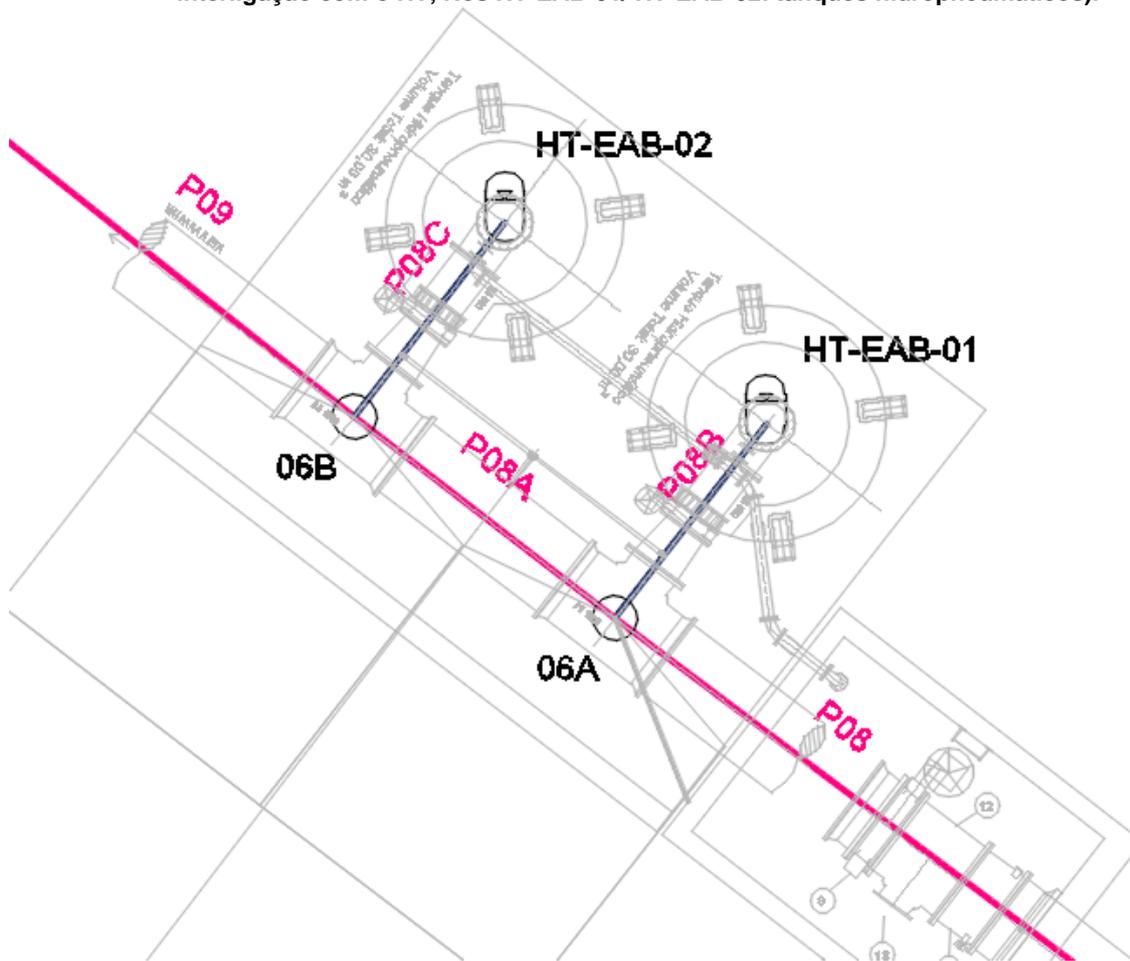


Figura 11 – Visualização do Esquema Básico utilizado nas simulações hidráulicas – **Notação dos Nós e Trechos junto a Travessia sobre o banhado do Rio dos Sinos – Vista Geral** (Trechos P29 e P30: trechos em aço carbono; Nó 25: final do trecho de aço carbono; Nó 24-V/AV-24: Nós referente a Ventosa; Trechos P28/P27: trechos em ferro fundido dúctil; Nó 26: final do trecho de aço carbono; Nó 27-V/AV-27: Nós referente a Ventosa; Trechos P31/P32: trechos em ferro fundido dúctil).

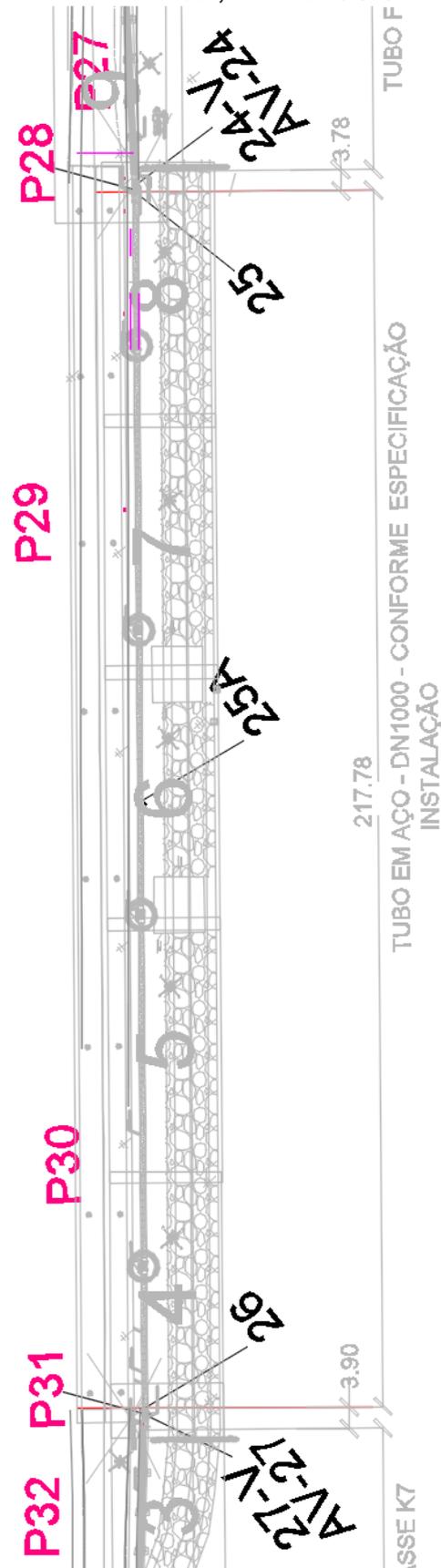


Figura 12 – Visualização do Esquema Básico utilizado nas simulações hidráulicas – **Notação dos Nós e Trechos junto a Travessia sobre o banhado do Rio dos Sinos – Nós e Trechos junto as Ventosas de montante** (Trecho P29: trecho em aço carbono; Nó 25: final do trecho de aço carbono; Nó 24-V/AV-24: Nós referente a Ventosa; Trechos P28/P27: trechos em ferro fundido dúctil).

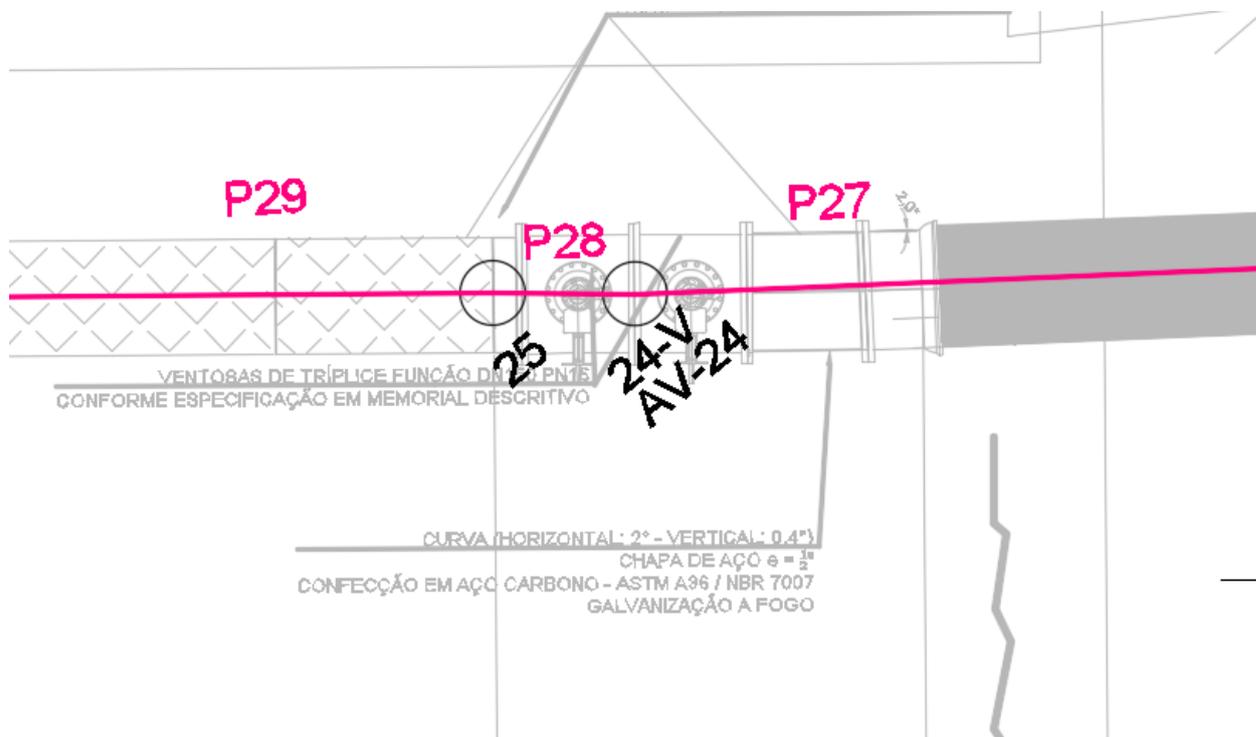
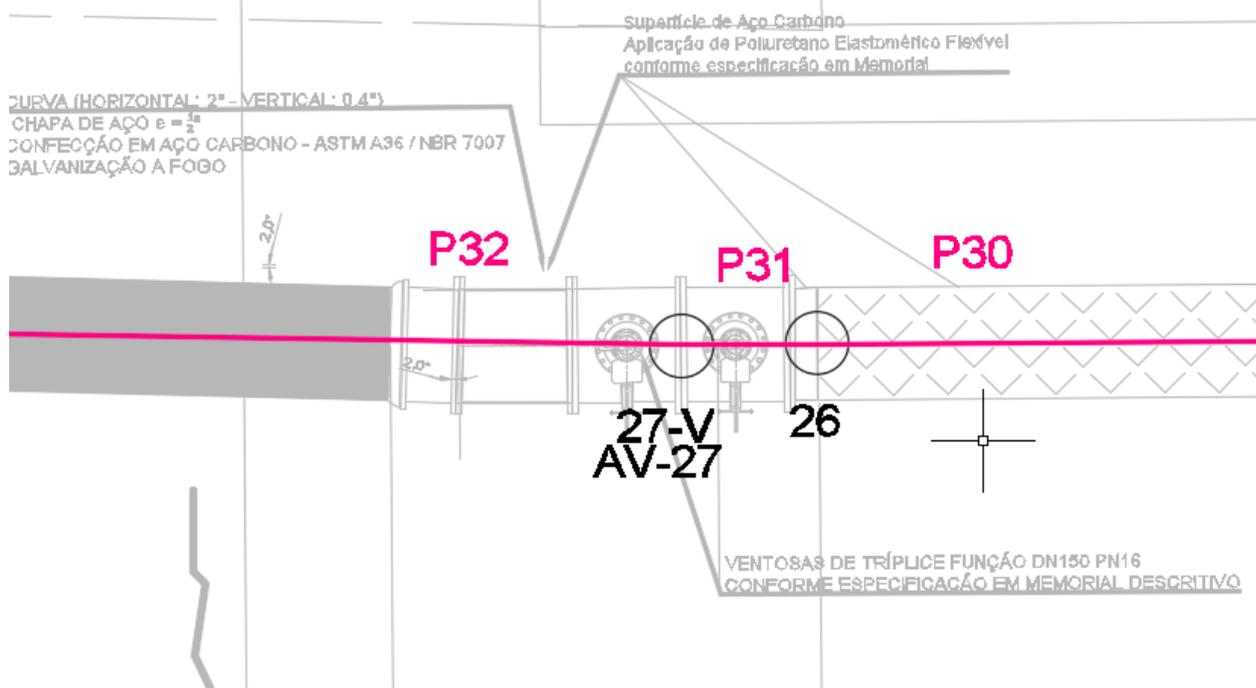


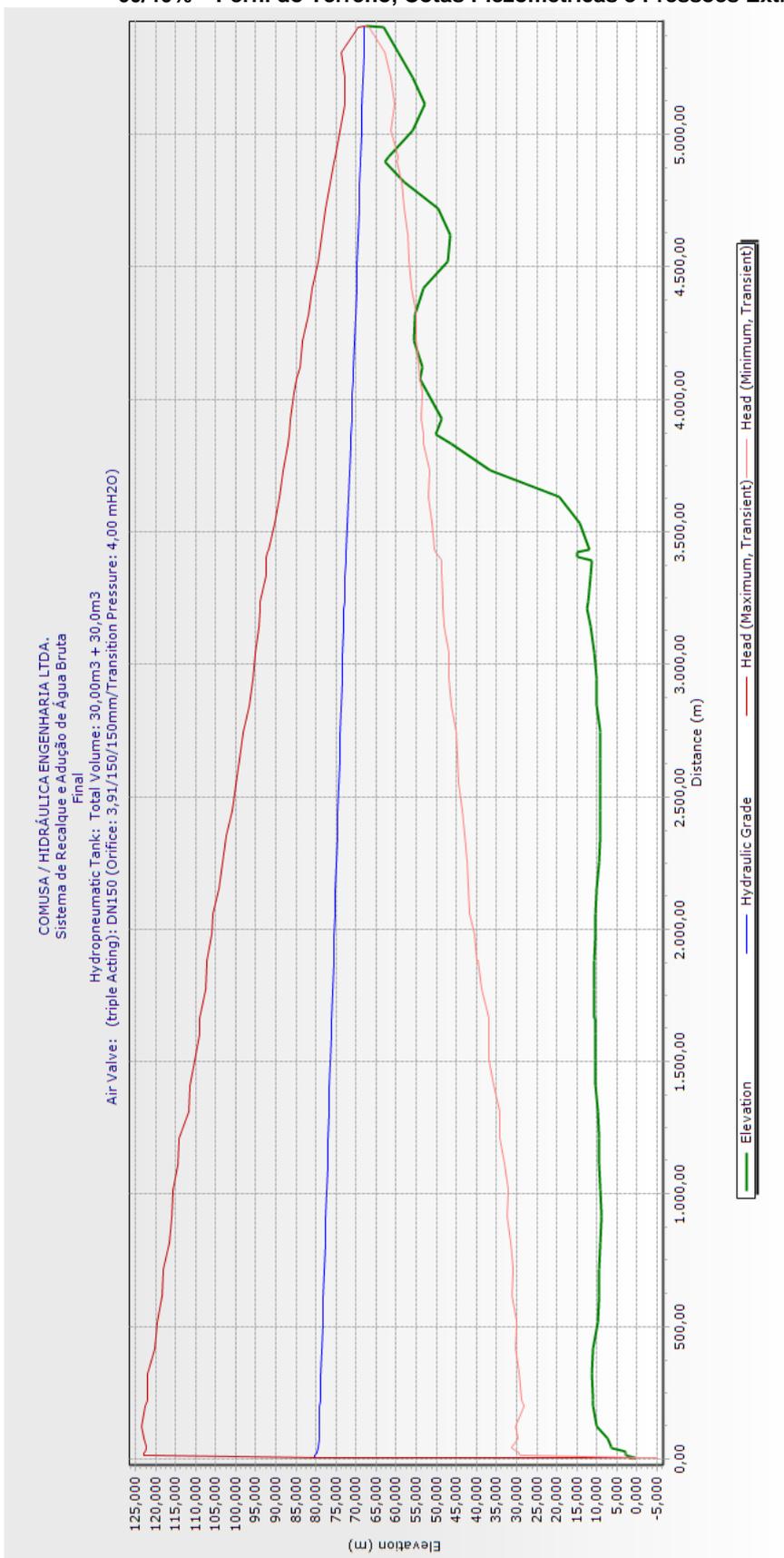
Figura 13 – Visualização do Esquema Básico utilizado nas simulações hidráulicas – **Notação dos Nós e Trechos junto a Travessia sobre o banhado do Rio dos Sinos – Nós e Trecho junto as Ventosas de jusante** (Trecho P30: trecho em aço carbono; Nó 26: final do trecho de aço carbono; Nó 27-V/AV-27: Nós referente a Ventosa; Trechos P31/P32: trechos em ferro fundido dúctil).



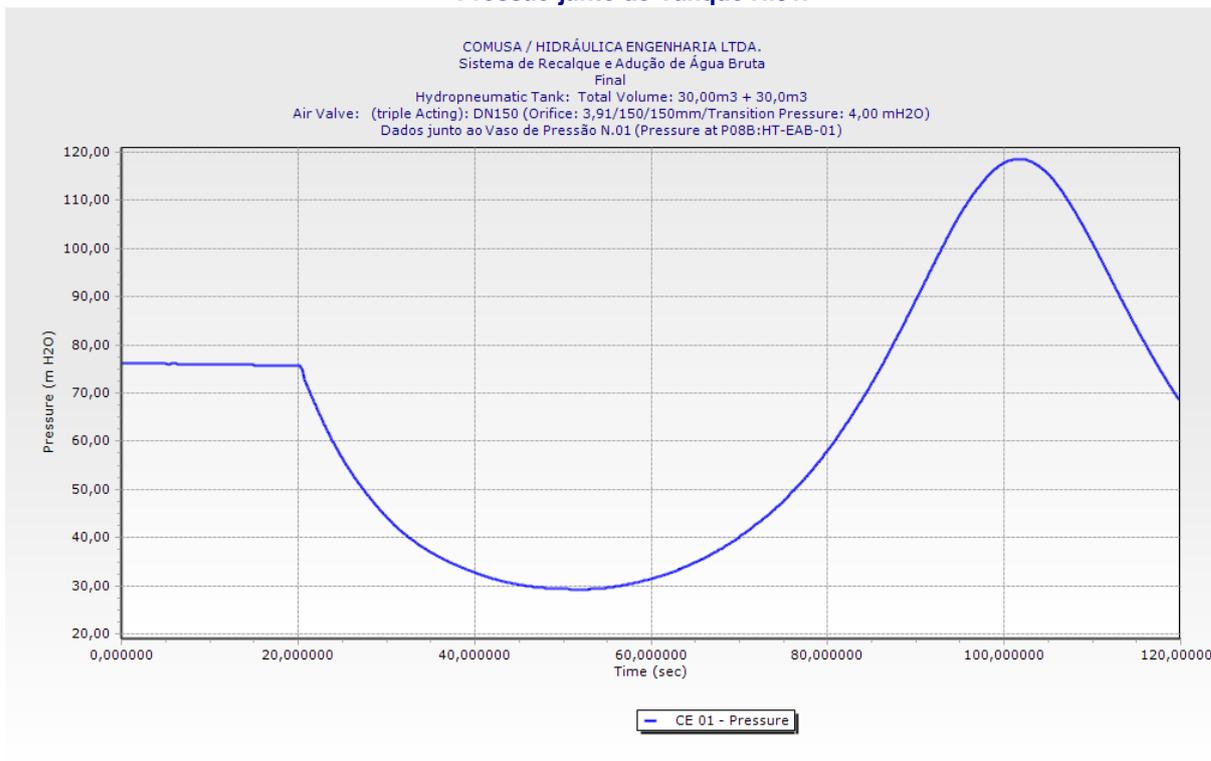
### 2.2.3.2 Operação com os Equipamentos de Proteção projetados para possibilitar o controle do “Golpe de Aríete” e assegurar a adequada operação das instalações.

