

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ

ESTUDO TÉCNICO COMERCIAL DE UM SISTEMA DUTOVIÁRIO

Leonardo Sarlo Baptista Galvão
Roberta Salazar Robalinho

Prof^a. Orientadora: Gisele Vieira
Coorientador: Rafael Paes

Rio de Janeiro,
Novembro de 2015

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
CELSO SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ

ESTUDO TÉCNICO COMERCIAL DE UM SISTEMA DUTOVIÁRIO

Leonardo Sarlo Baptista Galvão

Roberta Salazar Robalinho

Projeto final apresentado em cumprimento às normas do
Departamento de Educação Superior do CEFET/RJ, como
parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica.

Prof.^a Orientadora: Gisele Vieira

Coorientador: Rafael Paes de O. Alves

Rio de Janeiro,
Novembro de 2015

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho aos membros da minha família e amigos.

Leonardo Sarlo Baptista Galvão.

Dedico o presente trabalho aos membros da minha família e amigos.

Roberta Salazar Robalinho.

AGRADECIMENTO

Gostaríamos, primeiramente, de agradecer aos nossos familiares e namorados Gabriella França e Marcelo Crespo, por toda a compreensão e apoio, sem eles não seria possível o desenvolvimento e apresentação do trabalho proposto. Aos orientadores, Gisele Vieira e Rafael Paes, gostaríamos de agradecer a acolhida, o suporte, a transmissão de conhecimento e os conselhos, que nunca faltaram durante toda essa jornada. Por fim gostaríamos de agradecer aos amigos Rodrigo Cavalcanti e Marcos Ribeiro, pelo suporte, paciência e dedicação e à Logum Logística de Etanol e todos os seus colaboradores por fornecer material de pesquisa, ferramentas e suporte no desenvolvimento do trabalho. Esperamos que nosso trabalho possa espelhar o carinho e dedicação que os citados acima nos concederam. Obrigado a todos, do fundo de nossos corações.

Leonardo Sarlo Baptista Galvão e Roberta Salazar Robalinho.

RESUMO

Uma das principais limitações na distribuição de combustíveis no país é o deslocamento dos volumes produzidos a partir da zona produtora até os principais centros de distribuição. Vista esta problemática e a carência de dutos em território brasileiro, o trabalho proposto consiste no desenvolvimento de um projeto dutoviário para transporte de Etanol.

Dessa forma, foram selecionadas duas cidades fictícias localizadas em um grande estado produtor, que, por sua vez, enfrenta severas dificuldades logísticas. Uma vez definida a localização das cidades, foi desenvolvida uma análise de mercado para calcular a projeção de volumes a ser atendidos pelo duto.

Foi desenvolvido um projeto que envolveu a definição do diâmetro ótimo, seleção de materiais e quantidade e localização de estação de bombeamento. Com estes dados, foi feita uma análise em simulador transiente (Stoner Pipeline Simulator 10.0) para conclusão do projeto hidráulico e mecânico do sistema.

Convergidas tais possibilidades, foram realizadas simulações a fim de propor uma composição mais interessante para o mercado. Após sua definição e a realização do estudo de viabilidade, restou comprovar a exequibilidade econômica do projeto e suas consequentes condições atrativas para possíveis investidores.

Palavras-chave: Etanol, ANP, Head, estação de Bombeio, Duto, Stoner Pipeline Simulator, Logística, simulação, bombas e Frete.

ABSTRACT

One of the main complications in Brazil's fuel distribution is the displacement of volumes produced from the production area to the main distribution centers. Due to this issue and the lack of pipelines in the country, the following work presents the development and implementation of a pipeline project for ethanol transportation.

Thus, two fictitious cities, located in a large producing state have been selected which, in turn, face severe logistical difficulties. After determining the location of each city, a market analysis has been developed in order to calculate the projection of volumes to be served by the pipeline.

A project has been developed defining the optimal diameter, material selection and quantity and pumping stations location. After collecting the necessary data, an analysis was placed in a transient simulator (Stoner Pipeline Simulator 10.0) in order to complete the hydraulic and mechanical design of the system.

After gathering such possibilities, simulations were performed in order to propose a more interesting composition for the market. After its definition and the carrying out of the feasibility study, this work brings a strong perspective in proving the economic feasibility of the project as much as its attractive conditions for potential investors.

Key-words: Ethanol, ANP, Head, pumping station, Pipe, Stoner Pipeline Simulator, Logistics, simulation, pump and Freight.

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	26
1.1.	Estado da Arte	26
1.2.	Avanço tecnológico e dutos enterrados	27
1.3.	Dutovias no Brasil	27
1.4.	Dutovias nos dias atuais	28
2.	Objetivo	29
3.	Estudo de Volume	30
3.1.	Premissas Adotadas Para o Estudo do Volume do Projeto	30
3.1.1.	Cidade A	30
3.1.2.	Cidade B	30
3.1.3.	Precificação dos Combustíveis no Brasil	30
3.1.4.	Histórico do Etanol Combustível no Brasil.....	31
3.1.5.	Percentuais da Mistura do Etanol na Gasolina	36
3.1.6.	Poder Calorífico de Um Combustível	37
3.1.7.	Ciclo Otto	39
3.1.8.	ICMS nas Cidades A e B	41
3.2.	Estudo de Volumes.....	42
4.	Descrição do Trecho	47
5.	Premissas para o Projeto.....	48
5.1.	Propriedades dos Produtos Movimentados	48
5.2.	Volumes, Vazões e Regime de Trabalho	48
6.	Metodologia de Cálculo	49
6.1.	Perda de Carga.....	49
6.1.1.	Classificação do Escoamento	49
6.1.2.	Fator de Atrito	50

6.1.3.	Perda de Carga.....	50
6.2.	<i>Head</i> Preliminar.....	51
6.3.	Gradiente Hidráulico	52
6.3.1.	Abertura de Coluna.....	52
6.3.2.	Metodologia de Cálculo	52
6.4.	Aplicação no Projeto	54
6.5.	Pressão de Projeto Estimada.....	54
6.5.1.	PMO Estimada.....	54
6.5.1.1.	<i>Head</i> Estático Estimado	54
6.5.1.2.	Pressão Estática Estimada:	55
6.5.1.3.	Composição da PMO _e estimada:	55
6.5.2.	PMOI Estimada	56
6.5.2.1.	Joukowski	56
6.5.2.2.	Condição Hidráulica com Bombas em <i>Shut Off</i>	56
6.5.2.3.	Pressão de <i>Shut Off</i>	57
6.5.2.4.	Composição da PMOI Estimada.....	57
6.5.3.	Composição da Pressão de Projeto Estimada	57
6.6.	Espessura	58
6.6.1.	Espessura Calculada – Equação de Barlow	58
6.6.2.	Sobreespessura de Corrosão	59
6.6.3.	Espessura Selecionada	59
7.	Estudo Econômico.....	60
7.1.	Materiais	60
7.2.	Custo Capital (CAPEX)	61
7.3.	Custo Variável (OPEX)	61
7.4.	VPL.....	62
7.5.	Outras Variáveis	62

7.6.	Estações de Bombeamento	62
7.7.	Diâmetros	62
8.	Definição do Sistema Ótimo	64
8.1.	Diâmetros e Estações	64
8.2.	<i>Outputs</i> do Cálculo Hidráulico	69
8.3.	Transiente Hidráulico Estimado	70
9.	Sistema de Bombeamento	72
9.1.	Dimensionamento de bombas.....	72
9.2.	Métodos de Pesquisa das Bombas	73
9.3.	Estação A.....	75
9.3.1.	Diâmetro de Sucção.....	76
9.3.2.	Velocidade de Sucção.....	76
9.3.3.	Espessura da Linha de Sucção.....	77
9.3.4.	Diâmetro de Descarga	77
9.3.5.	Espessura da Linha de Descarga	77
9.3.6.	Reynolds	78
9.3.7.	Fator de Atrito	78
9.3.8.	Perda de Carga.....	78
9.3.9.	Submergência Mínima.....	79
9.3.10.	NPSH Disponível	80
9.3.11.	1ª Análise – Envio Sem Bomba Auxiliar	80
9.3.12.	2ª Análise – Envio com Bomba Auxiliar no Arranjo	83
9.3.12.1.	Seleção de Bomba Auxiliar	83
9.3.12.2.	Seleção Bomba Principal.....	83
9.3.13.	Análise do Arranjo Econômico	84
9.3.13.1.	Método da Potência Consumida.....	84
9.3.13.2.	Método do Custo das Bombas	86

9.3.13.3.	Definição do Arranjo Selecionado	87
9.4.	Estação B	87
9.4.1.	Análise e Seleção de Bombas	87
9.4.2.	Análise do Arranjo Econômico	89
9.4.2.1.	Método da Potência Consumida	89
9.4.2.2.	Método do Custo das Bombas	90
9.4.2.3.	Definição do Arranjo Selecionado	91
9.5.	Resultados.....	91
10.	Simulação Hidráulica	93
10.1.	Objetivo	93
10.2.	<i>Software</i> Utilizado	93
10.3.	Descrição Geral	93
10.3.1.	Produtos.....	93
10.3.2.	Unidades	93
10.3.3.	Premissas Iniciais	94
10.3.4.	Sistemas de Bombeamento.....	94
10.3.5.	Sistemas Simulados	94
10.3.6.	Cenários Considerados na Simulação	95
10.3.6.1.	Condições Normais	95
10.3.6.2.	Condições Incidentais.....	97
10.3.7.	Tensões Admissíveis	97
10.4.	Sistema 1 – Básico – sem intertravamento e sem PSV	98
10.4.1.	Estação A (Estação de Envio)	98
10.4.1.1.	Tanques.....	99
10.4.1.2.	Linha Interna.....	99
10.4.1.3.	Sistema de Bombeamento	100
10.4.1.4.	Envio da Estação	101

10.4.2.	Duto (Estação A – Estação B)	101
10.4.3.	Estação B (Estação de Rebombeio).....	102
10.4.3.1.	Recebimento	102
10.4.3.2.	Sistema de Bombeamento	102
10.4.3.3.	Envio.....	104
10.4.3.4.	Duto (Estação B – Estação de Recebimento)	104
10.4.4.	Estação de Recebimento	104
10.4.4.1.	Recebimento	105
10.4.4.2.	Sistema de Controle.....	105
10.4.4.3.	Tanques.....	106
10.5.	Resultados das Operações Normais.....	106
10.6.	Resultado Sistema Básico.....	109
10.7.	Sistema 2 – Com Intertravamento	109
10.7.1.	Estação A.....	110
10.7.1.1.	Sistema Segurança.....	110
10.7.2.	Estação B	110
10.7.2.1.	Sistema de Segurança	110
10.7.3.	Resultados do Sistema 2.....	110
10.8.	Sistema 3 – com intertravamento e com PSV	111
10.8.1.	Estação de Recebimento	111
10.8.2.	Resultado Sistema 3	113
10.9.	Fluxograma do Modelo	115
10.10.	Resultados.....	117
10.10.1.	Resultados Condições Incidentais	117
11.	Dimensionamento Mecânico	118
11.1.	Espessuras.....	118
11.2.	Pressões Mínimas de Projeto.....	119

11.3.	Pressões de Projeto Adotadas	120
11.4.	Pressões de Teste Hidrostático	121
11.5.	PMOA.....	123
12.	Órgãos reguladores	125
13.	Carro-tanque	126
14.	ESALQ-LOG.....	132
15.	Sistema de informações de Fretes - SIFRECA.....	133
15.1.	Tarifa do Transporte Rodoviário	134
15.2.	Pedágio	135
15.3.	Tarifa do transporte dutoviário	136
15.4.	Reajuste do Frete Dutoviário.....	138
16.	VPL (Valor presente líquido)	139
17.	TIR (taxa interna de retorno).....	140
18.	EVE (Estudo de viabilidade econômica).....	141
19.	Conclusão	143
	Bibliografia.....	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico de percentuais da precificação dos combustíveis	31
Figura 2 - Ciclo Otto PxV	40
Figura 3 – Desenho esquemático do motor de combustão interna	41
Figura 4 – Projeção do volume de etanol comercializado – Brasil	43
Figura 5 - Projeção de captura de volumes do projeto	45
Figura 6 - Fornecimento de volumes provenientes da cidade A	46
Figura 7 - Macrolocalização da Faixa de Duto.....	47
Figura 8 - Perfil de Elevação	47
Figura 9 – Diagrama de Moody.....	50
Figura 10 - Relação Head e Pressão	51
Figura 11 - Condições Operacionais	52
Figura 12 - Definição do Gradiente Hidráulico.....	53
Figura 13 – Comparação entre Heads.....	55
Figura 14 – Composição HMO Estimado	56
Figura 15 – Composição PMOI Estimada.....	58
Figura 16 - VPL x Ø - Sem estação de rebombeio	64
Figura 17 - VPL x Ø – Com estação de rebombeio e diâmetros iguais nos 2 trechos	65
Figura 18 - VPL x Ø – Com estação de rebombeio e diâmetros diferentes nos 2 trechos	65
Figura 19 - Duto com 16" sem rebombeio	67
Figura 20 – Duto com 18" sem rebombeio.....	68
Figura 21 – Gradiente Hidráulico com Estação Intermediária e Diâmetro de 16".....	69
Figura 22 – Pressões e Espessuras Estimados	71
Figura 23 - Pesquisa de bombas – Inputs	73
Figura 24 – Seleção de Orientação	74
Figura 25 – Exemplo de Resultados de Pesquisa de Bombas	75
Figura 26 – Fluxograma Esquemático.....	76
Figura 27 - Resultado Pesquisa 1P – Estação A.....	81
Figura 28 – Resultado Pesquisa 2P Paralelo – Estação A	82
Figura 29 - Resultado Pesquisa 2P Série – Estação A.....	82
Figura 30 - Resultado Auxiliar – Estação A.....	83
Figura 31 – Resultado Principal 1A+1P – Estação A.....	84
Figura 32 – Resultado Pesquisa Principal 1A+2P – Estação A.....	84

Figura 33 – Resposta Pesquisa 1P – Estação B	88
Figura 34 – Resposta Pesquisa 2P – Estação B	88
Figura 35 - Resposta Pesquisa 3P – Estação B.....	89
Figura 36 - Fluxograma Esquemático	92
Figura 37- Fluxograma do Modelo: Detalhe Estação A.....	99
Figura 38 - Curva das Bombas da Estação A	101
Figura 39 - Fluxograma Modelo: Detalhe Estação B	102
Figura 40 - Curva das Bombas da Estação B	104
Figura 41 - Fluxograma Modelo: Detalhe Estação de Recebimento.....	105
Figura 42 – Permanente Hidratado.....	106
Figura 43 – Permanente Anidro.....	107
Figura 44 - Composição PMO.....	107
Figura 45 - PMO.....	108
Figura 46 - PMOI Sistema Básico.....	109
Figura 47 – PMOI com intertravamento.....	111
Figura 48 – PMOI c/ intertravamento e c/ PSV.....	114
Figura 49- Comparativo Alívio 2º Trecho.....	115
Figura 50 – Fluxograma do Modelo.....	116
Figura 51 - PMOI	117
Figura 52 – PMO x PMOI	119
Figura 53 – Pressão de Projeto Mínima	120
Figura 54 – Pressão de Projeto	121
Figura 55 – Pressões de ensaio hidrostático	122
Figura 56 – <i>Head</i> de ensaio hidrostático	123
Figura 57 - PMOA.....	124
Figura 58 – Carroçaria-tanque.....	126
Figura 59 – Semirreboque tanque.....	126
Figura 60 – Reboque tanque.....	127
Figura 61 - Caminhão de entrega (Tanque Particionado)	128
Figura 62 - Bitrem	129
Figura 63 - Vanderléia.....	130
Figura 64 - Bitrenção.....	131
Figura 65 - Gráfico do Momento Rodoviário mensal	134

Figura 66 - Gráfico de linha de tendência de fretes.....	135
Figura 67 - Roteirizador	136
Figura 68 - Estudo de Viabilidade econômica	141
Figura 69 – Malha dutoviária Brasil x EUA.....	144
Figura 70 – Analise de malha de dutos por extensão territorial	144

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Poder calorífico do etanol 96%	38
Tabela 2 - Poder Calorífico da Gasolina C	39
Tabela 3 - Histórico de volumes comercializados – Brasil	42
Tabela 4 - Percentuais do mercado da cidade A, no mercado brasileiro.	43
Tabela 5 – Propriedades dos produtos	48
Tabela 6 – Propriedades Aços	60
Tabela 7 – Preço Aço	60
Tabela 8 – Melhores casos com rebombeio - VPL 20 anos	66
Tabela 9 – Melhores casos sem rebombeio - VPL 20 anos.....	66
Tabela 10 - Classificação Pressão – Temperatura: Pressões máximas permitidas por classe .	67
Tabela 11 – Dados Trecho 1.....	70
Tabela 12 – Dados Trecho 2.....	70
Tabela 13 – Quantidade de aço estimada	70
Tabela 14 – Consumo Horário por Arranjo	85
Tabela 15 - Diferença de Consumo entre arranjos na 1ª Estação.....	85
Tabela 16 - VPL	86
Tabela 17 – Comparativo Custo das Bombas	86
Tabela 18 – Consumo Horário por Arranjo	89
Tabela 19 – Comparativo VPL por Arranjo.....	90
Tabela 20 – Comparativo Custo das Bombas	90
Tabela 21 – Bombas do Sistema	91
Tabela 22 – Procedimento de Parada do Duto	96
Tabela 23 – Procedimento de Partida do Duto	96
Tabela 24 – Pressões máximas admissíveis por material e espessura para diâmetro 16”.....	98
Tabela 25 – Tanques Estação A.....	99
Tabela 26 – Linha Interna Estação A.....	100
Tabela 27 – Sistema de bombeamento Estação A	100
Tabela 28 – Envio Estação A	101
Tabela 29 – Recebimento Estação B	102
Tabela 30 – Sistema de bombeamento Estação B	103
Tabela 31 – Envio Estação B.....	104

Tabela 32 – Recebimento da Estação de Recebimento	105
Tabela 33 – Controle Estação de Recebimento	105
Tabela 34 – Tanques Estação de Recebimento	106
Tabela 35 - PMO e Set Point de Pressão	108
Tabela 36 – Segurança Estação de Recebimento.....	113
Tabela 37 – Volume comparativo com x sem PSV.....	114
Tabela 38 – Espessuras Definidas	118
Tabela 39 – Pressões de Projeto.....	120
Tabela 40 - Requisitos para pressão do ensaio hidrostático de duto.....	122
Tabela 41 - Informações finais do duto.....	124
Tabela 42 – Reajuste tarifas dutoviárias.....	138
Tabela 43 - Resistências Mecânicas Especificadas PSL2	179

SIMBOLOGIA E DEFINIÇÕES

Simbologia

H_{sup} – Poder calorífico superior

H_{in} – Poder calorífico inferior

Q - Vazão de projeto

R_g – Número de Reynolds

v – Velocidade de escoamento

D – Diâmetro interno da tubulação

ρ – Massa específica do fluido

μ – Viscosidade absoluta do fluido

A_i – Área interna da tubulação

f – Fator de atrito

r – Rugosidade equivalente da parede do tubo

ΔP – Perda de carga

L – Comprimento total do duto

H_p – *Head* preliminar

ΔP_c – Perda de carga

P_p – Pressão preliminar

ΔP – Diferença entre pressões

P – Pressão em regime permanente

g – Aceleração da gravidade

H_{duto} – Head do duto

C – Cota (elevação)

H_p – Head referente à perda de carga

H_{Ee} – Head estático estimado

P_{Ee} – Pressão estática estimada

C_{max} – Cota do ponto de maior elevação

$H_{mín}$ – Head referente a $P_{mín}$

ΔP_j – Incremento de pressão segundo Joukowski

v_s – Velocidade de propagação da onda sonora no meio

$H_{SO\ duto}$ – Head com bomba em *Shut Off*

$P_{SO\ duto}$ – Pressão com bomba em *Shut Off*

E_{Calc} – Espessura calculada

σ – Tensão de escoamento

D_E – Diâmetro externo

P_{Proj} – Pressão de projeto

V – Volume

p – peso

d – densidade

A_i – Área interna da tubulação

D_{s1} – Diâmetro de sucção – Estação 1

D_{is1} – Diâmetro interno de sucção – Estação 1

v_{s1} – Velocidade de sucção – Estação 1

D_{d1} – Diâmetro de descarga – Estação 1

k – Coeficiente tabelado para cálculo de perda de carga localizada

$L_{tubulação}$ – Comprimento da tubulação com 25% adicionais

ΔP_L – Perda de carga localizada

F_d – Número de Froude

S – Submergência mínima

NPSH – *Net Positive Suction Head*, ou seja, Carga Líquida Positiva de Sucção ou Altura Positiva Líquida de Sucção

$NPSH_D$ – NPSH disponível

$NPSH_r$ – NPSH requerido

P_{atm} – Pressão atmosférica

h_{tq} – Diferença de cota entre tanque e bomba

P_v – Pressão de Vapor

PMO – Pressão Máxima de Operação

PMOA – Pressão Máxima de Operação Admissível

HMO – *Head* Máximo de Operação

PMOI – Pressão Máxima de Operação Incidental

HMOI – *Head* Máximo de Operação Incidental

PMO_e – Pressão Máxima de Operação Estimada

HMO_e – *Head* Máximo de Operação Estimado

PMOI_e – Pressão Máxima de Operação Incidental Estimada

HMOI_e – *Head* Máximo de Operação Incidental Estimado

PProj_e – Pressão de Projeto Estimada

CONCEITOS APLICÁVEIS

- Regime Permanente (*steady state*)

Regime no qual as variáveis operacionais do duto permanecem constantes no tempo.

- Regime Transiente

Regime no qual as variáveis operacionais do duto variam com o tempo.

- Operação Normal

Todas as operações que fazem parte da rotina normal do duto, incluindo regime permanente, condição de duto parado, mudança de arranjo de bombas, troca de produtos, passagem de batelada e operação de partida e parada.

- Operação Incidental

Todas as operações que não fazem parte da operação normal do duto e que podem produzir pressões acima da PMO, tais como fechamento indevido de válvulas, queda do sistema de bombeamento, etc.

- Pressão de Projeto (PProj)

Pressão para a qual o duto será dimensionado.

- Pressão Estática

Pressão exercida pelo produto quando este se encontra sem escoar do duto (vazão nula) após o procedimento normal de parada. Sendo que a pressão mínima seja acima da pressão de vapor do fluido (para não ocorrer abertura de coluna).

- Pressão Máxima de Operação Admissível (PMOA)

Maior pressão na qual um duto pode ser operado em concordância com a norma adotada para seu projeto e construção, em função da pressão de projeto, do teste hidrostático realizado ou definida por verificação da integridade estrutural ou alteração da classe de pressão dos acessórios instalados.

- Pressão Máxima de Operação (PMO)

Pressão máxima na qual cada ponto de um duto é submetido em condições normais de operação.

- Pressão Máxima de Operação Incidental (PMOI)

Maior pressão na qual cada ponto ao longo de um duto é submetido em operações incidentais. É limitada a 1,1 x PMOA do duto.

DEFINIÇÕES DE HEAD

- *Head*

Head ou Carga é a pressão convertida em metros de coluna de líquido.

- *Head* Estático

Head relativo à condição do duto com vazão nula, ou seja, sem perda de carga e com pressão mínima acima da pressão de vapor do fluido após o procedimento normal de parada.

- *Head* Máximo de Operação (HMO)

Head máximo em cada ponto de um duto, em condições normais de operação.

1. Introdução

1.1. Estado da Arte

Os dutos, como modal de transporte, têm sua utilização registrada séculos antes da era cristã. O primeiro duto registrado data de 691 a.C. e tinha a responsabilidade de transportar água doce para a cidade de Nínive, na Assíria.

Na antiguidade, conforme referência [1], os impérios também faziam uso de dutos de diferentes materiais, como bambu (chineses), cerâmica (astecas e egípcios) e chumbo (gregos e romanos) para transporte de água. Na era moderna, os primeiros registros de utilização de dutos datam da metade do século XIX em cidades da Inglaterra, Estados Unidos e Azerbaijão.

No caso dos Estados Unidos e da Inglaterra, a primeira utilização dos dutos é documentada entre 1806 e 1820. A construção de dutos, à época compostos de madeira, deu-se pela necessidade de transporte de gás manufacturado, proveniente da queima do carvão para iluminação pública. Poucos anos após a construção das primeiras dutovias, deu-se a origem dos primeiros sistemas de distribuição de gás entre as metrópoles da época.

Em 1821 o primeiro duto comercial foi inaugurado na cidade de Nova Iorque, nos EUA. Os dutos, ainda de madeira, eram utilizados para transportar os volumes de gás natural que eram formados naturalmente no solo, até a próxima cidade, a 800 m de distância, substituindo a utilização do gás manufacturado.

O ato transgressor na expansão do modal dutoviário ocorreu em 1843, com a invenção da tubulação de aço, o que possibilitou um transporte mais seguro contra vazamentos e com uma durabilidade muito superior.

Ao fim da década de 1850, de acordo com a referência [2], foram descobertos os primeiros poços de petróleo nos Estados Unidos. Inicialmente, os volumes produzidos eram retirados e armazenados em barris de madeira. Entretanto, como a qualidade das estradas era de baixa qualidade, foi necessária a utilização de outro plano logístico. Em 1865 foi construído o primeiro duto de bombeio de petróleo. A extensão da dutovia era de seis milhas, bombeada por bombas a vapor, e ligava o campo de produção até a ferrovia da Pensilvânia. Alguns anos depois, em 1879, iniciou-se a operação do primeiro duto de grande porte, o qual ligou a produção de petróleo da Pensilvânia até a cidade de Wiliansport, através das montanhas Allegheny, atingindo um comprimento de 175 quilômetros.

No Azerbaijão, os primeiros dutos começaram a ser utilizados em 1877, com a abertura em 1863 da primeira unidade de destilação de petróleo na região de Baku para a produção de querosene. Fez-se necessária a ligação entre as áreas de produção e o modal escolhido foi o dutoviário. Em 1907, com a expansão da venda de querosene, foi construído no local o maior duto da época, composto por oito polegadas e 885 km, para o transporte de querosene de Baku até o mar negro, onde era realizada exportação do mesmo por navios.

Com o sucesso das dutovias instaladas, o mercado de gás ampliou seu mercado e, em 1885, os estados americanos já contavam com 500 milhas de gasodutos em funcionamento.

1.2. Avanço tecnológico e dutos enterrados

Os dutos, já popularizados como modal logístico nos Estados unidos, mesmo com a utilização do aço, ainda enfrentavam diversos problemas de vazamentos, rupturas e limitação de diâmetro. A partir de 1880, os dutos eram instalados sob o solo sem nenhum revestimento e conectados por flange. Por observação, os construtores relataram problemas de dilatação, contração, empeno e corrosão dos dutos instalados sob o solo. A fim de sanar os problemas observados à época, tornou-se padrão o enterramento dos dutos e adoção de curvas de expansão.

Em 1911 o problema de conexão entre os dutos foi significativamente reduzido com a introdução da tecnologia de soldagem. Para isso, à época, adotou-se o processo de solda oxiacetileno.

Nos anos seguintes, a evolução tecnológica permitiu a utilização de novos conhecimentos técnicos ao modal dutoviário, tais quais: bombas elétricas; revestimento na tubulação; proteção catódica; técnicas para travessia de rios e estradas com furo direcional; ensaios não destrutivos; pigs de limpeza e inspeção; softwares de controles, entre outras inovações que tornaram o modal dutoviário uma eficiência econômica cinco vezes maior que o modal ferroviário e vinte vezes maior que o modal rodoviário, além de ser o responsável por causar menos impactos ambientais dentre os modais de transporte de combustíveis.

1.3. Dutovias no Brasil

A primeira dutovia construída no Brasil foi o oleoduto ligando as cidades de Santos e São Paulo para o escoamento de petróleo para o porto. Em 1954, com a criação da Petrobrás, a utilização de dutovias foi disseminada com a construção de dutos no nordeste, sudeste e sul, com o destaque para o OSBRA - duto que liga São Paulo a Brasília- e OSRIO, que liga a

cidade de São Paulo ao Rio de Janeiro. Em 1997, foi iniciado o primeiro duto internacional que corta o território brasileiro: o GASBOL, que consiste em um gasoduto que conecta a cidade de Santa Cruz de La Sierra (Bolívia) ao Rio Grande do Sul. A construção do GASBOL foi concluída em 2000, com um comprimento total de 3.150 quilômetros e capacidade de transporte máxima de 32 milhões de m³ /dia.

1.4. Dutos nos dias atuais

Após o grande avanço da tecnologia empregada nas dutovias, o século XX é o marco do crescimento do modal no mundo. Em 2007, os Estados Unidos, país com a maior malha dutoviária, atingiu o marco de 2,8 milhões de quilômetros de dutos. Os países desenvolvidos, mesmo com números bastante inferiores, também investiram no modal, dentre os quais destaca-se a Rússia, com 250.000 km e países como Brasil, Itália, França e Reino Unido, com malhas dutoviárias superiores a 20.000 km.

2. Objetivo

Este estudo tem, por meta, o projeto de um sistema dutoviário fictício, visando o envio de 3.800.000 m³ por ano de etanol anidro e etanol hidratado de uma cidade A até uma cidade B. O desenvolvimento do projeto envolve as seguintes etapas: estudo de demanda de mercado e definição de um volume para o projeto; análise do perfil de elevação; análise de diâmetros e materiais econômicos; análise de estações de bombeamento, quantidade de estações, arranjo e quantidade de bombas. E posteriormente, a elaboração de um modelo de simulação usando o *software* Stoner Pipeline simulator, análise de transientes incidentais e operacionais, dimensionamento mecânico do duto e estudo de viabilidade econômica do projeto.

3. Estudo de Volume

3.1. Premissas Adotadas Para o Estudo do Volume do Projeto

3.1.1. Cidade A

Cidade localizada no centro da zona produtora de um determinado estado (Z). A cidade A e suas adjacências são responsáveis por 70% da produção total do estado.

Em 2014, foram produzidos nessa região e destinados à cidade B, 1,2 milhões de m³ de etanol anidro e etanol hidratado. Destarte, a cidade A foi selecionada como ponto de origem do projeto. Sua grande produção e ampla capacidade de ser um centro de recebimentos da produção de sua região adjacente e dos estados vizinhos foram pontos cruciais nesta decisão, visto que as principais estradas da região passam pela cidade.

3.1.2. Cidade B

A cidade B é uma cidade localizada na zona metropolitana da capital do estado (Z) e é o seu principal centro de distribuição de combustíveis. Na cidade B está localizado o principal *pool* democrático¹, onde estão instaladas as principais distribuidoras e os pequenos distribuidores locais. Ressalta-se que todo volume consumido no estado foi armazenado ou passou pelo *pool*, no decorrer do ano de 2014. Assim, 1,06 milhão de m³ transitaram pela cidade B antes de chegar ao seu destino final.

Por estas questões, o projeto definiu como destino a cidade B, de modo a alcançar o principal centro da distribuição e possibilitar a conexão direta com os tanques dos principais distribuidores do mercado.

3.1.3. Precificação dos Combustíveis no Brasil

Para garantir que os combustíveis cheguem às bombas dos postos de combustíveis, existe uma grande cadeia logística e diversos impostos que compõem seu preço final.

Logo após a produção/refino dos combustíveis e venda a um distribuidor, incidem sobre o preço de venda os impostos PIS/COFINS e o ICMS relativo às usinas ou refinarias. Após a

¹ *Pool* democrático é caracterizado pela associação de empresas do mesmo ramo, a fim de obter vantagens operacionais, logísticas e organizacionais utilizam um espaço comum de área de tanques e estrutura de carga e descargas de caminhões tanques.

aplicação desses impostos, é dado o primeiro passo da cadeia logística, que vem a ser a movimentação entre os sites de produção e os distribuidores.

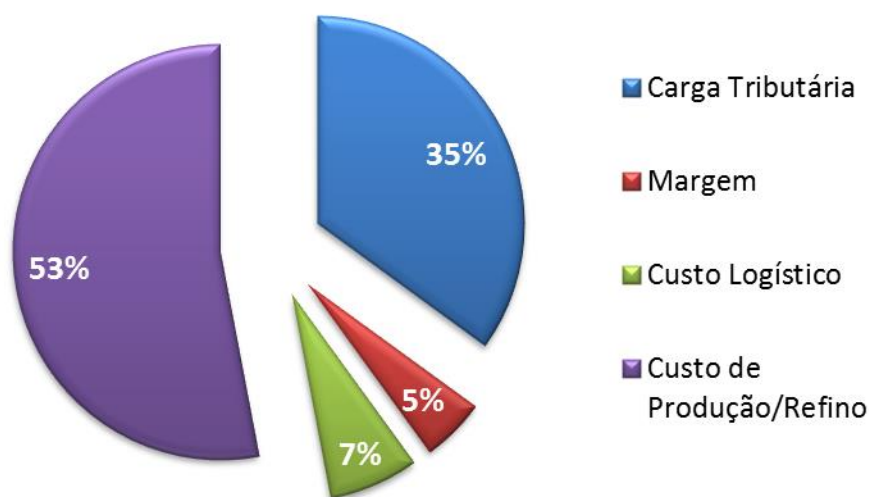
A precificação do frete referente ao primeiro passo da cadeia logística é composta pelo custo do frete, margem do transportador além dos impostos PIS/COFINS e ICMS.

Uma vez que os combustíveis são recebidos pelos distribuidores, há a reincidência dos impostos PIS/COFINS, do ICMS referente à distribuidora, bem como a adoção de uma margem de lucro concernente ao distribuidor. Nesse momento ocorre o segundo passo da cadeia logística, o qual consiste na entrega dos combustíveis saídos das bases dos distribuidores com destino aos postos de combustíveis.

No momento em que ocorre a revenda dos distribuidores para os postos de combustíveis, é incidido sobre o valor de venda o ICMS S.T. revenda, tal qual é adotada uma margem de lucro sobre a revenda e, por fim, é alcançado o preço final que os consumidores pagam nos postos de combustíveis.

Abaixo, no gráfico da Figura 1, é possível notar a representação percentual de cada um dos custos que compõem o preço final dos combustíveis.

Figura 1 - Gráfico de percentuais da precificação dos combustíveis



Fonte: produção própria

3.1.4. Histórico do Etanol Combustível no Brasil

A história da mistura de etanol a gasolina, no Brasil, conforme as referências [3] e [4], teve início em 1º de junho de 1933, por meio do Decreto Nº 22.789 de 1933, o qual criou o

Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), órgão responsável por estipular medidas referentes à regulamentação de etanol e de açúcar no país. Destaca-se que tal órgão tratava-se de uma autarquia federal, a qual administrou o funcionamento do setor sucroalcooleiro de forma exclusiva até o ano de 1990, conforme dado publicado no Ementário Nacional do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Cabe lembrar que, em 29 de abril de 1938, foi instituído o Decreto-Lei Nº 395, que passou a declarar o petróleo como utilidade pública, além de dar outras providências, como a regulamentação da importação, exportação, transporte, distribuição e comércio do petróleo bruto e seus derivados no âmbito do território nacional, além de tratar sobre a indústria da refinação de petróleo importado e produzido no país, entre outras medidas.

Por meio deste Decreto-Lei, foi criado o Conselho Nacional do Petróleo (CNP), órgão interministerial, que – à época – representava os Ministérios da Guerra, Marinha, Fazenda, Agricultura, Viação e Obras Públicas, Trabalho, Indústria e Comércio. Faz-se necessário destacar que, entre suas demais funções, este órgão era o responsável por definir as políticas dos combustíveis brasileiros.

Ainda no ano de 1938, houve uma revolução no setor, visto que o Decreto-Lei Nº 737, de 23 de setembro instituiu como obrigatória a mistura do etanol anidro à gasolina produzida no país, pois, até aquele ano, tal mistura era somente exigida na gasolina de procedência estrangeira.

No dia 22 de setembro de 1942, por meio do Decreto-Lei Nº 4.722, o governo decretou a indústria de etanol como interesse nacional, estabelecendo garantias de preço para o etanol e matéria prima destinada à sua fabricação, de modo que passou a regular a precificação mínima do produto.

Cumprir informar que a constituição de 1969, conforme explícito em seu artigo 8º estabeleceu à União a competência legislativa acerca do etanol combustível, conforme os seguintes termos: "Compete à União legislar sobre produção e consumo (de etanol combustível)". Além disso, ao tratar a respeito da ordem econômica e social, o artigo estipulou à União o direito à intervenção na produção do etanol, em motivo de segurança nacional ou na hipótese de organização do mercado, caso a livre iniciativa pudesse atrapalhar o crescimento econômico. Cabe lembrar que, à época, vigorava o decreto de 1938, o qual previa que o etanol devesse ser somente utilizado na mistura com a gasolina.

Frisa-se que, em 14 de novembro de 1975 foi instituído o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), por meio do Decreto Nº 76.593, o qual foi desenvolvido para evitar o aumento da dependência externa no setor de combustíveis, estimulando, desse modo, a produção de etanol. Ressalta-se que, em cenário global, existia a crise do petróleo, iniciada em 1973 e como solução para tal, o governo brasileiro resolveu impulsionar a produção da cana-de-açúcar e a indústria automobilística, concedendo ao IAA, por exemplo, a responsabilidade de formular especificações sobre o etanol.

O Proálcool foi um programa de suma importância para o Brasil, visto que teve por fim a substituição gradativa da frota de carros movida por combustíveis derivados do petróleo. Como forma de minimizar os impactos da primeira crise do petróleo e enfrentar possíveis novas crises, o programa forneceu subsídios às indústrias, bem como desenvolveu uma tecnologia pioneira no Brasil, por meio da modernização do maquinário, a título de exemplo.

Nesse sentido, o programa determinou que a produção do etanol oriundo da cana-de-açúcar, e demais insumos deveria ser incentivada. Para isso houve destaque para o aumento da produção agrícola, modernização e ampliação do maquinário e avolumamento da oferta de matérias-primas.

Uma das consequências do programa Proálcool foi, em 1979, ano em que se produziu o primeiro carro movido 100% a etanol no Brasil, sendo este o modelo Fiat 147. No mesmo ano, foi instituído o Decreto Nº 83.700 de 05 de julho, o qual, entre outras providências, dispôs sobre a execução do Programa Nacional do Álcool, criando o Conselho Nacional do Álcool - CNAL e a Comissão Executiva Nacional do Álcool - CENAL, criando as diretrizes do Programa Nacional do Álcool, conforme estabelece o Art. 1 do Decreto. Destaca-se que uma das competências do CNAL é a definição da produção anual dos diversos tipos de etanol e a especificação do seu uso.

Nos primeiros anos da década de 1980, novos decretos foram instituídos e contribuíram para a consolidação do mercado. O Decreto Nº 84.575, de 1980, modificou a redação do art. 12 do Decreto Nº 83.700, de 05 de julho de 1979, de forma que incluiu os bancos comerciais privados, os bancos de investimento e as caixas econômicas entre os agentes financeiros da linha de crédito industrial do programa. Assim, novas unidades armazenadoras passaram a ser financiadas por instituições privadas. Como consequência da instauração do novo Decreto, houve a impulsão da abertura de mercado.

Ainda no âmbito de ampliação do mercado, no ano de 1981, foi criado o Decreto N° 85.698, o qual estabeleceu a possibilidade de registro de pequenas usinas (produção máxima 5 m³ por dia), junto ao IAA com as devidas restrições.

Na segunda metade da década de 1980, no ano de 1987, por meio do Decreto N° 94.541, o governo considerou estratégias de mercado e estabeleceu normas para o escoamento, comercialização e estocagem de etanol para fins combustíveis.

Em um novo cenário político, foi criada a Constituição Federal de 1988, conhecida como Constituição Cidadã. Divergindo das constituições anteriores e dos Decretos produzidos no governo Vargas e ditatorial, o Estado passou a atuar como fiscal e gestor de projetos relacionados à atividade econômica, interferindo de forma pontual como controlador da concorrência e produção, prezando pela a livre iniciativa e concorrência, conforme descrito nos Art.1, IV e 170 da Carta vigente.

A título de exemplo do novo modelo econômico adotado pelo Estado, o Decreto Lei N° 2.401, de 21 de dezembro de 1987, proibiu a partir de junho de 1988 o uso dos recursos do Tesouro Nacional investidos na comercialização do açúcar.

A partir dos anos noventa, houve a consolidação das mudanças na organização econômica do etanol estabelecidas pela União por meio das legislações desta matéria criadas à época. Dentre elas, destaca-se o Decreto N° 99.503, de 3 de setembro de 1990, o qual constituiu uma comissão que tinha por fim a reformulação da matriz energética nacional. Salienta-se que essa comissão era composta por representantes de diferentes Ministérios e Secretarias, além de prepostos do setor privado.

No ano seguinte, foi criada a Lei N° 8.176, de 08 de fevereiro, que legislou acerca dos crimes contra a ordem econômica, bem como criou o Sistema de Estoques de Combustíveis (SINEC). Nesse sentido, foi estabelecido como crime a compra, distribuição e revenda ilegal de combustíveis.

Por meio de legislação própria, o Decreto N° 238, de 24 de outubro de 1991 dispõe a respeito do SINEC e estabelece como finalidade, nos termos de seu Art. 1º, "assegurar a normalidade do abastecimento nacional de petróleo, de seus combustíveis derivados, de etanol destinado para fins carburantes e de outros combustíveis".

Em 1992, com a Lei N° 8.422, tem-se o retorno do Ministério de Minas e Energia (MME). Em relação a esse aspecto, cabe um adendo histórico para esclarecer que o MME foi criado no

ano de 1960, pela Lei N° 3.782, de 22 de julho de 1960. Até o momento da sua criação, as matérias que tratavam a respeito de minas e de energia eram de competência do Ministério da Agricultura. Posteriormente, em 1990, a Lei N° 8.028 extinguiu Ministério de Minas e Energia e criou o Ministério da Infraestrutura, o qual adquiriu as atribuições do extinto Ministério.

O regresso do MME tem sua regulamentação complementada por meio do Decreto N° 507, de 23 de abril de 1992, o qual lhe conferiu competências, bem como aprovou sua estrutura regimental, ressaltando-se a criação do Departamento Nacional de Combustíveis.

No ano seguinte, por meio de Decreto, a União constituiu no âmbito do Ministério de Minas e Energia a Comissão Interministerial de Álcool (CINAL). Destaca-se que, em 1997, a Comissão foi extinta, tendo sido substituída pelo Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool (CIMA).

O Decreto N° 3.546, de 17 de julho de 2000, atribuiu ao Ministério da Agricultura e do Abastecimento a competência sobre o Conselho Interministerial do Açúcar e do Álcool (CIMA). Em outubro do mesmo ano, foi criada a lei N° 8.723, que dispõe relativamente à redução de emissão de poluentes por veículos automotores, de modo que regulou a emissão de poluentes em MCI. Merece destaque o artigo nono da referida lei, visto que este está intimamente relacionado ao cenário econômico do etanol no Brasil. Por seu intermédio fixou-se como obrigatório o percentual de 22% de adição de etanol anidro combustível à gasolina em todo o território nacional.

Um grande passo da regulamentação dos combustíveis no país deu-se em 1997 com a criação da Lei N° 9.478, conhecida como a lei do petróleo, a qual dispõe acerca da política energética nacional, das atividades relativas ao monopólio do petróleo, bem como criou o Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) e a Agência Nacional do Petróleo (ANP), que, a partir de 2005, a ANP teve adicionado as suas competências a regulamentação do Gás Natural e dos Biocombustíveis e por isto seu nome alterado para Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

O CNPE é presidido pelo Ministro de Estado de Minas e Energia e composto por diversos Ministérios, membros da sociedade civil, estados e institutos de pesquisa, sendo os dois últimos especializados em questões energéticas. Frisa-se que este é um órgão de

assessoramento da Presidência da República, o qual tem por fim a formulação de políticas e diretrizes de energia.

A ANP é uma autarquia federal, com características de agência reguladora das atividades que integram a indústria do petróleo, gás natural e biocombustíveis no Brasil, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, id est, trata-se de uma entidade da administração indireta a qual adquiriu personalidade jurídica de direito público a partir da vigência da lei que a criou. Desse modo, tornou-se sujeito de direitos e obrigações para desempenhar atividades típicas da administração direta, estando sujeita ao controle finalístico ou de tutela.

Por se tratar de uma autarquia especial, a ANP possui regras específicas e regime próprio que regulamenta o serviço público realizado por ela, sendo este prestado de forma autônoma, possuindo, por exemplo, patrimônio e receita próprios. Sua natureza jurídica é semelhante a outras autarquias tais quais: ANATEL, IBAMA, INCRA, INSS e Universidades Federais.

A lei do petróleo e demais portarias que versem sobre a responsabilidade da ANP estabeleceu seu dever de implementar a política energética referente ao funcionamento das indústrias e do comércio de óleo, gás e biocombustíveis, mediante regras tais como: portarias, instruções normativas e resoluções. Cabe também a finalidade de coordenar a exploração, desenvolvimento e produção dos combustíveis, bem como regular, fiscalizar de modo a serem cumpridas as normas nas atividades das indústrias reguladas, por meio de controle direto ou mediante convênios com outros órgãos públicos. Além disso, cumpre autorizar as atividades de distribuição, comercialização e revenda de combustíveis, bem como especificar a qualidade e estimular pesquisas tecnológicas na exploração, produção, transporte refino e processamento sem violar o a preservação do meio ambiente e as práticas de uso racional.

Marco importante do cenário nacional foi a resolução ANP N° 9, criada em 2009. Por meio dela, o nome comercial do álcool foi alterado para etanol, de modo que se passou a utilizar a nomenclatura mundial como meio de impulsionar o etanol brasileiro no âmbito internacional.

3.1.5. Percentuais da Mistura do Etanol na Gasolina

Um ano após a lei do petróleo e a criação da ANP, surgiram determinações de porcentagem da mistura de etanol anidro na gasolina, as quais foram alteradas e revogadas diversas vezes até os dias atuais.

Em 28 de maio de 1998, o Decreto N° 2.607, estipulou a mistura de etanol anidro na gasolina no percentual de 24%. Conforme dito anteriormente, ao longo dos anos, a fim de manter o

equilíbrio socioeconômico, diversos decretos alteraram a porcentagem inicial da mistura. Nesse sentido, faz-se necessário informar que o Decreto N° 3.552, de 04 de agosto de 2000, estabeleceu que o percentual da mistura retornasse ao valor de 20%, e, em menos de um ano, em maio de 2001, foi criado um novo decreto, o qual alterou para 22% o valor da mistura.

A Resolução CIMA N° 35, de 22 de fevereiro de 2006, determinou uma nova alteração, a qual designou novamente em 20% o valor obrigatório da mistura. No ano seguinte, por intermédio da Resolução CIMA N.º 37, de 27 de junho de 2007, o valor da mistura foi regulamentado no percentual de 25%.

Durante os anos posteriores, o percentual da combinação segue variando, até que em setembro de 2014, com a publicação da Lei N° 13.033, o percentual da mistura do etanol na gasolina atingiu o percentual de 27% e se manteve vigente até os dias presentes.

3.1.6. Poder Calorífico de Um Combustível

A principal característica dos combustíveis é o poder calorífico, que consiste na quantidade de calor libertado durante a combustão completa de uma unidade de massa do combustível, conforme referência [5]. A unidade do poder calorífico no Sistema internacional de unidades (S.I.) é o Joule por grama (J/g) ou quilojoules por quilogramas (kJ/kg). Entretanto, nos combustíveis gasosos, as unidades comumente utilizadas são a caloria por metro cúbico (cal/m³) e joules por metro cúbico (J/m³).

A composição química do combustível é elemento essencial na determinação do valor do poder calorífico. A determinação do poder calorífico de um combustível é atingida na experiência do combustível em um banco especial, chamado de bomba calorimétrica, onde é realizada a queima do combustível em um ambiente composto por oxigênio puro, o combustível em forma gasosa e um calorímetro.

O resultado da experiência com a bomba calorimétrica é um coeficiente chamado de poder calorífico superior (H_{sup}). No coeficiente H_{sup} estão inclusos o calor de condensação do vapor da água formado pela combustão do hidrogênio e pela umidade contida no combustível.

Em motores de combustão interna (MCI), os gases de escape apresentam temperaturas superiores à de condensação do vapor da água. Dessa forma, não há aproveitamento do calor de condensação e, por isso, em cálculos para os MCI, é utilizado um coeficiente de poder

calorífico conhecido por poder calorífico inferior H_{in} , onde não é considerado o calor de condensação.

Entre poder calorífico superior e inferior há uma correlação, segundo a equação (1):

$$H_{in} = H_{sup} - 225H - 25W \quad (1)$$

Nesse sentido, cumpre esclarecer que H e W são respectivamente a porcentagem mássica do hidrogênio e da umidade em combustível líquido.

Os combustíveis líquidos, não derivados de petróleo, são o etanol hidratado C₂H₅OH e o Biodiesel. A partir da fórmula química do etanol C₂H₅OH, é possível observar que sua molécula conta com oxigênio. Por isso, o etanol necessita de menos oxigênio do ar para sua combustão. Entretanto, a parcela de oxigênio presente em suas moléculas não é suficiente para que o mesmo seja um material explosivo. A partir do desenvolvimento tecnológico e estudos para a melhor utilização do etanol, o etanol hidratado combustível, utilizado nos carros com motores Flex, chega ao consumidor com um balanço médio de 4% de água e 96% de etanol. Assim, como demonstrado na Tabela 1, a composição mássica do etanol de 96% é:

Tabela 1 – Poder calorífico do etanol 96%

Combustível	% em massa de elementos			Massa molecular [kg/Kmol]	Poder Calorífico Inferior [MJ/Kg]
	C	H	O		
Etanol de 96%	50,05	13,05	36,9	43,37	25,078

Acima é demonstrado o poder calorífico de um quilograma do etanol de 96%, onde é possível observar que sua composição é composta de 500,5g do carbono; 130,5g do hidrogênio e 369g do oxigênio. Para outras porcentagens de água no etanol pode-se utilizar a equação (2), deduzida abaixo:

$$H_{in} = 26170 - 273 W \text{ kJ/kg} \quad (2)$$

Cabe esclarecer que W é a porcentagem de água no etanol.

A gasolina comum brasileira é uma mistura entre gasolina pura (gasolina A) e etanol. Entretanto, o etanol que compõe a mistura da gasolina (etanol anidro) não é o mesmo citado acima, com 4% de água. Este etanol apresenta uma porcentagem de água em sua composição inferior 0,7%. A partir de junho de 2015, a gasolina comum contará com 27% de etanol anidro em seu volume, entretanto, a fim de mensurar o poder calorífico da gasolina já comercializada até o momento, na Tabela 2 foi calculado o poder calorífico de uma mistura de 26% de etanol anidro na gasolina.

Tabela 2 - Poder Calorífico da Gasolina C

Combustível	Poder cal. Inferior (H_{in}) [MJ/Kg]
Gasolina C	38,008

Assim, pode-se determinar que o etanol hidratado possui um poder calorífico com um valor equivalente a aproximadamente 70% do poder calorífico da gasolina C. Doravante, no projeto, este equilíbrio de poder calorífico entre os combustíveis será essencial para a projeção energética brasileira.

3.1.7. Ciclo Otto

O desenvolvimento da máquina a vapor, segundo referências [6] e [7], em meados do século XVIII, contribuiu para a expansão da indústria moderna. Anterior a este desenvolvimento, a potência de trabalho de execução dependia exclusivamente da força muscular de seu operador, animais, vento e água, enquanto uma máquina a vapor atingia a potência de trabalho de vários cavalos. Além da utilização das máquinas a vapor na substituição de rodas d'água e moinho de ventos, foi no transporte (locomotivas e navios) a maior evolução do comércio e indústria, pois possibilitou a transferência de grandes quantidades de carga dos locais de produção até os centros de consumo.

Esse tipo de máquina é chamado de motor de combustão externa, pois o fluido de trabalho, no caso em tela a água, não entrava em contato com o combustível, sendo o mesmo queimado fora do cilindro.

Os motores de combustão interna são assim conhecidos pelo fato do combustível ser queimado dentro do cilindro, isso faz o combustível ser também o fluido de trabalho nesses tipos de motores.

Em 1876, o engenheiro alemão Nikolaus August Otto (1832-1891) foi responsável pelo projeto do motor em 04 tempos. Entretanto, em 1886, Otto teve sua patente revogada, pois empresas concorrentes já haviam relatado projetos semelhantes. Mesmo com a perda da patente, Otto e seus dois irmãos não desistiram do projeto e construíram os primeiros protótipos do seu motor.

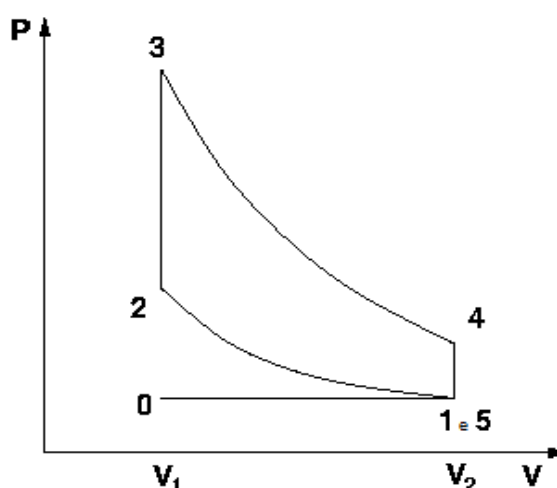
O protótipo produzido por Otto e seus irmão obteve uma grande aceitação do mercado, pois apresentou menos ruído e eficiência superior aos modelos concorrentes. Curiosamente, os primeiros modelos eram movidos a gás e, somente depois de alguns anos, foram aperfeiçoados aos modelos de gasolina com admissão de ar.

