



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-MG

ART OBRA / SERVIÇO
Nº MG20220936113

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais

INICIAL

1. Responsável Técnico

OSCAR EUGENIO MARTINS

Título profissional: **ENGENHEIRO MECÂNICO, ENGENHEIRO DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

RNP: **1405913568**

Registro: **MG0000038109D MG**

2. Dados do Contrato

Contratante: **DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO (TUPACIGUARA-MG)**

CPF/CNPJ: **22.236.244/0001-00**

RUA SILVIANO BRANDÃO

Nº: **11**

Complemento:

Bairro: **BRASIL**

Cidade: **TUPACIGUARA**

UF: **MG**

CEP: **38480000**

Contrato: **Não especificado**

Celebrado em:

Valor: **R\$ 1.000,00**

Tipo de contratante: **Pessoa Jurídica de Direito Público**

Ação Institucional: **Outros**

3. Dados da Obra/Serviço

RUA SILVIANO BRANDÃO

Nº: **11**

Complemento:

Bairro: **BRASIL**

Cidade: **TUPACIGUARA**

UF: **MG**

CEP: **38480000**

Data de Início: **14/02/2022**

Previsão de término: **28/02/2022**

Coordenadas Geográficas: **0, 0**

Finalidade:

Código: **Não Especificado**

Proprietário: **DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO (TUPACIGUARA-MG)**

CPF/CNPJ: **22.236.244/0001-00**

4. Atividade Técnica

14 - Elaboração

66 - Laudo > MECÂNICA > PROCESSOS MECÂNICOS (FABRICAÇÃO E MATERIAIS) > DE PROCESSOS MECÂNICOS DE FABRICAÇÃO > #16.1.1.1 - DE TUBULAÇÕES

Quantidade
6.408,00

Unidade
m

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deve proceder a baixa desta ART

5. Observações

Laudo técnico de medição de espessura de uma adutora, em conformidade com a NBR 15280 e ANSI B-31.

6. Declarações

- A Resolução nº 1.094/17 instituiu o Livro de Ordem de obras e serviços que será obrigatório para a emissão de Certidão de Acervo Técnico - CAT aos responsáveis pela execução e fiscalização de obras iniciadas a partir de 1º de janeiro de 2018. (Res. 1.094, Confea).

7. Entidade de Classe

- SEM INDICAÇÃO DE ENTIDADE DE CLASSE

8. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Oscar Eugenio Martins
OSCAR EUGENIO MARTINS - CPF: 436.630.956-49

_____ de _____ de _____
Local data

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO (TUPACIGUARA-MG) - CNPJ:
22.236.244/0001-00

9. Informações

* A ART é válida somente quando quitada, mediante apresentação do comprovante do pagamento ou conferência no site do Crea.

10. Valor

Valor da ART: **R\$ 88,78**

Registrada em: **22/02/2022**

Valor pago: **R\$ 88,78**

Nosso Número: **8597693578**

A autenticidade desta ART pode ser verificada em: <https://crea-mg.sitac.com.br/publico/>, com a chave: DYB9y
Impresso em: 25/02/2022 às 08:23:08 por: ip: 191.248.191.183

www.crea-mg.org.br
Tel: 0312732

crea-mg@crea-mg.org.br
Fax:

CREA-MG
Conselho Regional de Engenharia
e Agronomia de Minas Gerais



MEMORIAL DE CÁLCULO REVISIONAL TUBULAÇÃO DA ADUTORA DE TUPACIGUARA/MG

EMPRESA: DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTO (TUPACIGUARA-MG)

CNPJ: 22.236.244/0001-00

ENDEREÇO: RUA SILVIANO BRANDÃO, NUMERO 11.

MUNICÍPIO: TUPACIGUARA/MG

BAIRRO: BRASIL

CONTATO: (34)3281-3555

E-MAIL: daetupaciguara@hotmail.com

DATA: 08/02/2022

ENGº: OSCAR EUGÊNIO MARTINS

Sumário

1. Normas e Referências	3
2. Objetivos	3
3. Dados a Serem Considerados para o Cálculo.....	3
4. Introdução	3
4.1 TÉCNICAS DE INSPEÇÃO	5
4.2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	5
4.2.1 - Superfície Externa	6
4.2.2 - Revestimentos.....	7
5. Metodologia	10
6. Resultados	12
7. Memorial de cálculo.....	13
7.1 – Memorial de Cálculo – Pressão Hidráulica, Espessura e cálculo dos Coeficientes de Segurança	13
7.2 Memorial Descritivo – Vida Residual da Tubulação	14
8. Discussão	15
9. Conclusão	15
ANEXO A – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO	16
ANEXO B – MEMÓRIA DE CÁLCULO.....	18

1. Normas e Referências

- [1] ANSI.B.31 - American Standard Code for Pressure Piping
- [2] Relatório “Nova adutora de água bruta sistema de abastecimento de água Tupaciguara / mg – Memorial Técnico Março/2019”
- [3] Catálogo Hidramaco – Soluções de Qualidade em Ferro Fundido
- [4] ABNT NBR 15280 – Dutos Terrestres
- [5] ASME B.31-4 Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries

2. Objetivos

Verificação de espessura mínima necessária a tubulação da adutora existente, de forma que a mesma trabalhe com segurança e confiabilidade. Bem como, obter uma estimativa de vida útil desta tubulação, utilizando medições em diversos pontos desta tubulação existente

3. Dados a Serem Considerados para o Cálculo.

Os dados a serem considerados para este memorial de cálculo são os seguintes:

- Perdas de carga geradas devido aos acessórios instalados na tubulação;
- Carga devido a altura geodésica, relativa da bomba até os pontos da tubulação analisada;
- Material da tubulação, ASTM A 36;
- Perdas devido a Rugosidade da tubulação e ramificações;
- Diâmetro da Tubulação de diâmetro nominal (DN) 350 mm, aço carbono;
- Consideração da espessura nominal da chaparia em 6,35 mm.
- Diâmetro da Tubulação de diâmetro nominal (DN) 400 mm, aço carbono, também com espessura 6,35 mm;
- Comprimento da Adutora 6.478 metros;
- Medição da espessura em pontos distintos para análise de desgaste;
- Cálculo da Vida Residual da Tubulação, tendo como critérios a análise de desgaste até a presente data.
- Na obtenção de resultados foi utilizado o software EES (Engineering Equation Solver) juntos com as demais funções desse software como por exemplo, tabelas termodinâmicas.