O projeto da Unidade de Controle das pressões transientes visa proporcionar a operação adequada do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta. São referenciados a **EAB**, unidade que exige a não ocorrência de variações bruscas excessivas de pressão para assegurar a sua operação normal e a adequada vida útil de seus equipamentos, a adutora de água bruta em sua maior extensão, assentada em vala com envoltória em solo granular, e as **Travessias Aéreas da Adutora**, trechos da adutora que não devem sofrer pressões negativas durante o regime transiente. As condições extremas de pressão atingidas com a *parada não programada* da **EAB** sem a atuação dos equipamentos de proteção projetados já foram apresentadas nos produtos anteriores. Para o controle das pressões do regime transiente serão instalados dois Vasos de Pressão (Tanque Hidropneumático com Bexigas ou Tanque Hidropneumático acionado por Compressor de Ar) de volume total igual a 30,0 m<sup>3</sup> para cada unidade. A relação entre o volume de água e o volume de ar é de 60,0 % e 40,0 %, respectivamente. Foram previstas na simulação a instalação das ventosas conforme especificação já apresentada. As pressões extremas geradas pelo fenômeno do Golpe de Aríete são apresentadas a seguir.

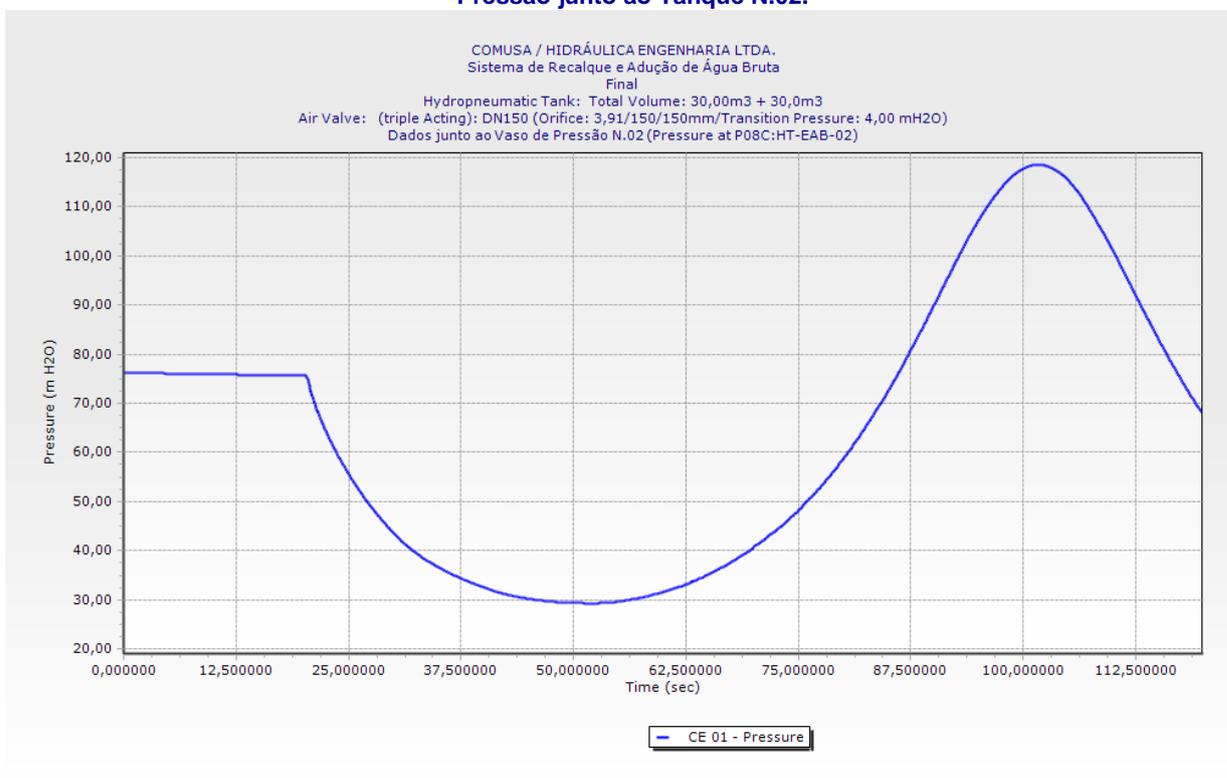
**Figura 14 – Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta –*Simulação da Operação em Regime Transiente com os Equipamentos de Proteção Projetados*: Tanque Hidropneumático com Bexigas ou Tanque Hidropneumático acionado por Compressor de Ar: Vol.: 30,0 m<sup>3</sup> + 30,0 m<sup>3</sup>; Relação Vol. Água/Vol. Ar: 60/40% – Perfil do Terreno, Cotas Piezométricas e Pressões Extremas na linha adutora.**



**Figura 15 – Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta – *Operação em Regime Transiente com os Equipamentos de Proteção Projetados*: Tanque Hidropneumático com Bexigas ou Tanque Hidropneumático acionado por Compressor de Ar: Vol.: 30,0 m<sup>3</sup> + 30,0 m<sup>3</sup>; Relação Vol. Água/Vol. Ar: 60/40% – Dados de Pressão junto ao Tanque N.01.**



**Figura 16 – Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta – *Operação em Regime Transiente com os Equipamentos de Proteção Projetados*: Tanque Hidropneumático com Bexigas ou Tanque Hidropneumático acionado por Compressor de Ar: Vol.: 30,0 m<sup>3</sup> + 30,0 m<sup>3</sup>; Relação Vol. Água/Vol. Ar: 60/40% – Dados de Pressão junto ao Tanque N.02.**



### **2.2.3.3** Planilhas dos Trechos da linha adutora e derivações para equipamentos

As tabelas seguintes apresentam as planilhas com os dados de comprimento e diâmetro interno dos trechos da linha adutora, considerando os trechos das derivações para a instalação das ventosas e tanques hidropneumáticos.

Tabela 1 – Planilha dos Trechos e Derivações para os Equipamentos instalados – Parte 01.

Label	Start Node	Stop Node	Internal Diameter (mm)	Length (m)	Material
P01	1	R-GMB-4	900	3,92	Ductile Iron
P01A	01A	R-GMB-3	900	3,92	Ductile Iron
P01B	01B	R-GMB-2	900	3,92	Ductile Iron
P02	GMB-4	1	350	0,10	Ductile Iron
P02A	GMB-3	01A	350	0,10	Ductile Iron
P02B	GMB-2	01B	350	0,10	Ductile Iron
P03	2	GMB-4	300	0,10	Ductile Iron
P03A	02A	GMB-3	300	0,10	Ductile Iron
P03B	02B	GMB-2	300	0,10	Ductile Iron
P04	2	3	800	8,16	Ductile Iron
P04A	02A	3	800	4,50	Ductile Iron
P04B	02B	4	800	4,50	Ductile Iron
P05	4	3	900	4,29	Ductile Iron
P06	5	4	1.015	4,29	Ductile Iron
P07	05A	5	1.015	4,52	Ductile Iron
P07A	6	05A	1.015	1,34	Ductile Iron
P08	06A	6	1.015	14,68	Ductile Iron
P08A	06B	06A	1.015	3,64	Ductile Iron
P08B	06A	HT-EAB-01	500	5,00	Ductile Iron
P08C	06B	HT-EAB-02	500	5,00	Ductile Iron
P08D	06A	SV-EAB	200	1,00	Ductile Iron
P09	07-ME	06B	1.015	32,40	Ductile Iron
P10	8	07-ME	1.015	45,61	Ductile Iron
P11	9	8	1.015	75,20	Ductile Iron
P12	10	9	1.015	22,52	Ductile Iron
P13	11	10	1.015	99,00	Ductile Iron
P13A	11	AV-11	150	0,50	Ductile Iron
P14	12	11	1.015	99,00	Ductile Iron
P15	13	12	1.015	99,00	Ductile Iron
P16	14	13	1.015	99,00	Ductile Iron
P17	15	14	1.015	99,00	Ductile Iron
P18	16	15	1.015	100,00	Ductile Iron
P19	17	16	1.015	99,00	Ductile Iron
P20	18	17	1.015	100,00	Ductile Iron
P21	19	18	1.015	98,00	Ductile Iron
P22	20	19	1.015	98,00	Ductile Iron
P23	21	20	1.015	98,00	Ductile Iron
P24	22	21	1.015	99,00	Ductile Iron
P25	23	22	1.015	99,00	Ductile Iron
P26	23	23A-V	1.015	97,45	Ductile Iron
P27	24-V	23A-V	1.015	57,79	Ductile Iron
P27A	24-V	AV-23A	150	0,50	Ductile Iron
P28	25	24-V	1.015	1,25	Ductile Iron
P29	25A	25	1.000	108,89	Steel
P30	26	25A	1.000	108,89	Steel
P30A	27-V	AV-28A	150	0,50	Ductile Iron
P31	27-V	26	1.015	1,25	Ductile Iron
P32	27-V	28	1.015	98,00	Ductile Iron
P33	29	28	1.015	77,01	Ductile Iron
P34	30	29	1.015	97,98	Ductile Iron

Tabela 2 – Planilha dos Trechos e Derivações para os Equipamentos instalados – Parte 02.

Label	Start Node	Stop Node	Internal Diameter (mm)	Length (m)	Material
P35	31	30	1.015	97,70	Ductile Iron
P36	32	31	1.015	97,92	Ductile Iron
P37	33	32	1.015	97,70	Ductile Iron
P38	34	33	1.015	98,00	Ductile Iron
P39	35	34	1.015	98,00	Ductile Iron
P40	36	35	1.015	100,00	Ductile Iron
P41	37	36	1.015	99,00	Ductile Iron
P42	38	37	1.015	99,00	Ductile Iron
P43	39	38	1.015	98,00	Ductile Iron
P44	40	39	1.015	99,00	Ductile Iron
P45	40A	40	1.015	69,31	Ductile Iron
P45A	40A	AV-40A	150	0,50	Ductile Iron
P46	41	40A	1.015	28,39	Ductile Iron
P47	42	41	1.015	97,70	Ductile Iron
P48	43	42	1.015	55,13	Ductile Iron
P49	44	43	1.015	15,12	Ductile Iron
P50	45	44	1.015	15,86	Ductile Iron
P50A	45	AV-45	150	0,50	Ductile Iron
P51	46	45	1.015	11,62	Ductile Iron
P52	47	46	1.015	99,00	Ductile Iron
P53	48	47	1.015	99,00	Ductile Iron
P54	49	48	1.015	99,00	Ductile Iron
P55	50	49	1.015	99,00	Ductile Iron
P56	51	50	1.015	39,11	Ductile Iron
P56A	51	AV-51	150	0,50	Ductile Iron
P56B	51	ST-51	600	3,00	Ductile Iron
P57	52	51	1.015	58,58	Ductile Iron
P58	53	52	1.015	99,00	Ductile Iron
P59	53A	53	1.015	48,37	Ductile Iron
P59A	53A	AV-53A	150	0,50	Ductile Iron
P60	54	53A	1.015	49,35	Ductile Iron
P61	55	54	1.015	99,00	Ductile Iron
P61A	55	AV-55	150	0,50	Ductile Iron
P61B	55	ST-55	600	3,00	Ductile Iron
P62	56	55	1.015	99,00	Ductile Iron
P62A	56	AV-56	150	0,50	Ductile Iron
P63	57	56	1.015	99,00	Ductile Iron
P64	58	57	1.015	100,00	Ductile Iron
P65	59	58	1.015	99,00	Ductile Iron
P66	60	59	1.015	99,00	Ductile Iron
P67	61	60	1.015	99,00	Ductile Iron
P68	62	61	1.015	78,79	Ductile Iron
P68A	62	AV-62	150	0,50	Ductile Iron
P68B	62	ST-62	600	6,00	Ductile Iron
P69	63	62	1.015	18,90	Ductile Iron
P70	64	63	1.015	99,00	Ductile Iron
P71	65	64	1.015	100,00	Ductile Iron
P72	66	65	1.015	99,00	Ductile Iron
P73	67	66	1.015	98,00	Ductile Iron
P74	68	67	1.015	93,35	Ductile Iron
P75	R-Parshall	68	1.015	4,35	Ductile Iron

### 2.2.3.4 Planilha dos Dados das Pressões do Regime Transiente (Planilhas dos Nós da linha adutora).

As tabelas seguintes apresentam as planilhas com as Pressões Extremas resultantes da simulação da operação em Regime Transiente do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta. São incluídos nos Nós os Equipamentos instalados como os Grupos Moto-Bombas, os Vasos de Pressão e as Ventosas.

**Tabela 3 – Planilha das Pressões do Regime Transiente com os Equipamentos de Proteção (Planilha dos Nós do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta) – Parte 01.**

Junction Label	Elevation (m)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)
1	0,35	2	0,07
01A	0,35	1,97	0,11
01B	0,35	1,84	0,24
2	0,624	79,8	-0,78
02A	0,624	79,82	-0,78
02B	0,624	79,57	-0,78
3	2,95	119,8	26,19
4	2,95	119,67	26,31
5	2,95	119,65	26,52
05A	2,95	119,54	26,74
6	2,95	119,44	27,06
06A	6,5	115,52	24,5
06B	6,5	115,57	24,56
07-ME	7,5	115,21	22,08
8	9,95	113,32	20,22
9	10,885	111,41	17,37
10	10,929	110,86	17,7
11	11,145	110,71	18,31
12	10,978	109,08	19,16
13	9,914	109,47	20,13
14	9,434	108,63	21,65
15	9,381	108,36	21,39
16	9,307	107,03	22,09
17	8,979	106,8	23,51
18	9,03	106,33	22,95
19	9,339	104,83	23,75
20	9,606	104,29	24,49
21	9,919	101,68	24,1
22	10,329	100,85	25,35
23	10,488	99,66	26,32
23A-V	10,491	98,37	26,44
24-V	10,521	98,27	26,31
25	10,53	98,38	26,31
25A	10,528	96,9	28,05

Tabela 4 – Planilha das Pressões do Regime Transiente com os Equipamentos de Proteção (Planilha dos Nós do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta) – Parte 02.

Junction Label	Elevation (m)	Pressure (Maximum, Transient) (m H <sub>2</sub> O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H <sub>2</sub> O)
26	10,527	96,43	29,17
27-V	10,593	96,32	29,18
28	10,518	95,43	29,96
29	10,448	95,04	31,33
30	9,946	94,02	32,1
31	9,443	93,79	32,72
32	9,261	93,08	33,66
33	9,228	91,6	34,18
34	9,153	90,6	35,23
35	9,113	89,85	35,69
36	9,241	88,74	35,81
37	10,118	86,24	36,1
38	10,099	85,53	36,55
39	10,696	84,17	36,01
40	11,708	82,35	36,33
40A	12,613	81,01	35,69
41	12,062	81,81	36,37
42	11,486	80,69	37,07
43	11,367	80,77	37,12
44	14,89	77,29	34,21
45	14,869	77,03	35,19
46	11,973	79,58	38,4
47	14,398	75,75	36,74
48	19,465	69,48	32,46
49	36,699	51,32	15,12
50	46,227	40,83	6,91
51	50,054	36,44	3,21
52	48,712	37,54	4,96
53	52,278	33,01	1,38
53A	54,031	30,88	-0,04
54	53,597	30,41	0,89
55	55,724	27,46	-0,62

**Tabela 5 – Planilha das Pressões do Regime Transiente com os Equipamentos de Proteção (Planilha dos Nós do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta) – Parte 03.**

Junction Label	Elevation (m)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)
56	55,47	26,25	-0,35
57	53,294	27,69	2,82
58	47,206	32,26	9,57
59	46,54	31,97	10,66
60	49,55	28	8,47
61	58,102	18,33	0,42
62	62,85	12,71	-3,07
63	62,105	13,13	-2,63
64	56,003	17,84	5,41
65	52,927	19,97	7,58
66	55,879	16,98	5,35
67	59,692	14,05	3,13
68	63,058	6,51	3,72
AV-11	11,145	111,07	17,79
AV-23A	10,53	98,54	25,81
AV-28A	10,66	97,14	28,75
AV-40A	12,61	81,69	35,33
AV-45	14,869	77,58	34,93
AV-51	50,054	38,37	2,9
AV-53A	54,031	32,55	0
AV-55	55,724	28,84	0
AV-56	55,47	27,58	0
AV-62	63,85	99,04	0
GMB-2	0,624	80,21	-5,11
GMB-3	0,624	80,36	-5,54
GMB-4	0,624	80,37	-5,62
R-GMB-2	1,4	0	0
R-GMB-3	1,4	0	0
R-GMB-4	1,4	0	0
R-Parshall	67,729	0	0

**Tabela 6 – Planilha das Pressões do Regime Transiente com os Equipamentos de Proteção (Vasos de Pressão).**

Label	Elevation (m)	Pressure (Maximum, Transient) (m H2O)	Pressure (Minimum, Transient) (m H2O)	Gas Volume (Maximum, Transient) (m <sup>3</sup> )	Gas Volume (Minimum, Transient) (m <sup>3</sup> )	Volume (Tank) (m <sup>3</sup> )
HT-EAB-02	2,95	118,59	29,32	13,28	12,247	30
HT-EAB-01	2,95	118,62	29,31	13,225	12,238	30

Conforme já visualizado nos gráficos com os resultados da simulação hidráulica, a linha das pressões mínimas em regime transiente é elevada em relação ao perfil do terreno que apresenta cotas iguais ou inferiores a 20,00 m (a partir da tubulação de recalque da EAB). A linha das pressões mínimas tem pressões negativas somente na sucção das bombas e nos pontos altos da adutora de cota de terreno maiores ou igual a 45,00 m, o que garante com alta segurança as condições de operação dos trechos da adutora em ferro fundido dúctil assentados em vala conforme projeto.

No trecho da travessia aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos, trecho da tubulação de aço carbono (trecho entre os nós 24 e 27) as pressões mínimas são superiores a 25,00 m. O tanque hidropneumático assegura a não ocorrência das pressões negativas nos trechos aéreos da adutora (não há a possibilidade de colapso da tubulação de aço).