Na Figura 2 é apresentado o ciclo teórico que passou a ser denominado como Ciclo de Otto.

Basicamente esse ciclo é constituído de quatro processos:

- 1-2 - Processo de Compressão Adiabática;
- 2-3 - Processo de Aquecimento Isométrico de Calor;
- 3-4 - Processo de Expansão Adiabática;
- 4-5 - Processo de Rejeição Isométrica de Calor;

Figura 2 - Ciclo Otto P x V

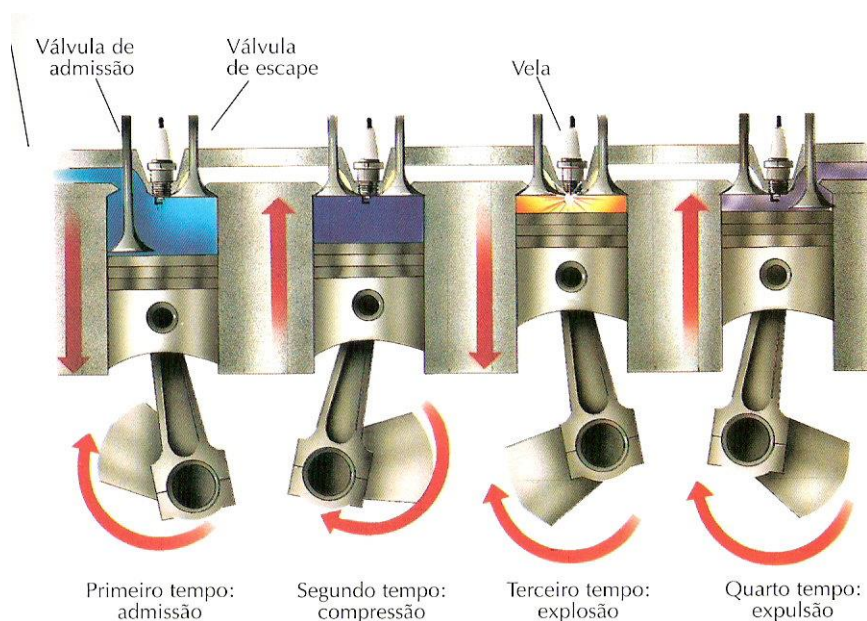


Fonte: referência [6]

Os motores de combustão interna atuais, Flex ou a gasolina, são a evolução dos protótipos produzidos por Otto. Dentre os elementos que compõem os motores atuais, destacam-se, no funcionamento, as válvulas (responsáveis pelo controle de entrada e saída de ar ou produto da

explosão), a vela que emite a faísca que é a ignição para o à explosão e, no interior do motor, o virabrequim que controla várias funções do motor, como o acionamento das válvulas, a sincronia dos pistões e a transmissão de energia mecânica para a caixa de câmbio. Na Figura 3 é possível vislumbrar o esquemático do motor, onde se torna possível a visualização dos elementos citados.

Figura 3 – Desenho esquemático do motor de combustão interna



Fonte: referência [8]

3.1.8. ICMS nas Cidades A e B

Em 16 de dezembro de 2014, o estado (Z) onde estão localizadas as cidade A e B, aprovou um projeto de lei que configura a redução da alíquota do ICMS para o etanol hidratado de 19% para 14%, a lei entrou em vigor no mês de abril de 2015, com a redução a expectativa é segundo ao sindicato dos produtores da região, que o volume de etanol hidratado comercializado dobre nos próximos anos.

3.2. Estudo de Volumes

O cerne de um projeto dutoviário é a definição do seu potencial de captura dos volumes do local onde sua estação de envio será construída. Para isso, as empresas de transporte dutoviário utilizam, como base, alguns relatórios publicados pela Agência Nacional do Petróleo e Biocombustíveis (ANP), referentes aos volumes de etanol hidratado e de gasolina C consumidos no país, de modo que é possível projetar os futuros volumes.

Os dados apresentados no presente estudo foram obtidos no site da ANP, segundo referência [9], e são relativos às quantidades de gasolina C, etanol hidratado e à porcentagem de etanol anidro na gasolina C verificada no período de 2006 a 2014. Entretanto, para que seja possível realizar uma projeção de crescimento ou decréscimo, é preciso quantificar a gasolina e o etanol como valores equivalentes, visto que o valor energético entre eles é demasiadamente divergente.

Em caráter energético, o etanol hidratado apresenta uma capacidade de geração de energia equivalente a 70% da capacidade da gasolina C, conforme demonstrado anteriormente. Destarte, para se mensurar o potencial energético gerado pelos dois combustíveis, é desenvolvido o conceito de gasolina equivalente, que consiste na soma dos volumes de gasolina C e os volumes de etanol ponderados pelo seu potencial energético, conforme demonstrado na Tabela 3, a qual retrata os volumes publicados no site da ANP:

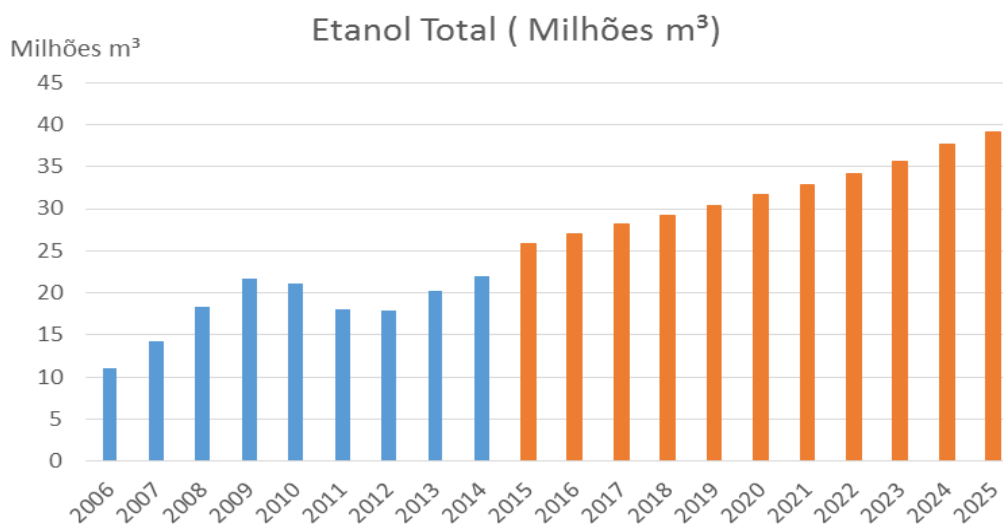
Tabela 3 - Histórico de volumes comercializados – Brasil

Ano	Gasolina C (m³)	Etanol Anidro (m³)	Etanol Hidratado (m³)	Gasolina Equivalente (m³)
2006	24.007.633	4.888.555	6.186.553	28.338.220
2007	24.325.449	5.842.798	9.366.836	30.882.234
2008	25.174.783	6.293.696	13.290.096	34.477.850
2009	25.409.090	6.352.272	16.470.948	36.938.753
2010	29.843.665	7.087.836	15.074.300	40.395.675
2011	35.491.256	8.391.180	10.899.221	43.120.710
2012	39.697.715	7.939.543	9.850.180	46.592.841
2013	41.426.237	9.700.296	11.754.963	49.654.711
2014	44.364.247	11.091.062	12.994.115	53.460.127

Após a obtenção dos valores de gasolina equivalente, e, a partir do planejamento do Ministério de Minas e Energia, conforme referência [10], estabelecido por meio do relatório de planejamento energético, o percentual de crescimento do ciclo Otto é quantificado no país no valor de 4% a.a. Assim, é possível projetar o crescimento os volumes de gasolina equivalente até 2025, Figura 4.

Esta projeção é realizada no intervalo de 10 anos, visto que o cenário mundial transparece um momento de reestruturação pós-crise e projeções que ultrapassassem este período poderiam resultar em valores discrepantes da realidade.

Figura 4 – Projeção do volume de etanol comercializado – Brasil



Fonte: produção própria

Ao fim da análise de projeção e com base nos dados de consumo por região apresentados pela ANP, referência [11], mensura-se a área de influência da cidade B e a representação desse volume, quando comparado com o volume nacional de acordo com a Tabela 4:

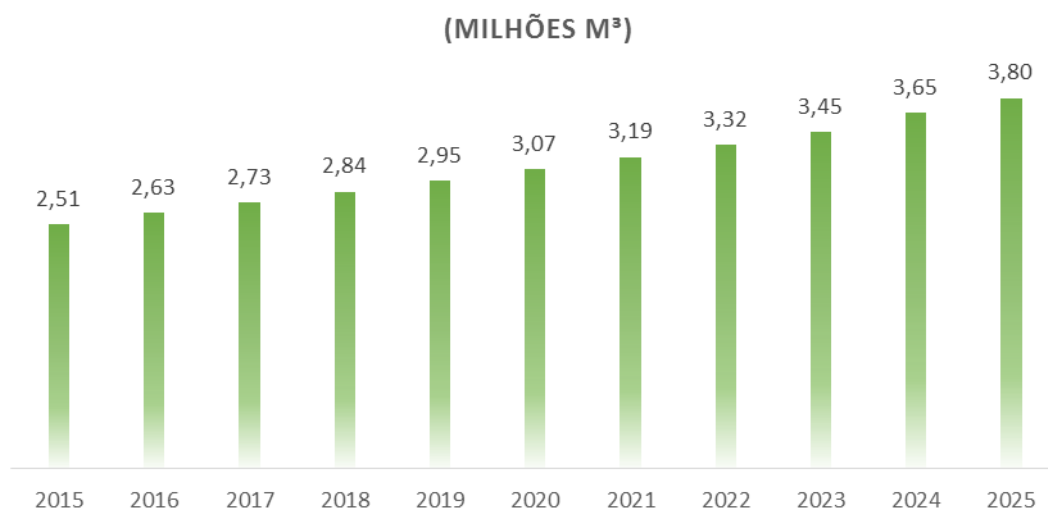
Tabela 4 - Percentuais do mercado da cidade A, no mercado brasileiro.

Ano	Hidratado (m ³)	% Hidratado Brasil	Anidro (m ³)	% Anidro Brasil	Etanol Total	% Etanol Brasil
2006	509.367	8%	848.326	17%	1.357.694	12%
2007	847.528	9%	1.030.779	21%	1.878.307	13%
2008	1.463.953	11%	1.115.067	22%	2.579.019	14%

Ano	Hidratado (m³)	% Hidratado Brasil	Anidro (m³)	% Anidro Brasil	Etanol Total	% Etanol Brasil
2009	1.918.432	12%	1.143.939	22%	3.062.370	14%
2010	1.422.280	9%	1.327.508	22%	2.749.788	13%
2011	878.727	8%	1.514.212	21%	2.392.939	13%
2012	769.075	8%	1.424.762	18%	2.193.838	12%
2013	1.014.385	9%	1.747.026	21%	2.761.411	14%
2014	1.062.855	8%	2.016.506	22%	3.079.361	14%
Média		9%	Média	21%	Média	13%

A partir dos dados obtidos, há a capacidade de dimensionar o percentual de representação da cidade B e regiões adjacentes no volume consumido pelo país – 13% porcentagem de etanol – Brasil, o que possibilita realizar a projeção do volume movimentado, de acordo com o gráfico da Figura 5, nessa região até 2025. Além disso, após a realização de *marketshare* da região constata-se que 78% do volume são movimentados pelos grandes distribuidores e o volume restante por pequenos distribuidores.

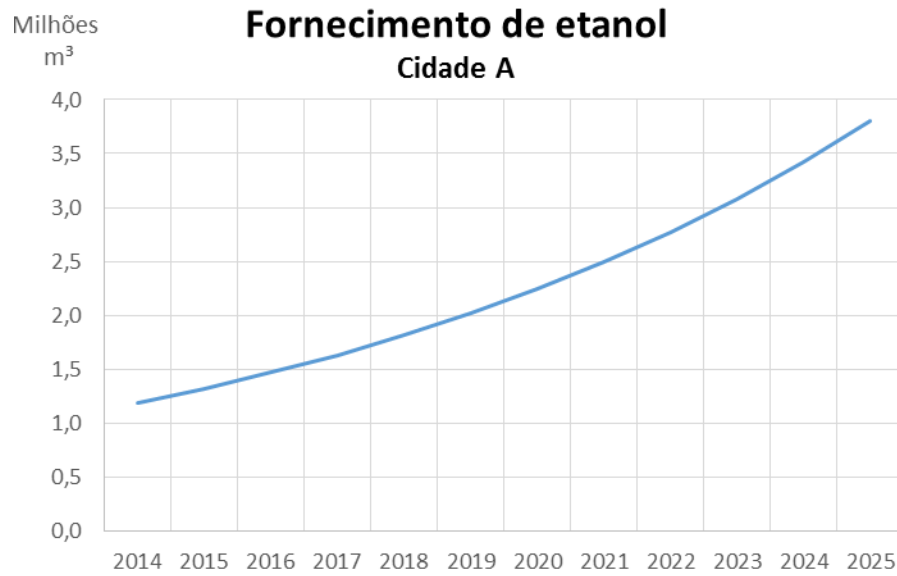
Desse modo, baseado na captura das dutovias já em operação, é definido como objetivo do projeto capturar 73% dos volumes do mercado, distribuídos da seguinte forma: 60% do volume proveniente dos principais distribuidores e 13% do volume de distribuidores menores. Destaca-se que a região estudada carece de recursos logísticos e o duto seria uma opção mais vantajosa para o mercado.

Figura 5 - Projeção de captura de volumes do projeto

Fonte: produção própria

Vista a demanda futura do mercado, foi realizada uma análise da produção da área de influência da cidade A (origem). Para isso, foi utilizado o relatório da ANP – Relatório de vendas de etanol combustíveis pelos fornecedores, referente à origem dos volumes que abastecem cada área. Com base nesses dados, foi possível verificar que 39% do volume que hoje abastece a cidade B, provêm da cidade A e adjacências. Desse modo, para adequar a produção da cidade A, foi realizada uma projeção da produção, de acordo com a Figura 6.

Nesse sentido, é necessário considerar que, reduzindo o imposto de serviços (ICMS), conforme citada acima, aprovada pelo governo da cidade A e da cidade B, há a tendência do percentual de volumes fornecidos pela cidade A para a cidade B sofrer um acréscimo, visto que as condições especiais citadas implicam em uma redução de custos, o que torna mais atrativo o consumo e, logo, o transporte entre as cidades. Dessa forma, foi projetado um crescimento dos volumes provenientes da cidade A em 11% a.a., apresentado no gráfico da Figura 6, para que os volumes demandados pela cidade B possam ser abastecidos.

Figura 6 - Fornecimento de volumes provenientes da cidade A

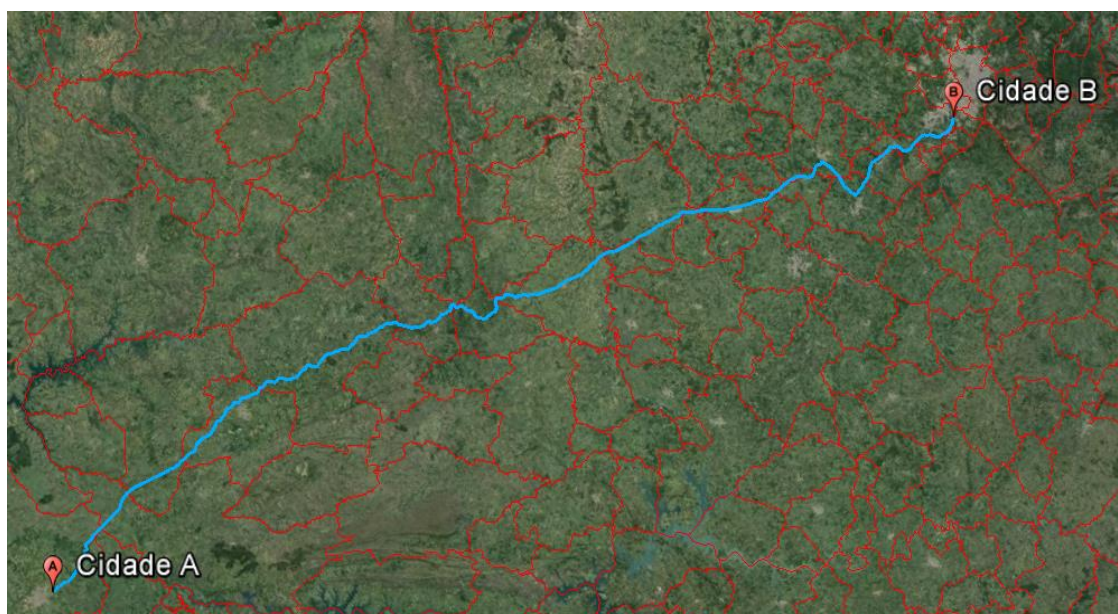
Fonte: produção própria

Com a definição do volume anual para 2025, é possível obter subsídios para o projeto de uma dutovia, a qual conseguirá atender o mercado entre estas cidades. O volume para projeto do sistema dutoviário é o volume de 2025 para que não ocorram gargalos anteriores a este momento. Portanto, com base nas premissas e informações apresentadas, o volume anual de projeto é correspondente a 3,8 milhões de m³ de etanol anidro e hidratado.

4. Descrição do Trecho

O trecho selecionado possui aproximadamente 463 quilômetros de extensão e atravessa 19 municípios, sua macrolocalização e seu perfil de elevação estão respectivamente na Figura 7 e na Figura 8.

Figura 7 - Macrolocalização da Faixa de Duto



Fonte: Google Earth

Figura 8 - Perfil de Elevação



Fonte: produção própria

5. Premissas para o Projeto

5.1. Propriedades dos Produtos Movimentados

A Tabela 5 apresenta as propriedades dos produtos a serem deslocados no duto.

Tabela 5 – Propriedades dos produtos

Propriedade	Unidade	Etanol Anidro	Etanol Hidratado
Massa específica @ 20 °C	kg/m ³	791,5	811,0
Viscosidade dinâmica @ 20 °C	cP	1,20	1,20
Pressão de vapor @ 20 °C	kgf/cm ² abs	0,056	0,056
Ponto de ebulição	°C	78,4	77,0
Ponto de fulgor	°C	13,0	15,0
Ponto de auto ignição	°C	363	> 400
Ponto de fusão	°C	- 114,4	- 118,0
Teor alcoólico	°INPM	Mín. 99,3	Mín. 92,6 Máx. 93,8

5.2. Volumes, Vazões e Regime de Trabalho

O projeto deverá ser desenvolvido considerando o volume anual de 3.800.000 m³, operando 24 horas por dia, 365 dias por ano e fator de recuperação de estoques de 1,15.

O fator de recuperação de estoques é a relação entre a capacidade de escoamento nominal e a capacidade de escoamento mínima requerida. Em um duto novo, o fator deve estar entre 1,1 e 1,2 (adotado 1,15 neste projeto). A capacidade de escoamento mínima requerida é resultado da relação entre o volume total a movimentar e o tempo operacional disponível.

A vazão de projeto foi calculada considerando os fatores citados anteriormente:

$$Q = \text{Vazão Proj.} = \frac{\text{Volume} \times \text{Fator Rec.}}{\text{Regime Trab.}} = \frac{3800000 \times 1,15}{24 \times 365} = 499 \text{ m}^3/\text{h} \quad (3)$$

6. Metodologia de Cálculo

6.1. Perda de Carga

Perda de carga é a energia dissipada por unidade de peso do fluido. Quando este escoar, a perda é devido à fricção das partículas do fluido entre si e contra as paredes da tubulação que os contenha.

O cálculo da perda de carga depende de diversos fatores que serão apresentados a seguir.

6.1.1. Classificação do Escoamento

O escoamento de um fluido em uma tubulação pode ser laminar ou turbulento. Laminar ocorre quando todos os filetes líquidos são paralelos entre si e as velocidades em cada ponto são invariáveis. Turbulento quando as partículas movem-se em todas as direções com velocidades variáveis.

Através do cálculo número de Reynolds é possível identificar o tipo de escoamento do fluido:

$$R_s = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} \quad \left[\frac{m \times \left(\frac{m}{s}\right) \times \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{Pa \cdot s} \right] \quad (4)$$

Onde:

$$v = \frac{Q}{3600 \times A_i} \quad \left[\frac{m}{s} \right] \quad (5)$$

A caracterização do escoamento é feita da seguinte maneira:

$R_s < 2000$ – Escoamento em regime laminar;

$R_s > 4000$ – Escoamento em regime turbulento;

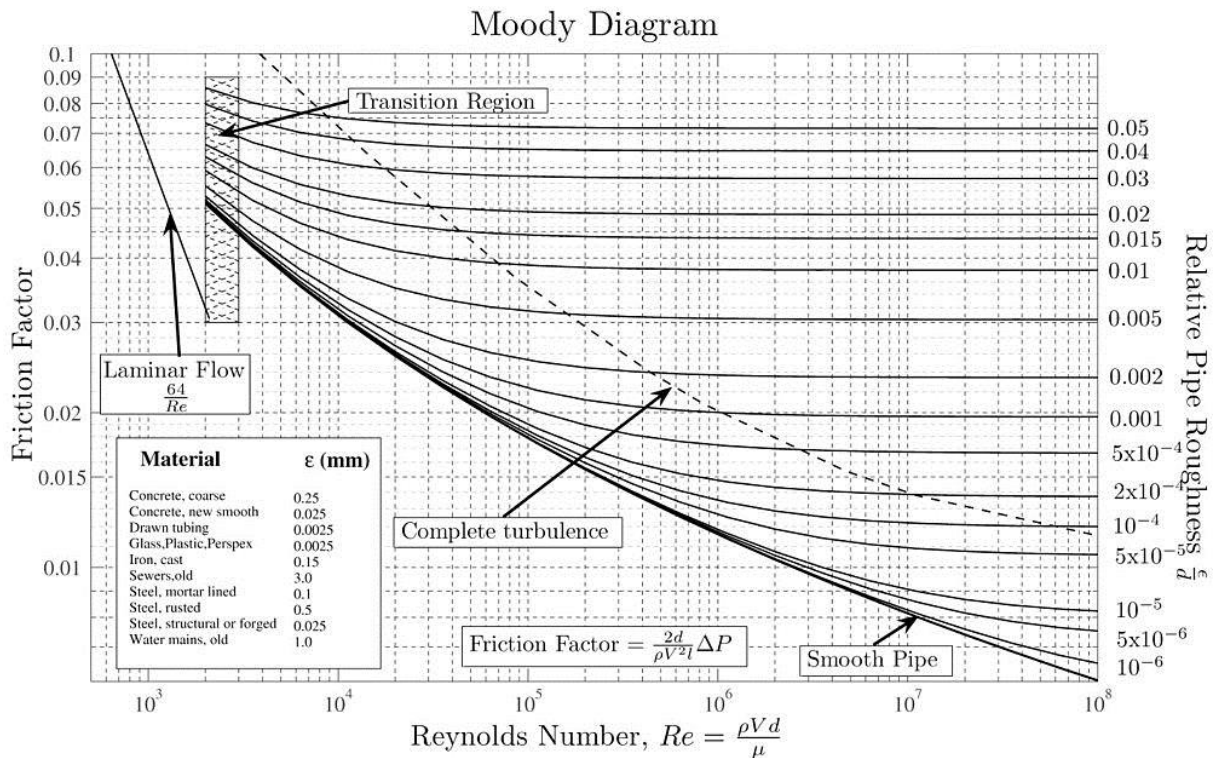
$2000 < R_s < 4000$ – Escoamento em regime transitório.

6.1.2. Fator de Atrito

O fator de atrito é definido usualmente pela equação de Colebrook (6) ou, de maneira mais iterativa, pelo Diagrama de Moody, apresentado na Figura 9.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{R_s \cdot \sqrt{f}} \right) \quad (6)$$

Figura 9 – Diagrama de Moody



Fonte: [12]

No entanto, para a solução em Excel desta etapa do projeto, usa-se equação de Sousa-Cunha-Marques [13] (7). Sendo esta uma equação explícita usada para calcular a lei de resistência ao escoamento com erro de 0,123% em relação à equação de Colebrook:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{r}{3,7D} - \frac{5,16}{R_s} \cdot \log_{10} \left(\frac{r}{3,7D} + \frac{5,09}{R_s^{0,87}} \right) \right] \quad (7)$$

6.1.3. Perda de Carga

Primeiramente é feita uma análise calculando a perda de carga no duto. Nesta etapa, não é considerada a elevação, somente o comprimento total em trecho reto.

$$\Delta P_c = \frac{f \cdot \rho \cdot L}{D} \cdot \frac{v^2}{2} \quad (8)$$

6.2. Head Preliminar

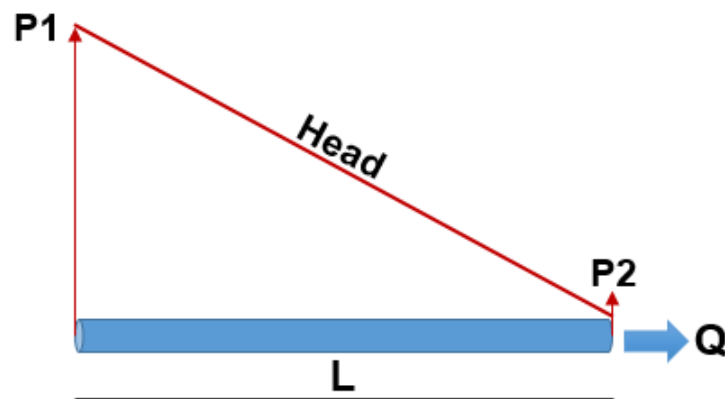
Após o cálculo da quantidade de energia que será dissipada ao longo do duto, é possível calcular o *head* necessário na expedição para vencer esta perda de carga. Esta lógica é ilustrada na Figura 10:

$$H_p = 10000 \cdot \frac{\Delta P_c}{\rho} \quad (9)$$

Onde:

$$\Delta P = P_1 - P_2 \quad (10)$$

Figura 10 - Relação *Head* e Pressão



Fonte: produção própria

6.3. Gradiente Hidráulico

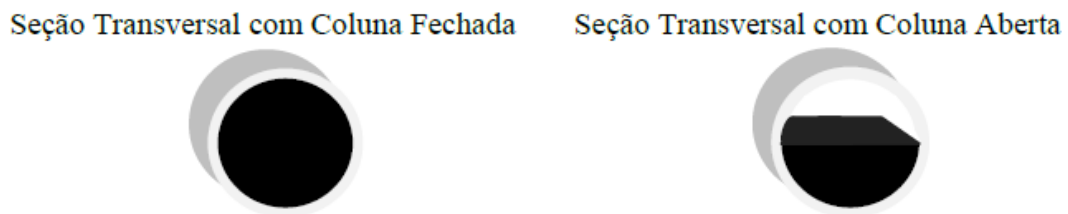
6.3.1. Abertura de Coluna

Ao definir a condição operacional do duto, é possível optar por operar com coluna aberta ou coluna fechada. De acordo com a referência [14], entende-se por coluna fechada que se um corte transversal for feito, em qualquer posição ao longo do duto, a área transversal estará completamente cheia de líquido (Figura 11).

Operando com coluna aberta, em alguns pontos onde a pressão do duto atinge um valor menor que a pressão de vapor do produto, geralmente em pontos de cotas elevadas, parte do produto se vaporiza e o duto opera com líquido e vapor ao mesmo tempo (Figura 11).

Este projeto será dimensionado para operar com coluna fechada. Isso permite que vazamentos sejam detectados com mais facilidade por meio de cálculos de balanço de massa. É incerto estimar, com precisão, o volume do espaço-vapor no duto, devido ao vapor ser compressível, o que deixa o cálculo do balanço de massa inexato. Assim, vazamentos podem não ser detectados.

Figura 11 - Condições Operacionais



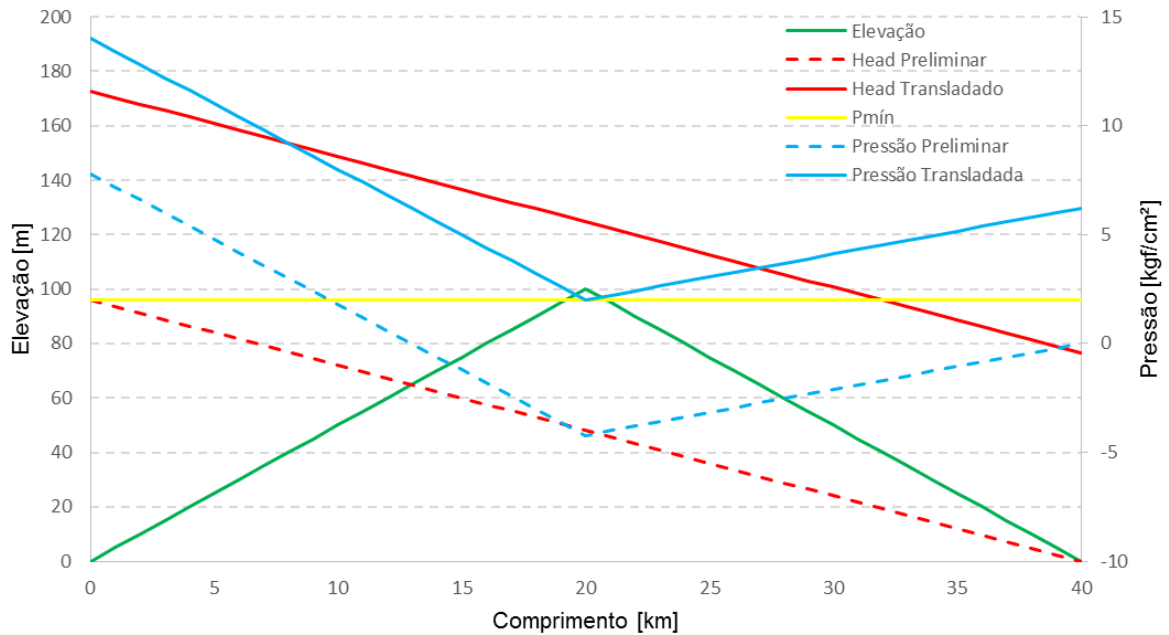
Fonte: referência [14]

Para o duto operar com coluna fechada, determinamos um *set point* de pressão mínima permissível. Tal *set point* deverá estar acima da pressão de vapor do produto. Neste projeto, a pressão mínima permissível será de 2 kgf/cm².

6.3.2. Metodologia de Cálculo

Ao associar, ponto a ponto, o *head* preliminar calculado (em 6.2) à elevação é possível extrair o gradiente de pressão preliminar do duto, conforme demonstrado na Figura 12.

Figura 12 - Definição do Gradiente Hidráulico



Fonte: produção própria

Analisando o gradiente de pressão (linha azul tracejada) na Figura 12, é possível observar que a pressão mais baixa atingida ao longo do duto (ponto crítico) está abaixo do *set point* de pressão mínima ($P_{mín} = 2 \text{ kgf/cm}^2$), e abaixo da pressão de vapor do produto. Ou seja, se o duto operar com essas pressões irá vaporizar o produto e abrir coluna.

A pressão preliminar no duto deverá ser ajustada de modo a garantir que nenhum ponto fique abaixo da $P_{mín}$, isto é, o ponto crítico será transladado para 2 kgf/cm^2 e a diferença calculada entre esses pontos será aplicada em todo o gradiente de pressão. O resultado é um novo gradiente de pressão (linha azul, Figura 12), onde em nenhum ponto o duto abre coluna.

Após o ajuste da pressão um novo *head* para o duto é calculado por meio dela, desta vez estará associado a elevação e a perda de carga ao longo do duto:

$$H_{duto} = \frac{P}{(\rho \times 10^4)} + C \quad (11)$$

Posterior à definição dos dados anteriores, implementamos a lógica em uma memória de cálculo e de forma automatizada. Assim, foi possível obter o gradiente hidráulico do duto Figura 12 (linhas cheias).

6.4. Aplicação no Projeto

Usando o *software* Excel, o método anterior 6 foi aplicado ao projeto. A partir dele, é possível variar o diâmetro e obter diversas informações a respeito do duto, que permitirão a tomada de decisões adequadas e mais eficientes quando do dimensionamento do projeto. A seguir, serão apresentadas todas as informações que podem ser obtidas nesta etapa:

Pressão de envio;

Head de envio;

Pressão de Recebimento;

Head de Recebimento;

Posição e cota do ponto crítico;

Gradiente de Pressão;

Gradiente Hidráulico e;

Potência Global de Bombeamento Estimada (com base na pressão de envio, vazão e estimativa de rendimento).

6.5. Pressão de Projeto Estimada

Para obtenção da pressão de projeto estimada para dimensionamento do duto, é necessário o cálculo do gradiente hidráulico em regime permanente, realizado e demonstrado em 6.3, o cálculo das condições estáticas (vide 6.5.1) e uma estimativa do transiente hidráulico 6.5.2.

6.5.1. PMO Estimada

6.5.1.1. *Head* Estático Estimado

$$H_{Es} = C_{max} + H_{min} \quad (12)$$

6.5.1.2. Pressão Estática Estimada:

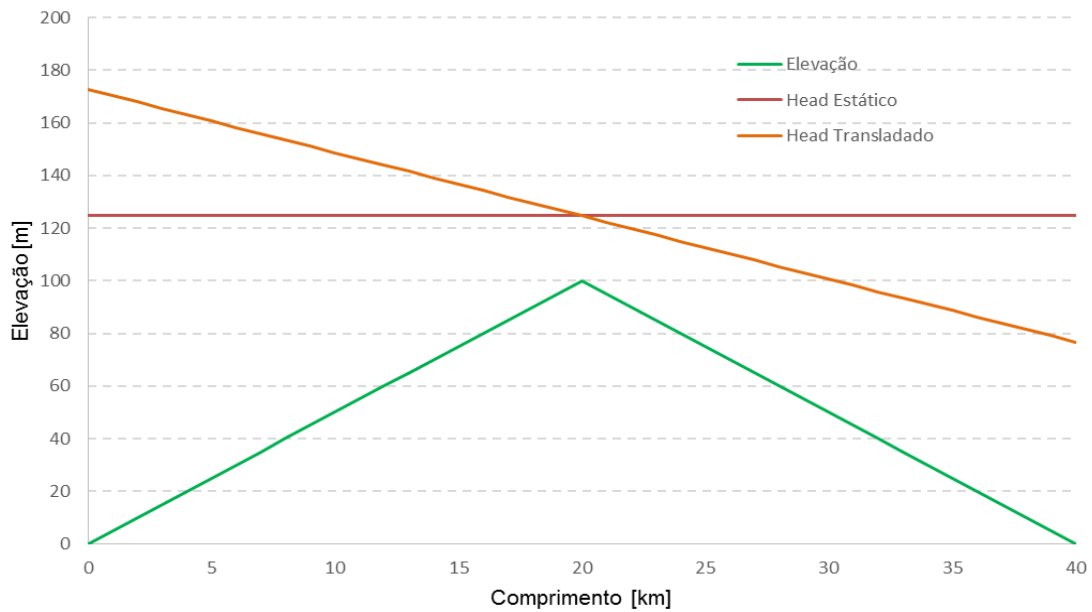
$$P_{Ee} = \frac{(H_{Ee} - C) \times \rho}{10000} \quad (13)$$

6.5.1.3. Composição da PMO_e estimada:

A pressão máxima de operação estimada (PMO_e) será o valor máximo entre a pressão em regime permanente estimada e a pressão estática estimada.

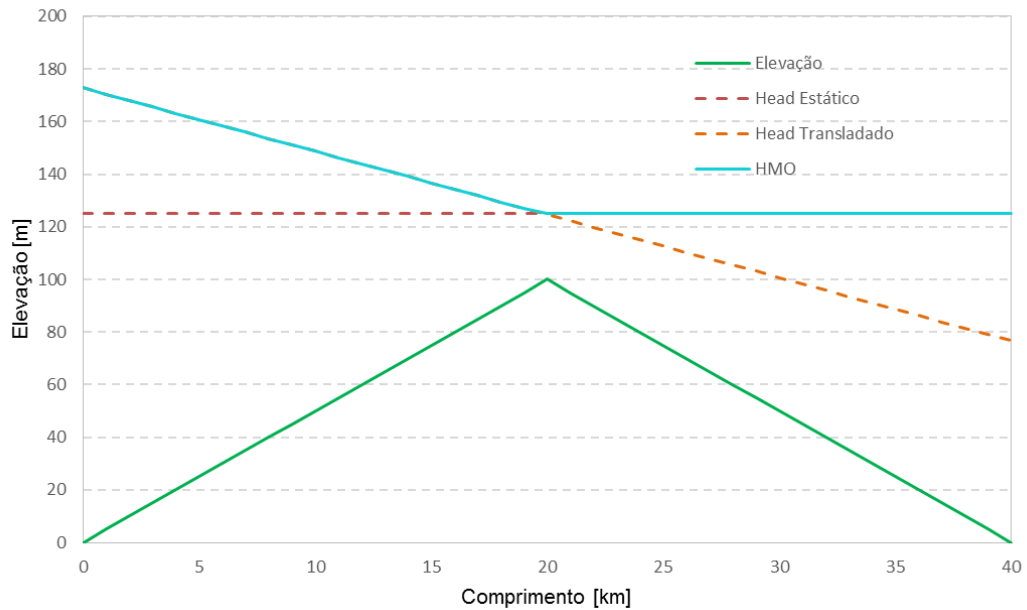
O *head* máximo de operação estimado (HMO_e) será o valor máximo entre o *head* em regime permanente estimado e o *head* estático estimado. Tais informações podem ser observadas na Figura 13 e na Figura 14. Na primeira, temos o *head* estático estimado e o *head* permanente estimado, ao passo em que na segunda, temos o HMO_e sobrepondo parte de ambos.

Figura 13 – Comparação entre Heads



Fonte: produção própria

Figura 14 – Composição HMO Estimado



Fonte: produção própria

6.5.2. PMOI Estimada

6.5.2.1. Joukowski

De acordo com a referência [14], por meio da equação de Joukowski é possível fazer uma previsão do incremento de pressão após o bloqueio do escoamento, estabelecendo uma relação entre a variação da velocidade, seu valor antes do bloqueio para zero imediatamente após o bloqueio, e o incremento na pressão.

$$\Delta P_J = P + \left(\frac{v_s \cdot v \cdot Q}{g \times 10^4} \right) \quad (14)$$

6.5.2.2. Condição Hidráulica com Bombas em *Shut Off*

Previsão do incremento de 20% de *Head*, com bombas em *shut off*, em relação ao *head* de operação. O *shut off* da bomba é o *head* quando esta está operando com vazão zero ($Q=0$).

$$H_{SO\ duto} = H_{duto} \times 1,2 \quad (15)$$

6.5.2.3. Pressão de *Shut Off*

Pressão de descarga em vazão nula:

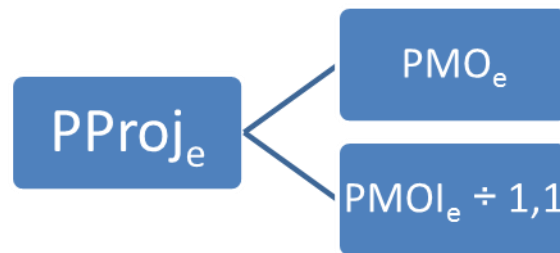
$$P_{SO\ duto} = \left(\frac{(H_{SO\ duto} - C) \cdot \rho}{10000} \right) \quad (16)$$

6.5.2.4. Composição da PMOI Estimada

A pressão máxima de operação incidental estimada (PMOI_e) será o maior valor entre o incremento calculado por Joukowski e o incremento de *shut off*.

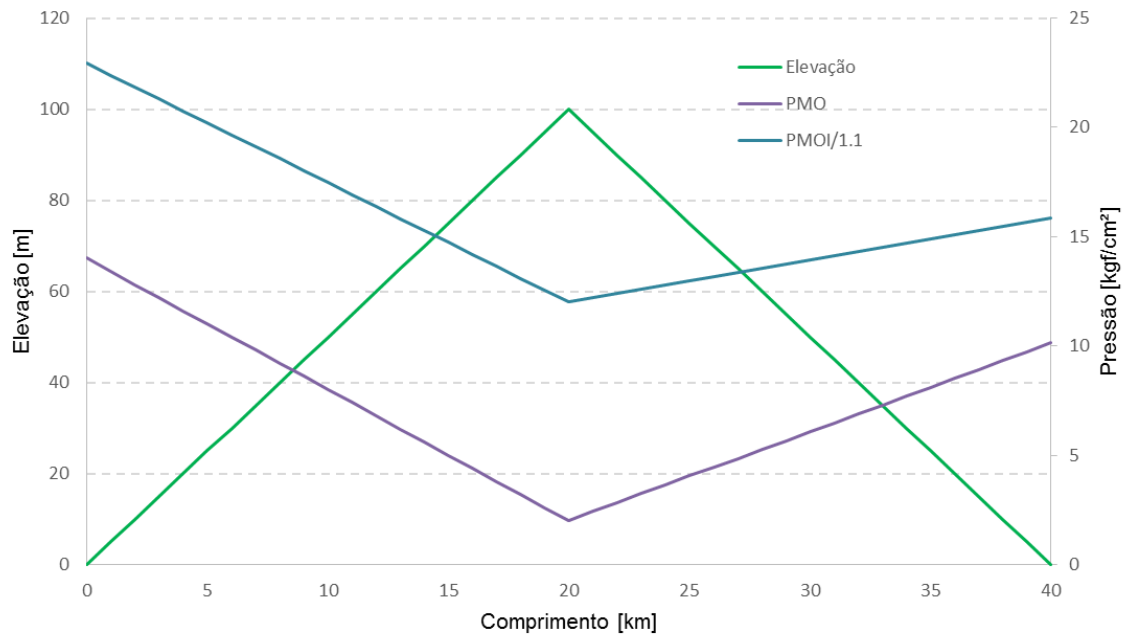
6.5.3. Composição da Pressão de Projeto Estimada

A Pressão de Projeto estimada será igual ao maior valor calculado entre a PMO_e e a PMOI_e e dividida por 1,1.



No exemplo apresentado, observa-se, como na Figura 15, que a pressão de projeto estimada será igual a $PMOI_e \div 1,1$, pois esta apresenta valor superior.

Figura 15 – Composição PMOI Estimada



Fonte: produção própria

6.6. Espessura

6.6.1. Espessura Calculada – Equação de Barlow

Barlow é o nome que se dá a uma equação matemática desenvolvida pelo matemático Peter Barlow, a qual descreve a relação entre a pressão interna, tensão admissível do material, espessura de parede e diâmetro, em tubos. Esta fórmula foi utilizada de modo a determinar os requisitos mínimos de espessura para tubulação deste projeto.

$$E_{Calc} = \frac{(PProj_e \times D_E)}{(2\sigma \cdot 0,070307)} \quad (17)$$

6.6.2. Sobreesspessura de Corrosão

Admitindo a corrosão do material do duto como inevitável, uma sobreesspessura para sacrifício deverá ser somada à espessura calculada. Esta sobreesspessura garante que a tubulação irá aguentar os esforços para os quais ela foi projetada, mesmo com a ação gradual da corrosão.

O valor adotado para a sobreesspessura, neste projeto, é de 1,3 milímetros, ou 0,0013 metros.

6.6.3. Espessura Seleccionada

Depois de calculada a espessura e realizada sua soma à sobreesspessura de corrosão, a espessura do duto deverá ser seleccionada dentre as espessuras comerciais disponíveis no mercado, para o diâmetro adotado.

A espessura adotada será aquela imediatamente superior à espessura calculada somada à sobreesspessura.

7. Estudo Econômico

Com a intenção de criar um projeto que combine alta confiabilidade e baixo custo, foram analisados 120 casos diferentes, variando combinações de diâmetros, materiais, e estações de bombeamento. As variáveis econômicas deste processo e os casos considerados serão apresentados a seguir.

7.1. Materiais

Na análise, foram considerados cinco tipos de aço diferentes para compor o duto: Grau B, X60, X65, X70 e X80. Estes materiais e suas propriedades estão relacionados abaixo, maiores detalhes podem ser vistos no Anexo H .

Tabela 6 – Propriedades Aços

Tensão Mínima de Escoamento		
	Psi	SMYS
Gr. B	34.989	25.192,08
X60	60.000	43.200,00
X65	65.000	46.800,00
X70	70.000	50.400,00
X80	80.000	57.600,00

Os preços, por tonelada de aço, considerados seguem a disposição da Tabela 7.

Tabela 7 – Preço Aço

Custo do Aço		
Material	R\$/t	US\$/t
Gr. B	4.850	1.469,70
X60	5.000	1.515,15
X65	5.150	1.560,61
X70	5.250	1.590,91
X80	5.775	1.750,00

7.2. Custo Capital (CAPEX)

Entende-se por CAPEX - *capital expenditure* -, em português, “despesas de capital” ou “investimento em bens de capital”, o montante de investimentos realizados em equipamentos e instalações para manter o funcionamento de um sistema.

Foram considerados os seguintes itens para o cálculo do custo capital:

- **Custo da Tubulação:** custo da quantidade de aço utilizada na tubulação;

Volume de Aço:

$$V = \left(\frac{\pi D_E^2}{4} \times L \right) - \left(\frac{\pi D^2}{4} \times L \right) \quad (18)$$

Peso de Aço:

$$p = V \times d \quad (19)$$

- **Custo da Instalação do Duto:** O custo de instalação do duto é igual a 50% do custo total de construção;
- **Custo da Subestação:** 1.400 reais por HP instalado;
- **Custo das Bombas:** 1.400 dólares por HP instalado;
- **Custo da Instalação do Sistema de Bombeamento:** 2.500.000 dólares por estação;
- **Outros Custos:** 15% do custo capital total.

7.3. Custo Variável (OPEX)

OPEX - *operational expenditure* - refere-se ao custo associado à manutenção dos equipamentos e aos gastos de consumíveis e outras despesas operacionais, necessárias à produção e à manutenção em funcionamento do sistema.

Foram considerados os seguintes itens para o cálculo do custo variável:

- **Custo de Energia:** Custo da potência total de bombeamento, sendo 0,32 reais por kWh, operando 24 horas por dia, 365 dias por ano;
- **Custo de Administração:** 12.839 reais mensais por estação de bombeamento;
- **Custo de Manutenção:** 0,5% do custo capital total;

- **Custo de Operação:** 96.714 reais mensais por estação de bombeamento;
- **Custo de SMS:** 13.280 reais mensais por estação de bombeamento;
- **Custo de Manutenção das Faixas:** 517 reais mensais, por quilômetro de faixa.

7.4. VPL

O valor presente líquido foi calculado para os próximos 20 anos, considerando a taxa de variação anual do OPEX a 5%, ou seja, o valor do custo capital somado ao valor do custo variável ajustado à 5% ao ano, com uma taxa de desconto de 10%.

7.5. Outras Variáveis

- **Valor do dólar:** 3,30 reais;
- **Taxa de desconto:** 10% para cálculo do VPL;
- **Variação dos custos variáveis:** 5% ao ano;
- **Densidade do aço:** 7.860 kg/m³.

7.6. Estações de Bombeamento

Uma característica importante no perfil deste duto, como apresentado na Figura 8, é que subsequentes a aproximadamente 220 quilômetros após a saída da Cidade A, o trecho sofre uma grande diferença de cota. Esta é aumentada, de 400 m, para cerca de 10 km. Este fato levanta a hipótese de rebombeamento do produto em algum ponto do trecho, de modo a evitar que seja exigida, na expedição, toda a energia necessária para vencer estas diferenças na elevação. Serão estudados dois casos: o primeiro, com apenas uma estação de bombeamento no início do duto; e, o último, com duas estações de bombeamento – sendo uma no início do duto e outra aos 217 quilômetros – um pouco antes da subida supracitada.

7.7. Diâmetros

De acordo com as boas práticas de engenharia, uma velocidade de escoamento próxima de 1,8 m/s passa a ser considerada ideal. Sendo assim, com a vazão de 499 m³/h e a uma velocidade ideal aproximada, aplicamos as seguintes equações (20) e (21).

$$A_i = \frac{Q/3600}{v} \quad (20)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_i}{\pi}} \quad (21)$$

No decorrer dos cálculos, foi possível atingir o diâmetro aproximado de 13 polegadas. Considerando o diâmetro comercial imediatamente superior, de 14", como um valor inicial, serão analisadas 6 (seis) opções de diâmetros: os dois imediatamente menores e os três imediatamente maiores que 14", ou seja: 10, 12, 14, 16, 18 e 20 polegadas. Estes foram combinados de duas formas diferentes: uma com o trecho inteiro com o mesmo diâmetro, com uma estação de bombeamento, e; com o duto dividido em dois trechos com duas estações de bombeamento.

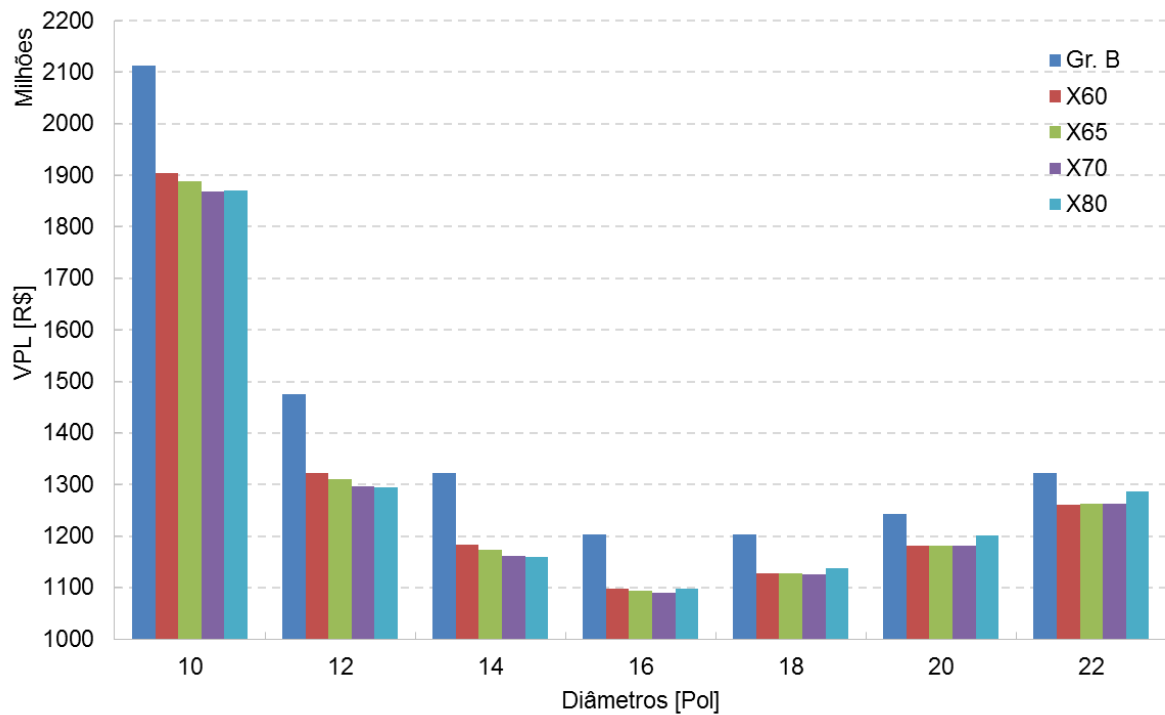
8. Definição do Sistema Ótimo

Neste item serão definidos o diâmetro ótimo e a quantidade de estações de bombeamento.

8.1. Diâmetros e Estações

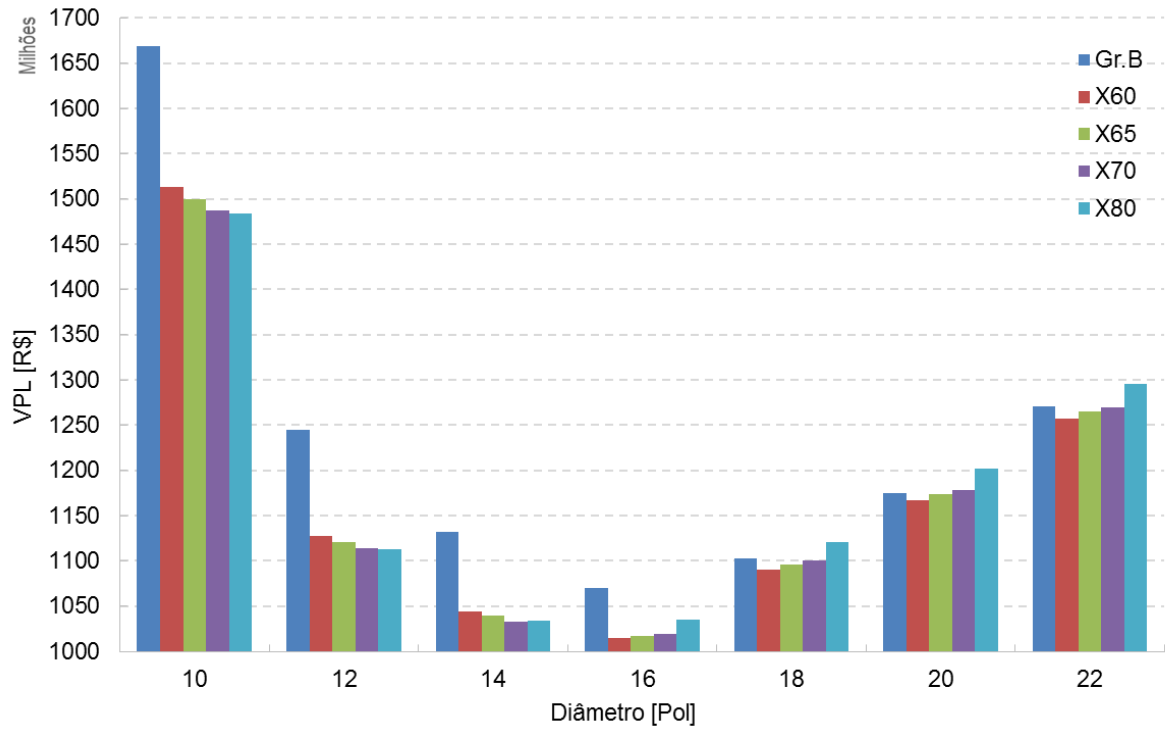
Os resultados obtidos podem ser vistos graficamente na Figura 16, Figura 17 e Figura 18.