4. Introdução

Como mostrado na figura 1, a tubulação da adutora de Tupaciguara segue apenas em uma linha de diâmetro nominal (DN) entre 400 mm e 300, sendo assim, para se aumentar a vazão conforme “[2] - Nova adutora de água bruta sistema de abastecimento de água Tupaciguara / mg – Memorial Técnico Março/2019” irá se

4.1 TÉCNICAS DE INSPEÇÃO

Inspeccionar um duto visa avaliar as suas condições de integridade estrutural quanto ao processo corrosivo tanto interno quanto externo, além de outros problemas como danos mecânicos da tubulação, estado de revestimento, sistema de proteção catódica, sistema de monitoração da corrosão, sistema de proteção operacional entre outros. Fatores como:

- ambiente,
- intensidade de utilização,
- vida útil do duto,
- produto transportado influenciam na determinação do tempo e técnicas de inspeção.
- As técnicas de inspeção podem ser associadas e devem ter sua periodicidade planejada.

a) - Medição de Espessura

A medição de espessura é efetuada quando há evidência de redução na espessura do duto ou como complemento de outra técnica de inspeção. Ela deve ser realizada por ultra som para avaliar as condições físicas da parede do duto quanto ao processo corrosivo interno e externo, ou outras descontinuidades.

b) - Inspeção Visual

É um método utilizado para avaliar as condições físicas e de conservação de superfícies acessíveis ou expostas, como suportes e acessórios. Visa detectar a presença de descontinuidades superficiais como corrosão externa, amassamentos, entre outros, utilizando se da própria visão ou ainda com o auxílio de simples instrumentos como lupas. Uma desvantagem deste método está no fato das grandes distâncias a serem percorridas, incluindo trechos de difícil acesso

c) - Teste Hidrostático

Método aplicado a dutos onde a integridade estrutural é desconhecida ou onde o dimensionamento das descontinuidades e a localização são inviáveis, como no caso de trincas por corrosão sob tensão interna ou externa. É feito aqui um teste ou ensaio de pressão com água para verificar se o duto possui resistência mecânica compatível com suas especificações ou suas condições operacionais.

4.2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

CONTROLE E FATORES DE CORROSÃO:

A corrosão em dutos se dá de duas formas: na superfície externa e/ou superfície interna. Externamente, a corrosão advém de danos no revestimento associados à falha

na proteção catódica do duto. Já a interna, é, de maneira geral, uma consequência da presença de água e impurezas no produto transportado.

Pode se citar alguns fatores que influenciam a corrosão, ou seja, diversos fatores podem influenciar o fenômeno da corrosão. No caso de equipamentos de processo, na maioria das vezes, o meio corrosivo é o próprio fluido de trabalho. As características do fluido que influenciam no processo de corrosão são: **temperatura, concentração, impurezas, umidade, velocidade.**

4.2.1 - Superfície Externa

Ao ser enterrado, o duto entra em contato com um eletrólito (solo ou água), e com o decorrer do tempo, os potenciais elétricos podem variar de um ponto da tubulação para outro, devido à existência de áreas anódicas e catódicas originadas pela própria heterogeneidade do aço. Essas áreas anódicas e catódicas possuem potenciais elétricos diferentes e são a base para a formação de uma célula de corrosão.

Mediante o surgimento dos seguintes fatores, temos uma célula de corrosão, que trata-se (GENTIL, 2003):

- Um anodo e de um catodo;
- Diferença de potencial entre o anodo e o catodo;
- Existência de um caminho metálico conectando eletricamente o anodo e o catodo;
- O anodo e o catodo devem estar imersos num eletrólito eletricamente condutivo.

A Figura a seguir mostra de forma esquemática:

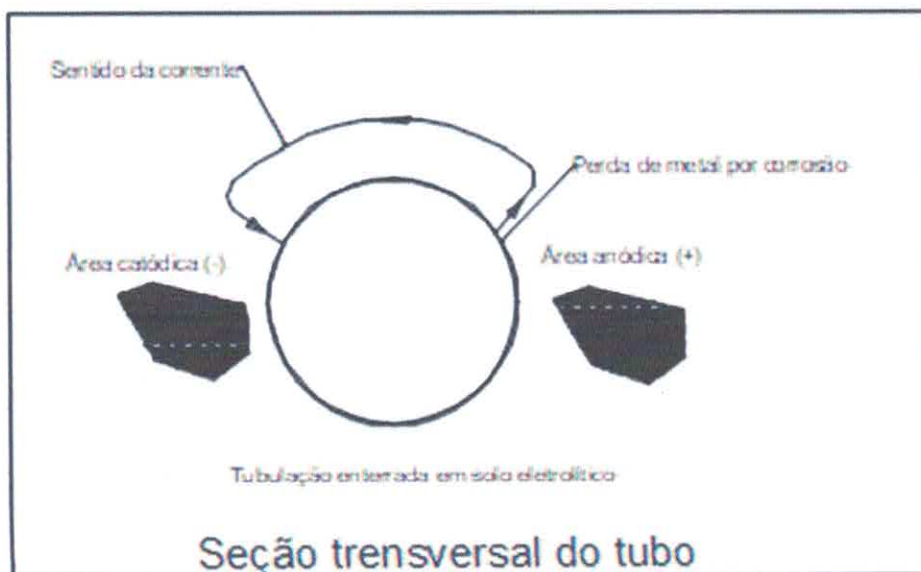


Figura 2 – Representação Esquemática de Célula de Corrosão

Logo, para que haja garantia na integridade dos dutos, devem-se adotar técnicas para controle da corrosão. É possível mapear possíveis defeitos no duto antes que estes se transformem em vazamentos ou causem grandes acidentes (ABRACO, 2008). A seguir serão descritos os principais métodos existentes para proteção anticorrosiva dos dutos.

4.2.2 - Revestimentos

Os dutos enterrados devem possuir revestimento externo para proteção contra corrosão. Esse revestimento representa a primeira barreira contra a corrosão externa, pois trata-se da interposição de uma camada entre a estrutura metálica e o meio corrosivo, ou seja, forma-se uma película protetora contra a corrosão, impedindo o contato entre o duto e o eletrólito. No entanto, todos os revestimentos são passíveis de deterioração com o tempo devido à absorção de água, pressões e/ou abrasões geradas pela compactação do solo, danos causados por raízes, ataques bacteriológicos, entre outras causas. Um revestimento será um meio efetivo de interromper a corrosão se:

- O material de revestimento for um efetivo isolante elétrico;
- Puder ser aplicado sem interrupções ou descontinuidades, e resistir íntegro durante o transporte, instalação e operação de enterramento;
- O revestimento prover inicialmente de um filme quase perfeito e assim permanecer ao longo do tempo.

