



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA  
FONSECA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**GABRIEL VIEIRA VAZ**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE  
RECONDICIONAMENTO DE DUTO POR MÉTODO CONVENCIONAL  
E MÉTODOS SEM ABERTURA DE VALA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**RIO DE JANEIRO**

**2022**

**GABRIEL VIEIRA VAZ**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE  
RECONDICIONAMENTO DE DUTO POR MÉTODO CONVENCIONAL  
E MÉTODOS SEM ABERTURA DE VALA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica, do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Orientadores: Dra. Laís Amaral Alves e  
Dr. Bernardo Jose Lima Gomes

**RIO DE JANEIRO**

**2022**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

V393 Vaz, Gabriel Vieira

Estudo de viabilidade técnica e econômica de recondicionamento de duto por método convencional e métodos sem abertura de vala / Gabriel Vieira Vaz. — 2022.

49f. + apêndice : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2022.

Bibliografia : f. 48-49

Orientadora: Lais Amaral Alves

Coorientador: Bernardo Jose Lima Gomes

1. Engenharia mecânica. 2. Tubulações. 3. Valas. 4. Gasodutos.  
I. Alves, Lais Amaral. (Orient.). II. Gomes, Bernardo Jose Lima (Coorient.). III. Título.

CDD 621

## RESUMO

VAZ, Gabriel. **Estudo de viabilidade técnica e econômica de recondicionamento de duto por método convencional e métodos sem abertura de vala**. 2022. 52. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2022.

Na indústria, as tubulações metálicas são de suma importância no transporte de produtos, sendo um material de baixo custo e oferecendo boa flexibilidade de projeto já que conta com boa soldabilidade. Porém, estas tubulações acompanham o grande inconveniente do processo de corrosão e oxidação acelerado caso não sejam adotadas medidas rigorosas de controle de integridade. Nesta linha, este trabalho tem por objetivo analisar os principais métodos de recondicionamento de duto sem abertura de vala em comparação à substituição de trecho por vala convencional, assim como suas limitações técnicas, a partir de uma pesquisa bibliográfica e eleger a melhor aplicável no estudo de caso proposto de um gasoduto no Brasil. A tecnologia é selecionada a partir da análise de viabilidade técnica e econômica utilizando a matriz de tomada de decisão, expondo seus principais ganhos de produtividade e suas limitações operacionais assim como seus custos envolvidos na implantação. Os resultados encontrados indicam a viabilidade técnica das tecnologias sem abertura de vala e sua competitividade quando comparado à vala convencional, apresentando um retorno financeiro duas vezes mais rápido e menor tempo de recondicionamento e, conseqüentemente, para de produção.

**Palavras-chave:** Reconcondicionamento. Duto. MND. *Onshore*.

## ABSTRACT

VAZ, Gabriel. **Estudo de viabilidade técnica e econômica de condicionamento de duto por método convencional e métodos sem abertura de vala**. 2022. 52. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2022.

In industry, steel pipes are of big importance in the transport of products, being a low-cost material and offering good design flexibility as it has good weldability. However, these pipes accompany the great inconvenience of the accelerated corrosion and oxidation process if strict integrity control measures are not adopted. In this line, this work has the goal to analyze the main methods of trenchless pipe rehabilitation compared to replacing with a conventional trench, as well as its technical limitations, from a bibliographic research and to choose the best applicable in the proposed case study of a gas pipeline in Brazil. The technology is selected from the analyses of technical and economic feasibility using the decision matrix analysis, exposing its main productivity gains and its operational limitations as well as the costs involved in the implementation.

The results found indicate the technical feasibility of trenchless technologies and their competitiveness when compared to the open trench, presenting a financial return twice as fast and shorter reconditioning time and, consequently, minor production downtime.