Figura 16 - VPL x Ø - Sem estação de rebombeio



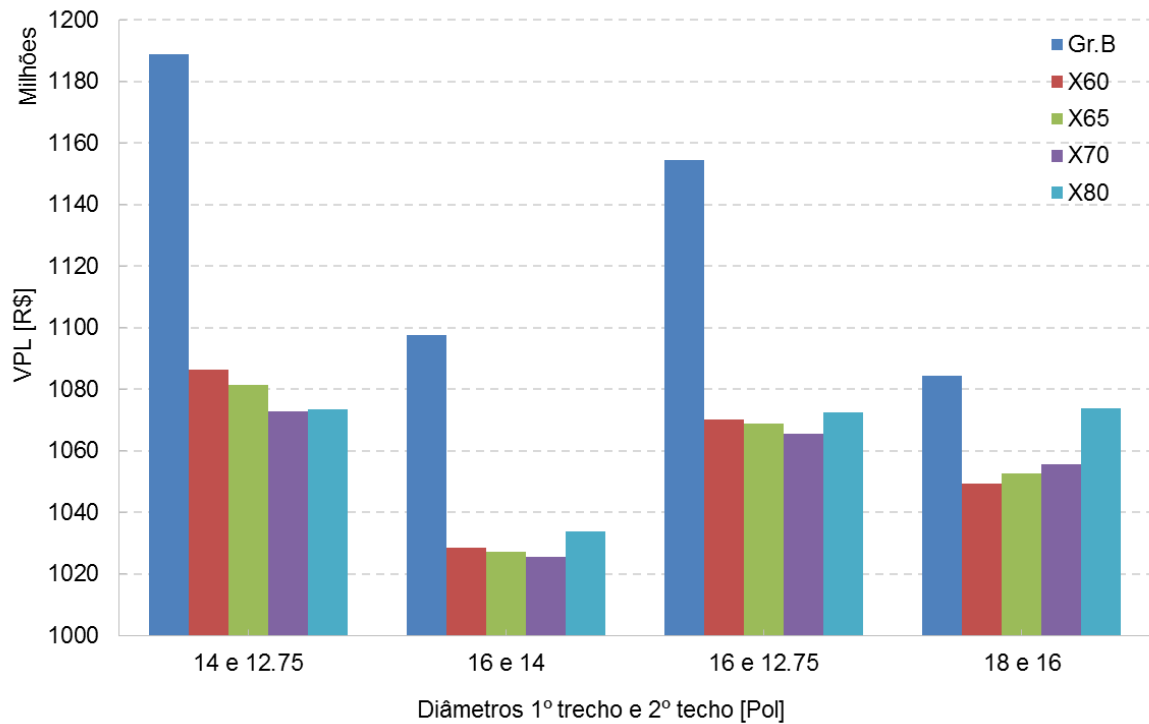
Fonte: produção própria

Figura 17 - VPL x Ø – Com estação de rebombeio e diâmetros iguais nos 2 trechos



Fonte: produção própria

Figura 18 - VPL x Ø – Com estação de rebombeio e diâmetros diferentes nos 2 trechos



Fonte: produção própria

Os menores custos obtidos na comparação entre diâmetros, com e sem rebombeio, estão relacionados na Tabela 8 e Tabela 9 abaixo.

Tabela 8 – Melhores casos com rebombeio - VPL 20 anos

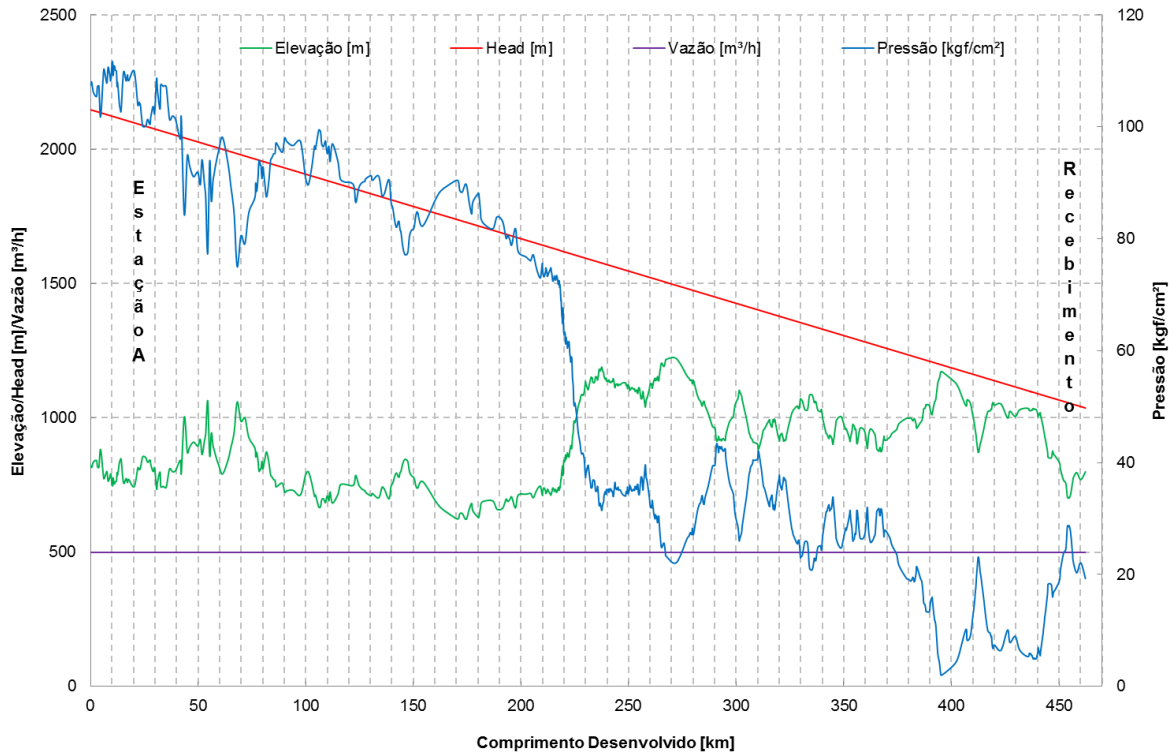
Estação	Ø	Material	Ø	Material	Ø	Material	Ø	Material	Ø	Material
1	16	X60	16	X65	16	X70	16	X70	16	X65
2	16	X60	16	X65	16	X70	14	X70	14	X65
VPL [R\$]	1.014.490.964		1.017.235.236		1.019.729.373		1.025.510.08		1.027.060.353	

Tabela 9 – Melhores casos sem rebombeio - VPL 20 anos

Estação	Ø	Material	Ø	Material	Ø	Material	Ø	Material	Ø	Material
1	16	X70	16	X65	16	X80	16	X60	18	X70
2	16	X70	16	X65	16	X80	16	X60	18	X70
VPL [R\$]	1.090.592.361		1.094.702.660		1.097.009.834		1.098.768.204		1.125.179.497	

Com o diâmetro, é possível realizar os cálculos apresentados em 6, e traçar o gradiente hidráulico do duto. Na Figura 19, traçamos o gradiente para diâmetro de 16” e sem rebombeio.

Figura 19 - Duto com 16" sem rebombeio



Fonte: produção própria

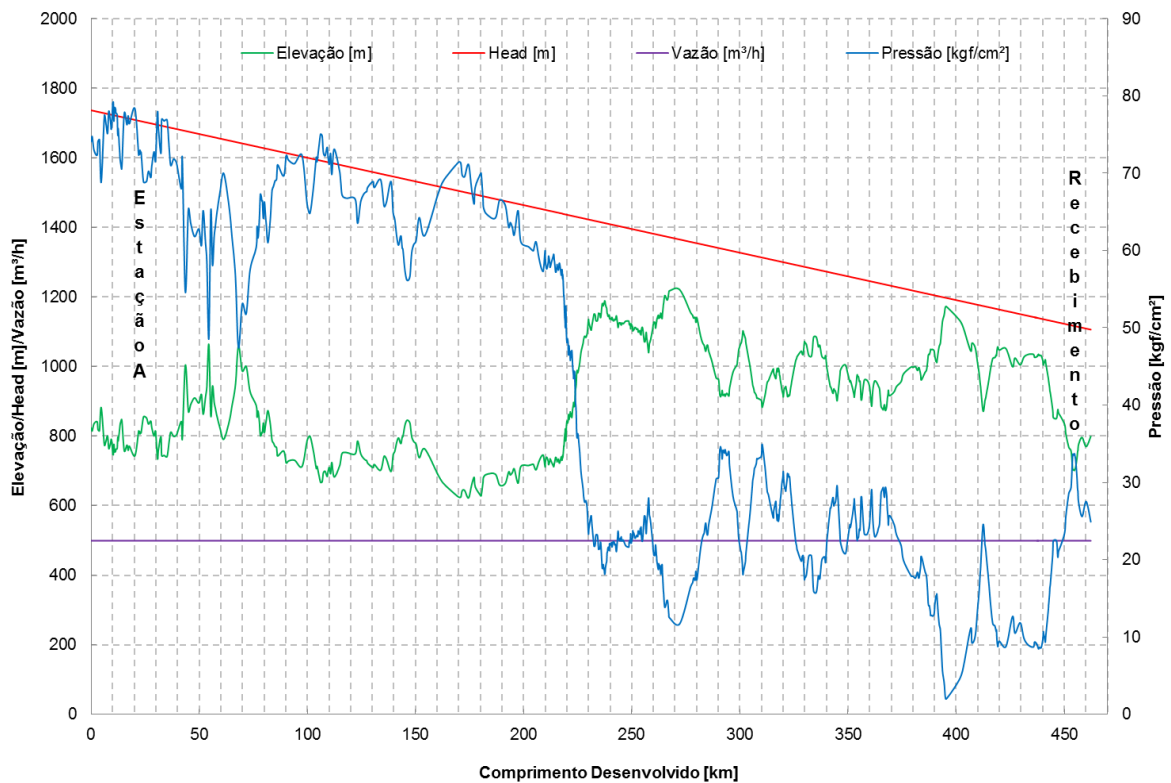
É recomendável, em projetos deste porte, limitar a classe de pressão em até 600#, uma vez que a classe superior (900#) encarece a proposta, uma vez que a mesma necessitaria de acessórios (válvulas, flanges, etc) dimensionadas para pressões muito altas, que tendem a ser aumentar consideravelmente o CAPEX. Na Tabela 10, retirada da referência [15] (adaptada), temos o comparativo entre as classes de pressão.

Tabela 10 - Classificação Pressão – Temperatura: Pressões máximas permitidas por classe

Temperatura [°C]	Pressão Máxima de Operação [kgf/cm ²]				
	150#	300#	400#	600#	900#
-29 a 121	20,0	52,0	69,6	104,0	156,1
150	19,3	50,2	67,1	100,4	150,6
175	18,7	48,6	65,2	97,3	145,8
200	18,0	47,7	64,0	95,5	143,5
225	17,4	45,5	61,0	91,2	136,7
232	17,2	45,0	60,5	90,3	135,3

Observa-se, na Figura 19, que a pressão mais alta atingida no duto, em regime permanente, se encontra acima de 104 kgf/cm², dentro da classe 900#, indesejada para este projeto. Sendo assim, o diâmetro ideal para este caso (sem rebombeio) passaria a ser de 18 polegadas, como pode ser observado no gradiente da Figura 20.

Figura 20 – Duto com 18” sem rebombeio

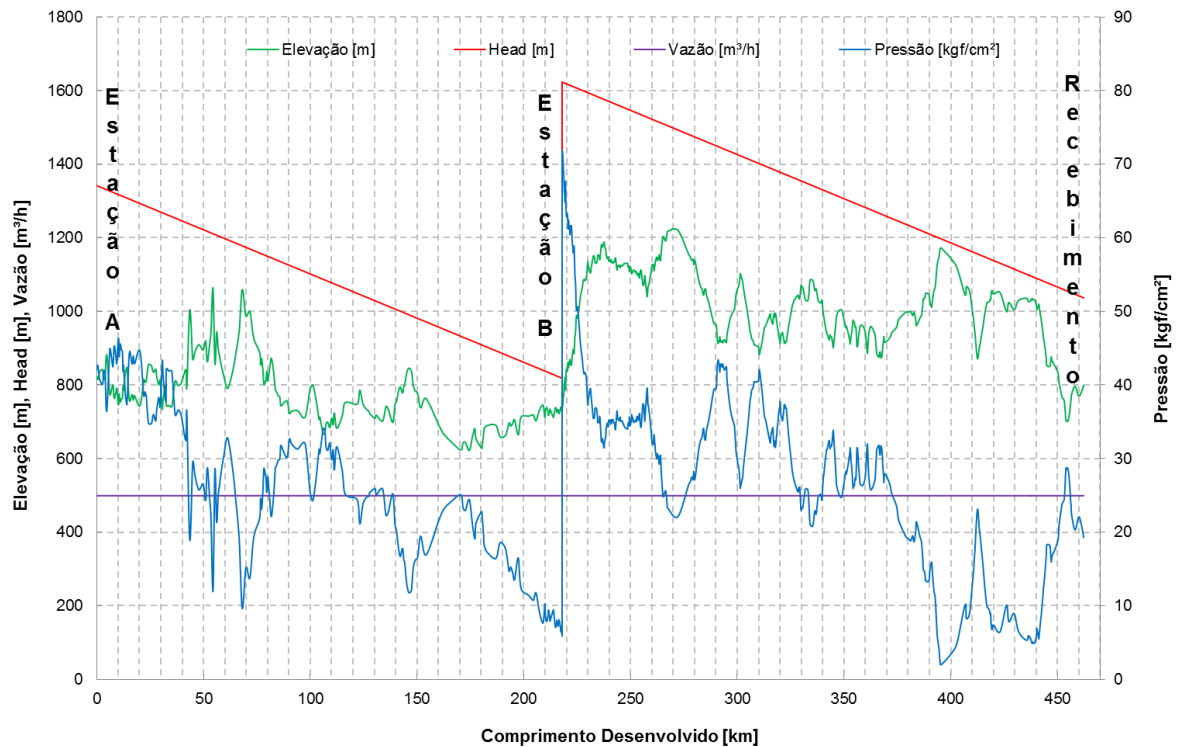


Fonte: produção própria

Apesar da configuração da Figura 20 estar dentro dos parâmetros desejáveis para este projeto, os casos de menor investimento foram aqueles com estação intermediária de rebombeio. Dentre os 5 (cinco) listados na Tabela 8, melhor sugestão foi a da utilização do aço X60 e com diâmetro igual de 16 polegadas nos dois trechos.

Com o diâmetro ótimo, é possível realizar os cálculos apresentados em 6 e definir o gradiente hidráulico do duto, conforme Figura 21.

Figura 21 – Gradiente Hidráulico com Estação Intermediária e Diâmetro de 16”



Fonte: produção própria

A análise feita neste item nos fornece que, economicamente, é mais vantajoso para este duto possuir duas estações de bombeamento: uma na cidade A e outra, para rebombeio, em um ponto ao longo do duto.

Para conseguir vencer toda a elevação com um só sistema de bombeamento, seria necessária uma pressão de envio de 74,9 kgf/cm² em vez de 42,07 kgf/cm² com rebombeio, conforme observado na Figura 20 e na Figura 21.

A melhor opção para o projeto consiste em possuir diâmetro de 16 polegadas e duas estações para bombeio, sendo, assim, mais viável hidráulica e economicamente. A quantidade de bombas e arranjo serão avaliados posteriormente do item 9 ao item 9.4 e apresentados no item 9.5.

8.2. Outputs do Cálculo Hidráulico

Com a realização do cálculo hidráulico do projeto, as seguintes informações são obtidas por trecho, sendo o Trecho 1 entre as estações A e B e o Trecho 2 entre a estação B e o recebimento.

Tabela 11 – Dados Trecho 1

Trecho 1					
Pressão de Envio	Head de Envio	Pressão de Recebimento	Head de Recebimento	Posição Ponto Crítico	Cota Ponto Crítico
[kgf/cm ²]	[m]	[kgf/cm ²]	[m]	[km]	[m]
42,07	1341,80	6,00	818,50	217,97	744,50

Tabela 12 – Dados Trecho 2

Trecho 2					
Pressão de Envio	Head de Envio	Pressão de Recebimento	Head de Recebimento	Posição Ponto Crítico	Cota Ponto Crítico
[kgf/cm ²]	[m]	[kgf/cm ²]	[m]	[km]	[m]
71,30	1623,20	6,00	1036,70	177,49	1172,40

8.3. Transiente Hidráulico Estimado

Os cálculos dos transientes operacionais e incidentais estimados foram realizados conforme 6.5 para cada ponto do duto, e os resultados estimados estão traçados na Figura 22.

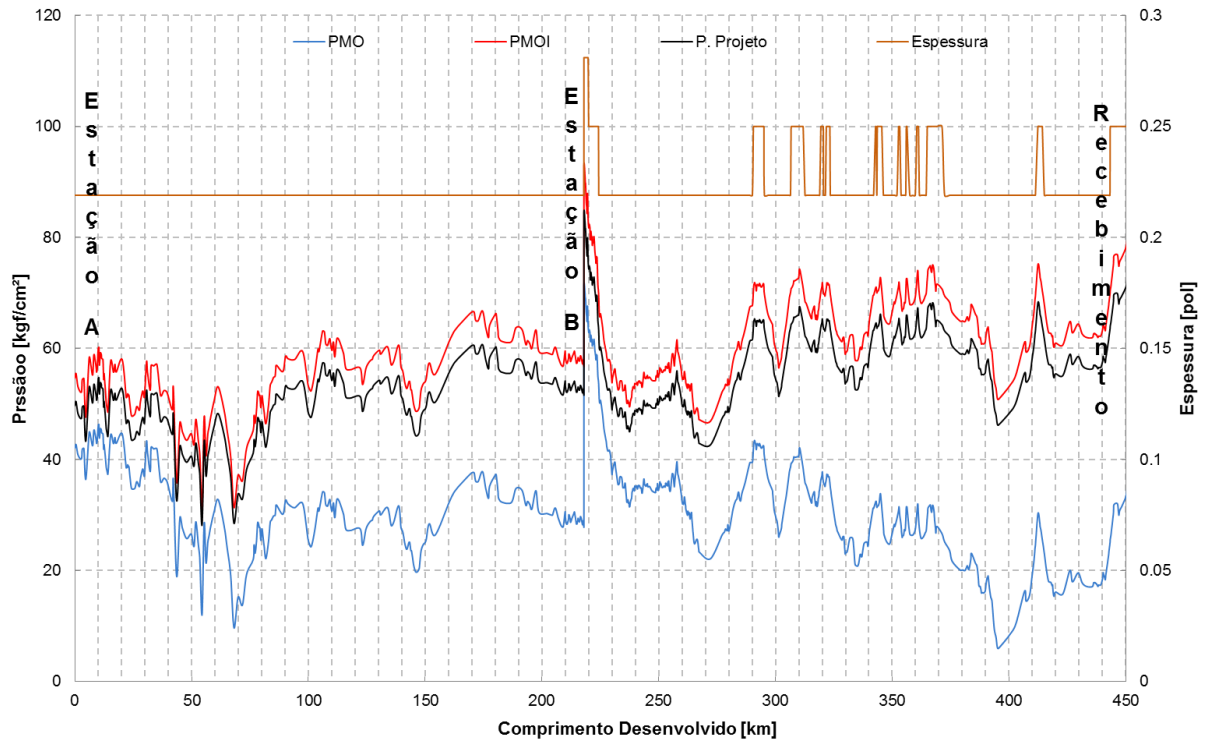
Conforme indicado em 6.6, a espessura é calculada ponto a ponto, de acordo com a pressão de projeto. A espessura adotada é uma média ponderada entre as espessuras calculadas de cada trecho e somada à sobreesspessura de corrosão, e pode ser visualizada na Figura 22.

Com as espessuras estimadas definidas, é possível calcular a quantidade de aço utilizada nos dois trechos do projeto, estas são informadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Quantidade de aço estimada

	Peso de Aço (Ton)
Trecho 1	12.001,08
Trecho 2	13.942,28

Figura 22 – Pressões e Espessuras Estimados



Fonte: produção própria

As espessuras selecionadas nesta etapa poderão sofrer alterações, visto que estas foram estimadas e só serão confirmadas após a análise de transientes.

9. Sistema de Bombeamento

Doravante, serão explicados os métodos de cálculo para seleção e arranjo de bombas das duas estações previstas no projeto: Estação A e Estação B. Todos os cálculos foram feitos considerando o produto como etanol hidratado, visto que este é mais crítico.

Serão analisados os diversos tipos possíveis de arranjos e quantidade de bombas, em paralelo ou em série. A associação de bombas neste projeto se dá devido à inexistência de bombas que possam atender sozinhas a vazão e o *head* necessários.

A vazão de projeto alta requer uma associação em paralelo, ou seja, aplicar duas ou mais bombas a descarregarem em uma ou mais linhas comuns, de forma que cada bomba forneça parte da vazão.

A alta pressão de operação requer uma associação em série. Neste caso a descarga de uma bomba está localizada na linha de sucção da bomba seguinte, desta forma o fluido recebe maior quantidade de energia e os *heads* se somam.

Esta análise contemplará as diversas opções de bombas dos principais fabricantes (Sulzer e Flowserve), sendo possível realizar a seleção do arranjo que melhor atenda, do ponto de vista técnico.

9.1. Dimensionamento de bombas

Todas as bombas serão dimensionadas para uma vazão 5% superior à vazão de projeto, ou seja, 523,95 m³/h, em vez de 499 m³/h, como forma de garantia de atuação da bomba. A fórmula abaixo demonstra a relação vazão x *head*. Válido notar que o *head* varia de forma quadrática com a vazão.

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 \quad (22)$$

Para esta vazão 5% superior, os *heads* de envio da Estação A e da Estação B correspondem, respectivamente, a 571,54 m e 805,64 m.

9.2. Métodos de Pesquisa das Bombas

A pesquisa de bombas foi realizada no *website* da empresa Flowserve, no qual, por meio de um portal chamado FlowSelex, referência [16]. Nela, é possível filtrar e analisar bombas que atendam a necessidade imputada pelo usuário. Os *inputs* de pesquisa são determinados como disposto na Figura 23.

Figura 23 - Pesquisa de bombas – Inputs

The screenshot displays the FlowSelex Portal search interface. At the top, the header includes 'FlowSelex™ Portal', 'Version: 2.2.7a', 'Preferences', 'Input Mode: Basic Advanced', and 'Units: Metric US Custom'. Below the header, navigation tabs include 'Start', 'Duty Conditions', 'Product Lines', 'Vertical Duty Conditions', 'Hydraulic & Driver Constraints', 'Product Line Constraints', 'Search Results', and 'Result Details'. A 'Back Next' navigation bar is also present.

The main form is divided into two sections: 'Basic Duty Conditions' and 'Advanced Duty Conditions'. The 'Basic Duty Conditions' section includes fields for 'Rated flow' (499 m3/h), 'Rated head' (518.4 m), and 'Frequency' (60 Hz). The 'Advanced Duty Conditions' section includes fields for 'Rated NPSHa' (Ample m), 'Rated viscosity' (1.2 cP), 'S.G.' (0.811), 'Max suction press' (0.0 kPa.g), 'Rated suction press' (0.0 kPa.g), 'Max temperature' (40 C), 'Vapor pressure' (12.75 kPa.a), 'Quantity of pumps' (1), 'Service', 'Liquid description' (Etanol Hidratado), 'Liquid type' (Other), 'Flammable' (checkbox), 'Toxic' (checkbox), 'H2S' (checkbox), 'Hydraulic selection' (No Specification), 'Construction' (No Specification), and 'Test tolerances' (Hyd Institute Level B).

Fonte: referência [16]

Foram utilizados, como *inputs*: a vazão, o *head*, a viscosidade, a densidade, a temperatura máxima de operação e a pressão de vapor do fluido. Na tela seguinte, Figura 24, é possível selecionar a opção na qual somente bombas com orientação horizontal serão mostradas.

Figura 24 – Seleção de Orientação

FlowSelex™ Portal Version: 2.2.7a Preferences

Current Project: Default Project Owner: Roberta Robalinho Current Item:

Start Duty Conditions **Product Lines** Vertical Duty Conditions Hydraulic & Driver Constraints Product Line Constraints Search Results Result Details

Back Next

Filters

Industry: All Classification: All Orientation: Horizontal

Product Lines

Please select one or more product lines
Click on the product line name to view detailed product line information

Available Product Lines Count: 3 / 7 (filtered / total)

<input type="checkbox"/>	Group	Product Line	Max Flow (m ³ /h)	Max Head (m)	Min Temp. (C)	Max Temp. (C)	Max Viscosity (cP)	Max Suction Press. (kPa.g)
<input type="checkbox"/>		CS Radially Split, Multistage, Ring Section	540.0	1377.00	-4	165	405.5	5000.0
<input type="checkbox"/>		NM (D/AD/V) Radially Split, Multistage, Ring Section	3000.0	600.00	-5	120	8.1	1600.0
<input type="checkbox"/>		WTB (BB2) Radially Split, Double Suction, Three Stage	1875.0	1100.00	-30	430	97.3	4000.0

Add Add Companions Remove Remove All

Fonte: referência [16]

Após selecionar a orientação horizontal, tem-se o resultado de pesquisa em “*Pump Search*”, no qual o portal fornece o resultado de todas as opções de bombas que atendam as necessidades estipuladas, conforme exemplificado na Figura 25.

Figura 25 – Exemplo de Resultados de Pesquisa de Bombas

<input type="checkbox"/>	Status	Pump Type	Curve	Stages	RPM	% BEP	NPSH	Efficiency	Max Power	% Max Diameter	Nss	MCSF	Rated Power	% Hd Rise to SO	Hd Cut/Max Dia
<input type="checkbox"/>	✓	4WTB-162F		2	3580	113.1	10.2	69.4	895	96.0	8990	120.0	822	26.3	89.7
<input type="checkbox"/>	✓	6WTB-143		3	3580	101.0	7.2	72.8	828	90.6	10910	160.0	784	29.1	77.0
<input type="checkbox"/>	✓	6WTB-143		3	3580	104.8	6.3	72.3	839	89.6	12200	160.0	789	26.9	75.1
<input type="checkbox"/>	✓	8WTB-162		2	3580	64.8	7.1	70.5	1094	90.6	10590	260.0	810	6.3	81.0
<input type="checkbox"/>	✓	8WTB-182		2	3580	54.0	9.2	58.3	1174	77.8	10110	380.0	978	5.5	58.8
<input type="checkbox"/>	▲	200.NM.A		10	1770	125.8	11.2	75.1	790	99.7	6940	78.9	760	47.0	99.0
<input type="checkbox"/>	▲	200.NM.B		10	1770	125.7	7.4	74.7	801	99.7	9820	78.9	764	47.0	99.0
<input type="checkbox"/>	▲	201.NM.C		6	1775	69.5	4.8	72.8	967	100.0	9280	137.6	784	15.0	99.6
<input type="checkbox"/>	▲	252.NM.E		5	1795	50.3	5.7	63.5	1297	100.4	10150	196.4	899	12.3	100.0
<input type="checkbox"/>	▲	6WTB-163		3	3580	106.8	8.3	68.8	875	79.2	9410	150.0	830	26.6	55.8

Fonte: referência [16]

De modo a selecionar a bomba mais apropriada dentre todas as opções disponíveis, foram definidos alguns parâmetros para a seleção:

- % *Hd Rise to SO*: (Incremento de *head* no *shut off*) entre 15% e 20% de acordo com as boas práticas do dimensionamento de bombas;
- Nss: (Velocidade específica de Sucção) menor que 11.000 referência [17];
- NPSH requerido: menor que o disponível na sucção da bomba mais um metro de folga;
- % BEP: desejável o mais próximo de 100%;
- % Diâmetro Máximo: abaixo do diâmetro máximo e inferior ao mínimo e;
- Eficiência: maior possível dentro das combinações de parâmetros.

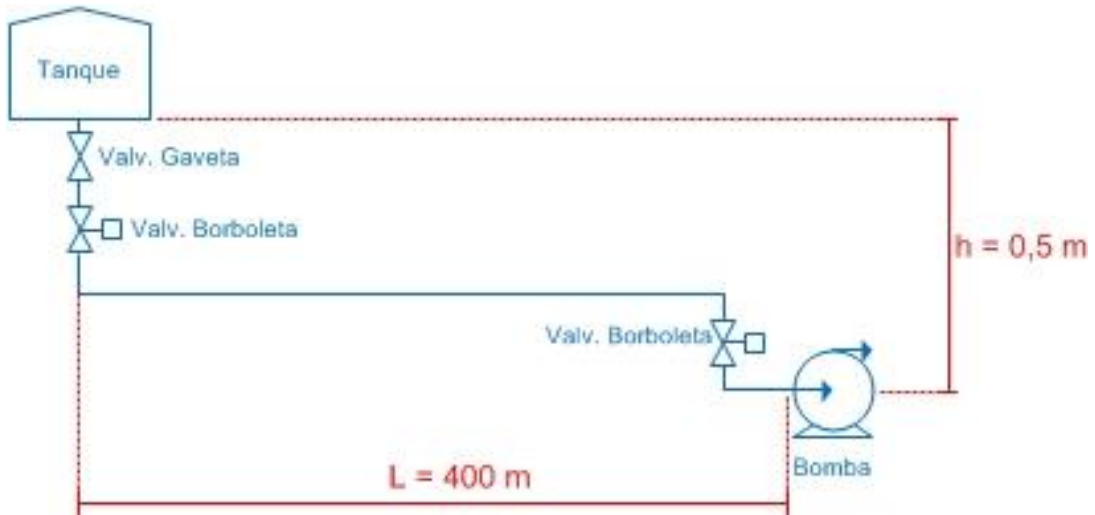
A bomba selecionada deverá atender a todos os parâmetros, simultaneamente.

9.3. Estação A

Na primeira estação, os produtos são succionados dos tanques de armazenamento e seguem para as bombas de expedição.

Foi definido que o trecho tanque-parque de bombas tem 400 metros de extensão e que, nele, existem duas válvulas borboletas de bloqueio e uma válvula gaveta de pé de tanque. A diferença de cotas entre tanque e bomba é de 0,5 metros. Conforme a Figura 26.

Figura 26 – Fluxograma Esquemático



Fonte: produção própria

9.3.1. Diâmetro de Sucção

O cálculo do diâmetro de sucção da bomba para tubulações com diâmetro superior a 12 polegadas [13] vem a ser:

$$D_{s1} = \sqrt{\frac{Q}{10}} = \sqrt{\frac{2197,03}{10}} = 14,82 \quad (23)$$

Onde: Q em gpm e D em polegadas.

O diâmetro comercial imediatamente superior ao calculado é de 16 polegadas e este foi adotado como diâmetro final de sucção.

$$D_{s1} = 16 \text{ pol} = 0,4064 \text{ m} \quad (24)$$

$$D_{is1} = 0,3952 \text{ m} \quad (25)$$

9.3.2. Velocidade de Sucção

Cálculo da velocidade com que o fluido chega ao flange de sucção da bomba [13].

$$A_i = \frac{\pi \times D_{is1}^2}{4} = 0,1297 \text{ m}^2 \quad (26)$$

$$v_{s1} = \frac{Q}{3600 \times A} = 1,068 \text{ m/s} \quad (27)$$

9.3.3. Espessura da Linha de Sucção

A espessura da linha de sucção das bombas é normalizada pela referência [18], e é definida pelo material do tubo, pelo diâmetro, pela classe de pressão e pelos produtos movimentados.

Neste caso, para tubos em aço carbono, com 16 polegadas de diâmetro, 150# e movimentando álcool anidro e hidratado, a espessura recomendada é de 0,250 polegadas.

9.3.4. Diâmetro de Descarga

De acordo com a referência [18], o cálculo do diâmetro de descarga da bomba para tubulações com diâmetro superior a 12 polegadas é:

$$D_{d1} = \sqrt{\frac{Q}{20}} = \sqrt{\frac{2197,03}{20}} = 10,48 \quad (28)$$

Onde: Q em gpm e D em polegadas.

O diâmetro comercial imediatamente superior ao calculado é de 12 polegadas e este foi adotado como diâmetro final de sucção.

$$D_{d1} = 12 \text{ pol} = 0,3048 \text{ m} \quad (29)$$

9.3.5. Espessura da Linha de Descarga

A norma estabelece [18] que para tubos de aço carbono, com este diâmetro de descarga, classe de pressão de 150#, e transportando etanol anidro e etanol hidratado, a espessura deverá ser de 0,250 polegadas.

9.3.6. Reynolds

O número de Reynolds é calculado para definir o tipo escoamento na tubulação que antecede a sucção da bomba:

$$R_e = \frac{D_{is1} \times v_{s1} \times \rho}{\mu} = 285456,21 \rightarrow \text{Regime Turbulento} \quad (30)$$

9.3.7. Fator de Atrito

A equação de Sousa-Cunha-Marques [13] é uma equação explícita utilizada de modo a calcular o fator de atrito.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{k}{3,7D_{is1}} - \frac{5,16}{R_e} \cdot \log_{10} \left(\frac{k}{3,7D_{is1}} + \frac{5,09}{R_e^{0,87}} \right) \right] \quad (31)$$

$$f = 0,01474$$

9.3.8. Perda de Carga

Cálculo das perdas de carga, divididas entre localizadas e escoamento, que ocorrerão entre o bocal de saída do tanque e a sucção da bomba. Tal cálculo se faz necessário para calcular quantos metros de coluna de líquido estarão disponíveis na sucção da bomba (NPSH_D).

Para calcular a perda de carga na tubulação até a sucção, foi considerado um adicional de 25% do comprimento total, de modo a abranger eventuais perdas em curvas, conexões e outros fatores não considerados na perda de carga localizada. Sendo assim:

$$L_{tubulação} = 400,5 + 25\% = 500,63 \text{ m} \quad (32)$$

A fórmula utilizada no cálculo da perda de carga é sugerida na referência [13].

$$\Delta P_c = \frac{f \cdot L_{tubulação}}{D_{is1}} \cdot \frac{v_{s1}^2}{2} = 1,09 \text{ m} \quad (33)$$

O método utilizado para estimar as perdas localizadas será o método direto – ou método k – [13], no qual é aplicada a seguinte fórmula:

$$\Delta P_L = k \cdot \frac{v_{s1}^2}{2g} \quad (34)$$

Nesta expressão, o k passa a ser um coeficiente experimental tabelado para cada tipo de acidente. Neste projeto, três acessórios são considerados antes da sucção:

Duas Válvulas Borboletas: $k = 0,33$ [13]

Uma válvula gaveta de pé de tanque: $k = 0,04$ [13]

Desta forma, temos:

$$\Delta P_L = 0,69 \cdot \frac{v_{s1}^2}{2g} = 3,86 \quad (35)$$

Somam-se as perdas de cargas distribuídas e localizadas:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_L = 4,95 \text{ m} \quad (36)$$

9.3.9. Submergência Mínima

Entende-se, por “submergência mínima”, o nível mínimo de líquido dentro do tanque para que se previna a formação de vórtices. A presença de escoamento com vorticidade pode trazer consequências prejudiciais, tais como diminuição do rendimento de máquinas hidráulicas por sucção de fluidos gasosos (ar).

A referência [19] (CLAXTON) relaciona o cálculo da submergência mínima ao número de Froude, que é um número adimensional, utilizado na hidráulica de condutos abertos.

$$F_d = \frac{v_{s1}}{(g \times D_{is1})^{0,5}} = 0,54 \quad (37)$$

$$S = D_{is1} \times (1 + 2,3 F_d) = 0,89 \text{ m} \quad (38)$$

O nível mínimo de fluido no tanque é de 0,89 m. Para cálculos posteriores, este há de ser o nível de fluido considerado existente no tanque.

9.3.10. NPSH Disponível

Compreende-se, por NPSH (*Net Positive Suction Head*) disponível, a energia absoluta por unidade de peso existente no flange de sucção da bomba, acima da pressão de vapor do fluido. Seu cálculo é necessário para que possa ser comparado com o NPSH requerido da bomba. Ou seja, cada bomba possui uma quantidade mínima de energia necessária para perdas internas de modo a evitar possíveis cavitações.

O cálculo do NPSH_d envolve a soma da pressão atmosférica local, a diferença de cotas entre tanque e bomba e a submergência mínima do tanque, bem como a subtração da pressão de vapor do fluido, da perda de carga e de uma folga extra de um metro.

$$NPSH_D = P_{atm} + h_{tq} + S - P_V - \Delta Pc - folga \quad (39)$$

$$NPSH_D = 12,33 + 0,50 + 0,89 - 1,60 - 4,95 - 1,0 = 6,17 \text{ m} \quad (40)$$

A bomba selecionada deverá ter como NPSH_r (NPSH requerido) um valor menor que 6,17 metros.







9.3.11. 1ª Análise – Envio Sem Bomba Auxiliar

Primeiramente, será analisada a possibilidade de envio com uma bomba principal, sem a necessidade de bombas auxiliares. Ou seja, uma bomba deverá atender às necessidades de vazão, *head* de envio e requerer um NPSH menor que o disponível – logo, menor que 6,17 metros.

Na Estação 1 de bombeamento, temos – como *head* de envio – 1.341,8 metros. Ao subtrair-se o valor da cota no local (823,4 metros), dispomos, como resultado, 518,40 metros que deverão representar o valor fornecido pela bomba. Conforme citado em 9.1, a pesquisa será realizada para uma vazão 5% maior, o que nesse caso corresponde a um *head* de 571,54 m.

Como resultado da pesquisa, obtivemos seis bombas possíveis, conforme Figura 27.

Figura 27 - Resultado Pesquisa 1P – Estação A

Pump Type	Curve	Stages	RPM	% BEP	NPSH	Efficiency	Max Power	% Max Diameter	Nss	MCSF	Rated Power	% Hd Rise to SO
6WTB-143		3	3580	101.0	7.5	74.3	933	95.1	10910	160.0	889	29.1
6WTB-143		3	3580	104.8	6.5	73.8	952	94.0	12200	160.0	895	26.9
6WTB-163		3	3580	106.9	8.7	69.6	998	83.2	9410	150.0	950	26.5
8WTB-162		2	3580	64.8	7.2	71.7	1246	95.2	10590	260.0	922	6.3
8WTB-182		2	3580	54.0	9.3	59.2	1340	81.7	10110	380.0	1115	5.5
10WTB-162		2	3580	38.6	10.1	53.5	1751	90.6	11130	500.0	1234	5.3










Fonte: referência [16]

Válido notar que, dentre as opções, a única bomba que exige um NPSH menor que 6,7 metros, vem a ser o modelo 6WTB-143. Entrementes, ao analisarmos os requisitos de 9.2, temos uma velocidade específica de sucção alta, assim como o incremento de *head* no *shut off*.

Exceto a bomba supracitada, todas as demais demandam um NPSH acima do disponível. Este fato aponta a necessidade de um arranjo de bombas, que pode ser dado ao fazer uso de uma bomba auxiliar em série com a bomba principal. Tal será uma bomba com menor capacidade e menor exigência de NPSH, que irá fornecer parte da energia necessária ao fluido. Alternativamente, ter-se-ia o uso de duas bombas principais em série, que requeiram um NPSH menor, no qual os *heads* de cada uma somar-se-iam, de modo a gerar o *head* final de envio. A terceira opção de arranjo repousaria na utilização de duas bombas principais em paralelo, tendo suas vazões somadas.

Uma vez que apenas uma bomba não atendeu à necessidade do projeto, uma nova pesquisa foi perpetrada, para o arranjo com duas bombas principais em paralelo. Ou seja, cada uma deverá atender uma vazão de 261,98 m³/h e um *head* de 571,54 m – valores já ajustados para vazão 5% superior. Como resultado obtivemos 9 (nove) bombas que atenderiam a esses dois fatores, conforme Figura 28.

Figura 28 – Resultado Pesquisa 2P Paralelo – Estação A

Pump Type	Curve	Stages	RPM	% BEP	NPSH Δ	Efficiency	Max Power	% Max Diameter	Nss	MCSF	Rated Power	% Hd Rise to SO
6WTB-143		3	3580	57.7	5.0	60.3	741	85.4	12200	160.0	548	4.6
6WTB-143		3	3580	55.9	5.6	57.3	721	85.8	10910	160.0	576	5.2
4WTB-162F		2	3580	62.1	5.7	60.8	797	91.8	8990	120.0	543	4.8
4WTB-143		3	3580	86.1	5.7	67.4	604	89.6	9540	95.0	490	10.5
6WXB-12B-Ind.		4	3540	100.7	6.2	69.2	501	92.0	12080	72.8	477	22.4
8WTB-162		2	3580	33.2	6.6	47.6	1166	92.9	10590	260.0	694	1.2
4WTB-143L		3	3580	106.1	7.2	65.1	544	94.3	11340	66.0	507	22.0
6WXB-12B		4	3540	100.7	8.4	69.2	501	92.0	9610	55.1	477	22.4
4X11 CS-HC		7	3565	122.9	11.5	68.2	518	97.7	9520	58.4	484	66.9



Fonte: referência [16]

Nas opções da Figura 28, pode-se observar que nenhuma atende a todos os parâmetros simultaneamente, e apresentam eficiência baixa. Destarte, a opção de arranjo em paralelo passa a ser descartada.

Em sequência à pesquisa do arranjo com duas bombas principais em série, ou seja, no qual cada bomba forneça uma vazão de 499 m³/h e o *head* será de 259,2 m – equivalendo, este último, ao *head* total necessário distribuído em duas bombas – e aplicando os 5% na vazão, temos 523,95 m³/h e 285,77 m, obtivemos como resposta 21 bombas.

Aplicando os parâmetros de seleção citados anteriormente, reduzimos as opções em 2 (duas) bombas, conforme Figura 29.

Figura 29 - Resultado Pesquisa 2P Série – Estação A

Pump Type	Curve	Stages	RPM	% BEP	NPSH	Efficiency	Max Power	% Max Diameter	Nss	MCSF	Rated Power	% Hd Rise to SO
201 NM.C		4	1775	83.7	5.0	73.5	520	93.2	9280	128.2	449	20.1
PHL 40.20.15.40G		1	3570	75.7	10.6	75.1	587	89.8	10100	183.5	440	15.6

Fonte: referência **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Dentre as duas bombas que restaram após a filtragem, apenas uma exige um NPSH menor que 6,17 m: o modelo 201 NM C. Tal modelo foi escolhido para arranjo com duas bombas principais atuando em série. O Anexo A apresenta a folha de dados destas bombas.









9.3.12. 2ª Análise – Envio com Bomba Auxiliar no Arranjo

9.3.12.1. Seleção de Bomba Auxiliar

A bomba auxiliar deverá atender os mesmos parâmetros da análise anterior: vazão de 499 m³/h e NPSH requerido menor que 6,17 m. Foi definido que ela deverá fornecer uma pressão de 6 kgf/cm² para a sucção da bomba principal – o que equivale a um *head* de 79,15 metros – suficiente para vencer o NPSH requerido da bomba principal e para diminuir uma porcentagem do *head* a principal deverá fornecer – Após ajustados os valores conforme 9.1 – 523,95 m³/h e 87,27 m.

A reposta da pesquisa foram 203 bombas possíveis. Aplicando os parâmetros de seleção pré-definidos em 9.2, restaram oito bombas que atendiam a todos os requisitos.

Figura 30 - Resultado Auxiliar – Estação A

Pump Type	Curve	Stages	RPM	% BEP	NPSH	Efficiency	Max Power	% Max Diameter	Nss	MCSF	Rated Power	% Hd Rise to SO ▲
6LR-18A		1	1750	95.2	4.0	83.3	140	96.5	10750	173.2	121	16.0
8LR-23S		1	1750	104.0	3.3	76.3	142	76.9	9550	111.7	132	16.5
200-LNN-500		1	1775	92.8	4.9	79.5	148	91.7	7070	151.6	127	17.8
252 NM L		4	890	83.4	1.9	78.5	146	98.0	9210	129.1	129	17.8
8HPX19-TOP		1	1740	91.2	4.3	78.7	153	92.3	10740	115.1	128	18.1
8HPX19A		1	1740	91.2	4.3	78.7	153	92.4	10740	124.7	128	18.1
10MF27B FR8H		1	1175	50.8	3.8	65.3	228	96.9	7880	483.9	154	18.6
ERPN 200-504		1	1740	97.5	4.7	76.0	151	86.4	10380	87.9	133	18.7

Fonte: referência [16]





Comparando as curvas das bombas, seguindo os parâmetros anteriormente citados, foi selecionada a bomba 6LR-18A, Anexo B , para ser utilizada como auxiliar. Esta apresenta melhor eficiência e menor consumo.

9.3.12.2. Seleção Bomba Principal

Nesta etapa, serão selecionadas as bombas principais que atuarão, de acordo com esta análise, com uma bomba auxiliar selecionada em 9.3.12.1 ao montante delas.

Primeiramente, será estudada a hipótese do uso de uma bomba principal, que deverá fornecer 499 m³/h e 439,25 m, ajustados para 523,95 m³/h e 484,28 m. O NPSH requerido desta deverá ser menor que 79,15 m, devido ao uso da bomba auxiliar.

Figura 31 – Resultado Principal 1A+1P – Estação A

Pump Type	Curve	Stages	RPM	% BEP	NPSH	Efficiency	Max Power	% Max Diameter	Nss	MCSF	Rated Power	% Hd Rise to SO
4WTB-162F		2	3580	120.3	11.1	67.0	866	94.8	8990	120.0	835	31.8
6WTB-143		3	3580	107.2	7.5	72.1	806	89.6	10910	160.0	776	35.3
6WTB-143		3	3580	111.4	6.5	71.4	815	88.5	12200	160.0	784	32.8
8WTB-162		2	3580	70.0	7.3	71.8	1018	88.2	10590	260.0	780	7.7



Fonte: referência [16]

Ao analisar o resultado da pesquisa na Figura 31, as 4 (quatro) bombas respondidas pela pesquisa apresentam o incremento de *head* no *shut off* fora do desejado, o que pode gerar transientes muito altos. Sendo assim, a hipótese de trabalhar com uma bomba auxiliar e com uma principal está descartada.

Uma nova pesquisa foi elaborada, visando encontrar 2 (duas) bombas principais para atuarem em série, após a bomba auxiliar. Tais precisarão fornecer, juntas, uma vazão de 499 m³/h e um *head* de 439,25 m, ou seja, 219,63 m cada uma. Ajustando para vazão 5% superior, serão necessários 523,95 m³/h e 242,14 m.

A pesquisa forneceu 31 bombas que atenderiam a estas necessidades. Após filtrar com os mesmos parâmetros de seleção já definidos em 9.2, dois modelos de bomba restaram como opções, conforme Figura 32.

Figura 32 – Resultado Pesquisa Principal 1A+2P – Estação A

Pump Type	Curve	Stages	RPM	% BEP	NPSH	Efficiency	Max Power	% Max Diameter	Nss	MCSF	Rated Power	% Hd Rise to SO
201 NM C		3	1775	76.4	5.0	73.3	454	97.4	9280	134.3	382	17.0
PHL 40.20.15.40G		1	3570	81.4	10.6	75.4	478	83.7	10100	183.5	371	18.0

Fonte: referência [16]

Foi selecionado o modelo PHL40.20.15.40G, Anexo C, por este apresentar melhor eficiência, e menor potência nominal.

9.3.13. Análise do Arranjo Econômico

9.3.13.1. Método da Potência Consumida

Aplicadas as análises em 9.3.11 e 9.3.12, foram obtidos dois possíveis arranjos para a Estação A: um primeiro arranjo com duas bombas principais em série e; um segundo, com uma bomba auxiliar em série com duas bombas principais em série. Como ambos os arranjos atendem a

todos os requisitos do sistema, será calculada a potência consumida em cada arranjo para determinar qual será o mais econômico.

As potências nominais das bombas são dadas em kWh e são fornecidas pelo fabricante conforme disposto no Anexo A , Anexo B e no Anexo C .

Tabela 14 – Consumo Horário por Arranjo

	1º Arranjo (2P)	2º Arranjo (1A+2P)	
Modelo	201NMC	6LR-18A	PHL40.20.15.40G
Potência Nominal [kWh]	449	121	371
Consumo Total [kWh]	898	863	

Pode ser observado, na Tabela 14, que o consumo horário do 2º arranjo é 35 kW menor que o do 1º arranjo. O kWh tem um valor de 0,38947 reais, segundo a Light Energia, Anexo G . Aplicando uma inflação de 5% ao ano e uma taxa de 10%, calcula-se o VPL para os próximos 20 anos sobre tal diferença, de 35 kW.

Tabela 15 - Diferença de Consumo entre arranjos na 1ª Estação

Valor kWh	0,38947
Diferença Entre Consumos kWh	35
Diferença Anual kWh	306600
Custo Diferença R\$/Ano	119411,502
Inflação	0,05
Taxa	0,1

Tabela 16 - VPL

Custos por Ano [R\$]									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
119411,50	125382,10	131651,18	138233,74	145145,40	152402,70	160022,80	168024,00	176425,20	185246,40
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
194508,75	204234,20	214445,90	225168,19	236426,60	248247,90	260660,30	273693,30	287378,00	301746,90
VPL para 20 Anos [R\$]									
977239,06									

O cálculo na Tabela 16 aponta uma economia, em energia, equivalente a aproximadamente 1 (hum) milhão de reais ao ser utilizado o 2º arranjo proposto.

9.3.13.2. Método do Custo das Bombas

Podemos comparar novamente os dois arranjos, desta vez pelo custo das bombas. Conforme em 7.2, o custo de uma bomba foi considerado como 1.400 dólares por HP instalado. Além das bombas mencionadas que serão as operantes, as estações terão instaladas bombas reservas, uma de cada modelo, de modo a atender a necessidade de manutenção em bombas operantes, sem que a operação seja interrompida. Analisando novamente os dois arranjos, temos:

Tabela 17 – Comparativo Custo das Bombas

	1º Arranjo (2P)	2º Arranjo (1A+2P)	
Modelo	201NMC	6LR-18A	PHL40.20.15.40G
Quantidade de Bombas Instaladas	3	2	3
Potência instalada por bomba [HP]	700	200	700

	1º Arranjo (2P)	2º Arranjo (1A+2P)	
Modelo	201NMC	6LR-18A	PHL40.20.15.40G
Potência instalada por arranjo [HP]	2100	2500	
Custo Total Bombas R\$	9.702.000	11.550.000	

Nesta análise, o custo das bombas do 1º arranjo passou a ser, aproximadamente, 2 milhões de reais menor.

9.3.13.3. Definição do Arranjo Selecionado

As análises anteriores permitem comparação entre os custos com energia e os custos com as bombas. Como resultado, foi obtido que um arranjo com uma bomba auxiliar e duas principais consumiria menos e economizaria, em energia, R\$977.239,00. Porém, o custo do arranjo com duas bombas principais ficou R\$1.843.000,00 menor.

Sendo assim, o arranjo selecionado para esta estação é o primeiro (2P), que, apesar de consumir mais, ainda resultaria em uma economia de R\$865.761,00.

9.4. Estação B

A segunda estação vem a ser somente para rebombear os produtos, não havendo armazenagem. A existência desta é justificada pela necessidade de diminuir a pressão de envio da estação A.

Esta estação deverá expedir com um *head* de 730,74 metros e com a vazão de projeto (499 m³/h). Aplicando 5% na vazão, conforme visto em 9.1, temos 523,95 m³/h e 805,64 m. O NPSH disponível na sucção das bombas será equivalente ao *head* de chegada à estação, o que torna a análise para seleção de bombas desta estação mais simples que da primeira.





9.4.1. Análise e Seleção de Bombas

Três opções de arranjo foram estudadas: em um primeiro momento, foi pesquisada uma bomba que atendesse sozinha aos requisitos; em seguida, foram pesquisadas duas bombas que atuariam em série somando os seus *heads* individuais e; finalmente, três bombas atuando em série.