Como a proteção é somente por barreira, tão logo o eletrólito chegue à superfície metálica, iniciará o processo corrosivo. Entretanto, se houver um mecanismo adicional de proteção, por exemplo, proteção catódica, haverá um prolongamento da vida do duto. Numa tubulação tipicamente bem revestida, a instalação completa deve ter uma eficiência de revestimento, melhor do que 99%.

Os revestimentos podem ser metálicos ou não metálicos, inorgânicos ou orgânicos e sua utilização dependerá do meio corrosivo ao redor. Os principais tipos de revestimentos usados em dutos enterrados são (NUNES, 2006):

- Esmalte de alcatrão de hulha: Existem duas espessuras, sendo de revestimento simples ou duplo. A aplicação destes depende da agressividade do meio em que o duto se encontra.
- Fitas plásticas: Fita de polietileno (possuem melhor desempenho), fitas de PVC; fitas de poliéster.
- Revestimento com polietileno extrudado: É um dos revestimentos mais modernos, onde utiliza o polietileno de baixa densidade extrudado sobre o duto que se quer proteger.
- Revestimento misto a base de epóxi e polietileno extrudado: É considerado o melhor revestimento anticorrosivo atualmente, por ser de excelente desempenho e durabilidade.

4.2.2.1 - Proteção Catódica

A proteção catódica, virtualmente, atua como uma segunda barreira de defesa contra a corrosão externa, pois tem por objetivo proteger a tubulação. O princípio básico é tornar o elemento metálico a ser protegido - um aqueduto, por exemplo - em um cátodo de uma célula de corrosão, o que pressupõe a presença de um ânodo. Assim, o processo natural de perda de elétrons da estrutura para o meio, fenômeno que causa a corrosão, é compensado pela ligação da estrutura metálica a um ânodo de sacrifício, em geral, um eletrodo de cobre/sulfato. O direcionamento da corrente elétrica preserva a estrutura metálica, ocorrendo corrosão controlada no ânodo (PINIWEB).

É bom lembrar que a proteção catódica é o único processo capaz de eliminar a corrosão eletroquímica e eletrolítica, mesmo em estruturas não-revestidas.

Os mecanismos de proteção catódica para estruturas metálicas são dois: galvânica, onde é feita a instalação de um ânodo galvânico paralelo à tubulação, e o outro, feito por corrente impressa, onde a estrutura metálica é ligada a um retificador de corrente elétrica. No decorrer da vida da estrutura, como o revestimento externo perde eficiência por causa da interação com o eletrólito, torna-se necessário aumentar a intensidade da corrente de proteção produzida pelo retificador. Os períodos de revisão/manutenção da estrutura e do sistema de proteção são estimados em 20 anos para corrente impressa e cinco anos para proteção galvânica (PINIWEB).

- Instalação: Os sistemas de proteção catódica podem ser instalados tanto antes quanto depois da execução da estrutura ou do assentamento da tubulação. A proteção catódica de tubulações deve ser precedida de um levantamento de campo na fase de projeto para garantir que a corrente de proteção não se transforme na corrente de corrosão de tubulações de terceiros. Esse fenômeno é agravado porque, em geral, existem correntes elétricas de interferência em regiões urbanizadas, em virtude dos sistemas de tração das ferrovias e do metrô.
- Aplicação: O processo de controle da corrosão por meio de proteção catódica aplica-se a toda e qualquer estrutura metálica, enterrada ou submersa, mas não a componentes aéreos ou completamente isolados do meio eletrolítico. Uma tubulação aérea deve ter a superfície interna protegida por mecanismo anticorrosivo passivo, que cria uma barreira isolante eletricamente, conforme vista na figura 2.8.

4.2.3 - Superfície Interna

Tubulações enterradas ou submersas, como adutoras, gasodutos, oleodutos e minerodutos são exemplos de dutos na forma cilíndrica com superfície interna e externa. Na maioria dos casos, a interna é a que mais sofre com a corrosão por estar em contato contínuo com o agente corrosivo.

4.2.3.1 - Inibidores de Corrosão

São substâncias ou misturas de substâncias que, quando presente em concentrações adequadas no meio corrosivo, reduz ou elimina a corrosão. (MAINIER, 2001).

Todos os dutos que tenham potencial de corrosividade maior que 0,125 mm/ano ou potencial de corrosividade localizada maior que 0,201 mm/ano devem ter injeção de inibidores de corrosão. O aumento da resistência à corrosão pelo uso dos inibidores constitui-se em uma técnica muito utilizada, especialmente quando o meio corrosivo é líquido e trabalha em circuito fechado. Quando os inibidores são adicionados ao meio corrosivo, diminuem a sua agressividade por meio dos seguintes mecanismos (MAINIER, 2001):