**Keywords:** Rehabilitation. Pipe. NDM. Onshore.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – <i>Sliplining</i> .....	16
Figura 2 – <i>Close-fit Lining</i> .....	17
Figura 3 – <i>Pipe Bursting</i> .....	18
Figura 4 – <i>Pipe Bursting</i> com passagem prévia de faca .....	18
Figura 5 – Cabeça expansora munida com faca .....	18
Figura 6 – Tracionador hidráulico.....	19
Figura 7 – <i>Cured-in-Place Pipe</i> .....	20
Figura 8 – Câmara de pressurização - CIPP .....	21
Figura 9 – Inserção pelo método CIPP .....	21
Figura 10 - Trecho lançador de pig desconectado e isolado .....	25
Figura 11 – Início do duto na estação emissora.....	25
Figura 12 – Trecho recebedor de pig desconectado e isolado.....	26
Figura 13 – Arranjo espacial da chegada do duto na estação recebedora .....	26
Figura 14 – Chegada do duto na estação recebedora .....	27
Figura 15 – Descolamento da camada interna do duto.....	27
Figura 16 – Ponto de afloramento na estação recebedora .....	28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados técnicos do duto de baixa pressão.....	24
Tabela 2 – Graus de decisão .....	29
Tabela 3 – Resumo de propriedades MND .....	30
Tabela 4 – Grau comparativo: Aplicação em gasoduto.....	32
Tabela 5 – Grau comparativo: Aplicação em oleoduto.....	32
Tabela 6 – Grau comparativo: Material Estrutural.....	33
Tabela 7 – Grau comparativo: Máxima distância entre pontos de acesso .....	34
Tabela 8 – Grau comparativo: Alteração de diâmetro .....	35
Tabela 9 – Grau comparativo: Pigabilidade .....	35
Tabela 10 – Grau comparativo: Tempo de reabilitação.....	36
Tabela 11 – Grau comparativo: Garantia .....	36
Tabela 12 – Grau: Vida útil.....	37
Tabela 13 – Grau comparativo: Desempenho em curvas .....	38
Tabela 14 – Grau comparativo: Aplicação em dutos que compartilham faixa.....	38
Tabela 15 – Grau comparativo: Impactos no incremento da produção .....	39
Tabela 16 – Grau comparativo: Redução do custo de manutenção.....	40
Tabela 17 – Matriz de viabilidade técnica para Vala Convencional.....	41
Tabela 18 – Matriz de viabilidade técnica para <i>Close-fit Lining</i> .....	41
Tabela 19 – Propostas de mercado .....	43
Tabela 20 – Resumo de viabilidade econômica .....	43
Tabela 21 – Tempo necessário para se pagar o investimento .....	45
Tabela 22 – Apêndice A: Formulário de viabilidade da empresa A .....	50
Tabela 23 – Apêndice B: Formulário de viabilidade da empresa B.....	51
Tabela 24 – Apêndice C: Formulário de viabilidade da empresa C.....	52



## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Diagrama de Pareto de artigos na plataforma Scielo.....	9
Gráfico 2 – Diagrama de Pareto de artigos na plataforma Capes .....	10
Gráfico 3 – Diagrama de Pareto de artigos na plataforma Google Scholar.....	10
Gráfico 4 – Distribuição de graus das tecnologias eleitas .....	42

## LISTA DE SIGLAS

CCTV - *Closed-Circuit Television Inspection* (Circuito Fechado de Inspeção Televisionado);  
CIPP - *Cured-In-Place Pipe* (Revestimento com Cura Local);  
EVTE - Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica;  
GUT - Matriz Gravidade, Urgência e Tendência;  
MND - Métodos não-destrutivos;  
OPEX - *Operational Expenditure* (Despesas de Capital);  
PEAD - Polietileno de Alta Densidade;  
PVC - Poli Cloreto de Vinila;  
SIPP - *Spray-In-Place Pipe* (Revestimento por Aspersão);  
SPEC - *Pipeline Specification* (Especificação de duto);  
UV – Ultravioleta.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	8
1.2 OBJETIVO .....	8
1.3 METODOLOGIA .....	9
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	11
<b>2 MÉTODOS DE RECONDICIONAMENTO.....</b>	<b>13</b>
2.1 RECONDICIONAMENTO CONVENCIONAL POR ABERTURA DE VALA .....	14
2.2 RECONDICIONAMENTO POR MÉTODOS SEM ABERTURA DE VALA .....	15
2.2.1 Revestimento por Inserção de Novo Tubo ( <i>Sliplining</i> ) .....	15
2.2.2 Revestimento por Inserção Apertada ( <i>Close-fit Lining</i> ).....	16
2.2.3 Substituição por Arrebentamento ( <i>Pipe Bursting</i> ) .....	17
2.2.4 Revestimento com Cura Local ( <i>Cured-in-Place Pipe – CIPP</i> ) .....	20
2.2.5 Revestimento por Aspersão ( <i>Spray-in-Place Pipe – SIPP</i> ).....	22
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
3.1 ESTUDO DE CASO.....	23
3.1.1 Dados Técnicos .....	23
3.1.2 Estação Coletora Brejinho .....	24
3.1.3 Estação de Produção Vista Alegre .....	25
3.2 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA (EVTE) .....	28
<b>4 ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
4.1 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA .....	30
4.1.1 Aplicação em Gasoduto.....	31
4.1.2 Aplicação em Oleoduto.....	32
4.1.3 Material Estrutural.....	33
4.1.4 Máxima Distância entre Pontos de Acesso.....	33
4.1.5 Alteração de Diâmetro .....	34
4.1.6 Pigabilidade .....	35
4.1.7 Tempo de Reabilitação .....	36
4.1.8 Garantia.....	36
4.1.9 Vida Útil .....	37
4.1.10 Desempenho em Curvas .....	37
4.1.11 Aplicação em Dutos que Compartilham Faixa.....	38
4.1.12 Melhoria Significativa no Escoamento.....	39
4.1.13 Redução de Custo de Manutenção .....	39
4.1.14 Conclusão do Estudo de Viabilidade Técnica.....	40
4.2 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA .....	42
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>

<b>APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE VIABILIDADE DA EMPRESA A.....</b>	<b>50</b>
<b>APÊNDICE B – FORMULÁRIO DE VIABILIDADE DA EMPRESA B.....</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICE C – FORMULÁRIO DE VIABILIDADE DA EMPRESA C.....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nesta seção será apresentado as principais motivações desta tese assim como sua estruturação, metodologia e objetivos.