A pesquisa foi realizada da forma citada em 9.2, com os mesmos requisitos de filtragem, à exceção do NPSH disponível, que, no presente caso, é de 73,98m.

Na primeira opção de arranjo, uma bomba atendendo a 523,95 m³/h e 805,64 m, o resultado retornou apenas 4 bombas possíveis conforme Figura 33:

Figura 33 – Resposta Pesquisa 1P – Estação B







Pump Type	Curve	Stages	RPM	% BEP	NPSH	Efficiency ▾	Max Power	% Max Diameter	Nss	MCSF	Rated Power	% Hd Rise to SO
6WTB-163		3	3580	94.4	8.8	73.3	1424	95.2	9410	150.0	1284	17.7
8WTB-163		3	3580	66.0	7.2	71.8	1582	94.5	10170	260.1	1312	7.9
8WTB-183		3	3580	56.1	9.3	59.7	1868	79.5	10210	380.0	1577	6.2
8WTB-182		2	3580	46.4	9.3	57.2	2072	96.1	10110	380.0	1647	3.5

Fonte: referência [16]

Observa-se que as eficiências das três últimas opções estão mais baixas que a primeira e que o incremento de *head* no *shut off* destas estão abaixo de 15%, valor anteriormente definido como ideal entre 15% e 20%. Sendo assim, a primeira bomba 6WTB163 é a opção adequada para o rebombeio desta primeira pesquisa, sua folha de dados se encontra no Anexo D .

Para a segunda opção de arranjo, duas bombas atendendo a 523,95 m³/h e a 402,82 m cada, a pesquisa retornou 6 bombas, conforme disposto abaixo (Figura 34):

Figura 34 – Resposta Pesquisa 2P – Estação B



Pump Type	Curve	Stages	RPM	% BEP	NPSH	Efficiency	Max Power	% Max Diameter	Nss	MCSF	Rated Power	% Hd Rise to SO
252 NM E		4	1795	53.4	5.7	65.6	1003	99.3	10150	194.0	709	12.8
6WTB-142		2	3580	99.8	7.8	74.8	661	96.7	10690	160.0	622	28.0
6WTB-142		2	3580	107.4	7.1	74.7	680	97.6	11570	160.0	623	28.9
6WTB-143		3	3580	114.1	7.5	69.4	684	84.2	10910	160.0	671	43.5
6WTB-143		3	3580	118.7	6.5	68.5	691	83.1	12200	160.0	680	40.6
6WTB-252		2	1780	81.8	3.6	71.3	851	98.5	8940	200.0	653	7.6

Fonte: referência [16]

Observando as características das bombas apontadas no resultado, o único modelo que atendeu a todos os parâmetros foi o 252 NM E, Anexo E , que foi selecionado nesta etapa da análise.

Finalmente, foram pesquisadas as bombas para o arranjo com três em série, cada uma devendo fornecer 523,95 m³/h e 268,55 m. A resposta obtida foi conforme Figura 35:

Figura 35 - Resposta Pesquisa 3P – Estação B

Pump Type	Curve	Stages	RPM	% BEP	NPSH	Efficiency	Max Power	% Max Diameter	Nss	MCSF	Rated Power	% Hd Rise to SO ▲
202.NM.L		4	1775	80.5	4.3	76.4	500	93.4	9770	133.3	406	15.1
PHL_40.20.15.40G		1	3570	77.8	10.6	75.2	543	87.5	10100	183.5	413	16.5

Fonte: referência [16]

Ambas as bombas apresentaram boas condições, porém a selecionada, para este possível arranjo, foi a 202 NM L, Anexo F , por ter menor potência e menor velocidade específica de sucção.

9.4.2. Análise do Arranjo Econômico

Com três opções de arranjo possíveis, e bombas para isto selecionadas, é preciso definir qual das opções será mais adequada.

9.4.2.1. Método da Potência Consumida

Feitas as análises em 9.4.1, foram obtidos três possíveis arranjos para a Estação B: um primeiro arranjo composto por uma bomba principal; um segundo, composto por duas bombas principais em série e; um terceiro, contando com três bombas principais em série. Será calculada a potência consumida em cada arranjo de modo a determinar qual destes será o mais econômico.

As potências nominais das bombas são dadas em kWh e são fornecidas pelo fabricante no Anexo D Anexo E Anexo F .

Tabela 18 – Consumo Horário por Arranjo

	1º Arranjo (1P)	2º Arranjo (2P)	3º Arranjo (3P)
Modelo	6WTB-163	252 NM E	202 NM L
Potência Nominal [kWh]	1284	709	406
Consumo Total [kWh]	1284	1418	1218

Pode ser observado na Tabela 18 que o consumo horário do 3º arranjo é 66 kW menor que o do 1º arranjo, e 200 kW menor que o do 2º. O kWh custa 0,38947 reais, segundo a Light

Energia, Anexo G . Aplicando uma inflação de 5% ao ano e uma taxa de 10%, calcula-se o VPL para os próximos 20 anos para os 3 consumos.

Tabela 19 – Comparativo VPL por Arranjo

	1º Arranjo (1P)	2º Arranjo (2P)	3º Arranjo (3P)
Valor [kWh]	0,38947	0,38947	0,38947
Consumo [kWh]	1284	1418	1218
Consumo Anual [kWh]	11247840	12421680	10669680
Consumo Anual [R\$]	4380696,245	4837871,71	4155520,27
Inflação	0,05	0,05	0,05
Taxa	0,1	0,1	0,1
VPL para 20 anos [R\$]	35.850.712,86	39.592.142,39	34.007.919,21

O cálculo na Tabela 19 aponta uma economia, em energia, equivalente a aproximadamente 1,8 milhão de reais, ao ser utilizado o 3º arranjo proposto.

9.4.2.2. Método do Custo das Bombas

Podemos comparar novamente os três arranjos, desta vez, pelo custo das bombas. Conforme em 7.2, o custo de uma bomba foi considerado como 1.400 dólares por HP instalado. Além das bombas mencionadas, que serão as operantes, as estações terão instaladas bombas reservas – uma de cada modelo – para atender à necessidade de manutenção em bombas operantes, sem que a operação seja interrompida. Analisando novamente os três arranjos, temos:

Tabela 20 – Comparativo Custo das Bombas

	1º Arranjo (1P)	2º Arranjo (2P)	3º Arranjo (3P)
Modelo	6WTB-163	252 NM E	202 NM L
Quantidade de Bombas Instaladas	2	3	4
Potência instalada por bomba	2.000	1.500	700

	1º Arranjo (1P)	2º Arranjo (2P)	3º Arranjo (3P)
Modelo	6WTB-163	252 NM E	202 NM L
[HP]			
Potência instalada por arranjo [HP]	4.000	4.500	2.800
Custo Total Bombas R\$	18.480.000,00	20.790.000,00	12.936.000,00

Nesta análise, o custo das bombas do 3º arranjo ficou aproximadamente 5,5 milhões de reais menos custoso.

9.4.2.3. Definição do Arranjo Selecionado

As análises anteriores permitem o estabelecimento de comparativos entre os custos com energia e os custos com as bombas. Como resultado, obtivemos que o arranjo com três bombas principais em série consumiria menos e economizaria, em energia, R\$ 1.842.793,65. Este arranjo também teria um custo de R\$ 5.544.000,00 inferior em bombas.

Sendo o arranjo selecionado para esta estação o terceiro (3P), tal definição resultaria em uma economia de, aproximadamente, 7 (sete) milhões de reais.

9.5. Resultados

Os arranjos das bombas das duas estações de bombeamento do projeto seguem o disposto na Tabela 21.

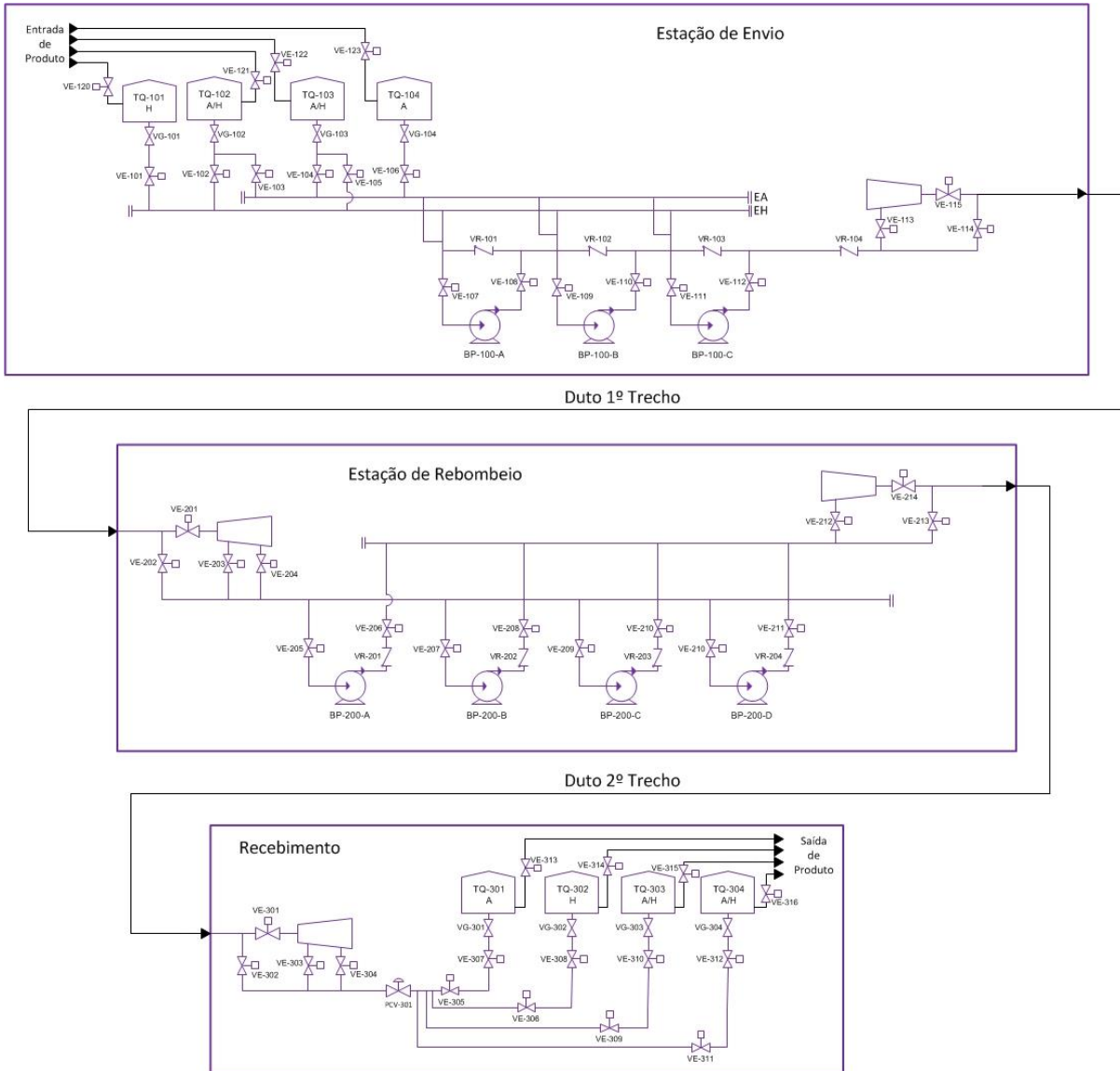
Tabela 21 – Bombas do Sistema

Função	Modelo	Vazão [m³/h]	Head [m]	NPSHr [m]	Potência Nominal [kWh]
Estação A (2P)					
Principal	201NMC	523,95	285,77	5,0	449
Estação B (3P)					
Principal	202 NM L	523,95	268,55	4,3	406

Ambas as estações possuirão uma bomba reserva instalada de cada modelo.

A Figura 36 apresenta um croqui do fluxograma esquemático do projeto, com as Estações A e B e a Estação de Recebimento.

Figura 36 - Fluxograma Esquemático



Fonte: produção própria

10. Simulação Hidráulica

10.1. Objetivo

Apresentar, descrever e analisar simulações utilizadas para determinar condições operacionais e dimensionamento mecânico do duto.

Serão analisadas condições normais de operação e condições incidentais, visando o seu dimensionamento de forma segura.

10.2. Software Utilizado

O *software* utilizado é um programa de simulações transiente de fluidos compressíveis e incompressíveis, o Stoner Pipeline Simulator™ (SPS).

O SPS permite, por meio da modelagem hidráulica de dutos, aperfeiçoar as operações e melhorar o desempenho de gasodutos ou redes de transporte de praticamente qualquer gás ou líquido.

O *software* opera com um arquivo base chamado INPREP, que contém todas as informações físicas do duto e outro arquivo base, chamado INTRAN, o qual dispõe de todos os comandos que serão executados durante a simulação.

No Anexo H estão todas as linhas de comando utilizadas na formulação do modelo de simulação deste projeto.

10.3. Descrição Geral

10.3.1. Produtos

O duto deverá enviar etanol anidro e etanol hidratado da Estação A, passando pela Estação B, até o recebimento. Os dados do produto foram inseridos no programa e se encontram na Tabela 5.

10.3.2. Unidades

Foi utilizada a maioria das unidades métricas padrões do *software*, com algumas alterações listadas abaixo.

- Módulo de Bulk: GPa
- Diâmetro: polegada
- Rugosidade: micron
- Potência: HP

- Pressão manométrica: kgf/cm²
- Espessura de parede: polegada
- Comprimento de *header*: metros
- Coeficiente de vazão de válvula: gal/min-psi⁵

10.3.3. Premissas Iniciais

- Todos os produtos transportados vêm a ser líquidos, com escoamento isotérmico e temperatura padrão a 20°C.
- O cálculo do coeficiente de atrito, para todo o Poliduto, utiliza a correlação de Colebrook, com uma rugosidade de 22,86 µm.
- A pressão hidrostática inicial, no ponto mais elevado, é de 1,0 kgf/cm².
- A distância entre dois pontos, onde são calculadas as variáveis, é de 0,1 km.

10.3.4. Sistemas de Bombeamento

Por meio da análise feita em 9, foi possível definir as bombas encontradas no mercado que atenderiam ao sistema.

Segundo as premissas de projeto e das informações do que é possível encontrar no mercado (que atenda a essas premissas), foram modeladas bombas teóricas semelhantes, para serem usadas na simulação. A referência [20] apresenta uma forma de modelar bombas teóricas para fins de simulação. Destarte, o projeto não fica vinculado a apenas alguns modelos específicos de bomba, dando viabilidade na seleção de bombas que corresponderiam às modeladas em diversos fornecedores.

Detalhes mais específicos de cada bomba serão citados posteriormente na abordagem das estações.

10.3.5. Sistemas Simulados

Foram simulados três sistemas, devido às necessidades que foram apontadas ao longo das simulações para agregar segurança ao projeto. Esses sistemas serão explicados individualmente, em conjunto dos resultados obtidos e das alterações efetuadas entre eles.

- Sistema 1: Sem intertravamento e sem PSV
- Sistema 2: Com intertravamento

- Sistema 3: Com intertravamento e PSV

10.3.6. Cenários Considerados na Simulação

Nesta seção, serão listados todos os cenários previstos e considerados na simulação, tanto normais quanto incidentais.

10.3.6.1. Condições Normais

As condições normais de operação do duto são iguais para os três sistemas, pois o sistema de segurança não interfere nestes cenários, tais incluem:

- **Regime permanente com etanol hidratado:**

Transporte de etanol hidratado da Estação A, com rebombeamento na estação B, à estação de Recebimento.

- **Regime permanente com etanol anidro:**

Transporte de etanol anidro da Estação A, com rebombeamento na estação B, à Estação de Recebimento.

- **Operação com batelada:**

Transporte de uma batelada (volume do duto) de etanol anidro seguido de uma batelada de etanol hidratado da Estação A, com rebombeamento na estação B, à Estação de Recebimento; e

Transporte de uma batelada (volume do duto) de etanol hidratado seguido de uma batelada de etanol anidro da Estação A, com rebombeamento na estação B, à Estação de Recebimento.

- **Duto estático:**

Condição de duto parado pressurizado, com vazão nula.

- **Operação de partida e parada:**

Sequência de operações para partir ou parar o duto, elaboradas assumindo que o duto está operando em regime permanente (em caso de parada) e que o duto se encontra estático (em caso de partida), com a válvula de controle do recebimento ajustada para manter o sistema cheio, sem vaporização (abertura de coluna) de produto ao longo de sua extensão. As sequências dos procedimentos encontram-se na Tabela 22 e na Tabela 23.

Tabela 22 – Procedimento de Parada do Duto

Seqüência para procedimento de Parada do Duto	
1	Regime permanente operando com duas bombas na Estação A e três bombas na Estação B.
2	Ajustar o <i>setpoint</i> da válvula de controle no recebimento para 25 kgf/cm ² .
3	Desligar uma bomba da Estação B, e fechar as válvulas de bloqueio na sucção e na descarga.
4	Ajustar o <i>setpoint</i> da válvula de controle no recebimento para 28 kgf/cm ² .
5	Desligar a segunda bomba da Estação B, e fechar as válvulas de bloqueio na sucção e na descarga.
6	Ajustar o <i>setpoint</i> da válvula de controle no recebimento para 30 kgf/cm ² .
7	Desligar uma bomba da Estação A, e fechar as válvulas de bloqueio na sucção e na descarga.
8	Ajustar o <i>setpoint</i> da válvula de controle no recebimento para 45 kgf/cm ² .
9	Desligar a segunda bomba da Estação A, e fechar as válvulas de bloqueio na sucção e na descarga.
10	Desligar a terceira bomba da Estação B, e fechar as válvulas de bloqueio na sucção e na descarga.

Tabela 23 – Procedimento de Partida do Duto

Seqüência para procedimento de Partida do Duto	
1	Partindo da condição de duto parado.
2	Abrir válvulas de bloqueio na sucção e na descarga e ligar uma bomba da Estação B. Abrir válvulas de bloqueio na sucção e na descarga e ligar uma bomba da Estação A.
3	Ajustar o <i>setpoint</i> da válvula de controle no recebimento para 30 kgf/cm ² .
4	Abrir válvulas de bloqueio na sucção e na descarga e ligar a segunda bomba da Estação A.
5	Ajustar o <i>setpoint</i> da válvula de controle no recebimento para 28 kgf/cm ² .
6	Abrir válvulas de bloqueio na sucção e na descarga e ligar a segunda bomba da Estação B.
7	Ajustar o <i>setpoint</i> da válvula de controle no recebimento para 25 kgf/cm ² .

Sequência para procedimento de Partida do Duto	
8	Abrir válvulas de bloqueio na sucção e na descarga e ligar a terceira bomba da Estação B.
9	Ajustar o setpoint da válvula de controle no recebimento para 18,5 kgf/cm ² .

10.3.6.2. Condições Incidentais

Cenários simulados para todos os sistemas:

- **Fechamento do Recebimento da Estação B**

Fechamento incidental da válvula de bloqueio do recebimento da Estação B.

- **Fechamento do Envio da Estação B**

Fechamento incidental da válvula de bloqueio da saída da estação B.

- **Fechamento do Recebimento da Estação de Recebimento**

Fechamento incidental da válvula de bloqueio no recebimento da Estação de Recebimento.

- **Falha das bombas da Estação B**

Queda das bombas da estação B.

- **Fechamento da SDV**

Fechamento incidental da válvula de segurança localizada na Estação de Recebimento.

10.3.7. Tensões Admissíveis

Para avaliarmos os resultados obtidos nas simulações, é necessário calcular a tensão admissível na tubulação. Assim, é possível calcular a pressão máxima permitida pelo escoamento do material. O cálculo, demonstrado a seguir, foi realizado de acordo com a norma referenciada em [21].

$$S_{ADM} = F \times E_j \times SMYS \quad (41)$$

Onde,

S_{adm} é a tensão admissível do material para solicitação de pressão interna.

E_j representa o fator de eficiência de junta. Neste caso, igual a 1.

$SMYS$ é a tensão mínima de escoamento, especificada pela norma de fabricação do tubo.

$$P_{m\acute{a}x_{SMYS}} = \frac{(2 \times E_{calc} \times F \times SMYS)}{D_E} \quad (42)$$

Onde,

$P_{m\acute{a}x_{SMYS}}$ é a pressão máxima admissível pelo escoamento do material.

E_{calc} representa a espessura calculada.

D_e é o diâmetro externo.

Os cálculos foram aplicados em uma planilha e executados para todos os materiais avaliados para este projeto, e possíveis espessuras, para o diâmetro de 16 polegadas. Os resultados obtidos seguem os apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 – Pressões máximas admissíveis por material e espessura para diâmetro 16”.

	Material				
	Grau B	X60	X65	X70	X80
Espessura [pol]	Pressões Máximas [kgf/cm ²]				
0.219	37,158	63,71	69,02	74,33	84,95
0.25	44,01	75,48	81,77	88,06	100,64
0.281	50,88	87,25	94,52	101,79	116,33
0.312	57,74	99,02	107,27	115,52	132,02
0.344	64,82	111,17	120,43	129,69	148,22
0.375	71,69	122,94	133,18	143,43	163,92
0.406	78,55	134,70	145,93	157,16	179,61

10.4. Sistema 1 – Básico – sem intertravamento e sem PSV

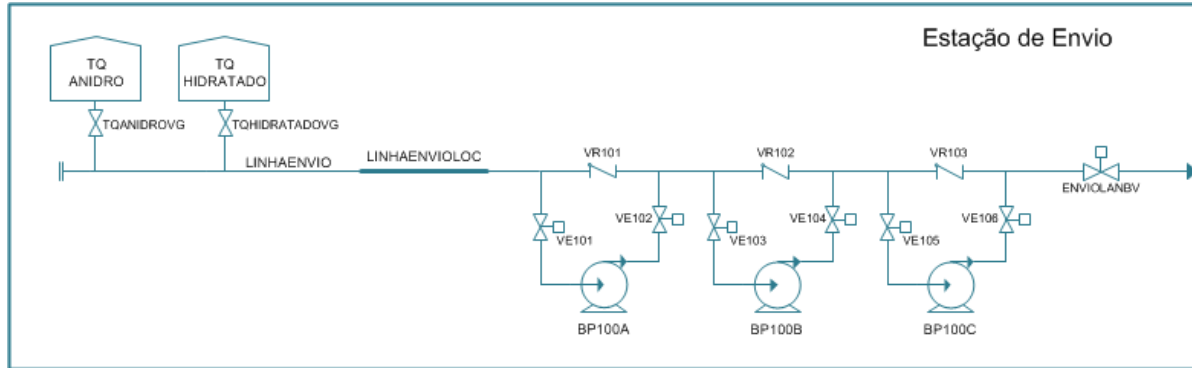
Este sistema inicial, básico, foi simulado sem nenhum sistema de segurança modelado para atuar nas situações incidentais e suas características estão a seguir:

10.4.1. Estação A (Estação de Envio)

Estação de expedição, de onde o duto partirá sentido Estação de Recebimento. Esta estação possui tanques de armazenamento de etanol anidro e hidratado e suas respectivas válvulas;

linhas de circulação interna; 3 (três) bombas e suas respectivas válvulas e; um *scraper* de envio.

Figura 37- Fluxograma do Modelo: Detalhe Estação A



Fonte: produção própria

10.4.1.1. Tanques

Os tanques de etanol hidratado e etanol anidro foram modelados com temperatura constante de 20 °C e pressão igual a 0,07 kgf/cm², pressão equivalente à submersão mínima do tanque calculada em 9.3.9. Para cada tanque, foi considerada uma válvula de pé de tanque (bloqueio) e seus dados foram retirados de [22]. Os dados modelados dos tanques e das respectivas válvulas estão relacionados na Tabela 25 abaixo:

Tabela 25 – Tanques Estação A

Equipamento	Detalhes
Tanque de Etano Anidro	Pressão constante em 0,07 kgf/cm ²
Tanque de Etanol Hidratado	Pressão constante em 0,07 kgf/cm ²
Válvula de Bloqueio	-Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: 0 GPM/PSI ^{0.5} -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: 21554 GPM/PSI ^{0.5} -Tempo de trânsito total: 2 minutos

10.4.1.2. Linha Interna

As linhas internas da estação foram modeladas como dois itens. Primeiramente, como uma linha interna de 450 metros – distância dos taques a sucção da bomba conforme 9.3 – e, em sequência, como um *header* de modo a representar a perda de carga localizada do trecho antecedente à bomba.

Tabela 26 – Linha Interna Estação A

Equipamento	Detalhes
Linha Interna	-Comprimento: 0,4005 km -Espessura: 0,250 pol -Diâmetro: 16 pol
<i>Header</i>	-Comprimento: 3,86 m -Espessura: 0,250 pol -Diâmetro: 16 pol

10.4.1.3. Sistema de Bombeamento

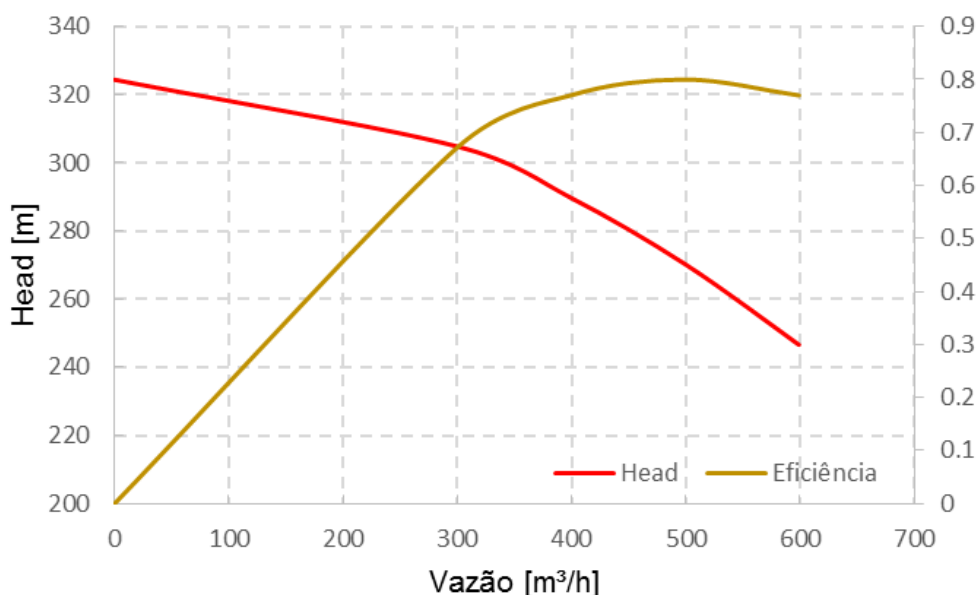
O sistema de bombeamento da Estação A é composto de duas bombas principais em série e uma bomba reserva. Cada bomba possui duas válvulas de bloqueio, uma na sucção e outra na descarga, e uma válvula de retenção em *by-pass*. Os dados das bombas e das válvulas associadas se encontram na Tabela 27.

Tabela 27 – Sistema de bombeamento Estação A

Equipamento	Quantidade	Detalhes
Bombas Principais	3	-Rotação máxima: 1775 RPM -Potência máxima: 541 HP
Válvula de bloqueio na sucção	3	-Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: 0 GPM/PSI ^{0.5} -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: 9000 GPM/PSI ^{0.5} -Tempo de trânsito total: 1 minuto
Válvula de bloqueio na descarga	3	-Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: 0 GPM/PSI ^{0.5} -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: 9000 GPM/PSI ^{0.5} -Tempo de trânsito total: 1 minutos
Válvula de Retenção em <i>by-pass</i>	3	-Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: 0 GPM/PSI ^{0.5} -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: 437943 GPM/PSI ^{0.5}

As curvas de *head* e eficiência *versus* vazão das bombas da Estação A estão na Figura 38.

Figura 38 - Curva das Bombas da Estação A



Fonte: produção própria

10.4.1.4. Envio da Estação

O envio foi modelado como uma válvula de bloqueio, representando um *scraper* lançador, os dados inseridos estão na Tabela 28 a seguir.

Tabela 28 – Envio Estação A

Equipamento	Quantidade	Detalhes
Válvula de Bloqueio	1	<ul style="list-style-type: none"> -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: 0 GPM/PSI^{0.5} -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: 43000 GPM/PSI^{0.5} -Tempo de trânsito total: 1 minutos

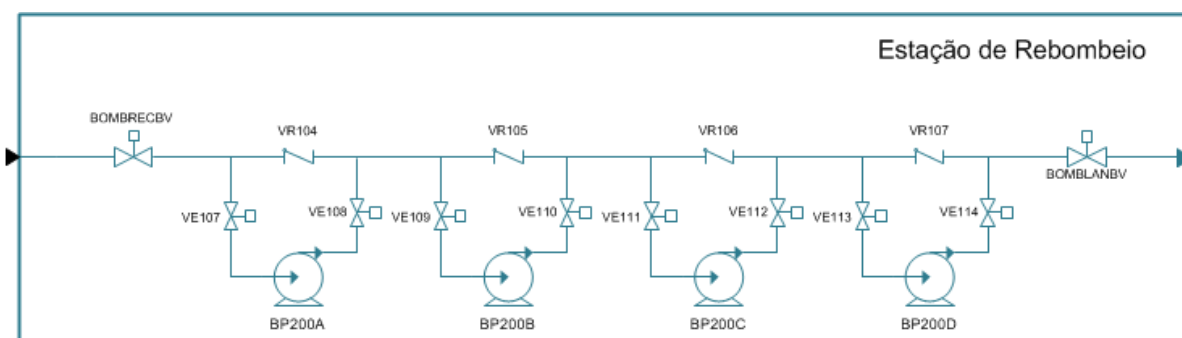
10.4.2. Duto (Estação A – Estação B)

Os dados (comprimento x elevação) do trecho de duto que interliga as Estações A e B foram retirados de 4 e inseridos no modelo.

10.4.3. Estação B (Estação de Rebombeio)

Estação intermediária, com intuito de apenas rebombear o produto sentido Estação de recebimento, sem sistema de armazenamento (tanques). Esta estação possui *scraper* de recebimento e de envio, bombas e suas respectivas válvulas.

Figura 39 - Fluxograma Modelo: Detalhe Estação B



Fonte: produção própria

10.4.3.1. Recebimento

O recebimento da estação foi modelado como uma válvula de bloqueio, representando um *scraper* receptor, e seus dados estão a seguir:

Tabela 29 – Recebimento Estação B

Equipamento	Quantidade	Detalhes
Válvula de Bloqueio	1	-Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: 0 GPM/PSI ^{0.5} -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: 43000 GPM/PSI ^{0.5} -Tempo de trânsito total: 1 minutos

10.4.3.2. Sistema de Bombeamento

O sistema de bombeamento da Estação B é composto de três bombas principais em série, com uma bomba reserva.

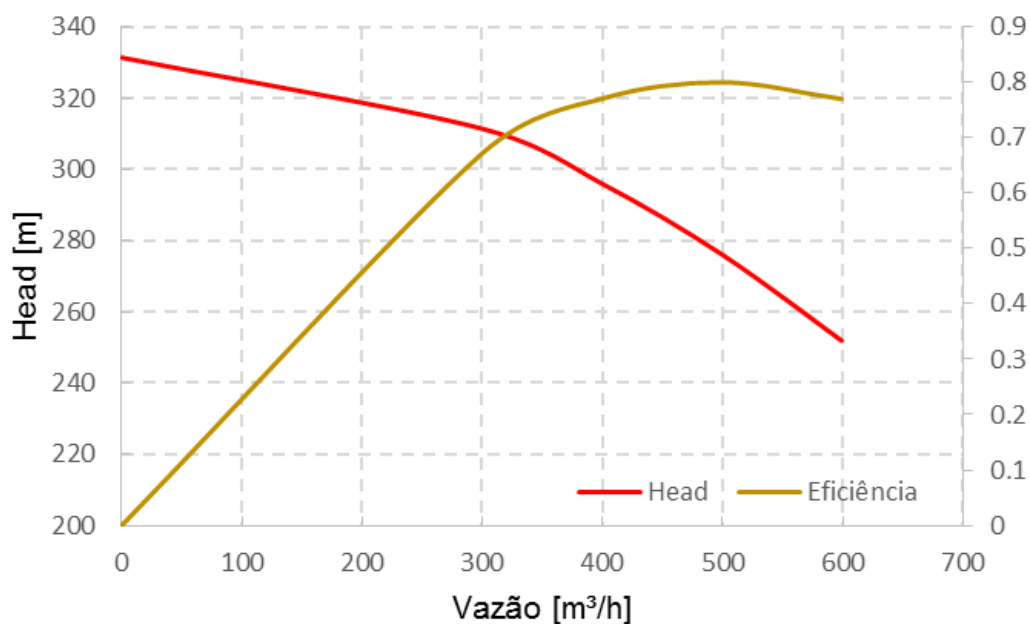
Cada bomba possui duas válvulas de bloqueio, uma a montante e uma a jusante, e uma válvula de retenção em *by-pass*. Os dados das bombas e das válvulas se encontram na Tabela 30:

Tabela 30 – Sistema de bombeamento Estação B

Equipamento	Quantidade	Detalhes
Bombas Principais	4	-Rotação máxima: 1775 RPM -Potência máxima: 553 HP
Válvula de bloqueio na sucção	4	-Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: $0 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$ -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: $9000 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$ -Tempo de trânsito total: 1 minuto
Válvula de bloqueio na descarga	4	-Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: $0 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$ -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: $9000 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$ -Tempo de trânsito total: 1 minutos
Válvula de Retenção em <i>by-pass</i>	4	-Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: $0 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$ -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: $437943 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$

As curvas de *head* e eficiência *versus* vazão das bombas da Estação B estão na Figura 40:

Figura 40 - Curva das Bombas da Estação B



Fonte: produção própria

10.4.3.3. Envio

O envio da estação B foi modelado como uma válvula de bloqueio, representando um *scraper* lançador, e seus dados estão na Tabela 31.

Tabela 31 – Envio Estação B

Equipamento	Quantidade	Detalhes
Válvula de Bloqueio	1	<ul style="list-style-type: none"> -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: 0 GPM/PSI^{0.5} -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: 43000 GPM/PSI^{0.5} -Tempo de trânsito total: 1 minutos

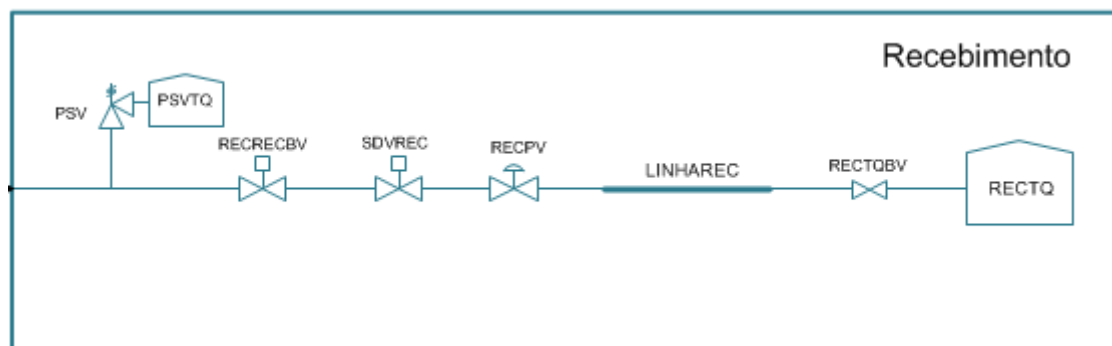
10.4.3.4. Duto (Estação B – Estação de Recebimento)

Os dados (comprimento x elevação) do trecho de duto que interliga a Estação B ao Recebimento foram retirados de 4 e inseridos no modelo.

10.4.4. Estação de Recebimento

Estação final, de recebimento e armazenagem. Esta estação possui tanques de armazenagem de etanol anidro e hidratado e suas respectivas válvulas, linhas internas de circulação, *scraper* de recebimento, válvulas de alívio e segurança.

Figura 41 - Fluxograma Modelo: Detalhe Estação de Recebimento



Fonte: produção própria

10.4.4.1. Recebimento

O *scraper* de recebimento da estação B foi representado no modelo como uma válvula de bloqueio, e seus dados estão a seguir.

Tabela 32 – Recebimento da Estação de Recebimento

Equipamento	Quantidade	Detalhes
Válvula de Bloqueio	1	<ul style="list-style-type: none"> -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: $0 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$ -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: $43000 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$ -Tempo de trânsito total: 2 minutos

10.4.4.2. Sistema de Controle

O sistema de controle atua no recebimento para os tanques da estação, e foi representado com uma válvula de controle no modelo. Tal válvula permite o controle da pressão e/ou vazão a montante e a jusante da mesma. Seus dados encontram-se na Tabela 33.

Tabela 33 – Controle Estação de Recebimento

Equipamento	Quantidade	Detalhes
Válvula de Controle	1	<ul style="list-style-type: none"> -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: $0 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$ -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: $2800 \text{ GPM/PSI}^{0.5}$ - Tempo de trânsito total: 2 minutos

10.4.4.3. Tanques

Os tanques de etanol hidratado e etanol anidro foram modelados com pressão constante igual, a 1 kgf/cm² e temperatura de 20 °C. Os mesmos apresentam, ainda, uma válvula de bloqueio à montante. Os dados dos tanques e das respectivas válvulas estão relacionados na tabela abaixo.

Tabela 34 – Tanques Estação de Recebimento

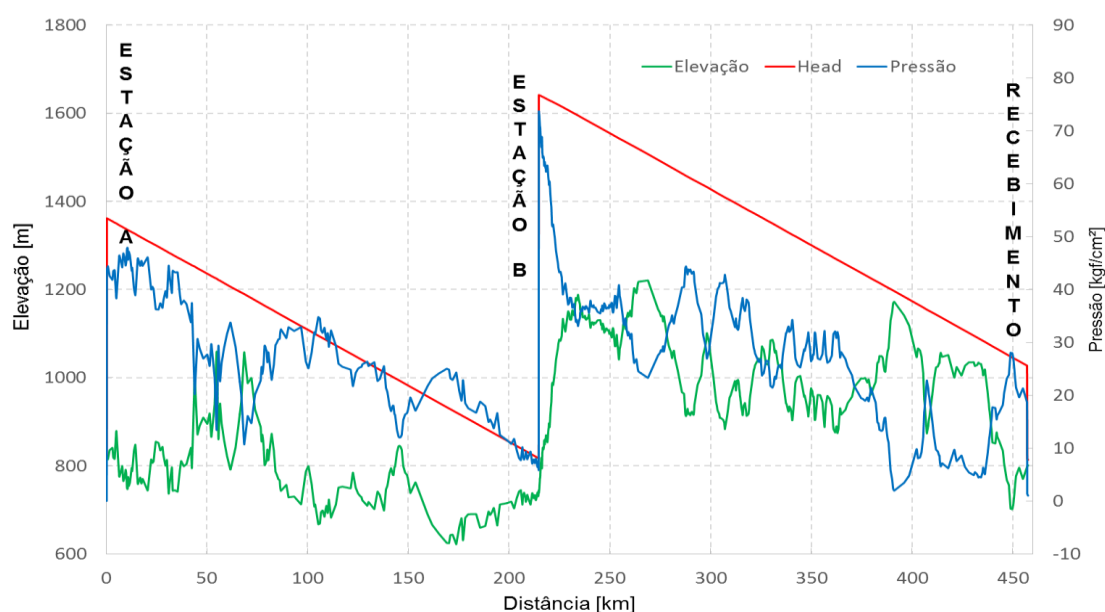
Equipamento	Quantidade	Detalhes
Tanque de Etanol	1	Pressão constante em 1 kgf/cm ²
Válvula de Bloqueio	1	-Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: 0GPM/PSI ^{0.5} -Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: 6900 GPM/PSI ^{0.5} -Tempo de trânsito total: 2 minutos

10.5. Resultados das Operações Normais

Iniciamos as simulações com as condições de regime normal, mencionadas em 10.3.6.1.

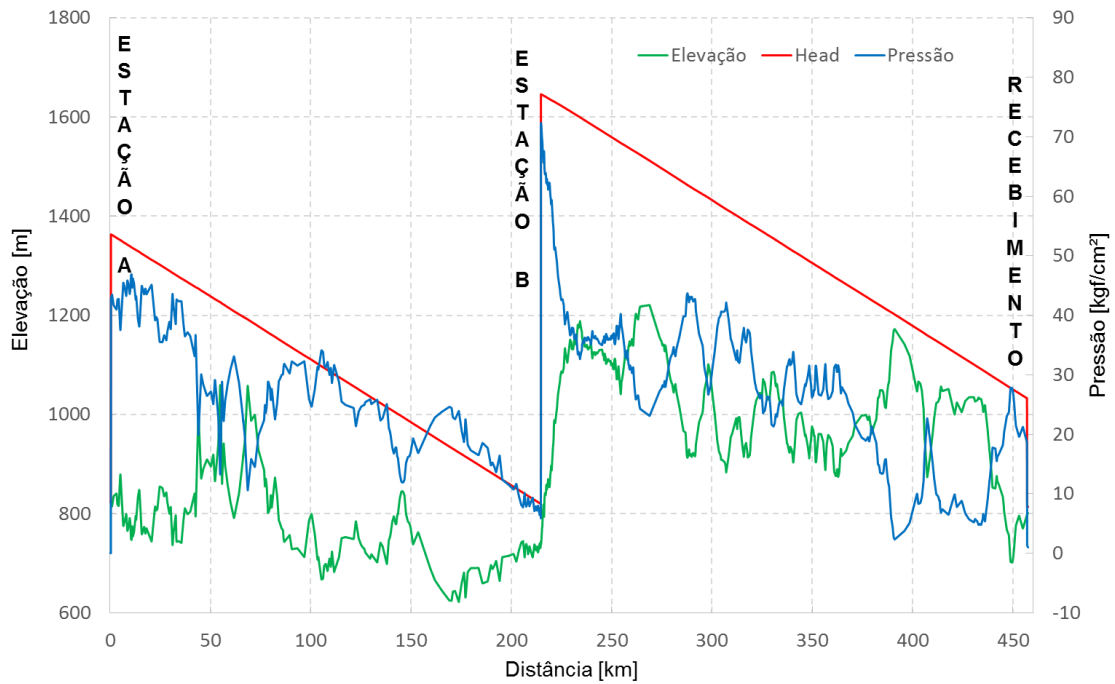
A Figura 42 e a Figura 43 apresentam as curvas de gradiente hidráulico, em regime permanente, para etanol hidratado e etanol anidro, respectivamente.

Figura 42 – Permanente Hidratado



Fonte: produção própria

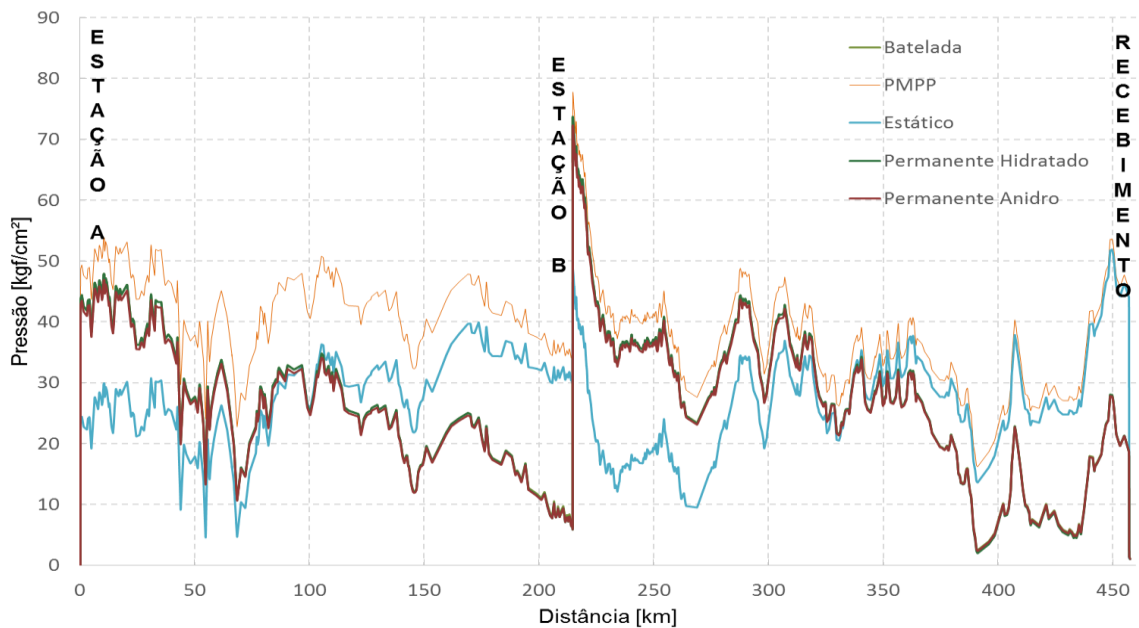
Figura 43 – Permanente Anidro



Fonte: produção própria

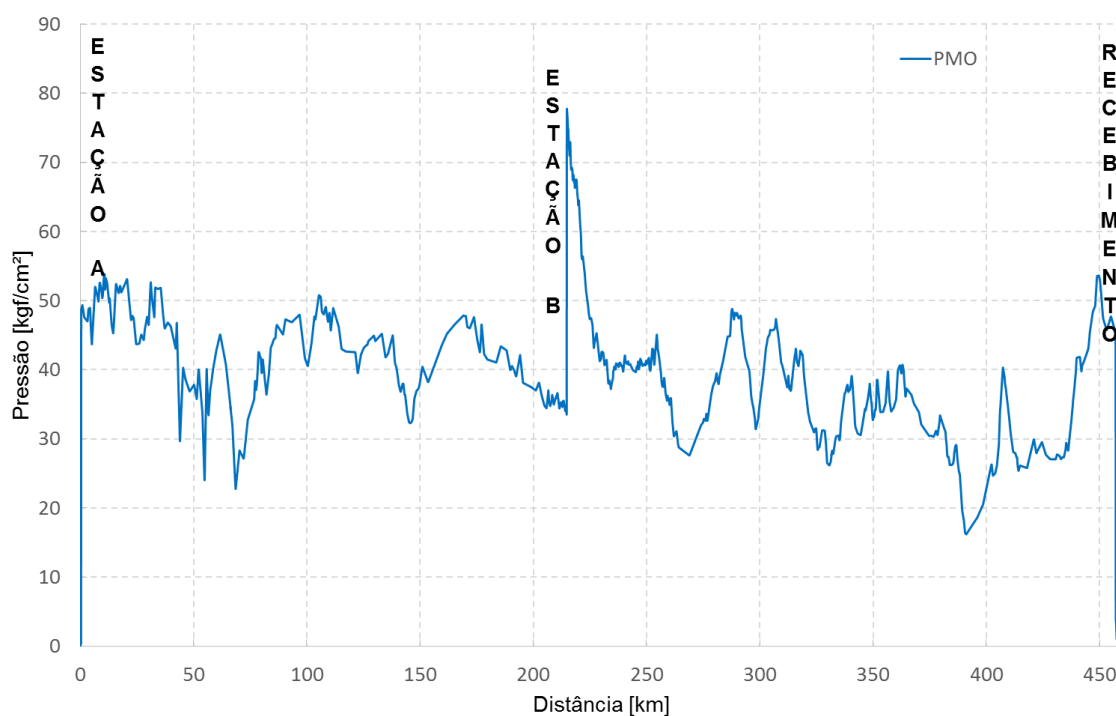
As pressões obtidas em cada uma das condições normais, descritas em 10.3.6.1, são comparadas na Figura 44 e, segundo tais condições, conforme visto em 6.5.1, é possível definir a PMO do duto, ou seja, a máxima pressão atingida nos 5 casos, Figura 45.

Figura 44 - Composição PMO



Fonte: produção própria

Figura 45 - PMO



Fonte: produção própria

Analisando a Figura 44, pode-se observar que maiores pressões foram atingidas durante os processos de partida e parada, o que já era estimado, logo, a PMO será igual a esta.

Tabela 35 - PMO e Set Point de Pressão

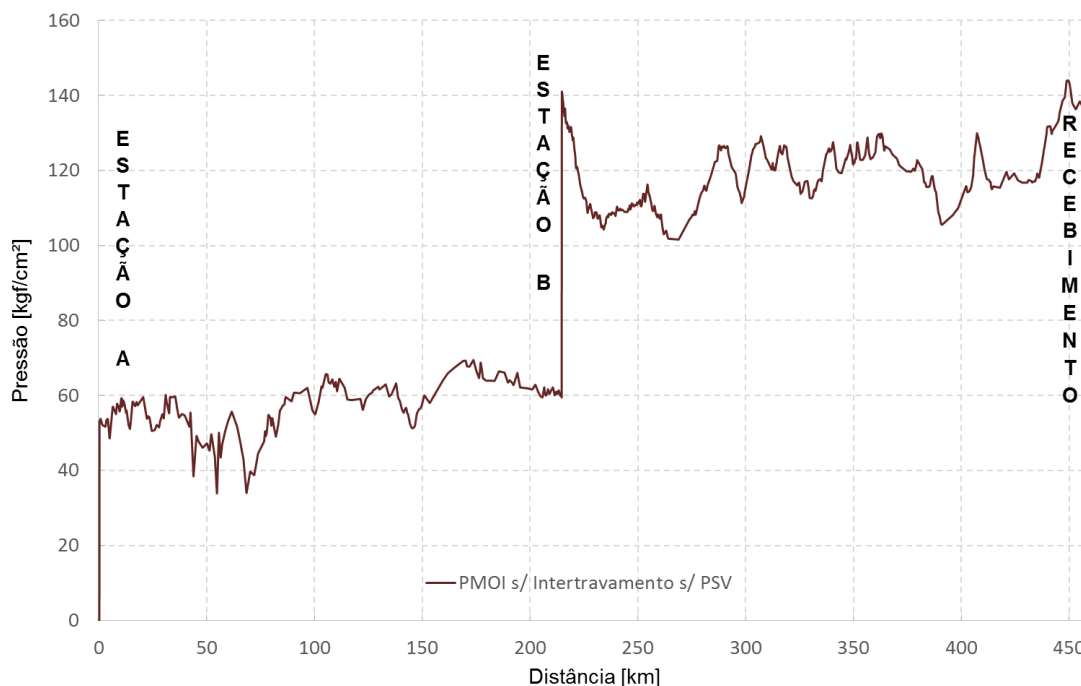
Localização	PMO [kgf/cm ²]	Set Point Inferior [kgf/cm ²] – 10% acima da PMO
Envio - Estação A	48,71	53,58
Recebimento - Estação B	33,58	36,94
Envio - Estação B	77,72	85,49
Recebimento - Estação de Recebimento	45,34	49,87
Jusante do Controle – Estação de Recebimento	3,48	3,83

10.6. Resultado Sistema Básico

Após a simulação com o sistema básico descrito anteriormente, obtivemos resultados satisfatórios nos cenários normais, conforme visto em 10.5.

Os resultados dos cenários incidentais estão apresentados, a seguir, na forma da PMOI do duto, Figura 46. A PMOI é composta conforme descrito em 6.5.2.

Figura 46 - PMOI Sistema Básico



Fonte: produção própria

Pode-se notar que foram atingidas pressões elevadas no segundo trecho de duto, ou seja, entre a Estação B e o Recebimento, pressões estas que ultrapassam a pressão máxima permitida na classe de pressão do projeto (600#), conforme Tabela 10. No primeiro trecho, as pressões mais altas ficaram dentro do esperado e abaixo do limite da classe.

Com esse resultado, pode-se atestar a necessidade de inclusão de sistemas de segurança no duto, mecanismos que estejam preparados para atuar controlando essas pressões em incidentes. Como será disposto em 10.7 e 10.8.

10.7. Sistema 2 – Com Intertravamento

Todos os itens já citados em 10.4 foram mantidos neste sistema, as inclusões estão listadas abaixo:

10.7.1. Estação A

10.7.1.1. Sistema Segurança

Para a Estação A, foram modelados intertravamentos. Tais dispositivos de segurança atuam desligando as bombas em casos de a pressão a jusante das bombas atingir 54kgf/cm^2 , valor estimado 10% acima da PMO.

Como pode ser observado na Figura 46, no primeiro trecho, o duto resiste as pressões máximas atingidas nos cenários incidentais simulados, foi observado que mesmo com as bombas em *shut off*, as pressões atingidas ficam abaixo do máximo permitido pelo escoamento do material para a espessura de 0,219 polegadas. O primeiro trecho de duto já estaria seguro sem a adição dos intertravamentos na estação A, porém mesmo assim optamos pela adição dos mesmos.

