

**VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NÍVEL MESTRADO**

RICARDO LUIS LENZ

**DESENVOLVIMENTO DE INDICADORES DE CONSUMO DE MATERIAIS E DE
CUSTO DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA COMBATER A
FLUTUABILIDADE DE DUTOS ENTERRADOS**

SÃO LEOPOLDO / RS

2019

L575d

Lenz, Ricardo Luis.

Desenvolvimento de indicadores de consumo de materiais e de custo de diferentes metodologias para combater a flutuabilidade de dutos enterrados / Ricardo Luis Lenz. – 2019.

137 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.

“Orientadora: Profa. Dra. Andrea Parisi Kern.”

1. Tubulação – Materiais. 2. Construção civil – Aspectos ambientais. 3. Sustentabilidade. 4. Oleodutos. 5. Gasodutos. I. Título.

CDU 624

RICARDO LUIS LENZ

DESENVOLVIMENTO DE INDICADORES DE CONSUMO DE MATERIAIS E DE
CUSTO DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA COMBATER A
FLUTUABILIDADE DE DUTOS ENTERRADOS

Dissertação apresentada como requisito
parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Civil pelo Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos -
UNISINOS

Orientadora: Profa. Dra. Andrea Parisi Kern

São Leopoldo

2019

RICARDO LUIS LENZ

DESENVOLVIMENTO DE INDICADORES DE CONSUMO DE MATERIAIS E DE
CUSTO DE DIFERENTES METODOLOGIAS PARA COMBATER A
FLUTUABILIDADE DE DUTOS ENTERRADOS

Dissertação apresentada como requisito
parcial para obtenção do título de Mestre
em Engenharia Civil pelo Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos -
UNISINOS

Aprovado em 22 de julho de 2019

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Andrea Parisi Kern – UNISINOS - PPGEC

Prof. Dr André Montenegro – UFPA, Programa de Pós Graduação e Engenharia Civil

Prof. Dr. Maurício Mancio – UNISINOS - PPGEC

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial aos meus pais, Jacinta Ana e José Alvaro, que sempre acreditaram na minha dedicação. À minha esposa, Lisiane, que sempre está ao meu lado, apoiando minha luta na busca pela realização profissional e pessoal. Aos meus filhos, Willian e Wendy, que inúmeras vezes não tiveram a minha atenção, durante essa caminhada, mas tenho a confiança que um dia terão sabedoria para entender minha dedicação em prol do nosso futuro e da sociedade, na construção de um mundo mais sustentável.

Meus agradecimentos a Dra. Andrea Parisi Kern, minha orientadora nessa pesquisa, a pessoa que soube aproveitar a minha experiência profissional em empreendimento de dutos e a minha noção de valores ambientais.

Aos colegas do trecho que me apoiaram e compartilharam as suas experiências, em especial, aos Engenheiros Fernando Stremel, Jorlando Garcia, Francisco Tavares, Luiz Carlos Neuenschwander e também às empresas IEC, PH Dutos e Geo Technical que me deram subsídios ao compartilharem seus materiais para meus estudos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pilares do desenvolvimento sustentável	18
Figura 2- Evolução da construção civil, até o desenvolvimento sustentável me sua projetos.	18
Figura 3 – Abordagem integrada e sustentável às fases do ciclo de vida de uma construção.....	19
Figura 4 - Maiores acidentes mundiais com barragens em volume de resíduos.....	21
Figura 5 - Emissões antropogênicas globais de CO2.	23
Figura 6 - Crescimento da população mundial	23
Figura 7 - Estágio da ACV.....	26
Figura 8 - Mapa de Gasodutos, oleodutos e Minerodutos no Brasil.....	34
Figura 9 - Mapa de Dutos dos Estados Unidos	34
Figura 10 - Ciclo de vida de um duto.....	37
Figura 11 - Tipos de Ancoragem de Tubos	41
Figura 12 – Instalação de Geotêxteis.....	45
Figura 13 – Instalação de Tirantes	46
Figura 14 – Diferença de custo para combater a flutuabilidade	49
Figura 15 – Cenário de Estudo.....	51
Figura 16 - Sequência construtiva para as diferentes metodologias	52
Figura 17 - Sistemas de Ancoragem	58
Figura 18 – Principais estradas e acessos	63
Figura 19 – Transporte médio por sistema comparado com o concreto	65
Figura 20 – Total de viagens para transporte de tubos e sistemas de ancoragem ...	66
Figura 21 - Total de Homens x Mês	70
Figura 22 – Total de Equipamentos x Mês	71
Figura 23 – Total de litros de diesel por diâmetro e sistema	71
Figura 24 - Custo de Execução dos Serviços (MO e Equipamentos).....	73
Figura 25 - Custo de Material de Aplicação	74
Figura 26 - Custo R\$ x Mil por km de duto	75
Figura 27 – Custo R\$/mpol.....	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estudo de casos (diâmetros x metodologias)	15
Tabela 2 – Emissões de CO ₂	22
Tabela 3 – Infraestrutura de transportes de carga pelo mundo	28
Tabela 4 - Características operacionais relativas por modal de transporte	29
Tabela 5 - Estrutura de custos por modal de transporte	29
Tabela 6 - Preço relativo aos diferentes modais.....	30
Tabela 7 – Matriz de transportes de carga de Brasil e Estados Unidos e seus custos (Base 2012)	30
Tabela 8 – Histórico dos primeiros dutos.....	32
Tabela 9 - Dutos Instalados no Mundo	33
Tabela 10 – Análise financeira entre as duas metodologias.....	49
Tabela 11 – Questões de pesquisa e base de informação	50
Tabela 12 - Sondagens a Trado	54
Tabela 13 - Espessura mínimo de parede por diâmetro conforme NBR-12712 e 15280	55
Tabela 14 – Resumo das condições adequadas	56
Tabela 15 - Peso do tubo e força de empuxo	57
Tabela 16 - Dimensionamento da Jaqueta de Concreto.....	58
Tabela 17 – Dimensionamento do GEOTEXTIL	60
Tabela 18 - Dimensionamento de Tirantes	61
Tabela 19- Logística de Construção	61
Tabela 20 - Distâncias de transporte de Geotêxtis do Projeto Emissário	63
Tabela 21 – Relação de materiais dos sistemas	64
Tabela 22 – Distância de transporte em quilômetros.....	64
Tabela 23 – Total de diesel para transporte de tubos.....	67
Tabela 24 – Total Homens x Mês	69
Tabela 25 – Total Equipamentos x Mês.....	70
Tabela 26 – Consumo total de materiais para jaqueta de concreto	76
Tabela 27 - Consumo total de materiais para geotêxtil.....	76
Tabela 28 - Consumo total de materiais de tirantes	76

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
ANTT	Agencia Nacional de Transportes Terrestres
BRIC	Brasil, Rússia, Índia e China
COMPERJ	Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COP	Conferência das Partes
EQUI	Equipamentos
FEL	Front End Loading
GASBOL	Gasoduto Bolívia Brasil;
GEE	Gases Efeito Estufa
GOM	GasOcidente do Mato Grosso Ltda
Hh	Homem hora
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IPA	Independent Project Analysis
MO	Mão de Obra
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
ONU	Organização das Nações Unidas
TAG	Transportadora associada de Gás
TBG	Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil
TSB	Transportadora Sulbrasileira de Gás
UNEP	United Nations Environment Program

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Questões de pesquisa	13
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 Estrutura da Pesquisa	14
1.4 Delimitações do trabalho	15
2 IMPACTOS AMBIENTAIS E A CONSTRUÇÃO CIVIL	16
2.1 Sustentabilidade, construção civil e impactos ambientais	16
2.2 Construção Sustentável	18
2.3 Consumo de materiais e extração de matérias-primas	20
2.4 Emissão de gases de efeito estufa	21
2.5 Avaliação do ciclo de vida	24
3 DUTOVIAS	28
3.1 Modais de Transporte	28
3.2 Transporte por dutos	31
3.3 Ciclo de Vida de dutos	37
3.4 Dutos	38
3.4.1 Métodos para combate da fluatibilidade negativa em dutos enterrados	38
3.4.2 Jaquetas de Concreto	42
3.4.3 Geotêxteis	45
3.4.4 Tirantes	46
4 MÉTODO DE PESQUISA	50
4.1 Etapa 1: Contextualização	50
4.2 Etapa 2: Análise do processo para uso dos 3 sistemas	52
4.3 Etapa 3: indicadores	53
5 APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS	54
5.1 Caracterização do cenário	54

5.2	Condições adequadas	56
5.3	Estabilização do duto.....	57
5.3.1	Jaqueta de concreto.....	58
5.3.2	Geotêxtil	59
5.3.3	Tirantes	60
5.4	Logística, sequência de execução e recursos.....	61
5.5	Indicador de Custo	72
5.6	Consumo de Materiais	76
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	79
	REFERÊNCIAS.....	80
	ANEXOS	86

RESUMO

LENZ, Ricardo Luis. **Desenvolvimento de indicadores de consumo de materiais e de custo de diferentes metodologias para combater a flutuabilidade de dutos enterrados**, São Leopoldo, 2019, 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo.

O transporte por dutos usado, principalmente, no transporte de gases e líquidos é um dos modais mais importantes do segmento, porém é pouco utilizado no Brasil, sua participação é acanhada, apenas de 4,4% na matriz. Apesar do alto investimento inicial para a construção, tendo em vista a complexidade envolvida, os custos de manutenção, operação e impactos ambientais são baixos ao longo do seu ciclo de vida, comparados aos outros modais de transporte. O estudo busca comparar alternativas de sistemas para o controle de flutuabilidade de dutos enterrados, em termos de consumo de recursos e custos, analisando a logística de transporte dos materiais, execução das fases impactadas pelos sistemas e materiais de aplicação. A pesquisa foi conduzida em 4 etapas, (1) definição das condições adequadas e não adequadas dos três sistemas construtivos; (2) definição do cenário onde é possível aplicar os três sistemas; (3) análise do processo de construção dos três sistemas e (4) definição do custo e consumo de materiais para cada sistema com variação do diâmetro do duto. Os resultados apontaram ganhos na utilização nos recursos de mão de obra e equipamentos na utilização do geotêxtil e tirantes, ganhos esses de logística, produtividade e sua aplicação ao final do processo construtivo. Porém, o custo do geotêxtil é alto, por ser um material importado, onerou o custo final dessa metodologia, principalmente nos dutos de grandes diâmetros. De um modo geral, em termos de custo e consumo de materiais, a utilização de tirantes apresentou ganhos, se comparado com as tradicionais jaquetas de concreto e o geotêxteis.

Palavras Chaves: Indicadores de consumo de recursos, indicadores de custo, sistemas de combate à flutuabilidade de dutos.

ABSTRACT

LENZ, Ricardo Luis. **Development of consumption and cost indicators of different methodologies to prevent buried pipeline buoyancy**. São Leopoldo, 2019, 136 f. Dissertação (Master Degree in Civil EngineeringI) – Postgraduate Civil Engineering Program, Unisinos, São Leopoldo.

Pipeline transportation, mainly used to carry gases and liquids, is one of the most important modes, even though it's not used much in Brazil, with a short participation of 4,4% in the transport matrix. Despite the high initial investment for its construction, given the complexity of this mode of transport, it has low maintenance costs, operation and environmental impacts during its lifetime when compared to different modals. This study aims to compare alternatives of systems to control the buoyancy of pipelines, in terms of resources and costs, analysing the logistics of material transport, execution of the construction phases impacted by the systems and application materials. The research was conducted following 4 steps, which are the (1) definition of appropriate and unsuitable conditions for the three building systems; (2) definition of a scenario where it's possible to place the three different systems; (3) analysis of the systems building process; and (4) definition of the cost and material consumption for each system, with pipe diameter variation. The results indicated gains in the use of manpower and equipment resources when using geotextile and tie rods, as well as logistics and productivity gains, besides its application occurs at the end of the construction process. However, the high cost of geotextile, given that it's an imported material, increased the final cost of this methodology, specially in large pipe diameters. In conclusion, taking into account both cost and use of materials, the use of tie rods presented advantages when compared to traditional options such as concrete jacketing and geotextile.

KEY WORDS: Resource consumption indicators, cost indicators, pipeline buoyancy prevention systems.

1 INTRODUÇÃO

O modal dutoviário é um dos mais importantes meios de transporte de cargas, porém no Brasil tem uma pequena participação, em torno de 4,4%, comparado com os 20,0% dos Estados Unidos (FLEURY, 2000). É considerado o meio mais seguro para o transporte de líquidos e gases, além de ser o mais econômico (OLIVEIRA, 2016). Apesar do elevado custo fixo para a implantação de dutos, principalmente, devido ao direito de acesso, construção, pontos específicos de controle e a necessidade de compressão ou bombeamento do produto, tem baixo custo de manutenção e operação (RIBEIRO; FERREIRA, 2002; VAZ; OLIVEIRA; DAMASCENO, 2005).

A fase de implantação do duto, representa aproximadamente 75% do investimento total do projeto (RENNÓ; LEMGRUBER, 2009). São inúmeras as dificuldades que oneram esse tipo projeto, muitas vezes com grandes impactos ambientais, por cruzarem áreas de preservação, rios, lagos, montanhas, trechos rochosos, alagados, alagáveis, etc.

De acordo com Robertson e Curle (1995) os custos da implantação de dutovias em áreas alagadas ou alagáveis, são pelo menos 20% maiores, se comparado com as áreas secas. A substituição do método tradicional, para combater a flutuabilidade de dutos enterrados, pode reduzir significativamente o custo de implantação e os impactos ambientais. A tradicional utilização de jaquetas de concreto, apesar de ser um método comprovado e seguro, onera as atividades de transporte e construção, devido sua elevada massa, principalmente para dutos de grandes diâmetros.

O mercado dispõe de várias metodologias para combater a flutuabilidade, porém a falta de estudos comparativos relacionados aos ganhos de custo, prazo, segurança, vida útil e ambientais induzem os projetistas e construtores a usarem jaquetas de concreto. A falta de flexibilidade, imposta na concepção do projeto básico assim como nos contratos para execução, também é fator que dificulta a utilização de técnicas alternativas, que poderiam também trazer ganhos financeiros e ambientais após a contratação.

Já foi comprovado em vários projetos que a utilização de outros métodos de controle de flutuabilidade pode trazer, principalmente, ganhos de custo e prazo, a citar:

- A consideração da própria massa do solo, no Gasoduto Carmópolis (SE) – Pilar (AL) de 26 polegadas de diâmetro, substituiu trechos de tubos

concretados em áreas alagáveis, conforme previsto no Projeto Básico. Essa substituição foi embasada em estudos no local para determinação da massa específica do solo (SILVA; GARCIA; SILVA, 2007).

- A Bechtel Corporation utilizou, na construção do Gasoduto de 76,5 km de extensão e 56 polegadas de diâmetro, agregado à base de minério de ferro para diminuir o volume de concreto e geotêxtil em locais de estreitamento de faixa, obteve ganhos de prazo bem como uma considerável redução de custo (HERNANDEZ; BECHTEL, 2006).
- Já no projeto de Muskeg, da NOVA Gas Transmission Ltda, os tradicionais blocos de concreto foram substituídos por tirantes. Segundo estudo realizado, o principal ganho foi o de logística para transporte dos materiais, além de ganhos de construção, como a diminuição da vala, redução de mão de obra e demais recursos (ROBERTSON; CURLE, 1995).

Um dos itens importantes para a sustentabilidade é a redução dos impactos ambientais, além da redução de custos conforme previsto nos conceitos da construção tradicional (KUHN, 2006). A elaboração de indicadores de custos e ambientais para diferentes metodologias pode ser útil ao subsidiar a tomada de decisões para a escolha da melhor metodologia e de menor impacto.

Vários fatores podem influenciar esses indicadores, pois não existem projetos iguais, e muitas são as variáveis que podem influenciar as dimensões dos impactos, principalmente as condições geográficas, solo, disponibilidade de recursos locais entre outras.

1.1 Questões de pesquisa

Neste contexto, as questões de pesquisa que norteiam o trabalho consistem em:

“Demonstram de consumo de materiais e econômicos entre os sistemas construtivos para controle de fluabilidade de dutos enterrados para vários diâmetros, de acordo com o local de instalação”. Quais os indicadores podem ser utilizados para subsidiar a escolha do método construtivo empregado na implantação de dutovias para controle de fluabilidade?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver indicadores ambientais e econômicos de diferentes sistemas para combater a flutuabilidade de dutos enterrados: Jaquetas de Concreto, Geotêxtil e Tirantes.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Definir as condições adequadas e não adequadas dos três sistemas construtivos;
- b) Definir o cenário onde é possível aplicar os três sistemas;
- c) Analisar o processo de construção dos três sistemas;
- d) Definir custo e consumo de materiais para cada sistema, variando o diâmetro do duto.

1.3 Estrutura da Pesquisa

Este trabalho encontra-se organizado da seguinte forma:

O capítulo 2 e 3, refere-se a revisão bibliográfica, apresentado um panorama sobre sustentabilidade, construção civil, impactos ambientais, modais de transporte, dutos e métodos para controle de flutuabilidade de dutos enterrados. Podemos destacar os principais benefícios do uso do modal dutoviário para transporte e ganhos obtidos com a utilização de diferentes métodos para controle de flutuabilidade.

O capítulo 4 apresenta a metodologia de pesquisa utilizado, definindo as condições adequadas para os três sistemas construtivos de controle de flutuabilidade, fixando um cenário para aplicação dos três sistemas bem como a sequência de logística e construtiva. Também apresenta os resultados obtidos, tanto econômicos quanto ambientais para os cenários em discussão.

Os capítulos 5 e 6 são destinados à apresentação dos resultados obtidos nessa pesquisa e as considerações finais.

Na sequência, para fechamento do presente trabalho estão relacionados as referências bibliográficas e os anexos que subsidiaram a sua elaboração.

1.4 Delimitações do trabalho

Devido à abrangência dos temas investigados, faz-se necessário definir o escopo desta pesquisa, tanto em termos de abrangência e impactos analisados. No decorrer do trabalho serão contabilizados os impactos econômicos e ambientais, das fases diretamente ligados na construção e montagem para as diferentes metodologias de controle de fluabilidade de dutos enterrados.

Desta forma, não é possível obter os indicadores de todo o ciclo de vida, e sim, investigar impactos econômicos e ambientais causados pelos recursos de mão de obra, equipamentos e materiais dos diferentes métodos para o controle de fluabilidade, levando em conta somente os recursos diretos e a diferença dos materiais aplicados nesta atividade de carregamento de tubos até o completo abaixamento e cobertura.

Esse trabalho utilizou dados reais e estimados, conforme Tabela 1, para as três metodologias e os diâmetros, assim como valores de custo atuais dos recursos diretamente envolvidos na geração dos indicadores.

Tabela 1 – Estudo de casos (diâmetros x metodologias)

Diâmetro	Concreto	Tirantes	Geotêxtil
10 pol (Base GLP Duto)	Realizado (ajustes conforme cenário)	Estimativa	Estimativa
16 pol	Estimativa	Estimativa	Estimativa
24 pol (Pilar-Ipojuca)	Realizado (ajustes conforme cenário)	Estimativa	Estimativa
32 pol (Emissário do COMPERJ)	Realizado	Estimativa	Realizado

Fonte: elaborado pelo autor

2 IMPACTOS AMBIENTAIS E A CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1 Sustentabilidade, construção civil e impactos ambientais

Ao longo da história da humanidade, a visão de progresso vem se confundindo com um crescente domínio de transformação da natureza. Neste sentido, os recursos naturais eram vistos como ilimitados e os resíduos depositados em aterros, caracterizando os modelos lineares de produção: extração, uso e descarte. A preservação da natureza era vista de forma geral como desfavorável ao desenvolvimento, foram criados parques com áreas especiais destinadas à preservação, com amostras de vegetação, para as gerações futuras, evitando assim a extinção das espécies (JOHN, 2001).

O primeiro alerta do limite desse modelo foi a poluição da água e do ar, o que levou a geração do conceito de controle ambiental, limitando de forma rígida a liberação de poluentes (JOHN, 2001). O modelo linear de produção mostrou-se incapaz e surge então a visão do desenvolvimento sustentável a partir da proposta de um modelo cíclico de produção, diminuindo a extração e o descarte através de práticas de otimização, reuso e reciclagem.

Em 1987, no relatório de Bruntland, aparece pela primeira vez a expressão do desenvolvimento sustentável, como aquele que *“permite satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras satisfazerem as suas”* e a partir dessa data, o assunto vem sendo tratado de uma forma crescente.

No Brasil, em 1988 o tema sustentabilidade teve o seu embasamento legal, através do artigo 170, VI e 225 da constituição federal, que impõe ao poder público o dever de defender e preservar o meio ambiente para o presente e para as futuras gerações. A partir daí passou a ser exigido um estudo prévio do impacto ambiental para obras e outras atividades que possam causar degradação ambiental. A legislação contempla resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), portarias do Ministério do Trabalho e Emprego, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e Normas Técnicas, merecendo destaque as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Código florestal, entre outras.

Impacto ambiental é definido pelo CONAMA através da Resolução 001 (23 de janeiro de 1986) como qualquer forma de alteração das características físicas,

químicas e biológicas no meio ambiente, cuja causa é derivada de qualquer forma de matéria ou energia resultante de atividades antrópicas, de maneira direta ou indireta que afetam: a saúde, a segurança e o bem estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e qualidade dos recursos ambientais (CONAMA, 1986).

O desenvolvimento sustentável é complexo e multidisciplinar, e para isso necessita de ferramentas e métodos para medir e comparar os impactos ambientais das atividades humanas para os vários produtos, tanto de bens como de serviços. Mesmo tardiamente, se comparada a outras indústrias, a construção civil vem adotando uma conscientização e uma postura mais proativa em relação ao meio ambiente e a sustentabilidade (CARVALHO; SPOSTO, 2012)

De acordo com Kibert (2008 apud Torgal; Jalali, 2010) os princípios da sustentabilidade são:

- Redução de consumo de recursos;
- Reutilização de recursos;
- Utilização de recursos recicláveis;
- Proteção da natureza;
- Eliminação de tóxicos;
- Aplicação de avaliação do ciclo de vida em termos econômicos, sociais e ambientais e
- Ênfase na qualidade.

O desenvolvimento sustentável apoia-se em três dimensões: econômica, social e ambiental, conforme Figura 1, que devem ser estimuladas, salvaguardadas e trabalhadas em conjunto (MATEUS, 2004).

Figura 1 - Pilares do desenvolvimento sustentável

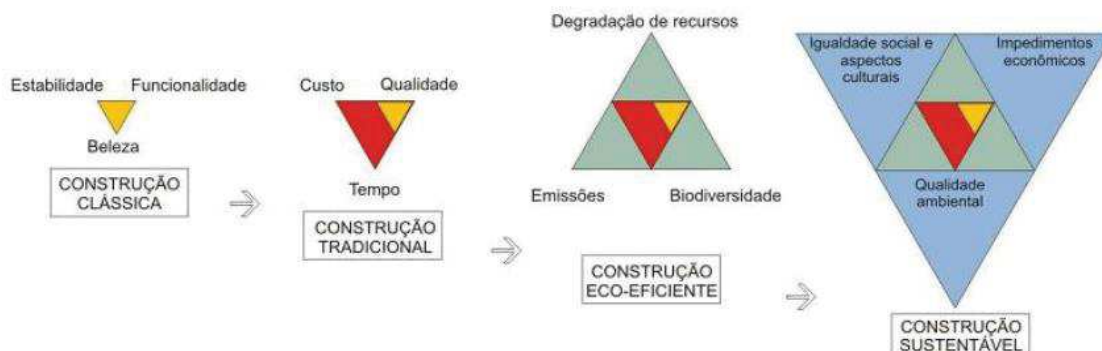


Fonte://static.todamateria.com.br/upload/tr/ip/tripe1.jpg

2.2 Construção Sustentável

A construção civil vem passando por várias etapas e de forma evolutiva inclui como premissas atuais os conceitos de desenvolvimento sustentável, como são mostradas na Figura 2.

Figura 2- Evolução da construção civil, até o desenvolvimento sustentável em seus projetos.



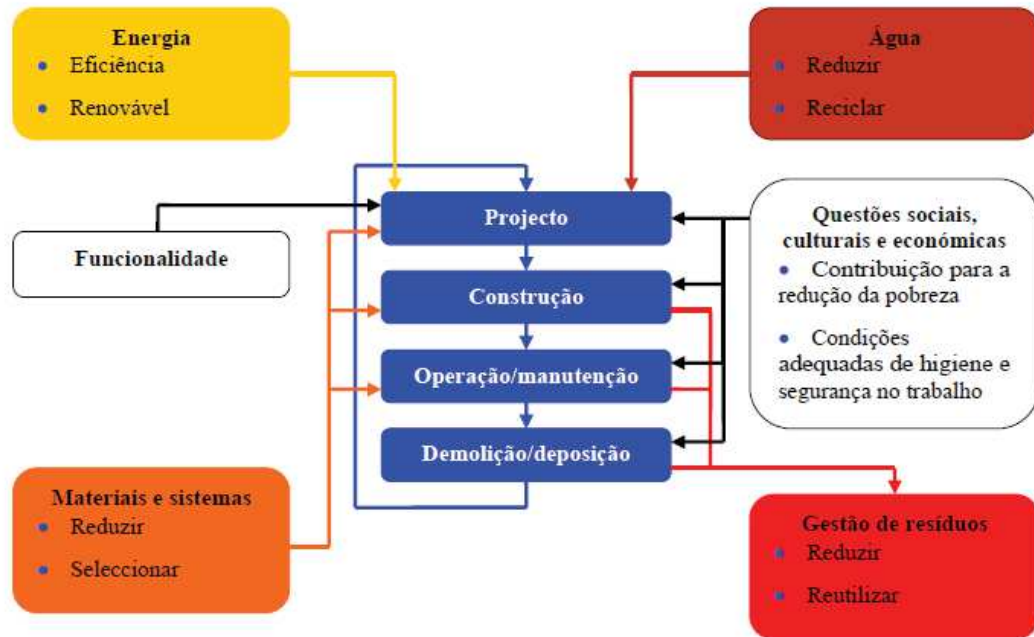
Fonte: (KUHN, 2006)

Inicialmente, na construção clássica, os principais requisitos eram a estabilidade, a funcionalidade e a beleza. Já na construção tradicional foram incorporados os conceitos de custo, de qualidade e de tempo. Posteriormente, a construção eco-eficiente integrou aos conceitos anteriores os requisitos de degradação de recursos, emissões e biodiversidade. Por fim, a construção

sustentável, além de integrar todos os requisitos anteriores, leva em consideração as dimensões sociais, ambientais e econômicas (KUHN, 2006; MATEUS, 2004).

A lista de prioridades que deverá ser aplicada, através de uma abordagem integrada a todas as fases do ciclo e vida de uma construção, está relacionada na Figura 3 (MATEUS, 2004).

Figura 3 – Abordagem integrada e sustentável às fases do ciclo de vida de uma construção



Fonte: (MATEUS, 2004)

Além de minimizar a escolha por matérias primas não renováveis, é necessário atentar para outras características como (TORGAL; JALALI, 2010):

- Não tóxicos;
- Com baixa energia incorporada;
- Recicláveis;
- Que possam permitir o reaproveitamento de resíduos de outras indústrias;
- Que provenham de fontes renováveis;
- Que estejam associados a baixa emissão de GEE;
- Duráveis;
- Cujas escolhas sejam levadas a cabo mediante uma análise do seu ciclo de vida.

2.3 Consumo de materiais e extração de matérias-primas

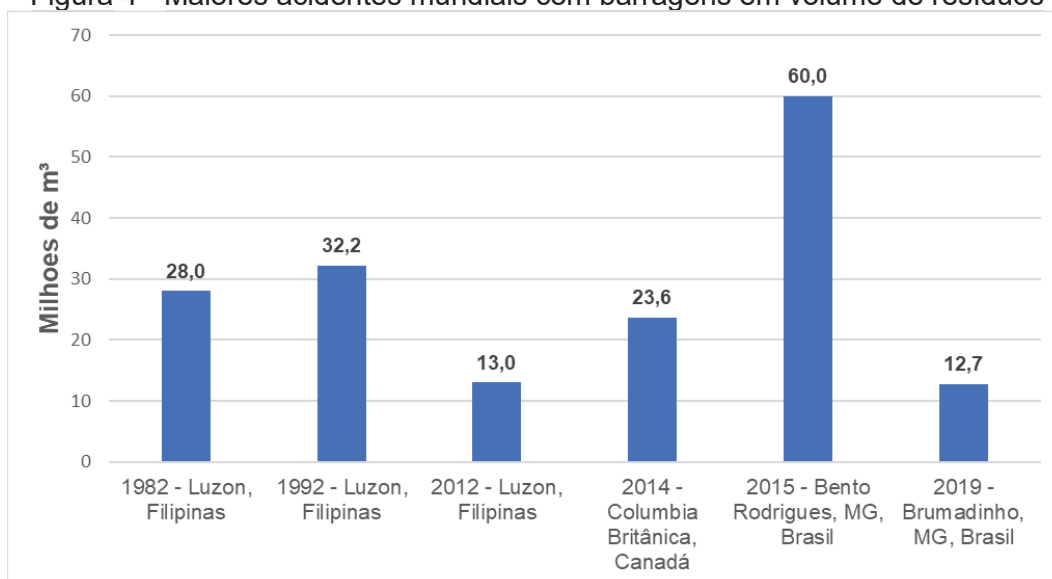
A construção civil em termos mundiais, consome quase 50%, da matéria prima, o que evidencia um setor de grande impacto ambiental (TORGAL; JALALI, 2010). A maior parte da energia consumida na produção é utilizada no transporte dos materiais, isto é, aproximadamente 80% (CONSTRUCTION..., 1996 apud (JOHN, 2001).

Para se perceber a importância dos materiais no contexto da construção sustentável, é necessário saber os impactos ambientais provocados pela extração das matérias-primas necessária para a sua produção, pois um dos maiores problemas ambientais é o esgotamento das reservas. Berge, (2009) apud Torgal; Jalali, 2010) estimou que as reservas de ferro são suficientes por 95 anos, as de ouro por 17 e as de carvão por 150 anos. Já as reservas de agregados, argila, cal e terra, materiais usados em larga escala na construção, têm uma previsão de esgotamento mais elevado. Considerando as reservas disponíveis de Petróleo, Carvão e Gás Natural, de acordo com dados disponibilizados pela *Energy Information Administration*, pode-se calcular que esses recursos deverão se extinguir dentro de aproximadamente 43, 132 e 60 anos, respectivamente (JACQUES, 2011).

O maior impacto ambiental, além do esgotamento dos materiais não renováveis são os altos impactos causados pela sua extração. De acordo com Whitmore (2006 apud Torgal; Jalali, 2010), nas atividades de mineração existe um aproveitamento médio de apenas 15% do material, resultando numa vasta quantidade de resíduos de mineração, cuja disposição constitui um risco ambiental em termos de preservação da biodiversidade, assim como a poluição de fontes de água potável.

Um exemplo disso, considerado o maior desastre desse tipo dos últimos 100 anos, foi o que aconteceu no distrito Bento Rodrigues, em Minas Gerais, com o rompimento de dois barramentos de rejeitos de mineração, poluindo a Bacia Hidrográfica do Rio Doce e o mar Capixaba. Estima-se que nesse rompimento vazaram entre 50 e 60 milhões de metros cúbicos de areia, lama e detritos de minério (EBC, 2016) que resultou em danos ambientais devastadores, causando a morte de 19 pessoas (G1, 2016). Já em 2019, em Brumadinho/Minas Gerais, ocorreu outro rompimento de Barragem, com cerca de 12,7 milhões de m³, que além do desastre ambiental também ocasionou 225 mortos e 68 desaparecidos, até o dia 10 de abril de 2019 (G1, 2019; R7, 2019). Na Figura 4 estão relacionados os maiores acidentes ambientais com barragens em volume de resíduos entre 1980 até os dias atuais.

Figura 4 - Maiores acidentes mundiais com barragens em volume de resíduos



Fonte: atualizada pelo autor (EBC, 2016)

Desde a década de 70, foram mais de 30 acidentes graves deste tipo, dentre os quais destacaram-se, em junho de 1985, o rompimento de dois aterros de contenção de lamas de minas localizados no vale de Stava, na Itália, cujo material atingiu uma aldeia com 20 edifícios, matando 268 pessoas, ferindo 20 e 180 mil m³ de material (LUINO; DE GRAFF, 2012) e, em abril de 1998, ocorreu o rompimento de um dos aterros de contenção do depósito de lamas tóxicas da Mina de Aznalcollar, na Espanha (AGUILAR et al., 2000).

2.4 Emissão de gases de efeito estufa

A utilização de fontes energéticas de origem fóssil contribuem, significativamente, e para a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa e dessa forma os insumos energéticos do setor são considerados como geradores de grandes impactos ambientais.

Uma das consequências da emissão de gases de efeito estufa é o aquecimento global estimado em 2°C, aumentando o nível do mar e a acidificação dos oceanos. Estima-se que o nível dos mares tenha subido, globalmente, cerca de 0,1 a 0,2 mm por ano, ao longo dos últimos 3 mil anos. Contudo, a elevação, no século XX, foi de 1,7mm por ano, e desde 1993 a taxa ultrapassou 3 mm (FANDÉ; HENKES, 2019) e estima-se que 70% das zonas costeiras do mundo serão impactadas pelo aumento

global do nível dos oceanos, onde vivem cerca de um quinto da população mundial em um raio de 30 km (IPCC, 2014).

Prevê-se que a média global de elevação dos mares será de 7 a 36 cm até 2050, de 9 a 69 cm até 2080 e 30 cm a 1 m até 2100 e, a elevação dos mares não será linear e ainda prevê-se que as regiões mais afetadas serão no norte do pacífico e na Groelândia (ROAF; CRICHTON; NICOL, 2009). O aumento dos níveis dos mares é causado pela expansão térmica da água dos oceano e degelo dos glaciares continentais e das calotas polares, sendo a expansão responsável por 70% e o degelo por 30% (VENTURA; SOUSA; FERNANDES, 2017).