### 1.1 JUSTIFICATIVA

As tubulações industriais são, majoritariamente, de material metálico (FELÍCIO, 2012) e implicam em problemas de integridade ao decorrer de sua vida útil como o aparecimento de vazamentos, principalmente quando transportados fluidos corrosivos. Esses vazamentos, quando ocorrem no caso dos dutos enterrados, levam convencionalmente à mesma solução de abertura de vala para acesso ao trecho e serviço de corte e solda para reposição ou reparo pontual. Porém, estas atividades começam a se tornar complexas quando o fluido transportado pelas tubulações é inflamável, implicando na necessidade de etapas melhor planejadas para garantir a segurança operacional, como a inertização do duto com gás inerte a fim de possibilitar trabalho à quente e atuação de maquinários pesados para remoção do solo, sem risco de atingir a tubulação acidentalmente.

O condicionamento de dutos no setor de óleo e gás *onshore* demanda um grande período de parada de produção pelas práticas convencionais. Neste contexto, verifica-se a importância de estudar novas tecnologias de métodos de condicionamento sem a abertura de valas com o objetivo de otimizar o período de paradas e retorno de produção, além de garantir maior segurança operacional visto a periculosidade envolvida no processo de abertura de valas em grandes extensões.

### 1.2 OBJETIVO

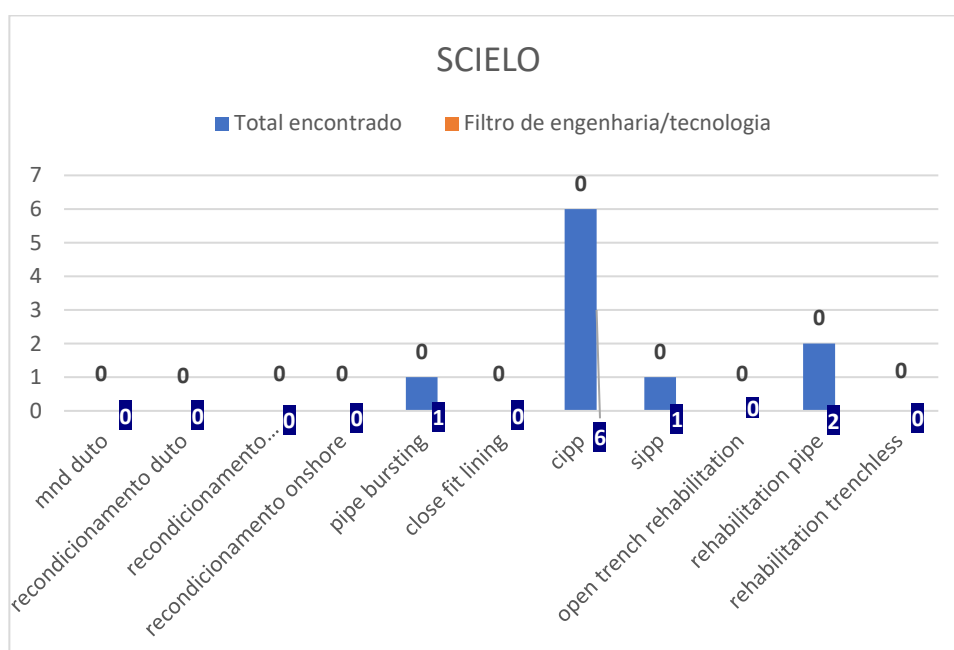
O presente estudo visa reunir as principais tecnologias de condicionamento de dutos por métodos sem abertura de vala a partir de revisões bibliográficas e conversas não estruturadas com empresas especializadas na aplicação dos métodos, assim como suas principais vantagens, limitações e custos envolvidos. A partir dessas

informações, é possível traçar a melhor alternativa de viabilidade técnica e econômica para cada situação em particular.