10.7.2. Estação B

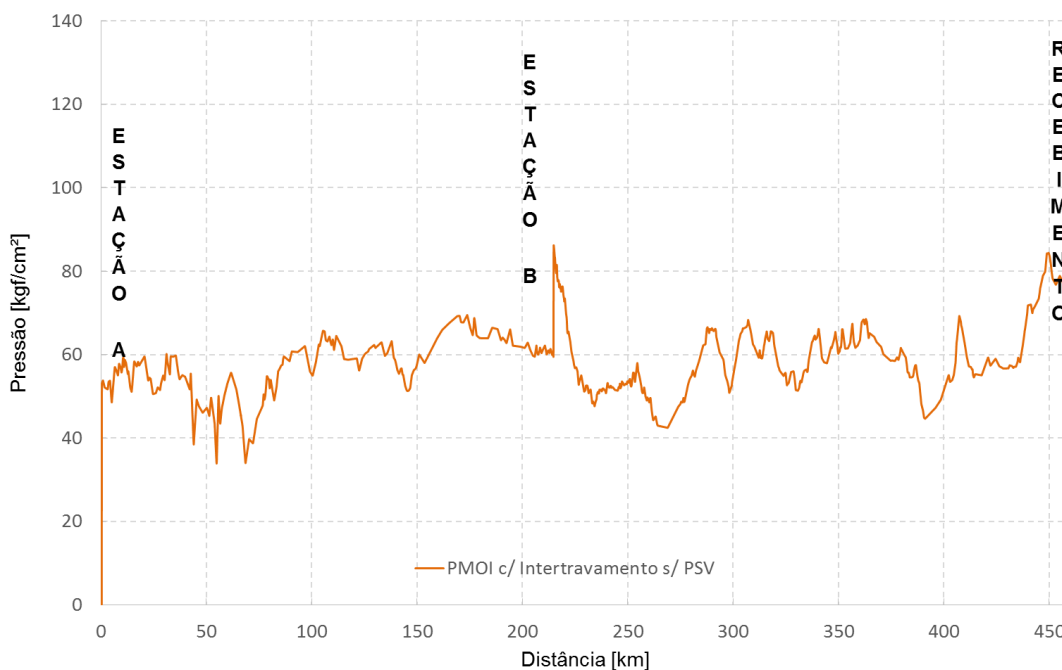
10.7.2.1. Sistema de Segurança

Para a Estação B, foram modelados intertravamentos. Tais atuam desligando as bombas nos cenários em que a pressão a jusante das bombas atinja $85,5\text{kgf/cm}^2$, valor estimado 10% acima da PMO.

10.7.3. Resultados do Sistema 2

Ao simularmos o sistema, com os intertravamentos modelados, em cenários incidentais, obtivemos o resultado apresentando na Figura 47, em forma da PMOI do duto.

Figura 47 – PMOI com intertravamento



Fonte: produção própria

Neste caso, a PMOI do duto encontrou-se abaixo da pressão máxima permitida na classe de pressão do duto, que vem a ser 104 kgf/cm², em toda a sua extensão. Entretanto, em alguns trechos, esta pressão ficou acima da limitada pelo escoamento do material para a espessura de 0,250 polegadas, conforme 10.3.7.

Este resultado aponta a necessidade da tomada de outras medidas de segurança, bem como a inclusão dos intertravamentos. Uma dessas soluções seria aumentar a espessura do duto, nos trechos de pressão alta. Deste modo, o limite máximo referente ao escoamento iria subir, assim como o peso de aço total do sistema.

10.8. Sistema 3 – com intertravamento e com PSV

Todos os itens citados em 10.4 e 10.7 foram mantidos neste sistema e as inclusões estão citadas a seguir.

10.8.1. Estação de Recebimento

De modo a garantir a segurança no 2º trecho do duto e na Estação de Recebimento, foi dimensionada uma válvula de alívio, PSV (*Pressure Safety Valve*), de acordo com a referência

[23]. Na ocorrência de o duto atingir pressões acima das desejadas, tal válvula se abre e assim permanece, até que as pressões sejam regularizadas.

A válvula para alívio de líquidos com certificação pode ser inicialmente dimensionada pela equação:

$$A = \frac{Q}{38 \cdot K_d \cdot K_w \cdot K_c \cdot K_v} \cdot \sqrt{\frac{d}{p_1 - p_2}} \quad (43)$$

Onde:

A - área efetiva de descarga da válvula [pol²];

Q - vazão [gpm];

K_d - Coeficiente de descarga, igual a 0,62 para válvulas projetadas sem disco de ruptura;

K_w - Fator de correção para contrapressão;

K_c - Fator de correção para válvulas com disco de ruptura à jusante da válvula, usar 1,0 para válvulas sem o disco;

d - densidade;

p₁ - pressão à montante = pressão de alívio + sobrepressão permitida [psig];

p₂ - contrapressão [psig];

K_v - Fator de correção para viscosidade, calculado de acordo com a equação:

$$K_v = \left(0,9935 + \frac{2,878}{R^{0,5}} + \frac{342,75}{R^{1,5}} \right)^{-1,0} \quad (44)$$

Onde:

R - Número de Reynolds, calculado pela equação:

$$R = \frac{Q(2800 \times G)}{\mu \sqrt{A}} \quad (45)$$

Onde:

μ - Viscosidade Absoluta à 20°C [cp].

Com a área de descarga da válvula PSV calculada, deve-se consultar a referência [24], para obtenção da área efetiva padrão, da letra de designação do orifício e do diâmetro do flange.

Foi considerada no modelo, também, uma SDV (*shutdown valve*) no recebimento, que fecha imediatamente quando a pressão a jusante do sistema de controle atingir 5 kgf/cm², valor estimado 10% acima da PMO.

Na tabela 9 encontram-se os dados dos equipamentos de segurança modelados da Estação de Recebimento.

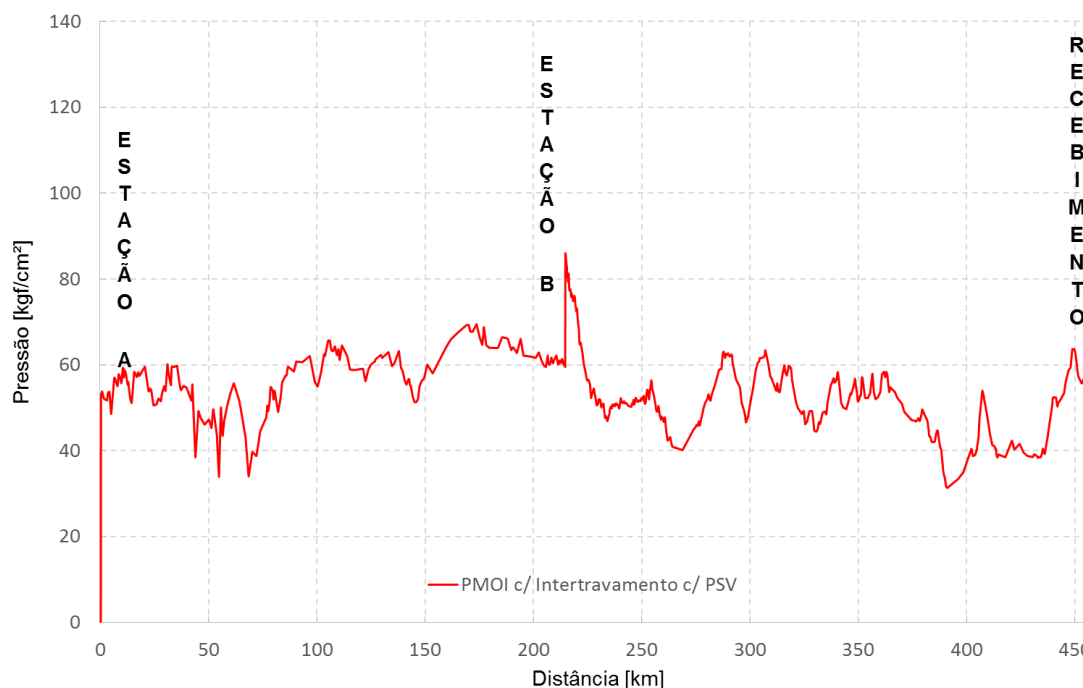
Tabela 36 – Segurança Estação de Recebimento

Equipamento	Quantidade	Detalhes
SDV	1	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: 0 GPM/PSI^{0.5} - Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: 15000 GPM/PSI^{0.5} - Tempo de trânsito total: 0,083 minutos
PSV	1	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficiente de descarga para a válvula totalmente fechada: 0 GPM/PSI^{0.5} - Coeficiente de descarga para a válvula totalmente aberta: 70.79 GPM/PSI^{0.5} - Diâmetro do flange: 4 pol. - Orifício: L - Setpoint de pressão para abertura: 55 kg/cm² - Setpoint de pressão para fechamento: 45 kg/cm²

10.8.2. Resultado Sistema 3

A Figura 48 apresenta o resultado obtido, em forma de PMOI, das simulações efetuadas para o duto operando em condições incidentais, com PSV e intertravamentos modelados.

Figura 48 – PMOI c/ intertravamento e c/ PSV



Fonte: produção própria

Com exceção de um pequeno trecho após a estação B, todas as pressões máximas atingidas ao longo do duto ficaram abaixo do limite de escoamento e do limite da classe 600#. Neste trecho – km 214,80 a 220,60 –, a espessura deverá ser aumentada para 0,281”, na qual a pressão máxima permitida pelo limite de escoamento é de 87,25 kgf/cm², acima da PMOI.

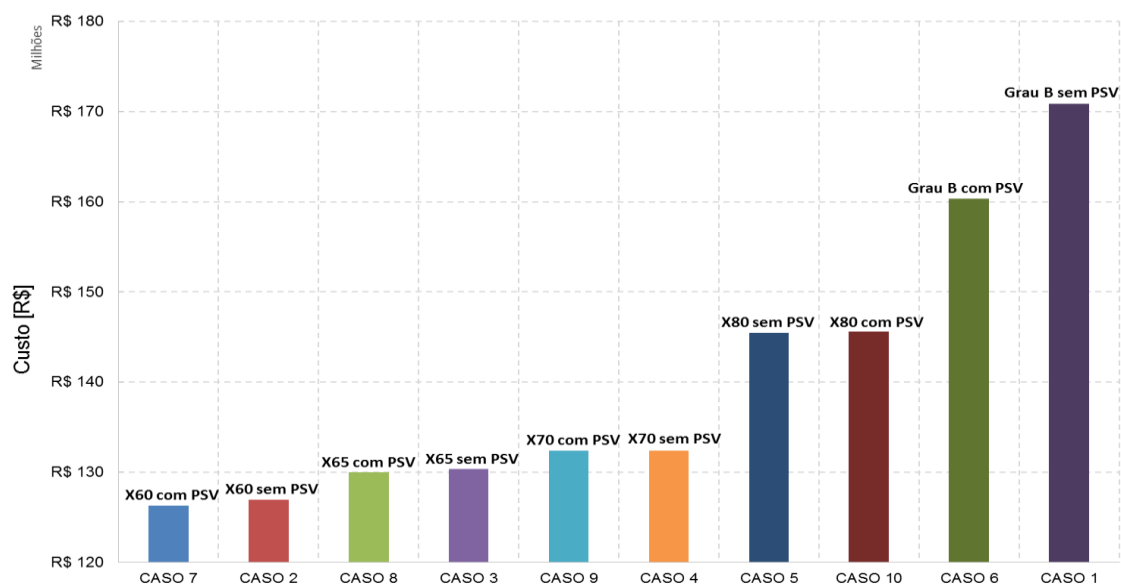
Uma alternativa análoga à inclusão de uma PSV seria aumentar a espessura de parede e/ou modificar o material em toda a extensão do 2º trecho de duto. Com o fito de comparar e chegar à maneira mais eficaz de resolver o problema, foram calculados os custos relativos ao aumento de espessura e troca de material para suportar as pressões atingidas nos cenários incidentais. Os dados considerados estão relacionados na Tabela 37.

Tabela 37 – Volume comparativo com x sem PSV.

Material	Volume de Aço [m ³]	
	Sem PSV	Com PSV
Grau B	4481,21	4202,71
X60	3230,02	3210,92
X65	3219,11	3207,71
X70	3208,00	3205,37
X80	3204,49	3204,49

Foram considerados R\$100.000,00 para o valor de um sistema de segurança com PSV e os preços do aço estão de acordo com a Tabela 7. A Figura 49 apresenta um comparativo, em ordem crescente, dos diferentes materiais, com e sem PSV.

Figura 49- Comparativo Alívio 2º Trecho



Fonte: produção própria

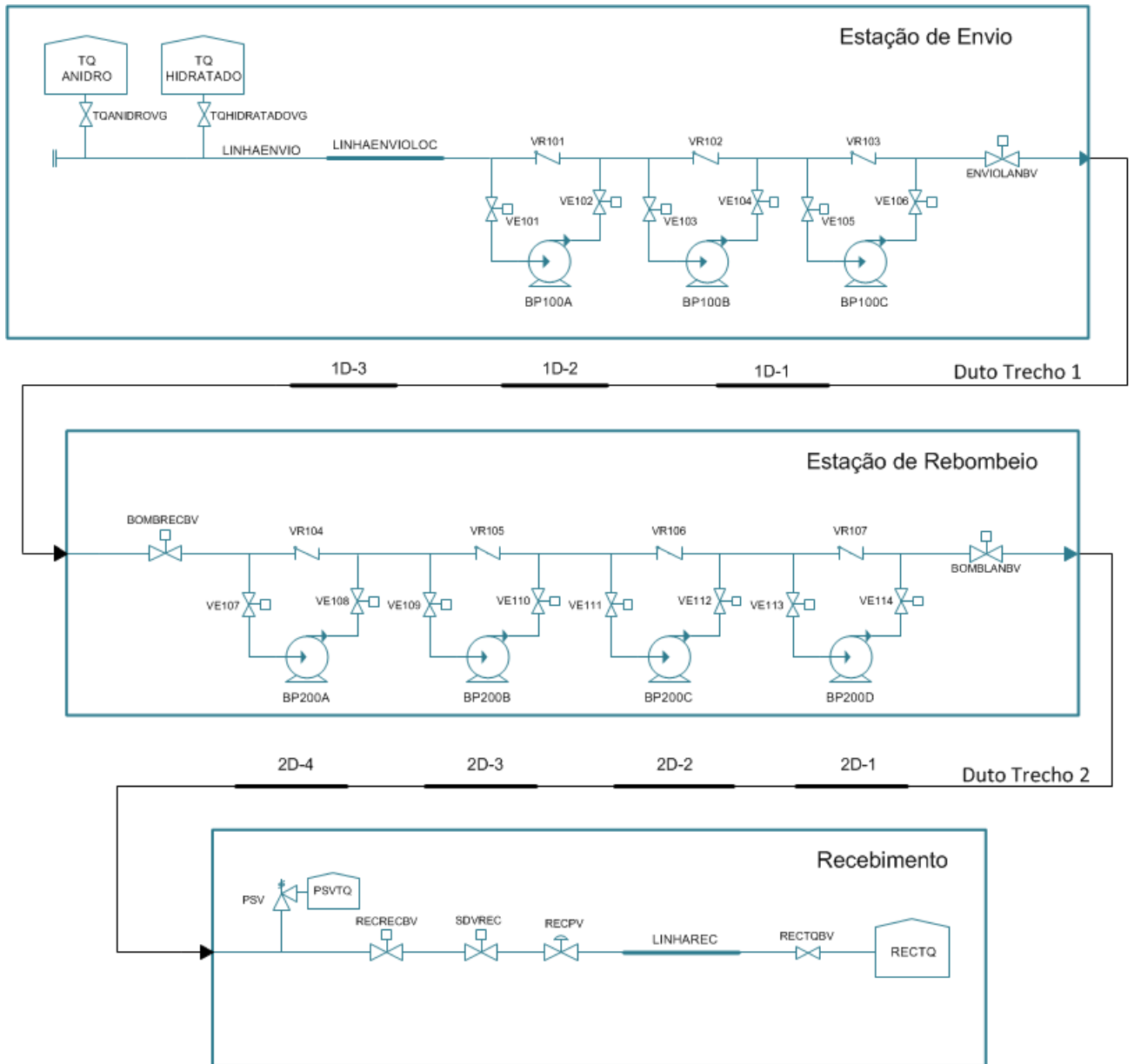
Pode-se concluir que o material selecionado anteriormente, com a afirmação de menor custo, se manteve nesta análise e que a opção com PSV instalada representa a opção mais barata.

Com a inclusão de intertravamentos no sistema, da PSV, e de uma espessura superior apenas no trecho entre os km 214 e 220, pode-se afirmar que o duto está seguro contra incidentes.

10.9. Fluxograma do Modelo

A Figura 50 apresenta o fluxograma esquemático do modelo de simulação:

Figura 50 – Fluxograma do Modelo.



Fonte: produção própria

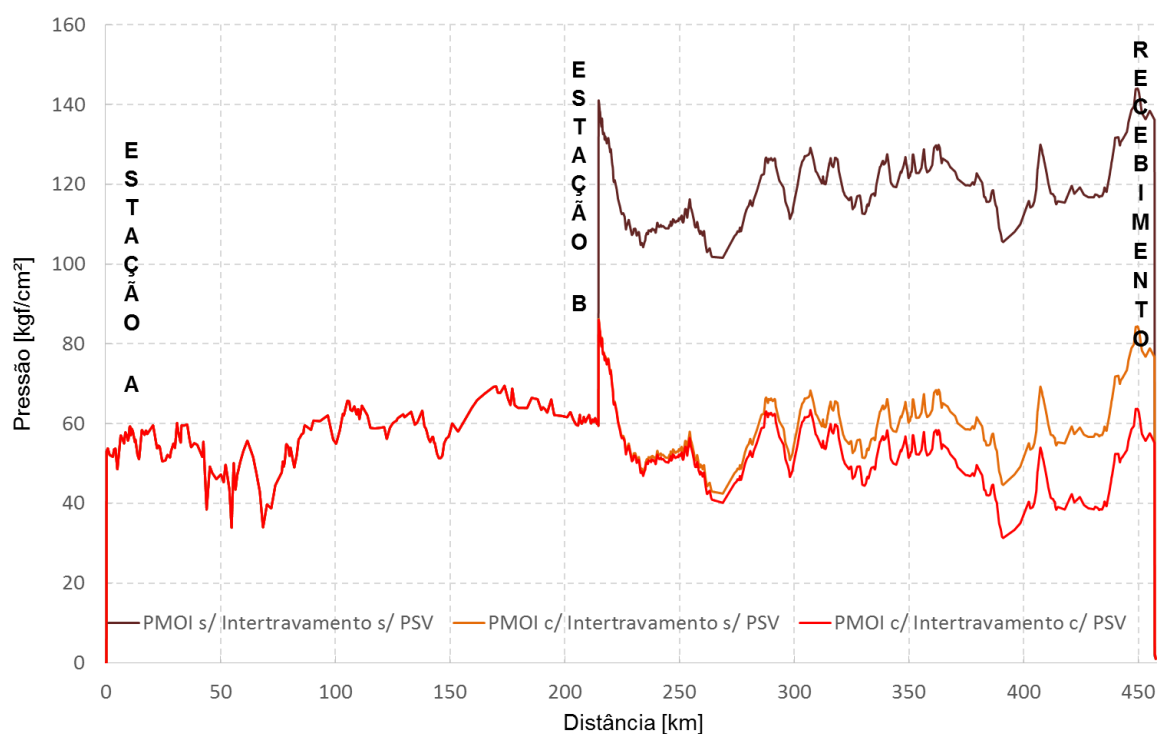
10.10. Resultados

Neste segmento, serão demonstradas todas as etapas consideradas durante a simulação do duto, os resultados obtidos e conclusões a respeito.

10.10.1. Resultados Condições Incidentais

As simulações de cenários incidentais, como descritos em 0, foram executadas em 3 (três) sistemas – previamente explicados, em 10.4, 10.7 e 10.8. Conforme concluído, o Sistema 3 representa a opção mais viável, sob o aspecto de custo, embora o segundo e o terceiro sejam seguros. Desta forma, o Sistema 3 é o escolhido para este projeto. A Figura 51 compara a PMOI para os três sistemas:

Figura 51 - PMOI



Fonte: produção própria

11. Dimensionamento Mecânico

Todas as etapas anteriores a este capítulo foram necessárias para chegarmos ao dimensionamento mecânico seguro e confiável para o duto. Tal há de ser apresentado e discutido nesta etapa, e – ao fim – ter-se-á a forma definitiva do sistema objeto deste projeto.

11.1. Espessuras

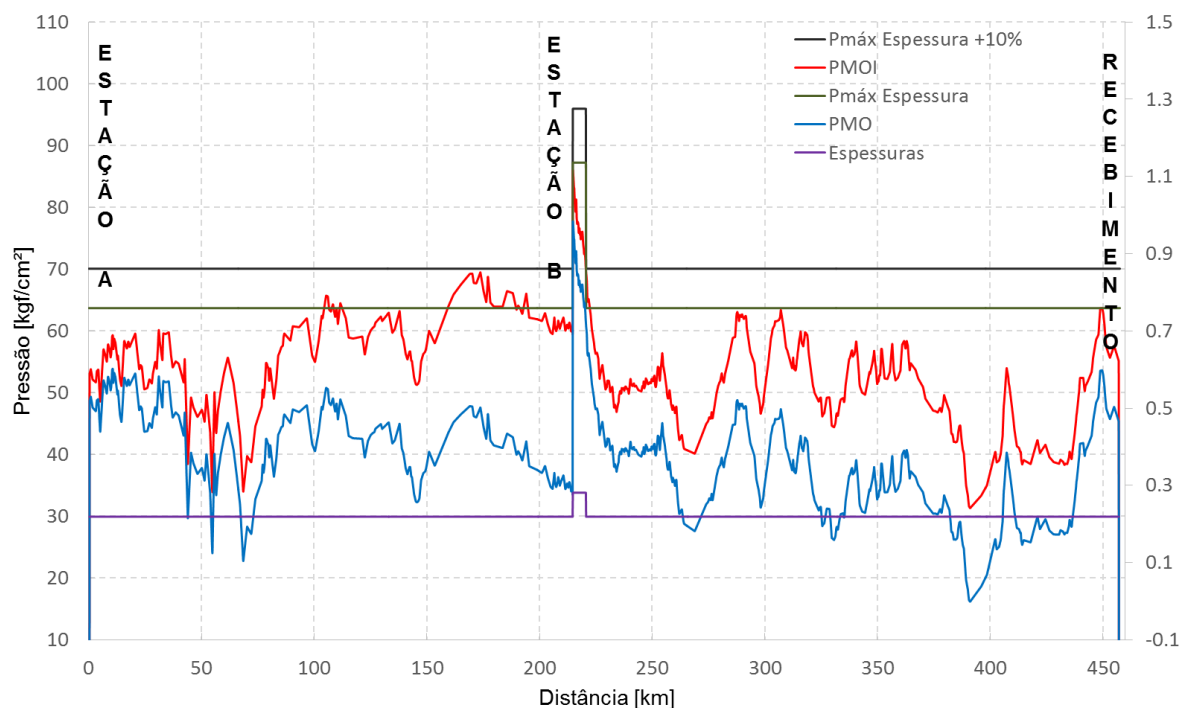
Durante as simulações de cenários incidentais, foi observada a necessidade de alteração da espessura em um trecho do duto, devido às pressões atingidas. Com isso, as espessuras definidas estabeleceram-se de acordo com a Tabela 38:

Tabela 38 – Espessuras Definidas

Trecho (km)	Espessura [pol]	Material
0,0 – 214,79	0,219	X60
214,80 – 220,59	0,281	X60
220,60 – 457,05	0,219	X60

A Figura 52 demonstra a PMO, a PMOI, a espessura definida e a pressão máxima que pode ser atingida para determinada espessura. Ambas as pressões, atingidas em cenários normais e cenários incidentais, ficaram abaixo de 10% acima da pressão máxima permitida para a espessura selecionada.

Figura 52 – PMO x PMOI



Fonte: produção própria

11.2. Pressões Mínimas de Projeto

Foi adotado um valor mínimo possível para a pressão de projeto. Tal deverá ser o máximo valor obtido entre a PMO e a $PMOI \div 1,1$, conforme Figura 53.

Neste cotejo, a PMOI é dividida por 1,1, pois, segundo [21], em cenários incidentais, a pressão poderá ultrapassar até 10% da Pressão de Projeto.

Figura 53 – Pressão de Projeto Mínima



Fonte: produção própria

11.3. Pressões de Projeto Adotadas

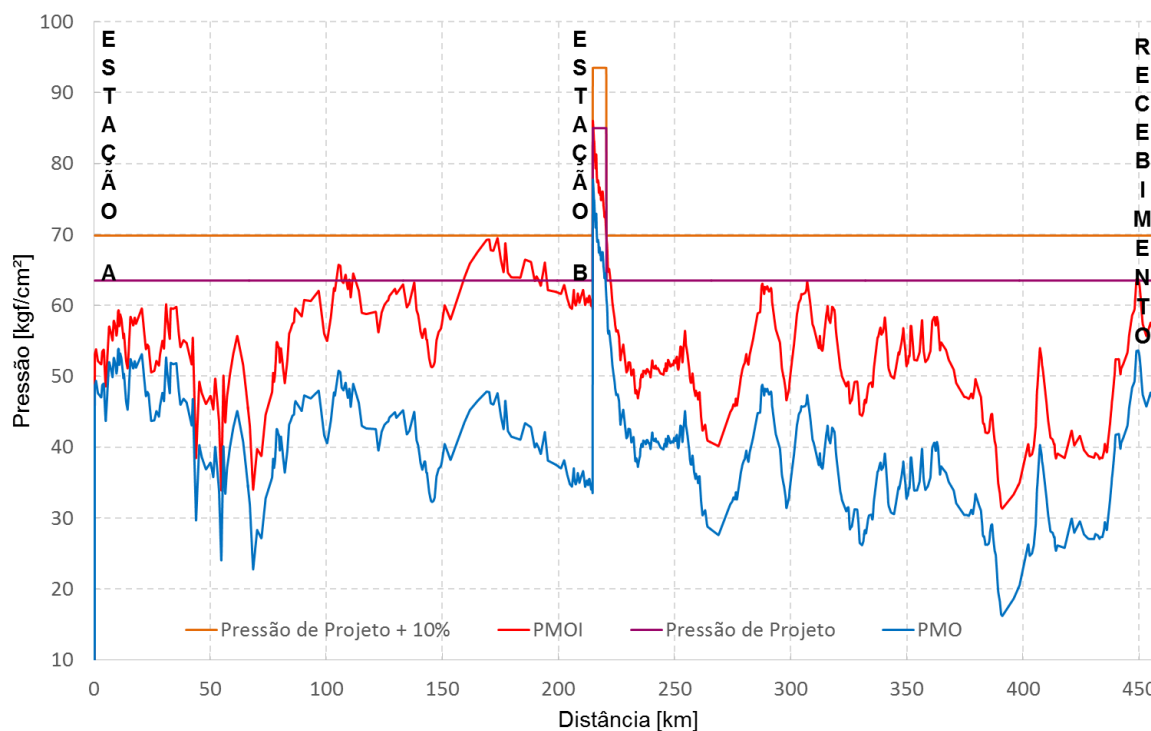
A partir da pressão de projeto mínima (PP_{mín}), que é definida ponto a ponto do duto, precisamos unificar uma pressão de projeto por trecho. Esta precisa ser maior que o ponto de pressão mais alta da PP_{mín} e irrefutavelmente menor ou igual à pressão máxima permitida pelo escoamento do material. Com esses limitantes, as pressões de projeto adotadas (PP) para o duto são de acordo com a tabela:

Tabela 39 – Pressões de Projeto

Trecho de Duto [km]	Pressão de Projeto [kgf/cm ²]	Pressão de Projeto + 10% [kgf/cm ²]
0,0 – 214,79	63,5	69,85
214,80 – 220,59	85,0	93,5
220,60 – 457,05	63,5	69,85

É importante frisar que, em cenários incidentais, as pressões atingidas podem extrapolar a Pressão de Projeto, porém até 10% acima da mesma. Ou seja, a PMO deverá ficar abaixo da PP, e a PMOI deverá ficar abaixo da PP+10%. Isto pode ser verificado, graficamente, na Figura 54:

Figura 54 – Pressão de Projeto



Fonte: produção própria

11.4. Pressões de Teste Hidrostático

A norma (NBR 15280-1) [21] estabelece que todos os dutos, projetados segundo ela, devem ser submetidos a ensaios (testes) de pressão hidrostática. As pressões calculadas de teste hidrostático, comparadas as pressões de projeto, definirão a PMOA do duto.

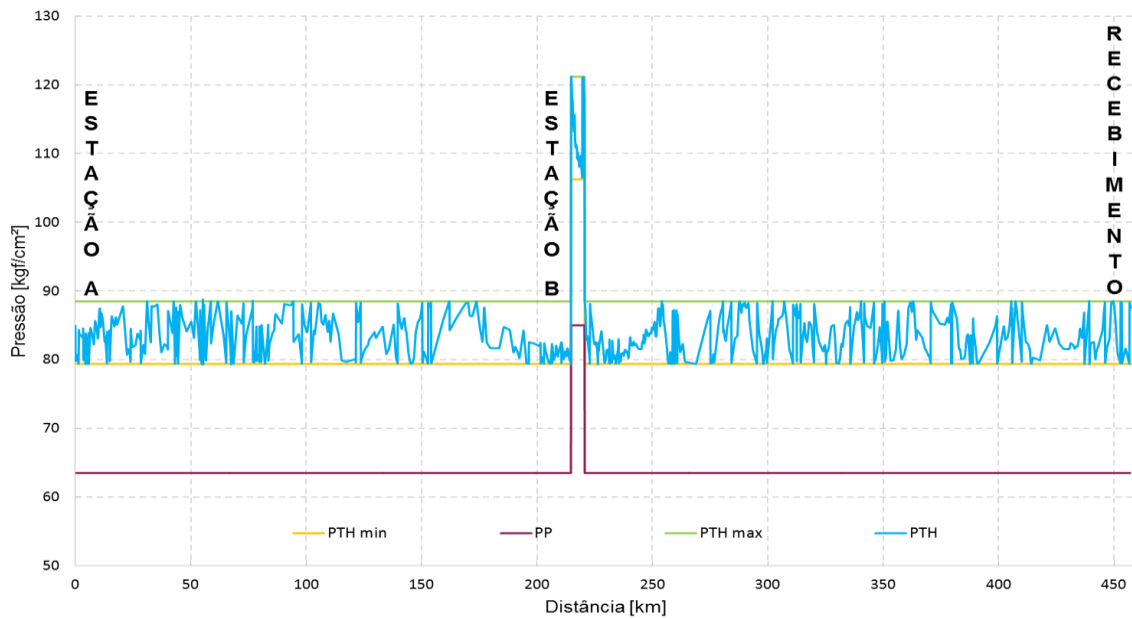
Os cálculos das pressões de teste hidrostático foram realizados de acordo com a Tabela 40, retirada de [21]. Os resultados obtidos são demonstrados, graficamente, na Figura 55. Nela, constam a pressão de teste mínima, máxima, pressão de teste definida, e pressão de projeto.

Tabela 40 - Requisitos para pressão do ensaio hidrostático de duto

Categoria do fluido	Ensaio hidrostático				PMOA o menor valor entre:
	Ensaio de resistência		Ensaio de estanqueidade		
	Minima Nota 2	Máxima	Minima Nota 2	Máxima	
I	1,25 x PMO	A pressão que produzir uma tensão circunferencial equivalente a 100 % do "SMYS" no ponto mais baixo do trecho de ensaio (Nota 1)	1,1 x PMO	A pressão que produzir uma tensão circunferencial equivalente a 90 % do "SMYS" no ponto mais baixo do trecho de ensaio	Pressão mínima atingida no ensaio de resistência mecânica dividida por 1,25 e Pressão de projeto

Fonte: NBR 15280-1 [21]

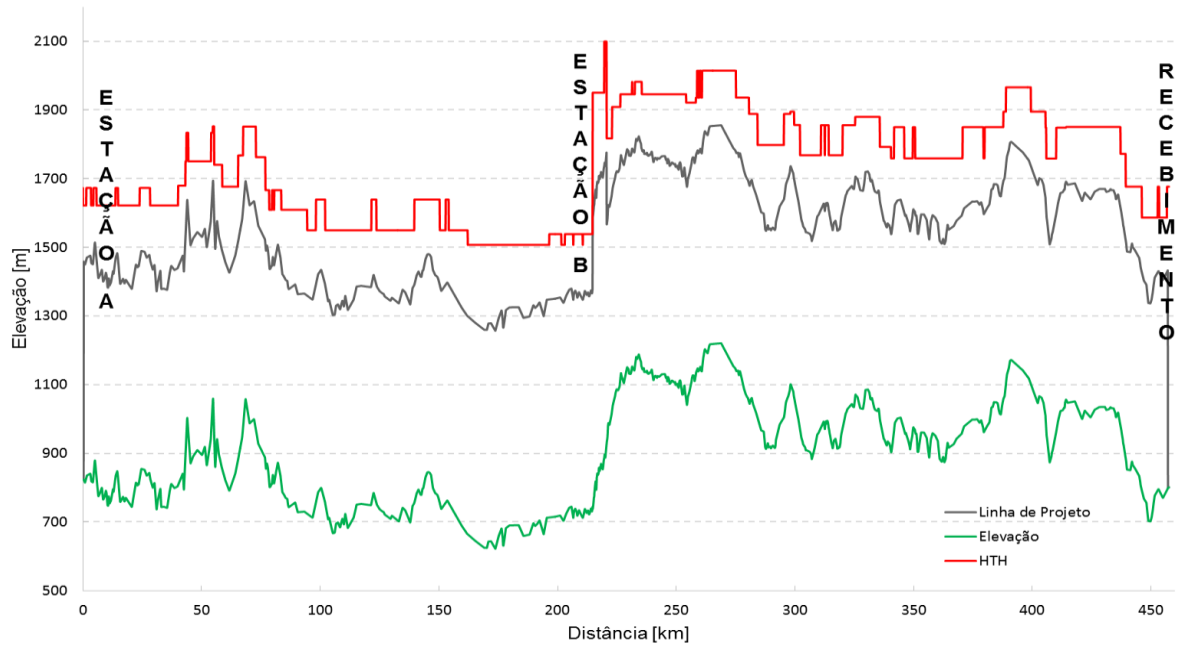
Figura 55 – Pressões de ensaio hidrostático



Fonte: produção própria

Na Figura 56, é demonstrado o head com o qual será testado o duto, nomeado *head* de teste hidrostático (HTH), comparado com a linha de projeto, que é o *head* referente à pressão de projeto.

Figura 56 – Head de ensaio hidrostático

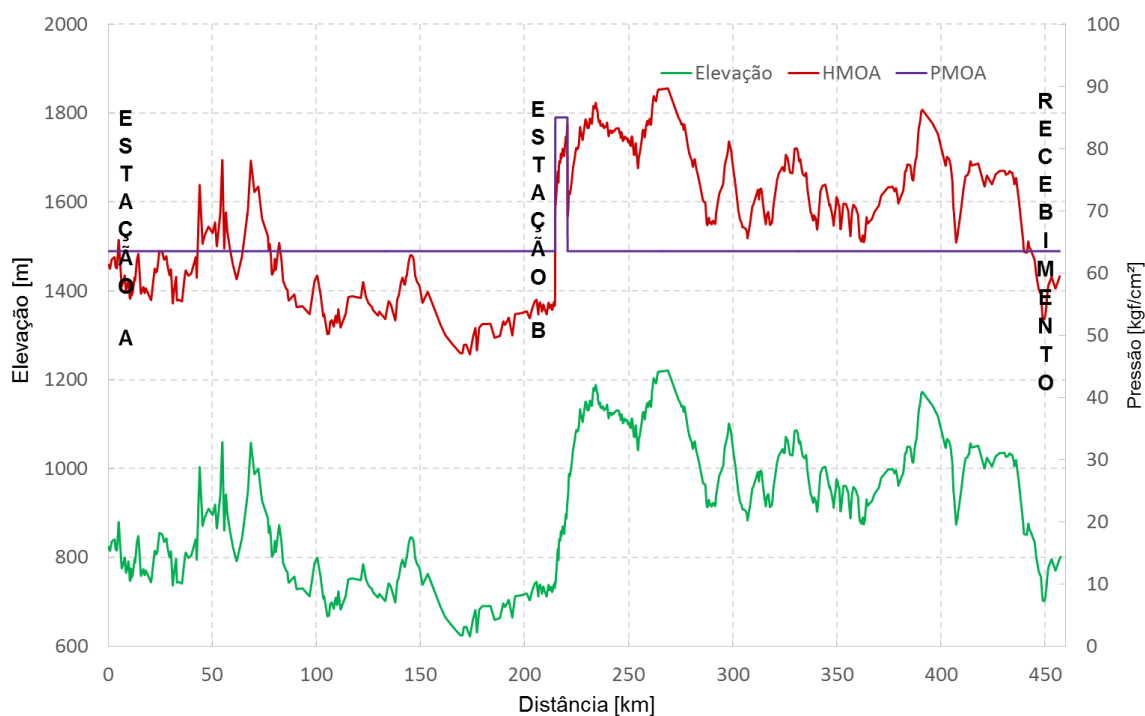


Fonte: produção própria

11.5. PMOA

A Tabela 40 [21], além da pressão de teste hidrostático, estabelece – também – como deve ser a PMOA (Pressão Máxima de Operação Admissível) do duto. No caso deste projeto, após a comparação com a pressão mínima do ensaio de resistência mecânica, a PMOA passou a ser igual à Pressão de Projeto. A Figura 57 apresenta a PMOA e o HMOA do duto:

Figura 57 - PMOA



Fonte: produção própria

Com o cálculo da PMOA, foi concluído o dimensionamento mecânico do duto. Na tabela a seguir, é possível vislumbrar algumas informações consolidadas a respeito do duto projetado neste estudo, para interligar a Cidade A à Cidade B.

Tabela 41 - Informações finais do duto.

Comprimento [km]	Material	Diâmetro [pol]	Espessura [pol]	Pressão de Projeto [kgf/cm ²]	Classe de Pressão [lb]
0,0 – 214,79	X60	16	0,219	63,5	600#
214,80 – 220,59	X60	16	0,281	85,0	600#
220,60 – 457,05	X60	16	0,219	63,5	600#

12. Órgãos reguladores

No Brasil, o transporte de cargas é controlado e padronizado por diversos órgãos. Desse modo, cabe descrever quais são os principais responsáveis e atuantes na área:

O DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) segundo a referência [25] é responsável por legislar acerca da relação peso por eixo, das permissões de rodagem e os demais parâmetros relacionados ao trânsito de veículos de transporte, no âmbito do sistema de transporte rodoviário, aquaviário e ferroviário federal. As resoluções que abrangem o mercado de fretes de combustíveis são as Resoluções CONTRAN nº 210/06 e 211/06.

Para a especificação dos materiais, isolamento, medição e padrão de carga e descarga dos tanques graneleiros, conforme [26], o órgão que padroniza tais parâmetros e fiscaliza os tanques do mercado é o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), que a partir da Portaria nº 059, de 19 de março de 1993, definiu os padrões dos caminhões e dos tanques de granéis líquidos.

Por fim, a partir de [27], a regulamentação da qualidade dos combustíveis transportados, bem como as práticas de segurança operacional e proteção do mercado são controlados e definidos pela ANP (Agência Nacional de Petróleo e Biocombustíveis), a partir da Resolução ANP Nº 19, de 15 de abril de 2015 – republicada em 20 de abril de 2015.

Após essa breve abordagem acerca da legislação e dos órgãos responsáveis pela regulação do mercado, faz-se necessária a compreensão dos meios utilizados na realização do transporte de Etanol no Brasil, bem como o funcionamento logístico do sistema. Sob essa perspectiva, o estudo abordará, inicialmente, os meios de transportes rodoviários do Etanol.

13. Carro-tanque

De acordo com a Resolução ANP N° 19, entende-se por carro-tanque o “veículo automotor rodoviário; o caminhão com carroçaria-tanque; a carreta ou semirreboque (eixo traseiro) tracionado por cavalo mecânico ou, ainda, reboque (eixo traseiro e dianteiro) tracionado por caminhão-tanque/trator” demonstrado abaixo respectivamente na Figura 58 , Figura 59 e Figura 60 .

Figura 58 – Carroçaria-tanque



Fonte: [28]

Figura 59 – Semirreboque tanque



Fonte: [29]

Figura 60 – Reboque tanque



Fonte : [30]

Aquém da definição de carro-tanque estabelecida pela agência, é válido informar que, para o mercado, a regulamentação que considera o peso total bruto também é utilizada como parâmetro. A partir dessa premissa, são observados os padrões estipulados pelo DNIT, tais como: comprimento; largura; número de eixos e o peso máximo que cada eixo pode transportar. A definição de peso por eixo foi adotada ao considerar os aspectos de preservação da malha rodoviária, bem como a segurança do motorista e dos demais veículos que transitam nas rodovias. Desse modo, cabe observar a resolução do DNIT 211/06:

Art. 1º As Combinações de Veículos de Carga - CVC, com mais de duas unidades, incluída a unidade tratora, com peso bruto total acima de 57 t ou com comprimento total acima de 19,80 m, só poderão circular portando Autorização Especial de Trânsito – AET.

Art. 2º A Autorização Especial de Trânsito - AET pode ser concedida pelo Órgão Executivo Rodoviário da União, dos Estados, dos Municípios ou do Distrito Federal, mediante atendimento aos seguintes requisitos:

I - para a CVC:

Peso Bruto Total Combinado – PBTC igual ou inferior a 74 toneladas;

Comprimento superior a 19,80 m e máximo de 30 metros, quando o PBTC for inferior ou igual a 57t.

Comprimento mínimo de 25 m e máximo de 30 metros, quando o PBTC for superior a 57t. (DNIT, 2015)

A partir dos parâmetros legais citados acima, o mercado de combustíveis adotou padrões de carros-tanques para cada uma das etapas da cadeia logística.

Seguindo a ordem oposta à cadeia logística, uma vez que a mesma se inicia na usina produtora, segue para o distribuidor e – por fim – é entregue ao cliente, o primeiro grupo de veículos a ser descrito trata dos caminhões de entrega, ou seja, caminhões que entregam os combustíveis nos postos de gasolina.

A fim de atender a necessidade de transitar dentro de centros urbanos, os caminhões de entrega devem ser de menor porte. A capacidade de transporte do caminhão com carroçaria-tanque é, em média, de 20m³. Além da diferença entre porte e peso, os caminhões de entrega apresentam, como particularidade, o particionamento de seus tanques, isto é, seus reservatórios são fracionados em compartimentos capazes de transportar, em diferentes partições, diversos tipos de combustíveis Figura 61.

Em se tratando do particionamento, cabe informar que o mesmo proporciona aos caminhões de entrega o transporte, de maneira simultânea, de até 4 (quatro) combustíveis diversos. Tal caráter possibilita o cumprimento de modo mais eficiente da demanda dos clientes, não necessitando do deslocamento do carro-tanque com um volume inferior à sua capacidade máxima, ou seja, o carro-tanque atende a demanda de um cliente pontual e retorna para o carregamento em vez de abastecer parcialmente vários clientes.

Figura 61 - Caminhão de entrega (Tanque Particionado)



Fonte: [31]

O segundo grupo de carros-tanque analisado, principal concorrente dos dutos, é composto pelos caminhões de transferência, os quais têm por função o transporte dos combustíveis das zonas produtoras às bases de distribuição. Tais veículos podem ser divididos em 3 (três) tipos:

Bitrem: Os Bitrens representam o conjunto mais comum no mercado de transferência de combustíveis no Brasil. São compostos por dois tanques articulados e transportam um total de 45 m³ de combustível cada, conforme Figura 62. A combinação Bitrem permite um peso bruto total combinado (PBTC) de 57 toneladas, o que possibilita um acréscimo de 27% no PBTC,

quando comparado a uma combinação tradicional de três eixos, com cavalo mecânico 6x2 ou 6x4.

Figura 62 - Bitrem



Fonte: [29]

Vanderléia: O conjunto conhecido como “Vanderléia” é um carro-tanque do tipo semirreboque. Na comparação acerca da quantidade de tanques, esse modelo diverge dos Bitrens, uma vez que o último conta com dois tanques articulados, ao passo em que o semirreboque em destaque possui somente um tanque. Ratifica-se, entretanto, que embora seja composto por apenas um reservatório, o Vanderléia é equivalente aos dois tanques que um Bitrem possui.

Esse conjunto tornou-se possível em razão do maior espaçamento entre os eixos e por conta do eixo auto direcional, que permite ao Vanderléia transportar o volume equivalente ao transportado pelos Bitrens, sem ferir o limite de PTBC de 53 t para veículos com menos de seis eixos Figura 63.

As principais vantagens da Vanderléia no mercado estão relacionadas à quantidade inferior de eixos e articulações que possui. Assim sendo, a sua manutenção torna-se mais barata, tanto pela menor quantidade de insumos (pneus, lonas de freio...) quanto aos gastos com pedágios, que – em sua maioria – estipulam valores por eixo, possibilitando que esse conjunto pague um valor inferior, carregado ou vazio. Adicionalmente, há a possibilidade de recolher o eixo auto direcional quando vazio, possibilitando o pagamento de 2 (dois) eixos a menos, em comparação com os Bitrens.

A principal característica de desvantagem do conjunto Vanderléia é caracterizada pelo tempo de carregamento. Isso ocorre devido às características da maioria das usinas e bases de distribuidores, projetados para a descarga e abastecimento simultâneos dos dois tanques de conjuntos Bitrem, ao passo em que o Vanderléia faz o carregamento de um único tanque de

tamanho equivalente aos dois. Por essa razão, a operação de carga e descarga do conjunto recém-analisado desprende o dobro do tempo, em um comparativo com o modelo anterior. Estima-se, portanto, que tal fato representa o principal responsável pelo impedimento do domínio do mercado por esta composição.

Figura 63 - Vanderléia



Fonte: [32]

Bitrenção: Os Bitrenções são composições que utilizam a mesma configuração dos Bitrens. Todavia, em proporções superiores. Tal afirmativa justifica-se pelo fato do Bitrem e do Vanderléia serem capazes de transportar 45m³ cada, ao passo que o Bitrenção transporta 60 m³, logo, 15m³ a mais.

Os Bitrenções utilizam um design de nove eixos, qualificando-os na regulamentação de carros-tanques de PTBC máximo de 74 t conforme Figura 64. A quantidade de eixos que possui, no entanto, torna-se uma desvantagem no mercado, em um comparativo às demais composições apresentadas. Tal ônus justifica-se devido em razão dos principais estados produtores do país contarem com diversas praças de pedágio.

Reitera-se que, em geral, o valor do pedágio está diretamente relacionado à quantidade de eixos que o caminhão possui, elevando, assim, o valor do transporte realizado por esse conjunto e, por consequência, inviabilizando, do ponto de vista financeiro, o seu retorno vazio.

Figura 64 - Bitrenzão

Fonte: [33]

Analisados os meios de transporte rodoviários dos combustíveis, faz-se relevante abordar o sistema logístico utilizado para o cálculo do seu custo. Para tal, serão observados dados e estudos de grupos científicos, bem como os sistemas utilizados pelo mercado, além de tarifas e demais custos.

14. ESALQ-LOG

O ESALQ-LOG (Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz), conforme [34] consiste em um grupo de pesquisas da Faculdade de Agricultura da Universidade de São Paulo que, a partir de 1989, com ingresso do professor José Vicente Caixeta Filho, iniciou o desenvolvimento de modelos matemáticos para transportes agrícolas no Brasil.

Após anos de desenvolvimento de técnicas e disponibilização de recursos em 2003 o grupo ESALQ-LOG obteve reconhecimento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e chancela quanto à extensão universitária pelo serviço de Cultura e Extensão Universitária da ESALQ.

Em tempos presentes, o grupo é composto por um corpo de trabalho de 60 pessoas e tem como função desenvolver diversos modelos matemáticos relacionados ao transporte rodoviário, bem como de armazenagem e produção de diversos produtos agrícolas do mercado brasileiro. Dentre eles, o etanol.

15. Sistema de informações de Fretes - SIFRECA

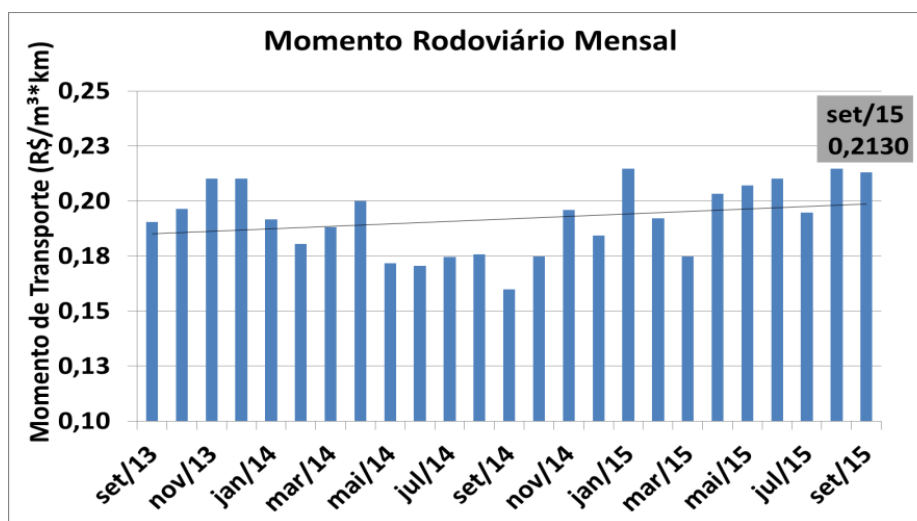
Em meio aos modelos matemáticos desenvolvidos pelo grupo ESALQ-LOG, o Sistema de Informações de Fretes segundo [35], surgiu a partir da necessidade de documentar o comportamento dos valores dos fretes praticados no agronegócio brasileiro, possibilitando a manutenção dos preços dos agentes tradicionais do mercado e o ingresso de novos empreendedores.

A partir da identificação dessa necessidade, os agentes de mercado passaram a fornecer os preços praticados em seus fretes, bem como suas rotas. Munido de tais informações, o ESALQ-LOG desenvolveu o conceito de “Momento Rodoviário”, que trata-se do valor praticado na movimentação de uma unidade de massa (Tonelada), ao longo de uma distância (Quilômetro), ou – como é conhecido no mercado – frete unitário ou TKU. Cabe esclarecer que, no mercado de combustíveis, a unidade de massa utilizada é o m³ (metro cúbico). Por esse motivo, o TKU tem como unidade R\$/m³km.

Mensalmente, o grupo ESAL-LOG publica em seu *website* o momento rodoviário mensal de diversos produtos do agronegócio brasileiro. No final da safra, é publicado um anuário que reúne os momentos rodoviários mensais e projeta o futuro dos fretes praticados.

O gráfico demonstrado na Figura 65 foi desenvolvido com base nos conceitos do grupo ESALQ-LOG, bem como a base de dados publicada pelo SIFRECA. Ele descreve a variação do momento rodoviário do Etanol no período de setembro de 2013 a setembro de 2015. Ressalta-se que a publicação mensal ocorre no décimo-quinto dia do mês subsequente:

Figura 65 - Gráfico do Momento Rodoviário mensal



Fonte Própria

15.1. Tarifa do Transporte Rodoviário

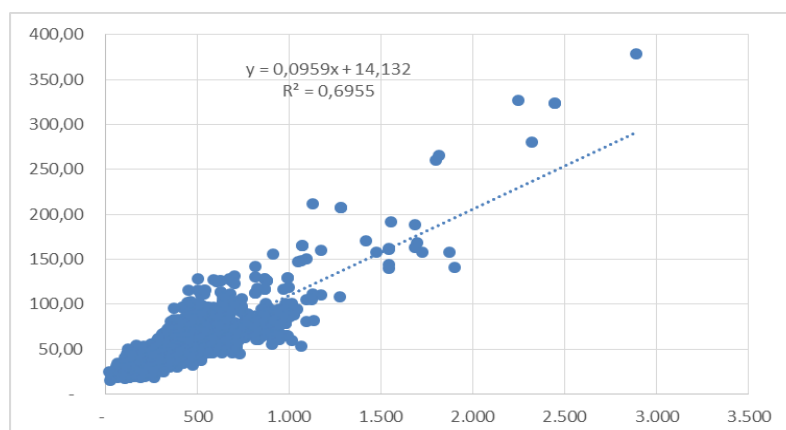
O frete rodoviário é calculado a partir de alguns parâmetros pré-estabelecidos. O primeiro e principal parâmetro necessário para o cálculo do frete é a distância percorrida. Esse valor utiliza somente a distância de ida, uma vez que o mercado pratica, em diversos momentos, o frete casado, isto é, o carro-tanque leva um combustível e retorna com outro.

Após ter o conhecimento da distância efetiva e a realização da análise da cidade de origem e destino, bem como o veículo utilizado e seu consumo médio de combustível, feita por meio de aplicativos conhecidos como roteirizadores, os transportadores definem uma rota, levando em consideração o tráfego e condições da rodovia; a distância; o tempo de deslocamento e; os pontos de parada para descanso do motorista e abastecimento.

Com o conhecimento de todas as variáveis citadas, o transportador adiciona, aos custos, gastos dos insumos do conjunto, tais como: pneus; suspensão; Diesel; entre outros, aos custos do motorista e, por fim, a margem de lucro. Sendo, o último, o valor final de frete. No mercado de combustíveis, a unidade utilizada para os fretes praticados é o R\$/m³.

Para o cálculo médio de um frete rodoviário, seguindo os mesmos princípios do SIFRECA, foram utilizados os preços publicados dos últimos 12 meses e traçada uma linha de tendência do valor do frete [R\$] em função da distância [km] conforme Figura 66:

Figura 66 - Gráfico de linha de tendência de fretes



Fonte própria

A função y encontrada é a função do frete, dividida em duas parcelas: o custo variável, que é multiplicado pela distância e o custo fixo, ou custo mínimo de frete praticado. É válido ressaltar que os dados publicados pelo SIFRECA, também utilizados acima para os cálculos de momento rodoviário e linha de fretes, não incluem o valor dos pedágios.