Os resultados obtidos do estudo do regime transiente da linha principal (adutora DN1000) são os dados que devem ser observados; Os resultados das simulações com os dados das válvulas de ar (ventosas de tríplex função), em função da dificuldade da interpretação adequada da sua operação nos curto (rápido) tempo do regime transiente, geralmente apresentam valores não reais para as pressões máximas e mínimas no seu nó de instalação. É necessária prudência na interpretação dos resultados e a revisão dos dados utilizados para as válvulas de ar. Mesmo resultados bem favoráveis devem ser questionados e levar em conta sempre que as ventosas não devem ser consideradas equipamentos de controle ao golpe de aríete. Valem sempre e principalmente os dados das pressões nos nós da tubulação adutora onde está instalado o tê da ventosa.

#### 2.2.4 Especificações dos Tanques Hidropneumáticos

O presente projeto previu a opção da instalação de Tanques Hidropneumáticos com Bexiga Interna ou de Tanques Hidropneumáticos com Compressor de AR. A decisão sobre o equipamento a ser instalado deve respeitar as especificações gerais contidas neste documento. Conforme definições em comum com a COMUSA serão instalados dois tanques de volume total de 30,00 m<sup>3</sup> cada um. Os tanques, tubulação e válvula da Unidade de Controle projetada devem ser adquiridos para a pressão de serviço de 16 bar.

#### 2.2.4.1 Especificações relacionadas ao tanque Hidropneumático de Bexiga

Os Tanques Hidropneumáticos para operar com Bexiga Interna (membrana flexível), deve ser adquirido para operar com água bruta (água para abastecimento público), com volume total de 30.000 litros, PN 16 Bar, construído a partir de chapas de aço, corpo cilíndrico e dois fundos elípticos ou torisféricos estampados em aço P265GH construído e testado de acordo com a diretriz europeia D.E.S.P nº97/23/CE e espessura de acordo com CODAP 2000 ou construído e inspecionado conforme o código ASME Seção VIII para vasos de pressão; categoria de risco IV; revestimento interno e externo em epóxi com espessura mínima interna de 150 micras e acabamento em laca RAL 2002 externamente; com uma única bexiga intercambiável em poliuretano ou butil, espessura de no mínimo 2mm e temperatura máxima de operação até 70°C; conexão flangeada, construída em aço carbono, para fixação da bexiga e interligação com a tubulação, com grade de proteção contra sucção da bexiga; a água bruta deve se movimentar por dentro da bexiga e o ar comprimido deverá ficar entre a parede externa da bexiga e a parede interna do tanque de modo que a bexiga não necessite ficar o tempo todo estendida, ou apresentação de adequação operacional similar; pressão máxima admissível 16 bar e pressão de teste 20 bar; posição vertical; bocal de inspeção de 100 mm e conexão à adutora de água bruta de 500 mm; extremidade flangeada conforme norma ABNT PN 16; controle de nível visual, magnético ou por peso; alças de içamento; conjunto de suporte para apoio e fixação dos reservatórios; manômetro, registros de esfera e válvula para pré-carga; produto com certificado de potabilidade WRAS (Water Regulations Advisory Scheme).

#### 2.2.4.2 Especificações relacionadas aos Tanque Hidropneumáticos com Compressor de Ar

Os Tanques hidropneumáticos para operar com compressor de Ar devem ser adquiridos para operar com água bruta (água para abastecimento público), com volume total de 30.000 litros, PN 16 Bar, construído a partir de chapas de aço, corpo cilíndrico e dois fundos elípticos ou torisféricos estampados em aço P265GH construído e testado de acordo com a diretriz europeia D.E.S.P nº97/23/CE e espessura de acordo com CODAP 2000 ou construído e inspecionado conforme o código ASME Seção VIII para vasos de pressão; categoria de risco IV; revestimento interno e externo em epóxi com espessura mínima interna de 150 micras e acabamento em laca RAL 2002 externamente; conexão flangeada para a interligação com a tubulação; pressão máxima admissível 16 bar e pressão de teste 20 bar; posição vertical; bocal de inspeção de 100 mm e conexão à adutora de água bruta de 500 mm; extremidade flangeada conforme norma ABNT PN 16; controle de nível visual, magnético ou por peso; alças de içamento; conjunto de suporte para apoio e fixação dos reservatórios; manômetro, registros de esfera e válvula para pré-carga; produto com certificado de potabilidade WRAS (Water Regulations Advisory Scheme).

Para a aquisição do Tanque Hidropneumático para operar com Compressor de Ar deverá ser adquirido o compressor para o preenchimento dos dois volumes em conjunto. Cada compressor de ar deve ter uma vazão efetiva de 2,04 m<sup>3</sup>/min, pressão de trabalho de 9 bar. Deve operar com nível de ruído igual ou inferior a 72 dB. Os dados de dimensionamento são apresentados a seguir.

- \_ Volume total dos dois tanques: 60,0 m<sup>3</sup> (30,0 m<sup>3</sup> + 30,0 m<sup>3</sup>);
- \_ Percentual Máximo do Volume de Ar considerado: 82,5 %;
- \_ Volume de Ar máximo no Tanque Hidropneumático: 49,5 m<sup>3</sup>;

- \_ Pressão de operação normal do Tanque: 90,00 mca (8,83 bar) (mínimo de 10% acima da pressão manométrica da Estação de Recalque);
- \_ Volume de ar efetivo nos dois tanques: 445,5 m<sup>3</sup> (associado a pressão de operação);
- \_ Volume de ar efetivo final nos dois tanques: 490,1 m<sup>3</sup> (associado a perda de 10% no recalque);
- \_ Perda de pressão no escoamento do ar:  $\Delta_p \cdot L = 0,10 \text{ mca}$ , obtido pela expressão:

$$\Delta_p \cdot L = \frac{CQ^2}{r \cdot d^5} \cdot L \quad , \quad \text{onde:}$$

\_  $\Delta_p$ : Perda de pressão unitária (PSI/m);

\_ L: Comprimento da tubulação (pé):  $L = 73,4 \text{ pé} (22,40 \text{ m})$ ;

\_ C: Coeficiente da tubulação:  $C = \frac{0,1025}{d^{0,31}} = 0,09$ , onde "d" é o diâmetro interno da tubulação (pol.);  $d = 1,50'' (38,0 \text{ mm})$ ;

\_ Q: Vazão volumétrica de ar livre que flui pela tubulação (pé cúbico/s);  $Q = 1,20 \text{ pe}^3/\text{s} (122,51 \text{ m}^3/\text{h})$ ;

\_ r: Relação de compressão (razão entre a pressão absoluta do ar e a pressão absoluta da atmosfera);  $r = 8,84 \text{ bar} / 0,98 \text{ bar}$  ou  $90,11 \text{ mca} / 10,00 \text{ mca}$ ;

\_ d: Diâmetro interno da tubulação (pol.);  $d = 1,50'' (38,0 \text{ mm})$ ; Tubo de aço carbono para Ar Comprimido (Limite de Escoamento (LE): 230Mpa - Aço SAE 1008/1010/1012 - DE42 (DN1.1/2")  $e = 2,0 \text{ mm}$  - Pressão de Trabalho (Conf. tabela da Alvenius): 88,0 kgf/cm<sup>2</sup>;

\_ Perda de carga localizada no escoamento do ar:  $p_{Loc.} = 0,01 \text{ mca}$  (10% da perda contínua);

\_ Pressão total para a operação do compressor de ar: 90,11 mca (8,84 bar)

\_ Potência estimada do compressor:  $P_e = 17,0 \text{ CV} (16,8 \text{ HP})$ , obtido pela expressão:

$$P_e = \frac{Q \cdot P_{total}}{225 \cdot \eta} \quad , \quad \text{onde:}$$

\_ Q: Vazão volumétrica de ar livre que flui pela tubulação (L/s);  $Q = 34,03 \text{ L/s}$ ;

\_ Pressão total (m);  $P_{total} = 90,11 \text{ mca}$ ;

\_  $\eta$ : Rendimento do Compressor de Ar:  $\eta = 80,0 \%$ .

\_ Potência comercial do motor: 20 HP (Percentual de segurança de 19,0 %);

#### 2.2.4.3 Consideração sobre o projeto da base dos tanques hidropneumáticos (projeto estrutural).

A base dos tanques foi definida considerando as dimensões em corte do bloco de ancoragem dos Tês.

De modo a possibilitar possíveis alterações necessárias na locação dos tanques, fica assegurado um novo posicionamento que não afaste em mais de 10,00 metros do ponto de interligação com a adutora (em relação ponto de interligação constante no presente projeto). O afastamento mínimo em relação ao ponto de interligação só é limitado às instalações das conexões e válvulas.

## 2.2.5 Controle da Operação dos Tanques Hidropneumáticos

### 2.2.5.1 Controle da Operação dos Tanques Hidropneumáticos com Compressor de Ar.

O controle da operação dos Tanques Hidropneumáticos operado com Compressor de Ar é de grande importância e decisivo para a continuidade da operação do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta nas condições de segurança estabelecidas neste projeto. O projeto de Automatização da Unidade é necessário (projeto elétrico / automação / instrumentação) e deve garantir a operação segura objetivando a manutenção do nível de água dentro dos tanques hidropneumáticos.

O Sistema de Controle da Operação dos Tanques Hidropneumáticos com Compressor de Ar inclui o projeto e execução das instalações elétricas, das instalações de automação e instrumentação. O Sistema de Controle a ser instalado deve estender além dos compressores de ar, as tubulações, peças, válvulas e demais unidades necessárias, a lógica e as alimentações necessárias, alcançando até o painel QGBT-CCM Compressor o qual receberá o alimentador do QGBT principal da nova EAB. Deve atender completamente o conteúdo da documentação existente no Memorial Descritivo do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta.

O enchimento de ar do tanque deve ser sempre executado com a válvula DN500 (ON-OFF) de isolamento fechada. A pressão de ar deve ser alcançada e então iniciada a abertura da válvula DN500 (abertura lenta - tempo de abertura total igual ou superior a 10 minutos). A válvula de purga de ar em operação já automatizada deve purgar o ar em conjunto com esta operação; a operação segue até que o nível pré-estabelecido de água no tanque seja alcançado.

Para a entrada do(s) tanque(s) em operação podemos ter as quatro situações descritas a seguir:

\_ Um tanque em operação - Enchimento **do outro tanque** com um compressor de ar: nesta condição o tempo de enchimento do tanque será de duas horas;

\_ Um tanque em operação - Enchimento **do outro tanque** com dois compressores: nesta condição o tempo de enchimento do tanque será de uma hora;

\_ Nenhum tanque em operação - Enchimento **dos dois tanques** com um compressor: nesta condição o tempo de enchimento do tanque será de quatro horas;

\_ Nenhum tanque em operação - Enchimento **dos dois tanques** com dois compressores: nesta condição o tempo de enchimento do tanque será de duas horas.

O controle da operação dos Tanques Hidropneumáticos com Compressor de Ar deve fazer a **reposição automática** do ar comprimido dissolvido; Tal reposição será através da atuação de válvulas solenoides, ou equipamentos similares que proporcionem uma maior segurança operacional, dispostas nas tubulações. O sistema de controle será responsável pela manutenção do nível de água dentro de cada um dos dois Tanques Hidropneumáticos, ocupando um volume próximo de 60% do seu volume, ou seja, 2x18,00 m<sup>3</sup>.

É exigido que a **medição automatizada e constante do nível de água no tanque**, condição imprescindível para disponibilizar aos tanques as ações necessárias e imediatas no caso de variação de pressão da adutora, o que pode ocorrer a qualquer momento, seja realizadas através de **transmissores de pressão instalados na parte superior e na parte inferior do tanque**. A operação dos transmissores possibilitará através do seu diferencial a determinação exata e automatizada do posicionamento da lâmina d'água no interior dos Tanques Hidropneumáticos.

De modo a promover redundância, devem ser previstas técnicas de medição de níveis independentes (para elevar o grau de resiliência a falhas do sistema, como por exemplo utilização de eletrodos).

Desta forma a operação necessária do controle operacional que exige a regulação da entrada e da saída do ar dos tanques, conforme a leitura do nível disponibilizado pelos transmissores de pressão diferencial, possibilitará a abertura ou o fechando das válvulas solenoides (uma válvula solenoide responsável pela purga de ar comprimido e outra pela pressurização).

Na operação de acionamento e desligamento de grupos moto-bombas, assim como na operação normal do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta, o controle operacional dos tanques deve possibilitar a recomposição imediata e adequada do volume de ar dissolvido na água. Na operação do Sistema de Recalque cuja condição operacional resulte na mudança do nível d'água para um valor imediatamente próximo e superior ao programado na automação (correspondente ao nível dos 60% de volume de água), a válvula solenoide deve então abrir de imediato (o tempo dito "imediato" é sempre relacionado ao período L/a do transitório, então aqui fixado em 5 s) para a devida pressurização dos tanques e então proceder a readequação do nível de água. No caso contrário, quando o nível d'água dentro do tanque atinge um valor inferior, programado na automação (correspondente ao nível dos 60% de volume de água), a válvula solenoide deve ser aberta de imediato para purga de ar dos tanques e readequação do nível de água.

O controle operacional deve então ser capaz de identificar e ajustar o nível ideal de fluido dentro do reservatório de acordo com a pressão da linha adutora, respondendo de imediato após o acionamento ou parada de uma bomba. Assim, o sistema de controle será capaz de controlar o nível em diferentes proporções, possibilitando deste modo atuar de acordo com a quantidade de bombas em funcionamento. Através do controle de nível dinâmico é possível reduzir o consumo de ar comprimido e a partida/parada do equipamento torna-se mais segura.

O controle operacional dos Tanques Hidropneumáticos prevê a medida de nível por transmissores de pressão diferencial também pela possibilidade da medição do nível da interface ar/água em toda altura do tanque. Tal condição operacional proporcionará a identificação de qualquer condição operacional indesejada (condições operacionais indesejadas que poderiam ocorrer relacionadas ao nível da coluna de água dentro do tanque estar muito baixa ou muito alta).

Com o objetivo então de proporcionar o controle adequado da operação dos Tanques Hidropneumáticos é prevista a atuação de "dataloggers" como meio para guarda de todos os dados de medição e assim possibilitar a criação de um banco de informações. O banco de informações deve incluir a elaboração/geração automática de curvas e gráficos do posicionamento do nível de água ao longo de tempos de operação distintos, possibilitando aos profissionais da equipe supervisora da operação e manutenção acompanhar, avaliar e estudar o comportamento em diversas etapas da operação do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta, por exemplo, na partida e parada das bombas.

No caso de ocorrência de qualquer "vazamento" no conjunto de equipamentos, o Sistema de Controle deve proporcionar a garantia da ação automatizada e segura do isolamento de um dos dois Tanques Hidropneumáticos (através de válvulas e outros equipamentos instalados), sem proporcionar quaisquer problemas na operação do outro Tanque.

O fornecedor dos Tanques e do Sistema de Controle de Operação deve apresentar a lógica de operacional de cada um dos seus componentes, tendo como base o objetivo geral da automação descrita neste memorial.

#### 2.2.5.2 Controle da Operação dos Tanques Hidropneumáticos com Bexiga.

O controle da operação dos Tanques Hidropneumáticos operado com Bexiga Interna, da mesma forma que o operado com compressor, é de grande importância e decisivo para a continuidade da operação do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta nas condições de segurança estabelecidas neste projeto. Mesmo que a operação seja diferenciada do tanque com compressor de ar (o tanque com bexiga tem a operação facilitada por não necessitar da correção dos volumes de ar e água), é prevista a Automatização da Unidade e deve garantir a operação segura objetivando a manutenção das condições adequadas dos tanques hidropneumáticos.

A isolamento obtida pela bexiga permite trabalhar com as pressões do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta.

O Sistema de Controle da Operação dos Tanques Hidropneumáticos com bexiga inclui o projeto e execução das instalações elétricas, das instalações de automação e instrumentação. Os indicadores e controladores utilizados devem possuir entrada para termopares, células de carga e sinais analógicos padronizados (4 a 20 mA ou 0 a 10 Vcc) configuráveis para visualizar os níveis de pressão e temperatura. O Sistema de Controle a ser instalado deve estender, as tubulações, peças, válvulas e demais unidades necessárias, a lógica e as alimentações necessárias, alcançando até o painel QGBT-CCM Compressor o qual receberá o alimentador do QGBT principal da nova EAB. Deve atender completamente o conteúdo da documentação existente no Memorial Descritivo do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta.

Os Tanques Hidropneumáticos devem vir com a bexiga calibrada para as condições descritas neste documento. O volume de água nos Tanques deve compensar a depressão produzida na tubulação na ocorrência do transitório hidráulico, possibilitando a variação constante do seu volume durante todo o período do regime transiente. A operação do tanque com bexiga deve em princípio proporcionar a manutenção do nível de água dentro de cada um dos dois Tanques Hidropneumáticos (volume próximo a 60% do seu volume total, ou seja, 2x18,00 m<sup>3</sup>).

É exigida a **medição automatizada e constante da pressão e temperatura no interior do tanque** objetivando assegurar as ações automáticas imediatas necessárias para o caso, além da entrada em regime transiente nos casos singulares da parada brusca do recalque por falta de energia elétrica) para no caso de variação de pressão da adutora.

Na operação de acionamento e desligamento de grupos moto-bombas, assim como na operação normal do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta, o controle operacional dos tanques deve possibilitar a recomposição imediata e adequada da pressão na bexiga.

O tanque com bexiga interna deve então ser capaz responder de imediato as condições operacionais dadas pelo acionamento ou parada de uma bomba, possibilitando deste modo atuar de acordo com a quantidade de bombas em funcionamento.

Com o objetivo então de proporcionar o controle adequado da operação dos Tanques Hidropneumáticos é prevista a atuação de “dataloggers” como meio para guarda dos dados de medição e assim possibilitar a criação de um banco de informações. O banco de informações deve incluir a elaboração/geração automática de curvas e gráficos das variáveis que mostrem as condições no interior do tanque (pressão, temperatura e outros se definidos pelo fabricante) ao longo de tempos de operação distintos, possibilitando aos profissionais da equipe supervisora da operação e manutenção acompanhar, avaliar e estudar o comportamento em diversas etapas da operação do Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta, por exemplo, na partida e parada das bombas.

No caso de ocorrência de qualquer problema operacional em um dos tanques o Sistema de Controle deve possibilitar a ativação de sirene além da sinalização em supervísório. O isolamento do Tanque Hidropneumático apresentado qualquer defeito deve ser feito sem proporcionar quaisquer problemas na operação do outro Tanque.