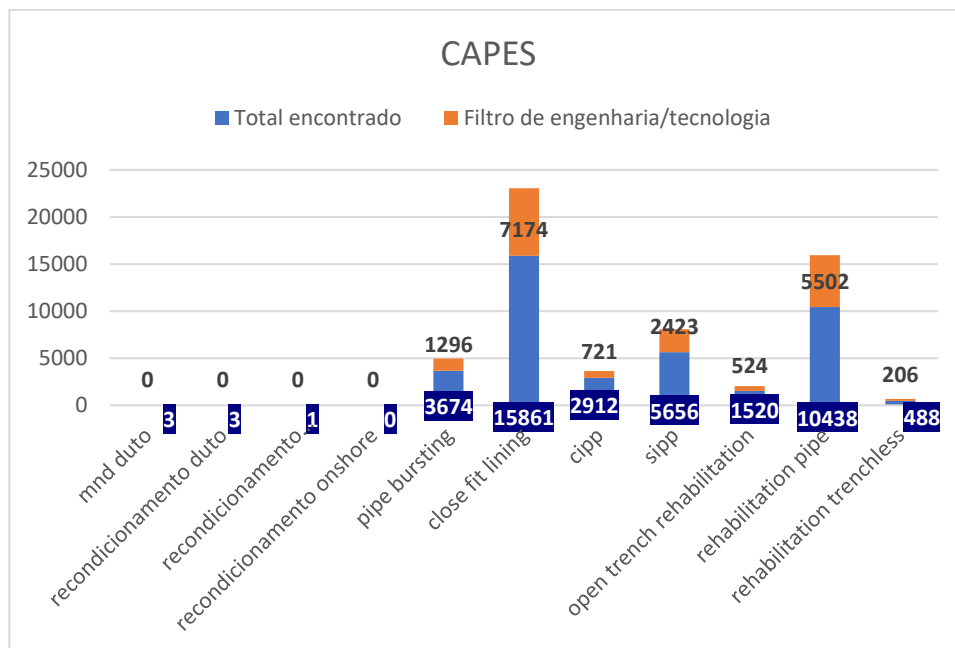
### 1.3 METODOLOGIA

A pesquisa se inicia com uma dificuldade de acesso à artigos acadêmicos que abordem e convergem ao intuito deste estudo. Tomando como base a metodologia prisma, foi realizado pesquisas com palavras chaves nas principais plataformas de busca e acesso à artigos que dialoguem com o intuito desta pesquisa, como o Scielo, Capes e Google Acadêmico, conforme representado no Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3.

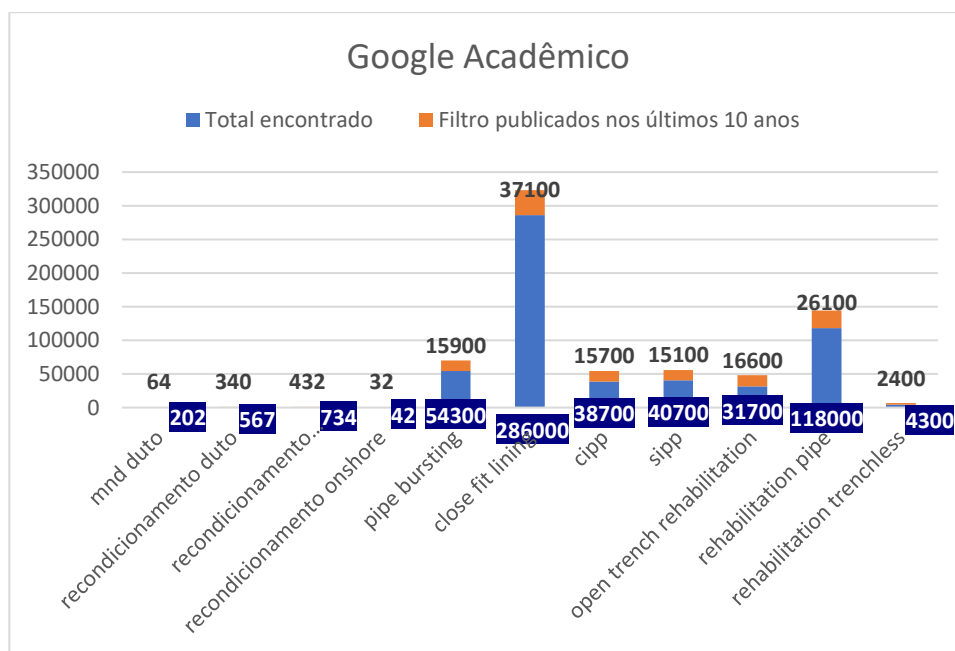
Para as plataformas Scielo e Capes foi utilizado como referência o filtro de categoria da própria plataforma com título engenharia e tecnologia, resultando nos artigos que dialoguem de alguma forma com o tema de condicionamento de dutos na área da engenharia. Para a plataforma Google Acadêmico foi realizado filtro dos artigos publicados nos últimos 10 anos devido a inexistência do filtro por título ou categoria.



**Gráfico 1 – Diagrama de Pareto de artigos na plataforma Scielo**  
**Fonte: Própria (2022)**



**Gráfico 2 – Diagrama de Pareto de artigos na plataforma Capes**  
Fonte: Própria (2022)



**Gráfico 3 – Diagrama de Pareto de artigos na plataforma Google Scholar**  
Fonte: Própria (2022)

Realizando uma proporção entre o número de resultado total encontrado com o número de artigos filtrados de cada plataforma, com exceção da Scielo por não apresentar resultados para as pesquisas realizadas, obtém-se uma média de 40% de artigos que convergem para o universo desejado. Porém, os artigos encontrados, em

sua maioria, não conversam com a proposta desejada do estudo no âmbito de realizar um estudo de viabilidade técnica e econômica com aplicação em um estudo de caso, sendo recorrente o encontro de temas nas seguintes linhas de pesquisa: Análises estruturais dos métodos de condicionamento, Análises numéricas dos esforços envolvidos durante condicionamento por métodos sem abertura de vala, Impactos da abertura de vala no comércio e saúde da comunidade local entre outros.

A fim de contornar esta defasagem acadêmica e poder contribuir com a comunidade, é utilizado como base do estudo entrevistas não estruturadas com especialistas da área e empresas prestadoras de serviço, assim como literaturas diversas armazenadas na *internet*.