15.2. Pedágio

As praças de pedágio das estradas brasileiras, conforme já citado, efetuam a cobrança em função da quantidade de eixos do veículo. Desse modo, para adequar os valores do frete, a unidade (R\$/m³) utilizada no mercado, é necessário realizar um cálculo médio a partir da equação (46):

$$\text{pedágio} = \frac{(2 \times \text{tarifa por eixo}) \times n^{\circ} \text{ de eixos}}{\text{volume transportado}} \quad (46)$$

Os valores padrões utilizados para o número de eixos e volume transportados são 7 (sete) eixos e 45 m³, em função do domínio dos Bitrens no mercado.

A tarifa por eixo no cálculo da tarifa do pedágio é multiplicada por dois, uma vez que há a expectativa do transportador do retorno do carro-tanque à sua origem, mesmo em casos de fretes casados, conforme citado anteriormente.

A tarifa de retorno do frete é cobrada como segurança comercial para o transportador, visto que há a possibilidade deste não conseguir realizar o frete de retorno.

15.3. Tarifa do transporte dutoviário

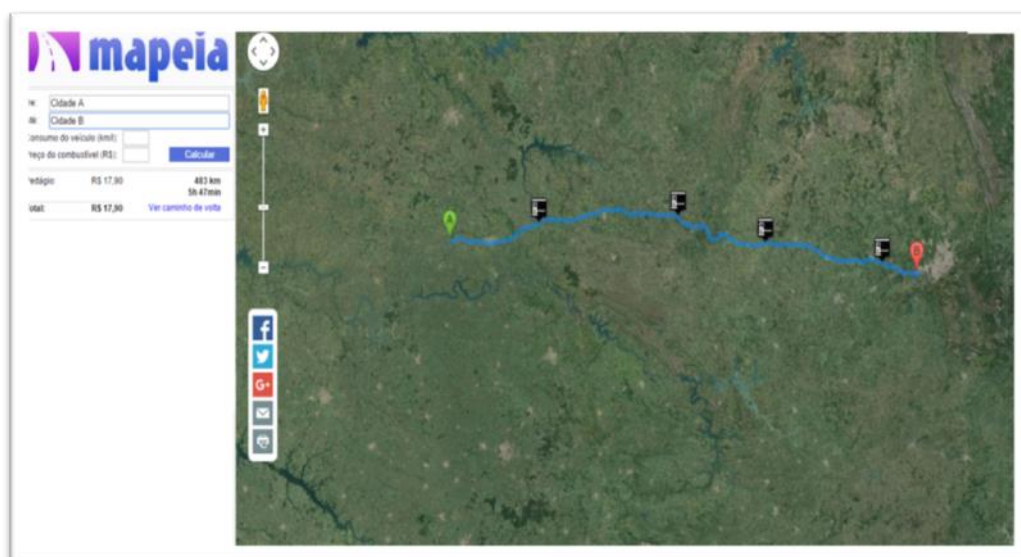
Para o cálculo da tarifa de transporte dutoviário, é realizado um estudo do mercado para avaliar as tarifas praticadas pelos concorrentes. Na região das cidades A e B não há a presença de ferrovias. Assim sendo, o único concorrente do duto passa a ser o transporte rodoviário.

Após a análise do mercado do caso concreto exposto, foi definido que a tarifa de transporte dutoviário deve utilizar como paradigma para cálculo de seu custo, o valor do frete rodoviário. Desse modo, quantifica-se o valor do frete rodoviário e, posteriormente, propõe-se um desconto comercial no seu valor, para que os clientes migrem da rodovia para o duto.

Assim, a tarifa praticada no duto consiste no cálculo do frete rodoviário a partir da equação de tendência de fretes encontrada pela distância entre as cidades A e B, somados ao valor do pedágio.

O primeiro parâmetro para o cálculo do frete rodoviário é a distância rodoviária entre as cidades A e B. Após a utilização do roteirizador [36] “Mapeia” Figura 67, foi obtida a distância média de 483 km entre o centroide das duas cidades.

Figura 67 - Roteirizador



Fonte: [36]

Conhecendo a distância e utilizando a equação de fretes desenvolvida, obtém-se as equações (47) e (48):

$$\mathbf{frete\ sem\ pedágio = 0,0959 \times (483) + 14,132} \quad (47)$$

$$\mathbf{frete\ sem\ pedágio = R\$ 60,45/m^3} \quad (48)$$

Tendo sido quantificada a primeira parcela, foi calculado o incremento de frete relativo ao pedágio, com base nos roterizadores utilizados. O percurso entre as cidades A e B apresenta uma tarifa de pedágio, por eixo, de R\$ 17,90. Dessa forma, aplica-se a equação (46) desenvolvida acima e obtém-se (49) e (50):

$$\mathbf{pedágio = \frac{(2 \times 17,90) \times 7}{45}} \quad (49)$$

$$\mathbf{pedágio = R\$ 5,57/m^3} \quad (50)$$

Com base nos dados apresentados, verifica-se que o transporte de Etanol, no caso de ser realizado por carros-tanques entre as cidades indicadas, passaria a ter tarifa cobrada de R\$ 66,02 / m³, visto que é necessário somar as duas parcelas do frete.

A fim de tornar o mercado dos dutos mais atrativo, como supracitado, a estratégia comercial adotada concede um desconto médio de 20% do frete para contratos firmados para transporte dutoviário. Desse modo, com base nos dados apresentados no presente estudo, a tarifa do duto passaria a R\$ 53,82/m³. Logo, o transporte de Etanol realizado por dutos é mais atrativo e oferece maior vantagem financeira quando comparado ao transporte realizado por carros-tanques.

15.4. Reajuste do Frete Dutoviário

Conforme anteriormente observado, a tarifa praticada no transporte dutoviário é baseada no frete rodoviário. Nesse sentido, adota-se o mesmo princípio para o cálculo de reajuste anual das tarifas, ou seja, o reajuste do frete dutoviário é influenciado pelos principais fatores que interferem no mercado rodoviário.

Sob essa perspectiva, o cálculo de reajuste tem como alicerce as projeções de mercado da ANP, do grupo ESALQ-LOG e os dados e projeções de IPCA², fornecidos pelo COPPEAD (Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro).

O reajuste médio é composto por duas parcelas: 40% provenientes da variação do preço do Diesel e 60% relativos ao aumento do IPCA, que atinge diretamente os insumos dos carros-tanques e a remuneração dos motoristas. Assim sendo, os percentuais de reajuste calculados são demonstrados conforme a Tabela 42 a seguir:

Tabela 42 – Reajuste tarifas dutoviárias

ÍNDICE	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
IPCA + DIESEL	4,60%	4,60%	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%

ÍNDICE	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
IPCA + DIESEL	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%	4,28%

² O Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) é produzido pelo IBGE desde 1979. O IPCA tem por objetivo medir a inflação de um conjunto de produtos e serviços comercializados no varejo.

16. VPL (Valor presente líquido)

Para fins descritivos, tem-se, acerca do Valor Presente Líquido, segundo [37] que:

O valor presente líquido (VPL) é uma função utilizada na análise da viabilidade de um projeto de investimento. Ele é definido como o somatório dos valores presentes dos fluxos estimados de uma aplicação, calculados a partir de uma taxa dada e de seu período de duração.

Os fluxos estimados podem ser positivos ou negativos, de acordo com as entradas ou saídas de caixa. A taxa fornecida à função representa o rendimento esperado do projeto.

Caso o VPL encontrado no cálculo seja negativo, o retorno do projeto será menor que o investimento inicial, o que sugere que ele seja reprovado. Caso ele seja positivo, o valor obtido no projeto pagará o investimento inicial, o que o torna viável. (Cavalcante Associados, 2015)

17. TIR (taxa interna de retorno)

Para a análise da Taxa Interna de Retorno, faz-se necessário observar a sua definição conforme [38]:

Taxa Interna de Retorno (TIR) vem do inglês Internal Return Rate (IRR), e é uma fórmula matemática-financeira utilizada para calcular a taxa de desconto que teria um determinado fluxo de caixa para igualar a zero seu Valor Presente Líquido. Em outras palavras, seria a taxa de retorno do investimento em questão. (Blog Luz, 2015)

No projeto, foi adotada uma taxa de desconto mínima de modo a torná-lo mais atrativo para os possíveis investidores. Além disso, o valor praticado garante uma TIR igual ou superior aos investimentos nele realizados. Destaca-se que o valor estipulado no presente estudo é semelhante ao utilizado no mercado para os investimentos considerados seguros.

18. EVE (Estudo de viabilidade econômica)

Ao término da execução do projeto e do cálculo de todas as possíveis variáveis que influenciam na operação e na capacidade do duto no mercado, o último quesito a ser calculado tange a viabilidade econômica do projeto. Com o objetivo de atrair possíveis investidores, foi realizado o EVE, a partir de um modelo matemático utilizando o Microsoft Excel, que contém todos os custos de elaboração do projeto, de construção e montagem, de operação do duto e as projeções das receitas a serem geradas, a partir do volume projetado, com a tarifa definida, conforme disposto na Figura 68:

Figura 68 - Estudo de Viabilidade econômica

ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA											
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Receita Líquida	132.571.574	145.299.501	157.762.110	171.139.828	185.373.419	201.166.895	217.972.404	236.560.161	256.339.370	282.801.543	307.018.962
Custos Operacionais	9.934.896	9.934.895	9.934.894	9.934.893	9.934.892	9.934.891	9.934.890	9.934.889	9.934.888	9.934.887	9.934.886
Custo de Energia elétrica	5.807.231	5.807.232	5.807.233	5.807.234	5.807.235	5.807.236	5.807.237	5.807.238	5.807.239	5.807.240	5.807.241
Despesas Administrativas	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000
Fluxo de Caixa Operacional	56.829.447	69.557.375	82.019.984	95.397.702	109.631.293	125.424.769	142.230.278	160.818.035	180.597.243	207.059.417	231.276.836
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
	320.153.234	333.849.389	348.131.466	363.024.530	378.554.719	394.749.290	411.636.665	429.246.481	447.609.646	466.758.387	
	9.934.885	9.934.884	9.934.883	9.934.882	9.934.881	9.934.880	9.934.879	9.934.878	9.934.877	9.934.876	
	5.807.242	5.807.243	5.807.244	5.807.245	5.807.246	5.807.247	5.807.248	5.807.249	5.807.250	5.807.251	
	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	60.000.000	
	244.411.107	258.107.263	272.389.340	287.282.404	302.812.593	319.007.164	335.894.539	353.504.355	371.867.520	391.016.260	
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Projeto e construção	823.821.007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluxo de Caixa dos Investimentos	823.821.007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Fluxo de Caixa Livre (nominal)	-766.991.560	69.557.375	82.019.984	95.397.702	109.631.293	125.424.769	142.230.278	160.818.035	180.597.243	207.059.417	231.276.836
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
	244.411.107	258.107.263	272.389.340	287.282.404	302.812.593	319.007.164	335.894.539	353.504.355	371.867.520	391.016.260	
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Fluxo de Caixa Livre (real)	-766.991.560	64.704.535	72.664.437	80.876.781	88.941.447	97.372.580	105.664.507	114.328.771	122.861.443	134.797.920	144.080.116
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
	145.705.707	147.244.661	148.700.746	150.077.566	151.378.568	152.607.053	153.766.179	154.858.967	155.888.309	156.856.972	
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Taxa de Desconto	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%
	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	10,00%	
VPL	179.311.779										
	Viável										

A análise de viabilidade realizada demonstra que o projeto é viável. Utilizando um horizonte de tempo de 30 anos, observa-se que há um ganho de R\$ 179.311.779,00, além da clara recuperação do valor investido.

A fim de tornar o investimento no duto mais atrativo, foi definida uma taxa mínima de desconto de 10% a.a, ou seja, após um ano de projeto o mínimo de retorno para o investidor é de 10% do valor investido. Desse modo, a taxa de desconto permite que o uso dos dutos seja mais lucrativo para os investidores quando comparado a outras aplicações também consideradas seguras no mercado, como por exemplo, a renda fixa, a qual garante a possibilidade de rendimento de no máximo 10% a.a ao investidor. Além disso, o montante adotado é um incentivo, uma vez que, no âmbito dos projetos de construção de petróleo a taxa mínima de desconto adotada encontra-se entre 10-12% a.a..

19. Conclusão

O estudo proposto detalha todo o processo de desenvolvimento de um projeto dutoviário. Para isso, em princípio, foi definida a região contemplada com o duto e a distância entre duas cidades selecionadas. Em posse da localização de cada uma das cidades, foi elaborado um estudo de mercado para análise da implementação de dutos na região.

Após a análise da existência de uma possível demanda, foi desenvolvido um estudo que envolveu: a definição do diâmetro ótimo; a seleção de materiais e quantidade e; a localização da estação de bombeamento. Foram calculados os gradientes hidráulicos e de pressão de modo que o bombeamento do Etanol fosse executado de acordo com as principais normas de projeto.

Findada a análise inicial, foi abordada a definição teórica das bombas, pressões admissíveis no duto, *heads* solicitados e arranjo ótimo de bombas, de modo a adequar as propostas aos equipamentos presentes no mercado.

Com tais dados, foi elaborada uma análise em simulador transiente (Stoner Pipeline Simulator 10.0). Adicionalmente à análise das simulações, fez-se necessária a inclusão de intertravamentos, válvulas de alívio de pressão (PSV), *shut-down valve* (SDV) e a alteração da espessura de um trecho do duto. Destarte, garantiu-se a segurança e o projeto do duto nas normas existentes.

Posterior às análises de simulação, foi possível fazer a conclusão do projeto hidráulico e mecânico do sistema.

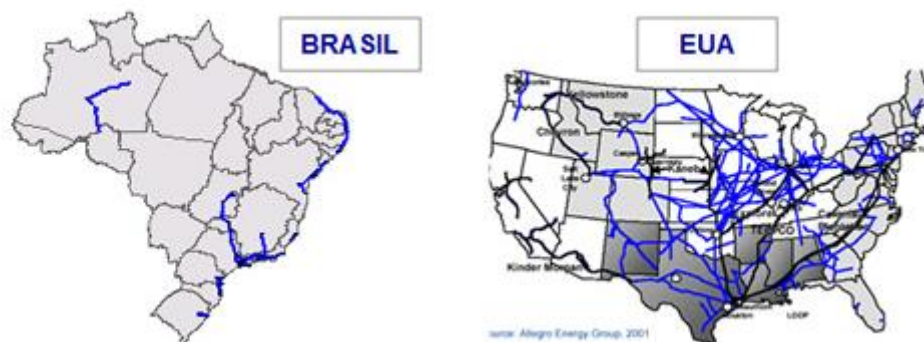
Conclusivamente, visando a garantia da viabilidade do duto, foi executada uma avaliação econômica acerca da implementação do projeto proposto, indicando possíveis condições favoráveis à atração de investidores. Complementarmente, para o sucesso do estudo, prospectou-se que as tarifas de movimentação do duto fossem definidas a partir dos fretes praticados pelo mercado.

Destarte, após a realização do projeto proposto e a partir dos parâmetros calculados, resta destacar como comprovada a sua viabilidade econômica por diversas perspectivas. Ressalta-se que, além do viés econômico, o mercado brasileiro encontra-se em situação de carência de dutos, quando comparado a outros países, tais como os EUA e França.

Cumprir informar que a malha dutoviária brasileira ainda é muito frugal, como é possível observar nas figuras Figura 69 e Figura 70 – as quais demonstram o comparativo entre os

mapas dutoviário do Brasil e dos EUA – e ainda a análise realizada conforme [39], que compara a malha dutoviária à extensão territorial do país.

Figura 69 – Malha dutoviária Brasil x EUA



Fonte: [39]

Figura 70 – Análise de malha de dutos por extensão territorial

Análise considerando a extensão territorial

Pais	Dutos (Km)	Densidade (Km / mil Km ²)
Brasil	5.281	0,6
Suíça	108	2,6
Alemanha	2.370	6,6
Espanha	3.779	7,5
Dinamarca	330	7,7
Áustria	777	9,3
França	5.746	10,4
EUA	146.426	15,2

Fonte:[39]

Por conseguinte, o projeto proposto caracteriza-se como viável e representa uma possibilidade importante no combate ao gargalo logístico existente na cadeia brasileira de distribuição de combustíveis. Outrossim, proporciona ao mercado de investimentos a capacidade de expansão da atual malha dutoviária.

Bibliografia

- [1] FREIRE J. L. F. Transperto e ABCM - **Engenharia de Dutos** – Ponto Final 2009.
- [2] Opera Mundi – Hoje na História: 1859 - **Perfurado o primeiro poço de petróleo nos EUA**. Disponível na internet:
<<http://operamundi.uol.com.br/conteudo/noticias/5976/hoje+na+historia+1859+-+perfurado+o+primeiro+poco+de+petroleo+nos+eua.shtml>> Acesso em 01 de junho de 2015.
- [3] Instituto nova cana - **Histórico do Etanol no Brasil**. Disponível na internet:
<<http://www.novacana.com/etanol/historia-legislacao/>> Acesso em: 3 de maio de 2015.
- [4] Ministério de minas e energias – **Histórico da Legislação do Etanol**. Disponível na internet: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/aceso-a-informacao/institucional/o-ministerio>> - Acesso em: 5 de abril de 2015.
- [5] Departamento de Engenharia mecânica – UFTPR – **Propriedades Químicas dos Combustíveis**. Disponível na Internet:
<<http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/motores/downloads/FUNDAMENTOS%20DA%20OMBUST%C3%83O.pdf>> Acesso em: 15 de abril de 2015.
- [6] Instituto de Física – UFRGS – **Entendendo o Ciclo Otto**. Disponível na internet: <http://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/ciclo_otto.htm> Acesso em: 20 de março de 2015.
- [7] Instituto de física – UFPB – **Ciclo Otto**. Disponível na internet:
<www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/15cOtto/materiais/saiba_mais.pdf> - Acesso em: 20 de março de 2015.
- [8] Tabuenca, T.B. **Ciência e Tecnologia**. Klick, Rio de Janeiro 1996.
- [9] ANP – **Venda de combustíveis**. Disponível na internet:
<<http://www.anp.gov.br/?pg=69299&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1434391190816>> Acesso em: 12 de março de 2015.
- [10] Ministério de Minas e Energias - **Plano Energético**. Disponível na internet:
<www.mme.gov.br/documents/10584/1432059/PDE+2023+%28PDF%29/f63b46f4-c9a0-4294-974e-ff2def8d67c8?version=1.1> Acesso em: 15 de abril de 2015.

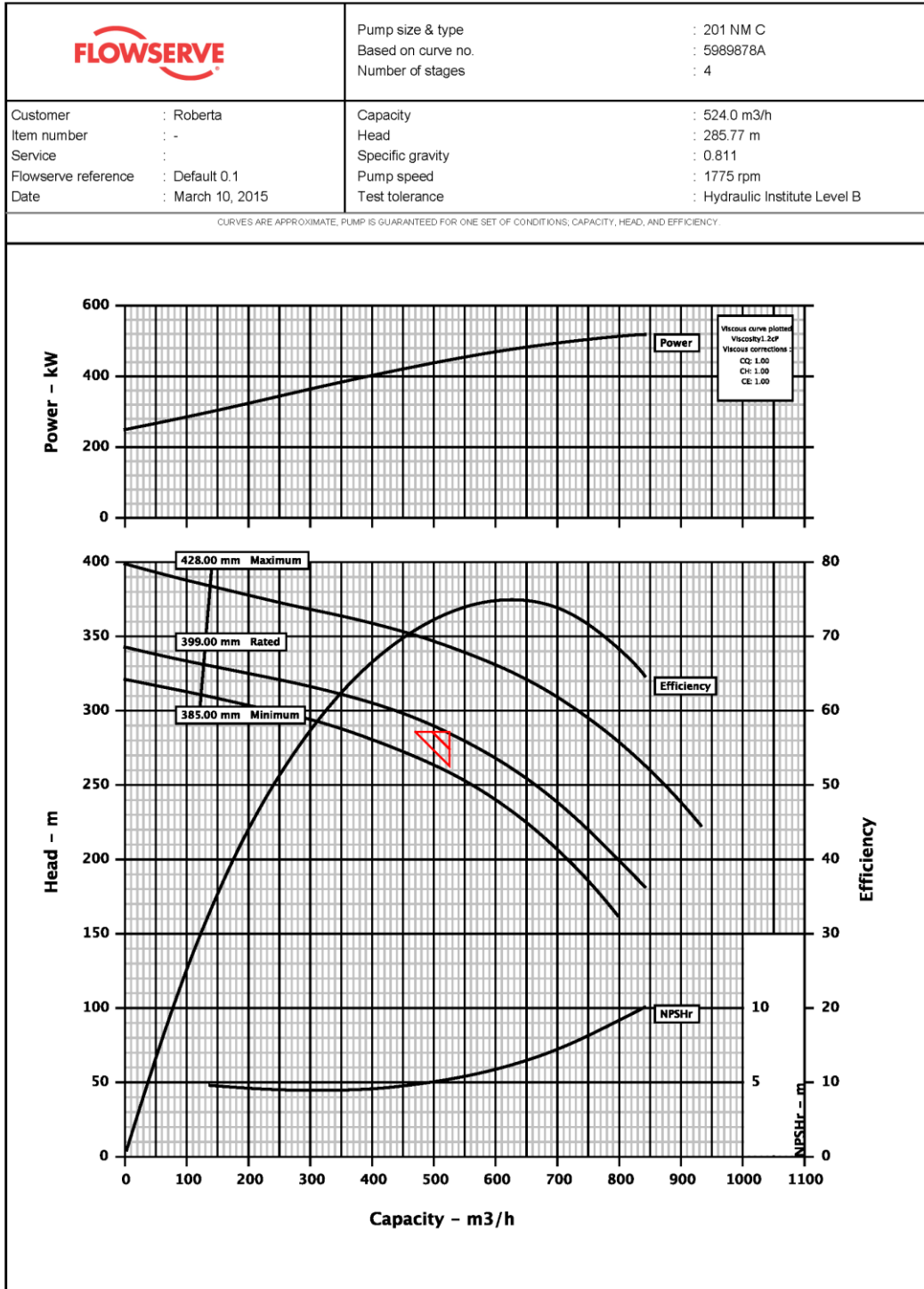
- [11] ANP – **Relatório de Vendas de Etanol Combustíveis Pelos Fornecedores**. Disponível na internet: <<http://www.anp.gov.br/?pg=75318&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&1434394129695>> Acesso em: 8 de março de 2015.
- [12] WikiLivros – **Mecânica dos Fluidos**. Disponível na internet: <https://pt.wikibooks.org/wiki/Mec%C3%A2nica_dos_fluidos/C%C3%A1lculo_da_perda_de_carga_em_tubula%C3%A7%C3%B5es> Acesso em 08 de abril de 2015.
- [13] MATOS, E.; FALCO, R. **Bombas Industriais**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.
- [14] CARNEIRO, L., M.; KRAUSE P., B.; PIRES, L., F., G.; SOUZA A., G. **Estudo Termohidráulico Para Ampliação De Capacidade De Oleodutos**, IBP1997_08. Rio Oil & Gas 2008, Rio de Janeiro 2008.
- [15] Manufacturers Standardization Society of the Valve and Fittings Industry, Inc. - **Steel Pipeline Flanges**, MSS SP-44-2006., Virginia 1985.
- [16] Flowserve Corporation – **Pump Selection Tool** – Disponível na internet: <<http://flowserve.com/Applications/FlowSelex-Portal-Pump-Selection-Tool>> Acesso em: 15 de abril de 2015.
- [17] MACKAY, R.; **The Practical Pumping Hand**. Elsevier, 2004.
- [18] PETROBRÁS N-76 Rev. F. **Materiais de Tubulação Para Instalações de Refino e Transporte**.
- [19] CLAXTON, J.; HECKER, G., E.; SDANO, A., R. **The New Hydraulic Institute Pump Intake Design Standart**, P16161-169. Hydraulic Institute, New Jersey.
- [20] ALVES, R., P., **Desenvolvimento de uma Ferramenta Computacional para Modelagem de Sistemas de Bombeamento para Fins de Simulação**. Rio de Janeiro 2012.
- [21] Associação Brasileira de Normas Técnicas - **Dutos Terrestres Parte 1: Projeto**, ABNT NBR 15280-1, Rio de Janeiro 2009.

- [22] Australian Pipeline Valve, APV, **Technical Data Gate Globe & Check Valve**, Austrália 2015.
- [23] American Petroleum Institute – **Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries – Part I: Sizing**, API RP 520-1, Seventh Edition, Washington 2000.
- [24] American Petroleum Institute – **Flanged Steel Pressure Relief Valves**, API STANDART 526, Fifth Edition, Washington 2002.
- [25] DNIT - **Resoluções CONTRAN**. Disponível na internet: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/sistema-de-gerenciamento-de-autorizacao-especial-de-transito-siaet/resolucao-aet>>- Acesso em 22 de outubro de 2015
- [26] INMETRO – **Portaria nº 059**. Disponível na internet: <<http://www.inmetro.gov.br/rtac/pdf/RTAC000144.pdf>> - Acesso em 20 de outubro de 2015
- [27] ANP- **Resolução ANP Nº 19**. Disponível na internet: <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2015/abril/ranp%2019%20-%202015.xml> - Acesso em 15 de outubro de 2015
- [28] New Truck Rio - **Carroçaria-tanque**. Disponível na internet : <<http://www.newtruckrio.com.br>> - Acesso em 25 de outubro de 2015
- [29] Randon implementos rodoviário – **Semirreboque tanque e Bitrem**. Disponível na internet: <www.randonimplementos.com.br> – Acesso em 14 de outubro de 2015
- [30] Terra tanques - **Reboque tanque**. Disponível na internet: <www.terratanques.com.br> – Acesso em 25 de outubro de 2015
- [31] Passeando em campo grande News - **Caminhão de entrega (Tanque Particionado)**. Disponível na internet: <www.passeandoemcampograndenews.com.br> - Acesso em 14 de outubro de 2015

- [32] Cowboys do asfalto – **Vanderléia**. Disponível na internet: [<www.cowboysdoasfalto.com.br >](http://www.cowboysdoasfalto.com.br) - Acesso em 14 de outubro de 2015
- [33] RODOTÉCNICA Implementos Rodoviários – **Bitrenção**. Disponível na internet: [<www.rodotecnica.com.br >](http://www.rodotecnica.com.br) - Acesso em 14 de outubro de 2015
- [34] ESALQ-LOG – **História**. Disponível na internet: [<http://esalqlog.esalq.usp.br >](http://esalqlog.esalq.usp.br) - Acesso em 10 de setembro de 2015
- [35] SIFRECA – **Fretes Etanol**. Disponível na internet: [<http://esalqlog.esalq.usp.br/sifreca >](http://esalqlog.esalq.usp.br/sifreca) - acesso em 15 de outubro de 2015
- [36] Mapeia – **Roterizador**. Disponível na internet: [<http://www.mapeia.com.br/>](http://www.mapeia.com.br/) - acesso em 24 de outubro de 2015
- [37] Cavalcante Associados – **Valor Presente Líquido (VPL)**. Disponível na internet: [<http://www.cavalcanteassociados.com.br/article.php?id=61 >](http://www.cavalcanteassociados.com.br/article.php?id=61) - Acesso em 25 de outubro de 2015
- [38] Blog Luz – **Taxa Interna de Retorno (TIR)**. Disponível na internet: [<www.blog.luz.vc/o-que-e/o-que-e-e-como-calculer-a-taxa-de-retorno-interna >](http://www.blog.luz.vc/o-que-e/o-que-e-e-como-calculer-a-taxa-de-retorno-interna) – Acesso em 25 de outubro de 2015
- [39] Instituto ILOS – **Gargalos na distribuição logística**. Disponível na internet: [<http://www.ilos.com.br/web/gargalos-logisticos-na-distribuicao-de-combustiveis-brasileira/>](http://www.ilos.com.br/web/gargalos-logisticos-na-distribuicao-de-combustiveis-brasileira/) – Acesso em 25 de outubro de 2015
- [40] American Petroleum Institute - **Specification for Line Pipe**, API Specification 5L. 43th edition, 2004.

20. Anexos

Anexo A - 201 NM C

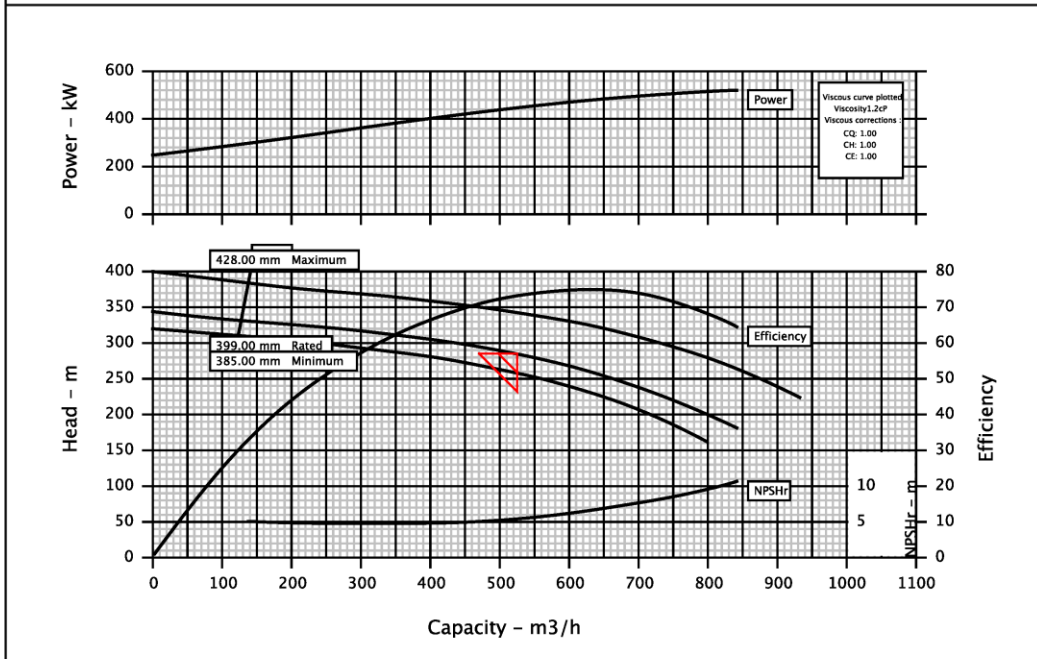




Hydraulic Datasheet

Customer : Roberta	Pump / Stages : 201 NM C / 4	
Customer reference : Default	Based on curve no. : 5989878A	
Item number : -	Flowserve reference : Default 0.1	
Service :	Date : March 10, 2015	
Operating Conditions		
Capacity : 524.0 m3/h	Material column code : FB1	
Water capacity (CQ=1.00) : 524.0 m3/h		
Normal capacity : -	Pump specification : -	
Total Developed Head : 285.77 m		
Water head (CH=1.00) : 285.77 m	Other Requirements	
NPSH available (NPSHa) : Ample	Hydraulic selection : No specification	
NPSHa less NPSH margin : -	Construction : No specification	
Maximum suction pressure : 0.0 kPa.g	Test tolerance : Hydraulic Institute Level B	
	Driver Sizing : Max Power(MCSF to EOC)with SF	
Liquid		
Liquid type : Other		
Temperature / Spec. Gravity : 40 C / 0.811		
Solid Size - Actual / Limit : - / -		
Viscosity / Vapor pressure : 1.2 cP / 12.75 kPa.a		
Performance		
Hydraulic power : 330 kW	Impeller diameter	
Pump speed : 1775 rpm	Rated : 399.0 mm	
Efficiency (CE=1.00) : 73.5 %	Maximum : 428.0 mm	
	Minimum : 385.0 mm	
NPSH required (NPSHr) : 5.0 m	Suction specific speed : 9280 US units	
Rated power : 449 kW	Minimum continuous flow : 128.2 m3/h	
Maximum power : 520 kW	Maximum head @ rated dia : 343.27 m	
Driver power : 522 kW / 700 hp	Flow at BEP : 626.3 m3/h	
Casing working pressure : 2726.1 kPa.g	Flow as % of BEP : 83.7 %	
(based on shut off and Rated specific gravity @ Cut dia)	Efficiency at normal flow : -	
Maximum allowable : 4500.1 kPa.g	Impeller dia ratio (rated/max) : 93.2 %	
Hydrostatic test pressure : 6000.1 kPa.g	Head rise to shut off : 20.1 %	
Est. rated seal chamb. press. : -	Total head ratio (rated/max) : 83.2 %	

CURVES ARE APPROXIMATE, PUMP IS GUARANTEED FOR ONE SET OF CONDITIONS; CAPACITY, HEAD, AND EFFICIENCY.



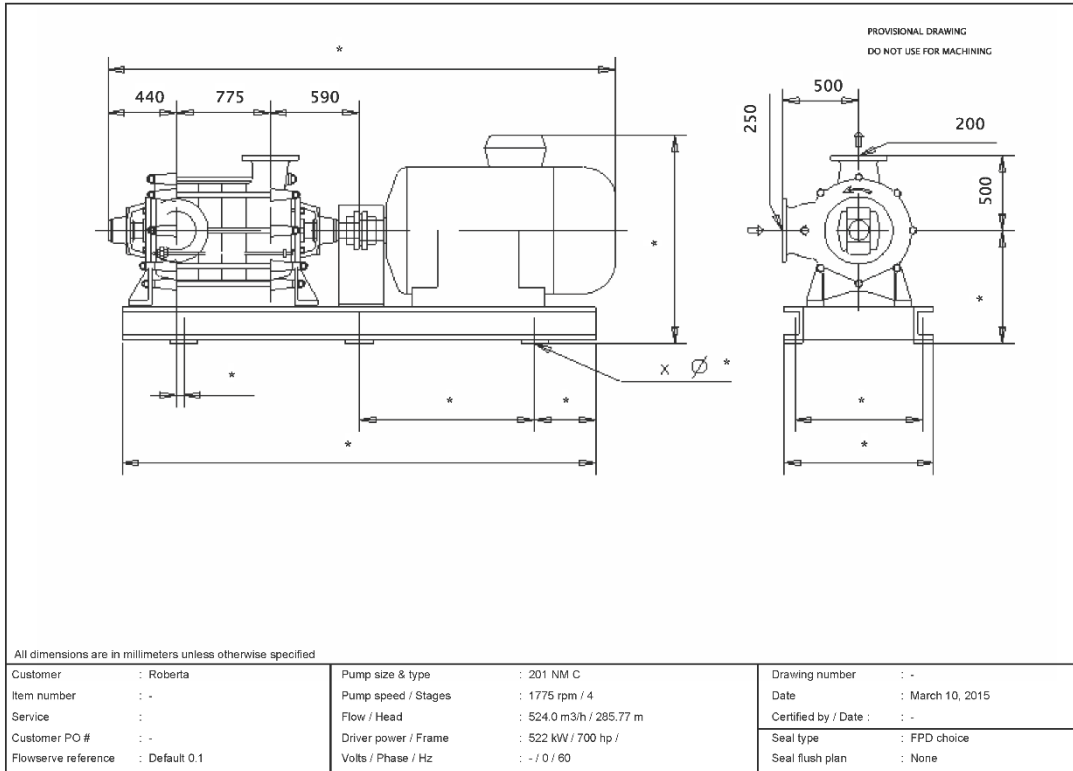


Construction Datasheet

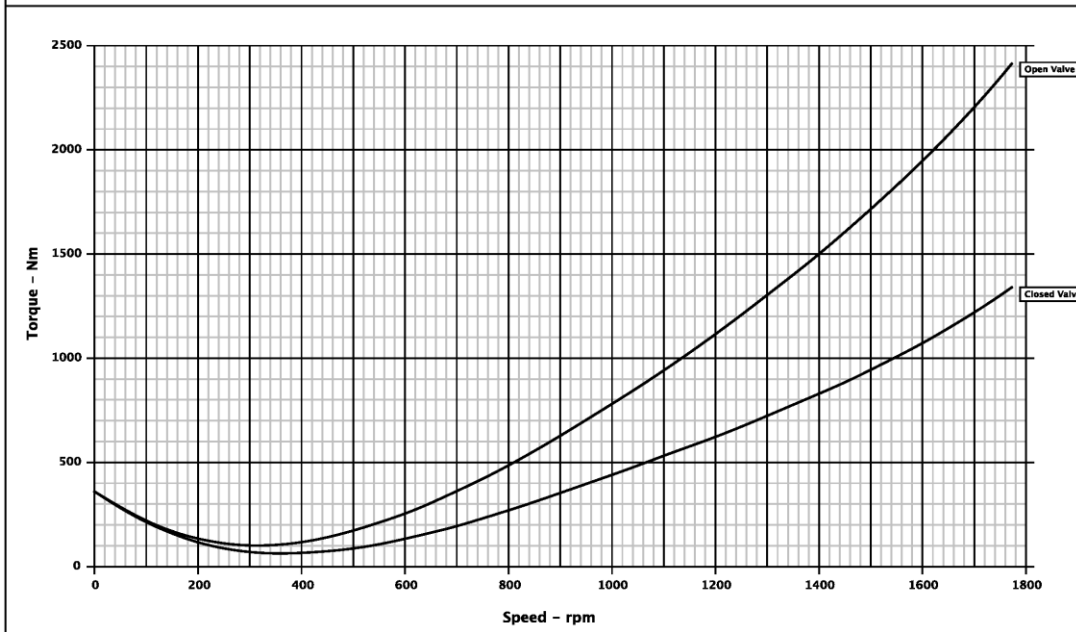
Customer	: Roberta				Pump / Stages	: 201 NM C / 4	
Customer reference	: Default				Based on curve no.	: 5989878A	
Item number	: -				Flowserve reference	: Default 0.1	
Service	:				Date	: March 10, 2015	
Construction					Driver Information		
Nozzles	Size	Rating	Face	Pos'n	Manufacturer	:	
Suction	DN 250	PN16	FF	-	Power	: 700 hp / 522 kW	
Discharge	DN 200	PN40	FF	-	Service factor (req'st / act)	: 1.0 / -	
Casing mounting	: Foot				Speed	: -	
Casing split	: Radial				Orientation / Mounting	: Horizontal / -	
Impeller type	: Closed				Driver Type	: -	
Bearing type (radial)	: Roller				Frame-size / material	: - /	
Bearing number (radial)	: NU 314				Enclosure	: -	
Bearing type (thrust)	: Double-row				Hazardous area class	: -	
Bearing number (thrust)	: 2x7314 B				Explosion 'T' rating	: -	
Bearing lubrication	: Grease				Volts / Phase / Hz	: - / 0 / 60 Hz	
Rotation (view from cplg)	: -				Amps-full load/locked rotor	: - / -	
Materials					Motor starting	: Direct on line (DOL)	
Casing	: C.I. EN-GJL-250				Insulation	: -	
Impeller	: -				Temperature rise	: -	
Case wear ring	: N/A				Bearings	: -	
Impeller wear ring	: N/A				Lubrication	: -	
Inducer	: N/A				Motor mounted by	: FPD	
Shaft	: -				Sound Pressure (dBA @ 1.0 m)		
Sleeve	: 13% chrome steel				Driver, expected	: -	
Baseplate, Coupling and Guard					Pump & driver, estimated	: -	
Baseplate type	: -				Seal Information		
Baseplate material	: Steel				Arrangement	: -	
Coupling manufacturer	: -				Size	: -	
Coupling size	: -				Manufacturer / Type	: FPD choice / FPD choice	
Coupling / Shaft guard	: -				Material code (Man'f/API)	: - / -	
Weights (Approx.)					Internal neck bushing	: N/A	
Bareshaft pump(nett)	: -				Gland		
Baseplate(nett)	: -				Gland material	: N/A	
Driver(nett)	: -				Flush	: N/A	
Shipping gross weight/vol.	: 0.0 kg		: / -		Vent	: N/A	
					Drain	: N/A	
Testing					Auxiliary seal device	: N/A	
Hydrostatic test	: -				Piping		
Performance test	: -				Seal flush plan	: None	
NPSH test	: -				Seal flush construction	: -	
Paint and Package					Seal flush material	: -	
Pump paint	: -				Aux seal flush plan	: -	
Base grout surface prep	: -				Aux seal flush construction	: -	
Shipment type	: -				Aux seal flush material	: -	
Notes							
Sound levels not guaranteed.							
-							
-							
-							
-							
-							



Full Page GA Drawing



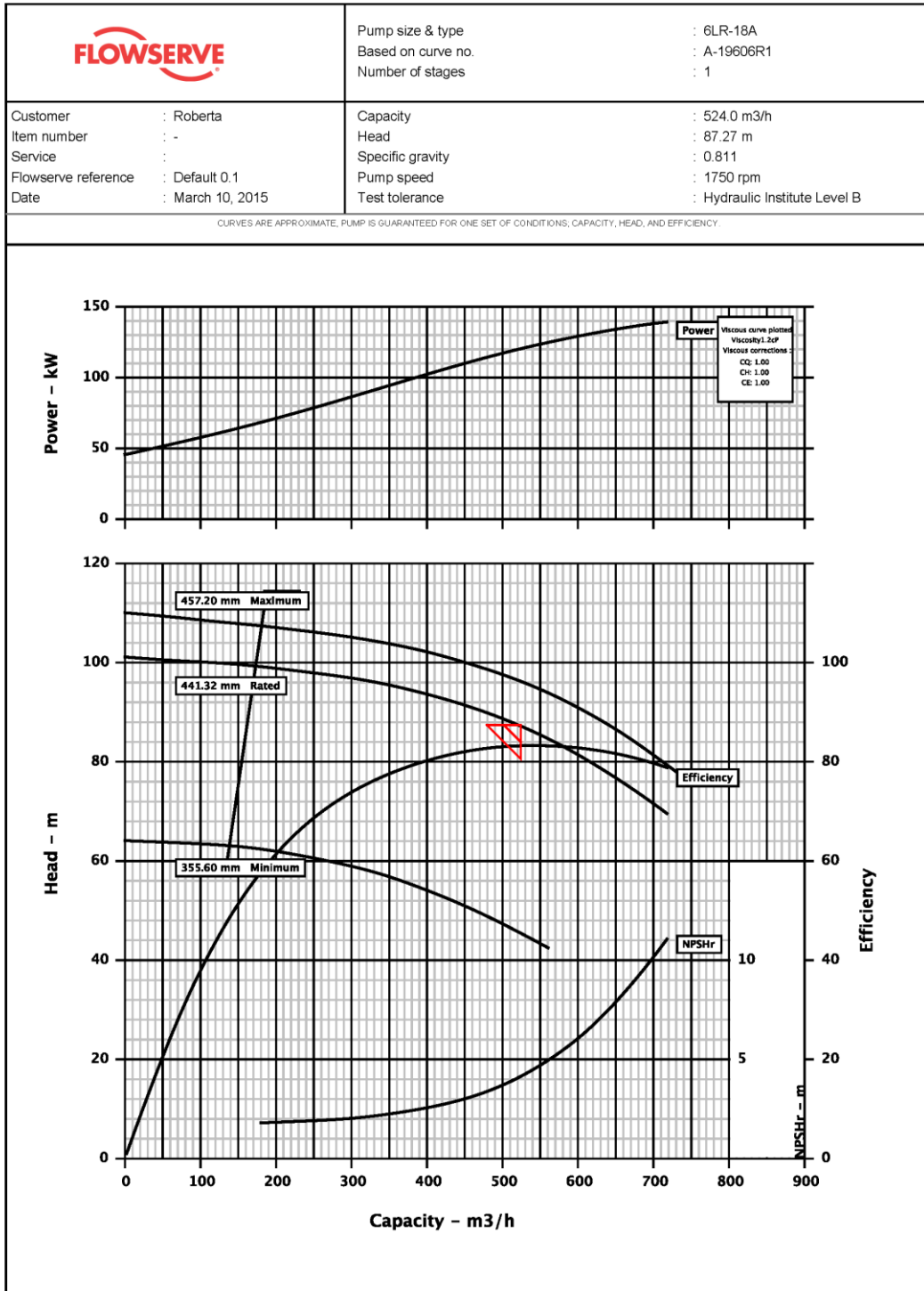
Customer : Roberta	FLOWSERVE	Pump size & type : 201 NM C	
Item Number : -		Based on curve no. : 5989878A	
Service : -		Number of stages : 4	
Flowserve Reference : Default 0.1		Capacity : 524.0 m ³ /h	Specific gravity : 0.811
Date : March 10, 2015		Head : 285.77 m	Pump speed : 1775 rpm



Copyright © 2009 Flowserve. All rights reserved.

FlowSelex v2.2

Anexo B - 6LR-18A





Hydraulic Datasheet

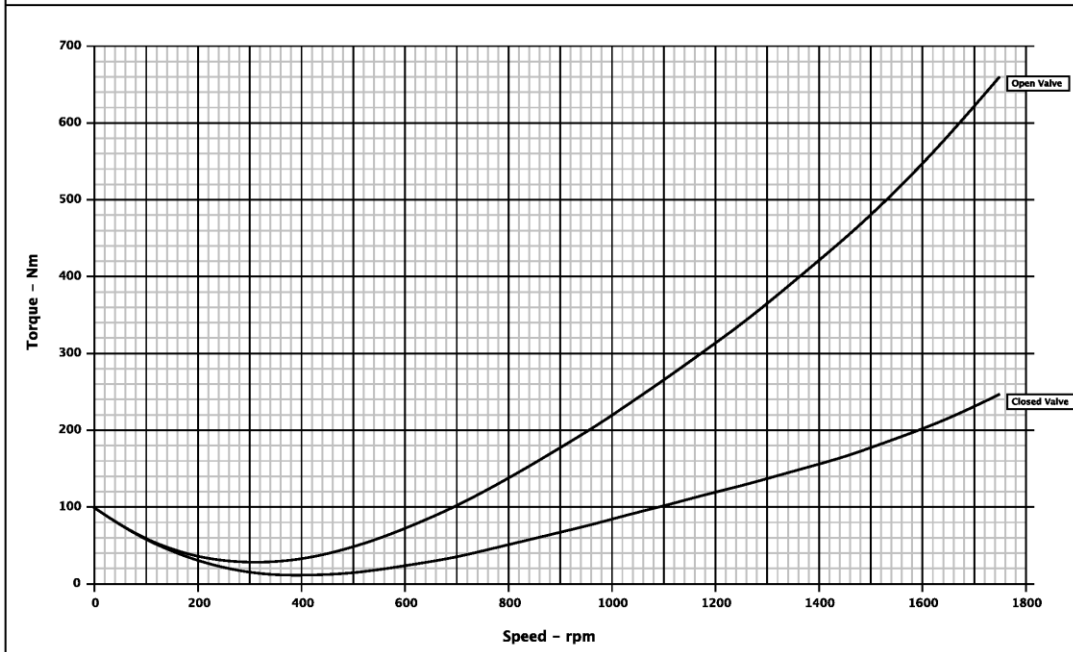
Customer : Roberta	Pump / Stages : 6LR-18A / 1	
Customer reference : Default	Based on curve no. : A-19606R1	
Item number : -	Flowserve reference : Default 0.1	
Service :	Date : March 10, 2015	
Operating Conditions		
Capacity : 524.0 m3/h	Material column code : SF	
Water capacity (CQ=1.00) : 524.0 m3/h		
Normal capacity : -	Pump specification : -	
Total Developed Head : 87.27 m		
Water head (CH=1.00) : 87.27 m	Other Requirements	
NPSH available (NPSHa) : Ample	Hydraulic selection : No specification	
NPSHa less NPSH margin : -	Construction : No specification	
Maximum suction pressure : 0.0 kPa.g	Test tolerance : Hydraulic Institute Level B	
	Driver Sizing : Max Power(MCSF to EOC)with SF	
	Performance data based on standard impeller	
Liquid		
Liquid type : Other		
Temperature / Spec. Gravity : 40 C / 0.811		
Solid Size - Actual / Limit : - / -		
Viscosity / Vapor pressure : 1.2 cP / 12.75 kPa.a		
Performance		
Hydraulic power : 101 kW	Impeller diameter	
Pump speed : 1750 rpm	Rated : 441.3 mm	
Efficiency (CE=1.00) : 83.3 %	Maximum : 457.2 mm	
	Minimum : 355.6 mm	
NPSH required (NPSHr) : 4.0 m	Suction specific speed : 10750 US units	
Rated power : 121 kW	Minimum continuous flow : 173.2 m3/h	
Maximum power : 140 kW	Maximum head @ rated dia : 101.27 m	
Driver power : 149 kW / 200 hp	Flow at BEP : 550.2 m3/h	
Casing working pressure : 804.3 kPa.g	Flow as % of BEP : 95.2 %	
(based on shut off and Rated specific gravity @ Cut dia)	Efficiency at normal flow : -	
Maximum allowable : 1206.6 kPa.g	Impeller dia ratio (rated/max) : 96.5 %	
Hydrostatic test pressure : 1827.1 kPa.g	Head rise to shut off : 16.0 %	
Est. rated seal chamb. press. : -	Total head ratio (rated/max) : 90.6 %	
CURVES ARE APPROXIMATE, PUMP IS GUARANTEED FOR ONE SET OF CONDITIONS; CAPACITY, HEAD, AND EFFICIENCY.		