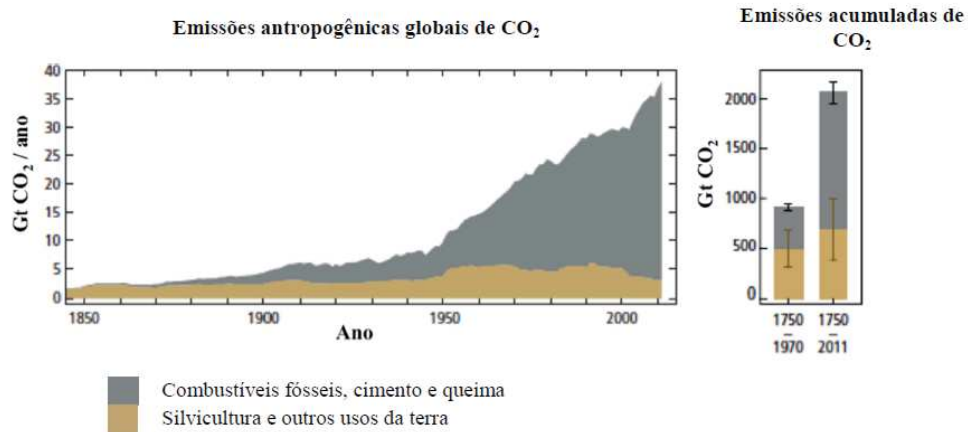
Atualmente os países mais desenvolvidos são os que apresentam melhores condições tecnológicas para enfrentar as mudanças climáticas e são os mais poluentes. Na outra extremidade, os países pobres têm contribuições insignificantes no panorama global e sofrerão com a falta de desenvolvimento tecnológico (STERN, 2006; ROCHA, 2009 apud LOBO, 2010). A desigualdade em termos de geração das emissões em tCO_2_{equi} , entre os países, pode ser observada na Tabela 2.

Tabela 2 – Emissões de CO_2

Emissões de tCO_2_{equi}			Maiores emissores per capita de tCO_2		
Colocação	País	Emissões de tCO_2_{equi}	Colocação	País	tCO_2 per Capta
1º	Estados Unidos	5.912	1º	Estados Unidos	19,95
2º	China	4.707	2º	Austrália	19,1
3º	Rússia	1.685	3º	Canadá	19,05
4º	Japão	1.262	4º	Arábia Saudita	13,25
19º	Brasil	308	Média Mundial		9,38
Média Mundial		127	19º	Brasil	1,97

Fonte: adaptado pelo autor de LOBO (2010)

A Tabela 2 apresenta as emissões globais de dióxido de carbono (CO_2) antropogênico, expressas em gigatoneladas de CO_2 equivalente por ano ($Gt CO_2 / ano$) a partir da combustão de combustíveis fósseis, produção de cimento e queima, e da silvicultura e outros usos da terra durante o período do ano de 1750 e 2011.

Figura 5 - Emissões antropogênicas globais de CO₂.

Fonte: IPCC (2014)

O aumento significativo da emissão de CO₂ está diretamente relacionado com o crescimento da população após revolução industrial, conforme mostra a Figura 6, cuja projeção para 2048 são de 9 bilhões de habitantes.

Figura 6 - Crescimento da população mundial



Fonte: adaptado pelo autor de knowledge.allian.com

Um dos grandes desafios para a indústria da construção civil é a produção de edifícios “neutros em carbono”, onde se busca alcançar o equilíbrio entre as quantidades de carbono emitidas e sequestradas ou armazenadas. No Brasil, embora ainda não tenha atingido este nível de ações, já existem construtoras e incorporadoras preocupadas com este problema e, voluntariamente, buscando caminhos para minimizar as suas emissões (FREITAS JR et al., 2017).

Em 2009 a ONU, por meio da *United Nations Environment Program (UNEP)*, na 15ª Conferência das Partes (COP 15), incluiu em suas discussões, como assunto relevante, que as construções são importantes fontes de emissões e que é o setor industrial que tem o maior potencial para alcançar reduções significativas e de baixo custo de emissões de GEE e para se alcançar as metas de redução é necessário aumentar a eficiência energética das edificações (FREITAS JR et al., 2017).

2.5 Avaliação do ciclo de vida

É evidente a crescente conscientização quanto à importância da proteção ambiental e a identificação dos possíveis impactos ambientais associados aos produtos ou serviços, em todas as fases do ciclo de vida, isto é, do berço ao túmulo, ou de berço ao berço. Braungart e McDonough (2002) defendem que os materiais possam ser reciclados ilimitadamente e essa preocupação vem desencadeando o interesse no desenvolvimento de métodos que auxiliem na melhor compreensão e tratamento desses impactos, sendo uma delas a avaliação do ciclo de vida (AVC).

Uma das estratégias do setor é utilizar abordagens por avaliação do ciclo de vida (ACV), a fim de implantar melhorias e inovações de produto, processos e serviços de suas atividades que promovam ganhos no desempenho ambiental do setor (LOBO, 2010). A ACV mede e avalia os impactos que um material ou produto gera sobre a saúde humana, o meio ambiente e as reservas de recursos naturais ao longo do ciclo de vida, englobando as etapas de produção, uso, demolição, reciclagem e disposição final com a geração de um perfil ambiental a partir de balanços de entradas e saídas do processo (SILVA, 2003).

A ACV é resultado da necessidade de se determinar os impactos ambientais das atividades humanas, sobretudo nas atividades de transformação cujos impactos começam na extração da matéria-prima, no processo industrial, comercialização, descarte ou reciclagem, incluindo o transporte destas etapas (LOBO, 2010).

A análise da ACV pode ser realizada através de (LOBO, 2010):

- Energia: consumo energético e emissão de CO₂ (TAVARES, 2006);
- Produção enxuta: aborda princípios de durabilidade, produção e gestão;
- Gestão ambiental: enfoques que analisam as abordagens e introdução nas indústrias, na construção civil, no planejamento e na gestão;

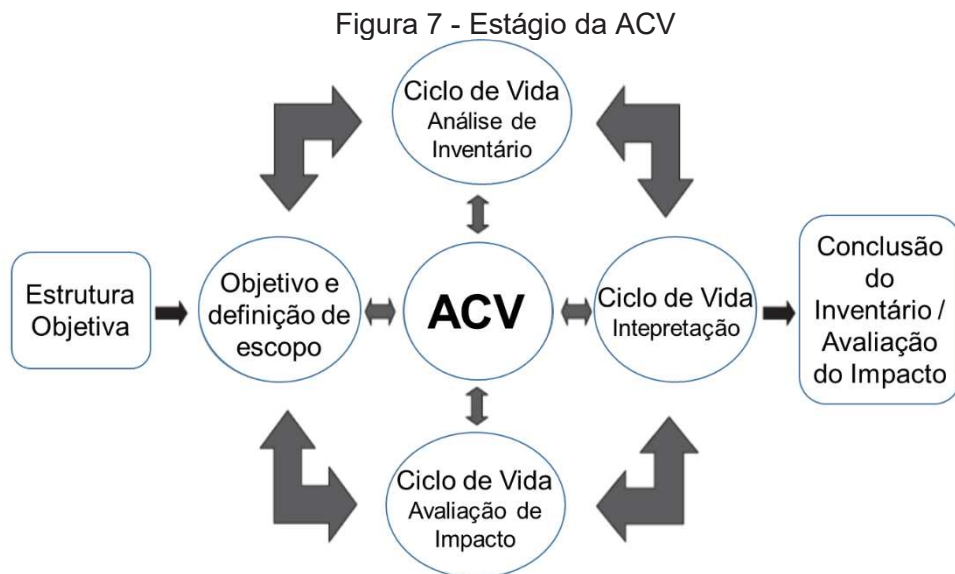
- Materiais: os estudos mais avançados internacionalmente estão focados no cimento e na metalurgia, devido seu alto consumo. No Brasil, um dos objetos em estudo é a cerâmica vermelha;
- Comparação de processos e produtos;
- Método de avaliação ambiental com certificação;
- Ferramentas computacionais.

Vários estudos realizados, indicam que na construção civil a etapa de projeto é fundamental nas causas dos problemas ambientais. O impacto da fase do projeto na Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) atinge toda a cadeia de suprimentos e questões de métodos de produção e construtibilidade. Essa etapa define o objeto a ser construído, assim como os materiais a serem empregados (LOBO, 2010). A falta de um banco de dados, na indústria brasileira, não permite uma análise do ciclo de vida dos materiais de construção civil e o que existe sobre a utilização de um ACV para a avaliação de sustentabilidade ACV (LOBO, 2010).

O baixo desempenho em vários indicadores da indústria da construção civil, tais como: custos, cumprimento de prazos, desperdício e consumo de energia justificam a realização de estudos para implantação de melhorias de processos e sistemas construtivos. Melhorias de gestão, de processos e implantação de inovações no setor são necessárias para uma mudança do desempenho da AEC (LOBO, 2010).

A ACV, de acordo com a NBR ISO 14040 (2009) e Sharma et al., (2011) pode ser dividido em 4 etapas, conforme demonstrado na Figura 7:

- Definição do escopo e objetivo: estabelece a unidade funcional, limites do sistema e critérios de qualidade para os dados de inventário;
- Análise do inventário: coleta e resumo de informações sobre materiais físicos e fluxos de energia em várias fases do ciclo de vida dos produtos;
- Avaliação do impacto: ambiental dos diversos fluxos de materiais. O fator de caracterização é usado para calcular a contribuição de cada um dos constituintes para diferentes indicadores (emissões de GEE, depredação da camada de ozônio, etc.);
- Interpretação do ciclo de vida: trata da interpretação dos resultados tanto da análise do inventário do ciclo de vida quanto do impacto. Inclui a identificação de questões importantes e a avaliação dos resultados.



Fonte: adaptada pelo autor de Sharma et al., (2011)

Conforme Passuello et al., (2014) o Ciclo de vida é a expressão usada para referir-se a todas as etapas e processos de um sistema de produtos ou serviços, englobando toda a cadeia de produção e consumo, considerando aquisição de energia, materiais primas e produtos auxiliares, aspectos dos sistemas de transporte e logística, características da utilização, manuseio, embalagem e consumo, sobras e resíduos e sua respectiva reciclagem ou destino final.

O conjunto das normas da série ISO 14.000 preconiza a qualidade ambiental buscando estabelecer diretrizes, tanto para a implementação de sistemas de gestão ambiental, nas atividades econômicas que possam afetar o meio ambiental, assim como para avaliação e certificação desses sistemas, com metodologias uniformes e aceitas internacionalmente. As normas de gestão ambiental servem como um auxílio para que as empresas possam alcançar os seus objetivos ambientais e econômicos, além disso, são estruturadas de forma para que possam ser integrados a outros requisitos de gestão. A série ISO 14.000 contempla seis áreas que são:

- Sistemas de Gerenciamento Ambiental;
- Auditorias Ambientais;
- Avaliação do Desempenho Ambiental;
- Rotulagem Ambiental;
- Análise do Ciclo de Vida;
- Aspectos ambientais relacionados ao produto.

A ACV tipicamente não enfoca os aspectos econômicos ou sociais de um produto, mas a abordagem de ciclo de vida e as metodologias descritas em norma podem ser aplicadas a esses outros aspectos (NBR ISO 14040, 2009).

As normas brasileiras que orientam a execução da ACV são:

- ABNT NBR ISO 14.040:2009 (Princípios e estrutura)
- ABNT NBR ISO 14.044:2009 (Requisitos e orientações)

ACV pode subsidiar (NBR ISO 14040, 2009):

- Identificação de oportunidades para melhoria do desempenho ambiental de produtos em diversos pontos do ciclo de vida;
- O nível de informação dos tomadores de decisão da indústria e nas organizações governamentais ou não governamentais, visando por exemplo, o planejamento estratégico, a definição de prioridades ou o projeto ou reprojeto de produtos ou processos;
- Seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes, incluído técnicas de medição e
- O marketing, por exemplo, na implementação de um esquema de rotulagem ambiental, na apresentação de uma reivindicação ambiental ou na elaboração de uma declaração ambiental do produto.

3 DUTOVIAS

3.1 Modais de Transporte

O setor de construção civil não se restringe à construção de edifícios, o setor abrange também o segmento de engenharia relativo às obras de infraestrutura, incluindo a execução dos diferentes modais de transporte de cargas.

A carência na infraestrutura de transportes tem um impacto significativo para o Brasil em rankings como o de desempenho logístico, conforme divulgado pelo Banco Mundial (LIMA, 2014).

O Brasil continua com uma infraestrutura similar de transporte de carga, semelhante à década de 80. Comparando com os países do BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China), ainda é o mais carente em infraestrutura, conforme Tabela 3, com o menor índice por km², o que também resulta precário desempenho logístico e infraestrutura, deixando o Brasil no 65º e 54º lugar respectivamente, no ano de 2014 (LIMA, 2014).

Tabela 3 – Infraestrutura de transportes de carga pelo mundo

Área (milhões de km ²)	Brasil	China	Índia	Rússia	Estados Unidos	Canadá
	8,5	9,6	3	17	9,1	9
Rodovias Pavimentadas	219	1.576	1.569	776	4.375	416
Ferrovias	29	86	64	87	225	47
Dutovias	19	87	35	260	2.225	100
Hidrovias	14	110	15	102	41	0,6
Total	281	1.859,00	1.683,00	1.225,00	6.866,00	563,6
Km(mil km²)	33,06	193,6	561	72,1	754,51	62,62

Autor: adaptado de Lima (2014)

Basicamente são cinco os modais de transporte de cargas: ferroviário, rodoviário, aquaviário, aéreo e dutoviário. Racionalmente, a escolha pelo modal a ser utilizado deve levar em consideração duas dimensões: características dos serviços e o custo (OLIVEIRA, 2016).

Em relação à primeira dimensão, isto é, em relação às características dos serviços, há cinco aspectos importantes para a classificação do melhor modal de transporte: velocidade, disponibilidade, consistência, capacidade e frequência, conforme Tabela 4 (NAZÁRIO, 2000a).

Tabela 4 - Características operacionais relativas por modal de transporte

Aspecto/Modal	Ferroviário	Rodoviário	Aquaviário	Aéreo	Dutoviário
Velocidade	3	2	4	1	5
Disponibilidade	2	1	4	3	5
Confiabilidade	3	2	4	5	1
Capacidade	2	3	1	4	5
Frequência	4	2	5	3	1
Resultado	14	10	18	16	17
Critério: 1 = ótimo, 2 = bom, 3 = normal, 4 = regular, 5 = ruim					

Fonte: Nazario, (2000a)

Sendo, **(i) Velocidade:** tempo decorrido de movimentação em dada rota e o modal aéreo é o que tem melhor desempenho; **(ii) Disponibilidade:** número de locais onde o modal se apresenta, sendo a melhor opção o rodoviário; **(iii) Confiabilidade:** capacidade de cumprir o tempo previsto, o melhor representado pelo modal dutoviário, por não ter interferências e variações; **(iv) Capacidade:** permite trabalhar com diferentes volumes e variedades de produtos e o modal aquaviário que representa a melhor opção e **(v) Frequência:** número de vezes que pode ser utilizado, onde o modal dutoviário apresenta um melhor desempenho, pois trabalha 24 horas por dia e 7 dias por semana (NAZÁRIO, 2000a; OLIVEIRA, 2016). O modal que melhor atende ao sistema de transporte é o rodoviário, por apresentar uma classificação em destaque nas cinco características de serviços, isto é, tem uma soma de menos pontos, conforme critério estabelecido.

Em relação à segunda dimensão, custo, a diferença entre os modais tende a ser bastante significativa. De acordo com Nazario (2000a), na Tabela 5 é apresentada a estrutura de custo fixo e variável de cada modal.

Tabela 5 - Estrutura de custos por modal de transporte

Tipo/Modal	Custo fixo	Custo Variável
Ferroviário	Altos (equipamentos, terminais, vias aéreas etc.)	Baixo
Rodoviário	Baixos (rodovias estabelecidas e construídas com fundos públicos)	Médio (combustíveis, manutenção etc.)
Aquaviário	Médio (navios e equipamentos)	Baixo (tem capacidade de transportar grandes quantidades)
Aéreo	Alto (aeronaves e manuseio de cargas)	Alto (combustíveis, mão de obra, manutenção etc)
Dutoviário	Elevado (direito de acesso, construção, requisitos para controle das estações e capacidade de bombeamento)	Baixo (nenhum custo com mão de obra de grande importância)

Fonte: Nazario, (2000a)

Um estudo comparativo realizado com relação aos preços de operação dos diferentes modais, tanto nos EUA quanto no Brasil, a classificação quanto aos custos

é a mesma, os mais elevados para o modal aéreo, seguido pelo rodoviário, ferroviário, dutoviário e aquaviário, conforme demonstrado na Tabela 6 (NAZÁRIO, 2000b; LIMA, 2006).

Tabela 6 - Preço relativo aos diferentes modais

Modal	(NAZÁRIO, 2000b) - US\$ 1000.Ton.km (Nota 1)			(LIMA, 2006) – US\$ 1000.Ton.km		
	EUA	Brasil (em US\$)	Brasil / EUA	EUA	Brasil (em US\$)	Brasil / EUA
Aéreo	320	450	1,41	898	602	0,67
Rodoviário	56	20	0,36	274	73	0,27
Ferrovário	14	16	1,14	17	12	0,7
Dutoviário	9	10	1,11	9	18	0,5
Aquaviário	5	9	1,8	9	24	2,66

Nota 1: Dados convertidos para US\$ a uma taxa de 2,90 reais por dólar. Fonte: Nazário (in: Fleury et al, 2000, p.130).

Fonte: adaptado de Lima (2006) e Nazário (2000a)

De acordo com Lima (2014), os percentuais de utilização estão relacionados na Tabela 7, onde pode-se observar que existe uma grande diferença entre os dois países. A distribuição entre os modais nos Estados Unidos é mais uniforme do que no Brasil, onde o mais utilizado é o rodoviário, também o de maior custo, conforme Tabela 6. A comparação entre as matrizes de transporte de Brasil e Estados Unidos mostra, claramente, que a grande diferença do Brasil para os outros países não está no custo propriamente dito de cada modal, mas sim na proporção dos modais no transporte de cargas. Enquanto o Brasil realiza 2/3 do seu transporte de carga através de rodovias, os Estados Unidos movimentam menos de 1/3 da sua produção por caminhões.

Tabela 7 – Matriz de transportes de carga de Brasil e Estados Unidos e seus custos (Base 2012)

Modal	Brasil		USA	
	% Participação	US\$/mil TKU	% Participação	US\$/mil TKU
Rodoviário	67%	133	31%	310
Ferrovário	18%	22	37%	29
Aquaviário	11%	30	10%	10
Dutoviário	3%	25	21%	9
Aéreo	0,04%	1.060	0,30%	1.107

Fonte: Adaptado pelo autor de (LIMA, 2014)

Observando a razão de custo do transporte entre o Brasil e EUA, ainda conforme Tabela 7, há uma inversão de preços. Conforme Wanke e Fleury, (2006), isso é resultado do excesso de oferta de transporte rodoviário no Brasil, resultante da falta de regulamentação da entrada de novas empresas no setor o que cria uma concorrência desleal com os demais modais de transporte, dificultando maiores investimentos e expansão.

Um maior investimento nos modais Ferroviário, Aquaviário e Dutoviário reduziria em parte os problemas logísticos no Brasil, como também reduziria custo logístico em relação ao PIB. Uma integração eficiente entre os modais também é fundamental para a melhoria do sistema de transporte. Numa comparação entre os EUA e o Brasil, esses três modais mais eficientes em termos de utilização juntos representam 74% e 37% respectivamente, conforme Tabela 7.

Um cálculo simples ajuda a mostrar a distância entre Brasil e Estados Unidos em infraestrutura para transporte de carga. Se a matriz de transportes brasileira fosse igual à dos Estados Unidos e fossem aplicados os mesmos investimentos de cada modal no Brasil, o país economizaria R\$ 113 bilhões ou 37% dos custos com transporte de carga no Brasil (LIMA, 2014). Lima (2006) confirma os altos custos com relação a logística no Brasil comparado ao EUA, sendo no Brasil igual a 12,63% e nos EUA igual a 8,1%, com relação ao PIB.

Segundo Wanke e Fleury, (2006), o mais preocupante dos problemas que afetam o transporte de cargas no Brasil é certamente a distorção da matriz. Outros países com dimensões territoriais similares, como EUA, Canadá, China e Rússia utilizam, predominantemente, os modais ferroviário e aquaviário, enquanto aqui se observa exatamente o contrário, com mais de 60% transportado pelo modal rodoviário, contra 26% nos EUA, 24% na Austrália e 8% na China.

3.2 Transporte por dutos

O transporte por dutos é um dos modais mais importantes, porém no Brasil, a sua participação é menor, ele é controlado por poucas empresas. Os dutos constituem o melhor meio para transporte de fluidos, contudo, a construção de oleodutos e gasodutos requer pesado investimento inicial, com retorno de capital garantido (CANTO; LOUZADA, 2009).

De acordo com Rennó e Lemgruber (2009), existem registros que dutovias já foram utilizadas por egípcios, romanos, astecas e chineses no transporte de madeira, bambu, cerâmica e chumbo. Na primeira metade do século XIX, entre 1806 e 1820, tem-se os primeiros registros de utilização de dutos para o transporte de gás, produzido através do carvão, em cidades da Inglaterra e Estados Unidos. O primeiro aproveitamento de gás natural, que se tem notícia, ocorreu em 1821 em Nova York, ainda em dutos de madeira. Somente após 1943, com a invenção da tubulação de aço e redução do risco, foi possível a expansão do mercado com maior segurança e confiabilidade. Sendo assim, os registros dos primeiros dutos constam na Tabela 8.

Tabela 8 – Histórico dos primeiros dutos

Ano	Diâmetro (pol)	Comprimento (km)	Local	Produto Transportado
1865	2	9,65	Pensilvânia	Óleo
1871	-	40,23	Nova York	Gás Natural
1880	-	804,67	Pensilvania-Pittsburgh	Gás Natural
1877	6	175,42	Áreas de produção de baku	Óleo
1878	-	-	Balakhani – Baku	Óleo
1879	6	175,42	Pensilvânia	Óleo
1907	8	885	Baku-mar negro	Querosene

Autor: adaptado de Rennó e Lemgruber (2009)

Alguns avanços tecnológicos contribuíram para a expansão da malha de dutos, dentre as quais, a soldagem das juntas, a instalação dos dutos em valas o que minimizou os rompimentos pela dilatação térmica da tubulação, revestimento externo da tubulação, proteção catódica, travessias e cruzamento de trechos através de métodos não destrutivos e desenvolvimento de aços de maior resistência (RENNÓ; LEMGRUBER, 2009).

No Brasil, em 1948, foi construída a primeira rede de oleodutos entre as cidades de Santos e São Paulo, autorizada pelo CNP – Conselho Nacional de Petróleo. Com a criação da Petrobrás em 1954, na Bahia, foram implantadas linhas coletoras entre os poços de produção e a Refinaria RELAN e dutos para escoar a produção até o terminal marítimo de TEMADRE. A partir da década de 60, ocorreu um grande incremento em projetos de novos dutos e em 1966, entrou em operação o primeiro oleoduto Rio-Belo Horizonte com 18 polegadas de diâmetro e 365 km de extensão. Posteriormente outros dutos entraram em operação em Sergipe, Rio Grande do Sul, São Paulo entre outros. Merece atenção o GASBOL (Gasoduto Bolívia-Brasil), no período de 1997 a 2000, com 3.150 km de comprimento, destes 557 na Bolívia (Santa

Cruz de La Sierra a Porto Suarez) e 2.593 no Brasil (Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul). A expansão de dutos continuou, e hoje a malha de gasodutos interliga a região sul, sudeste e grande parte do Nordeste (RENNÓ; LEMGRUBER, 2009).

De acordo com as informações divulgadas pela Agency Central Intelligence (2017), conforme Tabela 9, o Brasil se encontra em 14º lugar em extensão de dutos de petróleo e derivados implantados, ficando atrás de muitos países com extensões territoriais menores. A diferença expressiva de dutos instalados entre o Brasil e Estados Unidos, com dimensões territoriais semelhantes também pode ser observada nas Figura 8 do Brasil e Figura 9 dos Estados Unidos. Na Figura 8 não foram inseridas as informações das companhias estaduais de distribuição de gás, cuja extensão instalada passa de 10 mil km.

Tabela 9 - Dutos Instalados no Mundo

Posição	País	Total (km)
1º	Estado Unidos	< 440.000
2º	Rússia	251.800
3º	China	118.400
4º	Canadá	110.000
5º	Ucrânia	45.597
6º	Argentina	39.850
7º	Reino Unido	39.523
8º	Iran	38.906
9º	México	36.885
10º	Índia	35.676
11º	Austrália	34.758
12º	Alemanha	34.327
13º	Argélia	29.642
14º	Brasil	27.468
15º	Cazaquistão	26.963
16º	França	23.345
17º	Itália	23.190

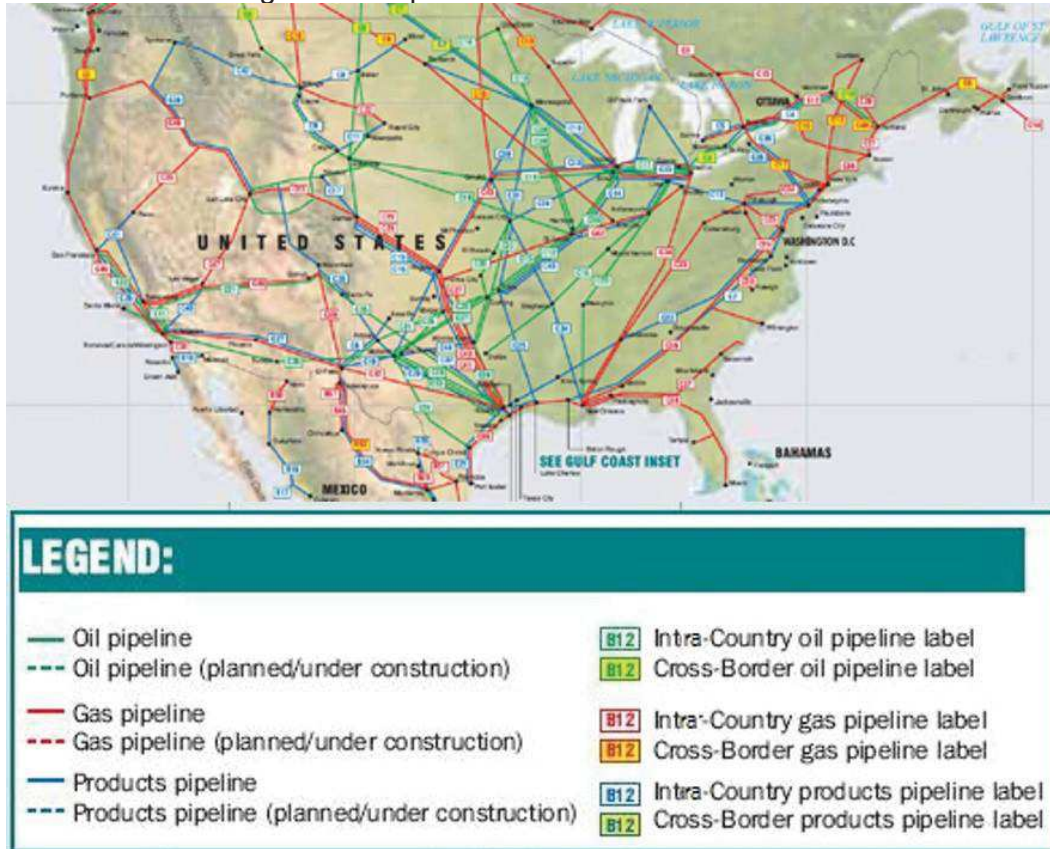
Fonte: adaptada pelo autor de Agency Central Intelligence (2017)

Figura 8 - Mapa de Gasodutos, oleodutos e Minerodutos no Brasil



Fonte: (INFRAESTRUTURA.GOV.BR, 2019)

Figura 9 - Mapa de Dutos dos Estados Unidos



Fonte: THEODORA.COM (2017)

Os dutos apresentam grandes vantagens em relação aos demais modais de transporte, e as principais são:

- Alta Confiabilidade, pois podem operar de forma contínua, em condições adversas de tempo e, em geral, a segurança em dutos é superior a de outros modais, sendo indicada para o transporte de produtos perigosos como Etileno ou GLP (VELOSO et al., 2005; RENNÓ; LEMGRUBER, 2009; RIBEIRO; FERREIRA, 2002)
- Alta Economia no Transporte, se comparado ao modal ferroviário (até 5 vezes mais econômico) e ao modal rodoviário (até 20 vezes mais econômico), além disso tem menor mão de obra, baixo custo de operação e baixo consumo de energia (VELOSO et al., 2005; RENNÓ; LEMGRUBER, 2009; ARAKAKI, 2017);
- Baixo Impacto Ambiental, pelo fato dos dutos ficarem enterrados, não ocupam vias de transporte, não poluem o ar, não geram ruídos e acidentes. Os acidentes que ocorrem são pequenos, se comparados aos demais modais de transporte (RENNÓ; LEMGRUBER, 2009; ARAKAKI, 2017);
- Por ser o duto a própria unidade de carregamento, não há necessidade de usar embalagens de transporte (VAZ; OLIVEIRA; DAMASCENO, 2005);
- Não existe o problema da viagem de retorno para equacionar, assim como o processo não sofre influência do congestionamento ou dificuldades físicas a transpor, como por exemplo longas zonas áridas ou congeladas (VAZ; OLIVEIRA; DAMASCENO, 2005);
- Função de armazenagem em consequência do seu longo tempo de trânsito (VAZ; OLIVEIRA; DAMASCENO, 2005).

De acordo com Veloso et al. (2005) as principais desvantagens do modal dutoviário são:

- Necessidade de grande investimento de capital;
- Inflexibilidade quanto a rota de distribuição, principalmente, quando comparado ao sistema rodoviário e às limitações de mercadorias (líquidos, gases e misturas semifluidas);
- Não é adequado para transporte de mercadorias que estejam sujeitas à mudanças de padrão de carregamento;
- Seu uso só pode ser estendido a certos grupos de mercadorias dentro de um mesmo duto.

O modal dutoviário é fundamental para o transporte de petróleo e seus derivados. Tem a função de ligar as áreas de produção de petróleo ou terminais de recebimento até as refinarias e dessas levar os produtos refinados até a proximidade dos mercados consumidores. É reconhecidamente o meio de transporte mais seguro e econômico para esse tipo de produto (OLIVEIRA, 2016).

De acordo com Veloso et al. (2005), e Ribeiro e Ferreira (2002) os dutos são os que representam o maior custo fixo e o menor custo variável entre todos os modais. O alto custo é devido ao direito de acesso, da construção, da necessidade de controle das estações e da capacidade de bombeamento. A área de desapropriação para a construção, chamada de faixa de servidão, é um dos responsáveis pelo elevado custo fixo. Após a construção, seu custo operacional variável é baixo, pois os dutos não necessitam de mão de obra intensiva e seu monitoramento em muitos casos é feito via satélite, isto é, automatizado.

Conforme Arakaki (2017), uma outra vantagem é a sua estabilidade, pois os dutos utilizados no deslocamento do gás natural, são de grande resistência, durabilidade e podendo ainda atravessar em terrenos difíceis, bem como sob água, permitindo assim de maneira segura o transporte de grandes quantidade de produtos.

De acordo com Ribeiro e Ferreira (2002), o transporte dutoviário se apresenta como o mais confiável de todos, pois existem poucas interrupções para causar variabilidade nos tempos e os fatores meteorológicos não são significativos. Além disso, os danos e perdas de produtos são baixos. Como desvantagem está a lentidão na movimentação dos produtos, o que inviabiliza seu uso para o transporte de perecíveis.

De acordo com a ANTT (2017), no Brasil os dutos estão divididos em:

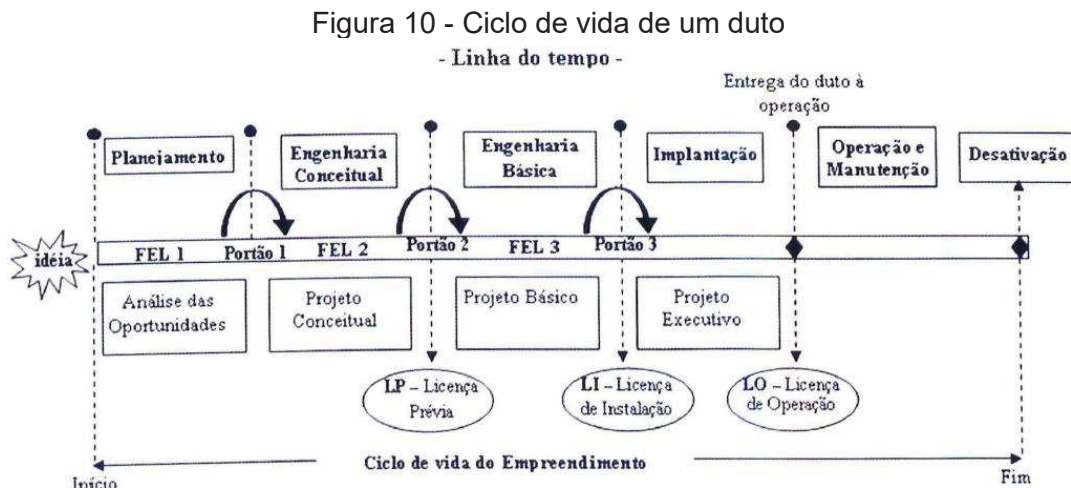
- Oleodutos, cujos produtos transportados são em sua grande maioria: petróleo, óleo combustível, gasolina, diesel, álcool, GLP, querosene, nafta e outros;
- Minerodutos, cujos produtos transportados são: Sal-gema, Minério de ferro e Concentrado Fosfático;
- Gasodutos, cujo produto transportado é o gás natural.