É realizado em primeiro momento uma revisão bibliográfica das tecnologias existentes na indústria, abordando o máximo de informações e funcionamento de cada uma e suas comparações entre si. A partir desta, é realizado um estudo de viabilidade técnica com aplicação em um caso real da indústria a fim de eleger as possíveis tecnologias aplicáveis. Para esta análise é utilizado a matriz de tomada de decisão, avaliando e quantificando cada atributo de maneira comparativa entre as tecnologias e sua importância para o estudo de caso.

Seguindo a pesquisa, é realizado um estudo de viabilidade econômica a partir das tecnologias eleitas na etapa anterior levando em consideração seus tempos totais de condicionamento e ganhos de cada uma em relação à ganho de produção. Após esses históricos, é realizado a metodologia matriz de tomada de decisão para análise e confronto das tecnologias entre si no que tange suas vantagens e aplicabilidade, concluindo-se por fim com a melhor tecnologia aplicável para o cenário analisado.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho se estrutura sob 5 capítulos com o intuito de melhor desenvolver a linha de estudo e promover um aprofundamento gradativo ao decorrer da leitura. São eles: Introdução, Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, Análise de resultados e Considerações finais.

O capítulo 1 encontra-se subdividido em 4 itens: Justificativa, promovendo os argumentos que levaram ao início deste trabalho, Objetivo, externando onde deseja-



se chegar com a linha de estudo, Metodologia, norteando os passos e etapas mapeadas a serem seguidas e Estrutura do trabalho, expondo os pontos abordados em cada um dos pilares de desenvolvimento.

O capítulo 2 promove uma ambientação do cenário atual da indústria no que tange o condicionamento de dutos, seguido da revisão bibliográfica das 6 principais tecnologias de condicionamento de dutos sem abertura de vala e suas metodologias operacionais.

Para o capítulo 3 é desenvolvido o reconhecimento das limitações técnicas de cada tecnologia assim como seus custos individuais para cada caso de aplicação e de mobilização de equipamentos e unidades a fim de promover recursos suficientes para uma análise de viabilidade técnica e econômica. Este capítulo se divide ainda em uma seção focada para o estudo de caso de um gasoduto no Brasil, passando desde sua ficha técnica de material até sua condição atual fora de operação por conta de comprometimento de integridade interna por pontos severos de corrosão.

O capítulo 4 aborda o estudo de viabilidade técnica comparando as tecnologias abordadas e suas limitações, usando como métrica a aplicabilidade no estudo de caso. Em sequência, após selecionadas as tecnologias que atendem a aplicação no estudo, é realizado um estudo de viabilidade econômica a fim de eleger o método com melhor custo-benefício aplicável para o cenário proposto.

O capítulo 5 traz as conclusões do trabalho resgatando novamente os principais ganhos da tecnologia eleita e seus principais impactos na produção do Polo de exploração.

Em seguida, são apresentadas as revisões bibliográficas, apêndices e anexos utilizados como suporte para o desenvolvimento do presente estudo.

## 2 MÉTODOS DE RECONDICIONAMENTO

O aço industrial teve seu início em 1856 pelo engenheiro metalúrgico inglês Henry Bessemer ao controlar o grau de impurezas, principal limitante da qualidade do aço da época, com a criação dos primeiros conversores modernos (OLIVEIRA, 2009).

Desde então, a indústria segue investindo e aprimorando cada vez mais este material, sendo refletido na produção mundial e nacional crescente ao longo dos anos (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020).

Dada a importância do aço, este representa cerca de 90% dos metais empregados e ocupa um importante papel na indústria no transporte de água, óleos, gases e químicos em geral através de tubulações (FELÍCIO, 2012). Com o amplo uso na indústria, em especial na exploração *onshore* de óleo e gás, faz-se necessário um rigoroso acompanhamento e controle da sua integridade com uma variedade de métodos e equipamentos, como os cupons de corrosão, proteção catódica por corrente impressa, sondas de corrosão, pigs instrumentados e outros (IDE E ROSOSTOLADO, 2016).

Dentre as tecnologias de controle de corrosão, estas dividem-se no controle de corrosão interna ou externa. Para o interno é utilizado com maior frequência o pig com a finalidade de carrear líquidos acumulados na geratriz inferior do duto e inibir a corrosão preferencial nesta região. Há uma variação do pig tradicional que é o pig instrumentado, este agora com a finalidade de identificar de forma precisa obstruções e perdas de espessura de parede ao longo do duto. As sondas e cupons de corrosão são tecnologias para acompanhamento de corrosividade do fluido, com o instrumentado alojado no interior da tubulação em produção. Por fim, o uso da proteção catódica por corrente impressa tem por finalidade proteger o duto da corrosão externa, principalmente no caso dos dutos enterrados, cedendo corrente para a tubulação evitando desta ser reduzida quimicamente em contato direto com o solo.