O fornecedor dos Tanques e do Sistema de Controle de Operação deve apresentar a lógica de operacional de cada um dos seus componentes, tendo como base o objetivo geral da automação descrita neste memorial. A bexiga deve ter a especificação já apresentada, incluindo a necessidade do seu rápido fornecimento. O tempo de entrega da bexiga fica estipulado em no máximo 20 dias. Tal limite de fornecimento está relacionado ao limite de vazão de adução com a operação então de apenas um Tanque Hidropneumático (que limita a operação com a vazão máxima de 650 L/s, ou seja, aproximadamente 2/3 da operação inicialmente planejada para a primeira etapa (~950 L/s).

#### 2.2.5.3 Controle da Operação Adicionais para os Tanques Hidropneumáticos (com bexiga ou operados com compressor de ar).

Caso um dos tanques apresente defeito, e passe a perder pressão, o sistema automatizado deve informar em supervísório e em sinal sonoro tal ocorrência. A unidade deve ser retirada de operação com urgência através do fechamento normal da válvula ON-OFF DN500. A manobra da válvula de DN500 por prudência deve ser fechada de forma lenta (tempo de fechamento mínimo de 5 minutos).

Na operação normal a pressão interna do tanque vai se igualar a pressão da adutora; As perdas de pressão / vazão no sistema de recalque de ar atmosférico são reais e foram previstas no cálculo do compressor. A operação do sistema de recalque do ar garantirá em operação automática o acréscimo do déficit de volume apresentado no tanque.

A pressão normal junto ao tanque é levemente inferior e próxima a Altura Manométrica Total da Bomba da **EAB** ( $H_{man} = 79,53$  mca). Objetivando superar perdas comuns observadas na operação deste tipo de instalação houve o critério no cálculo do compressor de ar de considerar também uma pressão no tanque superior no mínimo em 10% daquela pressão normal da linha adutora (mínimo então em torno de 87,48 mca, arredondado para 90 mca).

Considerando que as peças instaladas até a cota 20m, proximidades ao Arroio Manteiga, são em PN10, a condição de funcionamento com apenas 1 tanque deve ser excepcional. Desta forma, lembrando que as conexões com flanges PN10 tem sua pressão máxima de serviço e pressão de teste admissível igual a 1,2 MPa e superior a 1,5 Mpa, respectivamente, não é necessária a troca dos registros de descarga e parada instalados no Arroio Manteiga.

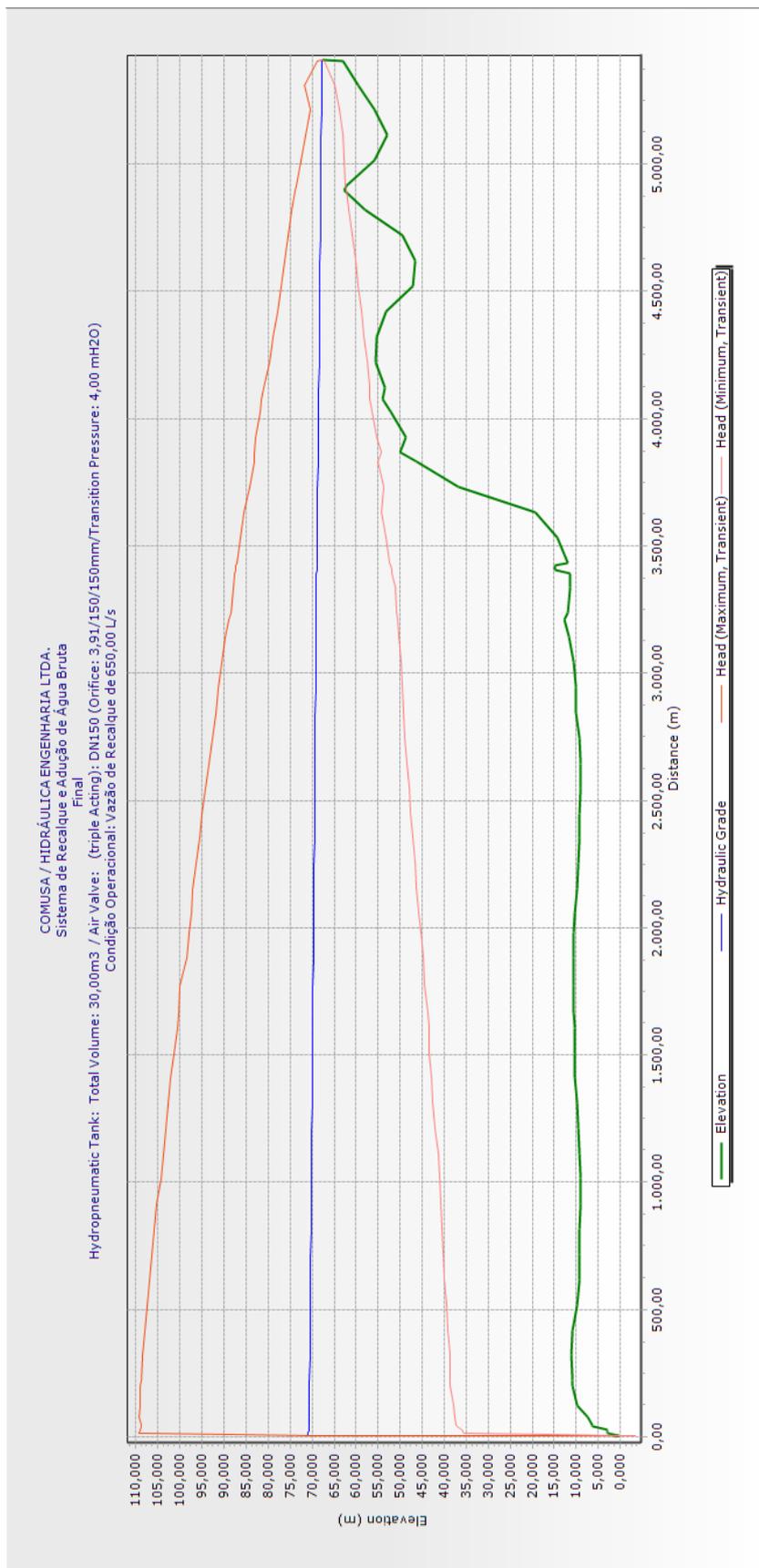
A operação com um só tanque hidropneumático a vazão de recalque de 650,00 L/s assegura, em caso de parada não programada das bombas, que as pressões máximas e mínimas geradas no regime de escoamento hidráulico transiente estão próximas aquelas a operação com os dois tanques e vazão de 1.300,00 L/s; Desta forma, se necessária a operação com um só tanque hidropneumático, a operação deve ser com a vazão de recalque de 650,00 L/s. O gráfico geral desta condição operacional é apresentado a seguir.

Não devem ser executados serviços de manutenção na linha adutora, nos seus trechos aéreos, com o Sistema de Recalque em operação. Cabe ressaltar que caso ocorra, o colapso da tubulação previsto é localizado (não há empuxos direcionados extremos) e assim não deve passar para a estrutura da travessia (vigas, pilares, fundações).

Foi projetada a tubulação de descarga do Tanque Hidropneumático através de tubulação flangeada PN10: Salienta-se que a válvula borboleta projetada deve ser de classe de pressão PN16 por estar ligada a pressão da linha adutora neste trecho a linha adutora tem classe de pressão PN16).

O fornecedor deve informar o método de aterramento a ser aplicado sobre a carcaça do tanque.

**Figura 17 – Sistema de Recalque e Adução de Água Bruta – Simulação da Operação em Regime Transiente com os Equipamentos de Proteção Projetados: Vazão de Recalque de 650,00 L/s e Tanque Hidropneumático de volume igual a 30,0 m<sup>3</sup>; Relação Vol. Água/Vol. Ar: 60/40% – Perfil do Terreno, Cotas Piezométricas e Pressões Extremas na linha adutora.**



## 2.3 Ancoragens previstas no projeto da adutora de água bruta

A especificação contida neste item objetiva impossibilitar a ocorrência de movimentações das conexões da adutora de água bruta em sua operação normal e no caso de paradas não programadas/previstas da *Estação de Bombeamento de Água Bruta – EAB*. A especificação é direcionada a travessia aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos, mas estende-se a ancoragem das conexões de junta elástica da adutora, caso ainda não executadas.

### 2.3.1 Travessia Aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos – Ancoragens em geral (Trecho Sem Deflexão)

A travessia aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos foi projetada sobre estrutura de concreto armado conforme apresentado em item específico neste memorial descritivo. Foi prevista a execução da **travessia aérea sobre a estrutura de concreto armado sem deflexões na tubulação de aço carbono**.

A execução da travessia com os tubos de aço carbono exigirá os cuidados necessários já desde a colocação dos tubos em série para ser alcançado o alinhamento sem deflexões, anteriormente aos serviços de soldagem. O lançamento dos tubos, posteriormente a execução da travessia de concreto (cura mínima de 30 dias) será executado através de caminhão Munck de capacidade para até 10 toneladas (necessidade da utilização de meia pista da ponte da rodovia; uso de tapumes; liberação dos órgãos competentes e apoio da Polícia Militar, se possível). O lançamento dos dois primeiros tubos de aço só deve ser iniciado se garantida a infraestrutura de equipamentos e serviços para a continuidade imediata da obra (equipamentos e equipe de solda das tubulações de aço, já preparada).

Mesmo com todos os cuidados previstos para a execução da travessia, o que deve dar a garantia do alinhamento da tubulação de aço, foram dimensionadas as ancoragens baseadas em uma deflexão da junta soldada de 0,50 % (0,29 graus; tubo de 12,00 m: deflexão máxima de 6,0 cm). A pressão junto a conexão soldada foi considerada igual a 16 bar. O Empuxo Hidráulico calculado foi então igual a 627,30 kgf, definido pela equação:

$$E = 2.P.S.\text{sen} \frac{a}{2}$$
, onde, “E” é o empuxo Hidráulico (kgf), “P” é a pressão interna da tubulação (kgf/cm<sup>2</sup>), “S” é a secção interna da tubulação (cm<sup>2</sup>, e “a” o ângulo conexão soldada (rad).

O cálculo do comprimento de ancoragem definido para cada uma das duas barras de aço de 1/2”, é apresentado nos subitens seguintes.

\_ Resistência média do concreto à tração:

\_  $f_{ctm} = 2,90$  MPa, obtido pela fórmula:  $f_{ctm} = 0,3.f_{ck}^{2/3}$ , onde  $f_{ck} = 30$  MPa.

\_ Resistência do concreto à tração – Valor inferior de cálculo:

\_  $f_{ctk,inf} = 2,03$  MPa, obtido pela fórmula:  $f_{ctk,inf} = 0,7.f_{ctm}$ .

\_ Resistência de cálculo do concreto à tração:

\_  $f_{ctd} = 1,45$  MPa, obtido pela fórmula:  $f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_C}$ , onde  $\gamma_C = 1,4$ .

\_ Resistência Aderência de cálculo:

\_  $f_{bd} = 3,26$  MPa, obtido pela fórmula:  $f_{bd} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times f_{ctd}$ , onde:  $\eta_1 = 2,25$ , diâmetro das barras:  $\phi \leq 32\text{mm}$ :  $\eta_3 = 1,0$  (NBR 6118, item 9.3.2.1) e para situação de aderência: boa:  $\eta_2 = 1,0$  - (NBR 6118, item 9.3.2.1).

\_ Resistência de cálculo do Aço

\_  $f_{yd} = 217,4$  MPa, obtido pela fórmula:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$ , onde:  $f_{yk} = 250$  MPa e  $\gamma_s = 1,15$ .

\_ Comprimento de Ancoragem Básico:

\_  $l_b = 16,7 \times \phi = 21,2$  cm, obtido pela fórmula:  $l_b = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}}$ , onde:  $\phi = 1/2$ ".

\_ Força de cálculo a ancorar com a Barra de Aço de 1":

\_  $F_d = 4,3$  kN, obtido pela fórmula:  $F_d = \gamma_f \cdot F_1$ , onde:  $\gamma_f = 1,4$  e  $F_1 = 3,1$  kN.

\_ Resistência de cálculo da barra de 1/2" de diâmetro:

\_  $F_{yd} = 27,5$  kN, obtido pela fórmula:  $F_{yd} = A_{s1} \cdot f_{yd}$ , onde:  $A_{s1} = 1,27$  cm<sup>2</sup> (secção transversal da barra de 1/2").

\_ Comprimento de Ancoragem necessário:

\_  $l_{b,nec} = 3,31$  cm, obtido pela fórmula:  $l_{b,nec} = l_b \cdot \frac{F_d}{F_{yd}}$ .

\_ Verificação do valor mínimo de  $l_b$

\_  $l_{b,min} = 12,7$  cm, obtido pela fórmula:  $l_{b,min} = \text{Maior valor entre: } (0,3 \times l_b; 10 \times \phi; 10 \text{ cm})$ .

\_ Valor de  $l_b$ , final:

\_  $l_{b,final} = 12,7$  cm

\_ Comprimento de ancoragem projetado:

\_  $l_{b,proj} = 45,0$  cm (35,43  $\phi$ ).

\_ Figuras

Figura 18 – Diagrama de Forças junto a barra -  $F_{yd}$  ,  $F_{bd}$  ,  $l_b$  ,  $f_{bd}$ :

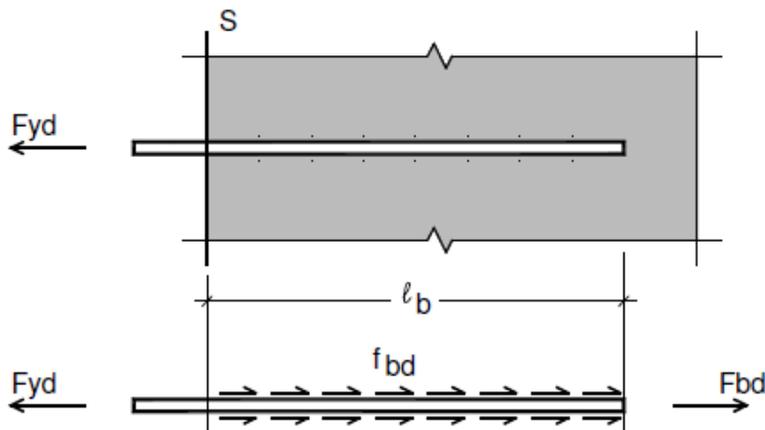
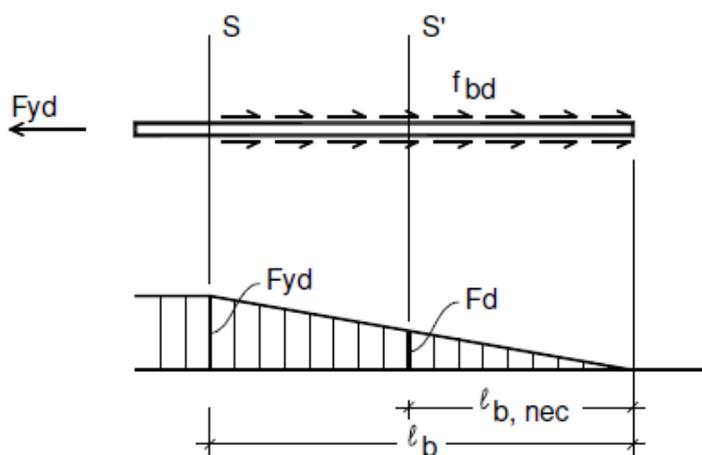


Figura 19 – Diagrama de Forças normais na barra.



### 2.3.2 Travessia Aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos – Ancoragem das Deflexões entre as Tubulações de Aço Carbono e Ferro Fundido Dúctil

Foi previsto o assentamento sem deflexão das tubulações de ferro fundido dúctil (junta JGS) a montante e a jusante da travessia aérea sobre o banhado do Rio dos Sinos (trecho entre a travessia aérea e a adutora em ferro fundido dúctil já assentada com material e altura de recobrimento adequadas).

Para a garantia da instalação foram previstas a instalação de peças que proporcionarão a deflexão necessária; A deflexão necessária nos extremos da tubulação de aço (localizadas sobre as estruturas de apoio em concreto extremas da travessia – estruturas de números 01 e 16) para garantir o alinhamento da tubulação de ferro fundido dúctil tem os valores totais de  $2^\circ$  no plano horizontal e  $0,4^\circ$  no plano vertical (vide projeto). Para tal finalidade foi prevista a instalação de curvas em aço carbono, flangeadas, com as deflexões necessárias, para interligação com as flanges das conexões locadas nos pontos extremos da travessia.

As curvas flangeadas, em aço carbono, devem ter a aplicação de revestimento de poliuretano elastomérico, isento de solventes, flexíveis, de propriedades adequadas e comprovadas para a proteção anticorrosiva, conforme especificação apresentada neste memorial.

O empuxo hidráulico da deflexão no plano horizontal (2 graus) e no plano vertical (0,4 graus), definido pela equação já apresentada, é igual a 4.386,30 kgf e 877,30 kgf, respectivamente. A pressão junto as deflexões foi considerada igual a 16 bar.

A continuidade da travessia, agora em ferro fundido dúctil, foi prevista com a execução de blocos de apoio tipo sapata para fundação, uma unidade para cada tubulação de 7,00 m e blocos de ancoragem nas deflexões. Memória de cálculo das sapatas ver em 2.13.8.

### 2.3.2.1 Ancoragem da Deflexão no Plano Vertical (Esforços de Tração / Aderência)

O cálculo do comprimento de ancoragem definido para cada uma das quatro barras de aço de 1", é apresentado nos subitens seguintes.

\_ Resistência média do concreto à tração:

\_  $f_{ctm} = 2,90$  MPa, obtido pela fórmula:  $f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$ , onde  $f_{ck} = 30$  MPa.

\_ Resistência do concreto à tração – Valor inferior de cálculo:

\_  $f_{ctk,inf} = 2,03$  MPa, obtido pela fórmula:  $f_{ctk,inf} = 0,7 \cdot f_{ctm}$ .

\_ Resistência de cálculo do concreto à tração:

\_  $f_{ctd} = 1,45$  MPa, obtido pela fórmula:  $f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_C}$ , onde  $\gamma_C = 1,4$ .

\_ Resistência Aderência de cálculo:

\_  $f_{bd} = 3,26$  MPa, obtido pela fórmula:  $f_{bd} = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times f_{ctd}$ , onde:  $\eta_1 = 2,25$ , diâmetro das barras:  $\phi \leq 32$ mm:  $\eta_3 = 1,0$  (NBR 6118, item 9.3.2.1) e para situação de aderência: boa:  $\eta_2 = 1,0$  - (NBR 6118, item 9.3.2.1).

\_ Resistência de cálculo do Aço:

\_  $f_{yd} = 217,4$  MPa, obtido pela fórmula:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$ , onde:  $f_{yk} = 250$  MPa e  $\gamma_s = 1,15$ .

\_ Comprimento de Ancoragem Básico:

\_  $l_b = 16,7 \times \phi = 42,4$  cm, obtido pela fórmula:  $l_b = \frac{\phi \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}}$ , onde:  $\phi = 1"$ .