A operação de gasodutos, dutos de petróleo e derivados no Brasil é realizado pelas transportadoras Transpetro; TAG – Transportadora associada de Gás S.A; TBG - Transportadora Brasileira Gasoduto Bolívia-Brasil S.A; TSB - Transportadora

Sulbrasileira de Gás e GOM - GasOcidente do Mato Grosso Ltda. – GOM (ANTT, 2017).

3.3 Ciclo de Vida de dutos

Uma das metodologias para análise de implementação de projetos é a FEL (*Front End Loading – Validar ou Autorizar por partes*), criada pela IPA (*Independent Project Analysis*), para megaprojetos de alta complexidade e orçamento elevado com o objetivo de trazer confiabilidade e assertividade na aprovação ou rejeição de projetos. O ciclo de vida de um projeto de dutos está demonstrado na Figura 10. Essa metodologia reconhece e valoriza as fases iniciais do ciclo de vida, como fator crítico para o sucesso de um empreendimento (RENNÓ; LEMGRUBER, 2009).



Autor: Renno e Lemgruber (2009)

Na etapa de planejamento do projeto, especificamente nas fases FEL 1, FEL 2 e FEL 3, é definido o que será feito, como será feito, quem fará e que recursos são necessários. Entre essas fases deve ser questionado a continuidade do projeto, aqui conhecidos como portões, nos quais deve ser questionado a continuidade do mesmo (cancelar, adiar, reavaliar ou continuar o empreendimento) (RENNÓ; LEMGRUBER, 2009).

Dentre os portões, o mais importante é o portão 3, pois representa a passagem da fase de planejamento para a fase de implantação, na qual são assumidos os maiores compromissos financeiros. Os recursos investidos na fase de estudos são pequenos, sendo aproximadamente para o FEL 1 igual a 0,1%, para o FEL 2 igual a

0,5% e o FEL 3 igual a 2%. Já a fase de implantação, representa aproximadamente 75% do investimento do projeto (RENNÓ; LEMGRUBER, 2009).

3.4 Dutos

3.4.1 Métodos para combate da flutuabilidade negativa em dutos enterrados

O projeto mecânico de tubulações terrestres, para transporte de líquidos e gases desenvolve-se basicamente em duas frentes: determinação da espessura da parede e estabelecimento da configuração dos trechos aéreos e enterrados (CANTO; LOUZADA, 2009).

A implantação de um duto geralmente passa por terrenos desafiantes e é necessário o arranjo particularizado, em pontos específicos como no início e término do duto, áreas de válvulas, cruzamentos, travessias e transposições de outros acidentes naturais ao longo do traçado do duto. Esses pontos, na maioria das vezes, necessitam detalhamento e recursos especiais para a sua execução, para manter a integridade e condições de execução.

De acordo com a NBR 15280-1(2017), medidas de proteção do duto, como por exemplo, tubo camisa, jaquetas de concreto, aumento da espessura de parede, rebaixamento de dutos em uma maior profundidade ou sinalização indicando a presença de dutos devem ser adotadas em travessias de rios, áreas costeiras alagáveis, pontes, áreas de tráfego intenso e terrenos instáveis. Ainda, o uso de jaqueta de concreto de no mínimo 38 mm é obrigatório para travessia de rios, lagos e canais conforme item 7.2.11 da norma.

Com relação à estabilidade e à flutuação, também conhecida como flutuação negativa (negative buoyance), é uma disciplina relativa às obras dutoviárias de travessias de corpos de água, trechos alagados ou alagáveis. Geralmente esses trechos também são os pontos de maior custo por quilômetro, devido à necessidade de estabilização da tubulação, principalmente, pela dificuldade construtiva que requer a utilização de recursos especiais de logística para transporte e construção. De acordo com Robertson e Curle (1995), os custos são pelo menos 20% maiores nessas áreas quando comparados às áreas secas. Embora a estabilização de um duto esteja

baseada no antigo e simples princípio de Arquimedes, é oportuno lembrar que não é raro na prática de dutos ocorrerem enganos do balanço das forças de peso e empuxo.

Arquimedes (287 a.C. – 212 a. C.), um dos principais cientistas, entre muitos considerados o maior matemático da antiguidade clássica, foi o responsável por descobrir e descrever a lei de empuxo, dentre outras várias, onde “Todo o sólido imerso parcial ou totalmente em um líquido está sujeito a uma força vertical, de baixo para cima, que corresponde ao tanto de líquido deslocado por este sólido’. Também podemos denominar o empuxo como “resultante das forças que o líquido faz no corpo na direção vertical, que é igual ao peso do líquido deslocado”.

Assim o empuxo (E), é igual a:

$$E = d_f \cdot V_f \cdot g$$

Onde:

- d_f é a densidade do fluído
- V_f é o volume deslocado
- g é a aceleração da gravidade

Para garantir a integridade do duto, assim como a sua cobertura mínima em áreas alagadas e alagáveis, é necessário a estabilização, isto é, combater a força de empuxo. O método mais usado é a jaqueta de concreto, que além de combater a flutuação, também confere ao sistema a proteção mecânica, que é necessária e indispensável em travessias de rios, cruzamentos de estradas e pontos de rocha, por exemplo.

De acordo com as normas (NBR 12712, 2002; NBR 15280-1, 2017), a relação de forças para a estabilização do duto é definida pela equação abaixo, cujo fator de segurança deve ser igual ou superior a 1,1, quanto ao peso adicionado ao tubo forem jaquetas de concreto, selas de concreto e sacos de lastro. Já no caso da utilização de tirantes ou o próprio solo de cobertura o fator deverá ser igual ou superior a 1,5.

$$\frac{P_T + P_A}{E_T + E_A} \geq F_S$$

onde:

P_T é peso do tubo (vazio);

P_A é peso do lastro adicionado ao tubo (jaqueta de concreto, geotêxtil, tirantes);

E_T é o empuxo do meio líquido atuante sobre o tubo;

E_A é o empuxo do meio líquido atuante sobre o lastro;

F_S é o fator de segurança;

Para o cálculo do empuxo, foram considerados os seguintes dados:

São inúmeras as dificuldades encontradas na construção de um duto e a escolha adequada de tecnologias e métodos pode melhorar o desempenho do projeto. Na maioria dos casos, os dutos passam por terrenos desafiantes e problemas dos mais diversos até chegar no local de sua execução. Antes no início de sua execução ou até mesmo nas fases do projeto básico (FEL 1, 2 e 3) deverá ser feita uma análise minuciosa para escolha dos melhores métodos para combater a flutuabilidade, podendo ser mais do que um, dependendo do projeto, para que não comprometa o prazo e onere o custo, levando em conta principalmente:

- Dutos com jaqueta de concreto podem ser extremamente caros;
- A necessidade de recursos para a concretagem e movimentação dos tubos;
- A dificuldade de transporte dos tubos concretados, devido ao peso, para os locais de construção, além do aumento significativo do número de viagens;
- Restrições de logística para a concretagem de tubos no local de aplicação;
- Dificuldade de desfile, solda e abaixamento do duto concretado, com redução significativa na produtividade e /ou no aumento de recursos;
- Dificuldade de esgotamento da vala para fechamento de pontos TIE-IN;
- Características no solo com necessidade de reforço temporário para suportar o tráfego de equipamentos pesados e elevadas cargas.

Devem ser buscadas novas tecnológicas aplicadas à construção e montagem de dutos, com o objetivo de aumentar a produtividade e diminuir os impactos. São vários os meios para estabilizar um duto, são elas: jaquetas de concreto, selas de concreto, tirantes (parafusos de fixação no solo, conhecidos também como “*screw anchors*”), geotêxteis (materiais granulares ensacados do tipo “*PipeSak*” e “*ECOBAG*”) e o próprio solo de reaterro, conforme Figura 11

Figura 11 - Tipos de Ancoragem de Tubos



Fonte: elaborada pelo autor

Para dutos de pequeno e médio diâmetro, pode-se utilizar o peso do solo no cálculo, quando esse for constituído de material predominantemente granular. Nos dutos de pequenos diâmetros, deve-se verificar a possibilidade de aumento de espessura da parede para evitar a aplicação de concreto (CANTO; LOUZADA, 2009; NBR 15280-1, 2017). Durante a Construção do Gasoduto Carmópolis (SE) – Pilar (AL) de 26 polegadas de diâmetro foram realizados estudos, “In Situ”, para derminação da massa específica do solo em áreas alagáveis e nos locais onde a condição de massa específica submersa do solo fosse de, no mínimo igual a 500 kgf/m³, poderia ser considerado para controle de flutuabilidade. As massas específicas encontradas nos locais foram entre, 1.480 kgf/m³ e 2020 kgf/m³, bem acima do mínimo especificado como necessário (SILVA; GARCIA; SILVA, 2007).

Dependendo da natureza, o solo pode tornar-se liquefeito com teores de umidade muito elevados, dando lugar a situação de risco de flutuação do duto. Na condição liquefeita, certos solos podem perder toda a coesão e resistência ao

cisalhamento, tornando-se um fluido denso e viscoso e fazendo com que o peso do prisma de solo deixe de atuar como força estabilizadora. O solo passa a ter um comportamento de líquido e sua massa específica pode atingir até 1,4 ao da água.

A Bechtel Corporation propôs a utilização de métodos alternativos para o controle de flutuabilidade do Gasoduto de 76,5 km de extensão e 56 polegadas de diâmetro, projeto de propriedade da *National Gas Company de Trinidad and Tobago*, devido às limitações em alguns locais da faixa de trabalho e o elevado peso do tubo concretado com aproximadamente 40 toneladas. A Substituição de agregado tradicional por minério reduziu em torno de 16% o volume de concreto. Devido as condições do terreno, as dimensões do tubo e seu peso da coluna concretada, o abaixamento foi realizado utilizando o próprio peso do tubo, com abertura de vala em ambos os lados do duto, o que gerou um grande volume de movimentação de solo. Também foram usadas selas de concreto em travessias de rios e geotêxteis com minério de ferro para aplicação em áreas com limitações de escavação. Com a aplicação dessas diferentes técnicas, a Bechtel melhorou o cronograma e obteve uma considerável redução de recursos (HERNANDEZ; BECHTEL, 2006).

3.4.2 Jaquetas de Concreto

A utilização de concreto armado para revestir as tubulações é a forma mais usada, reconhecidamente a mais eficiente e segura para proteger a sua integridade e impedir a sua flutuação, caracterizada por uma camada de concreto com armadura convencional ou com fibra, no entorno e ao longo de toda a extensão do tubo, conforme espessura definida pelo projeto executivo.

Diferentes misturas de concreto são usadas em várias aplicações na indústria de petróleo e gás, desde a consolidação de poços de petróleo até a estabilidade das plataformas offshore, sendo o material mais utilizado na construção civil. O concreto também é usado na proteção de oleodutos e gasodutos offshore e outros ambientes úmidos (LEPECH et al., 2010)

Contudo, o uso deste revestimento é dispendioso, em termos de tempo de execução e instalação da tubulação, assim como no custo, tornando as travessias muito demoradas e caras, o que causa frequentes atrasos no cronograma de execução (SILVA; GARCIA; SILVA, 2007). Também afeta de forma direta a logística do trabalho, onerando principalmente as fases de transporte, devido ao peso do tubo,

principalmente para dutos de grandes diâmetros, aumentando o risco de acidentes devido à grande quantidade de caminhões em rodovias para realizar seu transporte até o local a aplicação (GHIO et al., 2009).

Vale ressaltar, que a atividade de concretagem requer recursos específicos e muitas vezes a mobilização de áreas extras para execução, assim como a redução das produtividades de solda e abaixamento. Outro impacto é a necessidade de reforço de acessos e a pista de trabalho, ao longo do trecho, para o trânsito de caminhões com elevadas cargas e equipamentos pesados para a construção.

De acordo com a NBR 15280-2 (2015), a concretagem de tubos deverá ser executada conforme procedimento qualificado em obra, que deve ser elaborada para atender os requisitos, especificados em projeto e na norma e, no mínimo, seguir os seguintes itens:

- Materiais a serem utilizados, inclusive os aditivos necessários para redução do tempo de pega;
- Fixação do tubo durante a aplicação do revestimento;
- Traço do concreto;
- Relação água/cimento;
- Desforma e tempo de desforma;
- Espessura e massa específica do revestimento;
- Taxa de aquecimento e resfriamento durante a cura;
- Temperatura do tempo de cura, quando feito por meio de exaustão;
- Inspeção de reparos;
- Manuseio e armazenamento dos tubos concretados;
- Formulário de registro de resultados;
- Ensaio de resistência de compressão do concreto;
- Método e sequência da aplicação;
- Espessura e peso específico do revestimento;
- Formulário de registro de resultados;
- Ensaio de resistência de compressão do concreto.

O procedimento deve ser verificado, através da preparação do traço do concreto proposto e da execução de ensaios de laboratório, para determinação da massa específica, plasticidade e resistência mecânica.

Ainda de acordo com a NBR 15280-2 (2015), a tela de reforço deve ter o material, tamanho da malha e outras características compatíveis com o método de revestimento externo com o concreto qualificado. Para espessuras de jaquetas inferiores a 38 mm, as armaduras devem ser iguais ou maiores que 2mm e para jaquetas iguais ou maiores de 38mm, os diâmetros mínimos dos vergalhões devem ser de 5mm na transversal e 3mm na longitudinal. Além disso, a concretagem de tubos deve seguir todas as demais recomendações, conforme especificado na NBR 15280-Parte 1 (Projeto) e parte 2 (Construção e Montagem).

Na construção da obra do Emissário de Efluentes do COMPERJ, projeto esse executado pela construtora OAS entre 2013 e 2015, foi aprovado, através de uma consulta técnica CT-EMICRJ-OAS-001(2014) junto com a fiscalização (PETROBRAS) e suporte técnico da COPPETEC-RJ, para substituição da armadura convencional por fibra de aço, numa quantidade de 30 kg/m³, contribuindo significativamente para:

- Redução de Homem Hora (HH) aplicado à atividade de armação – (i) reduzindo o número de horas de exposição ao risco; (ii) menor tempo de permanência da equipe de concretagem; (iii) menor custo das obrigações sociais e encargos nas rescisões contratuais e (iv) melhor índice de produtividade da equipe de concretagem;
- Redução das perdas nos cortes da armadura – (i) redução de custo de perda de armadura (ii) menor prazo e quantidade de contêiner de resíduos para armadura; (iii) menor geração de resíduo metálico e (iv) menor impacto ambiental.

A substituição de fibras de aço no lugar da tradicional armadura fornece propriedades mecânicas melhoradas para revestimentos de tubulação, incluído resistência à penetração, problemas de impacto e maior flexibilidade. Essa melhoria pode ser utilizada para projetar novas aplicações, além de melhorar a eficiência na aplicação em solos instáveis como em regiões com altos riscos sísmicos, solos congelados e ambientes offshore (LEPECH et al., 2010).

A utilização de agregado à base de minério de ferro, conforme previsto na NBR 15280-2 (2015), em substituição parcial ou total ao agregado graúdo, para aumento da massa específica, diminuindo a quantidade de concreto necessário e, conseqüentemente, o seu impacto ambiental.

3.4.3 Geotêxteis

Da mesma forma como os tirantes, o uso de Geotêxteis, apresentam maiores vantagens para tubulações de grande diâmetro comparado com o método tradicional de revestimento em concreto, devido ao aumento considerável da massa, dificultando as atividades de transporte e dependendo do caso, até inviabilizando a utilização do método tradicional de abaixamento.

O sistema de ancoragem com a utilização de geotêxteis é composto por um conjunto de bolsas, unidas por meio de cintas colocadas em cima do duto após o abaixamento na vala. O conjunto de bolsas é preenchido com material granular (pó de pedra, brita, solo etc) no local mais próximo da aplicação ou na própria faixa de trabalho, quando o material for adequado e instalado com apoio de um escavadeira hidráulica no duto, conforme Figura 13.

Figura 12 – Instalação de Geotêxteis



Fonte: elabora pelo autor de (PIPESAK, 2017)

O uso de geotêxtil também traz ganhos ambientais, não geram resíduos e utilizam apenas brita 0 e 1, conforme recomendado pelos fabricantes, além do geotêxtil (GHIO et al., 2009).

De acordo com os fornecedores (PipeSak, Cyntech e KeyMay) o uso dos geotêxteis pode trazer inúmeros benefícios, como:

- De fácil enchimento na obra, transporte e instalação, não necessitando de fixação;
- Não sofre empuxo comparado com a jaqueta e a sela de concreto;
- A aplicação pode ser realizada fora da vala;
- As sobras são facilmente estocadas para uma eventual reutilização;
- Material durável, maior que a vida útil do duto.

3.4.4 Tirantes

Existem registros da aplicação desse tipo de ancoragem em linhas de transmissão de energia, desenvolvido em 1912, sendo hoje aplicado em várias áreas industriais. Em obras de dutos, foram inicialmente usadas em 1950 (ROBERTSON; CURLE, 1995). No Brasil, uma obra de dutos que utilizou esse tipo de ancoragem foi o Gasoduto GASDUC-III, entre Cabiúnas e a refinaria Duque de Caxias da Petrobras no estado do RJ.

O sistema de tirantes é composto por um conjunto de hastes de aço com âncora, as quais são cravadas no solo com utilização de implementos rotativos do tipo perfuratriz que pode ser facilmente acoplado em uma escavadeira hidráulica. Após a cravação do conjunto de hastes em ambos os lados é realizada a ancoragem do duto por meio de uma cinta, conforme Figura 13.

Figura 13 – Instalação de Tirantes



Fonte. elaborado pelo autor de (CYNTECH, 2018)

Esse tipo de ancoragem é recomendada para áreas caracterizadas como pântanos, solos orgânicos, níveis de lençol freático altos, baixas forças de cisalhamento e baixas densidades. Em muitos países tem-se usado tirantes para combater a flutuabilidade nesse tipo de solo, por não sofrer empuxo no fluido, quando imerso, ser leve e de fácil manuseio em locais de trânsito dificultoso, como os solos com características de brejos (CANTO; LOUZADA, 2009)

Uma das grandes vantagens na utilização de tirantes é a diminuição significativa da massa transportada e aumento da produtividade na execução. Nos outros métodos, na maioria das vezes, é necessário executar reforços no solo com

estivas de madeira ou outras metodologias para transporte de elevadas cargas, como é o caso do tubo concretado, geotêxteis e as selas de concreto, onerando o projeto ou expondo-o a maiores riscos (ROBERTSON; CURLE, 1995).

Para a aplicação dos tirantes, durante a análise, devem ser observados os esforços de flexão no duto e as tensões na borda da sela para não comprometer a vida útil com relação a corrosão. Uma falha de instalação em uma ancoragem ou no conjunto pode comprometer a estabilidade de flutuação, pois o esforço pode ser transferido para as ancoragens próximas e as mesmas não resistirem. Para evitar esse tipo de problema, recomenda-se a implantação de um rigoroso controle de qualidade com o acompanhamento de um inspetor qualificado atentando principalmente para (ROBERTSON; CURLE, 1995):

- Resistência de torque de instalação;
- Teste de carga com 115% da força de trabalho medida com dinamômetro;
- Comprimento total instalado;
- Número total de montagens;
- Espaçamento real entre as ancoragens;
- Monitoramento do duto.

As principais vantagens da aplicação desse sistema de ancoragem, comparado às selas de concreto, são (ROBERTSON; CURLE, 1995):

- As selas de concreto sofrem força de empuxo, assim como o concreto no tubo concretado, ao aumentarem o deslocamento do volume do meio;
- As ancôras podem ser instaladas num espaçamento maior, por suportarem maiores cargas e sua logística de transporte requisitam menos recursos. Um exemplo disso foi o projeto de Muskeg, da NOVA Gas Transmission Ltda, para um duto de 42 polegadas, que substitui as tradicionais selas de concreto (3 blocos a cada 12,6 metros = 80 viagens por km) pelas ancoras que foram colocadas a cada 20 metros (1 viagem por km);
- Menor custo de logística para recolher as sobras dos materiais e melhor estocagem. Na maioria dos casos, torna-se inviável a ocupação das selas de concreto ou tubos concretados, em outro projeto, devido à dificuldade e alto custo de transporte;

- Redução do custo de construção, com a diminuição da faixa de trabalho em aproximadamente 3 metros, pois as selas de concreto ocupam um considerável espaço e dificultam a logística das demais frentes de serviço;
- Redução de aproximadamente 30% do custo total para controle de fluabilidade. Os ganhos variam entre os sistemas com relação ao diâmetro, sendo recomendado para dutos maiores conforme Figura 14;
- Menor profundidade da vala, pois a espessura da cinta das estacas é insignificante comparado com a espessura da sela acima da geratriz superior do duto. Menor largura da vala, onde a largura extra somente é necessária nos pontos de instalação das ancoragens, diferente dos blocos de concreto, que necessita essa largura ao longo de toda a vala;
- Redução do tráfego de caminhões e operações com elevação de carga;
- Redução de Mão de Obra e demais recursos de execução;

Ainda, de acordo com Doering e Robertosn (2000), pode-se destacar as seguintes vantagens para o uso dos tirantes, conforme projeto de Muskeg, da NOVA Gas Transmission Ltda:

- Transporte, relocação e instalação são simplificados, com custo significativamente reduzidos;
- Alta produtividade com a produção de 70 conjuntos/dia com a utilização de três escavadeiras;
- Economia de \$ 12.000.000,00 com a utilização dos tirantes. Quanto maior o diâmetro do duto, maior será a diferença de custo entre a aplicação de selas de concreto e tirantes, conforme Figura 14;
- As âncoras de parafuso podem ser espaçadas em intervalos muito maiores do que pesos concretos. Devido à alta capacidade de carga de um conjunto de âncora, eles são capazes de resistir à fluabilidade de um segmento mais longo da tubulação;
- As âncoras de parafuso são significativamente mais leves e fáceis de manusear do que os pesos de concretos. Um conjunto de âncora de parafuso NPS 30 típico pesa 225 kg, enquanto um peso de concreto comparável pesa 3.200 kg. Essa substancial diferença de massa significa que o manuseio é mais fácil e menos oneroso do que para selas de concreto;

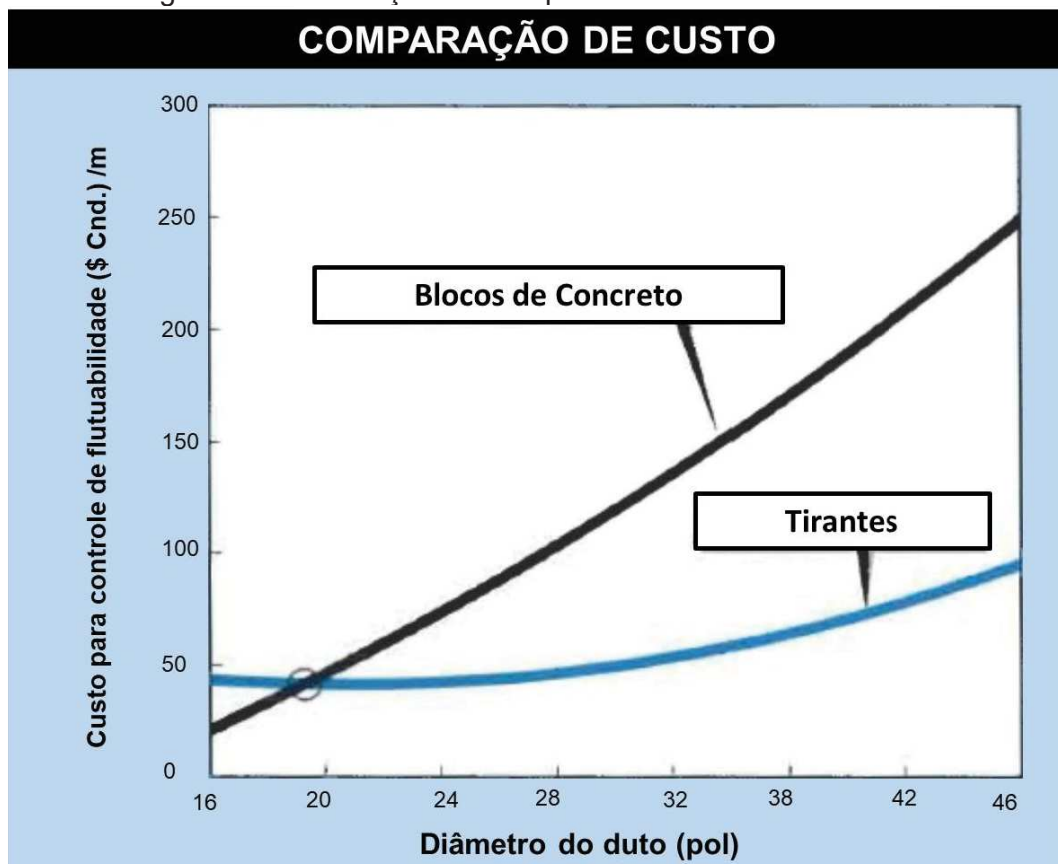
- No final de um projeto, as âncoras de parafuso restantes podem ser retornadas ou colocadas em inventário para uso em outro projeto. Com pesos concretos, sua massa e a dificuldade e despesa no transporte e carregamento geralmente próbem sua reutilização.

Tabela 10 – Análise financeira entre as duas metodologias

Método	Espaçamento (m)	Custo do Material (\$)	Custo Instalação (\$)	Custo por Metro (\$)
Sela de concreto	5,50	800,00	800,00	290,91
Tirantes	45,00	800,00	550,00	30,00

Fonte: Doering e Robertosn (2000)

Figura 14 – Diferença de custo para combater a flutuabilidade



Fonte: Adaptada pelo autor de Doering e Robertosn (2000)

4 MÉTODO DE PESQUISA

Essa pesquisa tem como objetivo propor indicadores de consumo de materiais e de custo, de diferentes sistemas, para combater a flutuabilidade de dutos enterrados com a utilização de jaquetas de Concreto, geotêxtil e tirantes.

Esses indicadores podem variar de acordo com a localização do projeto, dessa forma foi delimitado um cenário único para a aplicação das três metodologias de controle de flutuabilidade.

Esta pesquisa foi devolvida a partir de dados reais de construção e montagem do Emissário de Efluentes do COMPERJ, no qual foram utilizadas duas metodologias de controle, tubos com jaquetas de concretado e o geotêxtil. Todos os recursos para as demais metodologias e diâmetro foram estimados e ajustados para o mesmo cenário em questão, conforme Tabela 1.

A metodologia proposta para a elaboração dessa pesquisa foi realizada em três etapas principais, conforme apresentada na Tabela 11, apontando o objetivo geral e específicos, as questões de pesquisa e base de informações e/ou fontes de evidência.

Tabela 11 – Questões de pesquisa e base de informação

Etapa / Descrição	Objetivos específicos	Questões de pesquisa	Fontes de evidência
1 -Contextualização	- Definir cenário de estudo; - Analisar condições adequadas para o uso de cada sistema;	- Quando pode ser utilizado cada sistema? - Qual a situação favorável para cada sistema?	- Referências Bibliográficas; - Normas Nacionais e Internacionais; - Recomendações Técnicas Aplicáveis.
2 - Análise dos processos para uso dos sistemas	- Analisar a diferença dos processos de logística e sequência construtiva de cada sistema.	- Qual a logística de montagem dos processos? - Quais os recursos necessários para cada sistema?	- Banco de Dados; - Referências Bibliográficas.
3 - Indicadores	- Definir o custo; - Definir a quantidade de consumo de materiais por sistema.	- Qual o custo de cada sistema? - Qual o consumo de material para cada sistema?	- Custo incorrido de projetos; - Tabelas de preços da Obra do Emissário; - Cotação de mercado; - Para os indicadores ambientais de emissão de CO2 e EE, referências nacionais e internacionais.

Fonte: elaborado pelo autor

4.1 Etapa 1: Contextualização

Primeiramente foi definido um local compatível para a aplicação dos três sistemas para combater a flutuabilidade dos dutos, com base em referências bibliográficas, dados de fabricantes, normas técnicas, análise de sondagens, levando em conta principalmente:

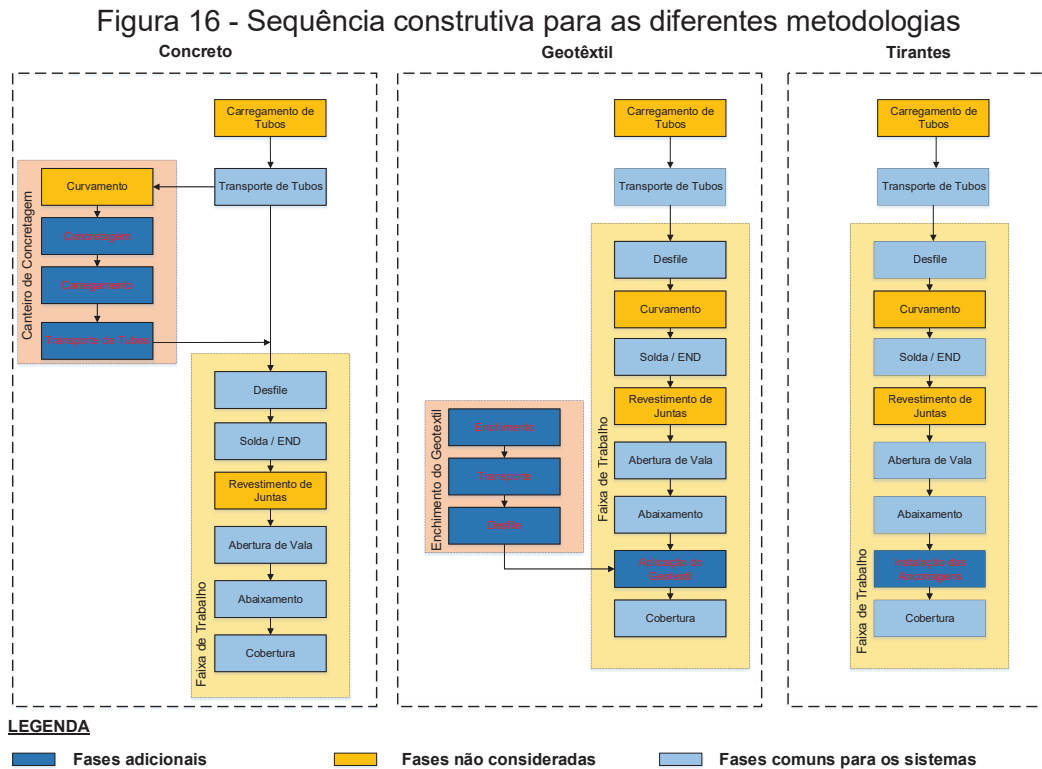
- Nível de lençol freático;
- Composição do solo;
- Resistência de suporte do solo;
- Presença de rocha.

Foi definido e detalhado um cenário único para a aplicação de todos os sistemas e diâmetros, fixando assim as variáveis de logística e condições locais para a implantação dos sistemas para os diversos diâmetros, conforme ilustrado na Figura 15.



Fonte: elaborada pelo autor

Para essa pesquisa foi considerado um trecho linear de um quilometro (1 km) de duto, um total de 83 tubos, consideradas, também, somente as fases impactadas diretamente pelas diferentes metodologias, desde a retirada do tubo até o abaixamento e cobertura da tubulação, conforme ilustrado na Figura 16.



Foi realizado o levantamento dos dados do projeto e o dimensionamento para todos os sistemas e diâmetros que não foram executados, conforme Tabela 1, considerando principalmente para:

- Jaquetas de concreto: peso específico do concreto, espessura da jaqueta de concreto.
- Geotêxtil: definição do peso específico do material de enchimento (pó de pedra ou brita), capacidade dos geotêxteis, espaçamento máximo de instalação entre ancoragens.
- Tirantes: espaçamento máximo entre tirantes, comprimento das hastes, anodo de proteção.

4.2 Etapa 2: Análise do processo para uso dos 3 sistemas

Foi elaborado um plano de logística para todos os sistemas e diâmetros, conforme cenários fixados na Figura 15, e sequência de montagem para os diferentes sistemas de ancoragem, conforme Figura 16. Também foram levantadas e estimadas as produtividades das fases de construção para o dimensionamento de todos os recursos diretos.

Foram elaborados histogramas de Mão de Obra e Equipamentos de todas as atividades, considerando todas as situações, partindo do que efetivamente foi realizado no duto de 32 polegadas do Emissário de Efluentes do COMPERJ dos sistemas instalados. Para os demais diâmetros e o sistema de tirantes, os recursos necessários foram estimados, levando-se em consideração os quantitativos, boa prática, referências bibliográficas e dados de produtividade de projetos similares. Também foram levantados todos os materiais de aplicação, cujas quantidades serão variáveis devido às diferentes metodologias.

4.3 Etapa 3: indicadores

Para o cálculo dos indicadores de custo foram utilizados os mesmos valores da obra do Emissário de Efluentes do COMPERJ. Para os recursos, insumos e materiais que não foram utilizados na época, foram realizadas pesquisas de mercado, cotações e valores retroagidos para a mesma data base da construção do Emissário de Efluentes.

Foram considerados no custo direto:

- Mão de Obra: salários, horas extras, encargos sociais e seu custo agregado como alimentação, vale transporte, plano de saúde, alojamento, retorno à base, etc;
- Equipamentos: custo de locação e combustíveis;
- Materiais de consumo e aplicação foram considerados os valores posto em obra.

O levantamento dos materiais para execução completa dos três sistemas para combater a flutuabilidade negativa foi realizada através do dimensionamento dos sistemas, com base em normas, referências bibliográficas, multiplicados pelos quantitativos empregados (Mão de Obra, Equipamentos, Materiais e Consumíveis).

Foram elaborados gráficos contendo os dados analisados para subsidiar a escolha da melhor alternativa no consumo de materiais, na esfera ambiental, de custos em novos empreendimentos, assim como subsidiar a equipe de construção, durante a elaboração do projeto executivo já na fase de execução do empreendimento.