Apesar do grande esforço e investimento da indústria, os tubos e dutos de aço-carbono enterrados sofrem constante deterioração por corrosão externa e interna, este último quando transportados fluidos corrosivos. Quando não é possível mais mitigar o processo de corrosão diante o aparecimento de vazamentos ou perda considerável de espessuras de parede é realizado convencionalmente, no caso dos dutos enterrados, a abertura de vala para acesso ao trecho com avaria de integridade

e serviço de corte e solda para reposição do mesmo. Esta operação pode durar vários dias dependendo da complexidade do ambiente e possível necessidade de supressão vegetal, refletindo em um grande período de parada de produção, acompanhado de relatos na literatura de alto índice de acidentes, impactos significativos no tráfego e comércio local quando realizados no meio urbano e grandes impactos ambientais (OLIVEIRA, 2020). Diante disso, está sendo estudada tecnologias por MND (métodos não destrutivos) para recondicionamento de dutos sem abertura de vala (*trenchless*).

## 2.1 RECONDICIONAMENTO CONVENCIONAL POR ABERTURA DE VALA

O método por abertura de vala é o mais utilizado pela indústria, sendo a prática convencional de recondicionamento e a pioneira entre as demais.

Além do pioneirismo, o uso de forma convencional desta técnica se justifica por não envolver muitos recursos além do humano, podendo ser executada inteiramente de forma manual ou, em alguns casos, maquinários pesados para as aberturas de valas, como escavadeiras e retroescavadeiras. Após acesso à tubulação, é deslocada mão de obra especializada de caldeiraria para corte de trecho do duto e soldagem de um novo trecho de reposição.

Quando implementado em área urbana, esta técnica implica em grande interferência no trânsito de veículos e pessoas, impactando em cadeia o comércio local e qualidade de vida das pessoas ao redor, e em altos custos quando necessário cruzar vias ou outras instalações especiais e sua posterior reconstrução, entrando no custo da obra total (OLIVEIRA, 2020). Por outro lado, quando implementado em área rural, elimina-se grande parte dos problemas mencionados acima, porém criam-se outros pontos de atenção como a preservação ambiental da vegetação, de espécies animais locais e correntes d'água como rios, riachos e lagoas (OLIVEIRA, 2020).

A abertura de valas está associada a relatos de constantes acidentes durante sua operação, sendo o desmoronamento o mais fatal e mais provável entre os demais, como queda de pessoas, queda de cargas, atmosferas perigosas e incidentes envolvendo equipamentos móveis (OLIVEIRA, 2020).

## 2.2 RECONDICIONAMENTO POR MÉTODOS SEM ABERTURA DE VALA

De maneira geral, os métodos de recondicionado sem abertura de vala atuam na recomposição da estabilidade estrutural do duto e acompanham redução do custo de obras e tempo de parada de produção para recondicionamento. Este grupo de técnicas podem necessitar, em alguns casos, de aberturas pontuais de valas.

Dentre as tecnologias existentes, foi selecionado para estudo os cinco principais utilizados na indústria: *Sliplining*, *Close-fit Lining*, *Pipe Bursting*, *Cured-in-place Pipe* e *Spray-in-place Pipe*.

Os métodos apresentados possuem uma característica em comum quanto a sua preparação, sendo necessário um acompanhamento remoto do trajeto com câmeras CCTV (*Closed-Circuit Television Inspection*) em busca de possíveis obstruções e resíduos indesejáveis ao longo do percurso, tomadas de medidas dimensionais como comprimentos e profundidade, localização de curvas e direções em geral e para tomada de decisões na posterior limpeza e preparação da superfície interna do duto para receber a intervenção do método de recondicionamento.

### 2.2.1 Revestimento por Inserção de Novo Tubo (*Sliplining*)

Esta técnica consiste em puxar ou empurrar um tubo de menor diâmetro dentro do tubo hospedeiro danificado (Figura 1) e recebe um preenchimento de resina de alta densidade no espaço anular entre os tubos, sendo este o mais indicado o PEAD (polietileno de alta densidade) (OLIVEIRA, 2020).

A grande desvantagem deste método é a perda de diâmetro interno e, por conseguinte, menor capacidade de escoamento de produção, refletindo uma perda de produção ao longo do tempo. O diâmetro externo do revestimento é entre 5% a 10% menor do diâmetro interno do duto em processo de recondicionamento, esta diferença se dá para uma inserção suave ao longo do duto (MISHRA, 2017).

A vantagem deste método é a possibilidade de se realizar em apenas um ponto de entrada, evitando escavações localizadas para abertura de vala ao longo do duto, e diminuir o coeficiente de atrito e a perda de carga do fluido de trabalho (MISHRA, 2017).