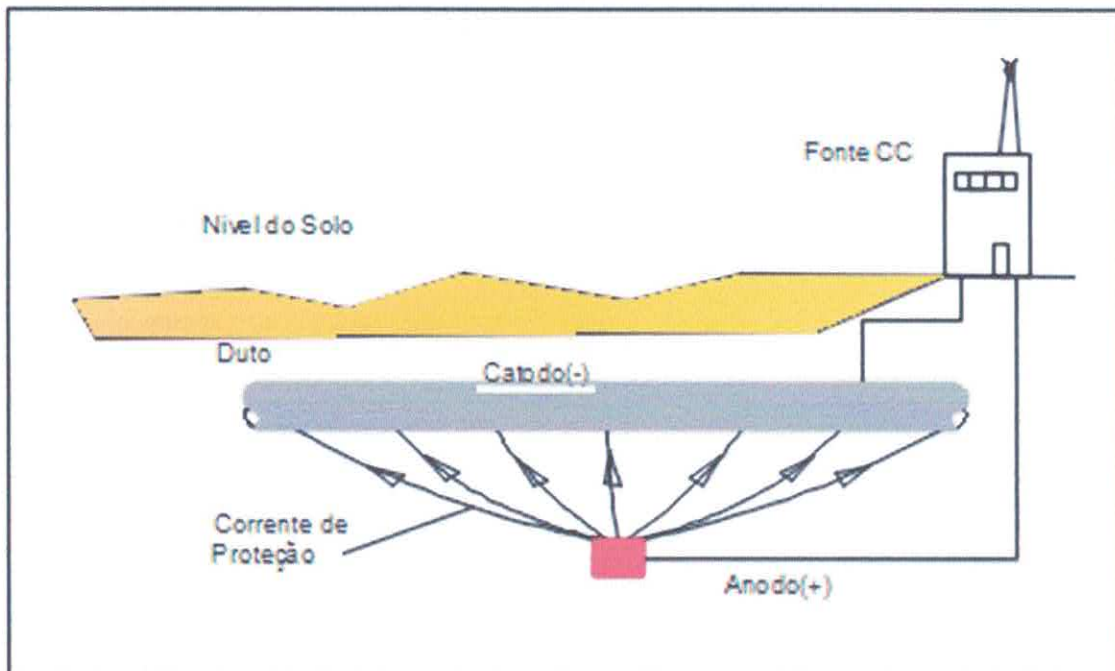


Figura 3 - Proteção catódica pelo método da Corrente Impressa

Fonte: Acervo Técnico da Petrobras

- Inibição anódica (inibidores anódicos): São compostos que formam produtos insolúveis nas áreas anódicas, produzindo uma polarização anódica. Estes inibidores são também chamados de passivadores (Exemplo: hidróxidos, carbonatos, fosfatos, silicatos, boratos de metais alcalinos, nitrito de sódio e cromatos de potássio e sódio).

- Inibição catódica (inibidores catódicos): São compostos que formam produtos insolúveis nas áreas catódicas, produzindo uma polarização catódica (Exemplo: sulfatos de zinco, magnésio ou níquel).
- Inibição por barreira (inibidores por adsorção): São compostos que têm a propriedade de formar películas por adsorção à superfície metálica, criando assim uma película protetora sobre áreas anódicas e catódicas (Exemplo: sabões de metais pesados, aminas, uréia, etc.).

- Seqüestradores de oxigênio: São compostos que reagem com o oxigênio promovendo a desaeração do meio.

Segundo a norma N – 2364 da Petrobrás, temos a seguinte classificação para taxa de corrosão:

TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO DAS TAXAS DE CORROSÃO

TIPO DE CORROSÃO	COR. UNIFORME (TAXA)		PITE(TAXA)	
	MPY	MM/ANO	MPY	MM/ANO
Baixa	<1,0	<0,025	<5	<0,305
Moderada	1,0 - 4,9	0,025 - 0,125	5 - 7,9	0,305 - 0,610
Severa	5,0 - 10,9	0,126 - 0,254	8 - 15,0	0,635 - 2,438
Muito Severa	>10,0	>0,254	>15	>2,438

5. Metodologia

A tubulação da adutora possui um comprimento de 6.478 metros e utilizou-se um critério aleatório para selecionar 07(sete) Pontos para amostragem da espessura da chaparia. Optou-se em chamar de Ponto 1, um ponto na tubulação de entrada da ETA, e os demais pontos obtidos, a partir da estação de tratamento (ETA). A distância dos pontos analisados e suas espessuras obtidas estão informados na tabela 1.

O acesso à tubulação se deu através de escavação mecanizada ao longo da linha da adutora, conforme fotos abaixo:



Foto 1 – Fosso de acesso á tubulação da ETA



Foto 2,3 – Escavação para acesso à adutora

Para efeito de análise, optou-se em realizar medição em 03(três) pontos da seção circular do tubo, conforme ilustrado em figura 2, abaixo:

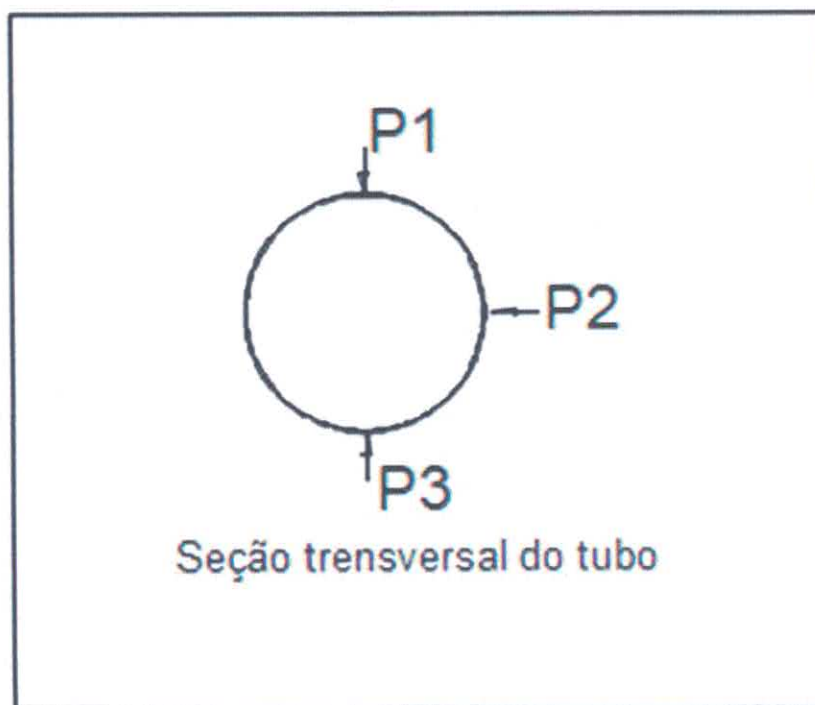


Fig. 2 – Pontos da seção medidos por Ultra som.



Foto 4 e 5 – Realizando Medição por ultra som.

Nos pontos acima selecionados foram calculados as pressões hidráulica às quais estão submetidas durante a sua operação e a espessuras mínimas necessária para se resistir aos esforços provocados pela pressão hidráulica. Para cálculo de estimativa de vida remanescente, será feito um cálculo de vida residual desta tubulação, com base nos critério de desgaste da tubulação existente.

Para análise dos pontos foi adotado o critério de Inspeção visual e análise de espessura por Ultra som.