5 APRESENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

5.1 Caracterização do cenário

O trecho em estudo se localiza no Município de Maricá - RJ e faz parte da implementação do duto do Emissário de Efluentes do COMPERJ – Parte Terrestre com diâmetro de 32 pol. Que se encontra detalhado nos Projetos Executivos DE-4706.69-5340-948-LKO-034=B (Planta) e DE-4706.69-5340-959-LKO-034=B (Perfil) com início no km 33+173,83 nas coordenadas N=7.467.500,347 e E=715.013.52 finalizando no km 34+172,54 nas N=7.466.916,873 e E=714177,111), do km/junta 33/14 até 34/14 com 997,81 metros de extensão. O trecho é plano, com elevação em relação ao nível do mar entre 26,496 e 31,738 metros com dois pontos de mudança de direção na horizontal.

O Projeto básico, elaborado pela Petrobras, classificou o solo nesse local como tipo “A”, composto por pedregulhos, areia média e fina. Nesse trecho foram realizadas duas sondagens a trado para caracterização do solo e definição do nível do lençol freático, sondagem essa de número N° ST 104 e 105 de acordo com o relatório RL-4155.56-6500-115-EFN-001=A. Os dados da sondagem se encontram resumidas na Tabela 12.

Tabela 12 - Sondagens a Trado

Sondagem	Nível de água	Descrição
ST-104	0	Até 1,15 m – Silte argiloso, cinza escuro, plasticidade média, residual. De 1,15 m até 2 – Areia fina, cinza clara, plasticidade baixa, residual.
ST-105	0,61	Até 0,15 m – Camada Vegetal 0,15 até 0,76 – Silte argiloso com minerais micáceos, marrom escuro, plasticidade média, residual. 0,68 até 2 – Areia média com pedregulho, cinza clara, não plástica, residual.

Fonte: elaborada pelo autor

O solo nesse trecho foi caracterizado como aluviões quaternários, formado por materiais sedimentares. Esses materiais são encontrados em todas as pequenas várzeas, beira de córregos e mesmo ao longo do mais simples filete d’água, neste caso denominado como afluente do Vigário II. Os materiais mais comuns encontrados são argilas orgânicas, depositadas em ambientes calmos como lagos, curvas de rios abandonadas ou baixadas alagadiças. Também, nesses locais, são comuns as areias fofas, resultantes da diposição em ambiente onde a água apresenta maior velocidade

e por último, areias fofas com pedregulhos, depositadas em enchentes, corredeiras e afins.

Nesse tipo de solo, durante a escavação em presença de água, ocorre a instabilidade das paredes da vala, formando um caldo denso, o que aumenta a força de empuxo. A densidade dessa mistura na grande maioria das vezes é maior do que 1.030 kg/m^3 , aumentando assim a força de empuxo.

De acordo com a NBR 15280-1 (2017), na falta de ensaios de campo, deverão ser adotados os seguintes critérios para o projeto: (i) densidade do meio de imersão igual a 1.030 kg/m^3 e (ii) densidade do concreto igual a 2.240 kg/m^3 . Investigações de campo sempre que necessário deverão ser realizadas para determinar as condições reais para o correto cálculo das forças de empuxo.

O duto especificado e aplicado na construção do Emissário de Efluentes – Parte Terrestre foi de:

- Diâmetro Externo: 32 pol;
- Espessura de Parede (pol): 0,357, 0,500 (travessias, cruzamentos e trecho urbano) e 0,688 (trechos com MNDs);
- Material: API 5L-X70.

Apesar desse trecho em questão, conter uma travessia, denominada no projeto como travessia afluente do Vigário II, com espessura de parede de 0,500 pol, para este estudo foi considerada somente a espessura de parede de 0,375 pol,, que vem a ser a espessura predominante nesse trecho. Para os demais diâmetros também foram consideradas as mesmas espessuras de parede, isto é, 0,375 pol. A espessura adotada está acima do especificado nas normas brasileiras para transporte de líquidos e gases, conforme Tabela 13.

Tabela 13 - Espessura mínimo de parede por diâmetro conforme NBR-12712 e 15280

Diâmetro Nominal	NBR 15.280	NBR 12.712
10	0,203	0,188
16	0,219	0,219
24	0,25	0,25
32	0,312	0,281

Fonte: elaborada pelo autor

Nesse trecho foram consideramos somente tubos retos para simplificar a análise. O trecho em questão tem poucas curvas e a diferença de recursos para o curvamento entre os sistemas é insignificante.

5.2 Condições adequadas

Devido às características dos sistemas em estudo, as condições ideais aplicadas para cada método são:

- **Concreto:** Pode ser aplicado em qualquer tipo de solo, áreas alagadas, alagáveis, travessias, cruzamentos, etc. O concreto também é recomendado em áreas rochosas por já conferir proteção mecânica ao sistema. Em travessias e cruzamentos, de acordo com as normas, o uso do revestimento de concreto é obrigatório com a finalidade de proteção mecânica.
- **Geotêxtil:** Pode ser aplicado em áreas alagadas e alagáveis, etc. Não recomendado em trechos rochosos, travessias e cruzamentos, devido a necessidade de proteção mecânica.
- **Tirantes:** Em locais onde existe a possibilidade de cravação de estacas. Antes da aplicação dessa metodologia, deverá ser feito um estudo geológico de resistência do solo e condição de execução. Trecho alagados permanentemente pode comprometer a execução dessa metodologia.

A Tabela 14 traz um resumo comparativo das condições adequadas para cada metodologia. Para a proteção mecânica podem ser utilizados outros métodos, como a aplicação de manta geotêxtil em trecho de rochas (rockshield), Scar-guard entre outros. Dependendo do caso, deve-se avaliar a possibilidade do uso em comum de duas metodologias, como por exemplo o concreto mais o geotêxtil ou o concreto mais o tirante.

Tabela 14 – Resumo das condições adequadas

Situação	Concreto	Geotêxtil	Tirantes
Alagado	S	S	N
Alagável	S	S	S
Travessias	S	N	N
Cruzamentos	S	N	N
Fundo de vala com rocha	S	N	N

Fonte: elaborada pelo autor

5.3 Estabilização do duto

Para o cálculo da estabilidade do duto foram considerados os dados relacionados nos itens abaixo. Para auxiliar o dimensionamento dos tirantes foi utilizado o software HeliCAP pela empresa geo technical – Geotecnia e Engenharia.

- Densidade do fluido/líquido: 1.030,0 kgf/m³
- Peso específico do aço: 7.850,0 kgf/m³
- Peso específico do revestimento: 950,0 kgf/m³
- Peso específico do concreto: 2.240,0 kgf/m³
- Peso específico do pó de pedra para saco de lastro: 1575,0 kgf/m³

A força exercida sobre o tubo, sem nenhum sistema atuando para combater o empuxo está representado na Tabela 15, para a espessura de parede de 0,375 pol.

Tabela 15 - Peso do tubo e força de empuxo

Diâmetros	Unidade	Diâmetro			
		10	16	24	32
Peso do tubo (Pt)	kgf/m	60,51	98,13	148,29	198,44
Empuxo	kgf/m	52,19	133,61	300,62	534,43

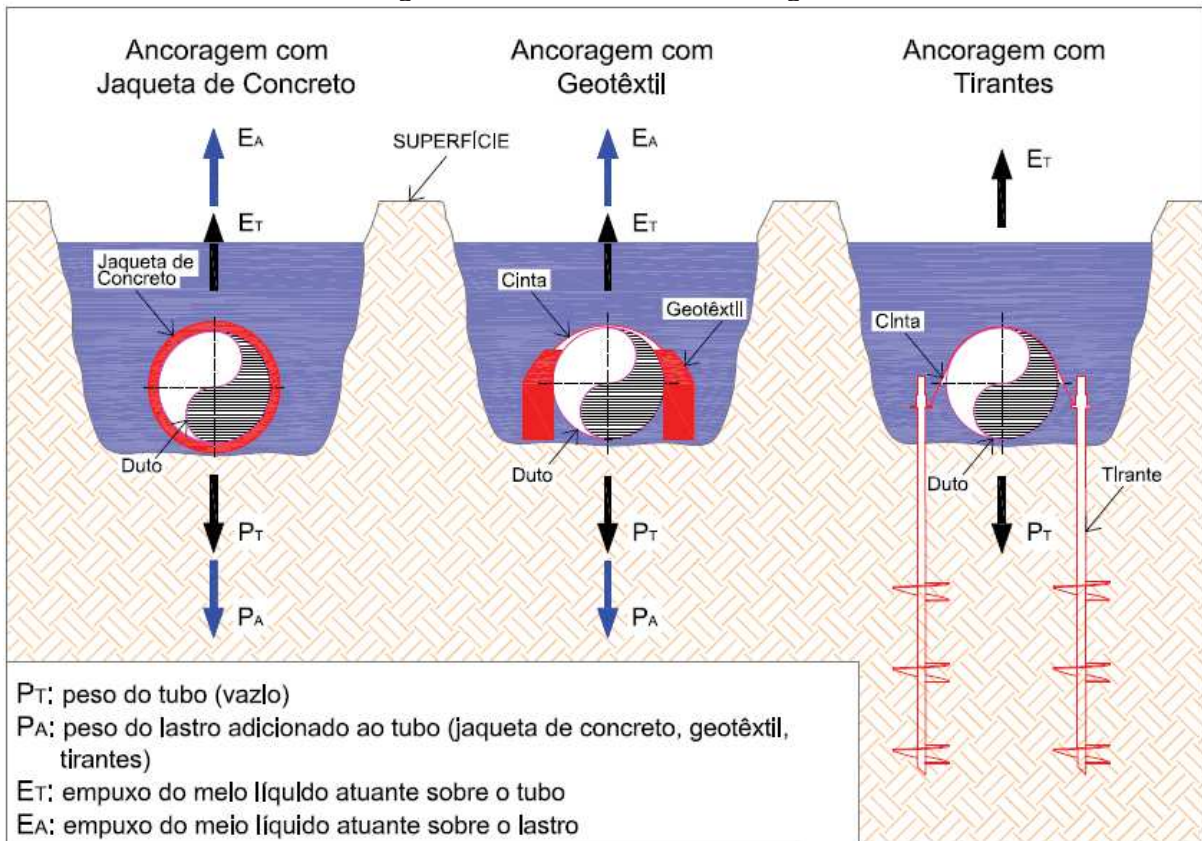
Fonte: elaborada pelo autor

O tubo de 10 polegadas tem um peso maior do que a força de empuxo, para o qual não existe a necessidade de usar uma metodologia adicional para fazer o controle de fluabilidade. Já, para um duto de 10 pol e com espessura de parede de 0,203 pol, conforme espessura mínima estabelecida pelas normas, seria necessário o controle de fluabilidade, pois o peso do tubo é igual a 34,72 kgf/m, menor do que a força de empuxo de 52,19 kgf/m.

Na Figura 17 estão representados os três sistemas de ancoragens desse estudo, resumindo-se em:

- Com Jaqueta: Tubo + Concreto
- Com Geotêxtil: Tubo + Geotêxtil
- Com Tirantes: Tubo + Tirantes

Figura 17 - Sistemas de Ancoragem



Fonte: elaborada pelo autor

5.3.1 Jaqueta de concreto

Uma das grandes vantagens da utilização da jaqueta de concreto, que além de adicionar peso no conjunto, confere também proteção mecânica que em muitos casos é necessário e indispensável, principalmente, para travessias de rios, pontos com rocha, etc.

As espessuras mínimas das jaquetas de concreto para estabilização dos dutos de 16, 24 e 32 pol estão especificadas na Tabela 16, para as condições do cenário estudo.

Tabela 16 - Dimensionamento da Jaqueta de Concreto

Diâmetros	Unidade	Diâmetro		
		16	24	32
Jaqueta de Concreto	mm	45	87	129
Peso do Tubo + Revestimento (12 m)	kgf/tubo	1.177,56	1.779,48	2.381,28
Jaqueta de Concreto (11 m)	kgf/tubo	1.669,14	5.064,51	10.233,96
Empuxo sobre o tubo (12 m)	kgf/tubo	1.603,30	3.607,43	6.413,21
Empuxo sobre a Jaqueta de concreto (11 m)	kgf/tubo	757,48	2.160,20	4.259,39
Fs	-	1,21	1,19	1,18

Fonte: elaborada pelo autor

O uso de um peso específico maior no concreto com a substituição do agregado convencional por um agregado de minério de ferro, por exemplo, pode reduzir a espessura da jaqueta, pois o volume de fluido deslocado também é menor. Como exemplo, para o duto de 32 pol, com um peso específico do concreto de 3.050 kgf/m^3 , a jaqueta mínima necessária seria de no mínimo 85mm, reduzindo-se também o peso total do tubo concretado para transporte e aplicação de 10,8 ton que com o concreto com peso específico $2.240,0 \text{ kgf/m}^3$ era de 12,6 ton. Isso também pode ser explicado pela força de empuxo menor, que com a jaqueta de 129 mm é de 12,6 ton/tubo e com a jaqueta de 85 mm com um peso específico maior é de 9,1 kgf/tubo.

5.3.2 Geotêxtil

Uma das grandes vantagens do uso do geotêxtil é a facilidade da aplicação e a sua instalação, que ocorre ao final do processo. O geotêxtil pode ser usado para proteger um trecho que, por algum motivo, foi descontinuado pela jaqueta de concreto evitando uma concretagem de campo que também pode atrasar os serviços de abaixamento e cobertura.

Os geotêxtis utilizados nesse estudo foram dos fornecedores PipeSak e KeyMay, cujas especificações e características por diâmetro são similares e com marcas consolidadas no mercado. O peso específico do material para enchimento, neste caso o pó de pedra, considerado foi de 1.575 kgf/m^3 , o mesmo usado durante a execução do Emissário de Efluentes de 32 pol.

Na Tabela 17, se encontra o dimensionamento dos geotêxtis para os três diâmetros em estudo. Além dos cálculos de estabilização, conforme normas, é necessário a verificação da distância máxima entre os geotêxtis, devido a carga concentrada e as tensões pontuais, que em alguns modelos é ocasionado pela cinta que une as duas bolsas.

Tabela 17 – Dimensionamento do GEOTEXTIL

Diâmetros	Unidade	Diâmetro		
		16	24	32
Peso do Tubo + Revestimento (12 m)	kgf/tubo	1.177,56	1.779,48	2.381,28
Peso do Geotextil	kgf	1.000,00	2.268,00	4.080,00
Distancia entre Geotexteis - Lx	m	5,78	3,50	2,94
Distancia entre Geotexteis - Lmáx	m	68,50	49,11	41,53
Geotextil (11 m)	kgf/tubo	2.077,27	7.782,84	16.630,63
Empuxo sobre o tubo (12 m)	kgf/tubo	1.603,30	3.607,43	6.413,21
Empuxo sobre o Geotextil	kgf/tubo	1.358,47	5.089,73	10.875,90
Fs	-	1,10	1,10	1,10

Fonte: elaborada pelo autor

Nota-se, quando comparado ao concreto, o volume total do geotêxtil é maior que o volume de concreto necessário para a estabilização do duto, isso devido ao peso específico do material utilizado para o enchimento. Conseqüentemente, o empuxo entre os dois sistemas aumenta por causa do volume deslocado do meio de imersão ao do concreto para o diâmetro de 32 pol foi de 4.259 kgf/tubo e no geotêxtil foi de 10.875 kgf/tubo.

5.3.3 Tirantes

Dos três sistemas em análise, é o sistema mais leve e de fácil instalação e, nesse caso, com menos utilização de recursos. Comparado ao concreto e ao geotêxtil essa metodologia não aumentou o empuxo do sistema e somente o empuxo do tubo.

Já o fator de segurança (Fs) é que deverá ser adotado para o seu dimensionamento é de 1,5, durante a sua instalação, é necessário o controle de torque e o teste de carga para garantir a integridade do sistema instalado.

A Tabela 18, apresenta o dimensionamento para a ancoragem de um quilômetro de duto, conforme as cargas envolvidas no processo e o suporte do solo, obtidas através software HeliCAP pela empresa geo technical – Geotecnia e Engenharia.

Tabela 18 - Dimensionamento de Tirantes

Diâmetros	Unidade	Diâmetro		
		16	24	32
Peso do Tubo + Revestimento (12 m)	kgf/tubo	1.177,56	1.779,48	2.381,28
Empuxo sobre o tubo (12 m)	kgf/tubo	1.603,30	3.607,43	6.413,21
Diferença	kgf/tubo	425,74	1.827,95	4.031,93
Fs	-	1,5	1,5	1,5
Total	kgf/tubo	638,6	2.741,9	6.047,9
LX	m	68	48	40
Comprimento da Ancôra	m	5	5	14
Total	Un/km	15	21	25

Fonte: elaborada pelo autor

5.4 Logística, sequência de execução e recursos

Na grande maioria dos projetos de construção, as questões de logística em um projeto de dutos devem ser solucionados, na qual se resume principalmente na colocação dos tubos e demais recursos no local de sua aplicação. As condições das estradas e acessos ou até mesmo a inexistência delas podem ser consideradas, dentre tantos, um dos maiores desafios para o projeto. Na grande maioria das vezes, é necessário a execução de melhorias, alargamentos e reforços em acessos e pontes para suportar o tráfego pesado, ou até mesmo, a abertura de novos acessos, transporte pela própria faixa de implantação do duto.

Os três sistemas aqui abordados para a estabilização do duto, em termos de logística e construção, foram caracterizados no âmbito da logística, conforme Tabela 19.

Tabela 19- Logística de Construção

Descrição	Jaqueta de Concreto	Geotêxtil	Tirante
Movimentação de carga	Alta	Baixa	Baixa
Peso de transporte	Médio	Alto	Baixo
Impacto da construção	Alto	Médio	Baixo

Fonte: elaborada pelo autor

Com relação a movimentação de carga, o sistema com jaqueta de concreto requer uma maior movimentação do tubo, pois é necessário movimentar o tubo para um local específico para a execução da jaqueta de concreto e após o processo de execução, o tubo é carregado novamente e então transportado até a faixa onde o mesmo segue a sequência construtiva. Para os sistemas de geotêxtil e tirantes o tubo é levado diretamente do pátio de armazenamento para o local de aplicação com a movimentação de carga menor, bem como o peso movimentado menor.

O peso total transportado no geotêxtil é maior do que no concreto. O geotêxtil, requer um transporte específico, cujo peso total é maior do que o peso do tubo concretado devido a diferença de densidade dos materiais (concreto x material de enchimento do geotêxtil). Outro fator que pode onerar o transporte do geotêxtil é a distância do local do seu enchimento versus o local da sua aplicação.

O tubo concreto traz reflexos nas demais atividades da sequência construtiva no campo, por ser inserido nas fases iniciais, isto é, o concreto é aplicado antes do início dos serviços em campo. Todas as atividades, como transporte, desfile, solda e abaixamento sofrem redução produtividade, principalmente pelo peso da tubulação. Já no processo de geotêxtis e tirantes, os tubos são transportados diretamente para o local de aplicação, reduzindo as fases de carregamento e transporte de tubos, além de facilitar o desfile, solda e abaixamento e, somente após o abaixamento, são instalados os sistemas para combater a flutuabilidade. Nessa linha, com relação ao impacto na construção, o concreto é caracterizado como alto, o geotêxtil com médio pela necessidade de grande movimentação no final do processo de enchimento, transporte e aplicação dos pesos e o tirante como baixo, por não necessitar de peso adicional para ser movimentado.

Na Figura 15, estão definidos os principais pontos de apoio para o dimensionamento da logística desse estudo, os mesmos foram utilizados para a Construção e Montagem do Emissário de Efluentes do COMPERJ. A escolha do local para execução da concretagem de tubos levou em conta, principalmente:

- Distribuição dos tubos concretados ao longo das 45 km da obra;
- Principais rodovias e acessos para transporte dos tubos;
- Localização do canteiro de tubos disponibilizado pelo cliente (PETROBRAS);
- Facilidades de instalação do canteiro (energia elétrica, alimentação, deslocamento de mão de obra, etc.);
- Local de fácil acesso para o fornecimento de concreto usinado;

No traçado desse duto (45 km), ainda conforme Tabela 20, foram identificados dois pontos para enchimento do geotêxtil, uma para atender os primeiros 28 km do projeto, identificado como Pedreira A, conforme Figura 15, e a Pedreira B para atender o restante do projeto, do km 29 ao km 45. As distâncias máximas para cobrir toda a faixa por trecho estão representadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Distâncias de transporte de Geotêxtis do Projeto Emissário

Descrição	Localização	Distância (km)
Pedreira A (Itaboraí)	Km-0	26,0
	Km 28	20,0
Pedreira B (Maricá)	Km 29	7,7
	Km 44	13,0

Fonte: elaborada pelo autor

Nesse estudo em específico, foi considerado a Pedreira B, que fica próxima ao local da aplicação dos Geotêxtis no campo, isto é, a uma distância de 5 km. O custo de transporte da Pedreira A seria muito superior, devido a grande distância e o peso total para transporte, com uma distância total de 38 km.

As principais vias de acesso que foram utilizadas para o transporte de tubos sem concreto, tubos com concreto, geotêxtis e equipamentos pesados para atender cenário, conforme Figura 18, foram:

- BR-101- Rodovia pavimentada;
- Avenida Teles – Rodovia pavimentada;
- RJ 114 / RJ 106 / RJ 116 – Rodovia pavimentada;
- Estrada de Cassorotiba – Acesso não pavimentada.

Figura 18 – Principais estradas e acessos



Fonte: elaborada pelo autor

Na logística esse estudo se limitou somente para o transporte de materiais que serão aplicados na construção do duto, conforme Tabela 21, considerando todas as metodologias e diâmetros. Não foram considerados os custos e impactos ambientais de transporte de equipamento pesados até o local da execução (tratores,

escavadeiras, side boom, etc), materiais até o canteiro de obra (concreto usinado, fibra, tirantes, geotêxtis).

Tabela 21 – Relação de materiais dos sistemas

Concreto	Geotêxtil	Tirantes
Duto;	Duto;	Duto;
Concreto (Cimento, areia, brita, água, aditivos);	Bolsa;	Estacas Metálicas;
Forma metálica;	Brita (material de enchimento);	Anodos;
Combustível;	Combustível;	Cintas;
Arame;	Estrutura Metálica para enchimento.	Combustível.
Anéis de madeira;		
Tacos;		
Cocada de concreto (espaçador);		
Fibra de aço/Tela;		
Desmoldante.		

Fonte: elaborada pelo autor

Na Tabela 22, é possível observar que o total de quilômetros percorridos para o transporte por sistema é maior para a metodologia de concreto. Nesse estudo em específico, a distância do ponto de enchimento do geotêxtil até o local de aplicação é de 5 km, o que representa um ganho com relação a distância de transporte com relação ao tubo com jaqueta de concreto, gerando um ganho de aproximadamente 50%.

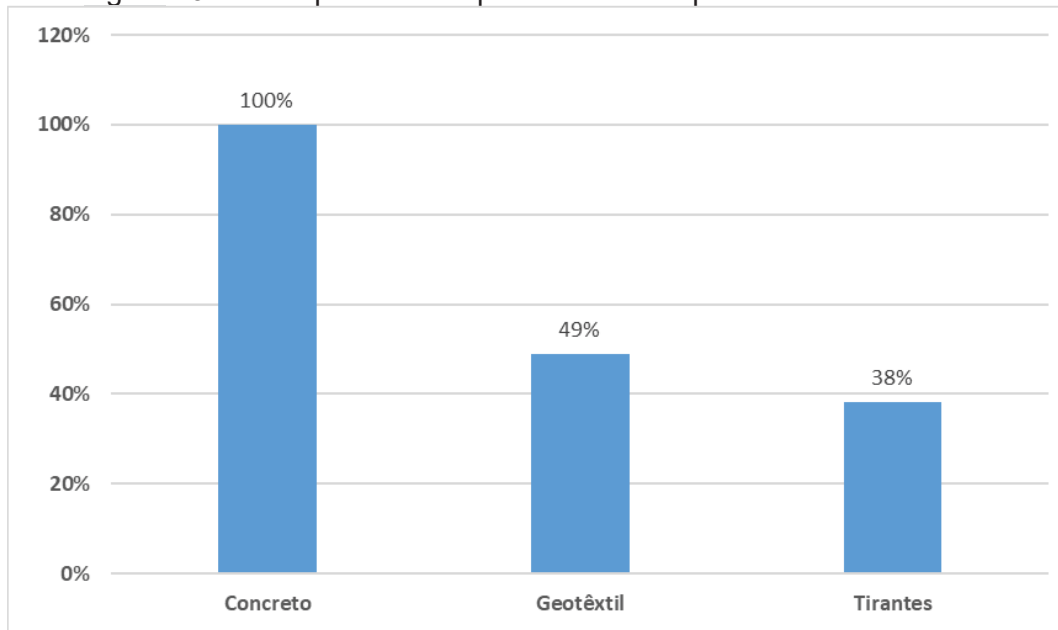
Tabela 22 – Distância de transporte em quilômetros

Descrição / Diâmetro	Concreto			Geotêxtil			Tirantes		
	16	24	32	16	24	32	16	24	32
Tubo sem Concreto	112,0	186,6	336,0	560,0	933,0	1.680,0	560,0	933,0	1.680,0
Tubo Concretado	1.226,9	2.522,7	3.956,0						
Geotêxtil				69,9	262,7	571,2			
Total km	1.338,9	2.709,3	4.292,0	629,9	1.195,7	2.251,2	560,0	933,0	1.680,0

Fonte: elaborada pelo autor

A distância média de transporte entre os sistemas está representada na Figura 19. Para este cenário em específico, pode-se concluir que em termos de distância percorrida para o transporte do concreto é 51% maior que para o geotêxtil e que o geotêxtil é 11% do que o para o tirante, o qual só considera o transporte do tubo sem nenhum peso adicional, pois o peso total dos tirantes (estacas metálicas) é desprezível.

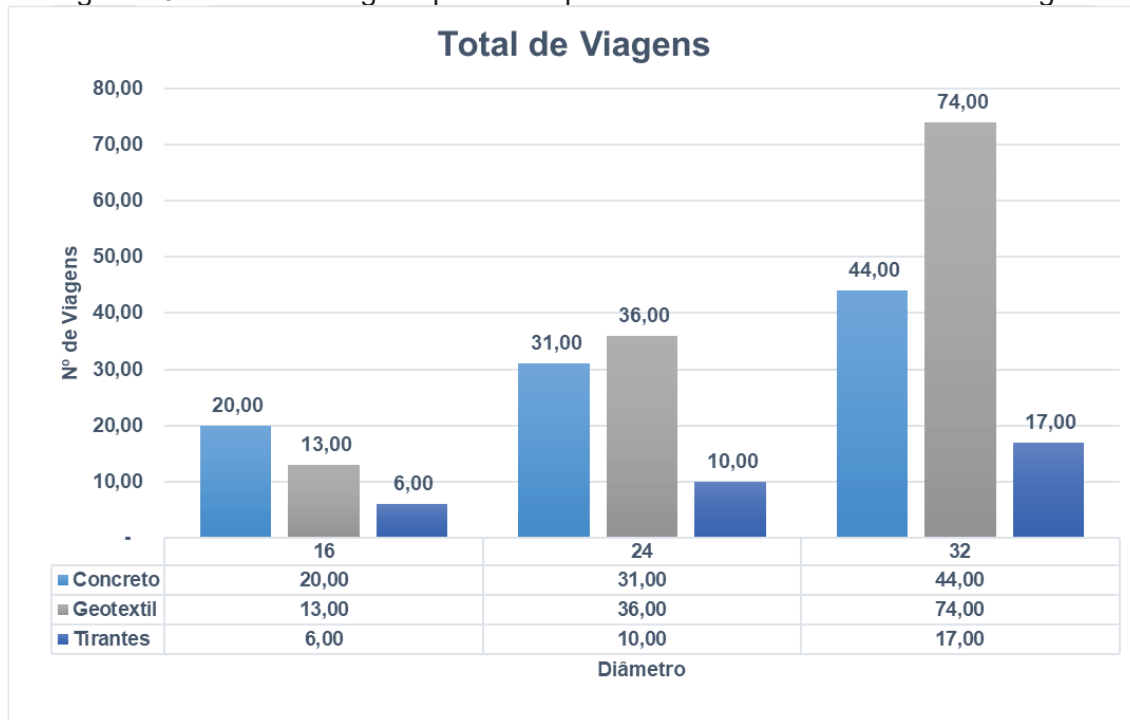
Figura 19 – Transporte médio por sistema comparado com o concreto



Fonte: elaborada pelo autor

A Figura 20 mostra o total de viagens para o transporte dos materiais dos três sistemas. Diferente da distância percorrida, o geotêxtil necessita de aproximadamente 70% de viagens a mais, comparado com o concreto para o diâmetro de 32 pol, devido a diferença de densidade entre o concreto e o material de enchimento do geotêxtil, impactando nos recursos de carregamento e tempo de manobra dos recursos de transporte. Já para o sistema com tirantes, não existe um peso adicional a ser transportado e o seu peso é insignificante perante o peso total transportado, podendo os materiais serem levados por um caminhão de menor porte até o seu local da aplicação.

Figura 20 – Total de viagens para transporte de tubos e sistemas de ancoragem



Fonte: elaborada pelo autor

Tanto na utilização de concreto como no geotêxtil, existe a necessidade de realizar dois transportes. Na maioria dos projetos não é viável a execução da concretagem no pátio de armazenamento de tubos ou na própria faixa de trabalho, sendo necessário o transporte dos tubos até o canteiro de concretagem e após o seu beneficiamento, devem ser transportados até o local de aplicação. No transporte, a limitação de carga na maioria das situações é em função do seu peso, sendo em alguns casos também o grau de curvatura para tubos curvados, um dos limitadores para o seu transporte devido a acomodação na carreta. Na atividade de curvamento, quando o controle de fluviabilidade é realizado através da aplicação do geotêxtil ou tirante poderá ser realizada na própria faixa de dutos, evitando o transporte de um tubo por vez, otimizando o deslocamento.

Com base na Tabela 22, é possível estimar a quantidade de combustível necessário para o transporte dos materiais, diretamente proporcional em relação a distância percorrida. Nesse estudo foi considerado um consumo médio para a carreta de 4 km com um litro de diesel, cujo quantitativo total relacionado na Tabela 23.

Tabela 23 – Total de diesel para transporte de tubos

Descrição / Diâmetro	Concreto			Geotêxtil			Tirantes		
	16	24	32	16	24	32	16	24	32
Transporte	334,7	677,3	1.073,0	157,5	298,9	562,8	140,0	233,3	420,0

Fonte: elaborada pelo autor

As principais atividades e a sequência de execução para os três processos construtivos em estudo estão representadas na Figura 16. As atividades de carregamento de tubos, curvamento e revestimento das juntas com mantas, apesar de relacionados na figura não foram consideradas, por não apresentarem diferenças significativas entre os sistemas nesse estudo. Vale ressaltar, diferentemente desse estudo, cujo trecho tem poucas curvas, que o curvamento ocorre antes da concretagem do tubo, o qual é executado no canteiro de concretagem e o transporte do tubo curvado com concreto na maioria das vezes é limitado pelo grau da curva e não pelo peso de transporte. Para os casos de geotêxtil e tirantes, o mesmo pode ser executado em campo, o qual não sofre impacto na logística de transporte.

As principais atividades consideradas nesse trabalho, conforme Figura 16 são:

- Carregamento de tubos: é realizado geralmente com a utilização de guindastes, escavadeiras, entre outros equipamentos. Consiste em movimentar os tubos da pilha para os equipamentos específicos de transporte. Em locais com grande movimentação pode-se utilizar dispositivos de carregamento tipo “vacum lift”, com considerável aumento de produtividade e segurança.
- Transporte de tubos: consiste no deslocamento dos tubos dos canteiros até o local da sua aplicação e ou beneficiamento se necessário. O transporte geralmente é realizado com a utilização de carretas carga seca ou *dolly*. Em casos específicos, também poderão ser utilizados balsas, tratores, *pipe carrier*, para levar a tubo até o local da aplicação na faixa;
- Curvamento de tubos: o curvamento é necessário para acompanhar o perfil do terreno e mudanças de direção do duto na faixa, com a utilização de curvadeira e demais acessórios. A atividade pode ser executada em canteiro específico ou no campo a ser definido conforme característica do projeto;

- Concretagem de tubos: é a execução do revestimento de concreto em torno do tubo. A espessura é definida pelo cálculo de fluabilidade ou de mínimo 38 mm para resistência mecânica conforme definido em norma;
- Desfile de tubos na faixa: consiste no posicionamento dos tubos na sequência e posição conforme projeto executivo na faixa ao longo da diretriz do duto;
- Solda/END: é a união da extremidade dos tubos através de solda. A solda pode ser pelo processo manual, semiautomático ou automático. Após a solda, todas as juntas deverão ser inspecionadas através de Raio X ou Ultrassom conforme critérios do projeto;
- Revestimento de juntas: é a proteção da junta soldada através de uma manta de revestimento termo-contrátil. Antes do revestimento, deverá passar por um processo de limpeza que pode ser manual ou através de jato;
- Enchimento, transporte e aplicação dos geotêxteis: consiste no enchimento do geotêxtil com material, geralmente pó de pedra, e transporte até o local da aplicação, quando não for possível a utilização do material da própria faixa. Os sacos são acondicionados sobre o duto dentro da vala;
- Instalação dos tirantes: é a instalação de um conjunto de hastes metálicas cravadas no solo com uma cinta para a ancoragem do duto;
- Abertura de vala, abaixamento do duto e cobertura: nessa atividade o duto é instalado no seu local definitivo, conforme diretrizes do projeto executivo.

A principais diferenças entre os sistemas são:

- No concreto, o sistema de controle de fluabilidade é incrementado no início do processo, impactando as demais atividades de construção, alterando a logística e aumentando a dificuldade devido principalmente ao peso de transporte e manobra dos tubos;
- Maior movimentação de carga e transporte dos tubos concretado e geotêxtil se comparado com os tirantes;

- Maior quantidade de recursos para a concretagem de tubos e enchimento dos geotêxtis, necessitando equipes exclusivas para executar as atividades;
- Os geotêxtis são inseridos no final do processo, diferente do duto, conforme Figura 16. Os geotêxtis são enchidos geralmente em um local próximo da aplicação ou até mesmo com o próprio material da faixa se for compatível.
- Assim como na utilização do geotêxtil, os tirantes também são aplicados no final do processo, isto é, após o abaixamento do duto na vala. Em termos de logística, o sistema não necessita de um transporte pesado com a mesma robustez dos outros dois sistemas, pois é formado por uma estaca metálica e uma cinta para ancoragem. A sua aplicação necessita um controle de torque e um teste de carga após a cravação para garantir a resistência mínima necessária para manter o sistema em seguro e combater o empuxo.