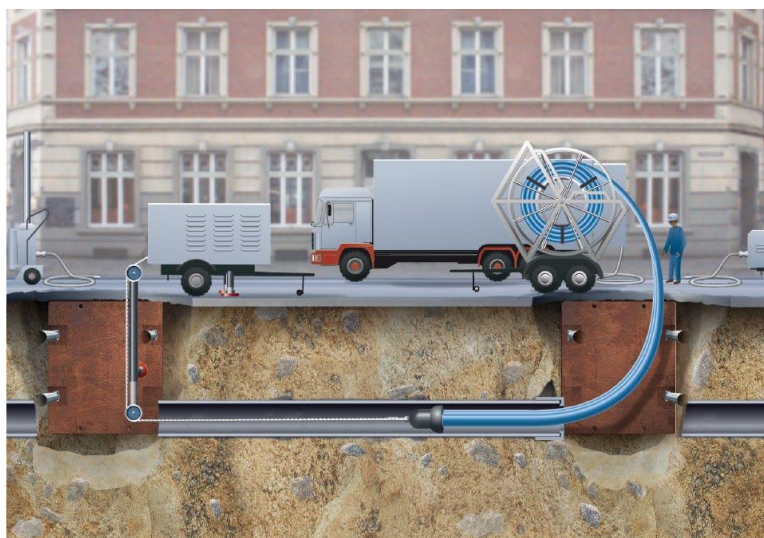
**Figura 1 – Sliplining**  
Fonte: Egeplast (2021)

Esta técnica é indicada para dutos sem grandes deformações e curvaturas e não pode ser aplicada em dutos em avançado estado de deterioração, sendo estas limitações da tecnologia (MISHRA, 2017).

### 2.2.2 Revestimento por Inserção Apertada (*Close-fit Lining*)

Semelhante ao *Sliplining*, o *Close-fit Lining* conta com a inserção de um tubo de menor diâmetro no interior de um hospedeiro danificado. A diferença, portanto, é que neste caso é utilizado um tubo semi-flexível de PVC (Poli Cloreto de Vinila) ou PEAD dobrado parcialmente ou termo-mecanicamente deformado durante sua produção e a inexistência de espaço anular entre os tubos, traduzindo em uma perda mínima de diâmetro interno (OLIVEIRA, 2020).

O tubo de inserção é posicionado no interior do duto antigo por tracionamento (Figura 2) e, após posicionado, é expandido para sua forma original com a passagem de uma ferramenta de abertura, pressurizado com vapor superaquecido caso o material tenha memória de forma ou pressurizado diretamente com água, já realizando na mesma etapa o teste de estanqueidade. Pode ser aplicado como revestimento de tubulações de transporte de água, esgoto, efluentes industriais e gás natural (OLIVEIRA, 2020; EGEPLAST, 2021).



**Figura 2 – Close-fit Lining**  
Fonte: Egeplast (2021)

Semelhante ao método *Sliplining*, esta tecnologia conta também com a vantagem de aumento de carga hidráulica por reduzir o atrito da parede interna do duto e ainda reduz a quantidade de incrustações em geral (SANIT, 2016).

### 2.2.3 Substituição por Arrebetamento (*Pipe Bursting*)

Adicionalmente conhecido como *Pipe cracking*, este método consiste no lançamento de um novo duto não-metálico através do antigo sem a necessidade da abertura de vala e remoção do duto antigo, este sendo desintegrado e compondo o solo ao redor após ruptura. Diferente das demais tecnologias, este consiste em uma operação de passagem de novo duto por método destrutivo, e não recondicionamento por MND.

O método consiste basicamente em um cabeça munida de um expansor cônico, em torno de 50 a 100 mm maior que o diâmetro nominal do duto (MISHRA, 2017), que avança através da tubulação antiga. A expansão fragmenta o duto e o lança para o solo circundante dando espaço para o novo material (Figura 3).



**Figura 3 – Pipe Bursting**  
Fonte: Tstrenchless (2015)

É possível encontrar esta tecnologia acoplada com uma faca na sua extremidade que realiza o trabalho de fragilização do duto a fim de diminuir os esforços necessários (Figura 4) ou até mesmo ambos acoplados em uma única cabeça de passagem (Figura 5).



**Figura 4 – Pipe Bursting com passagem prévia de faca**  
Fonte: Egeplast (2021)



**Figura 5 – Cabeça expansora munida com faca**  
Fonte: Trictools (2020)



Quando não há acesso nas extremidades do duto ou trecho do duto, faz-se necessário uma pequena abertura de vala de aproximadamente um metro de lado nestes pontos para corte de trecho e mobilização dos equipamentos. É passado um cabo de aço alta resistência de um ponto ao outro do duto antigo e acoplado em uma das extremidades a um tracionador hidráulico (Figura 6) de aproximadamente 9.000 quilograma-força de tração enquanto na outra extremidade é acoplado o duto novo para passagem (USTRENCHLESS, 2021).



**Figura 6 – Tracionador hidráulico**  
**Fonte: Ustrenchless (2021)**

Por se tratar de uma intervenção agressiva, o processo de rompimento e passagem de novo material por tracionamento gera tensões residuais no duto novo. Aliado por uma atmosfera hostil ao redor formado dos fragmentos do duto antigo, recomenda-se ainda realizar a passagem de dutos revestidos externamente a fim de evitar arranhões durante o deslocamento (EGEPLAST, 2021).

É geralmente aproveitado a oportunidade para realizar o lançamento de um duto de maior diâmetro, principalmente quando em tubulações subdimensionadas ou em casos de possibilidade de aumento de produção, como acontece na indústria de óleo e gás. Este aumento pode variar de 25%, como comumente é realizado, até 125% em alguns casos (OLIVEIRA, 2020).