6. Resultados

Foi realizado a inspeção visual da superfície do tubo de forma que em todos os pontos analisados obteve se uma superfície lisa, isenta de corrosão e Pite. Tal fato foi surpreendente, pois a adutora não possui qualquer tipo de proteção efetiva, conforme recomendadas no projeto conceptivo e discriminado na Fundamentação Teórica apresentada.

Quanto as medidas apresentadas pela medição por ultra som obtivemos valores relativamente satisfatório conforme valores apresentados na Tabela 1 – abaixo:

Tabela 1 – Pontos e Espessuras Medidas

Espessuras (mm)	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
	0,0 km	2,2 km	2,7 km	3,2 km	3,5 km	3,8 km	4,4 km
Espessura 1 (mm)	4,7	5,2	5,4	5,1	5,1	5,9	5,0
Espessura 2 (mm)	4,9	5,5	5,5	5,1	5,4	5,5	5,0
Espessura 3 (mm)	4,9	5,5	5,2	5,2	5,5	5,2	5,1
Espessura Nominal (mm)	6,35						

Equipamento de Ultra som Utilizado:

Marca: INSTRUTHERM

Modelo: ME-215

Certificado de Aferição em anexo A.

7. Memorial de cálculo

7.1 – Memorial de Cálculo – Pressão Hidráulica, Espessura e cálculo dos Coeficientes de Segurança

Para o cálculo da espessura da parede do tubo, foi adotado a Norma ANSI.B.31, na qual utilizou se a seguinte fórmula:

$$t = \frac{P \times D}{2(S_h \times E + P \times Y)} \quad [1]$$

Em que:

t - É a espessura mínima em mm.

P – Pressão Interna em MPa

D - Diâmetro externo em mm (366,2 mm)

S_h - Tensão admissível do material do tubo (80 MPa)

Y – Coeficiente de Redução (Aço $Y= 0,4$)

E – Eficiência da Solda ($E = 0,8$ solda por apenas um lado)

Para obter a pressão hidráulica nos pontos analisados foi utilizado o software já citado “EES”, fizemos então um memorial de cálculo descrito no “Anexo B” deste relatório, bem como, gerado uma tabela com informações sobre a localização dos pontos, pressão e espessura mínima necessária e a espessura medida, conforme a tabela 1, o número de estacas está conforme a “Planta e Perfil da Adutora”, que foi dividida em estacas.

Tabela 2 – Valores de Pressão, Espessura e Coeficiente de Segurança da tubulação.

Ponto	Localização em km a partir da ETA	Localização N° Estaca	Pressão (mca)	Espessura Mínima (mm)	Espessura Medida (mm)	Coeficiente de Segurança (%)
1	0,0 (km)	330	2.0	0.05	4.7	∞
2	2,2 (km)	222	25.81	0.74	5.2	756
3	2,7 (km)	192	66.51	1.91	5,2	282
4	3,2 (km)	163	70.1	2.02	5,1	252
5	3,5 (km)	147	73.9	2.11	5,4	246
6	3,8 (km)	130	84.83	2.43	5,6	213
7	4,4 (km)	103	117.8	3.37	5,0	139

7.2 Memorial Descritivo – Vida Residual da Tubulação

Já para o cálculo da vida Residual utilizou se a norma ASME B.31.4, em que a taxa de corrosão (T_x) é calculada por:

$$T_x = \frac{t_{nom} - t_{atual}}{T}$$

Em que:

T_x - é a taxa de corrosão em mm/ano

t_{nom} - é a espessura nominal da tubulação (mm) {TABELA 1}

t_{atual} - é a espessura da medição atual (mm) {TABELA 1}

T – Tempo decorrido entre as duas medições (50 anos)

t – é a espessura mínima permitida

Então a taxa de corrosão em mm/ano:

$$T_x = \frac{t_{nom} - t_{atual}}{T} = \frac{6.35 - 4.7}{50} = 0.033 \frac{mm}{ano}$$

Já a vida residual é calculada por:

$$V_r = \frac{t_{atual} - t}{T_x} = \frac{4.7 - 3.37}{0.033} = 40.30 \text{ anos}$$

8. Discussão

A Tabela 2 na seção 5.1, apresentou os valores de pressão hidráulica calculados para a tubulação quando em operação. Para efetuar esta análise utilizou-se algumas considerações, tais como; a) O início das operações de parada e retomada de operação deverão ser efetuadas com acionamento em “rampa”, utilizando um dispositivo de “softstarter”, conforme projeto. b) fazer uso de controle de velocidade correto de abertura e fechamento de válvulas de bloqueio; c) Utilização de acessórios de tubulação, tais como válvulas redutoras de pressão, ventosas, etc. É válido lembrar que no Projeto de Concepção se faz uso de um “Castelo d’água” que visa redução de golpes de Ariete e equalização da pressão para a chegada da ETA (Estação de Tratamento d’Água).

Na análise dos dados Tabela 2, pode-se observar o ponto nº 7, valores de pressão de 117,8 mca para o ponto mais distante da ETA, neste ponto seria necessária uma espessura mínima de 3,37 mm, obteve-se um valor mínimo de 5,0 mm o que nos dá um coeficiente de segurança de 39%. É válido salientar que o Ponto 7 deverá ser o ponto de junção da nova tubulação a ser implantada, ou seja, ela terá início na estação de bombeio e terminará no Ponto 7 e onde tem-se o início da tubulação existente. Portanto, ela seria o nosso ponto crítico a ser analisado para estimativa de vida útil. Os demais pontos apresentam valores elevados de segurança para operação, o que salvos possíveis acidentes na linha da adutora, tem-se uma boa expectativa de vida útil.

Dentre os fatores que aceleram o processo de corrosão, tem-se o meio externo e as condições do fluido interno. O fluido interno aparentemente apresenta condições de fluxo ideal, pois o desgaste interno demonstra contribuir com taxa de desgaste moderada conforme a tabela 3. Da mesma forma o meio externo também apresenta condições de baixo fator de corrosão e desgaste, isto, talvez pelas condições do solo, com características arenosas e PH relativamente Neutro.

Esta afirmação pode ser confirmada com base nos valores obtidos no Ítem 6.2, onde obteve-se estimativa de vida remanescente de 40 anos para a adutora existente, estes valores foram obtidos com base na análise da reduzida taxa de desgaste e corrosão a que está sujeita a tubulação.