\_ Força de cálculo a ancorar com a Barra de Aço de 1":

\_  $F_d = 3,0$  kN, obtido pela fórmula:  $F_d = \gamma_f \cdot F_1$ , onde:  $\gamma_f = 1,4$  e  $F_1 = 2,2$  kN.

\_ Resistência de cálculo da barra de 1" de diâmetro:

\_  $F_{yd} = 110,2$  kN, obtido pela fórmula:  $F_{yd} = A_{s1} \cdot f_{yd}$ , onde:  $A_{s1} = 5,07$  cm<sup>2</sup> (secção transversal da barra de 1").

\_ Comprimento de Ancoragem necessário:

\_  $l_{b,nec} = 1,16$  cm, obtido pela fórmula:  $l_{b,nec} = l_b \cdot \frac{F_d}{F_{yd}}$  .

\_ Verificação do valor mínimo de  $l_b$

\_  $l_{b,min} = 24,4$  cm, obtido pela fórmula:  $l_{b,min} =$  Maior valor entre:  $(0,3 \times l_b; 10 \times \varnothing; 10$  cm).

\_ Valor de  $l_b$ , final:

\_  $l_{b,final} = 25,4$  cm

\_ Comprimento de ancoragem projetado:

\_  $l_{b,proj} = 45,0$  cm  $(17,72 \varnothing)$ .

### 2.3.2.2 Ancoragem da Deflexão no Plano Horizontal (Esforços de Cisalhamento)

Os esforços de cisalhamento no plano horizontal são absorvidos pelo conjunto bloco de apoio em concreto mais secção da barra de aço, mas para efeito de cálculo e por motivo de segurança foi prevista a alteração do diâmetro da barra considerando a sua resistência isoladamente. O cálculo dos esforços de cisalhamento sobre a barra de ancoragem (ancoragem definida para cada uma das quatro barras de aço agora de 1") é apresentado nos subitens seguintes.

\_ Diâmetro da Barra:

\_  $\varnothing = 1$ "

\_ Secção da Barra:

$A_{s1} = 5,07$  cm<sup>2</sup> (secção transversal da barra de 1").

\_ Carga Aplicada:

\_  $P = 1.096,6$  kgf (Empuxo hidráulico suportado pelas quatro barras).

\_ Tensão de Cisalhamento aplicada a Barra:

\_  $\sigma_c = 21,22$  MPa, obtido pela fórmula ( $\sigma_c = P / A_{s1}$ ).

\_ Tensão Crítica de Cisalhamento da Barra:

\_  $\sigma_{CR} = 200,0$  MPa ( $\sigma_{CR} = 0,8 \times$  Resist. a Tração:  $250,0$  MPa).

\_ Coeficiente de Segurança ao Cisalhamento:

\_  $S = 6$ .

\_ Tensão Limite de Cisalhamento da Barra:

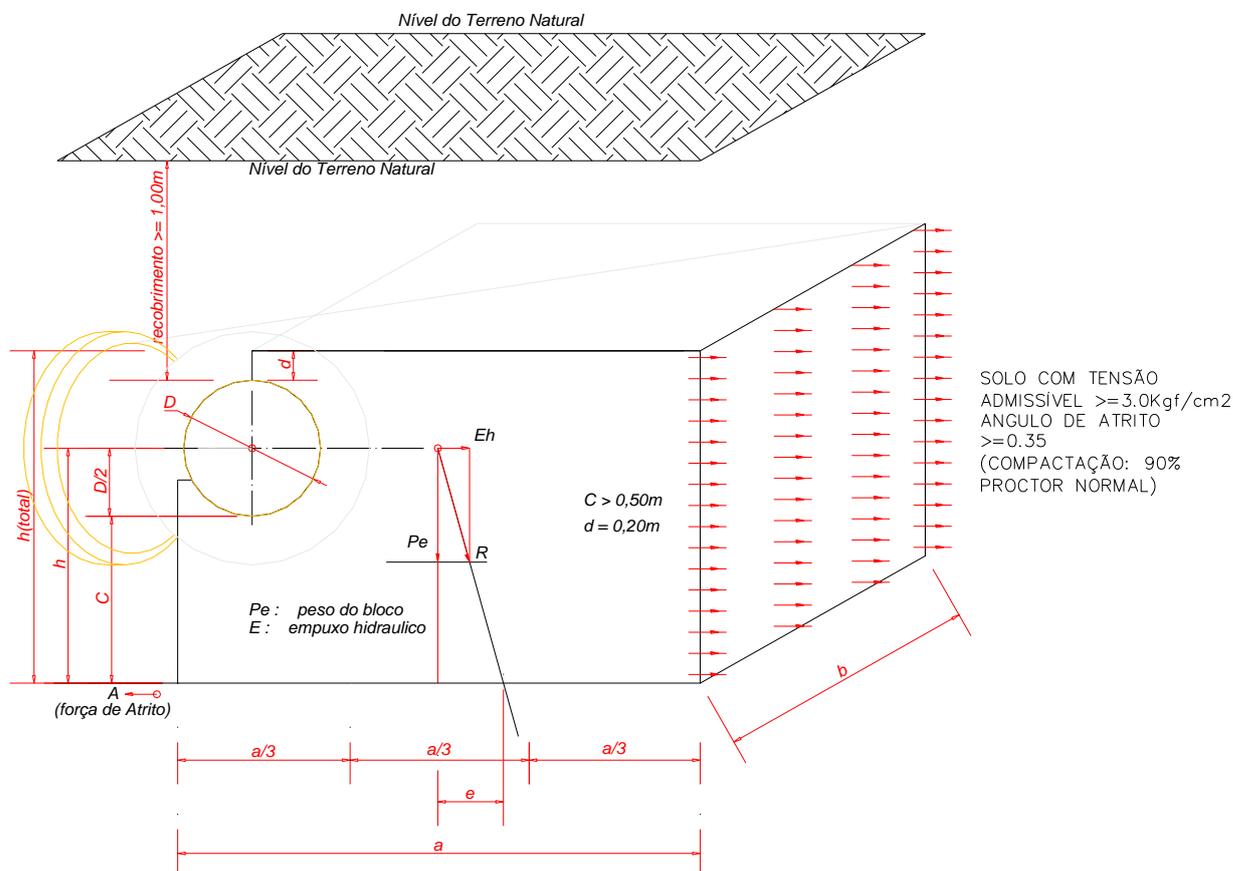
\_  $\underline{\sigma}_{CR} = 33,3$  MPa ( $\underline{\sigma}_{CR} = \sigma_{CR} / S$ ).

### 2.3.3 Ancoragem das conexões junta elástica da linha adutora

Para o cálculo das condições de estabilidade foram calculadas para cada conexão específica. Os dados reais de cálculo estão apresentados no item seguinte.

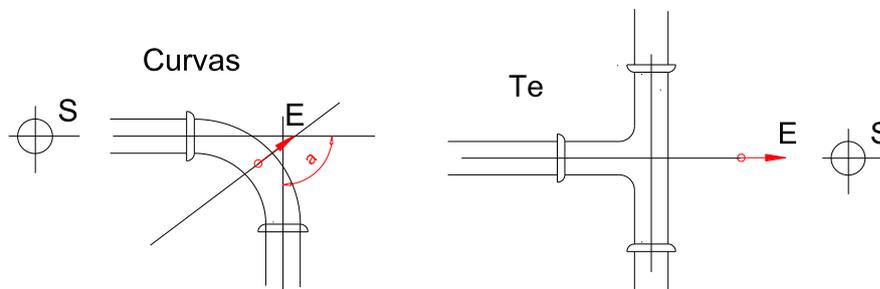
As dimensões básicas, direcionamentos principais de empuxos hidráulicos e definições a utilizadas em relação ao bloco de ancoragem em concreto são apresentadas na figura a seguir:

**Figura 20 – Ancoragem: Dimensões e Detalhamentos Principais Utilizados**



O Empuxo Hidráulico ocasionado pelo escoamento hidráulico através das conexões ainda a serem executadas na linha adutora foi calculado considerando a definições constantes na figura a seguir.

**Figura 21 – Definição do Empuxo Hidráulico nas conexões ainda a serem executadas na Linha Adutora – Tipo de Conexão / Angulação da conexão / Direcionamento do Empuxo Hidráulico**



A obtenção do valor do empuxo hidráulico calculado para cada tipo de conexão utilizada foi calculada pelas seguintes expressões correspondentes:

\_ Curvas:  $E = 2.P.S.\text{sen}\frac{a}{2}$ , onde, “E” é o empuxo Hidráulico (kgf), “P” é a pressão interna da tubulação (kgf/cm<sup>2</sup>), “S” é a secção interna da tubulação (cm<sup>2</sup>), e “a” o ângulo conexão soldada (rad).

\_ Tês:  $E = P.S$ , onde, “E” é o empuxo Hidráulico (kgf), “P” é a pressão interna da tubulação (kgf/cm<sup>2</sup>), “S” é a secção interna da tubulação de derivação (cm<sup>2</sup>).

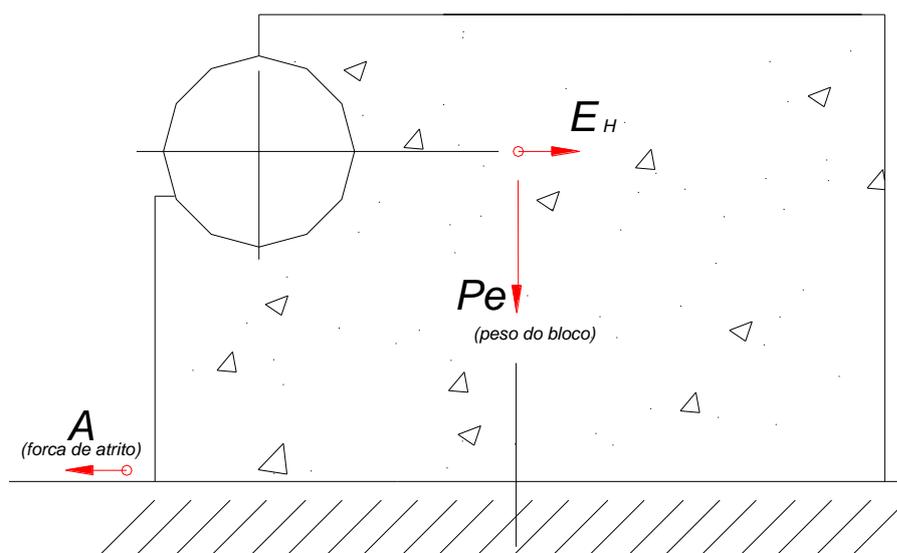
A formulação teórica e as considerações relacionadas as três condições de estabilidade do bloco de ancoragem para resistir ao empuxo hidráulico são apresentadas a seguir.

### 2.3.3.1 Primeira condição de Estabilidade: Força de Atrito > Empuxo Hidráulico

Esta condição de estabilidade exige blocos de ancoragem em concreto com grandes dimensões, impossibilita em geral e conforme o caso, a sua utilização como ancoragem para as conexões da linha adutora. Esta primeira condição somente garantirá a estabilidade do bloco se a força de atrito, obtida em função do peso do bloco e das características do solo, for superior ao empuxo hidráulico.

A figura seguinte apresenta as variáveis envolvidas no cálculo.

Figura 22 – Primeira condição de Estabilidade – variáveis envolvidas



A força de atrito é calculada pela seguinte expressão:  $A = P_e.tg\varphi$ , onde: “A” é a força de atrito (kgf), “P<sub>e</sub>” é a massa do bloco de concreto,  $P_e = \text{Volume} \times \gamma_e$  (volume de concreto x massa específica do concreto:  $\gamma_e = 2.200,00 \text{ kgf/m}^3$ ) e “ $t\varphi$ ” é característica do solo local, conforme tabela a seguir.

Tabela 7 – Tipo de solo - valores de  $t\phi$

Tipo de solo	tgφ
Areia e pedregulho sem silte e sem argila	0.50
Areia argilosa	0.40
Argila dura	0.35
Argila úmida	0.30

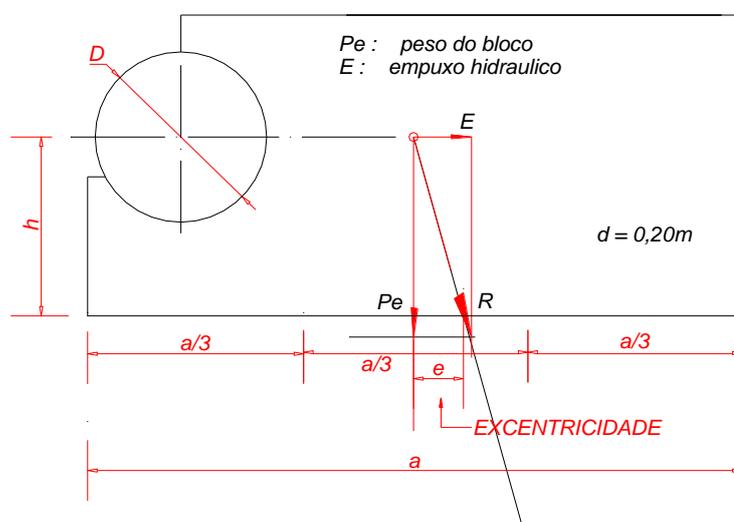
**2.3.3.2 Segunda condição de Estabilidade: Não ocorrência de giros ou tração no bloco**

Esta segunda condição de estabilidade também exige blocos de ancoragem em concreto com grandes dimensões, impossibilitando da mesma forma, em geral e conforme o caso, a sua utilização como ancoragem para as conexões da linha adutora.

A segunda condição somente garantirá a estabilidade do bloco se a força resultante (sistema de forças: empuxo hidráulico x peso do bloco) passar no terço médio da base do bloco, conforme apresentado na figura ilustrativa a seguir.

A figura seguinte apresenta as variáveis envolvidas no cálculo.

**Figura 23 – Segunda condição de Estabilidade – variáveis envolvidas**



A força resultante deve passar no terço médio, isto é:  $\frac{E}{P_e} = \frac{e}{h}$ , onde: “E” é o empuxo

Hidráulico produzido pelo escoamento na mudança de direção (kgf), “Pe” é a massa do bloco de concreto (Kg), “e” é a excentricidade (m) e “h” a altura do bloco de concreto (m).

O bloco de ancoragem não gira se não houver tração. A condição:  $e < \frac{1}{6}a$  deve ser aceita.

### 2.3.3.3 Terceira condição de Estabilidade: Respeitar a tensão admissível do solo

Esta terceira condição de estabilidade possibilita o projeto de blocos de ancoragem em concreto compatíveis com as dimensões de exequibilidade.

A terceira condição garantirá a estabilidade do bloco considerando o empuxo sendo absorvido pelo solo com a tensão no plano ortogonal a direção do empuxo hidráulico. Nesta condição a tensão a ser absorvida pelo solo será então:

$$\tau = \frac{E}{b \cdot h_{total}}, \text{ sendo então: "}\tau\text{" a tensão transmitida ortogonalmente ao solo}$$

(kgf/cm<sup>2</sup>), "b" a largura do bloco de ancoragem, da face em contato com o solo (m), "h<sub>total</sub>" a altura total do bloco de ancoragem, da face em contato com o solo (m) e "E" o empuxo hidráulico produzido pelo escoamento na mudança de direção (kgf).

Garantida a absorção do empuxo na sua face ortogonal não há a ocorrência da tração na base do bloco (não há a excentricidade e o bloco não gira). Mesmo assim foi calculada a tensão transmitida na base do bloco, desconsiderando-se então a ancoragem sustentada pela absorção do solo com a tensão no plano ortogonal a direção do empuxo hidráulico. O cálculo da tensão transmitida na base do bloco foi feito através da equação:

$$\tau_{max} = \frac{P_e}{a \cdot b} \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e}{a} \right), \text{ sendo: "}\tau_{max}\text{" a tensão máxima transmitida ao solo na}$$

direção da base do bloco, "P<sub>e</sub>" a massa do Bloco de Concreto:  $P_e = Volume \cdot \gamma_e$  (volume de concreto x massa específica do concreto:  $\gamma_e = 2.200,00 \text{ kgf/m}^3$ ), "a" o comprimento do bloco de ancoragem, da face em contato com o solo (m), "b" a largura do bloco de ancoragem, da face em contato com o solo (m), e "e" a excentricidade, calculada pela

relação:  $\frac{E}{P_e} = \frac{e}{h}$ .

### 2.3.3.4 Considerações Utilizadas no Dimensionamento dos Blocos de Ancoragem

O projeto dos blocos para a ancoragem das conexões com junta elástica foi elaborado considerando os itens apresentados a seguir:

\_ Limite operacional de pressões localizadas com o valor máximo de 16 bares;

\_ Solo com as características: ângulo de atrito:  $t\varphi = 0,35$  / tensão admissível:  $\tau_{solo} = 3,0 \text{ Kgf/cm}^2$ ;

\_ Em face da força de atrito entre o bloco e o solo ser inferior a força necessária à estabilidade do conjunto não impossibilita a condição de não haver giro ou tração no bloco, então: *para todas as ancoragens, na dimensão associada à área vertical do bloco de concreto, o solo fará a absorção do empuxo hidráulico; Desta forma, os cuidados na escavação deverão ser conduzidos por pessoal técnico especializado com competência e experiência adequadas;*

\_ Condições do assentamento da tubulação em ferro fundido dúctil com a compactação mecânica com grau de compactação e outras características apresentadas no projeto hidráulico;

\_ Execução do bloco de ancoragem com concreto com  $f_{ck} = 15 \text{ MPa}$ .

### 2.3.3.5 Ancoragem da conexão com junta elástica: Curva de 45°

A ancoragem das curvas 45° dos tubos da adutora deverá ser realizada por bloco de concreto as dimensões:

- \_ a = 400 cm;
- \_ b = 400 cm;
- \_ c = 180 cm;
- \_ d = 20 cm, conforme figura apresentada.