Os principais recursos de mão de obra e equipamentos, necessários para execução das atividades dos serviços estão relacionados nas Tabela 24 e Tabela 25. Foram considerados somente a mão e obra diretamente envolvida na atividade e os principais equipamentos pesados para a completa execução dos serviços de transporte e execução.

Tabela 24 – Total Homens x Mês

Mão de Obra	Concreto			Geotêxtil			Tirantes		
	16	24	32	16	24	32	16	24	32
Acoplador	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Ajudante	10,99	13,13	17,74	5,94	7,52	10,12	5,34	5,80	7,96
Carpinteiro	0,19	0,24	0,32						
Eletricista de Manutenção	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Enc. Dutos	0,66	0,88	1,18	0,58	0,92	1,29	0,54	0,71	1,08
Enc. Logística	0,17	0,11	0,19	0,25	0,21	0,25	0,25	0,14	0,25
Enc. Ponteada	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Feitor	0,19	0,24	0,32						
Insp. Dutos	0,47	0,35	0,86	0,58	0,65	1,29	0,54	0,44	1,08
Insp. Solda / Dutos	0,44	0,88	0,80	0,24	0,59	0,42	0,24	0,59	0,42
Lixador	1,25	2,45	3,36	1,20	2,24	2,94	1,20	2,24	2,94
Mecânico de Manutenção	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Mot. Munck	0,72	0,99	1,34	0,69	0,91	1,22	0,78	1,03	1,50
Mot. Van / Ônibus	0,69	0,94	1,66	0,69	0,91	1,22	0,69	0,91	1,22
Mot. Veiculo Leve	0,91	1,23	1,66	0,58	0,92	1,29	0,69	0,91	1,22
Mot. Veiculo Pesado	0,61	1,31	1,59	0,39	0,88	1,40	0,25	0,28	0,50
Op. Equipamentos	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Op. Escavadeira	1,16	1,93	2,62	1,19	1,88	2,51	1,02	1,35	1,92
Op. Side Boom	1,41	2,28	3,10	0,93	1,55	2,06	0,93	1,55	2,06
Pedreiro	0,19	0,24	0,32						
Revestidor	0,44	0,59	0,80	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Rigger	0,19	0,24	0,32						
Soldador TIG/ER/6GR	1,00	2,10	2,88	0,96	1,92	2,52	0,96	1,92	2,52
Técnico Montador							0,09	0,12	0,28
Total Homens x Mês	22,90	31,83	43,42	15,66	23,02	31,05	14,96	19,91	27,47

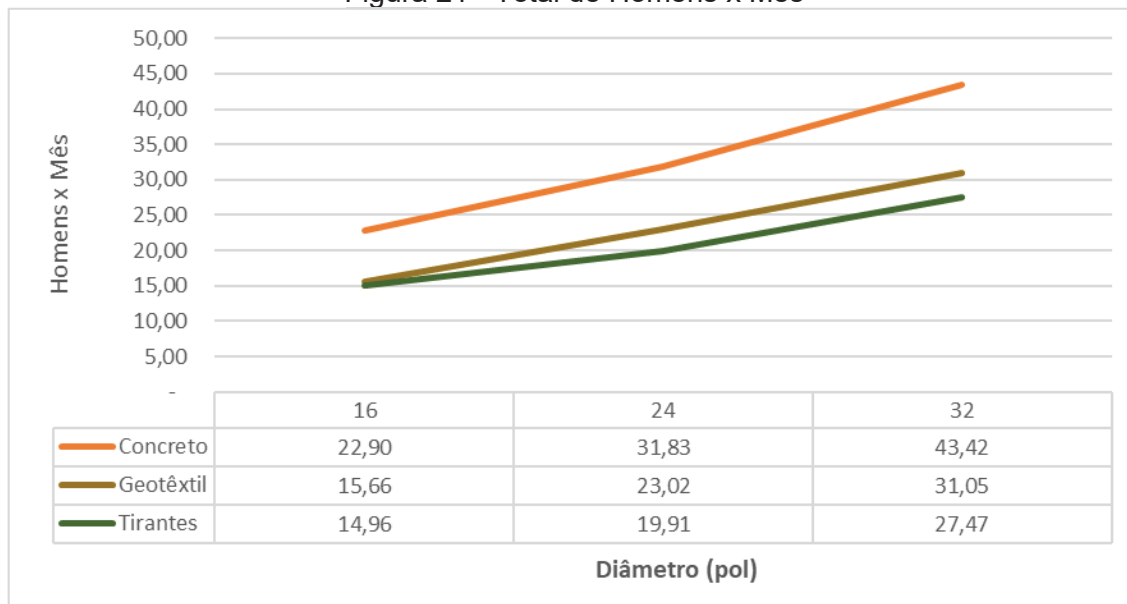
Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 25 – Total Equipamentos x Mês

Equipamentos	Concreto			Geotêxtil			Tirantes		
	16	24	32	16	24	32	16	24	32
Acopladeira Externa 24"		0,35			0,32			0,32	
Acopladeira Externa 32"			0,48			0,42			0,42
Acopladeira Interna 16-28"	0,25	0,35		0,24	0,32		0,24	0,32	
Acopladeira Interna 32-48"			0,48			0,42			0,42
Acopladeira Externa 16"	0,25			0,24			0,24		
Biseladeira 24"		0,35			0,32			0,32	
Biseladeira 32"			0,48			0,42			0,42
Biseladeira 16"	0,25			0,24			0,24		
Caminhão diesel Munck, tração 6x4, cap. 13 t/m / 6,5 ton.	0,97	1,34	1,34	0,69	0,91	1,22	0,78	1,03	1,50
Carreta Carga Seca + Cavalos Mecânicos 6x4	0,61	1,12	1,43	0,39	0,88	1,40	0,25	0,28	0,50
Dolly + Cavalos Mecânicos 6x4		0,30	0,35						
Conjunto Oxi-Acetileno	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Compressor diesel, capacidade 90 PCM	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Dosador de fibra para concreto	0,19	0,24	0,32						
Escavadeira Hidráulica 22 Ton - 140 HP (CAT 320C)	0,97	1,34	2,30	1,19	1,88	2,51	1,02	1,35	1,92
Holiday Detector para 32"			0,80			0,42			0,42
Holiday Detector para 24"		0,59			0,32			0,32	
Holiday Detector para 16"	0,44			0,24			0,24		
Implemento para cravação de tirantes (kit)							0,09	0,12	0,28
Lixadeira	1,25	2,45	3,36	1,20	2,24	2,94	1,20	2,24	2,94
motossoldadora 375a - diesel + cabeçote + acessórios	1,00	2,10	2,88	0,96	1,92	2,52	0,96	1,92	2,52
Máquina de Solda elétrica, Fonte XMT 350 CC/CV 907161, com acessórios.	0,50	1,40	1,92	0,48	1,28	1,68	0,48	1,28	1,68
Máquina de Solda elétrica, PIPEPRO 300/190-630V AUTOLINE, com acessórios.	0,50	0,70	0,96	0,48	0,64	0,84	0,48	0,64	0,84
Retroscavadeira CAT 416 c ou Similar	0,19	0,24	0,32						
Side Boom 572 - 220 HP	1,41	2,28	0,48	0,93	1,55	0,80	0,93	1,55	0,80
Side Boom 583/572R - 300 HP			2,62			1,26			1,26
Trator sobre Esteira 140 HP (CAT D6)	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Veículo de Transporte - Ônibus 44 lug (com motorista e combustível)	0,44	0,59	0,80	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Veículo de Transporte - Van 14 lug (com motorista e combustível)			0,38						
Veículo Pick-Up 4x4	1,08	1,34	1,85	1,07	1,45	1,96	0,94	1,05	1,47
Veículo de Transporte - Micro Ônibus 25 lug (com motorista e combustível)	0,25	0,35	0,48	0,45	0,59	0,80	0,45	0,59	0,80
Total Equipamentos x Mês	11,28	18,45	25,45	9,76	15,90	21,29	9,50	14,61	19,87

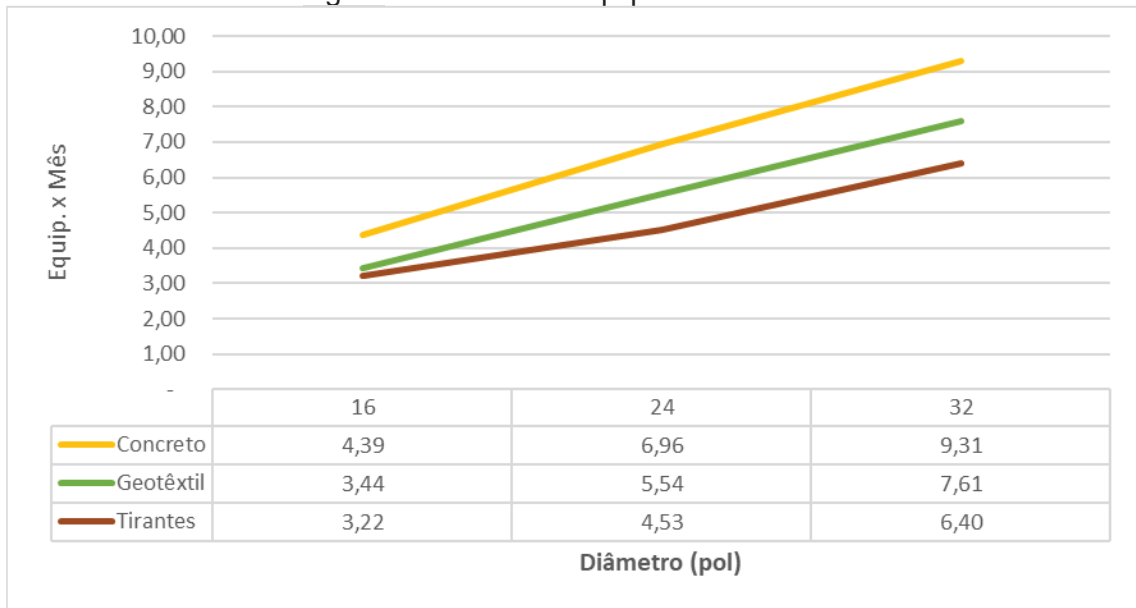
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 21 - Total de Homens x Mês



Fonte: elaborada pelo autor

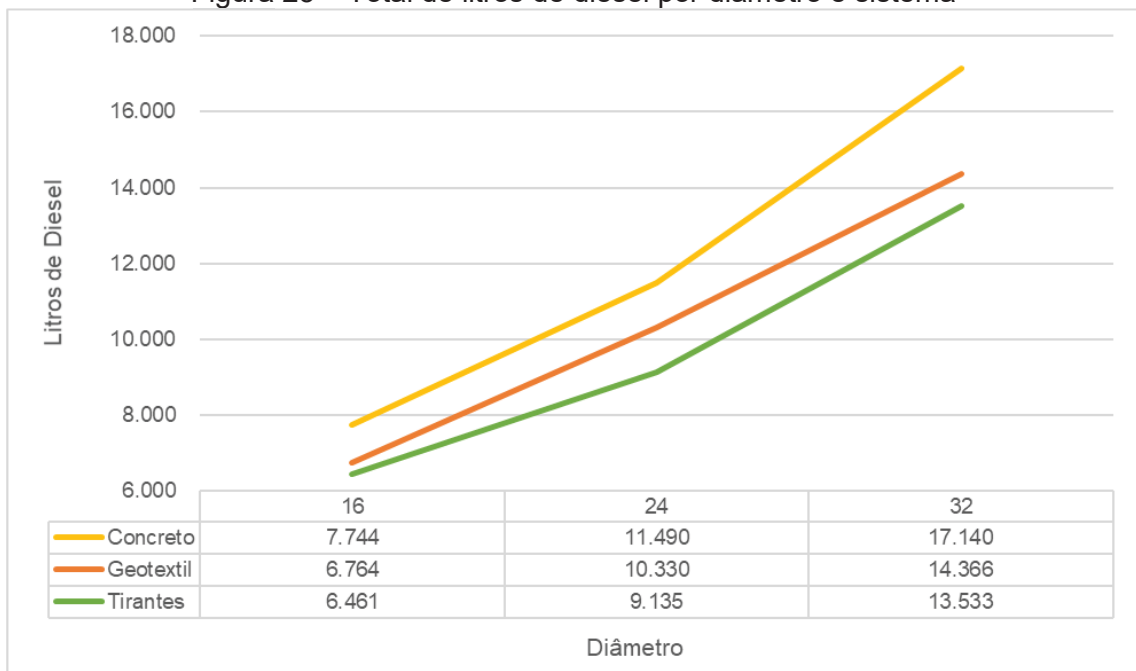
Figura 22 – Total de Equipamentos x Mês



Fonte: elaborada pelo autor

Com relação ao consumo total de combustível, considerando o cenário em questão, a variação de consumo de diesel entre os sistemas está representada Figura 23. Conforme acima, devido a menor logística de transporte, a redução de recursos e o aumento da produtividade de execução são os principais itens que ocasionaram a redução de recursos para os sistemas com utilização do geotêxtil e tirantes.

Figura 23 – Total de litros de diesel por diâmetro e sistema



Fonte: elaborada pelo autor

5.5 Indicador de Custo

Os custos aqui apresentados não representam os custos totais de implantação de uma obra e não podem ser utilizados como referência para estimar um projeto, assim como o custo da atividade, pelo fato de não terem sido considerados todos os recursos, como por exemplo, os que não tiveram variações entre as metodologias. Somente foram considerados os serviços com impacto significativos para as três metodologias.

Os recursos de mão de obra, equipamentos e materiais para execução os serviços levaram em conta as produtividades reais da obra do Emissário do COMPERJ, de 32 pol. Para os demais casos, as produtividades foram estimadas com base em histórico de projetos anteriores como o gasoduto Pilar Ipojuca de 24 pol e o GLP duto de 10 pol, e calculadas em função da metodologia e diâmetro.

Para o cálculo dos indicadores de custo, das fases relacionadas na Figura 16, foram considerados principalmente:

- Valores de mão de obra, encargos sociais e valores agregados regionais;
- Custo de locação de equipamentos e combustíveis para operação;
- Preços de materiais de aplicação e consumo.

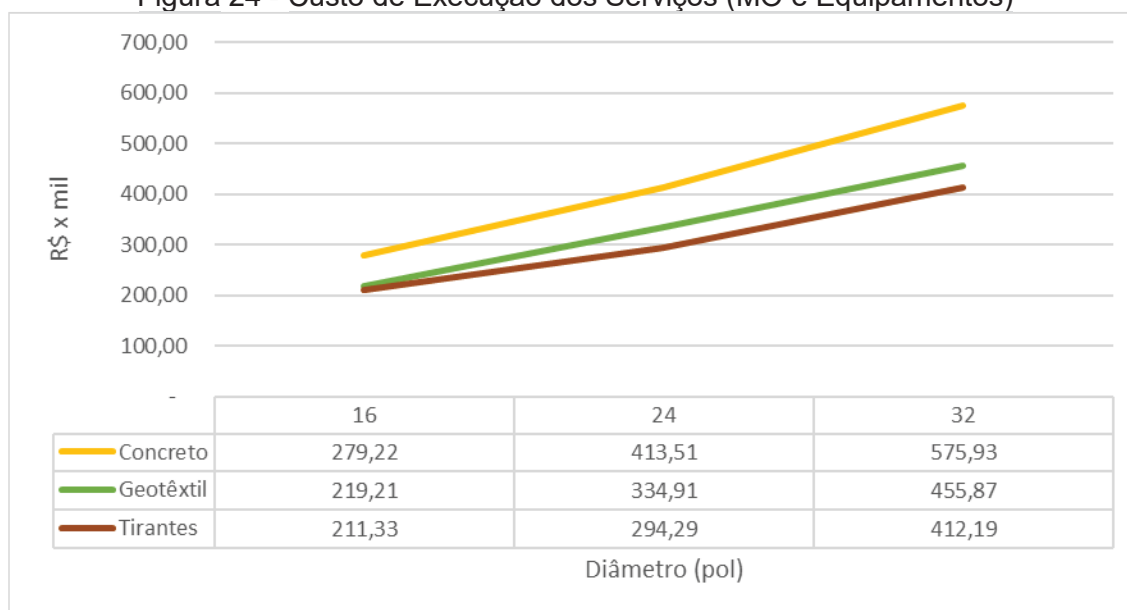
Em termos de custo, somente foram contabilizados os custos dos recursos e materiais diretamente envolvidos no processo, não podendo ser considerado de forma alguma como valor total para um outro projeto similar, pois várias frentes de serviço necessárias para a completa execução não foram consideradas, como:

- Mão de obra de apoio para a execução (vigia, técnico de segurança, técnico de meio ambiente, técnico de enfermagem, supervisão, gerenciamento etc.);
- Equipe e manutenção preventiva e corretiva dos equipamentos;
- Transporte pesado dos equipamentos até a faixa;
- Logística de abastecimento dos equipamentos nas frentes de serviços;
- Custo dos recursos de apoio necessários para a completa execução, como topografia, melhoria de pista e acesso, ensaios não destrutivos das juntas soldadas, etc;
- Materiais de aplicação e consumo, como material de solda, mantas de revestimento de juntas, gases, etc, cujos consumos são iguais para as diferentes metodologias de construção aqui analisados;

- Demais fases para a completa execução da obra;
- Estudos e desapropriação e indenização da faixa;
- Custos de operação e manutenção ao longo da vida útil.

Com relação ao custo de execução dos serviços, o maior valor encontrado foi para o concreto, seguido pelo geotêxtil e o tirante, conforme Figura 24. O total de recursos de mão de obra e equipamentos necessários para a completa execução são menores para a utilização do geotêxtil e tirantes, ganhos esses na logística (transporte), redução dos recursos nas fases e o aumento de produtividade entre os sistemas, além dos diferentes serviços. A redução dos custos para a execução dos serviços é significativa, a qual chega em 20% para o geotêxtil e 28% para os tirantes, comparado com o concreto.

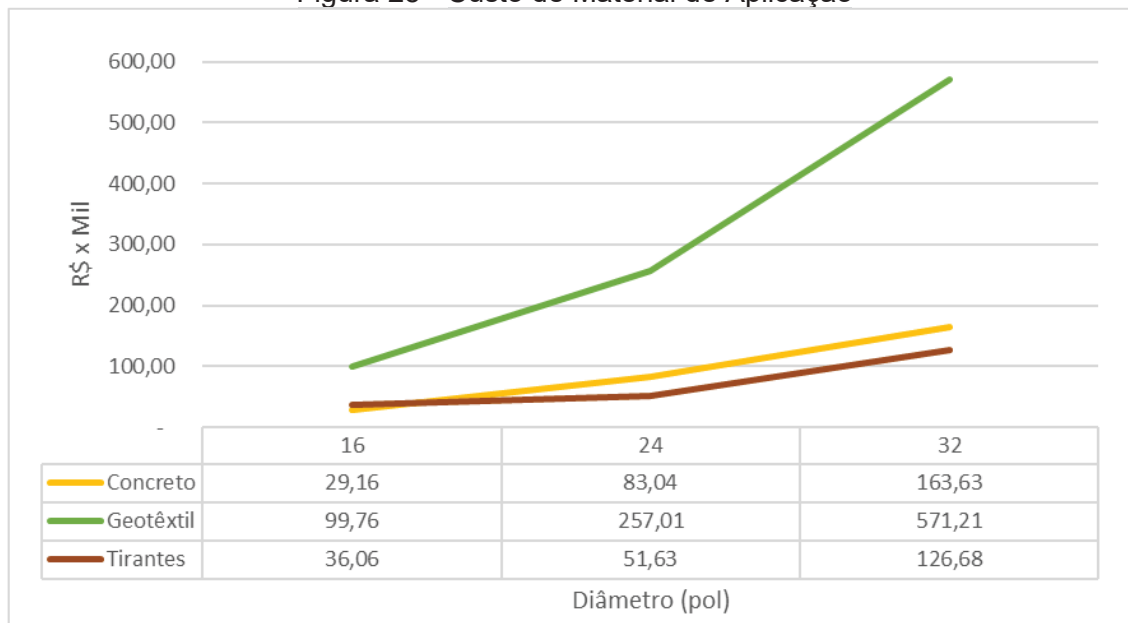
Figura 24 - Custo de Execução dos Serviços (MO e Equipamentos)



Fonte: elaborada pelo autor

Diferente do custo dos serviços, o material de aplicação com menor custo para o cenário em estudo foi o da jaqueta de concreto, seguido pelos tirantes e depois o geotêxtil, conforme Figura 25. Essa inversão de custo, comparado com o serviço, se deve principalmente ao baixo custo do concreto e ao alto custo do Geotêxtil, principalmente, por ser um material importado.

Figura 25 - Custo de Material de Aplicação

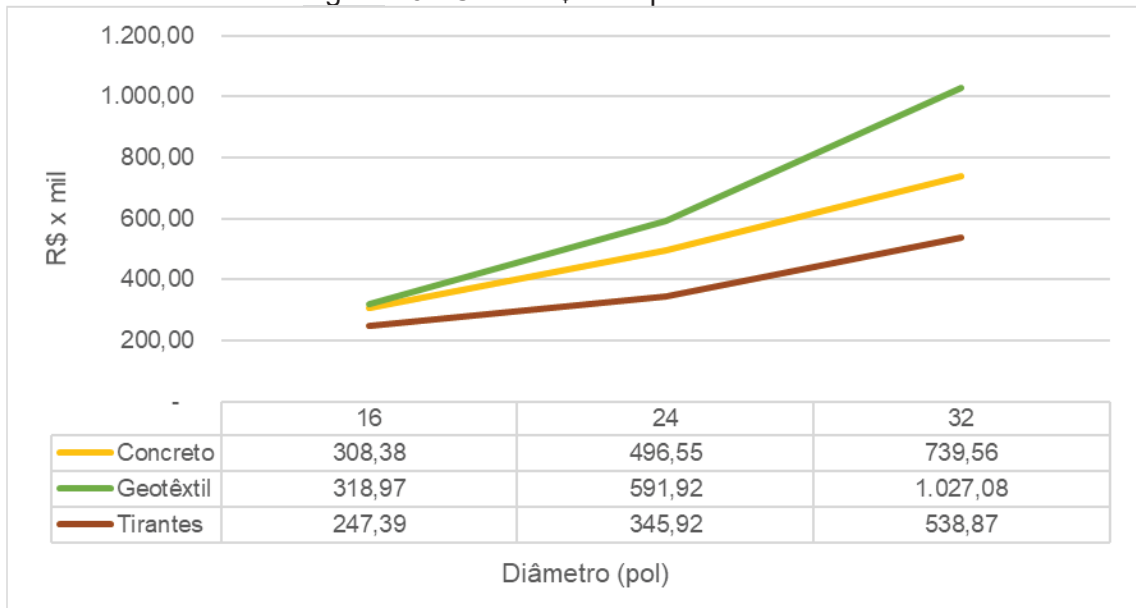


Fonte: elaborada pelo autor

Na Figura 26, está representada o custo dos serviços e materiais para um km e na Figura 27, o custo por mpol (metros x polegadas) é possível observar:

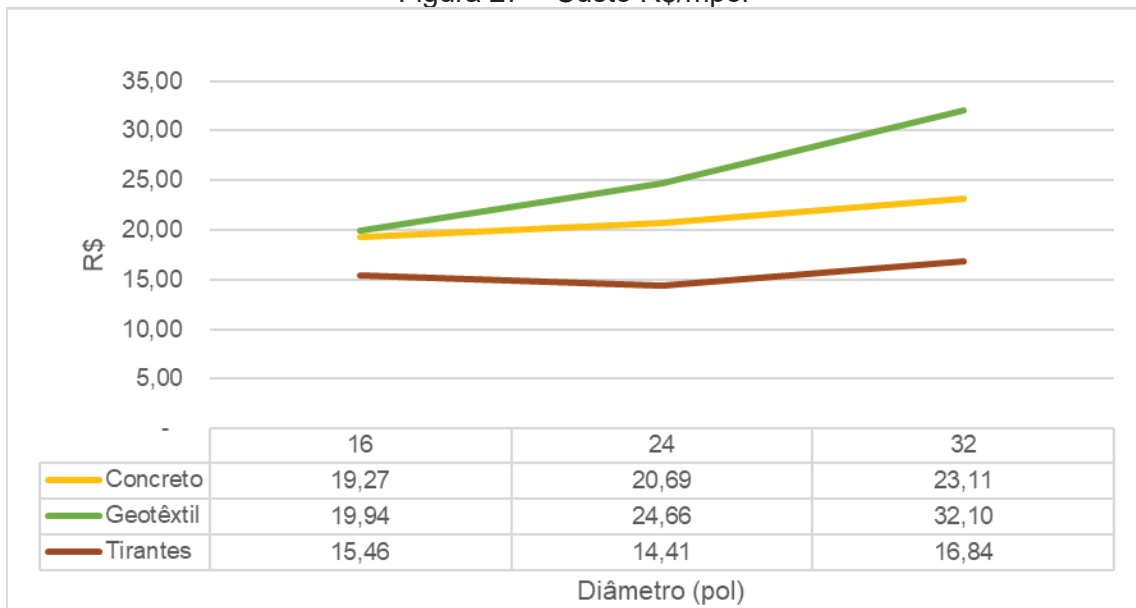
- O tirante apresentou menor custo para todos os diâmetros e metodologias, comparado ao concreto o mesmo foi de 80% para diâmetro de 16 pol, 70% para o diâmetro de 24 pol e 73% para o diâmetro de 32 pol;
- O geotêxtil apresentou o maior custo para todos os diâmetros e metodologias, sendo a diferença insignificante para diâmetros pequenos, onde o custo foi praticamente igual ao do concreto. Com relação ao concreto, para os diâmetros maiores, o aumento de custo foi de 19% para o diâmetro de 24 pol e 39% para o diâmetro de 32 pol.;

Figura 26 - Custo R\$ x Mil por km de duto



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 27 – Custo R\$/mpol



Fonte: elaborada pelo autor

Mesmo o geotêxtil tendo um custo mais elevado, em alguns casos, para manter a continuidade da sequência construtiva, a sua utilização pode ser vantajosa, pois o custo de retorno de uma equipe de construção para fechamento de um ponto, pela falta de um tubo concretado ou a inviabilidade de utilização de tirantes, pode ser ainda maior devido ao elevado número de equipamentos envolvidos no processo. Esses

casos de descontinuidade são comuns para um projeto de duto, devido a dinâmica de construção, imprevistos durante a abertura de vala, entre outros interferências.

5.6 Consumo de Materiais

Os consumos de materiais de aplicação para o controle de fluabilidade, por sistema e diâmetros estão relacionados nas tabelas

Tabela 26, Tabela 27 e Tabela 28, para a utilização do concreto, geotêxtil e tirantes, respectivamente.

Tabela 26 – Consumo total de materiais para jaqueta de concreto

Tubo Concretado	Und.	Quantidade		
		16 pol	24 pol	32 pol
Concreto 30 Mpa				
Cimento CP IV	kg	17.549,2	52.358,3	104.961,7
Areia	kg	49.956,6	149.046,5	298.791,0
Brita 0	kg	53.057,0	158.296,5	317.334,3
Água	kg	12.284,4	36.650,8	73.473,2
Aditivo (maximent PX-50 Matchem)	kg	173,7	518,3	1.039,1
Fibra de aço	kg	1.754,9	5.235,8	10.496,2
Forma Metálica	kg	502,2	792,8	1.083,3
Total		135.278,1	402.899,0	807.178,9

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 27 - Consumo total de materiais para geotêxtil

Geotêxtil	Und.	Quantidade		
		16 pol	24 pol	32 pol
Geotêxtil	Und.	173,3	286,7	340,0
Geotêxtil	kg	1.348,9	2.230,9	4.760,0
Brita (material de enchimento)	kg	152.313,2	571.315,2	1.218.974,5
Estrutura metálica (Molde)	kg	33,4	82,8	130,9
Total		153.695,5	573.628,9	1.223.865,4

Fonte: elaborada pelo autor

Tabela 28 - Consumo total de materiais de tirantes

Tirantes	Und.	Quantidade		
		16 pol	24 pol	32 pol
Estacas Metálicas	kg	2.833,3	3.625,0	10.150,0
Anodos Galvânicos	kg	28,9	35,7	42,5
Cintas de poliéster	Und.	16,7	20,8	25,0
Total		2.862,2	3.660,7	10.192,5

Fonte: elaborada pelo autor

É possível observar que a maior quantidade de material, no que tange ao peso, é no sistema geotêxtil, seguido do concreto. Apesar da grande quantidade de material,

aproximadamente, 50% a mais no diâmetro de 32 pol, o material de aplicação é local, e no caso de pó de pedra, passando somente pelo processo de extração e moagem, diferente da fabricação do cimento e aço, que consome um nível elevado de energia e gera uma grande quantidade de gases no processo de fabricação para a jaquetas de concreto.

Já nos tirantes, existe uma pequena quantidade de material aplicado, em termos de peso quase insignificante com relação aos outros dois sistemas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo analisou as questões de custos e consumos de materiais para os três sistemas e diâmetros para o controle de fluutuabilidade, onde foi definido o cenário, levantadas as questões adequadas para aplicação dos sistemas e realizado o dimensionamento. Em seguida foi realizado um estudo de logística, sequência de execução e dimensionamento dos recursos para a execução dos serviços das fases impactadas na construção. A partir de então, foram realizados o cálculo dos indicadores de custo e consumo dos materiais de aplicação, diretamente ligados aos sistemas.

Os resultados obtidos nesse estudo mostram que os métodos para o controle de fluutuabilidade com utilização de geotêxtil e tirantes são mais vantajosos nas questões de logística, sequência de execução e recursos de mão de obra e equipamentos necessário para a execução. Na logística, pela distância total de transporte de todos os materiais de aplicação (tubo, materiais para o geotêxteis e tirantes) até o local de instalação. Na sequência construtiva, as duas metodologias são aplicadas no final do processo, dessa forma não causam impactos e redução de produção nas primeiras fases de construção (transporte de tubos, desfile e solda principalmente). A redução da logística, o aumento da produtividade e a redução de fases, como por exemplo a necessidade da concretagem com a utilização de recursos específicos, gerou uma redução de mão de obra e equipamentos de construção no contexto analisado. Nessa análise obteve-se uma redução de custos de execução das metodologias com utilização do geotêxtil e tirantes.

Na análise dos materiais de aplicação, foi possível observar o alto custo do geotêxtil, aproximadamente o triplo, comparada ao concreto, devido a necessidade de importação da bolsa e o alto custo da moeda estrangeira. Já para o tirante, o custo do material foi em torno de 60%, em relação ao concreto para os diâmetros maiores. As estacas consideradas foram de origem nacional, as quais ainda necessitam de certificação com relação a vida útil para garantir a estabilidade do sistema.

Em termos de custos totais, considerando o serviço e material, recomenda-se sempre que possível a utilização dos tirantes, pois o custo final foi menor para todos os diâmetros e em seguida o concreto, principalmente para dutos de grandes diâmetros. Vale ressaltar, que devem ser realizados estudos de viabilidade técnica em todos os projetos, pelo fato de existirem inúmeras variáveis que podem onerar e

impactar na escolha de metodologia adequada, podendo ser considerado para esse estudo principalmente os itens relacionados na tabela do Anexo I.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Com o intuito de prosseguir esse estudo, tanto de custo como de impactos ambientais são realizadas as seguintes sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

- Buscar o geotêxtil no mercado nacional, com o objetivo de redução de custo, garantido a durabilidade necessária conforme o ciclo de vida do projeto;
- Fazer estudos práticos em diferentes tipos de solos para a aplicação de tirantes, a fim de apoiar a tomada de decisão na busca da melhor alternativa de projeto para os custos e impactos ambientais;
- Gerar um banco de dados das metodologias e impactos, com a geração de indicadores por m x pol, unidade essa usada em projetos de dutos.
- Ampliar o estudo, considerando todo o ciclo de vida do projeto, principalmente para os materiais de aplicação;
- Analisar o ciclo de vida de um duto, gerando indicadores para a fase de construção e operação e manutenção.

REFERÊNCIAS

AGENCY CENTRAL INTELLIGENCE. **THE WORLD FACTBOOK**. Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/fields/2117.html>>. Acesso em: 3 out. 2017.

AGUILAR, J. et al. **El Desastre ecológico de Aznalcóllar**. Disponível em: <<http://edafologia.ugr.es/donana/aznal.htm>>. Acesso em: 9 jan. 2018.

ANTT. **Dutovias**. Disponível em: <<http://www.antt.gov.br/textogeral/Dutovias.html>>. Acesso em: 12 out. 2017.

ARAKAKI, T. K. **Simulação de rede de distribuição de gás**. Tese de Mestrado—São Paulo, Brasil: Escola Politécnica de São Paulo, 2017.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W. **Cradle to Cradle: Criar e reciclar ilimitadamente**. 1º ed. New York: North Point Press, 2002.

CANTO, C. H.; LOUZADA, M. Projeto Mecânico de Dutos Terrestres. In: FREIRE, J. L. DE F. (Ed.). **Engenharia de Dutos**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABCM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CIENCIAS MECÂNICAS, 2009. p. 9.1 9.37.

CONAMA. RESOLUÇÃO CONAMA nº 1. p. 4–7, 1986.

CYNTECH. **Buoyancy Control**. Disponível em: <<http://www.cyntech.com/pipeline-anchors/buoyancy-control/>>. Acesso em: 9 dez. 2018.

DOERING, R.; ROBERTOSN, R. SCREW ANCHOR BUOYANCY CONTROL SAVES AN ESTIMATED \$12 MILLION FOR ENBRIDGE PIPELINE. **2000 International Pipeline Conference**, v. 1, p. 8, 2000.