9. Conclusão

Os dados obtidos em pontos aleatórios da tubulação da adutora não representam uma resposta que garanta 100% de certeza, na expectativa dos números acima apresentados, mas garante uma certeza com alta taxa de confiabilidade. De forma que a tubulação complementar a ser substituída, deverá ser construída dentro das Normas e critérios técnicos de forma a garantir o máximo de vida útil para a adutora.

ANEXO A – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO



Certificado de Calibração Laboratório Medição Uberlândia

Certificado: 263856/21

Data Calibração: 04/11/2021

Validade: 04/11/2022

OS: 712473-A/2021

1 / 2

Solicitante: FENIX SERVICOS E LOCACOES LTDA
 Rua Ceará, 3025, Letra: B - Custódio Pereira - Uberlândia - MG - 38405-240 - Brasil

Contratante: FENIX SERVICOS E LOCACOES LTDA

Características do Instrumento
Descrição: MEDIDOR DE ESPESSURA

Identificação: ME-04

Marca: INSTRUTHERM

Modelo: ME-215

Nº Serie: 10011100559962

Condições Ambientais

Serviço executado nas instalações permanentes do Laboratório.

Temperatura: 21,5 °C ± 1,0 °C

Umidade: 50,0 %ur ± 5,0 %ur

Procedimentos

Calibração Executada conforme:

ITTEC024

Revisão: 2

Padrões
Identificação:

PTM-0685 JOGO DE BLOCO PADRÃO

Marca:

STARRETT

Certificado:

J009662/2020

Calibrado por:

K&L-CAL-0065

Validade:

02/2023

PTM-1092 PROJETO DE PERFIL

DIGIMESS

PTM109225/06/20

MEDIÇÃO-CAL0183

06/2023

Resultados Obtidos
1.1 ESCALA (0~99µm)
Faixa de Uso: 1,5 a 200,0 µm

Faixa de Indicação: 1,5 a 200,0 µm

Resolução: 0,1 µm

V.R	V.J	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(k)	Veff
µm	µm	µm	µm	µm		
4,0	4,1	0,1	3,0	3,1	2,00	infinito
10,0	9,3	-0,7	3,0	3,7	2,00	infinito
50,0	47,1	-2,9	3,0	5,9	2,00	infinito
80,0	85,9	5,9	3,0	8,9	2,00	infinito

1.2 ESCALA (100~1000µm)
Faixa de Uso: 100 a 1000 µm

Faixa de Indicação: 100 a 1000 µm

Resolução: 1 µm

V.R	V.J	Erro de Medição	Incerteza Expandida	Incerteza Expandida + Erro	(k)	Veff
µm	µm	µm	µm	µm		
100,0	97,0	-3,0	3,1	6,1	2,00	infinito
500,0	492,0	-8,0	3,1	11,1	2,00	infinito
800,0	789,0	-11,0	3,1	14,1	2,00	infinito



Certificado de Calibração Laboratório Medição Uberlândia

Certificado: 263856/21

Data Calibração: 04/11/2021

Validade: 04/11/2022

OS: 712473-A/2021

2 / 2

Observações Gerais

NÃO HOUVE AJUSTE

- V.R: Valor de Referência na unidade de medição do padrão.
- V.I: Valor médio indicado no instrumento na unidade de medição do mesmo.
- A incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t com ν eff graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%.
- A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.
- A condição de Aprovado/Reprovado se restringe apenas as grandezas metrológicas do instrumento sendo que o limite de erro especificado para esta condição é de responsabilidade do Cliente.
- A operação de ajuste / regulagem não faz parte do escopo dos serviços.
- A validade de calibração do instrumento, quando apresentada neste certificado, é de responsabilidade do cliente.

Endereço de Emissão: Rua Nicarágua, 1390 - Bairro: Tibery - Uberlândia - Minas Gerais
Data de emissão: 04 de Novembro de 2021



Assinado Eletronicamente

Leandro Silva de Bastos

Gerente Técnico



Assinado Digitalmente por:
Leandro Silva de Bastos
Data: 11/11/2021 15:11

O CONTEÚDO APRESENTADO NESTE DOCUMENTO/REGISTRO TEM SIGNIFICADO RESTRITO E SE APLICA SOMENTE A ESTA SITUAÇÃO. É PROIBIDA A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DO MESMO SEM A AUTORIZAÇÃO DO EMITENTE.

ANEXO B – MEMÓRIA DE CÁLCULO

1: $T[1] = 20$ [°C]

2: $P[1] = 101.4$ [kPa]

3:

4: $D = 0.3662$ [m]

5: $A = \pi \cdot (D/2)^2$

6: $Q = 0.12643$ [m³/s]

7: $V = Q/A$

8: $g = 9.81$

9:

10: $\rho = \text{Density}(\text{Water}, T=T[1], P=P[1])$

11: $\mu = \text{Viscosity}(\text{Water}, T=T[1], P=P[1])$

12:

13: $Rey = D \cdot V \cdot \rho / \mu$

14:

15: *{Escoamento Turbulento}*

16:

17: *{Perda de Carga - Até 100 m antes da VTF 3}*

18:

19: *{Saída da Bomba}*

20:

21: $Perd[11] = 6 \cdot D$

22: $Perd[10] = (0.8 \cdot V^2) / (2 \cdot g)$

23: $Perd[9] = 0.34$

24: $Perd[8] = 25$

25: $Perd[7] = 2.5$

26: $Perd[6] = 6.1$

27: $Perd[5] = 1.5$

28: $Perd[4] = 6.1$

29: $Perd[3] = 7$

30: $Perd[2] = 5.8$

31: $Perd[1] = 10 \cdot V^2 / (2 \cdot g)$

32:

33: *{CÁLCULO DA PERDA DE CARGA ATÉ O PONTO DE OPERAÇÃO}*

34:

35: *{--- PONTO 1 - > 2 - SAÍDA DA BOMBA ATÉ A RAMIFICAÇÃO}*

36: $L_total = 2078$

37: $e = 5.186e-05$

38: $ni = 1.22e-06$

39:

40: $L1_eq = Perd[11] + Perd[10] + Perd[11] + Perd[9] + Perd[8] + Perd[7] + Perd[6] + Perd[5] + Perd[4] + Perd[3] + Perd[2] + Perd[1]$

41: $H[1] = 199.03$

42:

43: $1/\sqrt{f} = -2 \cdot \log_{10}(e/(3.7 \cdot D) + 2.51/((4 \cdot Q \cdot \sqrt{f})/(\pi \cdot D \cdot ni)))$