Dados de cálculo:

- \_ Empuxo hidráulico:  $E = E_n = 96.179 \text{ Kgf}$ ;
- \_ Primeira Condição de Estabilidade:
- \_ Força de atrito entre o bloco e o solo:  $A = 36.960 \text{ Kgf}$  ( $A < E_n$ );
- \_ Segunda Condição de Estabilidade:
- \_ Excentricidade:  $e = 209,5 \text{ cm}$ ;  $e > (a/3)/2 = 66,7 \text{ cm}$ ;
- \_ Terceira Condição de Estabilidade:
- \_ Tensão máxima transmitida no sentido vertical:

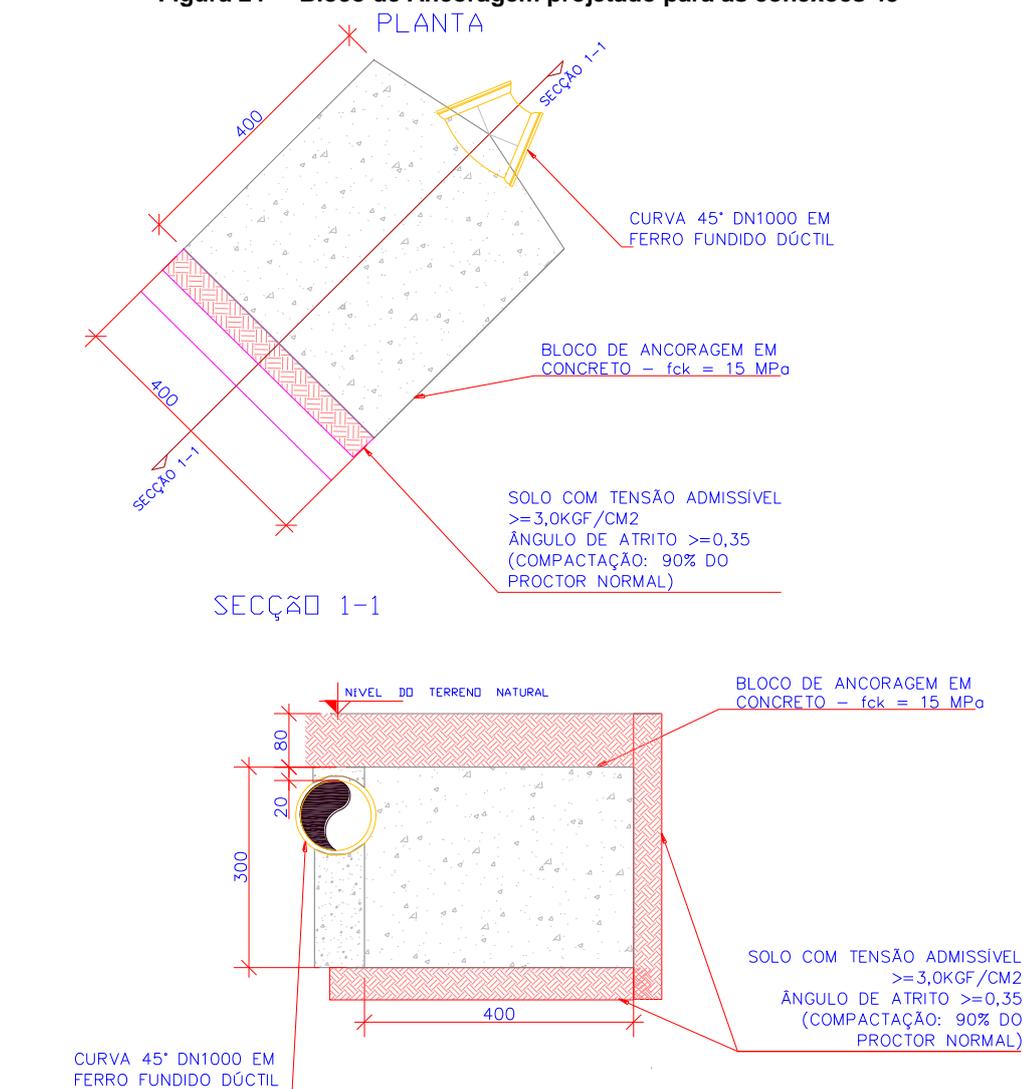
$$\tau_{\text{max.Vert.}} = 2,73 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{\text{solo}};$$

- \_ Tensão máxima transmitida no sentido horizontal:

$$\tau_{\text{max.Horiz.}} = 0,80 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{\text{solo}}.$$

A figura seguinte apresenta o bloco de ancoragem projetado para as conexões 45°.

Figura 24 – Bloco de Ancoragem projetado para as conexões 45°



**2.3.3.6** Ancoragem da conexão com junta elástica: Curva com angulações entre 22°30' e 5°, exclusive

A ancoragem das curvas de angulação entre 22°30' e 5°, exclusive, dos tubos da adutora deverá ser realizada por bloco de concreto as dimensões:

- \_ a = 300 cm;
- \_ b = 350 cm;
- \_ c = 180 cm;
- \_ d = 20 cm, conforme figura apresentada.

Dados de cálculo:

- \_ Empuxo hidráulico:  $E = E_h = 49.032 \text{ Kgf}$ ;
- \_ Primeira Condição de Estabilidade:
- \_ Força de atrito entre o bloco e o solo:  $A = 24.255 \text{ Kgf}$  ( $A < E_h$ );
- \_ Segunda Condição de Estabilidade:

\_ *Excentricidade:  $e = 163 \text{ cm}$ ;  $e > (a/3)/2 = 50,0 \text{ cm}$ ;*

\_ *Terceira Condição de Estabilidade:*

\_ *Tensão máxima transmitida no sentido vertical:*

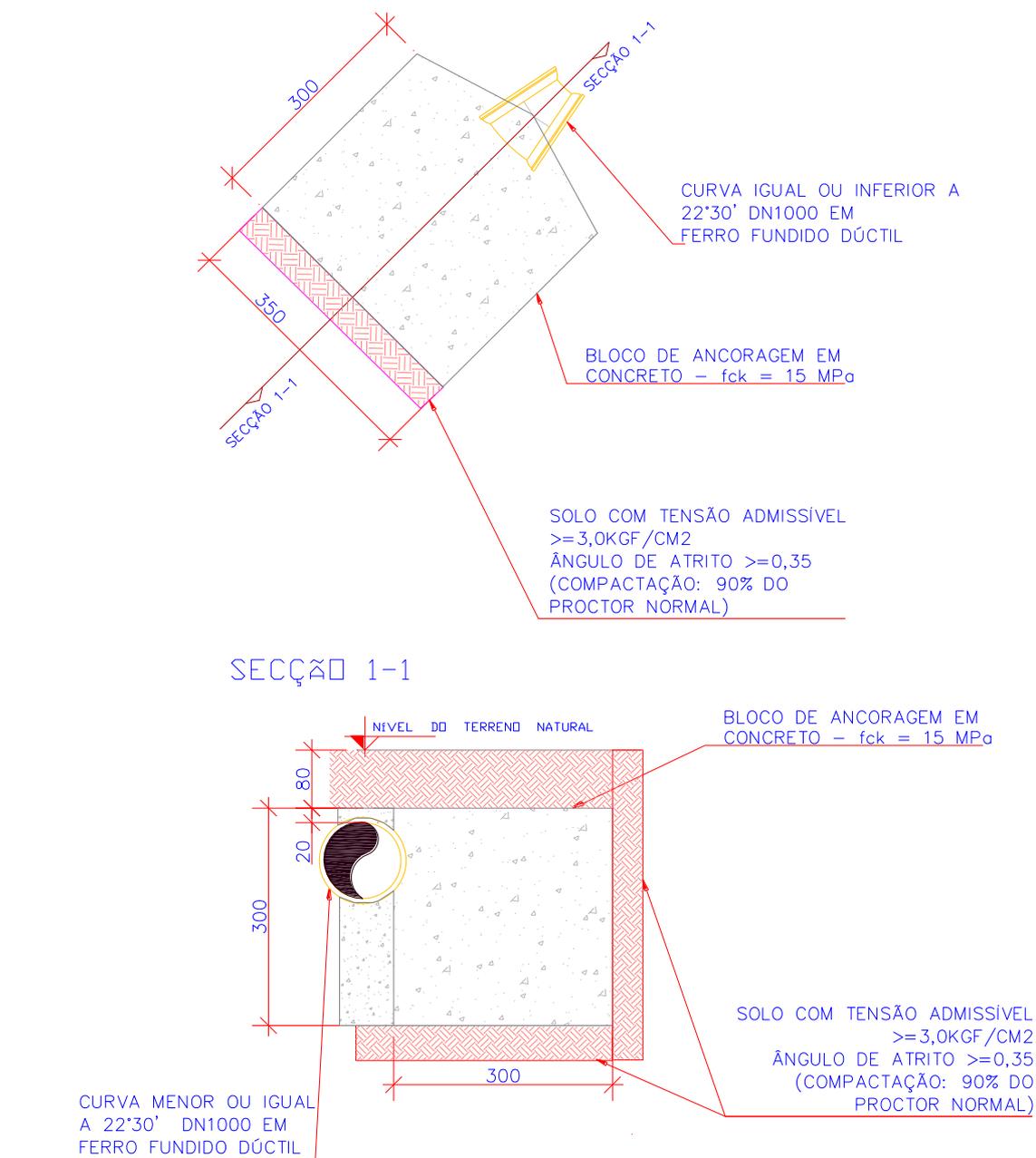
$$\tau_{\max.Vert.} = 2,81 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{solo};$$

\_ *Tensão máxima transmitida no sentido horizontal:*

$$\tau_{\max.Horiz} = 0,47 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{solo}.$$

A figura seguinte apresenta o bloco de ancoragem projetado para as conexões com angulações entre 22°30' e 5°, exclusive.

Figura 25 – Bloco de Ancoragem projetado para as conexões de ângulos entre 22°30' e 5°, exclusive



### 2.3.3.7 Ancoragem da conexão com junta elástica: Curva com angulações iguais ou inferiores a 5°

A ancoragem das curvas de angulação menor ou igual a 5° dos tubos da adutora deverá ser realizada por bloco de concreto as dimensões:

- \_ a = 200 cm;
- \_ b = 300 cm;
- \_ c = 180 cm;
- \_ d = 20 cm, conforme figura apresentada.

Dados de cálculo:

- \_ Empuxo hidráulico:  $E = E_h = 10.963 \text{ Kgf}$ ;
- \_ Primeira Condição de Estabilidade:
- \_ Força de atrito entre o bloco e o solo:  $A = 13.860 \text{ Kgf}$  ( $A > E_h$ );
- \_ Segunda Condição de Estabilidade:
- \_ Excentricidade:  $e = 64 \text{ cm}$ ;  $e > (a/3)/2 = 50,0 \text{ cm}$ ;
- \_ Terceira Condição de Estabilidade:
- \_ Tensão máxima transmitida no sentido vertical:

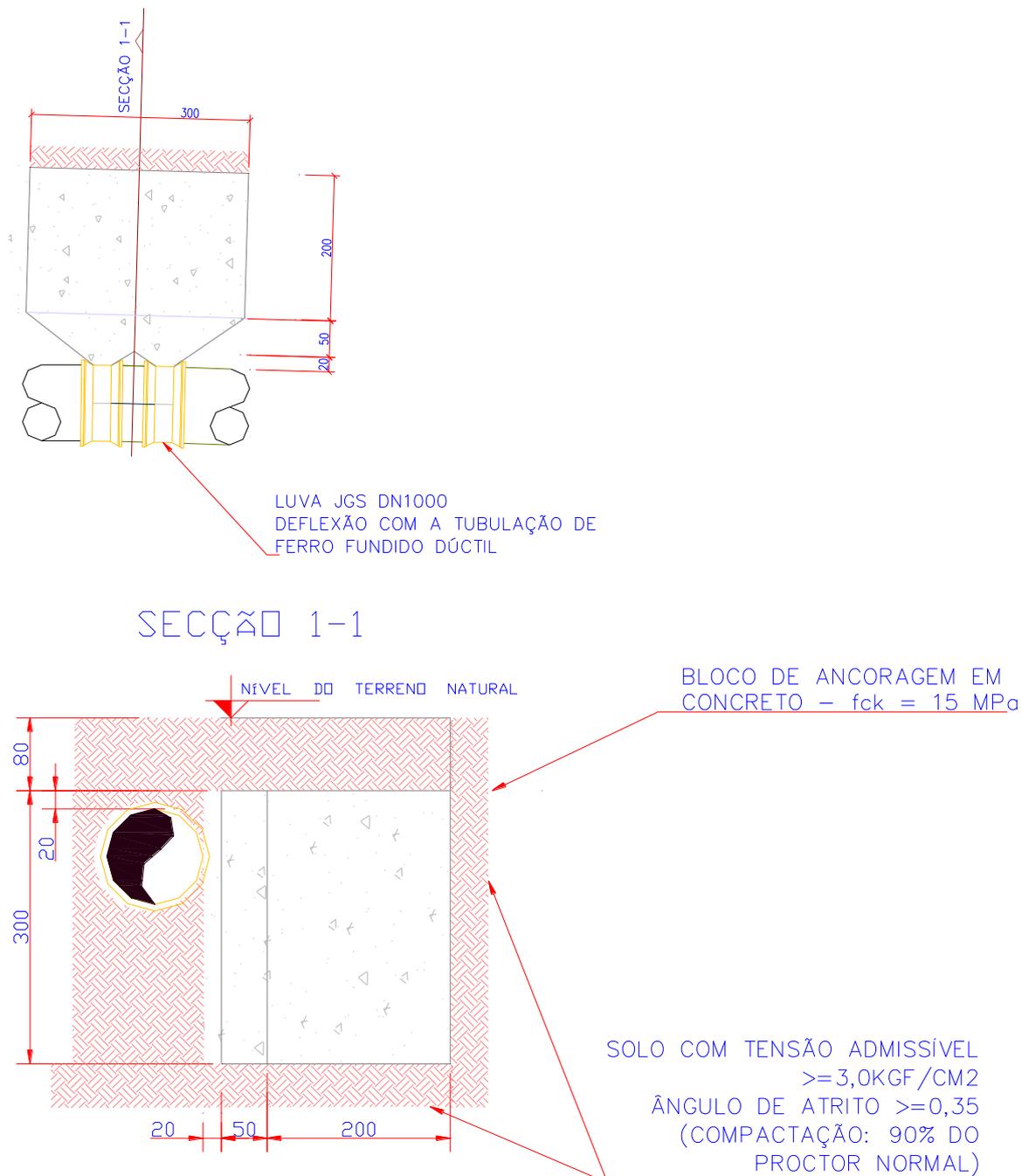
$$\tau_{\text{max.Vert.}} = 1,92 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{\text{solo}};$$

- \_ Tensão máxima transmitida no sentido horizontal:

$$\tau_{\text{max.Horiz.}} = 0,12 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{\text{solo}}.$$

A figura seguinte apresenta o bloco de ancoragem projetado para as conexões com angulações iguais ou inferiores a 5°.

Figura 26 – Bloco de Ancoragem projetado para as conexões de ângulos menores ou igual a 5°



**2.3.3.8** Ancoragem da conexão: Tê DN1000 com derivação de diâmetro entre 600 e 400 mm

A ancoragem dos tê de diâmetro nominal igual a 1.000 mm, com diâmetro de derivação entre 600 e 400 mm dos tubos da adutora deverá ser realizada por bloco de concreto as dimensões:

- \_ a = 300 cm;
- \_ b = 350 cm;
- \_ c = 180 cm;
- \_ d = 20 cm, conforme figura apresentada.

Dados de cálculo:

- \_ Empuxo hidráulico:  $E = E_n = 45.239 \text{ Kgf}$ ;
- \_ Primeira Condição de Estabilidade:
- \_ Força de atrito entre o bloco e o solo:  $A = 21.021 \text{ Kgf}$  ( $A < E_n$ );
- \_ Segunda Condição de Estabilidade:
- \_ Excentricidade:  $e = 158 \text{ cm}$ ;  $e > (a/3)/2 = 50,0 \text{ cm}$ ;
- \_ Terceira Condição de Estabilidade:
- \_ Tensão máxima transmitida no sentido vertical:

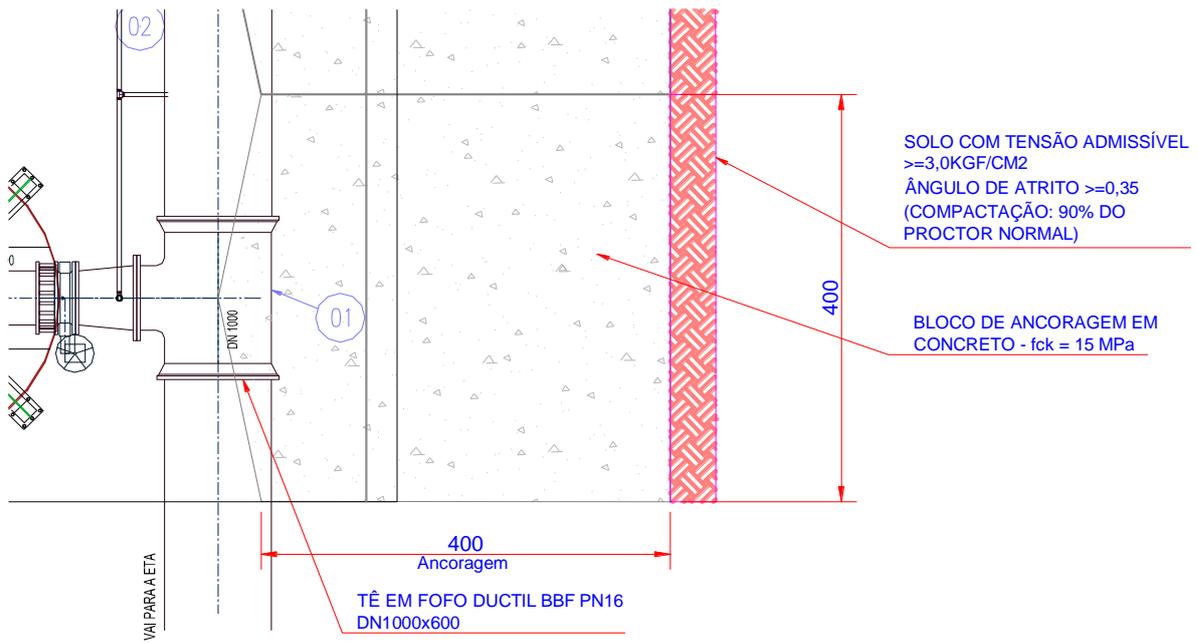
$$\tau_{\max.Vert.} = 2,38 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{solo};$$

- \_ Tensão máxima transmitida no sentido horizontal:

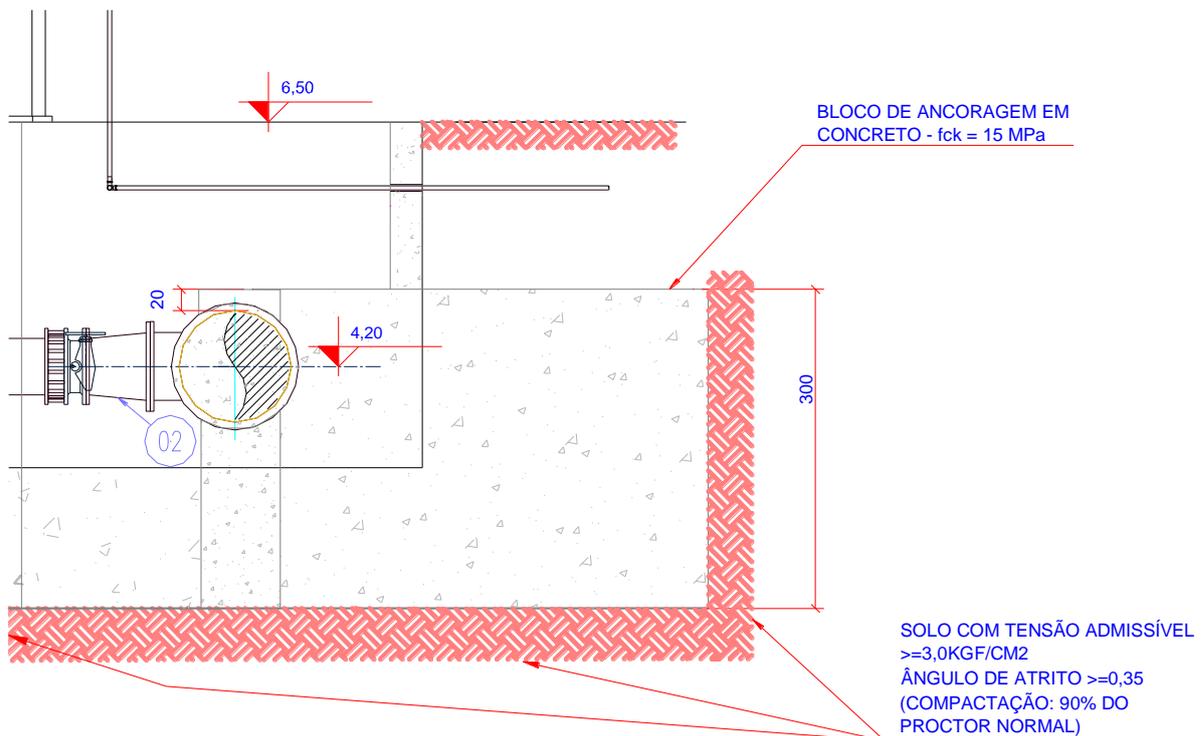
$$\tau_{\max.Horiz.} = 0,50 \text{ Kgf/cm}^2 < \tau_{solo}.$$

A figura seguinte apresenta o bloco de ancoragem dos tê de diâmetro nominal igual a 1.000 mm, com diâmetro de derivação entre 600 e 400 mm dos tubos da adutora (conforme projeto, o Tê flangeado é DN1000x600 e a tubulação de interligação de DN500).