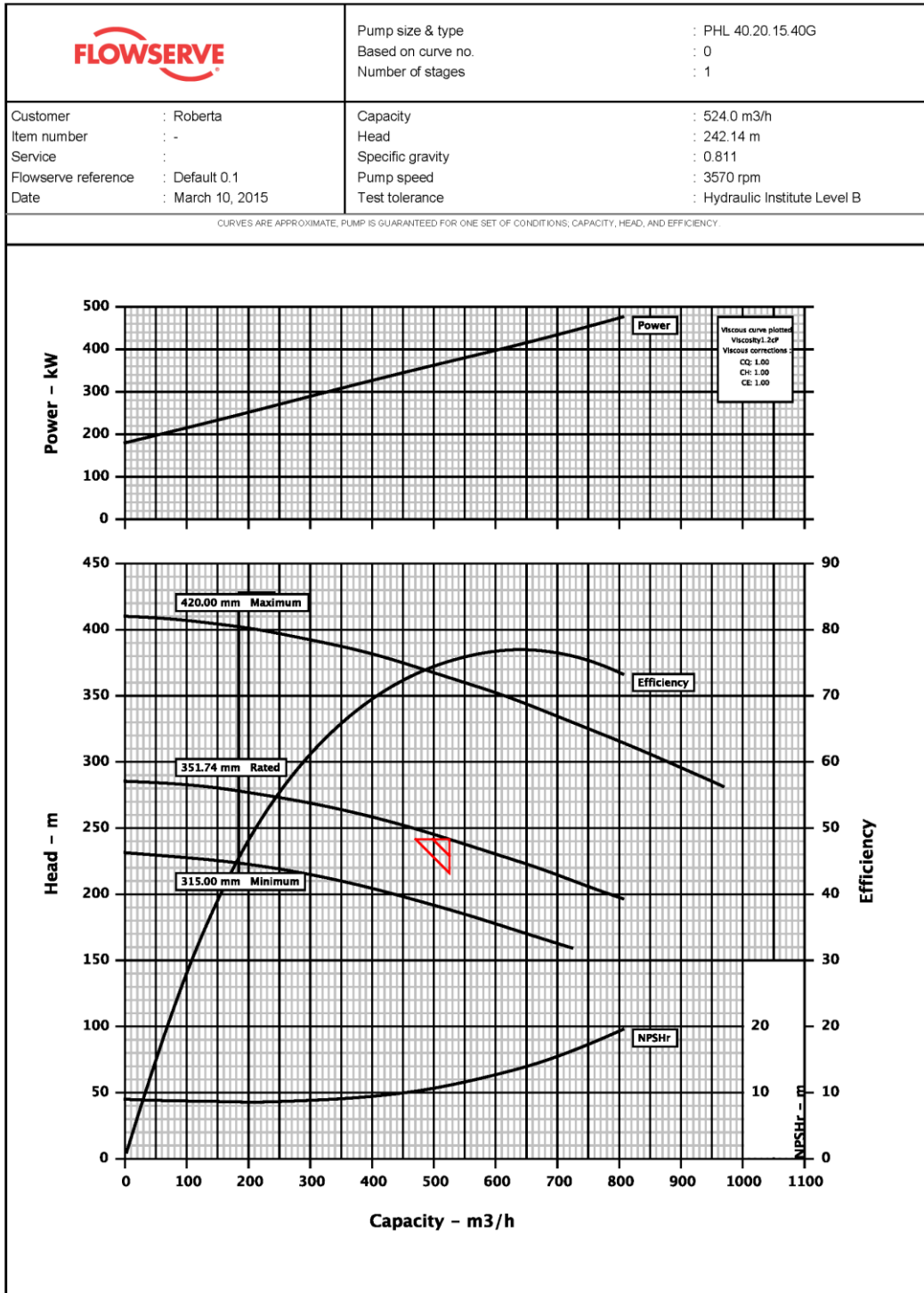
Construction Datasheet

Customer	: Roberta	Pump / Stages	: 6LR-18A / 1						
Customer reference	: Default	Based on curve no.	: A-19606R1						
Item number	: -	Flowserve reference	: Default 0.1						
Service	:	Date	: March 10, 2015						
Construction					Driver Information				
Nozzles	Size	Rating	Face	Pos'n	Manufacturer				
Suction	10 inch	-	FF	Side	Power	: 200 hp / 149 kW			
Discharge	6 inch	-	FF	Side	Service factor (req'st / act)	: 1.0 / -			
Casing mounting : Foot					Speed	: -			
Casing split : Axial					Orientation / Mounting	: Horizontal / -			
Impeller type : Double Entry					Driver Type	: -			
Bearing Type (Rad/Thr) : - / Double row					Frame-size / material	: - /			
Bearing lubrication : -					Enclosure	: -			
Rotation (view from cplg) : -					Hazardous area class	: -			
Materials					Explosion "T" rating	: -			
Casing	: -				Volts / Phase / Hz	: - / 0 / -			
Impeller	: -				Amps-full load/locked rotor	: - / -			
Case wear ring	: -				Motor starting	: Direct on line (DOL)			
Impeller wear ring	: Not Fitted				Insulation	: -			
Inducer	: -				Temperature rise	: -			
Shaft	: -				Motor mounted by	: -			
Sleeve	: -				Seal, Gland and Piping				
Baseplate, Coupling and Guard					Arrangement	: -			
Baseplate type	: -				Size	: 3.0 inch			
Baseplate material	: -				Manufacturer / Type	: - / -			
Coupling manufacturer	: -				Material code (Man'f/API)	: - / -			
Coupling size	: -				Internal neck bushing	: -			
Coupling / Shaft guard	: -				Gland material	: -			
Weights (Approx.)					Flush	: -			
Bareshaft pump(net)	: 453.6 kg				Vent	: None			
Baseplate(net)	: -				Drain	: None			
Driver(net)	: -				Auxiliary sealing device	: None			
Shipping gross weight/vol.	: 567.0 kg / -				Seal flush plan	: -			
					Seal flush material	: -			
					Aux seal flush plan	: -			
					Aux seal flush material	: -			

Customer : Roberta	FLOWSERVE	Pump size & type : 6LR-18A
Item Number : -		Based on curve no. : A-19606R1
Service : -	Capacity : 524.0 m ³ /h	Number of stages : 1
Flowserve Reference : Default 0.1	Head : 87.27 m	Specific gravity : 0.811
Date : March 10, 2015		Pump speed : 1750 rpm



Anexo C - PHL 40.20.15.40G

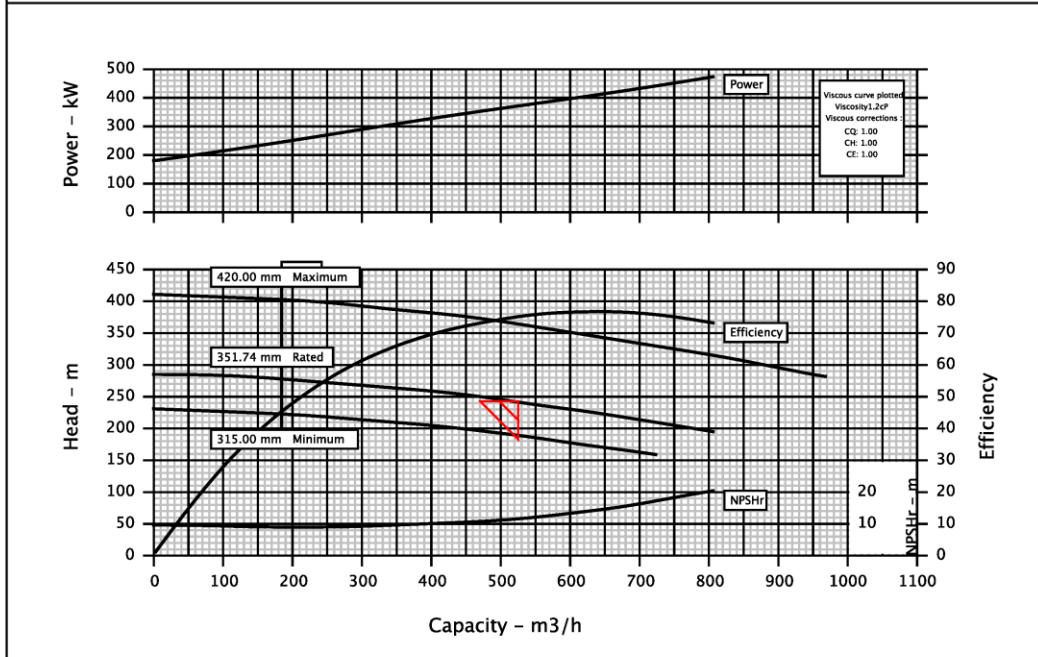




Hydraulic Datasheet

Customer : Roberta	Pump / Stages : PHL 40.20.15.40G / 1	
Customer reference : Default	Based on curve no. : 0	
Item number : -	Flowserve reference : Default 0.1	
Service :	Date : March 10, 2015	
Operating Conditions		
Capacity : 524.0 m3/h	Material column code : S-6	
Water capacity (CQ=1.00) : 524.0 m3/h		
Normal capacity : -	Pump specification : -	
Total Developed Head : 242.14 m		
Water head (CH=1.00) : 242.14 m	Other Requirements	
NPSH available (NPSHa) : Ample	Hydraulic selection : No specification	
NPSHa less NPSH margin : -	Construction : No specification	
Maximum suction pressure : 0.0 kPa.g	Test tolerance : Hydraulic Institute Level B	
	Driver Sizing : Max Power(MCSF to EOC)with SF	
	Seal configuration : Single Seal	
Liquid		
Liquid type : Other		
Temperature / Spec. Gravity : 40 C / 0.811		
Solid Size - Actual / Limit : - / -		
Viscosity / Vapor pressure : 1.2 cP / 12.75 kPa.a		
Performance		
Hydraulic power : 280 kW	Impeller diameter	
Pump speed : 3570 rpm	Rated : 351.7 mm	
Efficiency (CE=1.00) : 75.4 %	Maximum : 420.0 mm	
	Minimum : 315.0 mm	
NPSH required (NPSHr) : 10.6 m	Suction specific speed : 10100 US units	
Rated power : 371 kW	Minimum continuous flow : 183.5 m3/h	
Maximum power : 478 kW	Maximum head @ rated dia : 285.83 m	
Driver power : 522 kW / 700 hp	Flow at BEP : 643.6 m3/h	
Casing working pressure : 2269.9 kPa.g	Flow as % of BEP : 81.4 %	
(based on shut off and Rated specific gravity @ Cut dia)	Efficiency at normal flow : -	
Maximum allowable : 4000.1 kPa.g	Impeller dia ratio (rated/max) : 83.7 %	
Hydrostatic test pressure : 6000.1 kPa.g	Head rise to shut off : 18.0 %	
Est. rated seal chamb. press. : -	Total head ratio (rated/max) : 66.4 %	

CURVES ARE APPROXIMATE, PUMP IS GUARANTEED FOR ONE SET OF CONDITIONS; CAPACITY, HEAD, AND EFFICIENCY.

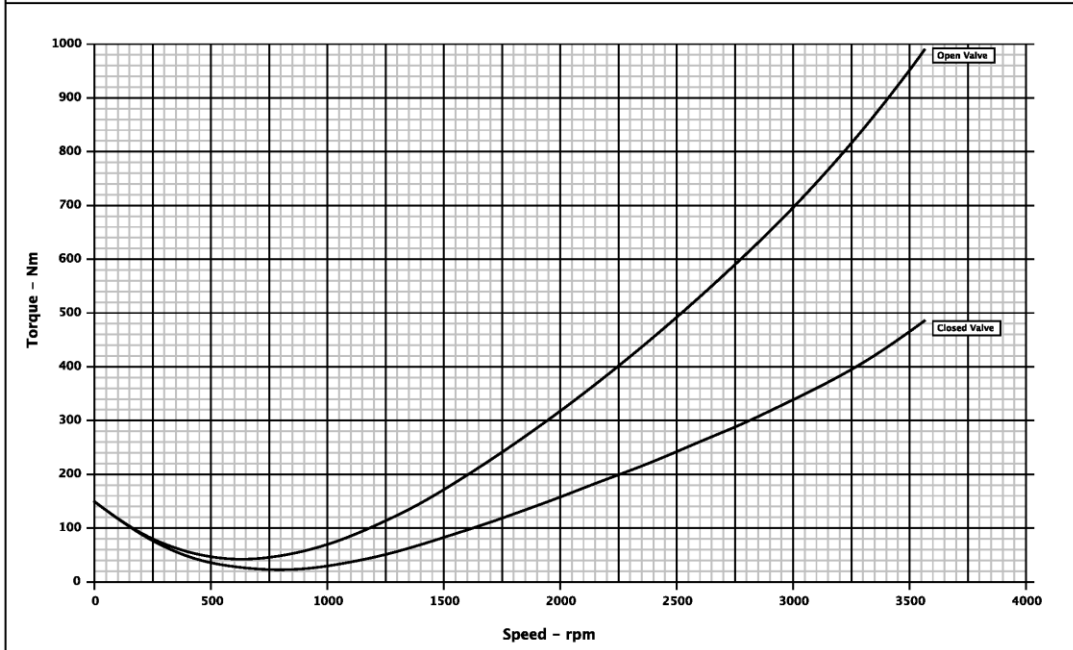




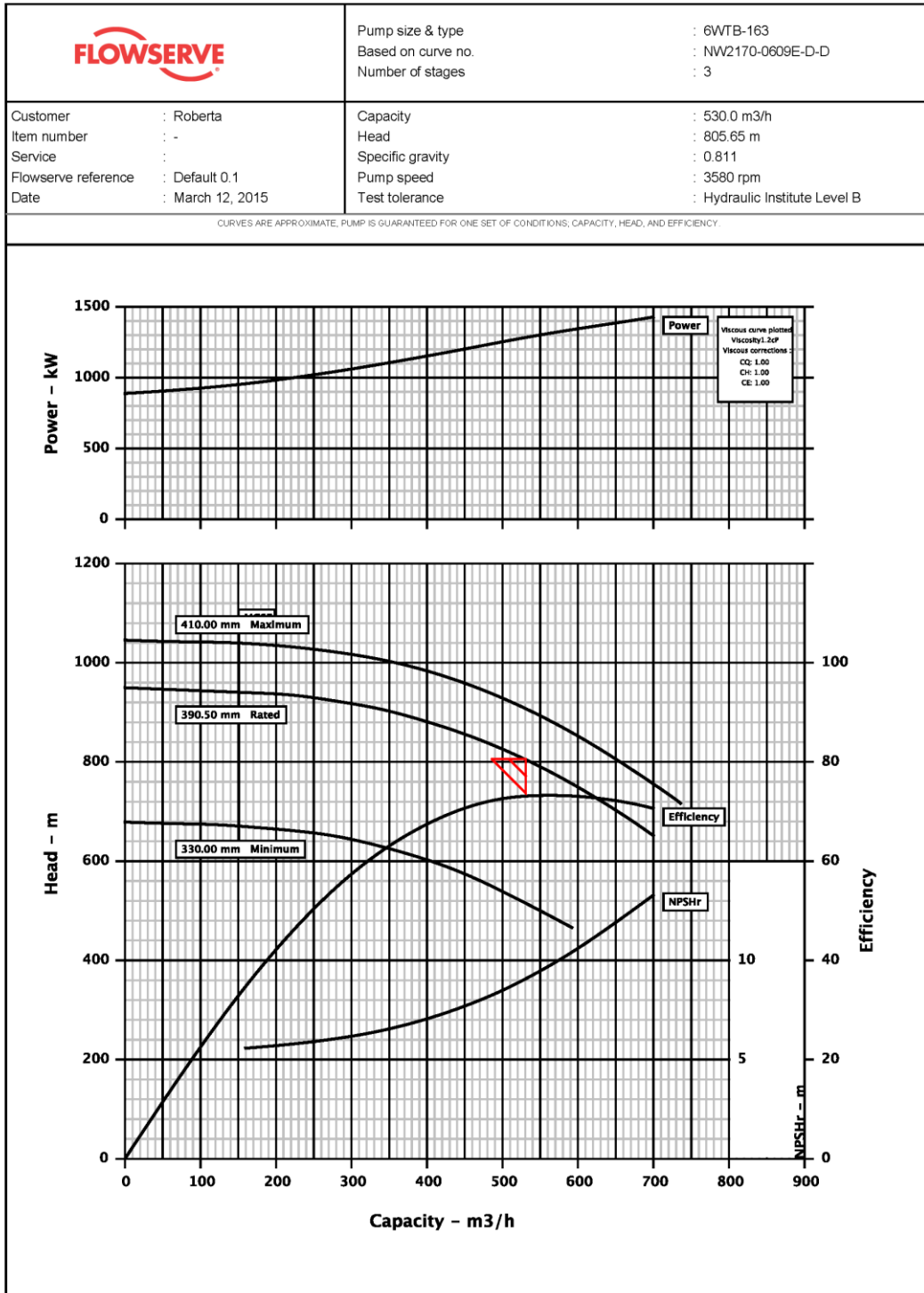
Construction Datasheet

Customer	: Roberta				Pump / Stages	: PHL 40.20.15.40G / 1	
Customer reference	: Default				Based on curve no.	: 0	
Item number	: -				Flowserve reference	: Default 0.1	
Service	: -				Date	: March 10, 2015	
Construction					Driver Information		
Nozzles	Size	Rating	Face	Pos'n	Manufacturer	:	
Suction	8"	-	-	-	Power	: 700 hp / 522 kW	
Discharge	6"	-	-	-	Service factor (req'st / act)	: 1.0 / -	
Casing mounting	: Center-line				Speed	: -	
Casing split	: Radial				Orientation / Mounting	: Horizontal / -	
Impeller type	: Closed				Driver Type	: -	
Bearing type (radial)	: Ball				Frame-size / material	: - /	
Bearing number (radial)	: -				Enclosure	: -	
Bearing type (thrust)	: Ball				Hazardous area class	: -	
Bearing number (thrust)	: -				Explosion 'T' rating	: -	
Bearing lubrication	: Flood				Volts / Phase / Hz	: - / 0 / 50-60	
Rotation (view from cplg)	: CCW per Hyd. Institute				Amps-full load/locked rotor	: - / -	
Materials					Motor starting	: Direct on line (DOL)	
Casing	: -				Insulation	: -	
Impeller	: -				Temperature rise	: -	
Case wear ring	: -				Bearings	: -	
Impeller wear ring	: -				Lubrication	: -	
Inducer	: N/A				Motor mounted by	: -	
Shaft	: -				Sound Pressure (dBA @ 1.0 m)		
Sleeve	: See Mechanical Seal				Driver, expected	: -	
					Pump & driver, estimated	: -	
Baseplate, Coupling and Guard					Seal Information		
Baseplate type	: -				Arrangement	: -	
Baseplate material	: -				Size	: -	
Coupling manufacturer	: -				Manufacturer / Type	: - / -	
Coupling size	: -				Material code (Man'/API)	: - / -	
Coupling / Shaft guard	: -				Internal neck bushing	: -	
Weights (Approx.)					Gland		
Bareshaft pump(net)	: 850.0 kg				Gland material	: -	
Baseplate(net)	: -				Flush	: -	
Driver(net)	: -				Vent	: -	
Shipping gross weight/vol.	: - / -				Drain	: -	
Testing					Auxiliary seal device	: -	
Hydrostatic test	: -				Piping		
Performance test	: -				Seal flush plan	: -	
NPSH test	: -				Seal flush construction	: -	
Paint and Package					Seal flush material	: -	
Pump paint	: -				Aux seal flush plan	: -	
Base grout surface prep	: -				Aux seal flush construction	: -	
Shipment type	: -				Aux seal flush material	: -	
Notes							
-							
-							
-							
-							
-							
-							

Customer : Roberta	FLOWSERVE	Pump size & type : PHL 40.20.15.40G
Item Number : -		Based on curve no. : 0
Service : -	Capacity : 524.0 m ³ /h	Number of stages : 1
Flowserve Reference : Default 0.1	Head : 242.14 m	Specific gravity : 0.811
Date : March 10, 2015		Pump speed : 3570 rpm



Anexo D - 6WTB-163

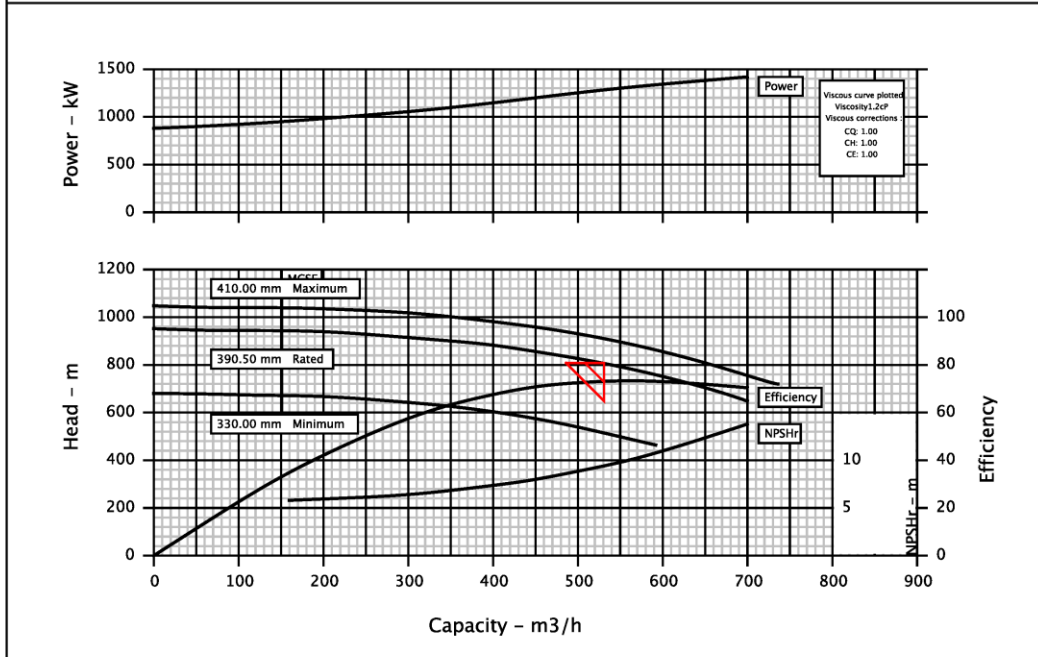




Hydraulic Datasheet

Customer : Roberta	Pump / Stages : 6WTB-163 / 3	
Customer reference : Default	Based on curve no. : NW2170-0609E-D-D	
Item number : -	Flowserve reference : Default 0.1	
Service :	Date : March 12, 2015	
Operating Conditions		
Capacity : 530.0 m3/h	Material column code : S-5	
Water capacity (CQ=1.00) : 530.0 m3/h	Pump specification : -	
Normal capacity : -	Other Requirements	
Total Developed Head : 805.65 m	Hydraulic selection : No specification	
Water head (CH=1.00) : 805.65 m	Construction : No specification	
NPSH available (NPSHa) : Ample	Test tolerance : Hydraulic Institute Level B	
NPSHa less NPSH margin : -	Driver Sizing : Max Power(MCSF to EOC)with SF	
Maximum suction pressure : 0.0 kPa.g	Seal configuration : Single Seal	
Liquid		
Liquid type : Other		
Temperature / Spec. Gravity : 40 C / 0.811		
Solid Size - Actual / Limit : - / -		
Viscosity / Vapor pressure : 1.2 cP / 12.75 kPa.a		
Performance		
Hydraulic power : 942 kW	Impeller diameter	
Pump speed : 3580 rpm	Rated : 390.5 mm	
Efficiency (CE=1.00) : 73.3 %	Maximum : 410.0 mm	
	Minimum : 330.0 mm	
NPSH required (NPSHr) : 8.8 m	Suction specific speed : 9410 US units	
Rated power : 1284 kW	Minimum continuous flow : 150.0 m3/h	
Maximum power : 1424 kW	Maximum head @ rated dia : 948.30 m	
Driver power : 1491 kW / 2000 hp	Flow at BEP : 561.6 m3/h	
Casing working pressure : 7531.1 kPa.g	Flow as % of BEP : 94.4 %	
(based on shut off and Rated specific gravity @ Cut dia)	Efficiency at normal flow : -	
Maximum allowable : 9696.7 kPa.g	Impeller dia ratio (rated/max) : 95.2 %	
Hydrostatic test pressure : 11296.6 kPa.g	Head rise to shut off : 17.7 %	
Est. rated seal chamb. press. : -	Total head ratio (rated/max) : 88.7 %	

CURVES ARE APPROXIMATE, PUMP IS GUARANTEED FOR ONE SET OF CONDITIONS; CAPACITY, HEAD, AND EFFICIENCY.

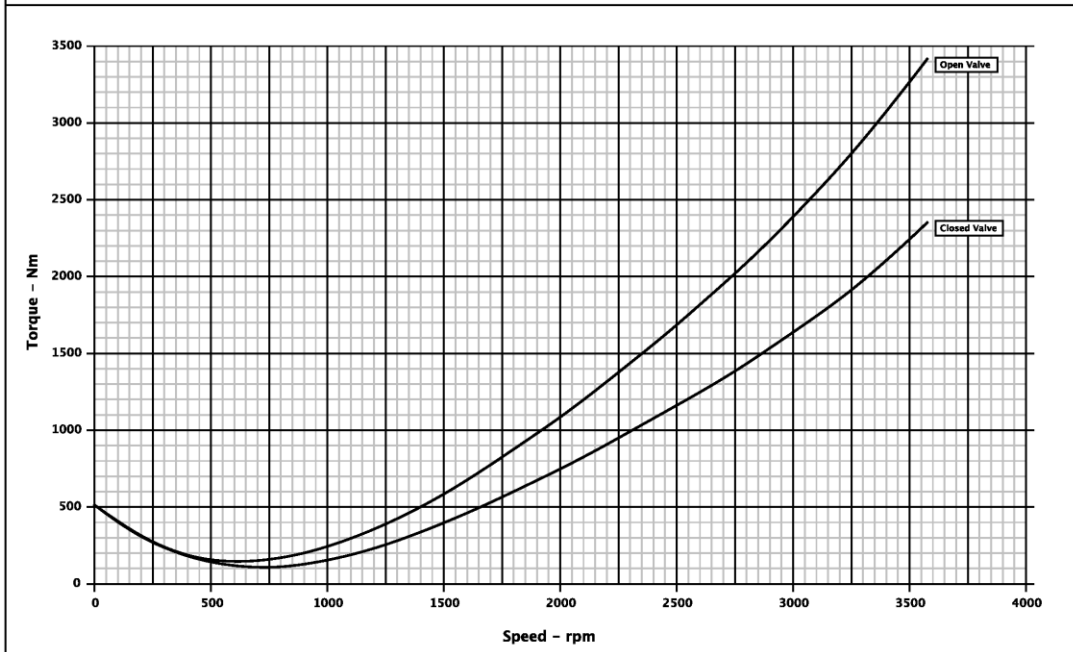




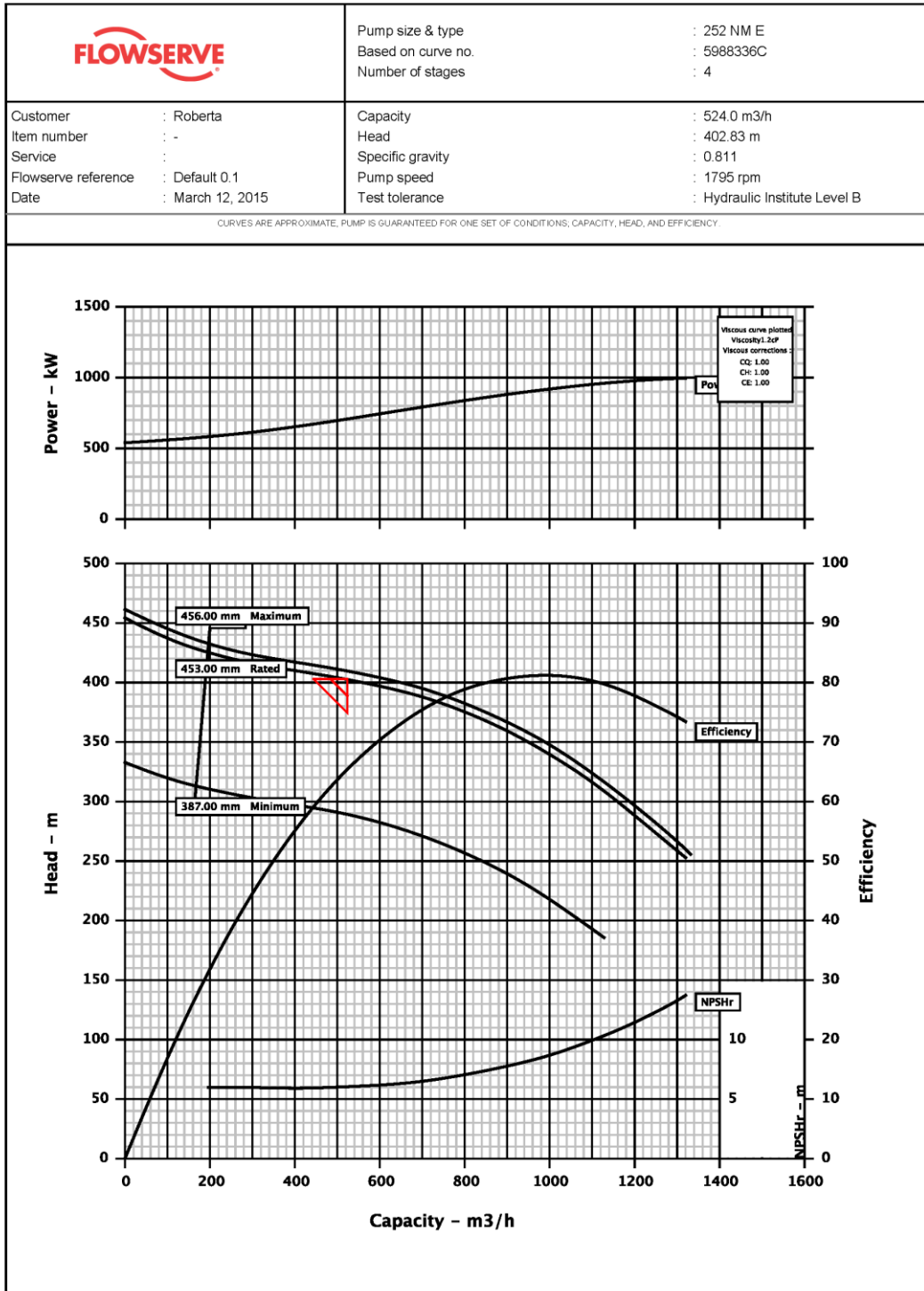
Construction Datasheet

Customer	: Roberta				Pump / Stages	: 6WTB-163 / 3	
Customer reference	: Default				Based on curve no.	: NW2170-0609E-D-D	
Item number	: -				Flowserve reference	: Default 0.1	
Service	: -				Date	: March 12, 2015	
Construction					Driver Information		
Nozzles	Size	Rating	Face	Pos'n	Manufacturer	:	
Suction	203. mm	-	-	-	Power	: 2000 hp / 1491 kW	
Discharge	152. mm	-	-	-	Service factor (req'st / act)	: 1.0 / -	
Casing mounting	: -				Speed	: -	
Casing split	: -				Orientation / Mounting	: Horizontal / -	
Impeller type	: -				Driver Type	: -	
Bearing type (radial)	: -				Frame-size / material	: - /	
Bearing number (radial)	: -				Enclosure	: -	
Bearing type (thrust)	: -				Hazardous area class	: -	
Bearing number (thrust)	: -				Explosion 'T' rating	: -	
Bearing lubrication	: -				Volts / Phase / Hz	: - / 0 / -	
Rotation (view from cplg)	: -				Amps-full load/locked rotor	: - / -	
Materials					Motor starting	: Direct on line (DOL)	
Casing	: -				Insulation	: -	
Impeller	: -				Temperature rise	: -	
Case wear ring	: -				Bearings	: -	
Impeller wear ring	: -				Lubrication	: -	
Inducer	: -				Motor mounted by	: -	
Shaft	: -				Sound Pressure (dBA @ 1.0 m)		
Sleeve	: -				Driver, expected	: -	
Baseplate, Coupling and Guard					Pump & driver, estimated	: -	
Baseplate type	: -				Seal Information		
Baseplate material	: -				Arrangement	: -	
Coupling manufacturer	: -				Size	: -	
Coupling size	: -				Manufacturer / Type	: - / -	
Coupling / Shaft guard	: -				Material code (Man't/API)	: - / -	
	: -				Internal neck bushing	: -	
Weights (Approx.)					Gland		
Bareshaft pump(net)	: -				Gland material	: -	
Baseplate(net)	: -				Flush	: -	
Driver(net)	: -				Vent	: -	
Shipping gross weight/vol.	: - / -				Drain	: -	
Testing					Auxiliary seal device	: -	
Hydrostatic test	: -				Piping		
Performance test	: -				Seal flush plan	: -	
NPSH test	: -				Seal flush construction	: -	
Paint and Package					Seal flush material	: -	
Pump paint	: -				Aux seal flush plan	: -	
Base grout surface prep	: -				Aux seal flush construction	: -	
Shipment type	: -				Aux seal flush material	: -	
Notes							
-							
-							
-							
-							
-							
-							

Customer : Roberta	FLowsERVE	Pump size & type : 6WTB-163
Item Number : -		Based on curve no. : NW2170-0609E-D-D
Service : -	Capacity : 530.0 m ³ /h	Number of stages : 3
Flowserve Reference : Default 0.1	Head : 805.65 m	Specific gravity : 0.811
Date : March 12, 2015		Pump speed : 3580 rpm



Anexo E - 252 NM E

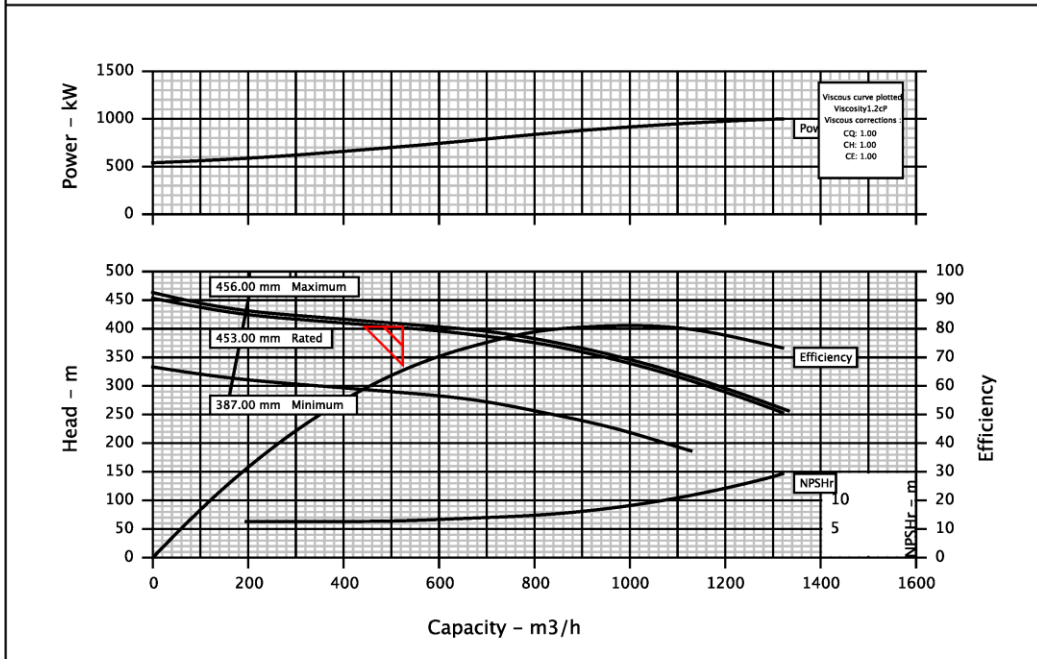




Hydraulic Datasheet

Customer : Roberta	Pump / Stages : 252 NM E / 4	
Customer reference : Default	Based on curve no. : 5988336C	
Item number : -	Flowserve reference : Default 0.1	
Service :	Date : March 12, 2015	
Operating Conditions		
Capacity : 524.0 m3/h	Material column code : FB1	
Water capacity (CQ=1.00) : 524.0 m3/h		
Normal capacity : -	Pump specification : -	
Total Developed Head : 402.83 m		
Water head (CH=1.00) : 402.83 m	Other Requirements	
NPSH available (NPSHa) : Ample	Hydraulic selection : No specification	
NPSHa less NPSH margin : -	Construction : No specification	
Maximum suction pressure : 0.0 kPa.g	Test tolerance : Hydraulic Institute Level B	
	Driver Sizing : Max Power(MCSF to EOC)with SF	
Liquid		
Liquid type : Other		
Temperature / Spec. Gravity : 40 C / 0.811		
Solid Size - Actual / Limit : - / -		
Viscosity / Vapor pressure : 1.2 cP / 12.75 kPa.a		
Performance		
Hydraulic power : 466 kW	Impeller diameter	
Pump speed : 1795 rpm	Rated : 453.0 mm	
Efficiency (CE=1.00) : 65.6 %	Maximum : 456.0 mm	
	Minimum : 387.0 mm	
NPSH required (NPSHr) : 5.7 m	Suction specific speed : 10150 US units	
Rated power : 709 kW	Minimum continuous flow : 194.0 m3/h	
Maximum power : 1003 kW	Maximum head @ rated dia : 454.27 m	
Driver power : 1119 kW / 1500 hp	Flow at BEP : 981.8 m3/h	
Casing working pressure : 3607.7 kPa.g	Flow as % of BEP : 53.4 %	
(based on shut off and Rated specific gravity @ Cut dia)	Efficiency at normal flow : -	
Maximum allowable : 4100.0 kPa.g	Impeller dia ratio (rated/max) : 99.3 %	
Hydrostatic test pressure : 6000.1 kPa.g	Head rise to shut off : 12.8 %	
Est. rated seal chamb. press. : -	Total head ratio (rated/max) : 98.3 %	

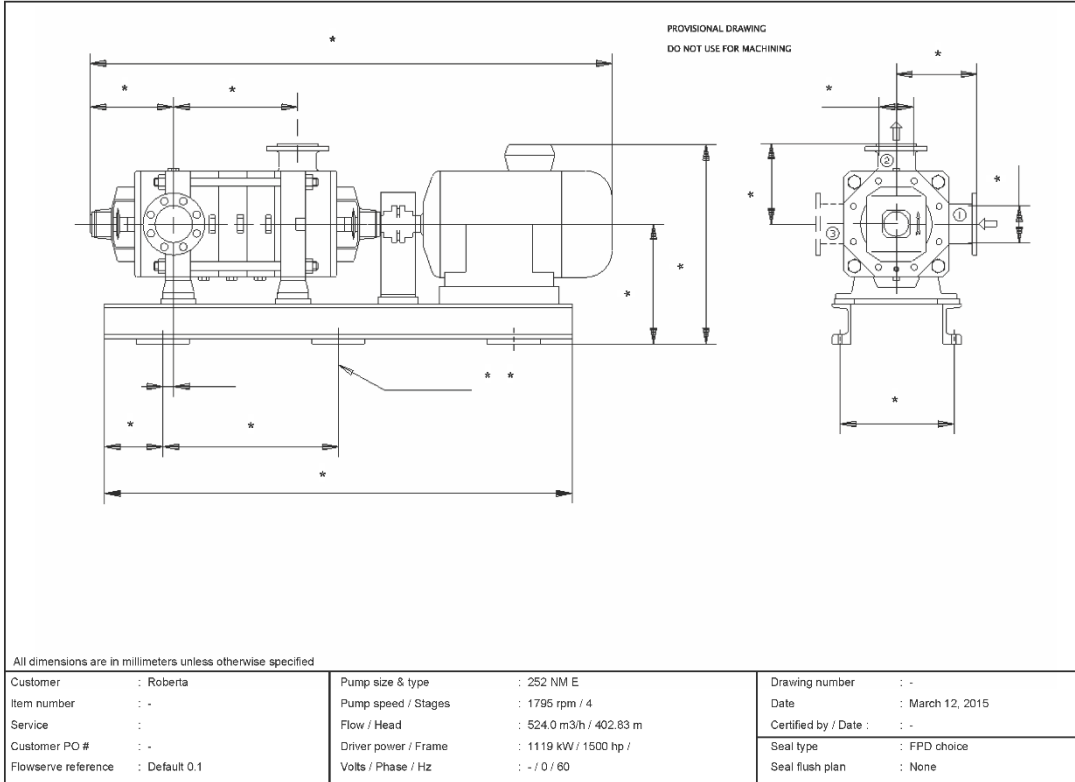
CURVES ARE APPROXIMATE, PUMP IS GUARANTEED FOR ONE SET OF CONDITIONS, CAPACITY, HEAD, AND EFFICIENCY.



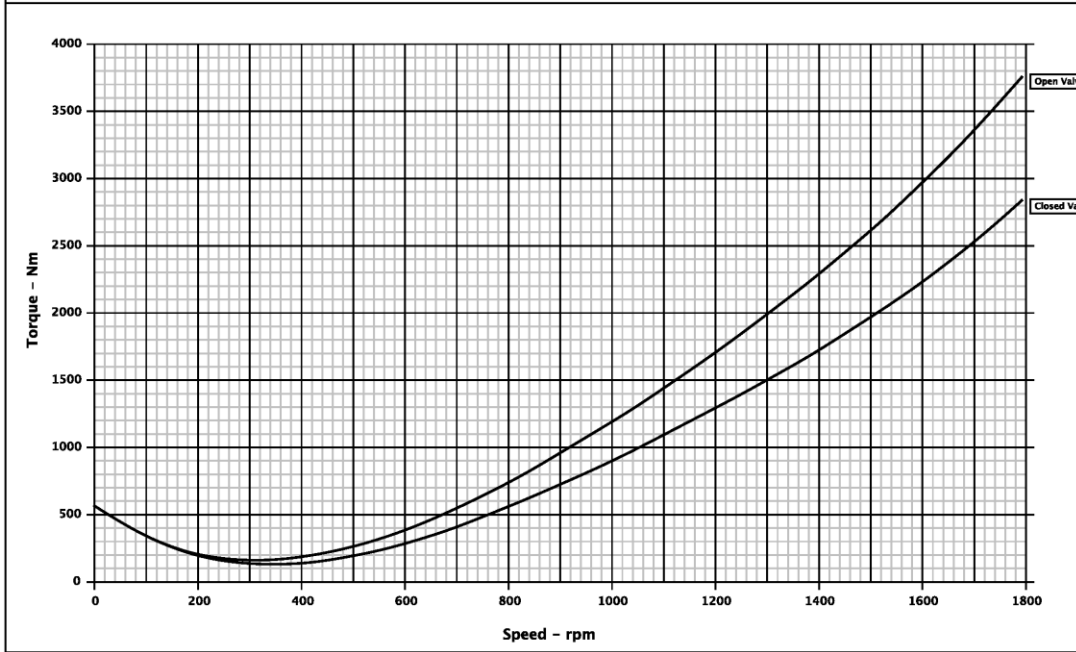


Construction Datasheet

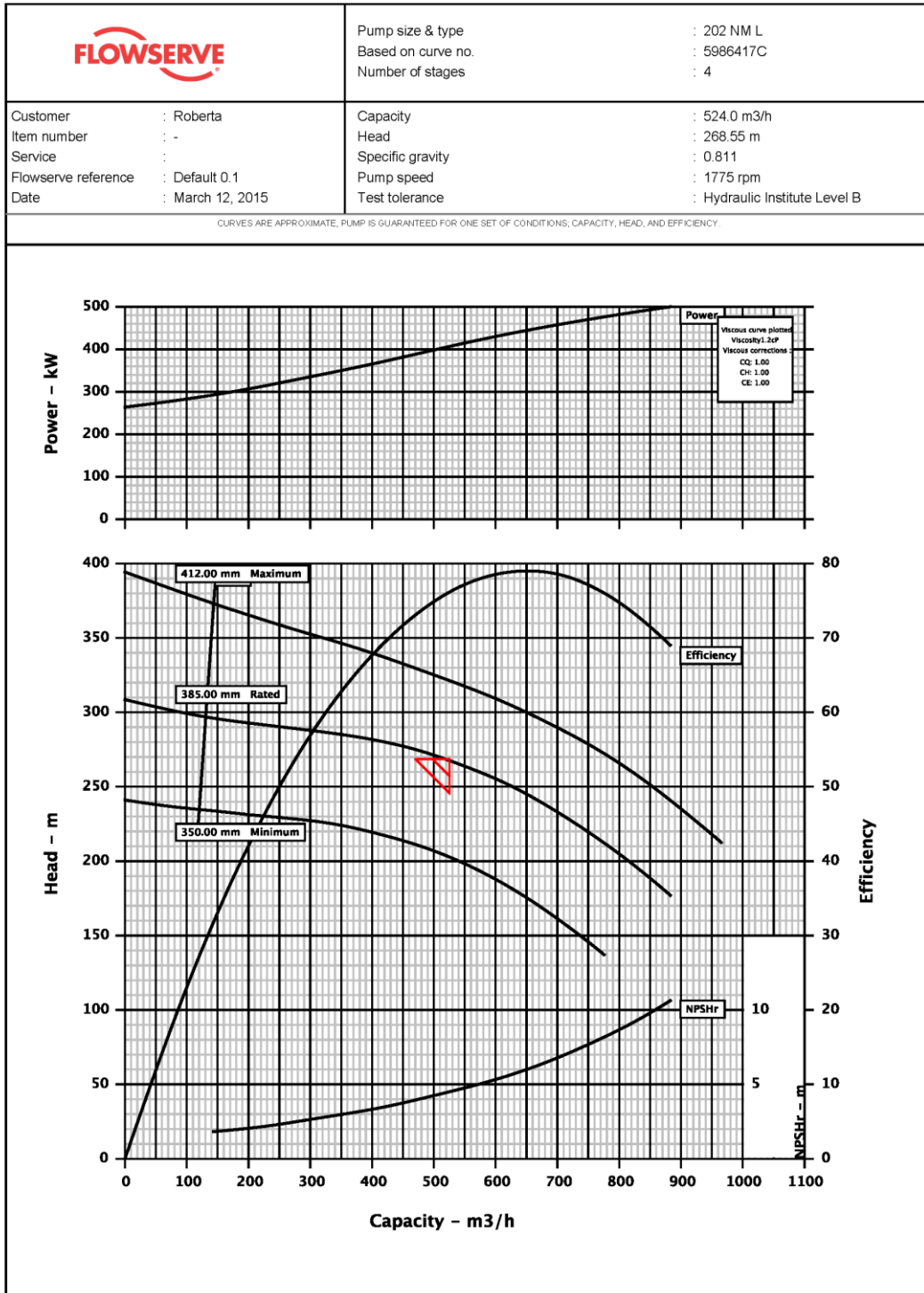
Customer	: Roberta				Pump / Stages	: 252 NM E / 4	
Customer reference	: Default				Based on curve no.	: 5988336C	
Item number	: -				Flowserve reference	: Default 0.1	
Service	: -				Date	: March 12, 2015	
Construction					Driver Information		
Nozzles	Size	Rating	Face	Pos'n	Manufacturer	:	
Suction	DN 300	PN16	FF	-	Power	: 1500 hp / 1119 kW	
Discharge	DN 250	PN40	RF	-	Service factor (req'st / act)	: 1.0 / -	
Casing mounting	: Foot				Speed	: -	
Casing split	: Radial				Orientation / Mounting	: Horizontal / -	
Impeller type	: Closed				Driver Type	: -	
Bearing type (radial)	: Roller				Frame-size / material	: - /	
Bearing number (radial)	: NU 220 EC				Enclosure	: -	
Bearing type (thrust)	: Double-row				Hazardous area class	: -	
Bearing number (thrust)	: 2x7220 BE				Explosion 'T' rating	: -	
Bearing lubrication	: Grease				Volts / Phase / Hz	: - / 0 / 60 Hz	
Rotation (view from cplg)	: -				Amps-full load/locked rotor	: - / -	
Materials					Motor starting	: Direct on line (DOL)	
Casing	: C.I. EN-GJL-250				Insulation	: -	
Impeller	: -				Temperature rise	: -	
Case wear ring	: N/A				Bearings	: -	
Impeller wear ring	: N/A				Lubrication	: -	
Inducer	: N/A				Motor mounted by	: FPD	
Shaft	: -				Sound Pressure (dBA @ 1.0 m)		
Sleeve	: 13% chrome steel				Driver, expected	: -	
Baseplate, Coupling and Guard					Pump & driver, estimated	: -	
Baseplate type	: -				Seal Information		
Baseplate material	: Steel				Arrangement	: -	
Coupling manufacturer	: -				Size	: -	
Coupling size	: -				Manufacturer / Type	: FPD choice / FPD choice	
Coupling / Shaft guard	: -				Material code (Man't/API)	: - / -	
Weights (Approx.)					Internal neck bushing	: N/A	
Bareshaft pump(net)	: -				Gland		
Baseplate(net)	: -				Gland material	: N/A	
Driver(net)	: -				Flush	: N/A	
Shipping gross weight/vol.	: 0.0 kg		: / -		Vent	: N/A	
Testing					Drain	: N/A	
Hydrostatic test	: -				Auxiliary seal device	: N/A	
Performance test	: -				Piping		
NPSH test	: -				Seal flush plan	: None	
Paint and Package					Seal flush construction	: -	
Pump paint	: -				Seal flush material	: -	
Base grout surface prep	: -				Aux seal flush plan	: -	
Shipment type	: -				Aux seal flush construction	: -	
	: -				Aux seal flush material	: -	
	: -				Notes		
	: -				Sound levels not guaranteed.		
	: -				-		
	: -				-		
	: -				-		
	: -				-		
	: -				-		



Customer : Roberta	FLowsERVE	Pump size & type : 252 NM E
Item Number : -		Based on curve no. : 5988336C
Service : -		Number of stages : 4
Flowsolve Reference : Default 0.1	Capacity : 524.0 m ³ /h	Specific gravity : 0.811
Date : March 12, 2015	Head : 402.83 m	Pump speed : 1795 rpm



Anexo F - 202 NM L

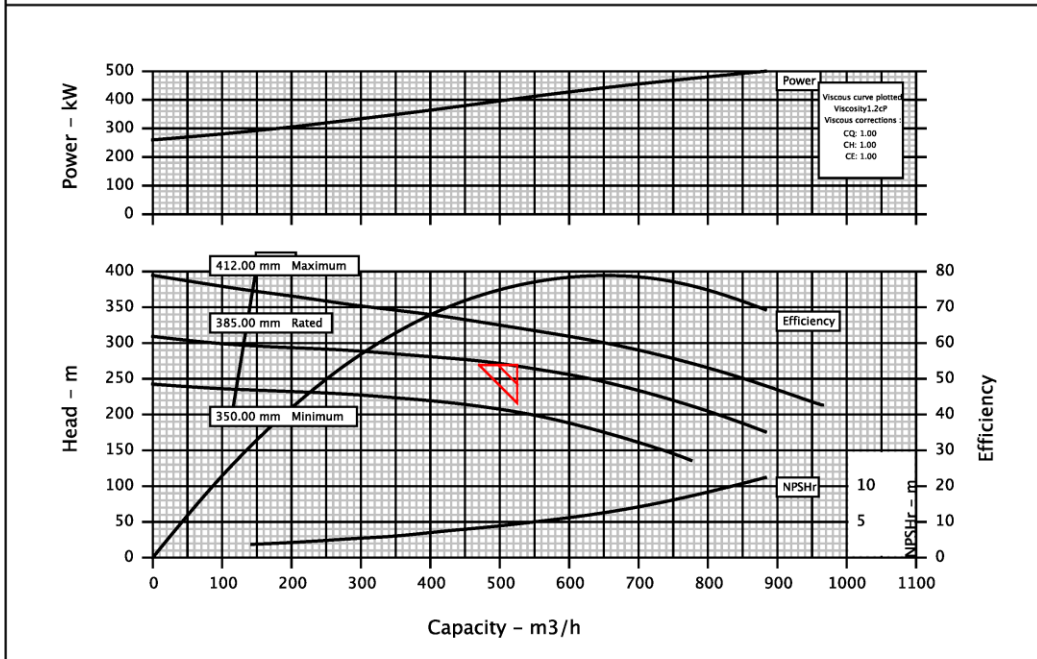




Hydraulic Datasheet

Customer : Roberta	Pump / Stages : 202 NM L / 4	
Customer reference : Default	Based on curve no. : 5986417C	
Item number : -	Flowserve reference : Default 0.1	
Service :	Date : March 12, 2015	
Operating Conditions		
Capacity : 524.0 m3/h	Material column code : FB1	
Water capacity (CQ=1.00) : 524.0 m3/h		
Normal capacity : -	Pump specification : -	
Total Developed Head : 268.55 m		
Water head (CH=1.00) : 268.55 m	Other Requirements	
NPSH available (NPSHa) : Ample	Hydraulic selection : No specification	
NPSHa less NPSH margin : -	Construction : No specification	
Maximum suction pressure : 0.0 kPa.g	Test tolerance : Hydraulic Institute Level B	
	Driver Sizing : Max Power(MCSF to EOC)with SF	
Liquid		
Liquid type : Other		
Temperature / Spec. Gravity : 40 C / 0.811		
Solid Size - Actual / Limit : - / -		
Viscosity / Vapor pressure : 1.2 cP / 12.75 kPa.a		
Performance		
Hydraulic power : 310 kW	Impeller diameter	
Pump speed : 1775 rpm	Rated : 385.0 mm	
Efficiency (CE=1.00) : 76.4 %	Maximum : 412.0 mm	
	Minimum : 350.0 mm	
NPSH required (NPSHr) : 4.3 m	Suction specific speed : 9770 US units	
Rated power : 406 kW	Minimum continuous flow : 133.3 m3/h	
Maximum power : 500 kW	Maximum head @ rated dia : 309.10 m	
Driver power : 522 kW / 700 hp	Flow at BEP : 650.5 m3/h	
Casing working pressure : 2454.8 kPa.g	Flow as % of BEP : 80.5 %	
(based on shut off and Rated specific gravity @ Cut dia)	Efficiency at normal flow : -	
Maximum allowable : 3500.1 kPa.g	Impeller dia ratio (rated/max) : 93.4 %	
Hydrostatic test pressure : 5250.1 kPa.g	Head rise to shut off : 15.1 %	
Est. rated seal chamb. press. : -	Total head ratio (rated/max) : 83.4 %	

CURVES ARE APPROXIMATE, PUMP IS GUARANTEED FOR ONE SET OF CONDITIONS; CAPACITY, HEAD, AND EFFICIENCY.