EBC. **Desastre em Mariana é o maior acidente mundial com barragens 6m 100 anos**. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-01/desastre-em-mariana-e-o-maior-acidente-mundial-com-barragens-em-100-anos>>.

Acesso em: 30 out. 2017.

FANDÉ, M. B.; HENKES, J. A. Ordenamento Do Território E Adaptação De Comunidades Costeiras À Elevação Do Nível Do Mar: As Experiências De Nouakchott E De Dakar. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 663–687, 2019.

FLEURY, P. F. Gestão estratégica do transporte. **Revista Tecnológica**, v. 82, p. 4, 2000.

FREITAS JR, J. DE A. et al. Estudo da aplicação de coberturas verdes no objetivo de se construir edifícios neutros em carbono. **Holos Environment**, p. 18, 2017.

G1. Polícia de MG considera mortes por desastre de Mariana como homicídios. Disponível em: <<http://g1.globo.com/minas-gerais/desastre-ambiental-em-mariana/noticia/2016/02/policia-de-mg-considera-mortes-por-desastre-de-mariana-como-homicidios.html>>. Acesso em: 30 out. 2017.

G1. Sobe para 225 o número de mortos identificados no desastre da Vale em Brumadinho. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/04/10/sobe-para-225-o-numero-de-mortos-identificados-no-desastre-da-vale-em-brumadinho.ghtml>>.

GHIO, A. F. M. et al. **USE OF PIPE SAKS ON PIPELINE CONSTRUCTION.** (IBP1028_09, Ed.)Rio Pipelene Conference & Exposition 2009. **Anais...**Rio de Janeiro: IBP, 2009

HERNANDEZ, L. A.; BECHTEL, C. Buoyancy Control on the 56" Cross Island Gas Pipeline Project, Trinidad and Tobago. **6th International Pipeline Conference**, p. 7, 2006.

INFRAESTRUTURA.GOV.BR. **Dutovias.** [s.l: s.n.].

IPCC, I. P. ON C. C. **Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers**IPCC. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>.

JACQUES, J. J. DE. **ESTUDO DE INICIATIVAS EM DESENVOLVIMENTO**

SUSTENTÁVEL DE PRODUTOS EM EMPRESAS CALÇADISTAS A PARTIR DO CONCEITO BERÇO AO BERÇO. [s.l: s.n.].

JOHN, V. M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção. In: CASSA, J. C. S.; CARNEIRO, A. P.; BRUN, I. A. S. DE (Eds.). . **Reciclagem de Entulho para a Produção de Materiais de Construção - Projeto Entulho Bom.** 1ª ed. Salvador: [s.n.]. p. 20.

KUHN, E. A. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada.** Tese de Mestrado—Porto Alegre, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

LEPECH, M. D. et al. **mproving Concrete For Enhanced Pipeline Protection,** 2010.

LIMA, M. P. Custos logísticos na economia brasileira. **Revista Tecnológica,** v. Edição 122, p. 64–69, 2006.

LIMA, M. P. **Custos Logísticos no Brasil.** Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/custos-logisticos-no-brasil/>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

LOBO, F. H. R. **INVENTÁRIO DE EMISSÃO EQUIVALENTE DE DIÓXIDO DE CARBONO E ENERGIA EMBUTIDA NA COMPOSIÇÃO DE SERVIÇOS EM OBRAS PÚBLICAS: ESTUDO DE CASO NO ESTADO DO PARANÁ.** Tese de Mestrado—Curitiba, Brasil: Universidade Federal do Paraná, 2010.

LUINO, F.; DE GRAFF, J. V. The Stava mudflow of 19 July 1985 (Northern Italy): A disaster that effective regulation might have prevented. **Natural Hazards and Earth System Science,** v. 12, n. 4, p. 1029–1044, 2012.

MATEUS, R. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção,** 2004. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/817>>. Acesso em: 21 ago. 2017

NAZÁRIO, P. Papel do Transporte na Estratégia Logística. In: FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, F. K. (Eds.). . **ELOGISTICA EMPRESARIAL – A Perspectiva Brasileira.** 1ª ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2000a. p. 126–132.

NAZÁRIO, P. Intermobilidade: Importância para a logística e estágio atual no Brasil. In: FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, F. K. (Eds.). . **LOGISTICA EMPRESARIAL – A Perspectiva Brasileira**. 1ª ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2000b. p. 142–152.

NBR 12712. **Projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível**. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasil, 2002.

NBR 15280-1. **Dutos Terrestres Parte 1: Projeto** ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasil, 2017.

NBR 15280-2. **Dutos Terrestres Parte 2: Construção e Montagem** ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasil, 2015.

NBR ISO 14040. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura** ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Brasil, 2009.

OAS. **CT-EMCRJ-OAS-001 - Substituição da Armadura de Tela Soldada (Q196 - GERDAU) por Fibra de Aço Aspecto 80 nas Jaquetas dos Tubos Concretados**. Rio de Janeiro, Brasil, 2014.

OLIVEIRA, F. N. E&G Economia e Gestão , Belo Horizonte, v. 16, n. 45, Out./Dez. 2016 32. p. 32–57, 2016.

PASSUELLO, A. C. B. et al. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínques alternativos. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, v. 14, p. 7–20, 2014.

PIPESAK. **PipeSak ® to Concrete**, 2017. Disponível em: <www.pipesak.com>

R7. **Barragem dem Brumadinho tem volume de 12,7 mil de m³ de rejeitos**. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/cidades/barragem-em-brumadinho-tem-volume-de-127-mi-de-m-de-rejeitos-26012019>>.

RENNÓ, M.; LEMGRUBER, N. O ciclo de vida de um empreendimento de dutos. In: FREIRE, J. L. DE F. (Ed.). . **Engenharia de Dutos**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABCM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CIENCIAS MECÂNICAS,

2009. p. 1–20.

RIBEIRO, P.; FERREIRA, K. Logística e transportes: uma discussão sobre os modais de transporte e o panorama brasileiro. **XXII Encontro Nacional de Engenharia**, 2002.

ROBERTSON, R.; CURLE, R. Crew Anchors Economically Control Pipeline Buoyancy in Muskeg. **Oil & Gas Journal**, 1995.

SHARMA, A. et al. Life cycle assessment of buildings : A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 1, p. 871–875, 2011.

SILVA, V. G. DA. **AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS BRASILEIROS: DIRETRIZES E BASE METODOLÓGICA**. Tese de Doutorado—São Paulo, Brasil: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

SILVA, F. A.; GARCIA, J. C.; SILVA, R. C. **OTIMIZAÇÃO DO USO DE REVESTIMENTO DE CONCRETO COMBATER A FLUTUAÇÃO DE GASODUTOS**. (IBP 1476_07, Ed.)Rio Pipelene Conference & Exposition 2007. **Anais...**Rio de Janeiro: IBP, 2007

TAVARES, S. F. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil—Florianópolis, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2006.

THEODORA. **Mapa de Dutos dos Estados Unidos**. Disponível em: <https://theodora.com/pipelines/united_states_pipelines.html>. Acesso em: 22 dez. 2017.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **A Sustentabilidade dos Materiais de Construção**. 2ª ed. Vila Verde - Portugal: Gráfica Vilaverdense – Artes Gráficas, Lda, 2010.

VAZ, A. V.; OLIVEIRA, K. N. DE; DAMASCENO, P. E. G. **O modal dutoviário: análise da importância e considerações sobre suas principais características**. Disponível em: <http://www.academia.edu/download/2002266/Modal_Dutoviario_-

_2005.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2017.

VENTURA, C.; SOUSA, J.; FERNANDES, A. Os estuários e as alterações climáticas: impactes da subida do nível médio das águas do mar em Vila Franca de Xira. n. 11, 2017.

WANKE, P.; FLEURY, P. F. Transporte de cargas no Brasil: estudo exploratório das principais variáveis relacionadas aos diferentes modais e às suas estruturas de custos. **Estrutura e Dinâmica do Setor de Serviços no Brasil**, n. March, p. 459–464, 2006.

ANEXOS

Tabela com o Comparativo dos Sistemas de Ancoragem

Desenho de Planta e Perfil do Trecho Analisado;

Dimensionamento dos Sistemas

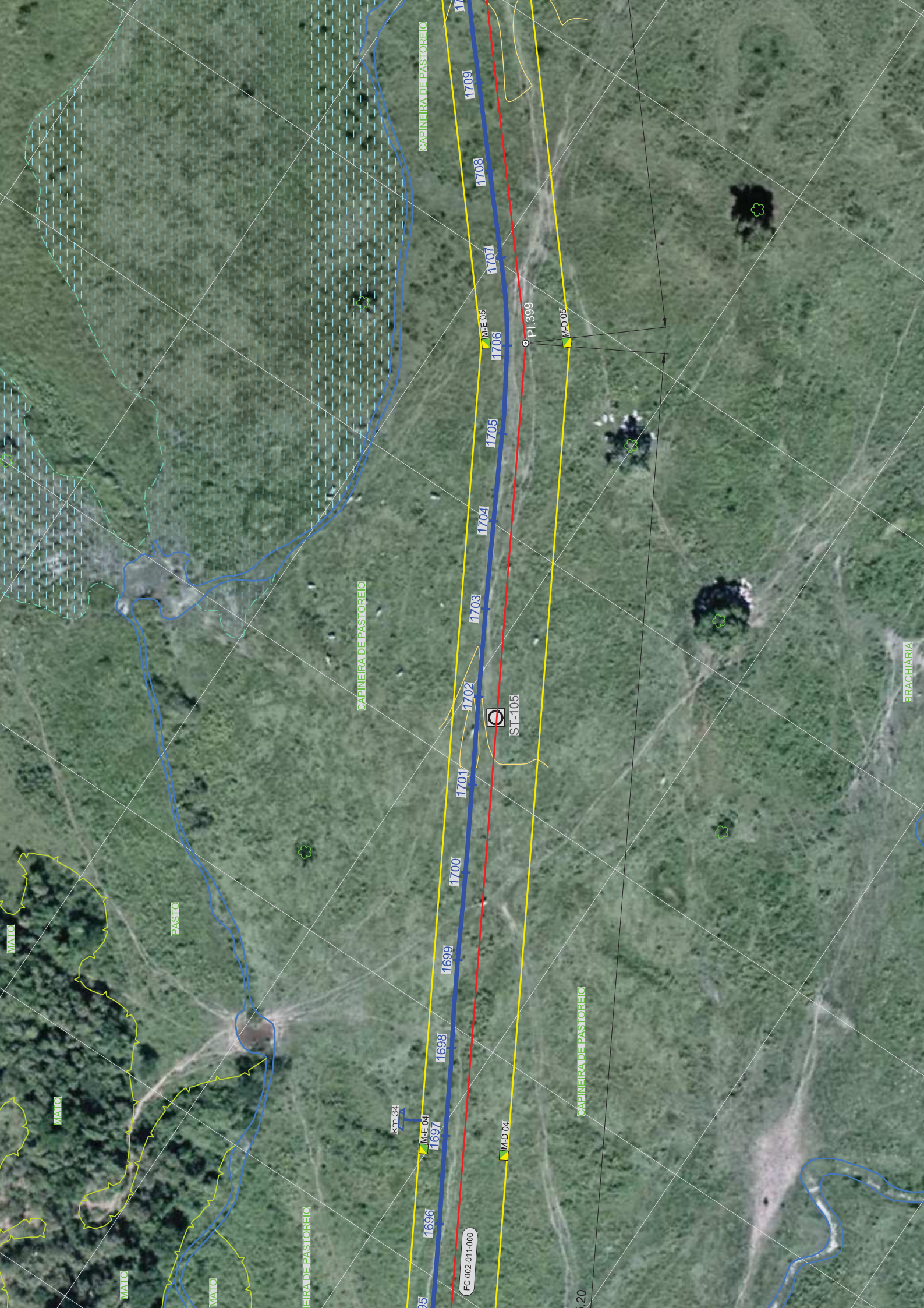
Planilhas de Cálculo do Custo

Planilha de Cálculo dos Materiais

COMPARATIVO DAS METODOLOGIAS PARA CONTROLE DE FLUTUABILIDADE DE DUTOS

Descrição	Concreto	Geotêxtil	Tirantes
Local	+ Pode ser aplicado em qualquer tipo de solo; + Áreas alagadas e alagáveis, trechos com rocha, cruzamentos e travessias.	- Não recomendado em trechos com solo rochoso, pois existe a necessidade de proteção mecânica; - Somente para áreas alagadas e alagáveis.	- Necessidade de avaliação de resistência do solo e condição para cravação das estacas (estudos geológicos); - Somente para áreas alagáveis.
Materiais	- Concreto feito com materiais locais, porém a aplicação não é imediata, pois necessita cura.	+ Geotêxtil importado, com fornecimento conforme necessidade de execução, para diversos diâmetros e tipos de dutos (Aço, Fibra, PEAD); + Material de enchimento local (solo, brita...).	+ Material importado com fornecimento conforme necessidade de execução, para diversos diâmetros; + Peças e acessórios padronizados, com prolongamentos conforme necessidade de carga / cravação.
Logística e Construção	+ Não necessita esgotamento de vala para lançamento da tubulação; + Pode ser utilizado em grandes áreas alagadas (puxamento da coluna + flutuação com boias + abaixamento); + Não necessita esgotamento de vala para abaixamento do duto; - Requer maior profundidade de vala para abaixamento; - Maior movimentação logística e de carga; - Requer área adicional/específica para concretagem, recursos específicos, insumos, ensaios que podem impactar o ritmo da obra e comprometer o prazo de execução; - Requer mão de obra qualificada para execução; - Menor produtividade de transporte, desfile, solda e abaixamento, principalmente para diâmetros maiores devido ao elevado peso, além da necessidade de equipamentos mais robustos para movimentação; - Facilidade de ovalização dos tubos de espessura de parede menores e grandes diâmetros devido ao peso do concreto, dificultando o acoplamento e solda; - Aumento do empuxo devido ao diâmetro maior do conjunto (duto + jaqueta de concreto); - Aumento da quantidade de TIE IN devido as dificuldades de abaixamento.	+ Sem necessidade de profundidade maior na vala, em função do design; + Facilidade de transporte, instalação rápida e sem necessidade de fixação; + Custo de transporte reduzido, principalmente para locais remotos, podendo ser utilizado material próximo do local da aplicação ou da própria faixa de trabalho, vala ou de jazidas de material mais próximas; + Melhor eficiência no transporte dos tubos, desfile, curvamento, solda e abaixamento com frentes de serviços menores e/ou maiores produtividades; + Curvamento de tubos na faixa de trabalho; + Menor quantidade de TIE IN; + Não necessita de ferramentais especiais para a sua instalação, podendo ser instalado com um escavadeira; + Redução do prazo total de execução, pois a instalação é simples; + É instalado após a fase de abaixamento, reduzindo assim e eventuais riscos, retrabalhos e pulos; + Não necessita esgotamento de vala para aplicação do Geotêxtil; + Mais eficiente que a jaqueta de concreto, pois não sofre empuxo; + Não causa nenhum dano ao tubo/revestimento durante a aplicação; + Não impede/dificulta a proteção catódica do duto.	+ Sem necessidade de profundidade maior na vala, em função do design; + Equipe enxuta para a instalação e teste de carga; + Compacto e leve, com baixo custo de transporte; + Maior eficiência no transporte dos tubos, desfile, curvamento, solda e abaixamento com frentes de serviços menores e ou mais produtividades; + Curvamento de tubos na faixa de trabalho; + Menor quantidade de TIE IN; + Redução do prazo total de execução, pois a instalação é simples; + É instalado após a fase de abaixamento, reduzindo assim e eventuais riscos, retrabalhos e pulos das principais atividades de construção; + Retenção positiva, sem sobreposição de carga; + Design de sela não corrosivo; + Nenhum contato com de metal entre o duto e a estaca; + Carga pontual no duto e não distribuída uniformemente, com necessidade de dimensionamento máximo entre as ancoragens conforme flexão e verificações de tensões localizadas.
Custo	- Boa relação de custo e benefício para diâmetros pequenos.	- Boa relação de custo e benefício para diâmetros maiores.	- Boa relação de custo e benefício para diâmetros maiores.
Ambiental	- Alto impacto ambiental devido as emissões da fabricação do cimento, perdas na execução das jaquetas de concreto e pesada logística de transporte e instalação.	+ Tecido não biodegradável permite a proteção das águas subterrâneas; + Médio impacto ambiental.	- Baixo impacto ambiental.
Segurança	+ Método comprovado e seguro; + Fornece também proteção mecânica ao duto; + Sem necessidade de acesso dentro da vala para abaixamento; + Carga distribuída no duto; - Exposição maior a risco devido a maior quantidade de atividades e maiores cargas envolvidas no processo de construção.	+ Sem necessidade de entrar na vala para a instalação; + Menor quantidade de Homens horas de exposição ao risco; + Menor trânsito rodoviário; + Carga pontual no duto; - Necessidade de verificação de tensões pontuais e flexão do duto.	- Necessidade de entrar na vala para a instalação; + Menor quantidade de Horas de exposição ao risco; + Menor trânsito rodoviário; - Necessidade de verificação de tensões pontuais e flexão do duto.
Reaproveitamento, Operação e Manutenção	- Dificuldade de aproveitamento de tubos concretados, sendo muitas vezes necessário a remoção de parte do concreto; - Numa eventual manutenção/troca de trecho tem necessidade remoção do concreto; + Alta vida útil, muito superior ao tempo de operação.	- Sobras facilmente estocadas para uma eventual reutilização; - Maior facilidade de manutenção e inspeção na fase de operação; - Material durável, maior que a vida útil do duto.	- Sobras facilmente estocadas para uma eventual reutilização; - Maior facilidade de manutenção e inspeção na fase de operação; - Material durável, maior que a vida útil do duto.

Fonte: Elaborada pela autor



CAPINEIRA DE PASTOREIO

CAPINEIRA DE PASTOREIO

CAPINEIRA DE PASTOREIO

HEIRA DE PASTOREIO

BRACHIÁRIA

PASTO

MATO

MATO

MATO

MATO

FC 002-011-000

1:20

Km 34

1695

1696

1697

1698

1699

1700

1701

1702

1703

1704

1705

1706

1707

1708

1709

ME 04

M.D 04

ME 05

Pt. 399

M.D 05

SI-105

Dimensionamento - Jaqueta de Concreto

Referência

MC-5400.00-5340-959-GMC-003

MC-4150.00-5340-940-PEN-002=0 - Estabilidade a Flutuação

Dimensionamento

PT = Peso do tubo

PC = Peso da jaqueta

E = Empuxo do meio líquido

Massa específica do meio de imersão = 1030 kg/m³

Massa específica Submerso = 2.240 kg/m³

Peso do tubo (kgf/m) - Pt	57,43	93,23	140,96	188,69
Diâmetros (pol)	10	16	24	32
Diâmetro externo (m) - D	0,254	0,4064	0,6096	0,8128
Espessura nominal de parede do tubo (pol)	0,375	0,375	0,375	0,375
Espessura nominal de parede do tubo (m) - et	0,009525	0,009525	0,009525	0,009525
Peso específico do aço (kgf/m ³) - yt	7850	7850	7850	7850
Peso unitário do revestimento (kgf/m) - Pr	3,08	4,90	7,33	9,75
Espessura nominal de parede do tubo (m) - er	0,004	0,004	0,004	0,004
Peso específico do revestimento (kgf/m ³) - yr	950	950	950	950
Peso unitário da jaqueta de concreto (kgf/m) - Pc	0,00	151,74	460,41	930,36
Espessura da jaqueta (m)	0,000	0,045	0,087	0,129
Espessura da jaqueta (mm)	0,00	45,00	87,00	129,00
Peso específico do concreto	2240	2240	2240	2240

Dimensionamento - Jaqueta de Concreto

Força de empuxo (Tubo + Revestimento + Concepto) - E	55,53	202,47	497,00	921,65
Força de empuxo (Tubo + Revestimento) - E	52,19	133,61	300,62	534,43
Peso específico do meio líquido deslocado (solo tipo A)	1030	1030	1030	1030
Condições para estabilidade do duto com Jaqueta de Concreto $\geq 1,1$	NA	1,23	1,22	1,22
Condições para estabilidade do duto sem Jaqueta de Concreto $\geq 1,1$ Nota = Tubo de 10 pol não necessita jaqueta de concreto, pois FS é maior do que 1,1	1,16	0,73	0,49	0,37
Considerado para cálculo (mm)	0,00	45,00	87,00	129,00
Peso do Tubo (12 metros)	689,16	1118,76	1691,52	2264,28
Peso do revestimento (12 metros)	36,96	58,8	87,96	117,00
Peso concreto (11 metros)	0	1669,14	5064,51	10233,96
Peso do tubo com Concreto	726,12	2.846,70	6.843,99	12.615,24
Diâmetro (m)	0,262	0,5044	0,7916	1,0788
Peso do tubo sem concreto	726,12	1.177,56	1.779,48	2.381,28
Diâmetro - Sem concreto	0,262	0,4144	0,6176	0,8208

Dimensionamento - Geotextil

MC-5400.00-5340-959-GMC-003

MC-4150.00-5340-940-PEN-002=0 - Estabilidade a Flutuação

Diâmetro nominal do tubo	10	16	24
Diâmetro nominal do tubo	25,4	40,64	60,96
Espessura de parede do tubo	0,375	0,375	0,375
Espessura de parede do tubo	0,9525	0,9525	0,9525
Peso do Tubo	57,43	93,23	140,96
Diâmetro externo (m)	0,254	0,4064	0,6096
Espessura nominal de parede do tubo (m)	0,009525	0,009525	0,009525
Peso específico do aço (kgf/m ³)	7850	7850	7850
Peso do Revestimento	3,24	5,16	7,71
Espessura nominal de parede do tubo (m)	0,004	0,004	0,004
Peso específico do revestimento (kgf/m ³)	1000	1000	1000
Peso do Tubo + Peso Revestimento	60,67	98,39	148,67
Peso específico adotado para o pó de pedra	1575	1575	1575
Empuxo sobre o duto sem lastro (tubo + revestimento)	52,19	133,61	300,62
Ecobag	10"	16"	24"
Peso do Saco de Lastro	500,0	1.000,0	2.268,0
Pipesck	10"	16"	24"
Peso do Saco de Lastro	1.100,0	2.500,0	5.000,0
Peso do Saco de Lastro	499,0	1.134,0	2.268,0
Volume	0,317	0,635	1,440
Empuxo total do saco de lastro	326,984	653,968	1.483,200
Comprimento de vão entre dois sacos de lastro	-43,042	5,777	3,497
Peso do SL	-11,617	173,106	648,570
Empuxo total do saco de lastro	-7,597	113,206	424,144
Peso específico do meio líquido de imersão, γ_A (kgf/cm ³)	1030	1030	1030
Critério para aceitação	1,479	1,395	1,355
Quantidades por tubo	-0,279	2,080	3,440

Dimensionamento - Geotextil

Máximo

Diâmetro nominal do tubo, D (pol)	10	16	24
Diâmetro nominal do tubo, D (cm)	25,4	40,64	60,96
Espessura de parede do tubo, e (pol)	0,375	0,375	0,375
Espessura de parede do tubo, e (cm)	0,9525	0,9525	0,9525
Tensão mín de esc. especificada do aço, SMYS (lbf/in ²)	70000	70000	70000
	4921,49	4921,49	4921,49
Pressão de projeto do duto, P (kgf/cm ²)	50	50	50
Fator de segurança K	1,3	1,3	1,3
Empuxo Fator de segurança FS (relação peso/empuxo)	1,1	1,1	1,1
Peso específico do aço, Y_t (kgf/cm ³)	0,00785	0,00785	0,00785
Espessura do revestimento anticorrosivo, e_{rev} (mm)	0,4	0,4	0,4
Peso específico do revestimento anticorrosivo, Y_R (kgf/cm ³)	0,00095	0,00095	0,00095
Peso específico do meio líquido de imersão, Y_A (kgf/cm ³)	0,00103	0,00103	0,00103

Condições de Cálculo

Numerador	3.239.527,38	7.921.584,70	15.998.297,10
Denominador	-	0,17	0,66
Distância (metros)		68,50	49,11

Distância considerada quanto L_{máx} menor que LX

61,65

44,20

$$L_{\max} = \sqrt{\frac{0,3125 \frac{1}{D} [D^4 - (D - 2e)^4] \times \left[0,54 \times SMYS - P \frac{(D - 2e)^2}{D^2 - (D - 2e)^2} \right]}{K \times \left[-(D - e) \times e \times \gamma_T - (D + e_{\text{rev}}) \times e_{\text{rev}} \times \gamma_R + 0,25(D + 2e_{\text{rev}})^2 \times \gamma_A \right]}}$$

Dimensionamento - Tirantes

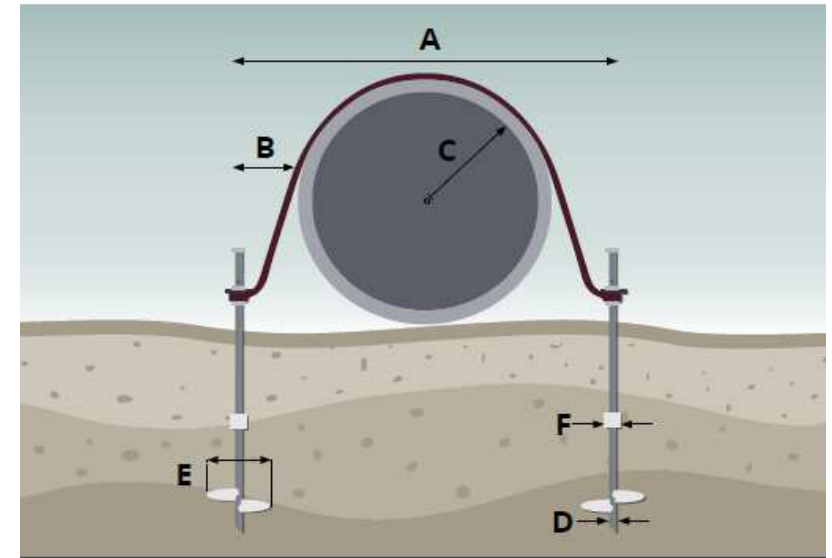
Vala	16	24	32
A (mm)	726,4	1039,6	1342,8
B (mm)	160	215	265
C (mm)	203,2	304,8	406,4
D (mm)	38,1	38,1	44,5
E (mm)	205	305	406
F (mm)	19,1 x 88,9	19,1 x 88,9	22,2 x 101,6

Screw Anchor			
Modelo	38,1 Shaft, 1,829 long, 305 helix	38,1 Shaft, 1,829 long, 305 helix	38,1 Shaft, 1,829 long, 406 helix
Kg	32	34	45

Extension			
Modelo	38,1 Shaft, 1,829 long + 38,1 Shaft, 0.914 long	38,1 Shaft, 1,829 long + 38,1 Shaft, 0.914 long	44,15 Shaft, 1,829 long + 44,5 Shaft, 0.914 long
kg	38	38	42
Unidades	1,6	1,6	6,4
Unidades Adotado	2,0	2,0	3,0

Coupling			
Modelo	38,11 shaft x 2 vezes	38,11 shaft x 2 vezes	44,5 shaft x 2 vezes
kg	7	7	8
Unidades	2,0	2,0	3,0

Bollard



Diametro do Duto (pol)	16	24	32
Peso do tubo (kgf/m)	98,13	148,29	198,44
Empuxo (kgf/m)	133,61	300,62	534,43
Dif.	35,48	152,33	335,99
Fator	1,5	1,5	1,5
Carga do Tirante (kgf/m)	53,22	228,49	503,99
Carga por tubo(kgf/tubo)	638,62	2.741,93	6.047,90

Dimensionamento - Tirantes

Modelo	38,11 shaft	38,11 shaft	44,5 shaft
kg	8	8	8
Peso total do Conjunto (aço)	170	174	406
Cinta			
Comprimento (mm)	1276,7	1915,1	2553,5
Capacidade (ton)	3,2	11,0	20,2
Anodo	2	2	2
Cinta - ROBUSTEC - NBR 15637-1 / SLING 7:1			
Largura (mm)	60	150	120
Carga Basket (ton)	4.000,0	10.000,0	8.000,0
Comprimento adotado(m)	1,6	2,4	3,2
Comprimento calculado (m)	1.595,9	2.393,9	3.191,9

DISTÂNCIA ENTRE CONJUNTOS (Adotado)	60,00	48,00	40,00
Lx - MÁXIMO	68,50	49,11	41,53
Projetado	68,00	48,00	40,00
Profundidade	5	5	14
Total de conjuntos por km	15,00	21,00	25,00

Nota: para o diâmetro de 32 pol, nesse estudo foi adotado a distância entre tirantes de 12 metros, bem como reduzido o



**GEOTECNIA E
ENGENHARIA**

Cálculo da GeoTechnical

Diâmetro	16	24	32
Profundidade	5	5	14
Distância	68	48	40

Ajustado

Profundidade	7
Distância	20

Resumo Dimensionamento

Empuxo

Diâmetros	Unidade	Diametro			
		10	16	24	32
Peso do tubo (Pt)	kgf/m	60,51	98,13	148,29	198,44
Empuxo	kgf/m	52,19	133,61	300,62	534,43

Dimensionamento - Jaqueta de Concreto

Diâmetros	Unidade	Diametro		
		16	24	32
Jaqueta de Concreto	mm	45	87	129
Peso do Tubo + Revestimento (12 m)	kgf/tubo	1.177,56	1.779,48	2.381,28
Jaqueta de Concreto (11 m)	kgf/tubo	1.669,14	5.064,51	10.233,96
Empuxo sobre o tubo (12 m)	kgf/tubo	1.603,30	3.607,43	6.413,21
Empuxo sobre a Jaqueta de concreto (11 m)	kgf/tubo	757,48	2.160,20	4.259,39
Fs	-	1,21	1,19	1,18

Dimensionamento - Geotêxtil

Diâmetros	Unidade	Diametro		
		16	24	32
Peso do Tubo + Revestimento (12 m)	kgf/tubo	1.177,56	1.779,48	2.381,28
Geotextil (11 m)	kgf/tubo	2.077,27	7.782,84	16.630,63
Distancia entre Geotexteis - Lx	m	5,78	3,50	2,94
Empuxo sobre o Geotextil	kgf/tubo	1.358,47	5.089,73	10.875,90
Fs	-	1,10	1,10	1,10

Dimensionamento - Tirantes

Diâmetros	Unidade	Diâmetro		
		16	24	32
Peso do Tubo + Revestimento (12 m)	kgf/tubo	1.177,56	1.779,48	2.381,28
Empuxo sobre o tubo (12 m)	kgf/tubo	1.603,30	3.607,43	6.413,21
Diferença	kgf/tubo	425,74	1.827,95	4.031,93
Fs	-	1,5	1,5	1,5
Total	kgf/tubo	638,6	2.741,9	6.047,9
LX	m	68	48	40
Comprimento da Ancôra	m	5	5	14
Total	Un/km	15	21	25



GEOTECNIA E
ENGENHARIA

RELATÓRIO GEOTÉCNICO
Rio de Janeiro

Ao
ENG. RICARDO LUIS LENZ
(51) 99909-3191
e-mail: ricardo.lenz@gmail.com

ANCORAGEM DE OLEODUTOS PARA CONTROLE DA FLUTUABILIDADE



Alex Crispim

Alex Crispim Fortunato
Eng. Civil

Especialista em Melhoramento de Solos Moles, Fundação e Patologias da Construção



MEMÓRIA DE CÁLCULO

Símbolos utilizados neste projeto

OD	Diâmetro Externo da Haste
T_w	Espessura da Parede da Haste
F_y	Limite de Escoamento da Tubulação
P_d	Pressão de Projeto da Tubulação
P_M	Pressão Operacional Máxima da Tubulação
T_m	Temperatura Máxima de Operação da Tubulação
F	Fator de Projeto
E	Fator de Eficiência da Junta
T	Fator de Temperatura
D_c	Densidade de Revestimento
T_c	Espessura de Revestimento
D_b	Densidade do Aterro
F_s	Fator de Segurança
W_p	Peso da Tubulação por Pé Linear
E_U	Momento de Inércia
S	Módulo da Seção
W_c	Peso do Revestimento por Pé Linear
W_g	Flutuabilidade Bruta
W_n	Flutuabilidade Líquida
L_b	Comprimento de Extensão Permitido Baseado no Esforço de Flexão
P	Pressão Máxima de Projeto
σ_h	Tensões Tangenciais ou Circunferências
σ_l	Tensões Longitudinais
F_b	Esforço de Flexão Longitudinal Permitido
M_{max}	Momento Máximo no Centro do Intervalo entre Sistemas de Ancoragem
L_d	Deslocamento Vertical a Médio Prazo Baseado na Deflexão do Ângulo Médio
Y	Deslocamento Vertical no Meio do Vão
L_p	Comprimento Permitido com Base Resistência Mecânica do Suporte da Tubulação
UC_p	Resistência Mecânica Última do Suporte da Tubulação
WC_p	Capacidade de trabalho do Suporte da Tubulação
L_a	Comprimento Permitido com Base na Capacidade de Resistência ao Levantamento da Ancoragem
UC_a	Capacidade de Resistência a Flutuabilidade Última
WC_a	Capacidade de Resistência a Flutuabilidade de Trabalho
WC_s	Capacidade de Resistência Total de Flutuabilidade de Trabalho



Dimensionamento

Dimensionamento de Estacas Helicoidais apropriadas para controle de flutuação da tubulação.