Figura 27 – Bloco de Ancoragem projetado para as conexões através de Tês de diâmetro nominal de 1.000 mm e derivações de diâmetro entre 600 e 400 mm



Planta



Corte

### 2.3.4 Assentamento da tubulação em ferro fundido dúctil junto a Travessia Aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos

A travessia as adutora de água bruta sobre o Banhado do Rio dos Sinos terá o assentamento da tubulação em Ferro Fundido Dúctil, classe k7, DN1000, desde a tubulação existente até as Estruturas de Apoio extremas da nova Travessia (Estruturas N.01 e N.16). Devido a necessidade do assentamento da tubulação de ferro fundido junto aos taludes existentes nos trechos de proximidade a ponte de concreto, trecho caracterizado por solo com dificuldade de formação da envoltória de solo granular sobre a tubulação, o assentamento dos tubos de ferro fundido nos dois trechos tem a limitação da deflexão máxima de 0,50 % (0,29 graus). Os tubos terão o apoio de blocos de concreto, conforme definição projeto.

Para que o assentamento proporcione esta condição haverá a necessidade da remoção de parte da tubulação já assentada, a saber, 33,17 m e 46,48 m, nos trechos próximos as Estruturas de Apoio N.01 e N.16, respectivamente. Serão necessários o assentamento de 107,44 m e 95,29 m, nos trechos próximos as Estruturas de Apoio N.01 e N.16, respectivamente.

As figuras a seguir ilustram o assentamento da adutora de água bruta sobre o Banhado do Rio dos Sinos terá o assentamento da tubulação em Ferro Fundido Dúctil, classe k7, DN1000, desde a tubulação existente até as Estruturas de Apoio extremas da nova Travessia.

Figura 28 – Assentamento das tubulações de ferro fundido dúctil junto a Estrutura de Apoio N.01 da Travessia sobre o Banhado do Rio dos Sinos

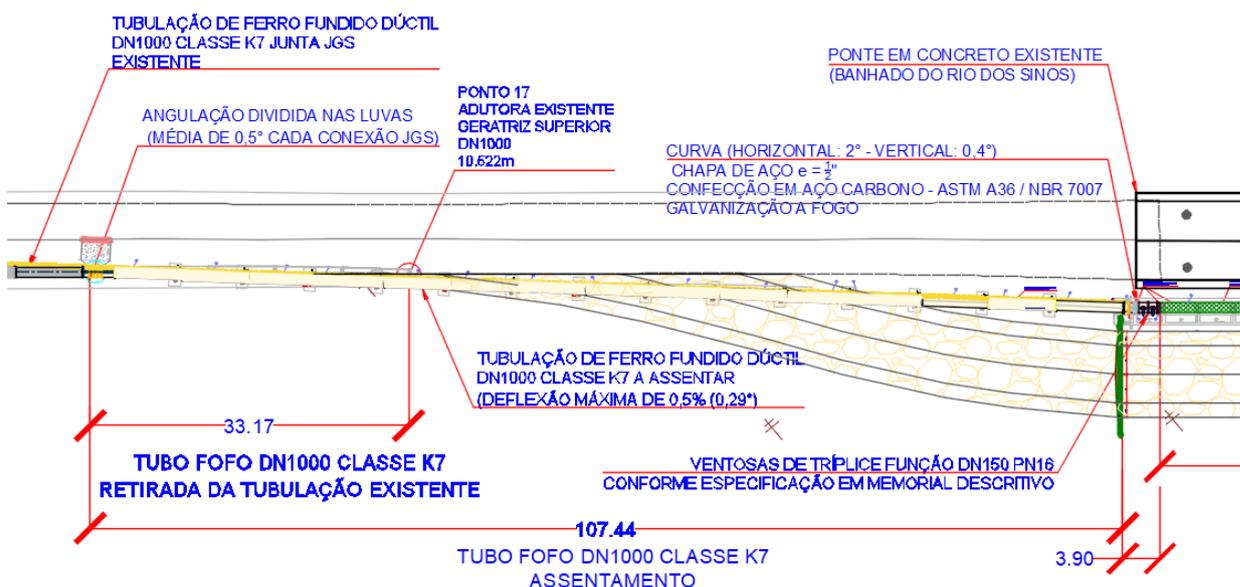
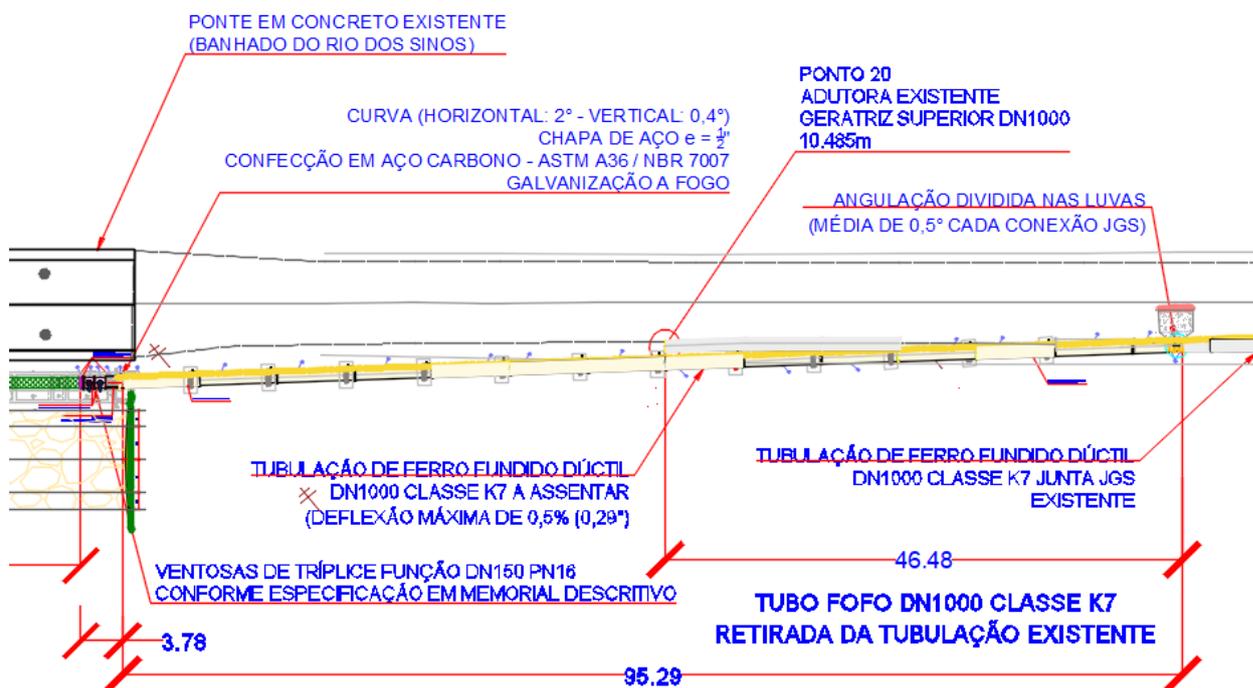


Figura 29 – Assentamento das tubulações de ferro fundido dúctil junto a Estrutura de Apoio N.16 da Travessia sobre o Banhado do Rio dos Sinos



#### 2.4 Travessia Aérea da Adutora sobre o Banhado do Rio dos Sinos – Soldagem das Tubulações de Aço Carbono

A inclusão deste item visa o estabelecimento de exigências mínimas para a execução de soldas das tubulações de aço da travessia aérea. Objetivando não aumentar o vão entre as vigas longitudinais da estrutura da travessia, para os serviços de soldagem foi considerada a distância mínima de 20 cm a ser respeitada, entre estas vigas e a tubulação da adutora.

A seguir são definidos parâmetros para a execução das soldas das tubulações de aço carbono, que devem ser tomadas como referência para a empresa executante e para a COMUSA. É imprescindível que as soldagens devam ser realizadas por soldadores qualificados e equipamentos adequados, e tal condição deve ser rigorosamente observada na execução dos serviços.

Os procedimentos de soldagem devem ser direcionados aqueles de tubos considerados de “grande diâmetro”. A tubulação a ser soldada é de aço carbono de diâmetro nominal igual a 1.000 mm, espessura  $e = \frac{1}{2}$ ”, e comprimento unitário igual a 12,00 m. São tubulações fabricadas por chapas de aço carbono do tipo ASTM A36, pertencentes ao grupo P1 do QW 422 da Secção IX do ASME, na espessura especificada de  $\frac{1}{2}$ ”, tensão de escoamento igual a 250 MPa (254,929 x 105 Kgf/m<sup>2</sup>), tensão admissível igual a 87,75 MPa (89,480 x 105 Kgf/m<sup>2</sup>), Módulo de Elasticidade Volumétrico igual:  $E = 200.000$  MPa (2,039 x 10<sup>10</sup> Kgf/m<sup>2</sup>) e coeficiente de segurança igual a 2,85.

É exigido os serviços de um especialista N2, ou equivalente, na empresa que fará a soldagem da tubulação da adutora; Este profissional será o responsável pela especificação, qualidade e responsabilidade técnica da soldagem.

Os itens que seguem têm as especificações e recomendações para a soldagem das tubulações da travessia aérea.

#### 2.4.1 Preparação para a execução das soldas

Devem ser observados os seguintes itens:

\_ No caso de condições climáticas adversas paralisarem a execução das soldas podendo construir abrigos adequados que impeçam totalmente os efeitos de chuva e ventos fortes. O objetivo deve ser sempre a obtenção das condições adequadas para a manutenção da qualidade das soldas;

\_ Observar as boas condições das máquinas e equipamentos de solda; Observar se os instrumentos de controle estão em perfeito funcionamento e se foram aferidos periodicamente. As conexões entre o equipamento e os cabos devem ser feitas através de dispositivo apropriado, cuidando-se para que haja bom contato elétrico entre as partes e com garantias de segurança para o soldador e demais pessoas;

\_ Observar se a região a ser soldada apresenta superfície lisa, rigorosamente limpa, livre de carepas de oxidação, tintas, graxa e pites de corrosão profundos e generalizados. As chapas devem estar isentas de trechos com dupla laminação nessa área. A escória deve ser retirada após cada passe de solda com o auxílio de ferramentas mecânicas ou manuais;

\_ As partes a serem soldadas devem ser fixadas de sem a ocorrência de movimento relativo entre elas;

\_ Observar que o intervalo máximo entre a execução do passe de raiz e o passe de solda subsequente não exceda a 30 minutos. Cada solda deverá ser completada na mesma jornada de trabalho; Se por motivo bem validado for necessária à sua interrupção, mesmo não desejada e a solda for interrompida ainda no primeiro passe (de 30 minutos a 8 horas), aplicar "quebra-gelo", com o aquecimento a 60°C através de maçarico a GLP, antes de continuar a soldagem. Se a demora for superior a 8 horas, destruir a solda. Para os demais passes, aplicar "quebra-gelo";

\_ Observar o acabamento, verificando que todo o cordão de solda mais 100mm para cada lado, deve ser cuidadosamente limpo, com a retirada de toda escória, dos respingos de solda, dos restos de revestimento ou quaisquer outras imperfeições ou sujeiras provenientes da soldagem;

\_ Observar se as extremidades do tubo estão com os biseis conforme formato especificado. Se necessário o biselamento em obra eles devem ficar razoavelmente lisos e uniformes e com as dimensões previstas;

\_ Observar que o possível desalinhamento entre os topos não deva exceder a 3,0mm (o critério de  $t/3$ , sendo  $t$  a espessura do tubo é superior);

\_ Observar que na ocorrência de desnivelamento causado por variações dimensionais, o desnivelamento deve ser igualmente distribuído em torno da circunferência do tubo. Podem ser usados alinhadores do tipo espaçadores com cunhas ou acopladoras pneumáticas. Não usar alinhadores soldados ao tubo;

\_ Observar que é obrigatório o emprego de dois soldadores por junta, que executarão a solda simultaneamente e em lados opostos;

\_ Fazer a preparação das juntas por meio de esmerilhamento mecânico de forma que

atendam as dimensões:

\_  $t = 12,7 \text{ mm (1/2")}$ ;

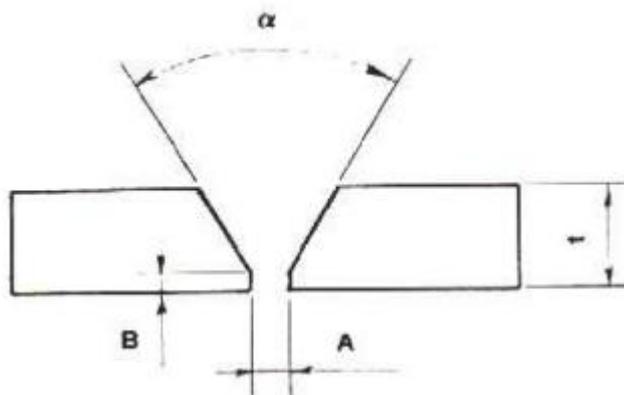
\_  $A = 4,0 \pm 0,5 \text{ mm}$ ;

\_  $B = 3,5 \pm 0,5 \text{ mm}$ ;

\_  $\alpha = 75^\circ \pm 2,5^\circ$ ,

conforme descrições constantes da figura apresentada a seguir.

**Figura 30 - Soldagem das tubulações - Forma e Dimensões das juntas / Dimensionamento do Chanfro**



\_ As juntas soldadas deverão ter fusão completa com o metal base não devendo apresentar descontinuidades como poros, inclusões de arame, mordeduras, trincas superficiais, sobreposição, falta de material e respingos na chapa de aço;

\_ As normas que estão garantindo a execução das soldas em alta qualidade são: \_ Exame Visual e Ensaio de Fratura com Entalhe: norma API 1104; Ensaio de Dobramento Guiado e Ensaio por Ultrassom: norma ASME V; Limite de Desalinhamentos nos chanfros das chapas soldadas (offset): norma NBR 9797.

#### **2.4.2 Qualificação do soldador**

A aprovação do profissional de soldagem está vinculada a apresentação de acervo técnico de execução de conexões soldadas de tubulações de diâmetro mínimo de 1000 mm, especificamente com a utilização de junta de topo.

#### **2.4.3 Tipo de Eletrodo / Inspeção de Eletrodos em Obra**

A participação de um especialista N2, ou equivalente, já referenciada para os serviços de soldagem, fará a escolha do Eletrodo adequado e serviços relacionados. Os itens a seguir servem de recomendações técnicas gerais como auxílio da fiscalização.

A inspeção dos eletrodos a serem utilizados nas soldagens objetiva prevenir e evitar que sejam utilizados eletrodos defeituosos ou em más condições de uso. São de responsabilidade do soldador o cuidado e a observação às condições dos eletrodos.

A fiscalização da COMUSA deve acompanhar a separação dos eletrodos de uso diário, podendo tomar a decisão de rejeição do lote. Deve verificar as boas condições do material, observando:

\_ Que os eletrodos e arames devem ser estocados em estufa com temperatura controlada a fim de evitar a absorção de umidade e sujeiras. O manuseio de eletrodos e arames é procedido de forma que sejam evitados danos físicos, contaminações com sujeira, água, óleo ou outros materiais contaminantes. A quantidade de eletrodos entregue aos soldadores obedece aos limites recomendados pelos fabricantes relativos aos limites de tempos de execução das soldas;

\_ Que os eletrodos não apresentem trincas nos revestimentos, em particular nas Pontas;

\_ Que o teste de dobra em arco de uma amostra não force o revestimento se destacar, sinal da não corrosão na alma do eletrodo;

\_ Na execução da solda, observar se a abertura do arco é fácil; ela está associada ao estado do revestimento da ponta do eletrodo;

\_ Na execução da solda, observar se o consumo do eletrodo é uniforme; deve ser feito com a interrupção do arco em vários pontos;

\_ Verificar se há a formação de unha e também a porosidade superficial na solda (umidade do revestimento do eletrodo);

## 2.5 Proteção quanto à corrosão das tubulações de Aço Carbono

O controle da corrosão das tubulações de aço carbono por meio de proteção catódica está limitado somente aos trechos enterrados. Sob decisão conjunta com a Comusa foi evitada a introdução da tubulação de aço dentro do terreno, o que tinha sido anteriormente projetada para a garantia da linearidade horizontal/vertical da adutora na travessia sobre o banhado do Rio dos Sinos. A alteração foi realizada com a aproximação da tubulação de ferro fundido dúctil (junta elástica) junto ao pilar extremo da travessia aérea. A angulação horizontal e vertical necessária para permitir tal alinhamento da tubulação de ferro fundido dúctil será proporcionada pela instalação de curvas em aço carbono, flangeadas, com as deflexões necessárias, para interligação com as flanges das conexões locadas nos pontos extremos da travessia. (locadas ao lado de cada instalação das válvulas de ar) da travessia aérea sobre o banhado do Rio dos Sinos.