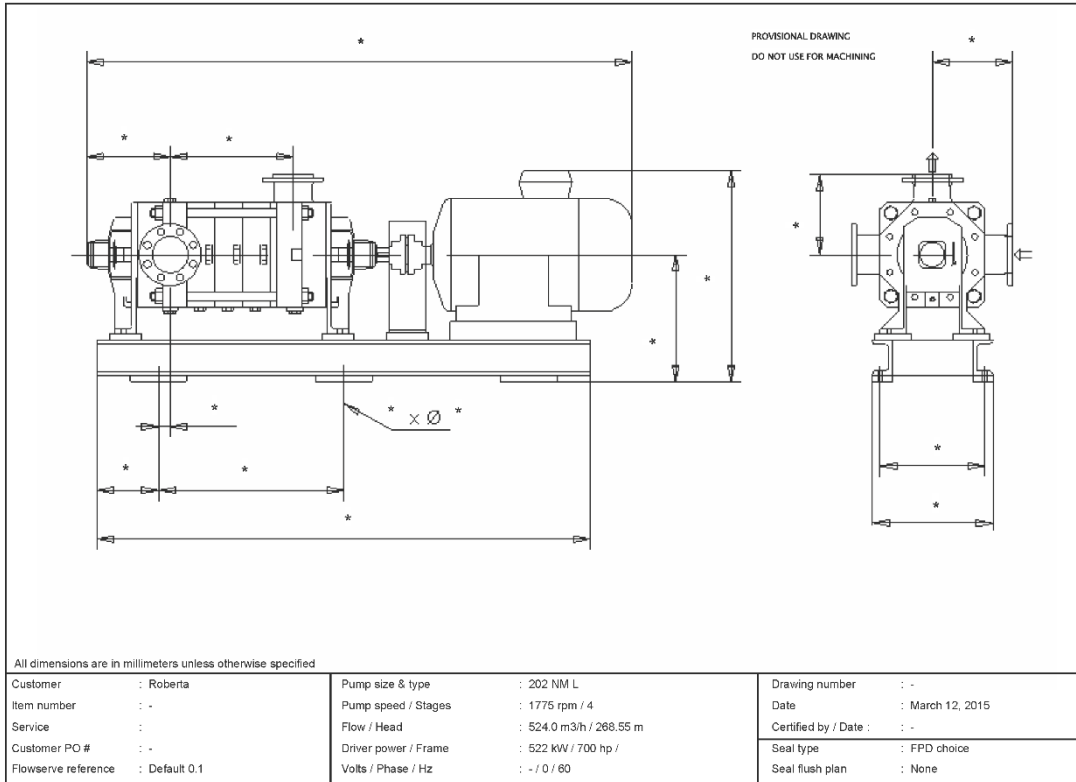


Construction Datasheet

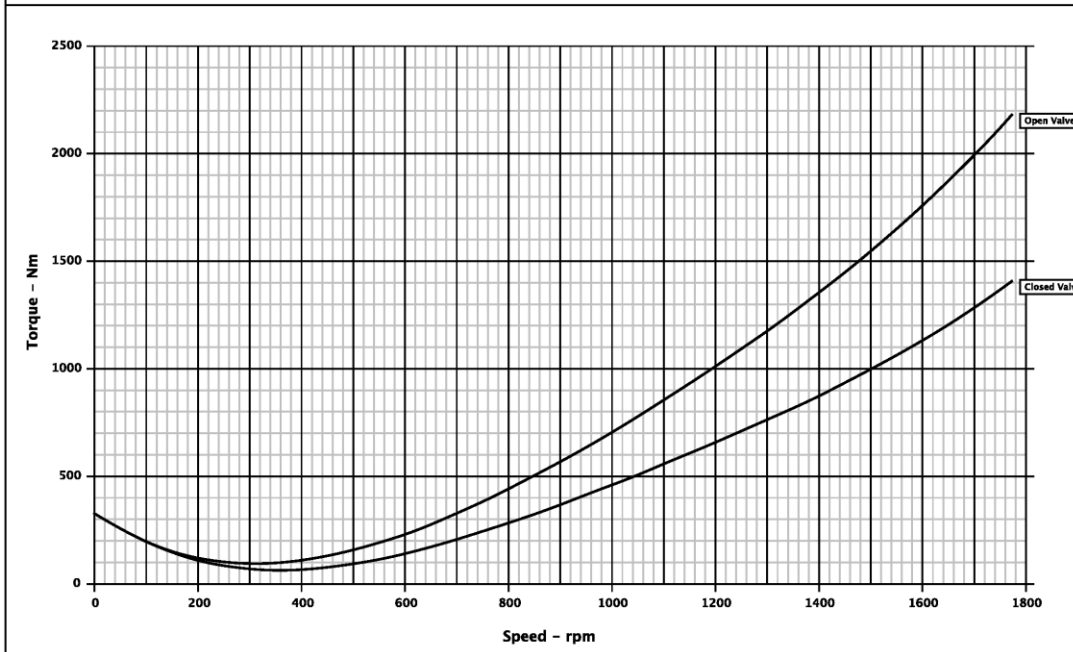
Customer	: Roberta				Pump / Stages	: 202 NM L	/ 4
Customer reference	: Default				Based on curve no.	: 5986417C	
Item number	: -				Flowserve reference	: Default 0.1	
Service	:				Date	: March 12, 2015	
Construction					Driver Information		
Nozzles	Size	Rating	Face	Pos'n	Manufacturer	:	
Suction	DN 250	PN10	FF	-	Power	: 700 hp / 522 kW	
Discharge	DN 200	PN40	RF	-	Service factor (req'st / act)	: 1.0 / -	
Casing mounting	: Foot				Speed	: -	
Casing split	: Radial				Orientation / Mounting	: Horizontal / -	
Impeller type	: Closed				Driver Type	: -	
Bearing type (radial)	: Roller				Frame-size / material	: - /	
Bearing number (radial)	: NU 219 EC				Enclosure	: -	
Bearing type (thrust)	: Double-row				Hazardous area class	: -	
Bearing number (thrust)	: 2x7219 BE				Explosion 'T' rating	: -	
Bearing lubrication	: Grease				Volts / Phase / Hz	: - / 0 / 60 Hz	
Rotation (view from cplg)	: -				Amps-full load/locked rotor	: - / -	
Materials					Motor starting	: Direct on line (DOL)	
Casing	: C.I. EN-GJL-250				Insulation	: -	
Impeller	: -				Temperature rise	: -	
Case wear ring	: N/A				Bearings	: -	
Impeller wear ring	: N/A				Lubrication	: -	
Inducer	: N/A				Motor mounted by	: FPD	
Shaft	: -				Sound Pressure (dBA @ 1.0 m)		
Sleeve	: 13% chrome steel				Driver, expected	: -	
Baseplate, Coupling and Guard					Pump & driver, estimated	: -	
Baseplate type	: -				Seal Information		
Baseplate material	: Steel				Arrangement	: -	
Coupling manufacturer	: -				Size	: -	
Coupling size	: -				Manufacturer / Type	: FPD choice / FPD choice	
Coupling / Shaft guard	: -				Material code (Man'f/API)	: - / -	
Weights (Approx.)					Internal neck bushing	: N/A	
Bareshaft pump(net)	: -				Gland		
Baseplate(net)	: -				Gland material	: N/A	
Driver(net)	: -				Flush	: N/A	
Shipping gross weight/vol.	: 0.0 kg		/ -		Vent	: N/A	
Testing					Drain	: N/A	
Hydrostatic test	: -				Auxiliary seal device	: N/A	
Performance test	: -				Piping		
NPSH test	: -				Seal flush plan	: None	
Paint and Package					Seal flush construction	: -	
Pump paint	: -				Seal flush material	: -	
Base grout surface prep	: -				Aux seal flush plan	: -	
Shipment type	: -				Aux seal flush construction	: -	
	: -				Aux seal flush material	: -	
	: -				Notes		
	: -				Sound levels not guaranteed.		
	: -				-		
	: -				-		
	: -				-		
	: -				-		
	: -				-		



Full Page GA Drawing



Customer : Roberta	FLOWSERVE	Pump size & type : 202 NM L
Item Number : -		Based on curve no. : 5986417C
Service : -	Capacity : 524.0 m ³ /h	Number of stages : 4
Flowsolve Reference : Default 0.1	Head : 268.55 m	Specific gravity : 0.811
Date : March 12, 2015		Pump speed : 1775 rpm



Anexo G - Relatório ANEEL

Anexo G		Detalhes		Localizar								
1	2	3	4	5	A	B	C	D	E	F	G	
Ano	Mes	NomeRegiao	DescClasseConsumo		Empresa	Consumo de Energia Elétrica em MWh	Receita de Fornecimento de Energia Elétrica	Receita de Fornecimento de Energia Elétrica com Tributos	Número de Unidades Consumidoras	Tarifa Média de Fornecimento	Tarifa Média de Fornecimento com Impostos	
2014	(Tudo)	Sudeste	Industrial									
6												
7					AMPLA - AMPLA ENERGIA E SERVIÇOS S/A	956.588,40	264.685.126,45	407.861.248,27	51.953,00	276,70	426,37	
8					BANDEIRANTE - BANDEIRANTE ENERGIA S/A.	2.618.228,51	649.089.972,12	823.563.712,78	147.311,00	247,91	314,55	
9					CAIUÁ-D - CAIUÁ DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA S/A	152.651,95	41.675.028,62	52.885.483,69	104.544,00	273,01	346,44	
10					CEDRAP - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO RURAL DO ALTO PARAÍBA LTDA	19.220,51	4.273.160,85	5.322.248,15	217,00	222,32	276,90	
11					CEMIG-D - CEMIG DISTRIBUIÇÃO S/A	4.063.601,48	1.119.300.136,09	1.451.943.310,57	911.569,00	275,45	357,30	
12					CERES - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL DE RESENDE LTDA	181,75	65.482,93	66.834,90	58,00	360,29	367,73	
13					CERIM - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL ITU-MAIRINQUE	3.429,06	996.148,48	1.220.038,52	151,00	290,50	355,79	
14					CERIPA - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL DE ITAÍ-PARANAPANEMA-AVARÉ	12.177,72	3.224.453,18	4.057.198,89	470,00	264,78	333,17	
15					CERIS - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO DA REGIÃO DE ITAPEERICA DA SERRA	252,13	67.020,80	84.305,62	12,00	265,82	334,37	
16					CERMIC - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO DE MOGI DAS CRUZES	4.295,93	1.108.968,83	1.348.598,48	47,00	258,14	313,92	
17					CERNHE - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO RURAL DA REGIÃO DE NOVO HORIZONTE	18.218,86	40.372,84	50.604,55	64,00	407,85	511,21	
18					CERPRO - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL DA REGIÃO DE PROMISSÃO LTDA	10.199,59	3.656.523,56	4.472.250,87	186,00	200,70	245,47	
19					CERRP - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL DA REGIÃO DE SÃO JOSE DO RIO PRETO LTDA	10.199,59	1.792.888,09	2.213.088,13	248,00	175,78	216,98	
20					CETRIL - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO E TELEFONIA RURAIS DE IBIÚNA LTDA	2.437,60	911.449,52	1.115.451,50	149,00	373,91	457,60	
21					CNEE - COMPANHIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA	93.131,53	25.695.877,42	32.428.209,28	50.797,00	275,91	348,20	
22					CPFL JAGUARI - COMPANHIA JAGUARI DE ENERGIA	323.103,17	59.077.443,42	75.285.181,07	7.714,00	182,84	233,01	
23					CPFL LESTE PAULISTA - COMPANHIA LESTE PAULISTA DE ENERGIA	27.430,85	6.313.353,10	8.093.211,81	5.739,00	230,16	295,04	
24					CPFL MOCOCA - COMPANHIA LUZ E FORÇA DE MOCOCA	40.170,58	9.208.542,77	11.848.531,01	4.300,00	229,24	294,96	
25					CPFL - PIRATINGA - COMPANHIA PIRATINGA DE FORÇA E LUZ	2.264.574,69	564.876.835,58	718.683.871,22	76.004,00	249,44	317,36	
26					CPFL SANTA CRUZ - COMPANHIA LUZ E FORÇA SANTA CRUZ	182.805,93	52.377.345,83	68.348.380,05	24.821,00	286,52	373,88	
27					CPFL SUL PAULISTA - COMPANHIA SUL PAULISTA DE ENERGIA	84.286,02	18.575.581,21	23.681.388,41	4.509,00	220,39	280,96	
28					CPFL PAULISTA - COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ	4.141.892,75	1.146.246.337,52	1.465.660.407,17	373.318,00	276,74	353,86	
29					DMED - DME DISTRIBUIÇÃO S.A	168.722,93	34.428.371,28	44.990.636,69	4.877,00	204,05	266,65	
30					EDEVP - EMPRESA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA VALE PARANAPANEMA S/A	171.124,91	46.260.547,09	58.873.256,02	61.296,00	270,33	344,04	
31					EEB - EMPRESA ELÉTRICA BRAGANTINA S/A.	222.960,11	62.428.977,00	78.928.456,44	34.100,00	280,00	354,00	
32					ELEKTRO - ELEKTRO ELETRICIDADE E SERVIÇOS S/A.	3.632.778,75	937.817.058,42	1.253.331.093,89	278.107,00	258,15	345,01	
33					ELETROPAULO - ELETROPAULO METROPOLITANA ELÉTRICIDADE DE SÃO PAULO S/A	5.291.769,69	1.187.280.383,45	1.532.247.030,25	319.521,00	224,36	289,55	
34					ELFSM - EMPRESA LUZ E FORÇA SANTA MARIA S/A.	99.657,12	29.445.835,00	41.727.085,52	21.206,00	295,47	418,71	
35					ENIG - ENERGISA MINAS GERAIS - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A.	175.597,03	54.944.946,15	71.171.967,57	44.598,00	312,90	405,31	
36					ENF - ENERGISA NOVA FRIBURGO - DISTRIBUIDORA DE ENERGIA S.A.	56.626,12	15.324.154,24	23.016.014,76	10.835,00	270,62	406,46	
37					ESCELSA - ESPÍRITO SANTO CENTRAIS ELÉTRICAS S/A.	1.210.770,91	330.086.798,75	469.246.021,03	142.843,00	272,63	387,56	
38					LIGHT - LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S/A.	1.395.788,63	370.087.145,62	557.032.805,11	80.078,00	265,15	399,08	
39					CEDRI - COOPERATIVA DE ELETRIFICAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DA REGIÃO DE ITAIRI	9,32	4.265,48	5.444,08	5,00	457,67	594,13	
40					Totais	27.444.783,52	7.041.366.531,69	9.290.803.366,30	2.761.647,00	256,56	338,53	

Link para acesso ao relatório:
http://relatorios.aneel.gov.br/_layouts/xlviewer.aspx?id=/RelatoriosSAS/RelSAMPRegiaoEmp.xls&Source=http%3A%2F%2Frelatorios%2Eaneel%2Egov%2Ebr%2FRelatoriosSAS%2FForms%2FAllItems%2Easpx&DefaultItemOpen=1

Anexo H - Materiais

O presente capítulo tem como objetivo apresentar um resumo dos materiais considerados como possíveis para compor o duto nas análises feitas ao longo do projeto. Foram estes: Grau B, X60, X65, X70 e X80.

Todos os cinco materiais avaliados são aços da classe API (American Petroleum Institute), cuja especificação segue a API 5L, referência [40]. Estes também se enquadram no quesito ARBL, Aço de Alta Resistência e Baixa Liga, quais apresentam boa tenacidade, soldabilidade e resistência.

A escolha dos cinco aços foi devido a estes serem amplamente usados por empresas para construção de dutos. Ao seguir critérios normativos a confiabilidade destes tubos é garantida, estes seguem requisitos rigorosos de fabricação, construção, operação e manutenção.

A norma API 5L estabelece dois níveis de qualidade para serem escolhidos, que diferem em requisitos técnicos: PSL1 e PSL2 (*Product Specification Levels*). Adotamos neste projeto o nível PSL2 (prática comum no Brasil), mais completo, onde podemos nos beneficiar dos seguintes requisitos presentes em todos os tubos que seguem esta especificação:

- Faixa de tolerâncias dimensionais estabelecidas;
- Propriedades mecânicas que devem estar presentes;
- Diretrizes para condução de ensaios obrigatórios;
- Critérios para aceitação de imperfeições;
- Parâmetros relacionados ao curvamento e soldabilidade dos tubos;
- Marcação dos tubos;
- Limite superior para tensão de escoamento;
- Relação dos elementos presentes na composição química;
- Requisitos de dureza e ensaios de aço;
- Teste de impacto Charpy;
- Proibição de reparo com solda no metal base do tubo;

- Proibição de reparo na costura sem adicionar metal;
- Emissão de certificados de composição química;
- Emissão de certificados de ensaios mecânicos;
- Rastreabilidade.

A tabela a seguir apresenta as resistências mecânicas especificadas para os aços selecionados no nível PSL2, as informações foram retiradas da [1].

Tabela 43 - Resistências Mecânicas Especificadas PSL2

Grau de Resistência	Resistência Mínima (SMYS) [Mpa]		Resistência Máxima (SMUS) [Mpa]	
	Ao escoamento	À tração	Ao escoamento	À tração
B	241	414	448	758
X60	414	517	565	758
X65	448	531	600	758
X70	483	565	621	758
X80	552	621	690	827

Os tubos recebem ainda revestimentos externos que isolam o aço do solo e fornecem prevenção contra corrosão externa. Mais comumente, em dutos enterrados, o tubo recebe 3 camadas de revestimento externo: primeiro uma camada de epóxi em pó (*FBE fusion bonded epoxy*), seguido de uma camada de adesivo a base de polietileno e anidrito maleico, e a terceira camada um revestimento de material termoplástico, polietileno (PE).

Existe um alto grau de dificuldades técnicas e econômicas na fabricação destes tubos devido ao conjunto de exigências estabelecidas, porém o resultado é um tubo de alta confiabilidade que atende as necessidades do mercado, o que justifica essas dificuldades como mais do que necessárias e nos faz buscar continuamente o aperfeiçoamento dos processos.

Anexo I - Linhas de Comando do Modelo de Simulação para Stoner Pipeline Simulator.

INPREP:

```
/{sps} Inprep file generated 08/20/15 15:20:09

=LIQUID

CUSTODY PRESSURE=1.033, TEMPERATURE=20

PIPEPARMS

+ FRICTION COLEBROOK 0.0018

+ INITIAL 1

+ KNOT 0.1

SET.LIMIT

+ PIPEPARMS * SPAC 0 0.00160934 16.0934 40.2336 * KM

+ T * LEN 0.0160934 0.160934 300 321.869 * KM

+ T * OD 1 2.375 58 72 * IN

+ T * RUF 1e-005 0.0003 0.01 0.5 0.0018 IN

+ V G887 B 0.09 0.51 1 1.1 0.6 *

+ GP * ROUGH 1e-005 0.0003 0.01 0.5 0.0018 IN

+ P * POWER 1 65 10000 20000 * HP

+ P * INERT 4e-005 0.004 300 500 50 KG-M2

STATE SCLPROP 0.1 100

+ FLUID AGUA

+ DENSITY 0 20 998 22536 * * * *

+ VISC 1.13 0 -0.0292

+ VAPOR.PRESSURE 0.056
```

+ COLOR DKGREEN

+ FLUID ALCANID

+ DENSITY 0 20 791.5 10951 * * * *

+ VISC 1.2 0 -0.0292

+ VAPOR.PRESSURE 0.056

+ COLOR RED

+ FLUID ALCHIDRA

+ DENSITY 0 20 811 11344 * * * *

+ VISC 1.2 0 -0.0292

+ VAPOR.PRESSURE 0.056

+ COLOR BLUE

USEUNITS COMPOSITION.DRA PPM

=ISOTHERMAL 20

=METRIC

USEUNITS BULK.MOD KG/CM2

USEUNITS DIAMETER IN

USEUNITS ROUGHNESS IN

USEUNITS POWER HP

USEUNITS PRESSURE KG/CM2G

USEUNITS WALL IN

USEUNITS VALVE.COEFF GAL/MIN-PSI.5

USEUNITS LENGTH.HEADER M

=EQUIPMENT

D HEADENVIO HEAD

+ 324.4 304.9 289.8 270.34 246.6 0

+ 0 299 399 499 599 600

D EFFENVIO EFFI

+ 0 0.67 0.77 0.8 0.77

+ 0 299 399 499 599

D HEADREBOMBEIO HEAD

+ 331.4 311.5 296.1 276.18 251.9 0

+ 0 299 399 499 599 600

D EFFREBOMBEIO EFFI

+ 0 0.67 0.77 0.8 0.77

+ 0 299 399 499 599

T 1D-1 N373 NODE_5 89.05003 16 0.219

+ COLEBROOK

+ TABLE

+ PIPE.DIST ELEV MAOP

0 823.4 63.7

0.5 814.8 63.7

1.31 835.3 63.7

2.77 841.1 63.7

3.16 818.7 63.7

3.85 815.2 63.7

4.66 881.9 63.7

6.12 774.0999 63.7

6.86 785.5 63.7

7.62 800 63.7

8.13 764.4 63.7

8.73 773.9 63.7

9.130001 784.5 63.7

9.29 791.2 63.7

9.560001 784.4 63.7

10 748.8 63.7

10.28 746.4 63.7

10.51 776.5 63.7

10.89 754.4 63.7

11.43 762.3 63.7

12.32 796.5999 63.7

12.52 786.3 63.7

13.43 834.4 63.7

13.7 840.3 63.7

14.1 848.1 63.7

14.36 833.5 63.7

15.32 757.6 63.7

16.54 774 63.7

17.14 759 63.7

17.7 770.7 63.7

20.24 743.5 63.7

21.96 815 63.7

22.23 811.4 63.7

22.45 813.1 63.7

22.58 806.5 63.7

23.13 809.6 63.7

24.22 854.9 63.7

25.61 852 63.7

26.51 834.6 63.7

27.6 843.0999 63.7

28.05 823.9 63.7

29.08 800 63.7

29.78 813.7 63.7

30.66 735.5 63.7
31.1 759.5 63.7
32.27 798.3 63.7
32.63 743.4 63.7
33.74 744.6 63.7
35.1 741.1 63.7
36.14 788 63.7
36.83 811.4 63.7
38.18 798.9 63.7
39.49 803.7 63.7
41.74 841.8 63.7
42.18 794.1 63.7
43.57 1003.8 63.7
44.96 870.8 63.7
46.01 890.3 63.7
47.83 909.7 63.7
49.82 894.9 63.7
51 919.5 63.7
51.81 862.9 63.7
52.88 912.3 63.7
53.51 942.6 63.7
54.45 1063.1 63.7
55.35 858.1 63.7
56.13 943.8 63.7
56.91 896.3 63.7
57.47 879.8 63.7
58.13 858.7 63.7
59.58 822.7 63.7
61.31 790.5999 63.7

63.83 841.2999 63.7

65.15 887.5 63.7

66.73001 947.4 63.7

68.13 1059.2 63.7

69.86 987.3 63.7

71.72 999.8 63.7

73.51 927.9 63.7

76.33 888 63.7

76.74 854.2 63.7

77.11 872 63.7

77.51 859.5 63.7

77.7 848 63.7

77.85 836.9 63.7

78.27 800.7 63.7

78.69001 804 63.7

78.95 810.5 63.7

79.21 809.6 63.7

79.65 837.4 63.7

80.09 810.4 63.7

80.58 828.9 63.7

81.03 847 63.7

81.76 873 63.7

82.84 834.7999 63.7

83.65001 786.9 63.7

84.22 780.9 63.7

85.06 770 63.7

85.73001 767.3 63.7

86.02 750.4 63.7

86.36 743 63.7

89.05003 756.9 63.7

+ XY = 1318 351

T 1D-2 NODE_5 NODE_1 87.41 16 0.219

+ COLEBROOK

+ TABLE

+ PIPE.DIST ELEV MAOP

90.19002 756.9 63.7

91.27 728.5 63.7

94.08002 730.3 63.7

97.52 712.4001 63.7

99.86 786.9 63.7

101.14 800 63.7

102.73 758.5 63.7

104.09 707 63.7

104.49 712.7 63.7

106.04 667.3 63.7

106.84 668.8 63.7

107.39 695 63.7

108.17 698.8 63.7

109.12 683.8 63.7

109.53 697.5 63.7

110.09 709.7999 63.7

110.72 691.5 63.7

111.28 724.2 63.7

112.36 682.4 63.7

114.79 712.4001 63.7

115.4 730.2 63.7

116.07 750.7 63.7

118 752.8 63.7

122.12 748.9 63.7
123.21 785.7 63.7
124.61 750.2 63.7
125.82 737 63.7
126.9 731 63.7
127.44 729.2 63.7
127.93 721.7 63.7
130.35 709.4 63.7
130.95 718.2 63.7
133.85 701.7 63.7
135.45 741.7 63.7
136.54 734.0999 63.7
138.67 698.1 63.7
139.63 746.5 63.7
140.3 754.2 63.7
140.67 763.5 63.7
141.35 783.4 63.7
142.13 794.7 63.7
143.04 779.3 63.7
143.35 778.9 63.7
143.85 797.6 63.7
144.13 797.7 63.7
145.09 830.7 63.7
145.86 844.4 63.7
146.35 845.5 63.7
146.88 843.3 63.7
147.44 836.8 63.7
148.21 799.2 63.7
149.14 784.5 63.7

150.05 779.3 63.7

150.48 771.8 63.7

151.74 737.8 63.7

154.27 763 63.7

160.31 689.5 63.7

162.59 666.1 63.7

165.93 645.9 63.7

169.83 625 63.7

170.93 624.5 63.7

171.58 643 63.7

172.69 644 63.7

174.51 622 63.7

175.98 660.6 63.7

177.12 681.5 63.7

177.6 654.1 63.7

+ XY = 1390 381

T 1D-3 NODE_1 N375 37.84 16 0.219

+ COLEBROOK

+ TABLE

+ PIPE.DIST ELEV MAOP

180.13 654.1 63.7

180.36 627.9 63.7

180.9 652.4 63.7

181.2 667.5 63.7

181.48 682.1 63.7

182.98 690.0999 63.7

186.9 690.5999 63.7

188.88 659.4 63.7

191.46 663.5 63.7

193.07 696.8 63.7
193.83 688.3 63.7
194.79 695.2 63.7
195.66 705.2 63.7
197.4 664.5 63.7
198.7 712.3 63.7
202.26 715.4 63.7
204.35 719 63.7
204.79 714.1 63.7
205.74 702.9 63.7
207.01 726 63.7
208.19 741.7 63.7
209.09 744.8 63.7
209.89 711.8 63.7
210.03 723.2 63.7
210.28 733.5999 63.7
210.7 739.2 63.7
211.38 727.4 63.7
211.54 717.5 63.7
212.13 728.7999 63.7
212.25 734.7 63.7
212.92 724.5 63.7
213.59 715.8 63.7
213.91 711.7 63.7
214.17 720.5 63.7
214.28 722.6 63.7
214.43 728.0999 63.7
214.73 738.7 63.7
215.25 731.5 63.7

215.34 731.5 63.7

215.44 725.7 63.7

215.56 728.2 63.7

216.08 733.7 63.7

216.42 722.6 63.7

216.58 722.1 63.7

216.93 728.6 63.7

217.31 739 63.7

217.42 740.3 63.7

217.58 733.5999 63.7

217.79 730.8 63.7

217.97 744.5 63.7

+ XY = 1544 364

T 2D-1 N379 NODE_6 97.68 16 0.219

+ COLEBROOK

+ TABLE

+ PIPE.DIST ELEV MAOP

0 744.5 63.7

0.08 737.6 63.7

0.27 746 63.7

0.52 766 63.7

0.58 772.5 63.7

0.68 770.1 63.7

0.86 789.1 63.7

1.05 805.3 63.7

1.16 809.7999 63.7

1.24 814.9 63.7

1.33 820.3 63.7

1.55 785.8 63.7

1.8 829 63.7
2.03 843.3 63.7
2.19 837.8 63.7
2.29 836.9 63.7
2.56 842 63.7
2.74 862.3 63.7
2.96 847.2 63.7
3.18 854.3 63.7
3.29 861.7 63.7
3.5 855.4 63.7
3.59 869.6 63.7
3.73 865.5 63.7
4.14 863.3 63.7
4.29 853 63.7
4.48 861.4 63.7
4.71 878.4 63.7
5.03 890 63.7
5.1 896.7 63.7
5.28 889 63.7
5.36 884.5 63.7
5.98 931.5 63.7
6.14 938.8 63.7
6.24 943.0999 63.7
6.36 953.1 63.7
6.5 975.2 63.7
6.62 986.5 63.7
6.78 989 63.7
7.12 982.4 63.7
7.99 1012.1 63.7

8.53 1040.1 63.7

9.53 1067.7 63.7

9.720002 1076.7 63.7

10.19 1086.8 63.7

10.82 1083.6 63.7

11.39 1094.3 63.7

11.98 1134.3 63.7

12.23 1125.2 63.7

13.21 1104.3 63.7

13.6 1118 63.7

14.57 1151 63.7

15.21 1145 63.7

15.4 1132.2 63.7

16.08 1131.1 63.7

16.4 1139.8 63.7

16.65 1153.3 63.7

17.64 1140.6 63.7

18.1 1166.4 63.7

18.4 1181.2 63.7

18.83 1174.4 63.7

19.05 1180.6 63.7

19.12 1182.2 63.7

19.21 1179.4 63.7

19.32 1182.6 63.7

19.47 1188.9 63.7

19.83 1178.9 63.7

20.18 1170.8 63.7

20.42 1167.5 63.7

20.6 1153.2 63.7

20.79 1151.2 63.7

20.92 1146.3 63.7

21.19 1143.6 63.7

21.62 1148.4 63.7

21.71 1142.5 63.7

21.79 1136.9 63.7

22.54 1138.4 63.7

22.65 1134.2 63.7

22.78 1138.2 63.7

22.91 1140.8 63.7

23.37 1131.8 63.7

23.64 1131.4 63.7

24.02 1134.5 63.7

24.14 1136 63.7

24.49 1134.5 63.7

24.95 1145 63.7

25.65 1112.3 63.7

25.84 1115.9 63.7

25.87 1118.6 63.7

25.97 1123.5 63.7

26.58 1126.2 63.7

26.72 1121.9 63.7

26.98 1122.6 63.7

27.17 1118.8 63.7

27.27 1123.3 63.7

27.47 1125.4 63.7

28.08 1122.8 63.7

29.2 1130.2 63.7

30.54 1130.8 63.7

30.81 1122.6 63.7

30.99 1119.3 63.7

31.21 1122.6 63.7

31.32 1122.7 63.7

31.4 1118.1 63.7

31.51 1108.2 63.7

31.67 1116.8 63.7

31.77 1122.9 63.7

31.9 1120.7 63.7

32.25 1115.4 63.7

32.48 1102 63.7

32.97 1105.4 63.7

33.46 1112.3 63.7

33.94 1110.1 63.7

34.21 1107.2 63.7

34.39 1106.6 63.7

34.8 1108.1 63.7

34.91 1103.5 63.7

35.03 1098.7 63.7

35.77 1103.3 63.7

35.85 1097.8 63.7

35.94 1093.5 63.7

36.08 1094.7 63.7

36.31 1090.8 63.7

36.46 1102.2 63.7

36.63 1110.1 63.7

36.88 1112.9 63.7

37.09 1108.8 63.7

37.79 1071.2 63.7

38.17 1071.2 63.7

38.56 1091.8 63.7

38.71 1098.1 63.7

38.93 1083.9 63.7

39.2 1069.9 63.7

39.33 1064.4 63.7

39.77 1040.2 63.7

39.97 1048.4 63.7

40.18 1065.6 63.7

40.44 1070 63.7

40.94 1083.1 63.7

41.69 1108.3 63.7

41.88 1118.8 63.7

41.95 1120.8 63.7

42.26 1128 63.7

42.48 1123.8 63.7

42.62 1127.8 63.7

42.83 1121.1 63.7

42.99 1110.5 63.7

43.14 1112.9 63.7

43.27 1119.2 63.7

43.39 1124.3 63.7

43.56 1130 63.7

43.62 1135.3 63.7

44.31 1147.8 63.7

44.48 1138.1 63.7

44.83 1145.2 63.7

45.05 1140.2 63.7

45.43 1153.5 63.7

45.6 1146.8 63.7

46.05 1137.4 63.7

46.22 1151.1 63.7

46.66 1178 63.7

46.77 1182.6 63.7

47.32 1204 63.7

48.47 1191 63.7

49.18 1213.1 63.7

49.49 1217.7 63.7

54.21 1220.6 63.7

59.27 1154.5 63.7

60.15 1147.3 63.7

60.65 1138.8 63.7

61.35 1141.3 63.7

61.66 1126.9 63.7

62.11 1139.8 63.7

63.39 1101.5 63.7

63.82 1088.1 63.7

64.54 1072.1 63.7

65.17 1063.5 63.7

65.48 1061.1 63.7

66.17 1043.8 63.7

66.61 1056.5 63.7

67.09 1061.4 63.7

67.62 1043.7 63.7

69.05001 1015.3 63.7

71.06 967 63.7

72.13 963.6 63.7

72.57 931.7 63.7

72.75 917.1 63.7

73.09 912.7999 63.7

73.67 923.6 63.7

73.85 931.0999 63.7

74.17 917 63.7

74.94 920.4 63.7

75.17 914.5 63.7

75.96 922.9 63.7

76.85 914.9 63.7

77.08001 922.5 63.7

77.28 938.9 63.7

78.83 983.8 63.7

80.64 1004.6 63.7

80.86 1013.8 63.7

81.44001 1046.2 63.7

81.62 1051.4 63.7

82.15 1061.4 63.7

82.49 1067.1 63.7

83.08 1083.1 63.7

83.42 1102.4 63.7

83.67 1097.4 63.7

84.59 1079.9 63.7

84.79001 1067.8 63.7

85.89 1027.9 63.7

86.68001 1001 63.7

87.74 956.4 63.7

87.96 946.0999 63.7

88.46 934.9 63.7

88.73 926 63.7

89.56 917.7 63.7

89.88 908.5999 63.7

90.09 909.4 63.7

91.55 904.4 63.7

92.07 898.1 63.7

92.37 882.9 63.7

93.53 914.1 63.7

93.86001 925.1 63.7

94.67 954.6 63.7

95.26 960 63.7

97.38 992.4 63.7

97.68 981.5 63.7

+ XY = 2560 160

T 2D-2 NODE_6 NODE_7 6.73 16 0.219

+ COLEBROOK

+ TABLE

+ PIPE.DIST ELEV MAOP

98.57001 981.5 63.7

98.76 970.1 63.7

98.89 981 63.7

99.24 994.5 63.7

99.38 988.3 63.7

99.53 985.1 63.7

99.76 995.2 63.7

99.98001 992.5 63.7

100.23 983.5 63.7

100.33 975.8 63.7

100.61 967.8 63.7

100.73 959.7 63.7

100.97 952.3 63.7

101.46 932 63.7

101.88 922.2 63.7

102.08 912.6 63.7

102.32 926.3 63.7

102.51 934.4 63.7

102.69 938.7 63.7

102.84 937.9 63.7

103.22 942.6 63.7

103.41 936 63.7

103.8 924.0999 63.7

104.02 913.1 63.7

104.17 917.8 63.7

104.45 913.5 63.7

104.59 918.0999 63.7

104.97 916.7 63.7

105.3 929.1 63.7

+ XY = 2470 342

T 2D-3 NODE_7 NODE_4 86.40001 16 0.219

+ COLEBROOK

+ TABLE

+ PIPE.DIST ELEV MAOP

105.52 929.1 63.7

105.77 948.1 63.7

105.95 956.2 63.7

107.78 1016.3 63.7

108.18 1021.8 63.7

108.41 1027.7 63.7

108.58 1029.5 63.7

110.37 1044.1 63.7

110.82 1036.3 63.7

111.26 1034.3 63.7

111.5 1047.8 63.7

111.65 1058.2 63.7

111.88 1071.7 63.7

112.05 1069.1 63.7

112.75 1063.8 63.7

113.88 1031.5 63.7

115.06 1029.2 63.7

115.56 1050.2 63.7

116.1 1084.5 63.7

117.12 1086.1 63.7

117.7 1077.7 63.7

118.23 1057.4 63.7

118.51 1056.4 63.7

118.82 1061.5 63.7

119.74 1033.4 63.7

120.12 1027 63.7

121.19 1022.8 63.7

121.55 1031.6 63.7

121.77 1026.2 63.7

121.99 1010.4 63.7

122.16 1000.4 63.7

122.3 993.9 63.7

123.82 941.2 63.7

124.05 941 63.7

124.88 925.1 63.7

125.12 922.8 63.7

125.44 935.6 63.7
125.65 932.5 63.7
126.07 930.3 63.7
126.45 922.2999 63.7
126.94 901.2 63.7
127.29 917.7 63.7
127.56 931.6 63.7
128.21 969.8 63.7
128.38 983.3 63.7
128.54 989.7 63.7
129.57 1001.5 63.7
130.89 1004 63.7
131.73 984.3 63.7
132.86 955.7 63.7
133.09 959.7999 63.7
134.05 939 63.7
134.75 919.1 63.7
134.89 911.5 63.7
135.07 919.8 63.7
135.24 930.3 63.7
135.81 950.7 63.7
136.05 968.0999 63.7
136.27 976.4 63.7
136.41 972.7 63.7
136.86 970.4 63.7
137.23 956.5 63.7
137.55 958.2 63.7
137.81 936.7 63.7
138.06 903.9 63.7

138.32 903.7999 63.7

139.54 960.9 63.7

140.79 960.4 63.7

141.89 944.9 63.7

142.57 905.9 63.7

142.95 885.8 63.7

143.27 913.2 63.7

143.65 940.7 63.7

144.38 958.8 63.7

145.47 952 63.7

146.09 942.9 63.7

146.56 936.8 63.7

147.02 904.7 63.7

147.2 893.7 63.7

147.33 884.0999 63.7

148.08 876.8 63.7

148.24 875.1 63.7

148.58 884 63.7

148.74 889.2 63.7

148.92 889.9 63.7

149.32 873.4 63.7

149.86 883.5 63.7

150.06 896.9 63.7

150.23 907.8 63.7

150.55 922.9 63.7

150.69 931.9 63.7

151.14 916.1 63.7

153.31 927 63.7

154.44 942.4 63.7

156.59 956.7999 63.7

157.65 978.6 63.7

161.11 998.4 63.7

162.1 998 63.7

163.12 999.5999 63.7

163.7 993.9 63.7

164.18 988.7 63.7

164.82 997 63.7

165.65 974.7 63.7

165.92 961.1 63.7

167.6 982.4 63.7

168.31 990 63.7

168.87 1015.7 63.7

169.11 1032.2 63.7

169.38 1035.2 63.7

169.65 1034.6 63.7

170.06 1043.6 63.7

170.18 1049.4 63.7

170.63 1048.4 63.7

171.04 1049.3 63.7

171.62 1047.2 63.7

171.88 1043.2 63.7

172.06 1036.2 63.7

172.21 1027.9 63.7

172.72 1014.4 63.7

172.98 1015.4 63.7

173.09 1011.4 63.7

173.53 1033.6 63.7

173.86 1047.1 63.7

174.23 1059.2 63.7

174.71 1066.5 63.7

175.7 1129.3 63.7

176.48 1148.2 63.7

176.98 1169.4 63.7

177.5 1172.4 63.7

182.39 1141.6 63.7

184.94 1118 63.7

188.69 1045.4 63.7

189.28 1066.7 63.7

190.31 1062 63.7

191.07 1047.6 63.7

191.92 1010.1 63.7

+ XY = 2535 298

T 2D-4 NODE_4 N90 51.64 16 0.219

+ COLEBROOK

+ TABLE

+ PIPE.DIST ELEV MAOP

192.64 1010.1 63.7

193.14 950.7 63.7

193.33 942.1 63.7

194.41 872.9 63.7

195.15 891 63.7

195.31 901.1 63.7

195.7 910 63.7

196.09 924.4 63.7

196.29 931 63.7

197.16 962.0999 63.7

197.91 993 63.7

198.96 1023.3 63.7

199.91 1025.5 63.7

200.56 1033.9 63.7

200.69 1030.9 63.7

200.9 1047.6 63.7

201.32 1056.7 63.7

201.99 1047.2 63.7

205.05 1051.4 63.7

208.09 999.4 63.7

209.2 1024.4 63.7

211.64 1004.6 63.7

213.39 1027.1 63.7

215.32 1034.8 63.7

217.71 1035 63.7

218.31 1026.3 63.7

219.41 1028.8 63.7

220.09 1034.7 63.7

220.29 1031.9 63.7

220.43 1031.5 63.7

221.31 1031.2 63.7

222.07 1017.4 63.7

222.28 1007.3 63.7

222.36 1003.9 63.7

222.44 1006.2 63.7

222.53 1008.3 63.7

222.9 1013.7 63.7

223.09 1017 63.7

223.26 1019.7 63.7

223.38 1014.8 63.7

223.47 1009.4 63.7

224.63 966.2 63.7

224.78 958.3 63.7

225.25 938.6 63.7

225.36 930 63.7

225.63 921.7 63.7

226.66 875.7 63.7

226.82 861.5999 63.7

226.99 852.7 63.7

228.42 850.8 63.7

228.91 870.7 63.7

229.08 876.6 63.7

229.4 866 63.7

230.32 856.6 63.7

232.12 834.5 63.7

232.55 817.4 63.7

232.74 806.2 63.7

234.11 767.7 63.7

235.16 756.5 63.7

235.96 702.7 63.7

236.58 703.5 63.7

236.72 700.8 63.7

236.94 703.5 63.7

237.33 712.0999 63.7

237.83 734 63.7

238.24 757.4 63.7

238.66 776.6 63.7

240.25 796.2 63.7

242.12 769.8 63.7

244.28 799.0999 63.7

+ XY = 2670 192

E TQHIDRATADO N310A TAKE 0.06999999 0 *

+ FLUID ALCHIDRA

+ INITIAL 0

+ XY = 81 261

E TQHIDRATADO1 N311A TAKE 0 499 *

+ FLUID ALCHIDRA

+ INITIAL 0

+ XY = 871 111

E TQHIDRATADO2 N312A TAKE 0 499 *

+ FLUID ALCHIDRA

+ INITIAL 0

+ XY = 2105 125

B TQHIDRATADOVG N310A N320 OPEN2 CLSE2 0 21554 2 1

+ XY = 254 214

B TQHIDRATADOVG1 N311A N372 OPEN2 CLSE2 0 21554 2 0

+ XY = 1044 64

B TQHIDRATADOVG2 N312A N378 OPEN2 CLSE2 0 21554 2 0

+ XY = 2278 78

E TQANIDRO N300A TAKE 0.06999999 0 *

+ FLUID ALCANID

+ INITIAL 0

+ XY = 80 160

B TQANIDROVG N300A N320 OPEN2 CLSE2 0 21554 2 0

+ XY = 240 160

T LINHAENVIO N320 N329 0.4005 16 0.25

+ COLEBROOK 0.0018

+ TABLE

```
+ PIPE.DIST ELEV MAOP

0 823.9 20

0.4005 823.4 20

+ XY = 400 160

T LINHAREC N410 NODE_2 0.4005 14 0.25

+ COLEBROOK 0.0018

+ TABLE

+ PIPE.DIST ELEV MAOP

0 799.0999 20

0.4005 801 20

+ XY = 3326 192

H LINHAENVIOLOC N329 N330 3.86 16 0.25 * *

+ MOODY 0.02

+ XY = 560 160

B VE101 N330 N330A OPEN2 CLSE2 0 9000 1 1

+ XY = 639 222

B VE103 N370 N331A OPEN2 CLSE2 0 9000 1 1

+ XY = 833 222

B VE105 N371 N332A OPEN2 CLSE2 0 9000 1 0

+ XY = 1025 224

B VE107 N332 N333A OPEN2 CLSE2 0 9000 1 1

+ XY = 1675 235

B VE109 N374 N334A OPEN2 CLSE2 0 9000 1 1

+ XY = 1870 235

B VE111 N376 N335A OPEN2 CLSE2 0 9000 1 1

+ XY = 2062 233

B VE113 N377 N336A OPEN2 CLSE2 0 9000 1 0

+ XY = 2250 233

P BP100A N330A N360A 1775 541 * * *
```

+ 1775 614.73 270.34 499

+ HEADENVIO 1 1 1775

+ EFFENVIO 1 1 1775

+ DISCHARGE CHECK 0.0001 499

+ XY = 719 297

P BP100B N331A N361A 1775 541 * * *

+ 1775 614.73 270.34 499

+ HEADENVIO 1 1 1775

+ EFFENVIO 1 1 1775

+ DISCHARGE CHECK 0.0001 499

+ XY = 913 297

P BP100C N332A N362A 1775 541 * * *

- 1775 614.73 270.34 499

+ HEADENVIO 1 1 1775

+ EFFENVIO 1 1 1775

+ DISCHARGE CHECK 0.0001 499

+ XY = 1105 299

P BP200A N333A N363A 1775 553 * * *

+ 1775 628.01 276.18 499

+ HEADREBOMBEIO 1 1 1775

+ EFFREBOMBEIO 1 1 1775

+ DISCHARGE CHECK 0.0001 499

+ XY = 1762 296

P BP200B N334A N364A 1775 553 * * *

+ 1775 628.01 276.18 499

+ HEADREBOMBEIO 1 1 1775

+ EFFREBOMBEIO 1 1 1775

+ DISCHARGE CHECK 0.0001 499

+ XY = 1957 296

P BP200C N335A N365A 1775 553 * * *

+ 1775 628.01 276.18 499

+ HEADREBOMBEIO 1 1 1775

+ EFFREBOMBEIO 1 1 1775

+ DISCHARGE CHECK 0.0001 499

+ XY = 2149 294

P BP200D N336A N366A 1775 553 * * *

- 1775 628.01 276.18 499

+ HEADREBOMBEIO 1 1 1775

+ EFFREBOMBEIO 1 1 1775

+ DISCHARGE CHECK 0.0001 499

+ XY = 2337 294

S ESTAFS +ENVIOLANBV FLOW V(Z)2 0 1000 0 1000

S ESTBFS +BOMBLANBV FLOW V(Z)2 0 1000 0 1000

C ESTACONTR ESTAFS:OUT V 499 V 1 0 -0.2 0 -1000

+ I=0

C ESTBCONTR ESTBFS:OUT V 499 V 1 0 -0.2 0 -1000

+ I=0

A ESTAAT100A C ESTACONTR R BP100A X(V)2 0 1 15

A ESTAAT100B C ESTACONTR R BP100B X(V)2 0 1 15

A ESTAAT100C C ESTACONTR R BP100C X(V)2 0 1 15

A ESTBAT200A C ESTBCONTR R BP200A X(V)2 0 1 15

A ESTBAT200B C ESTBCONTR R BP200B X(V)2 0 1 15

A ESTBAT200C C ESTBCONTR R BP200C X(V)2 0 1 15

A ESTBAT200D C ESTBCONTR R BP200D X(V)2 0 1 15

B VE102 N360A N370 OPEN2 CLSE2 0 9000 1 1

+ XY = 788 220

B VE104 N361A N371 OPEN2 CLSE2 0 9000 1 1

+ XY = 982 220

B BOMBRECBV N375 N332 OPEN2 CLSE2 0 43000 1 1

+ XY = 1615 161

B ENVIOLANBV N372 N373 OPEN2 CLSE2 0 43000 1 1

+ XY = 1237 158

B VE106 N362A N372 OPEN2 CLSE2 0 9000 1 0

+ XY = 1174 222

B VE108 N363A N374 OPEN2 CLSE2 0 9000 1 1

+ XY = 1824 233

B VE110 N364A N376 OPEN2 CLSE2 0 9000 1 1

+ XY = 2019 233

B VE112 N365A N377 OPEN2 CLSE2 0 9000 1 1

+ XY = 2211 231

B BOMBLANBV N378 N379 OPEN2 CLSE2 0 43000 1 1

+ XY = 2473 168

B VE114 N366A N378 OPEN2 CLSE2 0 9000 1 0

+ XY = 2399 231

B RECRECBV N90 N400 OPEN2 CLSE2 0 43000 2 1

+ XY = 2854 180

B SDVREC N400 NODE_3 OPEN2 CLSE2 0 15000 0.083 1

+ XY = 3009 181

RE RECPV NODE_3 N410 EQPC 0 2800

+ TRAVEL.TIME 2

+ UPSTREAM.PRESSURE.SETPOINT 18.5

+ XY = 3149 181

B RECTQBV NODE_2 N10C OPEN2 CLSE2 0 6900 2 1

+ XY = 3543 207

B RECTQBV1 N375 N11C OPEN2 CLSE2 0 6900 2 0

+ XY = 1657 75

E PSVTQ NODE_9 SALE 1.5 0 *

+ XY = 2897 424

E RECTQ N10C SALE 1 0 *

+ XY = 3703 207

E RECTQ1 N11C SALE 6 0 *

+ XY = 1817 75

NODE N310A 0 * *

+ XY = 163 260

NODE N311A 0 * *

+ XY = 953 110

NODE N312A 0 * *

+ XY = 2187 124

NODE N320 0 * *

+ XY = 320 160

NODE N300A 0 * *

+ XY = 160 160

NODE N329 0 * *

+ XY = 480 160

NODE N330 0 * *

+ XY = 640 160

NODE N332 0 * *

+ XY = 1676 173

NODE N330A 0 * *

+ XY = 639 298

NODE N331A 0 * *

+ XY = 833 298

NODE N332A 0 * *

+ XY = 1025 300

NODE N333A 0 * *

+ XY = 1676 297

NODE N334A 0 * *

+ XY = 1871 297

NODE N335A 0 * *

+ XY = 2063 295

NODE N336A 0 * *

+ XY = 2251 295

NODE N360A 0 * *

+ XY = 788 298

NODE N361A 0 * *

+ XY = 982 298

NODE N362A 0 * *

+ XY = 1174 300

NODE N363A 0 * *

+ XY = 1825 297

NODE N364A 0 * *

+ XY = 2020 297

NODE N365A 0 * *

+ XY = 2212 295

NODE N366A 0 * *

+ XY = 2400 295

NODE N370 0 * *

+ XY = 788 161

NODE N371 0 * *

+ XY = 982 161

NODE N372 0 * *

+ XY = 1174 162

NODE N373 0 * *

+ XY = 1302 161

NODE N375 0 * *

```
+ XY = 1554 162  
NODE N374 0 * *  
+ XY = 1824 174  
NODE N376 0 * *  
+ XY = 2019 174  
NODE N377 0 * *  
+ XY = 2211 172  
NODE N378 0 * *  
+ XY = 2399 172  
NODE N379 0 * *  
+ XY = 2545 170  
NODE N90 0 * *  
+ XY = 2774 181  
NODE N400 0 * *  
+ XY = 2934 180  
NODE N410 0 * *  
+ XY = 3208 184  
NODE N10C 0 * *  
+ XY = 3623 207  
NODE N11C 0 * *  
+ XY = 1737 75  
BC VR101 N330 N370 OPEN2 CLSE2 * 437943 * *  
+ XY = 714 160  
BC VR102 N370 N371 OPEN2 CLSE2 * 437943 * *  
+ XY = 908 160  
BC VR103 N371 N372 OPEN2 CLSE2 * 437943 * *  
+ XY = 1100 161  
BC VR104 N332 N374 OPEN2 CLSE2 * 437943 * *  
+ XY = 1750 173
```

BC VR105 N374 N376 OPEN2 CLSE2 * 437943 * *

+ XY = 1945 173

BC VR107 N377 N378 OPEN2 CLSE2 * 437943 * *

+ XY = 2325 171

BC VR108 N376 N377 OPEN2 CLSE2 * 437943 * *

+ XY = 2124 172

NODE NODE_2 0 * *

+ XY = 3462 187

NODE NODE_3 0 * *

+ XY = 3084 182

NODE NODE_1 0 * *

+ XY = 1370 483

NODE NODE_4 0 * *

+ XY = 2567 260

NODE NODE_5 0 * *

+ XY = 1234 472

NODE NODE_6 0 * *

+ XY = 2468 310

NODE NODE_7 0 * *

+ XY = 2509 335

NODE NODE_9 0 * *

+ XY = 2793 381

RV PSV N90 NODE_9 C(X)2 0 70.79

+ DIAMETER 4

+ PRESSURE.SETPOINT 55 45

+ XY = 2773 277

INTRAN:

```
BEGIN 0,  
  
+ BEGIN.TIME = 0,  
  
+ PRESSURE.TOLER = 0.1  
  
INTERACTIVE MSWIN  
  
SHARE  
  
COLSEP  
  
LINE.FILL LINHAENVIO LINHAREC,  
  
+ FLUID ALCHIDRA,  
  
+ VOLUME 1  
  
/*LOAD.STATUS ESTATICO.ark, SET.TIME=0  
  
LOAD.STATUS PERMANENTE_HIDRATADO.ark, SET.TIME=0  
  
/*LOAD.STATUS PERMANENTE_ANIDRO.ark, SET.TIME=0  
  
/*OPEN TQANIDROVG  
  
/*CLOSE TQHIDRATADOVG  
  
/* -----  
  
/* PROTEÇÕES NO ENVIO  
  
/* -----  
  
WHENEVER (ENVIOLANBV:P- > 55)  
  
{
```

```
STOP BP100A

STOP BP100B

    STOP BP100C

}

/* -----
/* PROTEÇÕES NO REBOMBEIO
/* -----

WHENEVER (BOMBLANBV:P- > 85.5)

{

    STOP BP200A

    STOP BP200B

        STOP BP200C

        STOP BP200D

}

/* -----
/* PROTEÇÕES RECEBIMENTO
/* -----

WHENEVER (RECPV:P+ > 5)

{

    CLOSE SDVREC

}

/* -----
/* CENÁRIOS NORMAIS
/* -----
```



```
DEF.SEQ PMPP
```

```
{
```

```
    POKE RECPV:SP- = 25
```

```
    WAIT 20
```

```
    STOP BP200C
```

```
    CLOSE VE112
```

```
    CLOSE VE111
```

```
    WAIT 20
```

```
    POKE RECPV:SP- = 28
```

```
    WAIT 20
```

```
    STOP BP200B
```

```
    CLOSE VE109
```

```
    CLOSE VE110
```

```
    WAIT 20
```

```
    POKE RECPV:SP- = 30
```

```
    WAIT 20
```

```
    STOP BP100B
```

```
    CLOSE VE103
```

```
    CLOSE VE104
```

```
    WAIT 20
```

```
    POKE RECPV:SP- = 45
```

```
    WAIT 40
```

```
    STOP BP100A
```

```
    CLOSE VE101
```

```
    CLOSE VE102
```

```
    STOP BP200A
```

```
    CLOSE VE107
```

```
    CLOSE VE108
```

WAIT 40 /*Termino do procedimento de parada

OPEN VE107

OPEN VE108

START BP200A

OPEN VE101

OPEN VE102

START BP100A

WAIT 20

POKE RECPV:SP- = 30

WAIT 20

OPEN VE103

OPEN VE104

START BP100B

WAIT 20

POKE RECPV:SP- = 28

WAIT 20

OPEN VE110

OPEN VE109

START BP200B

WAIT 20

POKE RECPV:SP- = 25

WAIT 20

OPEN VE112

OPEN VE111

START BP200C

WAIT 20

POKE RECPV:SP- = 18.5

```
}  
/*SUB.SEQ PMPP  
  
/* -----  
/* CENÁRIOS INCIDENTAIS  
/* -----  
  
DEF.SEQ INCIDENTAIS  
{  
/*CLOSE SDVREC  
/*CLOSE BOMBRECBV  
/*CLOSE BOMBLANBV  
/*STOP BP200A  
/*STOP BP200B  
/*STOP BP200C  
}  
/*SUB.SEQ INCIDENTAIS  
  
DO.INTERACTIVE "line.dsp"  
/*DO.INTERACTIVE "RUN UNTIL TIME>=781"  
  
SET DTMIN = 0.001  
  
REVIEW SIZE 1600000000  
  
TRENDLIST *  
  
PROFILE 780
```