5.2.1 - Dados do projeto

- Material transportado pela tubulação: gás natural
- Diâmetro Externo do Tubo (OD): 42"
- Espessura da Parede do Tubo (T_w): 0.938"
- Grau de Tubulação: API 5L, Grau X65
- Limite de escoamento mínimo do tubo (F_y): 65.000 psi (450MPa)
- Resistência à Tração mínimo: 77.000psi (535MPa)
- Pressão de projeto do tubo (P_d): 1.440 psi (9,92MPa)
- Pressão Máxima de Operação (P_m): 1.440 psi (9,92MPa)
- Temperatura Máxima de Operação (T_m): 85°F (29,44°C)
- Fator de Projeto (F): 0,50
- Fator de Eficiência da Junta (E): 1,0
- Fator de Temperatura (T): $T_m < 250^\circ\text{F}$ (121°C)
- Revestimento: Epóxi ligado por fusão
- Densidade de revestimento (D_c): 70.0 pcf (11kN/m³)
- Espessura do revestimento (T_c): 16 mils (406,4^μm)
- Colocação de oleoduto: Em trincheira com até 4 pés (1,22m) solo acima do topo da tubulação
- Material de preenchimento: Aterro arenoso lançado, sem compactação.
- Peso específico do material de aterro: 1,44
- Densidade do material de aterro (D_b) = 1,44 x 62,4 pcf = 89,9 pcf (**utilizaremos 90,0 pcf**)
- Intervalo entre cravação do sistema de Estacas Helicoidais: Extensão simples com extremidades de pino-pino
- Deslocamento vertical máximo na região central entre os sistemas de ancoragem = $L_g/360$
- Fator Segurança (FS) para Resistência Mecânica da Ancoragem = 2.0
- Fator Mínimo de Segurança (FS) para Capacidade de Ancoragem do Solo = 2.0
- Dados do solo: conforme mostrado na Figura 7.

Sondagem Típica do Trecho			
SP-01			
Valores lançados no software HeliCAP			
Profundidade (ft)	Coesão da Argila (psf)	N _{SPT} da Areia	Solo
0		7	areia
3		7	areia
5		28	areia
7		21	areia
10		30	areia
12		21	areia
13	60		argila
15	60		argila
20	380		argila
25	500		argila
30	250		argila
35	460		argila
40	1250		argila
45	2000		argila
50	1560		argila
55	1250		argila
60	2250		argila
65	1320		argila
70	750		argila
75	750		argila

Figura 7 – Sondagem típica utilizada na modelagem.

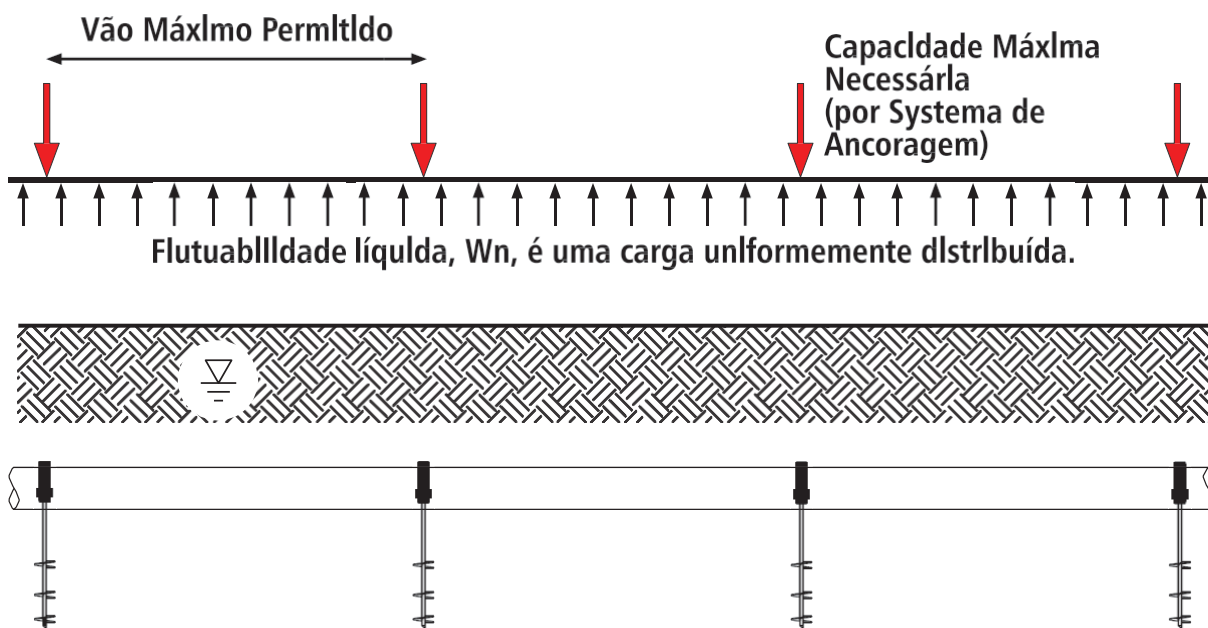


Figura 8 – Diagrama esquemático.



Solução

Propriedades do tubo:

- Peso por pé linear (Wp):

$$\begin{aligned} Wp &= [D_s \times \pi \times (42,0^2 - 40,124^2)] / (4 \times 144) && \text{Equação 1} \\ &= [490,0 \times \pi \times (1764,0 - 1609,935)] / (576) \\ &= \mathbf{411,74 \text{ plf}} \end{aligned}$$

- Momento de inércia (I) = **25.515,8 in⁴**
- Módulo de seção (S) = **0,7031 ft³**

Propriedades do revestimento:

- Peso por pé linear (Wc):

$$\begin{aligned} Wc &= [D_c \times \pi \times (42,032^2 - 42,0^2)] / (4 \times 144) && \text{Equação 2} \\ &= [70,0 \times \pi \times (42,032^2 - 42,0^2)] / (4 \times 144) \\ &= \mathbf{1,03 \text{ plf}} \end{aligned}$$

Flutuabilidade:

- Flutuabilidade bruta (Wg):

$$\begin{aligned} Wg &= [D_b \times \pi \times (42,032^2 / 12^2)] / 4 && \text{Equação 3} \\ &= [90,0 \times \pi \times (42,032^2 / 12^2) / 4 \\ &= \mathbf{867,2 \text{ plf}} \end{aligned}$$

- Flutuabilidade líquida (Wn):

$$\begin{aligned} Wn &= Wg - Wp - Wc && \text{Equação 4} \\ &= 865,8 - 411,74 - 1,03 \\ &= \mathbf{454,45 \text{ plf (utilizaremos 454,0 plf)}} \end{aligned}$$

Comprimento de Extensão Permitido Baseado no Esforço de Flexão (L_b)

- Pressão máxima de projeto (P):

$$\begin{aligned} P &= [(2 \times f_y \times T_w) / OD] \times F \times E \times T && \text{Equação 5} \\ &= [(2 \times 65.000 \times 0,938) / 42,0] \times 0,5 \times 1,0 \times 1,0 \\ &= \mathbf{1.451,67 \text{ psi (utilizar Pd = 1440,0 psi)}} \end{aligned}$$

- Tensão circunferencial (hoop stress) (σ_h):

$$\begin{aligned} \sigma_h &= (Pd \times OD) / (2 \times T_w) && \text{Equação 6} \\ &= (1440,0 \times 42,0) / (2 \times 0,938) \\ &= \mathbf{32.238,8 \text{ psi}} \end{aligned}$$

- Tensão longitudinal (σ_l):

$$\begin{aligned} \sigma_l &= (0,25 \times Pd \times DO) / T_w && \text{Equação 7} \\ &= (0,25 \times 1440,0 \times 42,0) / 0,938 \\ &= \mathbf{16.119,4 \text{ psi}} \end{aligned}$$



- Resistência à flexão longitudinal admissível (Fb):

$$\begin{aligned}\sigma_b + \sigma_l &= 0,75 \times (F \times E \times T) \times F_y && \text{Equação 8} \\ F_b &= [0,75 \times (0,5 \times 1,0 \times 1,0) \times 65.000] - 16.119,4 \\ &= \mathbf{8.255,6 \text{ psi}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_b &= M_{\max} / S && \text{Equação 9} \\ M_{\max} &= \text{Momento máximo no centro do intervalo entre sistemas de ancoragem} \\ \text{Onde} &= (W_n \times L_b^2) / 8 \\ L_b &= [(8 \times S \times F_b) / W_n]^{1/2} \\ &= [(8 \times 0,7032 \times 8255,6 \times 144) / 453,0]^{1/2} \\ &= \mathbf{121,4 \text{ pés}}\end{aligned}$$

Comprimento de extensão permitida com base na deflexão do meio do intervalo (Ld)

- Deslocamento vertical no meio do vão (Y) no centro do vão:

$$\begin{aligned}Y &= L_d / 360 && \text{Equação 10} \\ L_d / 360 &= (5 \times W_n \times L_d^4) / (384 \times E \times I) \\ L_d &= [(384 \times E \times I) / (360 \times 5 \times W_n)]^{1/3} \\ L_d &= [(384 \times 29.000.000 \times 25.525,8 / 144) / (360 \times 5 \times 453,0)]^{1/3} \\ L_d &= 134,2 \text{ pés} \\ Y &= (134,2 / 360) \times 12 = \mathbf{4,5 \text{ polegadas}}\end{aligned}$$

Comprimento de extensão permitida com base na resistência mecânica do suporte da tubulação (Lp)

- Valor da resistência mecânica final (UCp) do suporte da tubulação = **80.000 lbs**
- Resistência a flutuabilidade de trabalho do suporte da tubulação (WCp) (com FS de 2,0):

$$\begin{aligned}WC_p &= UC_p / FS && \text{Equação 11} \\ &= 80.000 / 2 \\ &= \mathbf{40.000 \text{ libras}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}WC_p &= (W_n \times L_p / 2) \times 2 && \text{Equação 12} \\ L_p &= WC_p / W_n \\ &= 40.000 / 454,0 \\ &= \mathbf{88,1 \text{ pés}}\end{aligned}$$

Espaçamento admissível (La) com base na capacidade de resistência à elevação da ancoragem no solo (Sondagem)

- Capacidade de Resistência a Flutuabilidade Última (UCa) varia de 45.900 a 41.700lbs com sistema de ancoragem abaixo de 51'. Veja a figura abaixo. Utilizaremos UCa = 40.000lbs.

Sondagem Típica do Trecho			
SP-01			
Valores lançados no software HeliCAP			
Profundidade (ft)	Coesão da Argila (psf)	N _{SPT} da Argila	Solo
0		7	argila
3		7	argila
5		28	argila
7		21	argila
10		30	argila
12		21	argila
13	60		argila
15	60		argila
20	200		argila
25	500		argila
30	250		argila
35	460		argila
40	1250		argila
45	2000		argila
50	1500		argila
55	1250		argila
60	2250		argila
65	1220		argila
70	750		argila
75	750		argila

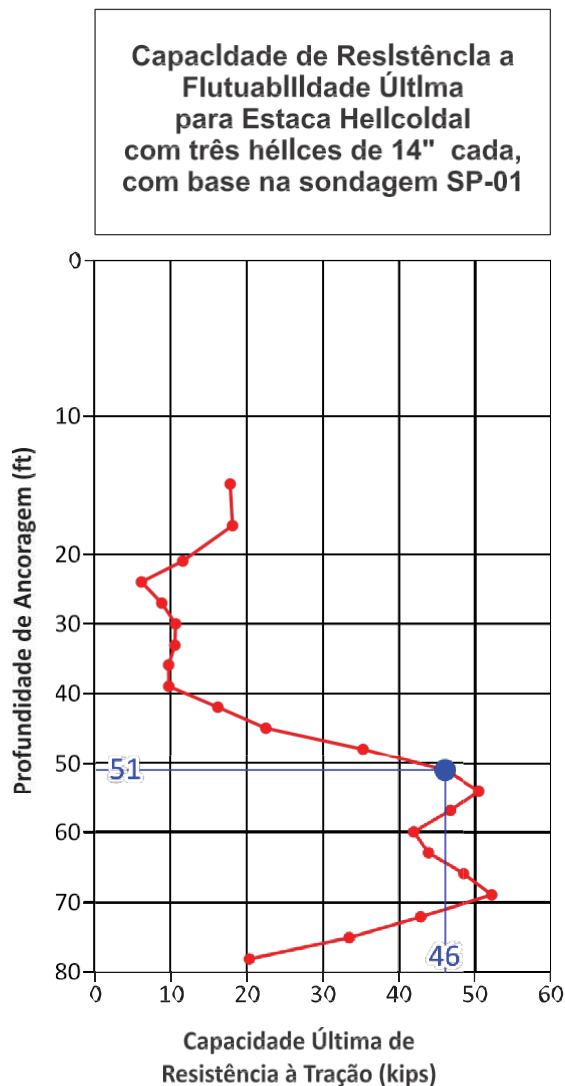


Figura 9 – Sondagem e gráfico de capacidades de carga.

- Capacidade de elevação de trabalho (WCa) (usando FS de 2,0):

$$\begin{aligned}
 WCa &= UCa / FS \\
 &= 40.000 / 2 \\
 &= 20.000 \text{ libras}
 \end{aligned}$$

Equação 13

- O sistema é composto por duas estacas helicoidais em cada ponto de ancoragem, ao longo da tubulação, portanto, a capacidade de trabalho de resistência a flutuabilidade (WCs) em cada sistema de ancoragem = WCa x 2 Estacas Helicoidais = 20.000 x 2 = 40.000 lbs.

$$\begin{aligned}
 La &= WCs / Wn \\
 &= 40.000 / 454,0 \\
 &= \mathbf{88,1 \text{ pés}}
 \end{aligned}$$

Equação 14



Resumo

Os dados do gráfico de capacidade de resistência a flutuabilidade (resistência à tração) foram obtidos a partir dos parâmetros de resistência do solo mostrados na Figura __ e das capacidades geradas pelo Software HeliCAP®. O comprimento máximo do vão entre os sistema de ancoragem é limitado a **88 pés** com base na resistência mecânica final dos suportes da tubulação e na capacidade máxima de resistência ao arrancamento das ancoragens com base no perfil estratigráfico da sondagem SP-01.

Apenas um perfil estratigráfico foi exposto, como sendo representativo do solo ao longo do gasoduto. Se as condições do solo variarem nos pontos de instalação das ancoragens ao longo do gasoduto e o torque de instalação médio necessário de 4.000 pés-lbs para um espaçamento entre o sistema de 88 pés não puder ser alcançado em profundidades de ancoragem razoáveis, os vãos deverão ser reduzidos conforme mostrado na tabela abaixo.

Programação de Redução do Espaçamento do Sistema de Ancoragem do Gasoduto

ESPAÇAMENTO ENTRE SISTEMAS DE ANCORAGEM (ft)	UCs NECESSÁRIA POR SISTEMA DE ANCORAGEM (lbs)	UCa NECESSÁRIA EM CADA ANCORAGEM (lbs)	TORQUE MÍNIMO NA INSTALAÇÃO (ft-lbs)
88	80.000	40.000	4.000
77	70.000	35.000	3.500
66	60.000	30.000	3.000
55	50.000	25.000	2.500
44	40.000	20.000	2.000

A Geotechnical fabrica dois tipos de suportes para uso com sistemas de controle de flutuabilidade de dutos. Veja a figura abaixo. Cada sistema tem vantagens dependendo da aplicação e aceitação local. Ambos os sistemas fornecerão controle de flutuabilidade adequado com Fatores de Segurança aceitos pelas normas vigentes.

Resumo dos Critérios de Projeto

	COMPRIMENTO MÁXIMO DO VÃO (ft)	UCs NECESSÁRIA POR SISTEMA DE ANCORAGEM (lbs) ²	UCa NECESSÁRIA POR SISTEMA DE ANCORAGEM (lbs) ²	TORQUE MÍNIMO NA INSTALAÇÃO (ft-lbs) ^{1,2}
Flexão Longitudinal	121,5	110.080	55.040	5.500
Deflexão no entre duas Ancoragens	134,2	121.585	60.793	6.100
Esforço Mecânico do Suporte	88,3	80.000	40.000	4.000
Capacidade de Ancoragem	88,3	80.000	40.000	4.000

Notas:

1. O torque mínimo necessário para instalação das estacas helicoidais é verificado durante sua instalação, com capacidade máxima (Kt) de 10: 1. Torque = UCa/Kt. Exemplo => UCa = 55.000lbs, torque necessário 5.500ft-lbs.

2. Estes valores representam um padrão mínimo aceitável, com Fator de Segurança de 2 para ancoragens/estacas helicoidais, quando utilizadas em aplicações permanentes. Se o cliente ou seu representante optar por usar um fator de segurança menor, estes valores deverão ser reduzidos de acordo. Por exemplo, a uma extensão de 88,3 pés, a capacidade de trabalho por sistema de ancoragem é de 453,0 plf x 88,3 pés = 40.000 lbs. Aplicando um FS de apenas 1,5, a UCs necessária é 1,5 x 40.000 = 60.000 lbs. A UCa necessária é de 60.000 libras / 2 ancoragens = 30.000 libras. O torque mínimo requerido é de 30.000/10 = 3.000 ft-lbs.



PREÇOS

Projeto Executivo	R\$ 15.000,00
Fornecimento da Estaca Helicoidal	R\$ 265,49/m
Cravação	R\$ 189,00/m

EQUÊNCIA EXECUTIVA

Cada intervenção é realizada em completa autonomia por equipe de técnicos especializados, equipados com unidade móvel contendo todos materiais e equipamentos necessários.

- Execução de projeto geotécnico de execução das ancoragens.
- Marcação dos pontos de cravação das ancoragens em espaçamento e profundidade a ser estabelecida no projeto geotécnico executivo, após análise das sondagens. Para um projeto mais efetivo e preciso, sondagens de eletrorresistividade são executadas, corroborando para a exata profundidade de cravação das estacas.
- Cravação das estacas helicoidais.

RESPOSTAS

Qual o tipo de tirante e a cada quantos metros devo instalar os conjuntos para os diâmetros de 16", 24" e 32"?

	Vão	Tipo de Estaca	Dimensões	Profundidade
32"	40,0 m	Barra sólida quadrada	3,8cm	14 m
24"	48,0 m	Barra sólida quadrada	3,2cm	5 m
16"	68,0 m	Barra sólida quadrada	3,2cm	5 m

Alguma recomendação de instalação e ou segurança adicional?

- O fator de segurança utilizado é de 2.
- Antes de prosseguir com a instalação, um exame cuidadoso das condições local deve ser feito, procurando possível existência de interferências no subsolo.
- A estaca deve ser conectada primeiro no equipamento de cravação.
- O equipamento de cravação deve ser capaz de fornecer pressão descendente suficiente para avançar a ancoragem uniformemente a uma taxa de 3 polegadas por rotação e torque suficiente para alcançar o critério de resistência ao torque efetivo



necessário.

- A ancoragem deve ser conduzida, no solo, de forma suave e contínua a uma taxa de rotação de 5 a 20rpm.
- A proteção contra corrosão é fornecida na forma de galvanização por imersão a quente (conforme ASTM A123). Essa proteção adicional permite a instalação em solos agressivos e áreas molhadas.

Características das estacas

Hastes: Seções Guia e Extensões: Tubos de 101,6 x 8,08 mm em aço ASTM A501, A53 GRB SCH80 ou VMB-300 COR.

Hélices: Chapa de aço ASTM A36 ou SAC 41, com espessura de 12,7 ou 14,0 mm , diâmetro de 10", 12" e 14", passo 95 mm e furo central de 107,95 mm de diâmetro.

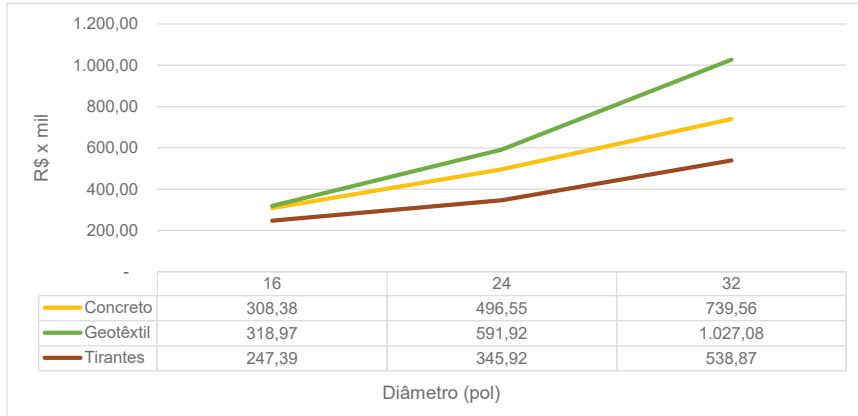
Luvax: Tubos de 127 x 11 mm em aço ASTM A501, A53 GRB SCH80 ou VMB-300 COR, com comprimento de 330 mm ou sistema ponta/bolsa, com os mesmos tipos de aço dos tubos acima descritos.

Resumo de Custo por Sistema e Diâmetro

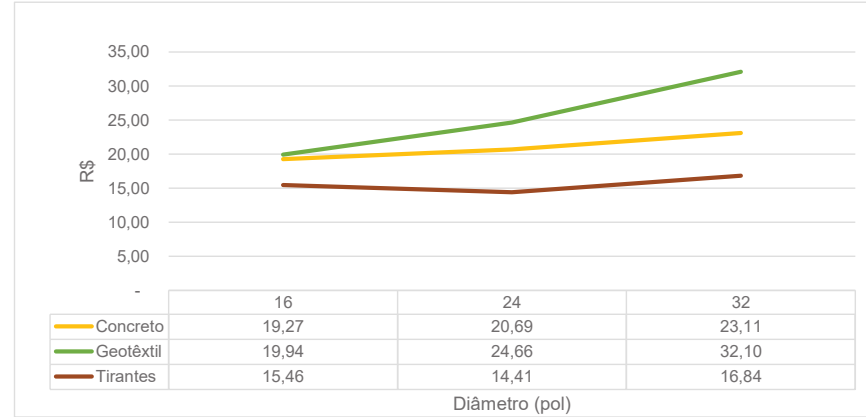
Fases	10	16 Concreto	24 Concreto	32 Concreto	16 Geotêxtil	24 Geotêxtil	32 Geotêxtil	16 Tirantes	24 Tirantes	32 Tirantes
Carregamento de Tubos (Pátio)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transporte de Tubos	6.539,15	6.947,85	6.090,67	10.520,24	10.217,43	13.195,42	15.708,83	10.217,43	8.796,95	15.708,83
Curvamento de Tubos (Canteiro)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Concretagem de Tubos	-	85.236,29	153.701,45	259.642,17	-	-	-	-	-	-
Transporte de Tubos (Curvados / Concretados)	-	9.664,87	26.358,74	30.751,86	-	-	-	-	-	-
Desfile de Tubos	25.094,98	32.475,86	43.485,75	65.499,71	36.452,46	47.497,45	65.961,60	36.452,46	47.497,45	65.961,60
Solda	62.521,96	86.966,05	131.177,98	180.200,75	83.487,41	119.934,16	157.675,66	83.487,41	119.934,16	157.675,66
Revestimento de Juntas Com Manta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Enchimento do Geotêxtil	-	-	-	-	111.189,59	286.033,66	614.299,08	-	-	-
Transporte do Geotêxtil	-	-	-	-	3.075,19	10.104,18	19.769,06	-	-	-
Recebimento e Aplicação do Geotêxtil	-	-	-	-	5.263,09	12.955,29	15.384,41	-	-	-
Instalação de Tirantes	-	-	-	-	-	-	-	46.162,76	65.097,57	158.111,01
Abertura de Vala, Abaixamento e Cobertura	57.175,12	87.086,92	135.733,30	192.945,42	69.280,55	102.200,66	138.276,84	71.072,30	104.589,66	141.412,40
								-	-	-
Total Geral	151.331,21	308.377,84	496.547,89	739.560,16	318.965,71	591.920,83	#####	247.392,36	345.915,79	538.869,50
mpol	10.000,0	16.000,0	24.000,0	32.000,0	16.000,0	24.000,0	32.000,0	16.000,0	24.000,0	32.000,0
R\$/mpol	15,13	19,27	20,69	23,11	19,94	24,66	32,10	15,46	14,41	16,84

PRINCIPAIS GRÁFICOS

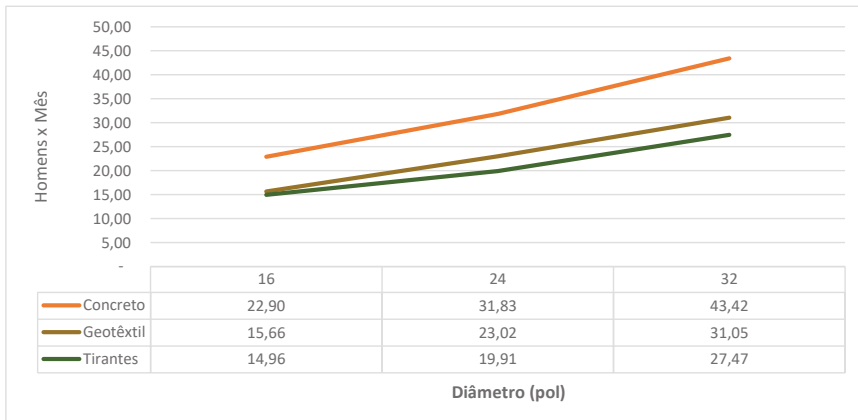
CUSTO TOTAL POR KM



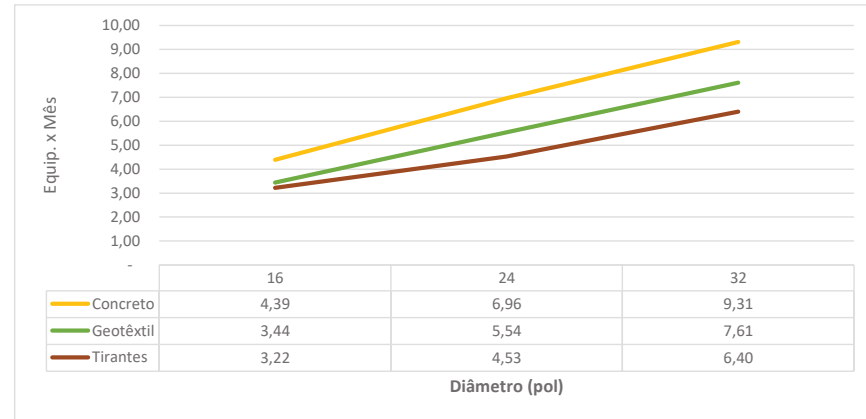
CUSTO TOTAL POR mpol



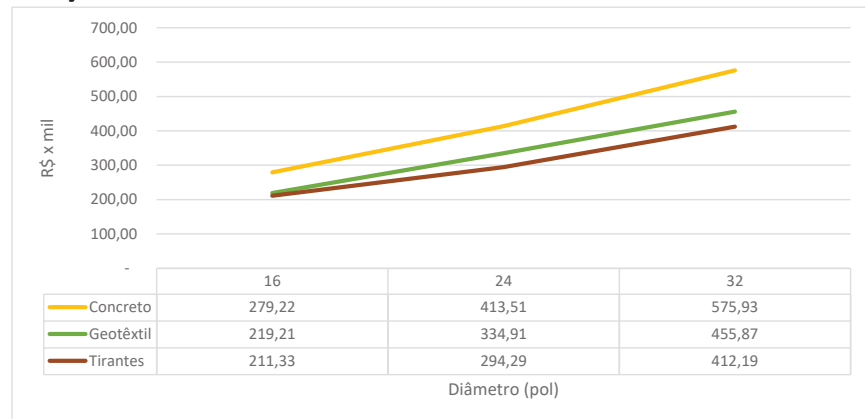
Total de Homens x Mês



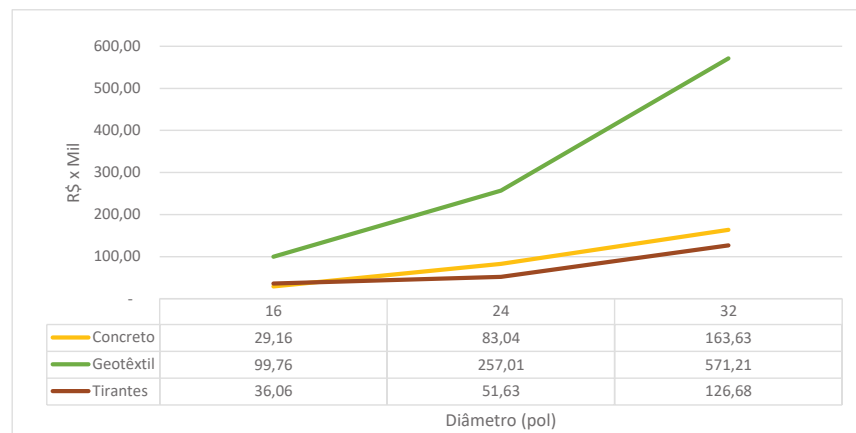
Total de Equipamentos x Mês



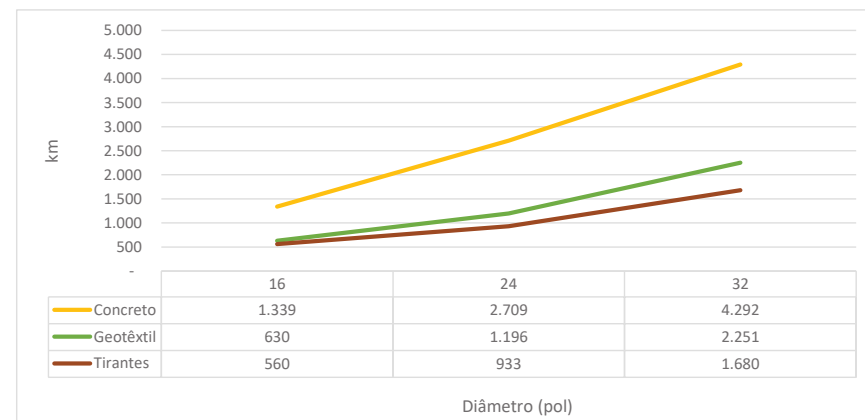
Serviço



Material



Transporte - km



Resumo de recursos por sistema de diâmetro

Mão de Obra	Concreto			Geotêxtil			Tirantes		
	16	24	32	16	24	32	16	24	32
Acoplador	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Ajudante	10,99	13,13	17,74	5,94	7,52	10,12	5,34	5,80	7,96
Carpinteiro	0,19	0,24	0,32						
Eletricista de Manutenção	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Enc. Dutos	0,66	0,88	1,18	0,58	0,92	1,29	0,54	0,71	1,08
Enc. Logística	0,17	0,11	0,19	0,25	0,21	0,25	0,25	0,14	0,25
Enc. Ponteada	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Feitor	0,19	0,24	0,32						
Insp. Dutos	0,47	0,35	0,86	0,58	0,65	1,29	0,54	0,44	1,08
Insp. Solda / Dutos	0,44	0,88	0,80	0,24	0,59	0,42	0,24	0,59	0,42
Lixador	1,25	2,45	3,36	1,20	2,24	2,94	1,20	2,24	2,94
Mecânico de Manutenção	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Mot. Munck	0,72	0,99	1,34	0,69	0,91	1,22	0,78	1,03	1,50
Mot. Van / Ônibus	0,69	0,94	1,66	0,69	0,91	1,22	0,69	0,91	1,22
Mot. Veículo Leve	0,91	1,23	1,66	0,58	0,92	1,29	0,69	0,91	1,22
Mot. Veículo Pesado	0,61	1,31	1,59	0,39	0,88	1,40	0,25	0,28	0,50
Op. Equipamentos	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Op. Escavadeira	1,16	1,93	2,62	1,19	1,88	2,51	1,02	1,35	1,92
Op. Side Boom	1,41	2,28	3,10	0,93	1,55	2,06	0,93	1,55	2,06
Pedreiro	0,19	0,24	0,32						
Revestidor	0,44	0,59	0,80	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Rigger	0,19	0,24	0,32						
Soldador TIG/ER/6GR	1,00	2,10	2,88	0,96	1,92	2,52	0,96	1,92	2,52
Técnico Montador							0,09	0,12	0,28
Total Homens x Mês	22,90	31,83	43,42	15,66	23,02	31,05	14,96	19,91	27,47

Equipamentos	Concreto			Geotêxtil			Tirantes		
	16	24	32	16	24	32	16	24	32
Acopladeira Externa 24"		0,35			0,32			0,32	
Acopladeira Externa 32"			0,48			0,42			0,42
Acopladeira Interna 16-28"	0,25	0,35		0,24	0,32		0,24	0,32	
Acopladeira Interna 32-48"			0,48			0,42			0,42
Acopladeira Externa 16"	0,25			0,24			0,24		
Biseladeira 24"		0,35			0,32			0,32	
Biseladeira 32"			0,48			0,42			0,42
Biseladeira 16"	0,25			0,24			0,24		
Caminhão diesel Munck, tração 6x4, cap. 13 t/m / 6,5 ton.	0,97	1,34	1,34	0,69	0,91	1,22	0,78	1,03	1,50
Carreta Carga Seca + Cavalos Mecânicos 6x4	0,61	1,12	1,43	0,39	0,88	1,40	0,25	0,28	0,50
Dolly + Cavalos Mecânicos 6x4		0,30	0,35						
Conjunto Oxi-Acetileno	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Compressor diesel, capacidade 90 PCM	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Dosador de fibra para concreto	0,19	0,24	0,32						
Escavadeira Hidráulica 22 Ton - 140 HP (CAT 320C)	0,97	1,34	2,30	1,19	1,88	2,51	1,02	1,35	1,92
Holiday Detector para 32"			0,80			0,42			0,42
Holiday Detector para 24"		0,59			0,32			0,32	
Holiday Detector para 16"	0,44			0,24			0,24		
Implemento para cravação de tirantes (kit)							0,09	0,12	0,28
Lixadeira	1,25	2,45	3,36	1,20	2,24	2,94	1,20	2,24	2,94
motosoldadora 375a - diesel + cabeçote + acessórios	1,00	2,10	2,88	0,96	1,92	2,52	0,96	1,92	2,52
Máquina de Solda elétrica, Fonte XMT 350 CC/CV 907161, com acessórios.	0,50	1,40	1,92	0,48	1,28	1,68	0,48	1,28	1,68
Máquina de Solda elétrica, PIPEPRO 300/190-630V AUTOLINE, com acessórios.	0,50	0,70	0,96	0,48	0,64	0,84	0,48	0,64	0,84
Retroescavadeira CAT 416 c ou Similar	0,19	0,24	0,32						
Side Boom 572 - 220 HP	1,41	2,28	0,48	0,93	1,55	0,80	0,93	1,55	0,80
Side Boom 583/572R - 300 HP			2,62			1,26			1,26
Trator sobre Esteira 140 HP (CAT D6)	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Veículo de Transporte - Ônibus 44 lug (com motorista e combustível)	0,44	0,59	0,80	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42
Veículo de Transporte - Van 14 lug (com motorista e combustível)			0,38						
Veículo Pick-Up 4x4	1,08	1,34	1,85	1,07	1,45	1,96	0,94	1,05	1,47
Veículo de Transporte - Micro Ônibus 25 lug (com motorista e combustível)	0,25	0,35	0,48	0,45	0,59	0,80	0,45	0,59	0,80
Total Equipamentos x Mês	11,28	18,45	25,45	9,76	15,90	21,29	9,50	14,61	19,87