Os trechos “aéreos” estão isolados do meio eletrolítico e não necessitam daquela proteção, sendo indicada a aplicação de revestimento de poliuretano elastomérico, isento de solventes, flexíveis, de propriedades adequadas e comprovadas para a proteção anticorrosiva.

O item seguinte contém as diretrizes e as especificações necessárias para a execução das proteções necessárias.

### 2.5.1 Proteção externa da tubulação das travessias em aço carbono com poliuretano elastomérico flexível

Na tubulação de aço carbono da travessia deve ser prevista a aplicação de Poliuretano elastomérico flexível com os seguintes procedimentos:

\_ **Preparo de superfície de Aço Carbono:** Jateamento com abrasivo ao metal quase branco, Sa 2 ½, conforme norma (Swedish institution SIS 05590 – 1967) com utilização de granalha de aço angular, com perfil mínimo de ancoragem de 70/80 micrometros;

\_ **Material:** Poliuretano elastomérico flexível;

\_ **Características físicas e químicas exigidas do material:** 100% de materiais sólidos

(isentos de solventes); Não deverá produzir gases tóxicos durante aplicação e cura; Bi-componente (resina e catalizador); Isento de materiais pesados e alcatrão; Alongamento mínimo de 30% e máximo de 65%, de acordo com ASTM D-412; Transmissão ao vapor d'água deverá ser menor ou igual a 0,08 US PERMS, de acordo com a ASTM F-1249 (espessura 2 mm); O material deve atender a Norma AWWA C222; Tempo de liberação máximo de 4 horas, para reposição em serviço; Material: Zebron ou similar;

\_ Espessura do revestimento: 700 micrometros;

\_ **Acabamento:** acabamento em cores sobre o material para as partes aéreas: 60/70 micrometros de tinta PU alifático em cores conforme norma da Petrobras 2677, devendo ser aplicado com pistola comum no prazo máximo de até 3 horas da aplicação do material.

#### 2.5.1.1 Proteção externa das juntas soldadas com poliuretano elastomérico flexível

Nas juntas da tubulação de aço carbono (solda) deve ser prevista também a aplicação de Poliuretano elastomérico flexível com os seguintes procedimentos:

\_ A faixa deixada sem revestimento na extremidade dos tubos de aço carbono destinada a soldagem em campo (em geral uma faixa de 14 cm), após as soldagens, devem receber jateamento com abrasivo padrão Sa2 ½ conforme item 1.1, interno e externamente. Este preparo deve atingir uma sobreposição ao revestimento existente de aproximadamente 2 centímetros;

\_ A aplicação das juntas de campo deverá ser realizada com a utilização do mesmo material da pintura original em fábrica. A aplicação deverá ser obrigatoriamente por Airless Plural Component de alta pressão compatível com a proporção de mistura do que está sendo utilizado;

\_ Os retoques de danos mecânicos em pequenas áreas podem ser efetuados manualmente, seguindo-se o correto preparo de superfície (lixamento localizado e aplicação por Airless, espátula ou pincel).

#### 2.5.2 Proteção interna da tubulação da travessia em aço

Na tubulação de aço carbono da travessia, a superfície interna das paredes terão a proteção somente das juntas soldadas. Considerando as dificuldades da execução de pinturas de proteção (espaço confinado de diâmetro de 1,00 m e comprimento de 12,00 m), e considerando a proteção executada pelo fabricante da tubulação não serão executados os serviços de proteção interna adicionais a tubulação.

### 2.5.2.1 Proteção interna das juntas soldadas

Nas juntas internas da tubulação de aço carbono (solda), na faixa deixada sem revestimento na extremidade dos tubos de aço carbono destinada a soldagem em campo (14 cm), após as soldagens, devem receber jateamento com abrasivo padrão Sa2 ½ conforme item 1.1. Este preparo deve atingir uma sobreposição ao revestimento existente de aproximadamente 2 centímetros; Após deve ser feita a aplicação de quatro demãos de tinta à base de resina epóxi com espessura de película seca de 80 µm por demão; resina utilizada com propriedades “sanitárias” específicas para o uso em tubulações condutoras de água para abastecimento público. Os retoques de danos mecânicos em pequenas áreas podem ser efetuados manualmente, seguindo-se o correto preparo de superfície (lixamento localizado e aplicação por Airless, espátula ou pincel).

### 2.6 Travessia Aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos - Absorção dos esforços resultantes da dilatação (Térmica) Linear da tubulação de Aço Carbono

O deslocamento axial provocado pela dilatação linear (dilatação térmica) da tubulação de aço carbono foi calculado através do produto do comprimento total da tubulação (dimensão linear de cálculo: 220,00 m) pela variação máxima de temperatura considerada (35 °C) e pelo coeficiente de dilatação linear do aço ( $1,1 \times 10^{-5}$ ), resultando então igual a 83,6 mm. Para possibilitar esta movimentação sem danos a travessia (cabe lembrar que a movimentação devido a dilatação térmica será acompanhada na mesma ordem e grandeza pela estrutura de concreto armado) foi prevista a instalação em quatro pontos da travessia em tubulação de aço carbono, de uma luva em ferro fundido dúctil (luva JGS). A instalação prevista da tubulação da travessia aérea possibilitará sua condição normal de operação mesmo com possíveis movimentações da estrutura de concreto.

### 2.7 Travessia Aérea sobre o Banhado do Rio dos Sinos – Aspectos de Segurança (Cerca e Portões para impedir o acesso de pedestres)

Para evitar a presença de pessoas não autorizadas junto a travessia sobre o Banhado do Rio Dos Sinos foi prevista a instalação de cerca de tela (aço galvanizado) com os moirões pré-fabricados engastados nas vigas longitudinais da travessia. Foram previstos portões de acesso a travessia para permitir a entrada dos profissionais da Comusa. O projeto da cerca é apresentado na Folha 15/15 (prancha A1).

Foram previstas também a fixação de **Placas de Advertência** a serem posicionadas junto aos portões de acesso e junto a cerca paralela a ponte existente (uma placa a cada 10,00 m).

A Placa de Advertência tem a seguinte especificação:

- \_ Dimensões: 90,00 x 63,00 cm;
- \_ Acabamento de Corte: Cantos arredondados;
- \_ Espessura da Placa: mínimo de 2mm;
- \_ Material: Plástico semi-flexível (PVC - Policloreto Vinila), com Proteção Raios UV;
- \_ Instalação: Deve ser de fácil instalação, podendo permitir a utilização de fita dupla-face 3M™ e parafusos. Boa resistência a produtos químicos e água;
- \_ Temperatura máxima: 60°C
- \_ Durabilidade Mínima: 10 anos.

Figura 31 - Travessia sobre o Banhado do Rio dos Sinos – Placa de Advertência



### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

O dimensionamento, a especificação e normativas utilizadas para a elaboração do presente projeto, estão contidas na seguinte referência bibliográfica:

ABNT NBR 591 – Projeto de Adutora água para abastecimento público.

ABNT NBR 6323 – Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente.

ABNT NBR 7182 – Solo - Ensaio de Compactação.

ABNT NBR 7675 – Tubos e conexões de ferro dúctil e acessórios para sistemas de adução e distribuição de água – Requisitos.

ABNT NBR 7879 – Bombas hidráulicas de fluxo - Classes segundo os materiais empregados.

ABNT NBR 8682 – Revestimento de argamassa de cimento em tubos de ferro fundido dúctil – Especificação.

ABNT NBR 11827 – Revestimento externo de zinco em tubos de ferro fundido dúctil – Especificação.

ABNT NBR 12214 – Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público;

ABNT NBR 12266 – Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana.

ABNT NBR 12639 – Cilindros de aço-carbono sem costura, para armazenamento de gases à alta pressão destinados a instalações contra incêndio.

ABNT NBR 13747 – Revestimento de argamassa de cimento em tubos de ferro fundido dúctil – Especificação.

Alonso, U. R. Estimativa de adesão em estacas a partir do atrito lateral medido com torque no ensaio SPTT. Revista Solos e Rochas - ABMS. Vol 1, nº 1, 1996.

Aoki, N. Velloso, D. A. An approximate method to estimate the bearing capacity of piles. No V PCSMFE, Buenos Aires, v. 1, 1975.

Andrade, Paula Nobre e de Araújo, John Kenedy - Aplicação Do Tanque De Alimentação Unidirecional Como Dispositivo Atenuador Do Golpe De Ariete Em Adutoras – XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – Brasília – 2015.

Aveline, C.C. (org.) Os Banhados do Rio dos Sinos - E Por Que Devem Ser Preservados. Um enfoque multidisciplinar. São Leopoldo. UPAN. Ed. Agatha, 1995.

Barbosa, Marcus Paulo Rosa; de Castro, Marco Aurélio Holanda; de Araújo, John Kenedy - Modelagem Computacional De Chaminés De Equilíbrio E Tanques De Alimentação Unidirecional Como Dispositivos Atenuadores Do Golpe De Ariete Em Adutoras - VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água – 2006.

Beck de Souza Engenharia LTDA. Estudos Ambientais para Obtenção da Licença de Instalação. Responsável Técnico: Engº Civil Alexandre César Beck de Souza. Novo Hamburgo. Fevereiro de 2011.

Beck de Souza Engenharia LTDA. Projeto Das Unidades De Captação E Recalque De Água Bruta – Eab E Adutora: Volume I – Civil – Hidráulico – Mecânico – Arquitetônico (Tomo I: Memorial Descritivo). Responsável Técnico: Engº Civil Alexandre César Beck de Souza. Novo Hamburgo. Dezembro de 2011.

Bedient, P.B.; Rifai, H.S.; Newell, C.J. Ground Water Contamination. Transport and Remediation. 2ª ed. New Jersey: Prentice Hall PTR. Saddle River, 1999. 604p.

Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990.

Concremat, Engenharia. Elaboração dos Planos Municipais e Regional de Saneamento Básico dos Municípios do Consórcio Pró-Sinos. Subproduto 2.11: Situação Ambiental e dos Recursos Hídricos. Dezembro de 2013.

Décourt, L.; Quaresma, A. R. Capacidade de carga de estacas a partir de valores de SPT. 6º Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Rio de Janeiro, v. 1, 1978.

EN 545 – Ductile iron pipes for drinking water supply.

EN 1074-2 – Valves for water supply - Fitness for purpose requirements and appropriate verification tests - Part 5: Control valves.

EN 12266-2 – Industrial valves - Testing of valves - Part 2: Tests, test procedures and acceptance criteria - Supplementary requirements.

Faluhelyi, Peter – Análise de Tensões em Tubulações com e Sem Reparo Composito, Submetidas a Pressões Hidrostáticas Internas – Dissertação de Mestrado – UNB- 2006.

Fetter, C. W. Applied Hydrogeology. 3ª. ed. New Jersey: PrenticeHall, Inc., 1994, 691p.

Garcez, L. N.; Alvarez, G. A. Hidrologia. 2. ed. São Paulo-SP: Editora Edgard Blücher, 1988.

Gomes, S. H. R. Modelagem da qualidade da água do Rio dos Sinos/RS utilizando o modelo QUAL-UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS. Pelotas, 2016.

Heath, R. C. Basic Ground-Water Hydrology. 1. ed. Denver. 1983.

Hydraulic Transient Modeling Software - HAMMER User's Guide – Haestad Method, 1986.

ISA - Instituto Socioambiental 2008. Almanaque Brasil Socioambiental. Ed. ISA. 551p.

Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Série Manuais Técnicos em Geociências, n° 01, Rio de Janeiro. 2002.

Koelle, Prof. Edmundo – Conceituação Física do Fenômeno Transiente \_ Textos de Aula.

Koelle, Prof. Edmundo – Educação Continuada em Engenharia Hidromecânica – Cavitação e Transientes Hidráulicos \_ Textos de Aula.

LZ Ambiental Consultoria e Serviços Ltda. Laudo de Cobertura Vegetal. Responsável Técnico: Guilherme Reisdorfer. Novo Hamburgo. Janeiro de 2015.

Marangon, Prof. M. - Unidade 5 – Resistência Ao Cisalhamento Dos Solos - Faculdade de Engenharia – NuGeo/Núcleo de Geotecnia.

Martil, A.D. Curva ABC. In: Ciclo operacional da gestão de materiais e logística. Polígrafo 9. ETC/UFRGS, 2002.

Masiero Junior, Pedro Antônio - Análise De Transientes Hidráulicos Em Uma Adutora Utilizando O Método Das Características – UFSC – 2008.

Muradás, K. Análise do Impacto Antrópico no Sistema Banhado do Trecho Inferior do Rio dos Sinos/RS através de Indicadores Isotópicos de C E N. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, dezembro de 2012.

Odum, E. P. 1988. Ecologia. Rio de Janeiro. Editora Guanabara Koogan S.A. 434p.

Parmakian. John – Análise do Golpe de Aríete - Prefácio a Edição de Dover – 1963.

Pimenta, Prof. Carlito Flávio – Hidrostática e Outros – Fascículos – USC – 1970.

Plano SINOS – Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. 149 p. 2009.

Rio Grande do Sul. Decreto Estadual 42.099, de 31 de dezembro de 2002. Declara as espécies da flora nativa ameaçadas de extinção no Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. Diário Oficial [do Estado do Rio Grande do Sul], 1º de janeiro de 2003.

Rio Grande do Sul. Lei Estadual 9.519, de 21 jan.1992. Código Florestal do Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial [do Estado do Rio Grande do Sul], de 21 de janeiro de 1992.

Rio Grande do Sul. Instrução Normativa 01, de 04 de agosto de 2006. Estabelece que quantificação da Reposição Florestal Obrigatória deverá ser efetuada com base no volume da matéria-prima florestal e no número de árvores a serem suprimidas, considerando a estrutura e o estágio sucessional das florestas nativas. Diário Oficial do Estado do Rio Grande.7 Suguio, K. 2003. Geologia sedimentar. Ed. USP. 278p.

Távora Costa, Prof.: Raimundo Nonato - Golpe de Aríete – Transiente Hidráulico - Universidade Federal do Ceará.

Teixeira, A. H. Projeto e Execução de Fundações. III Seminário de engenharia de fundações especiais e Geotecnia. V.1, São Paulo, 1996.

Tomas, M.T.C.D.L.G. Estudo do Fenômeno da Cavitação, Implementação de Técnicas Experimentais. Porto: Centro de Engenharia Civil da Universidade do Porto, 1986. 426p. (Dissertação para Doutorado em Engenharia Civil).

Tosin, Maria Regina e Saunitti, Rosa Maria – Seleção Econômica de Materiais para Tubulações Enterradas – SANARE;

Tourasse, Enio - Avaliação do Golpe de Aríete em Linhas de Recalque – Publicação da Revista DAE;

Tullis, J. P. Cavitação em Sistemas Hidráulicos. São Paulo: CTH USP, 1982. Apostila.

Tundisi, J.; Tundisi, T.M. 2008. Limnologia. Ed. Oficina de Textos,631 pp.

Turton, R.K. Principles of turbomachinery. 2th ed. London: Chapman & Hall, 1995.

Velloso, P. P. C. Fundações – Aspectos Geotécnicos. PUC/DEC. 5ª ed., v. 3, Rio de Janeiro, 1987.

Winter, T. C. et al. Ground water and surface water: A single resource. U.S. Geological Survey Circular 1139, p. 79, 1998.

Zhou, H.; LI, H. Diagnosis of preliminary cavitation in pumps by wavelet analysis. Proceedings of the 2007 International Conference on Agriculture Engineering, Hannover, Alemanha, 2007.

#### 4 APÊNDICE

Arquivo	FOLHA	Identificação	Papel
013-AG-PE-SAA-PH-001-R01.PDF	01/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: PLANTA GERAL DE ARTICULAÇÕES / PERFIL LONGITUDINAL	Prancha A1
013-AG-PE-SAA-PH-002-R01.PDF	02/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: PLANTA E PERFIL – ARTICULAÇÃO 1	Prancha A0
013-AG-PE-SAA-PH-003-R01.PDF	03/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: PLANTA E PERFIL – ARTICULAÇÃO 2	Prancha A0
013-AG-PE-SAA-PH-004-R01.PDF	04/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: PLANTA E PERFIL – ARTICULAÇÃO 3	Prancha A0
013-AG-PE-SAA-PH-005-R01.PDF	05/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: PLANTA E PERFIL – ARTICULAÇÃO 4	Prancha A0
013-AG-PE-SAA-PH-006-R01.PDF	06/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: PLANTA E PERFIL – ARTICULAÇÃO 5	Prancha A0
013-AG-PE-SAA-PH-007-R01.PDF	07/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: PLANTA E PERFIL – ARTICULAÇÃO 6	Prancha A0
013-AG-PE-SAA-PH-008-R01.PDF	08/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: PLANTA E PERFIL – ARTICULAÇÃO 7	Prancha A0
013-AG-PE-SAA-PH-009-R01.PDF	09/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: PLANTA E PERFIL – ARTICULAÇÃO 8	Prancha A0
013-AG-PE-SAA-PH-010-R01.PDF	10/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: PLANTA E PERFIL – ARTICULAÇÃO 9	Prancha A0
013-AG-PE-SAA-PH-011-R01.PDF	11/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: PLANTA E PERFIL – ARTICULAÇÃO 10	Prancha A0
013-AG-PE-SAA-PH-012-R01.PDF	12/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: PLANTA E PERFIL – ARTICULAÇÃO 11	Prancha A0

<b>Arquivo</b>	<b>FOLHA</b>	<b>Identificação</b>	<b>Papel</b>
013-AG-PE-SAA-PH-013-R01.PDF	13/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: CORTES AA-BB/ESTR. DE ACESSO/REL. DE MATERIAIS	Prancha A1
013-AG-PE-SAA-PH-014-R01.PDF	14/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: CONEXÕES ESPECIAIS EM AÇO CARBONO / VENTOSAS	Prancha A1
013-AG-PE-SAA-PH-015-R01.PDF	15/18	ADUTORA DE ÁGUA BRUTA - TRAVESSIA SOBRE O BANHADO DO RIO DOS SINOS: CERCA E PORTÕES DE ACESSO	Prancha A1
013-AG-EI-SAA-PH-016-R01.PDF	16/18	REMANESCENTES DA ADUTORA – IDENTIFICAÇÃO E INFORMAÇÕES DOS TRECHOS – INSTALAÇÃO DA VENTOSA 40 AV/TRAVESSIA/CHEGADA EAB	Prancha A1
013-AG-EI-SAA-PH-017-R01.PDF	17/18	REMANESCENTES DA ADUTORA – IDENTIFICAÇÃO E INFORMAÇÕES DOS TRECHOS – INSTALAÇÃO DA CAIXA DE VENTOSA	Prancha A1
013-AG-PE-SAA-PH-018-R00.PDF	18/18	REMANESCENTES DA ADUTORA – IDENTIFICAÇÃO E INFORMAÇÕES DOS TRECHOS – TRECHO DE INSTALAÇÃO CHEGADA DA EAB	Prancha A0