44:

45:

46: $H[1] - f \cdot (L1_eq/D) \cdot (8 \cdot Q^2) / (\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4) = H[2]$

47:

48: *{--- PONTO 2 - > 3 - ANTES DA RAMIFICAÇÃO ATÉ O FINAL DA RAMIFICAÇÃO TUBULAÇÃO 400 DN}*

49:

50: $z = 856 - 787$

51: $L2_eq = L_total$

52:

53: $1/\sqrt{f1} = -2 \cdot \log_{10}(e/(3.7 \cdot D) + 2.51/((4 \cdot Q1 \cdot \sqrt{f1})/(\pi \cdot D \cdot ni)))$

54:

55: $H[2] - f1 \cdot (L2_eq/D) \cdot (8 \cdot Q1^2) / (\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4) = H[3] + z$

56:

57:

58: *{--- PONTO 2 - > 4 - ANTES DA RAMIFICAÇÃO ATÉ O FINAL DA RAMIFICAÇÃO TUBULAÇÃO 350 DN}*

59:

60: $D2 = 0.3116$

61: $L3_{eq} = L_{total}$
62:
63: $1/\sqrt{f2} = -2*\log_{10}(e/(3.7*D2) + 2.51/((4*Q2*\sqrt{f2})/(pi*D2*ni))))$
64:
65: $H[2] - f2*(L3_{eq}/D2)*(8*Q2^2)/(pi^2*9.81*D2^4) = H[3] + z$
66:
67: $Q = Q1 + Q2$
68:
69: {PONTO 3 e 4 -> 5 - JUNÇÃO DA TUBULAÇÃO - ESTACA 103}
70:
71: $L4_{eq} = 1$
72:
73: $1/\sqrt{f3} = -2*\log_{10}(e/(3.7*D) + 2.51/((4*Q*\sqrt{f3})/(pi*D*ni))))$
74:
75: $H[3] - f3*(L4_{eq}/D)*(8*Q^2)/(pi^2*9.81*D^4) = H[4]$
76:
77: {PONTO (7) 4 -> 5 - ESTACA 130}
78:
79: $z_{45} = 867 - 858 \{m\}$
80:
81: $L45_{eq} = 257$
82:
83: $1/\sqrt{f4} = -2*\log_{10}(e/(3.7*D) + 2.51/((4*Q*\sqrt{f4})/(pi*D*ni))))$
84:
85: $H[4] - f4*(L45_{eq}/D)*(8*Q^2)/(pi^2*9.81*D^4) = H[5] + z_{45}$
86:
87: {PONTO (6) 5 -> 6 - ESTACA 213}
88:
89: $z_{56} = 847 - 816 \{m\}$
90:
91: $L56_{eq} = 550 \{m\}$
92:
93: $1/\sqrt{f5} = -2*\log_{10}(e/(3.7*D) + 2.51/((4*Q*\sqrt{f5})/(pi*D*ni))))$
94:
95: $H[5] - f5*(L56_{eq}/D)*(8*Q^2)/(pi^2*9.81*D^4) = H[6] + z_{56}$
96:
97: {PONTO (5) 6 -> 7 - ESTACA 147}
98:
99: $z_{67} = 857 - 847 \{m\}$
100:
101: $L67_{eq} = 300 \{m\}$
102:
103: $1/\sqrt{f6} = -2*\log_{10}(e/(3.7*D) + 2.51/((4*Q*\sqrt{f6})/(pi*D*ni))))$
104:
105: $H[6] - f6*(L67_{eq}/D)*(8*Q^2)/(pi^2*9.81*D^4) = H[7] + z_{67}$
106:
107: {PONTO (4) 7 -> 8 - ESTACA 163}
108:
109: $z_{78} = 860 - 857 \{m\}$
110:
111: $L78_{eq} = 257.14 \{m\}$
112:
113: $1/\sqrt{f7} = -2*\log_{10}(e/(3.7*D) + 2.51/((4*Q*\sqrt{f7})/(pi*D*ni))))$
114:
115: $H[7] - f7*(L78_{eq}/D)*(8*Q^2)/(pi^2*9.81*D^4) = H[8] + z_{78}$
116:
117: {PONTO (3) 8 -> 9 - ESTACA 192}
118:
119: $z_{89} = 860 - 858 \{m\}$
120:

$$121: L_{89_eq} = 514.28 \text{ [m]}$$

122:

$$123: 1/\sqrt{f_8} = -2 \cdot \log_{10}(e/(3.7 \cdot D) + 2.51/((4 \cdot Q \cdot \sqrt{f_8})/(\pi \cdot D \cdot \nu)))$$

124:

$$125: H[8] - f_8 \cdot (L_{89_eq}/D) \cdot (8 \cdot Q^2)/(\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4) = H[9] + z_{89}$$

126:

127: { PONTO (2) 9 -> 10 - ESTACA 222 }

128:

$$129: z_{910} = 897 - 858 \text{ [m]}$$

130:

$$131: L_{910_eq} = 550 \text{ [m]}$$

132:

$$133: 1/\sqrt{f_9} = -2 \cdot \log_{10}(e/(3.7 \cdot D) + 2.51/((4 \cdot Q \cdot \sqrt{f_9})/(\pi \cdot D \cdot \nu)))$$

134:

$$135: H[9] - f_9 \cdot (L_{910_eq}/D) \cdot (8 \cdot Q^2)/(\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4) = H[10] + z_{910}$$

136:

137: { PONTO (1) 10 -> 11 - ESTACA 330 - Reser. de Transição até a ETA }

138:

$$139: z_{1011} = 916 - 919 \text{ [m]}$$

140:

$$141: L_{1011_eq} = 1480 \text{ [m]}$$

142:

$$143: 1/\sqrt{f_{10}} = -2 \cdot \log_{10}(e/(3.7 \cdot D) + 2.51/((4 \cdot Q \cdot \sqrt{f_{10}})/(\pi \cdot D \cdot \nu)))$$