Total KMs e Consumo de diesel

Descrição / Diâmetro	Concreto			Geotêxtil			Tirantes		
	16	24	32	16	24	32	16	24	32
Tubo sem Concreto	112,0	186,6	336,0	560,0	933,0	1.680,0	560,0	933,0	1.680,0
Tubo Concretado	1.226,9	2.522,7	3.956,0						
Geotêxtil				69,9	262,7	571,2			
Total km	1.338,9	2.709,3	4.292,0	629,9	1.195,7	2.251,2	560,0	933,0	1.680,0
% em relação ao concreto (por diâmetro)	100%	100%	100%	47%	44%	52%	42%	34%	39%
% em relação ao concreto (média)	100%			49%			38%		

Transporte - total de km

Concreto	2.780,07	100%
Geotêxtil	1.358,93	49%
Tirantes	1.057,67	38%

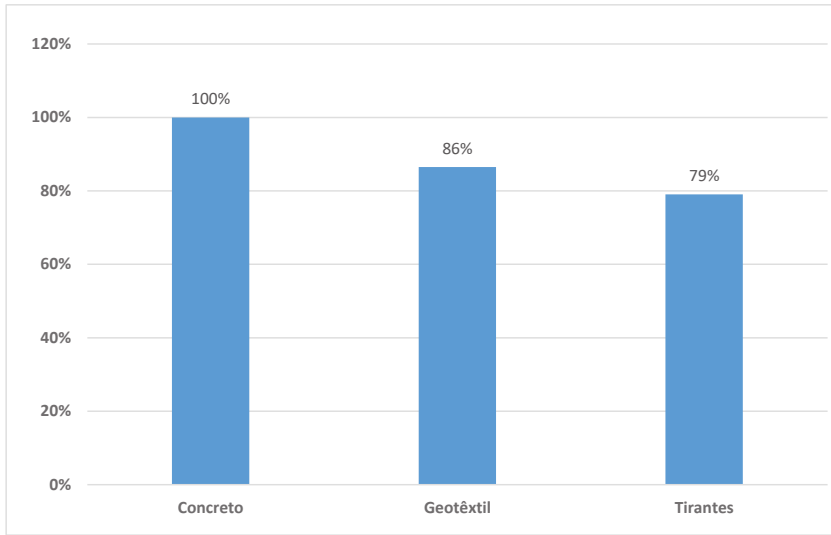
Descrição / Diâmetro	Concreto			Geotêxtil			Tirantes		
	16	24	32	16	24	32	16	24	32
Transporte	334,7	677,3	1.073,0	157,5	298,9	562,8	140,0	233,3	420,0
Construção	7.408,8	10.812,8	16.067,0	6.606,4	10.031,3	13.803,4	6.320,5	8.901,5	12.746,9
Total Diesel	7.743,6	11.490,1	17.140,0	6.763,8	10.330,2	14.366,2	6.460,5	9.134,7	13.166,9
% com relação ao tubo Concretado				47,0%	44,1%	52,5%	41,8%	34,4%	39,1%

Transporte - Consumo de Diesel por sistema

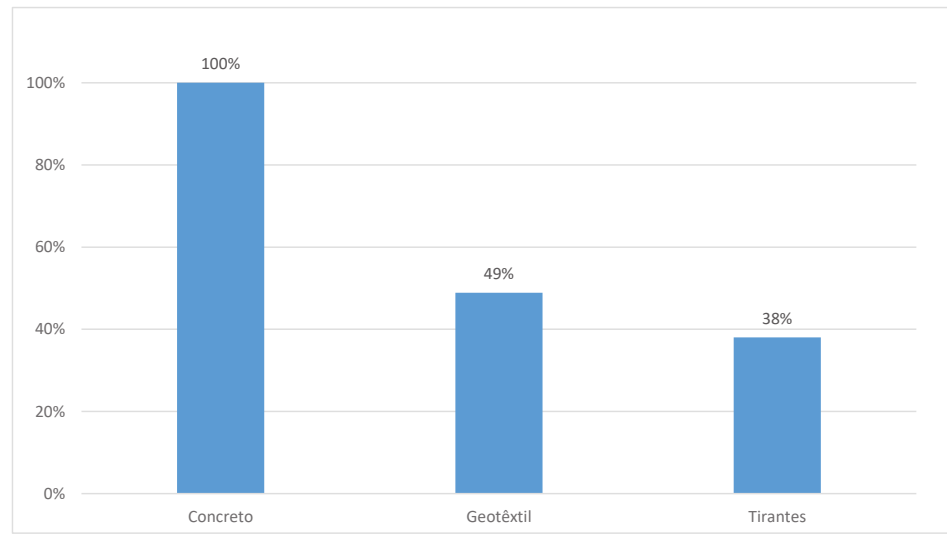
Concreto	36.373,65	100%
Geotêxtil	31.460,24	86%
Tirantes	28.762,14	79%

Consumo de Diesel por sistema	Concreto	Geotêxtil	Tirantes
16	7.744	6.764	6.461
24	11.490	10.330	9.135
32	17.140	14.366	13.167

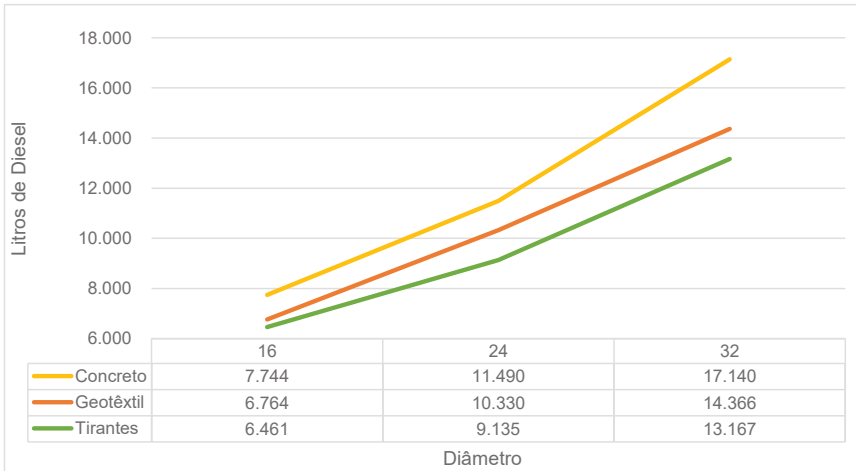
Transporte - Consumo de diesel por sistema



Transporte - total de km



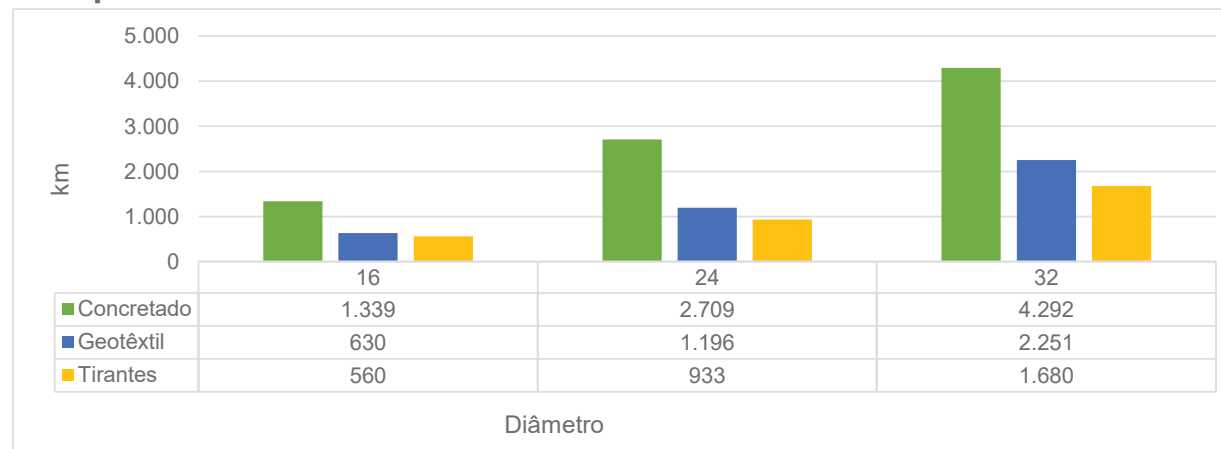
Consumo de diesel por sistema



Resumo de Transporte - Quantidade de km

Sistema	Diâmetro		
	16	24	32
Concretado	1.339	2.709	4.292
Geotêxtil	630	1.196	2.251
Tirantes	560	933	1.680

Transporte - Total km



Resumo Transporte - Quantidade de Viagens

Método - Concreto		16	24	32
Tubo Sem Concreto	Qtd.	15	9	5
	Peso (kg)	17.663,4	16.015,3	11.906,4
	Viagens	6,0	10,0	17,0
Tubo Com Concreto	Qtd.	6	3	2
	Peso (kg)	17.080,2	20.532,0	25.230,5
	Viagens	14,0	28,0	42,0
Total de Viagens		20,00	31,00	44,00

Método - Geotêxtil		16	24	32
Tubo Sem Concreto	Qtd.	15	9	5
	Peso (kg)	17.663,4	16.015,3	11.906,4
	Viagens por km	6,0	10,0	17,0
Geotêxtil	Viagens por km	7,0	26,0	57,0
Total de Viagens		13,00	36,00	74,00

Método - Tirantes		16	24	32
Tubo Sem Concreto	Qtd.	15	9	5
	Peso (kg)	17.663,4	16.015,3	11.906,4
	Viagens por km	6,0	10,0	17,0
Total de Viagens		6,00	10,00	17,00

Diâmetro	Concreto	Geotêxtil	Tirantes
16	20,00	13,00	6,00
24	31,00	36,00	10,00
32	44,00	74,00	17,00

Total de Viagens

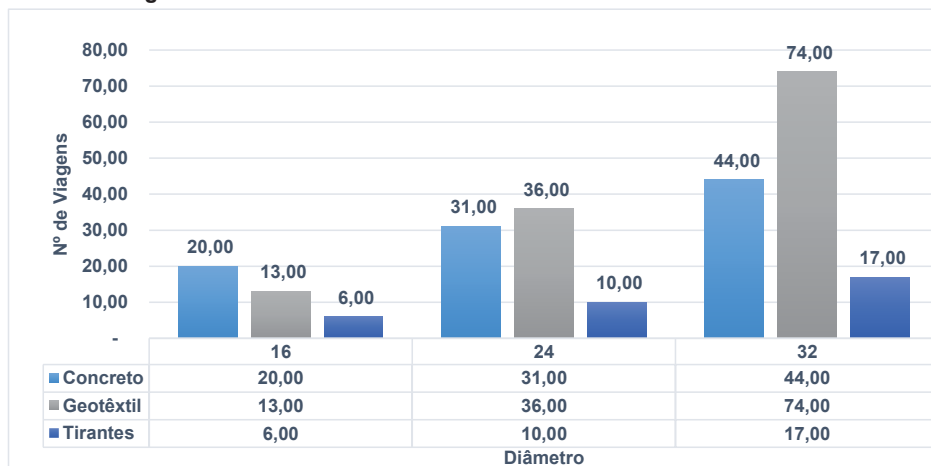


TABELA DE PRODUTIVIDADE DOS SISTEMAS

Descrição	Unidade	SEM CONCRETO				CONCRETO			GEOTÊXIL			TIRANTES	
		10	16	24	32	16	24	32	16	24	32		
Transporte de Tubos													
Carretas	un	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2		
Viagens por dia	un	1	1,5	2	2	1	1	1,5	1	1,5	1,5		
Peso do tubo	kg	726,12	1.177,56	1.779,48	2.381,28	1.177,56	1.779,48	2.381,28	1.177,56	1.779,48	2.381,28		
Tubos por viagens	un	24	15	9	5	15	9	5	15	9	5		
Peso Transportado	kg	17.426,88	17.663,40	16.015,32	11.906,40	17.663,40	16.015,32	11.906,40	17.663,40	16.015,32	11.906,40		
Total de tubos	un	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84		
Total de Viagens	un	3,5	5,6	9,33	16,8	5,6	9,33	16,8	5,6	9,33	16,8		
Dias úteis	dias	3,5	3,7	2,3	4,2	5,6	4,7	5,6	5,6	3,1	5,6		
Dias corridos	dias	4,8	5,1	3,2	5,7	7,6	6,4	7,6	7,6	4,2	7,6		
km por viagem	km	50,0	10,0	10,0	10,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0		
km total	km	350,0	112,0	186,6	336,0	560,0	933,0	1680,0	560,0	933,0	1680,0		
Mês	mês	0,16	0,17	0,11	0,19	0,25	0,21	0,25	0,25	0,14	0,25		
Canteiro de Concretagem													
Produção	tubos/dia		20	16	12								
Produção solda - trecho em questão	tubos/dia		17	13	10								
Equipe	%		85%	81%	83%								
Total de tubos	un		84	84	84								
Dias Úteis	dias		4,94	6,46	8,4								
Dias Corridos	dias		6,7	8,8	11,5								
Mês	mês		0,22	0,29	0,38								
% Mês	mês		0,19	0,24	0,32								
Transporte de Tubos - Curvados / Concretados													
Produção	tubos/dia		17	13	10								
Curvados e Concretados	un		8	8	8								
Retos e Concretados	un		76	76	76								
Peso do tubo Concretado	kg		2.846,70	6.843,99	12.615,24								
Tubos por Viagem - Curvados e Concreta	un		5	2	1								
Peso Transportado	kg		14.233,50	13.687,98	12.615,24								
Tubos por Viagem - Retos e Concretados	un		6	3	2								
Peso Transportado	kg		17.080,20	20.531,97	25.230,48								
Total de Viagens	un		14,3	29,3	46,0								
Viagens por dia	un		1,5	1,5	1,5								
Carretas	un		2	3	4								
km por viagem	km		43,0	43,0	43,0								
km total	km		1226,9	2522,7	3956,0								
Dias Úteis	dias		4,76	6,52	7,67								
Dias Corridos	dias		6,5	8,9	10,5								
Mês	mês		0,22	0,30	0,35								

Descrição	Unidade	SEM CONCRETO				CONCRETO				GEOTÊXTEL			TIRANTES		
		10	16	24	32	16	24	32	16	24	32				
Desfile															
Produção	tubos/dia	23	17	13	10	18	14	10	18	14	10				
Total de tubos	un	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84				
Dias úteis	dias	3,7	4,9	6,5	8,4	4,7	6,0	8,4	4,7	6,0	8,4				
Dias corridos	dias	5,0	6,7	8,8	11,5	6,4	8,2	11,5	6,4	8,2	11,5				
Mês	mês	0,17	0,22	0,29	0,38	0,21	0,27	0,38	0,21	0,27	0,38				
Solda															
Produção	tubos/dia	21	15	11	8	16	12	9	16	12	9				
Total de tubos	un	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84				
Dias úteis	dias	4,0	5,6	7,6	10,5	5,3	7,0	9,3	5,3	7,0	9,3				
Dias corridos	dias	5,5	7,6	10,4	14,3	7,2	9,5	12,7	7,2	9,5	12,7				
Mês	mês	0,18	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42				
Abertura de Vala, Abaixamento e Cobertura															
Produção da Equipe	tubos/dia	21	15	11	8	16	12	9	16	12	9				
Total de tubos	un	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84				
Dias úteis	dias	4,0	5,6	7,6	10,5	5,3	7,0	9,3	5,3	7,0	9,3				
Dias corridos	dias	5,5	7,6	10,4	14,3	7,2	9,5	12,7	7,2	9,5	12,7				
Mês	mês	0,18	0,25	0,35	0,48	0,24	0,32	0,42	0,24	0,32	0,42				
Enchimento do GEOTÊXTEL															
Produção da Equipe	Conjuntos/dia					60	40	32							
Total de getotexteis por km	un					174,7	289,0	342,7							
Dias úteis	dias					2,9	7,2	10,7							
Dias corridos	dias					4,0	9,9	14,6							
Mês	mês					0,13	0,33	0,49							
Tranporte do GEOTÊXTEL															
Peso Unidade	kg					1.000,0	2.268,0	4.080,0							
Peso por Carreta (máximo)	kg					25.000,0	25.000,0	25.000,0							
Unidade por viagem	un					25,0	11,0	6,0							
Total de Viagens	un					7,0	26,3	57,1							
Número de Carretas	un					1	2	2							
Viagens por dia	un					3	3	3							
Dias úteis	dias					3,0	5,0	10,0							
km por viagem	km					5,0	5,0	5,0							
km total	km					69,9	262,7	571,2							
Dias corridos	dias					4,1	6,8	13,6							
Mês	mês					0,14	0,23	0,45							

Descrição	Unidade	SEM CONCRETO		CONCRETO		GEOTÊXTIL			TIRANTES		
		10	16	24	32	16	24	32	16	24	32
Aplicação do GEOTÊXTIL											
Produção da Equipe	Conjuntos/dia					30	24	20			
Total de geotêxtis por km	un					84	84	84			
Dias úteis	dias					2,8	3,5	4,2			
Dias corridos	dias					3,8	4,8	5,7			
Mês	mês					0,13	0,16	0,19			
Instalação de Tirantes											
Quantidade por km	un								15	21	25
Produção por dia - Conjuntos	un								8	8	4
Dias úteis	dias								1,9	2,6	6,3
Dias corridos	dias								2,6	3,6	8,5
Mês	mês								0,09	0,12	0,28

Tabela de Salários

Cód.	Função	Valor Mensal	Alojamento
MO-A01	Acoplador	R\$ 3.502,00	S
MO-A02	Ajudante	R\$ 1.433,25	N
MO-A03	Almoxarife	R\$ 2.367,67	N
MO-A04	Apontador	R\$ 1.900,00	N
MO-A05	Armador	R\$ 2.156,90	N
MO-A06	Aux. Topografo	R\$ 1.796,25	N
MO-C01	Carpinteiro	R\$ 2.156,90	N
MO-C02	Curvador	R\$ 4.000,00	N
MO-E01	Eletricista de Manutenção	R\$ 2.734,66	N
MO-E02	Eletricista F/C	R\$ 2.990,62	N
MO-E03	Eletricista Montador	R\$ 2.826,69	N
MO-E04	Enc. Civil	R\$ 4.433,23	S
MO-E05	Enc. Dutos	R\$ 4.433,23	S
MO-E06	Enc. Logistica	R\$ 4.433,23	S
MO-E07	Enc. Obras Especiais	R\$ 5.500,00	S
MO-E08	Enc. Ponteada	R\$ 5.500,00	S
MO-F01	Feitor	R\$ 3.000,00	N
MO-I01	Insp. Dutos	R\$ 4.000,00	S
MO-I02	Insp. Solda	R\$ 4.500,00	S
MO-I03	Insp. Solda / Dutos	R\$ 5.000,00	S
MO-J01	Jatista	R\$ 2.461,35	N
MO-L01	Lixador	R\$ 2.290,84	N
MO-M01	Mecânico de Manutenção	R\$ 2.985,94	S
MO-M02	Mot. Administrativo	R\$ 2.253,64	N
MO-M03	Mot. Munck	R\$ 2.660,41	N
MO-M04	Mot. Van / Ônibus	R\$ 2.660,41	N
MO-M05	Mot. Veículo Leve	R\$ 2.660,41	N
MO-M06	Mot. Veículo Pesado	R\$ 2.660,41	N
MO-O01	Op. Equipamentos	R\$ 2.660,41	S
MO-O02	Op. Escavadeira	R\$ 2.660,41	S
MO-O03	Op. Side Boom	R\$ 2.660,41	S
MO-P01	Pedreiro	R\$ 2.156,90	N
MO-R01	Revestidor	R\$ 2.156,90	S
MO-R02	Rigger	R\$ 3.500,00	N
MO-S01	Soldador TIG/ER/6GR	R\$ 4.177,97	S
MO-S02	Supervisor de Dutos	R\$ 7.210,00	S
MO-T01	Técnico Montador	R\$ 4.500,00	S

Tabela de Equipamentos

		Combustível	Diesel	3,67	Gasolina	4,70				
Cód.	Descrição	Valor Mensal	Combustível	Fonte de Preço	Unidade	Tipo	Consumo	km/Mês	Horas/Mês	Total Litros
EQ-A01	Acopladeira Externa 10"	116,00		RSC - 8% de Compra						
EQ-A02	Acopladeira Externa 24"	168,00		RSC - 8% de Compra						
EQ-A03	Acopladeira Externa 32"	312,00		RSC - 8% de Compra						
EQ-A04	Acopladeira Interna 10-14"	440,00		Cotação Phdutos - 8% de Compra						
EQ-A05	Acopladeira Interna 16-28"	960,00		Cotação Phdutos - 8% de Compra						
EQ-A06	Acopladeira Interna 32-48"	1.240,00		Cotação Phdutos - 8% de Compra						
EQ-A07	Acopladeira Externa 16"	116,00		RSC - 8% de Compra						
EQ-B04	Biseladeira 10"	400,00		Cotação Phdutos						
EQ-B05	Biseladeira 24"	800,00		Cotação Phdutos						
EQ-B06	Biseladeira 32"	1.000,00		Cotação Phdutos						
EQ-B16	Biseladeira 16"	400,00		Cotação Phdutos						
EQ-C13	Caminhão diesel Munck, tração 6x4, cap. 13 txm / 6,5 ton.	16.000,00	5.505,00		km/litro	Diesel	4,0	6.000,0		1.500,0
EQ-C14	Carreta Carga Seca + Cavalo Mecânico 6x4	14.500,00			km/litro	Diesel	0,0			
EQ-C15	Dolly + Cavalo Mecânico 6x4	14.500,00			km/litro	Diesel	0,0			
EQ-C29	Conjunto Oxi-Acetileno	48,00		8% do valor de compra						
EQ-C33	Compressor diesel, capacidade 90 PCM	2.000,00	2.202,00	Estimado	litro/hora	Diesel	5,0		120,0	600,0
EQ-D01	Dosador de fibra para concreto	5.000,00								
EQ-E03	Escavadeira Hidraulica 22 Ton - 140 HP (CAT 320C)	14.600,00	7.927,20	Renthal Forte	litro/hora	Diesel	18,0		120,0	2.160,0
EQ-H01	Holiday Detector para 32"	456,00		ETTCLASS DO BRASIL						
EQ-H02	Holiday Detector para 24"	456,00		ETTCLASS DO BRASIL						
EQ-H03	Holiday Detector para 16"	456,00		ETTCLASS DO BRASIL						
EQ-H04	Holiday Detector para 10"	456,00		ETTCLASS DO BRASIL						
EQ-I01	Implemento para cravação de tirantes (kit)	5.000,00		Estimativa						
EQ-L01	Lixadeira	68,00		Pesquisa de Preço						
EQ-M04	MOTOSOLDADORA 375A - DIESEL + CABEÇOTE + ACESSORIOS	1.600,00	1.027,60	Alumaq	litro/hora	Diesel	2,8		100,0	280,0
EQ-M05	Máquina de Solda elétrica, Fonte XMT 350 CC/CV 907161, com acessórios.	850,00		Alumaq						
EQ-M06	Máquina de Solda elétrica, PIPEPRO 300/190-630V AUTOLINE, com acessórios.	1.650,00		Alumaq						
EQ-R01	Retroescavadeira CAT 416 c ou Similar	8.000,00	3.523,20	Emissário - Zortran	litro/hora	Diesel	8,0		120,0	960,0
EQ-S03	Side Boom 572 - 220 HP	17.000,00	4.954,50	Renthal Forte	litro/hora	Diesel	27,0		50,0	1.350,0
EQ-S04	Side Boom 583/572R - 300 HP	19.000,00	6.239,00	Renthal Forte	litro/hora	Diesel	34,0		50,0	1.700,0
EQ-T02	Trator sobre Esteira 140 HP (CAT D6)	24.000,00	10.569,60	Renthal Forte	litro/hora	Diesel	24,0		120,0	2.880,0
EQ-V02	Veículo de Transporte - Ônibus 44 lug (com motorista e combustível)	19.500,00		Emissário Opção	Incluso no Preço	Diesel	9,0	2.200,0		244,4
EQ-V03	Veículo de Transporte - Van 14 lug (com motorista e combustível)	14.000,00		Emissário Opção	Incluso no Preço	Diesel	8,0	2.200,0		275,0
EQ-V04	Veículo Pick-Up 4x4	4.500,00	1.513,88		km/litro	Diesel	8,0	3.300,0		412,5
EQ-V06	Veículo de Transporte - Micro Onibus 25 lug (com motorista e combustível)	18.500,00		Emissário Opção	Incluso no Preço	Diesel	7,0	2.200,0		314,3

DÓLAR

1. Média Mensal da Cotação do Dólar Comercial para Venda em Real (R\$)

Fonte: http://economia.acspservicos.com.br/indicadores_iegv/iegv_dolar.html

Mês	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Janeiro	2,274	2,139	1,774	2,307	1,778	1,675	1,791	2,031	2,382	2,638	4,054	3,197	3,213	3,735
Fevereiro	2,162	2,096	1,728	2,313	1,842	1,668	1,718	1,973	2,384	2,817	3,978	3,103	3,243	3,718
Março	2,152	2,089	1,708	2,314	1,786	1,659	1,795	1,983	2,326	3,14	3,694	3,127	3,277	3,837
Abril	2,129	2,033	1,689	2,206	1,757	1,586	1,855	2,002	2,233	3,044	3,551	3,14	3,409	3,900
Mai	2,204	1,982	1,661	2,061	1,813	1,614	1,986	2,035	2,221	3,064	3,549	3,209	3,634	4,005
Junho	2,248	1,932	1,619	1,958	1,807	1,587	2,049	2,173	2,236	3,111	3,418	3,297	3,783	
Julho	2,189	1,882	1,591	1,93	1,77	1,564	2,029	2,252	2,225	3,224	3,278	3,205	3,823	
Agosto	2,156	1,966	1,612	1,845	1,76	1,597	2,029	2,342	2,268	3,515	3,208	3,153	3,933	
Setembro	2,169	1,9	1,8	1,82	1,719	1,75	2,028	2,27	2,333	3,896	3,256	3,138	4,108	
Outubro	2,148	1,801	2,173	1,738	1,684	1,773	2,029	2,189	2,448	3,876	3,186	3,196	3,761	
Novembro	2,158	1,77	2,266	1,726	1,713	1,791	2,067	2,297	2,538	3,778	3,339	3,257	3,788	
Dezembro	2,15	1,787	2,398	1,751	1,695	1,837	2,08	2,345	2,644	3,869	3,351	3,297	3,884	
Média Anual	2,178	1,948	1,835	1,997	1,760	1,675	1,955	2,158	2,353	3,331	3,489	3,193	3,655	3,839

Custo Materiais - Jaqueta de Concreto

Diâmetro do Tubo	pol	16	24	32
Espessura da Jaqueta	mm	45,00	87,00	129,00
Formas Metálicas (32 pol - CHAPA LIS A1010/1020)		16	24	32
Espessura (1,9mm)	m	0,0019	0,0019	0,0019
Largura (útil = 860mm-100mm)	m	0,76	0,76	0,76
Comprimento (tubo + jaqueta + abas)	m	1,56	2,46	3,36
Peso por forma (kg)	kg	17,68	27,90	38,13
Comprimento de concretagem (tubo)	m	11	11	11
Chapas por tubo	un	15	15	15
Peso de chapa por tubo	kg	265,2	418,6	572,0
Conjuntos de forma	cj	2	2	2
Produção dia	tubos	12	12	12
Total de formas canteiro	kg	6363,9	10045,8	13727,7
	meses	4	4	4
	tubos	1056	1056	1056
Rateio por tubo	kg	6,0264	9,5130	12,9997
Valor unitário	kg	5,55	5,55	5,55
Custo por tubo concretado - Formas		33,45	52,80	72,15
Concreto com Fibra		16	24	32
Diâmetro	m	0,4064	0,6096	0,8128
Jaqueta	m	0,045	0,087	0,129
Volume de Concreto por tubo	m ³	0,702	2,094	4,198
Custo Concreto Usinado	R\$/m ³	280	280	280
Custo por tubo concretado - Concreto		196,55	586,41	1.175,57
Taxa de Fibra	kg/m ³	30	30	30
Fibra por tubo	kg/m ³	21,1	62,8	126,0
Custo Unitário	R\$/kg	5,56	5,56	5,56
Custo por tubo concretado - Fibra		117,09	349,33	700,30
Total por tubo		347,09	988,54	1.948,02
Custo por km		29.155,16	83.037,73	163.634,05

Custo Materiais - Geotêxtil

Diâmetro do Tubo	pol	16	24	32
GEOTEXTIL				
Duto (Nominal Pipe Size)	un	16"	24"	36"
Massa (kg)	kg	1.000,0	2.268,0	4.080,0
Quantidade por tubo	un	2,08	3,44	4,08
Valor unitário (PH Dutos)	\$	\$ 148,00	\$ 216,00	\$ 438,00
Valor unitário (PH Dutos - \$ -> R\$ = 2,35)	R\$	R\$ 568,17	R\$ 829,22	R\$ 1.681,48
Valor unitário (IEC)	\$	\$ 127,77	\$ 198,49	\$ 342,48
Valor unitário (IEC - \$ -> R\$ = 2,35)	R\$	R\$ 490,51	R\$ 762,00	R\$ 1.314,80
Custo por tubo - ECOBAG	R\$	1.101,03	2.736,91	6.112,41
MOLDE PARA ENCHIMENTO				
kit Metálico para Enchimento	m ²	7,60	11,40	15,20
Peso Kit - Chapa 3/16	kg	288,79	433,18	577,58
Preço por kg - Com fabricação	R\$/kg	15,00	15,00	15,00
Custo KIT	R\$/m ³	4.331,82	6.497,73	8.663,64
Vida Útil (enchimentos)	Enchimer	1.500,00	1.500,00	1.500,00
Por Geotêxtil		0,35	0,23	0,17
Custo por Tubo		0,72	0,79	0,71
MATERIAL PARA ENCHIMENTO				
Volume de Pó de Pedra por tubo	m ³	1,32	4,9536	10,57
Peso específico	kgf/m ³	1575	1575	1575
Custo por m ³	R\$/m ³	65,00	65,00	65,00
Custo por Tubo		85,84	321,98	686,99
Total por tubo		1.187,59	3.059,69	6.800,11
Custo por km		99.757,54	257.013,86	571.209,07

Custo Materiais - Tirantes

Diâmetro do Tubo	pol	16	24	32
Tirantes				
Diâmetro	un	16"	24"	32"
Conjunto (Tirante + Extensor + Sistema de Fixação) - Peso	kg	170,0	174,0	406,0
Preço por kg	R\$	12,00	12,00	12,00
Valor do Conjunto	R\$	2.040,00	2.088,00	4.872,00
Cinta	R\$	58,50	325,00	130,00
Anodo de Sacrifício para o conjunto	R\$	65,00	65,00	65,00
Custo unitário	R\$	2.163,50	2.478,00	5.067,00
Distância Máxima	m	61,65	44,20	37,37
Distancia de Instalação	m	60,00	48,00	40,00
Quantidade total do duto	m	1000	1000	1000
	und	16,67	20,83	25,00
Total por km		R\$ 36.058,33	R\$ 51.625,00	R\$ 126.675,00

Quantidade de Materiais (kg e litros)

Tubo Concretado	Und.	Quantidade		
		16 pol	24 pol	32 pol
Concreto 30 Mpa				
Cimento CP IV	kg	17.549,2	52.358,3	104.961,7
Areia	kg	49.956,6	149.046,5	298.791,0
Brita 0	kg	53.057,0	158.296,5	317.334,3
Água	kg	12.284,4	36.650,8	73.473,2
Aditivo (maximent PX-50 Matchem)	kg	173,7	518,3	1.039,1
Fibra de aço	kg	1.754,9	5.235,8	10.496,2
Forma Metálica	kg	502,2	792,8	1.083,3
Total		135.278,1	402.899,0	807.178,9

Geotêxtil	Und.	Quantidade		
		16 pol	24 pol	32 pol
Geotêxtil	Und.	173,3	286,7	340,0
Geotêxtil	kg	1.348,9	2.230,9	4.760,0
Brita (material de enchimento)	kg	152.313,2	571.315,2	1.218.974,5
Estrutura metálica (Molde)	kg	33,4	82,8	130,9
Total		153.695,5	573.628,9	1.223.865,4

Tirantes	Und.	Quantidade		
		16 pol	24 pol	32 pol
Estacas Metálicas	kg	2.833,3	3.625,0	10.150,0
Anodos Galvânicos	kg	28,9	35,7	42,5
Cintas de poliéster	Und.	16,7	20,8	25,0
Total		2.862,2	3.660,7	10.192,5

Consumo de Combustível	Und.	Quantidade		
		16 pol	24 pol	32 pol
Tubo Concretado	litros	7.743,6	11.490,1	17.140,0
Geotêxtil	litros	6.763,8	10.330,2	14.366,2
Tirantes	litros	6.460,5	9.134,7	13.166,9

Quantidade de Materiais (ton)

Sistema	Und.	16 pol	24 pol	32 pol
Concreto	Ton	135,3	402,9	807,2
Geotêxtil	Ton	153,7	573,6	1.223,9
Tirantes	Ton	2,9	3,7	10,2

Materiais de Aplicação