144:

$$145: H[11] = 0$$

146:

$$147: H[11] - f_{10} \cdot (L_{1011_eq}/D) \cdot (8 \cdot Q^2)/(\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4) = H[12] + z_{1011}$$

$$T_1 = 20 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$P_1 = 101.4 \text{ [kPa]}$$

$$D = 0.3662 \text{ [m]}$$

$$A = \pi \cdot \left[\frac{D}{2} \right]^2$$

$$Q = 0.12643 \text{ [m}^3\text{/s]}$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$g = 9.81$$

$$\rho = \rho[\text{water}, T = T_1, P = P_1]$$

$$\mu = \text{Visc}[\text{water}, T = T_1, P = P_1]$$

$$\text{Rey} = D \cdot V \cdot \frac{\rho}{\mu}$$

$$\text{Perd}_{11} = 6 \cdot D$$

$$\text{Perd}_{10} = \frac{0.8 \cdot V^2}{2 \cdot g}$$

$$\text{Perd}_9 = 0.34$$

$$\text{Perd}_8 = 25$$

$$\text{Perd}_7 = 2.5$$

$$\text{Perd}_6 = 6.1$$

$$\text{Perd}_5 = 1.5$$

$$\text{Perd}_4 = 6.1$$

$$\text{Perd}_3 = 7$$

$$\text{Perd}_2 = 5.8$$

$$\text{Perd}_1 = 10 \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

$$L_{\text{total}} = 2078$$

$$e = 0.00005186$$

$$ni = 0.00000122$$

$$L1_{\text{eq}} = \text{Perd}_{11} + \text{Perd}_{10} + \text{Perd}_{11} + \text{Perd}_9 + \text{Perd}_8 + \text{Perd}_7 + \text{Perd}_6 + \text{Perd}_5 + \text{Perd}_4 + \text{Perd}_3 + \text{Perd}_2 + \text{Perd}_1$$

$$H_1 = 199.03$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{\frac{4 \cdot Q \cdot \sqrt{f}}{\pi \cdot D \cdot ni}} \right]$$

$$H_1 - f \cdot \frac{L1_{\text{eq}}}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4} = H_2$$

$$z = 856 - 787$$

$$L2_{\text{eq}} = L_{\text{total}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f1}} = -2 \cdot \log \left[\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{\frac{4 \cdot Q1 \cdot \sqrt{f1}}{\pi \cdot D \cdot ni}} \right]$$

$$H_2 - f1 \cdot \frac{L2_{\text{eq}}}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q1^2}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4} = H_3 + z$$

$$D2 = 0.3116$$

$$L3_{\text{eq}} = L_{\text{total}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f2}} = -2 \cdot \log \left[\frac{e}{3.7 \cdot D2} + \frac{2.51}{\frac{4 \cdot Q2 \cdot \sqrt{f2}}{\pi \cdot D2 \cdot ni}} \right]$$

$$H_2 - f2 \cdot \frac{L3_{\text{eq}}}{D2} \cdot \frac{8 \cdot Q2^2}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D2^4} = H_3 + z$$

$$Q = Q1 + Q2$$

$$L_{89_{eq}} = 514.28$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_8}} = -2 \cdot \log \left[\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{\frac{4 \cdot Q \cdot \sqrt{f_8}}{\pi \cdot D \cdot ni}} \right]$$

$$H_8 - f_8 \cdot \frac{L_{89_{eq}}}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4} = H_9 + Z_{89}$$

$$Z_{910} = 897 - 858$$

$$L_{910_{eq}} = 550$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_9}} = -2 \cdot \log \left[\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{\frac{4 \cdot Q \cdot \sqrt{f_9}}{\pi \cdot D \cdot ni}} \right]$$

$$H_9 - f_9 \cdot \frac{L_{910_{eq}}}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4} = H_{10} + Z_{910}$$

$$Z_{1011} = 916 - 919$$

$$L_{1011_{eq}} = 1480$$

$$\frac{1}{\sqrt{f_{10}}} = -2 \cdot \log \left[\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{\frac{4 \cdot Q \cdot \sqrt{f_{10}}}{\pi \cdot D \cdot ni}} \right]$$

$$H_{11} = 0$$

$$H_{11} - f_{10} \cdot \frac{L_{1011_{eq}}}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4} = H_{12} + Z_{1011}$$

Arrays Table: Main

	P_i [kPa]	T_i [°C]	Perd _i	H_i
1	101.4	20	0.7344	199
2			5.8	198.8
3			7	127.3
4			6.1	127.3
5			1.5	117.5
6			6.1	84.83
7			2.5	73.9
8			25	70.1
9			0.34	66.51
10			0.05875	25.81
11			2.197	0
12				-1.58

$$L4_{eq} = 1$$

$$\frac{1}{\sqrt{f3}} = -2 \cdot \log \left[\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{\frac{4 \cdot Q \cdot \sqrt{f3}}{\pi \cdot D \cdot ni}} \right]$$

$$H_3 - f3 \cdot \frac{L4_{eq}}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4} = H_4$$

$$z_{45} = 867 - 858$$

$$L45_{eq} = 257$$

$$\frac{1}{\sqrt{f4}} = -2 \cdot \log \left[\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{\frac{4 \cdot Q \cdot \sqrt{f4}}{\pi \cdot D \cdot ni}} \right]$$

$$H_4 - f4 \cdot \frac{L45_{eq}}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4} = H_5 + z_{45}$$

$$z_{56} = 847 - 816$$

$$L56_{eq} = 550$$

$$\frac{1}{\sqrt{f5}} = -2 \cdot \log \left[\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{\frac{4 \cdot Q \cdot \sqrt{f5}}{\pi \cdot D \cdot ni}} \right]$$

$$H_5 - f5 \cdot \frac{L56_{eq}}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4} = H_6 + z_{56}$$

$$z_{67} = 857 - 847$$

$$L67_{eq} = 300$$

$$\frac{1}{\sqrt{f6}} = -2 \cdot \log \left[\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{\frac{4 \cdot Q \cdot \sqrt{f6}}{\pi \cdot D \cdot ni}} \right]$$

$$H_6 - f6 \cdot \frac{L67_{eq}}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4} = H_7 + z_{67}$$

$$z_{78} = 860 - 857$$

$$L78_{eq} = 257.14$$

$$\frac{1}{\sqrt{f7}} = -2 \cdot \log \left[\frac{e}{3.7 \cdot D} + \frac{2.51}{\frac{4 \cdot Q \cdot \sqrt{f7}}{\pi \cdot D \cdot ni}} \right]$$

$$H_7 - f7 \cdot \frac{L78_{eq}}{D} \cdot \frac{8 \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot 9.81 \cdot D^4} = H_8 + z_{78}$$

$$z_{89} = 860 - 858$$