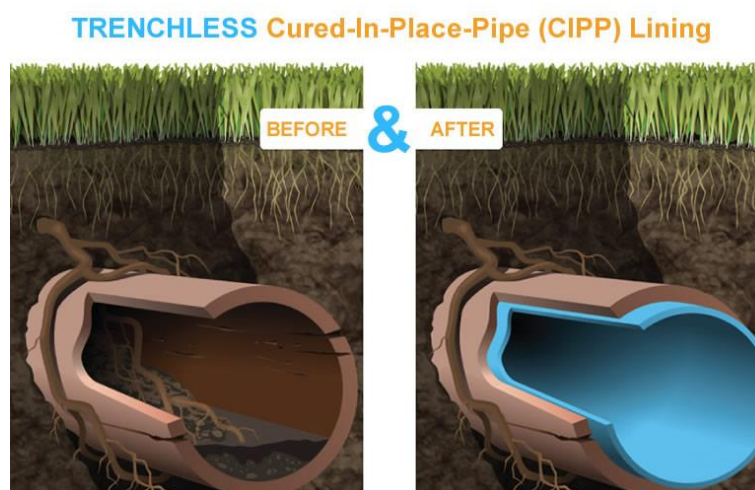
Algumas desvantagens do método são a impossibilidade de atravessar válvulas e alterar a inclinação da passagem do duto e pode ainda provocar alterações



no solo superficial, principalmente em lançamento de dutos de maiores diâmetros, com possíveis consequências às instalações na superfície (MISHRA, 2017).

#### 2.2.4 Revestimento com Cura Local (*Cured-in-Place Pipe – CIPP*)

Adicionalmente conhecido como *Pipe Lining* e esta intervenção consiste em inserir uma manta impregnada com resina no interior do duto (Figura 7), podendo ser utilizado método de cura local para aceleração de resultados. Por se tratar de uma manta com espessura desprezível, pode-se afirmar que, neste método em particular, não há redução de diâmetro interno e capacidade de escoamento, sendo este a maior vantagem deste método de recondicionamento.



**Figura 7 – Cured-in-Place Pipe**  
**Fonte: Don't Break Your Floors (2019)**

Além disto, o CIPP é o método que exige as menores valas de acesso entre os demais métodos mencionados e de aplicação mais rápida. Pode ser aplicada inclusive em seções variadas, não se limitando ao circular convencional das tubulações (SANIT, 2016).

O duto a ser recondicionado é inicialmente limpo a fim de remover resíduos indesejados e preparar a superfície para melhor aderência da resina. Após a limpeza, é dimensionado o comprimento ideal de manta contabilizando os comprimentos adicionais além do comprimento do duto para selagem das extremidades e

dimensionado o volume de resina a ser utilizado a fim de se gerar uma película uniforme ao longo da manta. Para esta uniformização são utilizados rolos calibradores e posteriormente levado para a câmara pressurizadora, este sendo o maquinário principal do método (WESSLER ENGINEERING, 2015).

Na câmara de pressurização (Figura 8), a manta é enrolada em uma bobina interna e sua extremidade levada para fora e fixada de forma invertida na saída da câmara enquanto a outra é lacrada a fim de evitar escape do fluido de pressurização.



**Figura 8 – Câmara de pressurização - CIPP**  
Fonte: Vietzke Trenchless (2011)

Após vedação, é iniciada a pressurização da câmara com ar ou água e a lenta saída da manta em direção ao interior do duto a ser reconicionado. A manta vai revestindo o duto conforme pressurizado até que sua outra extremidade, anteriormente lacrada, apareça no final do duto (Figura 9). Após essa aparição, é iniciada a intervenção para aceleração de cura do material com vapor, água aquecida ou tecnologia UV (ultravioleta). É finalizado então com uma última inspeção de qualidade por CCTV e a fixação das extremidades do revestimento no tubo (WESSLER ENGINEERING, 2015).



**Figura 9 – Inserção pelo método CIPP**  
Fonte: Tstrenchless (2015)

A cura UV, em especial, é uma tecnologia bem moderna que possibilita a cura instantânea do material e retomada imediata de produção, somando ganhos e produtividade ao processo (SANIT, 2016).

#### 2.2.5 Revestimento por Aspersão (Spray-in-Place Pipe – SIPP)

Este método é semelhante ao *CIPP*, com a principal diferença de que é realizado uma pulverização interna ao invés de aplicação de uma manta.

É inserido no duto a ser reabilitado um veículo controlado remotamente acoplado com uma cabeça de pulverização rotativa que realiza o revestimento gradual da parede interna com resina e um mangote flexível de alimentação. Em adicional à cabeça de pulverização é possível a combinação de câmeras para que o operador acompanhe a deposição do revestimento, assim como sua correta uniformidade. Após a cura da resina, esta se integra ao material do duto e se comporta como um revestimento estrutural (OLIVEIRA, 2020).

Uma das grandes limitações desta tecnologia é o comprimento do mangote de alimentação em torno de 250 metros. Quando em comprimentos maiores, aumenta-se consideravelmente o risco de entupimento visto a tendência de endurecimento da resina ao longo do mangote e as dificuldades técnicas envolvidas no bombeamento da mesma, essas informações foram obtidas em entrevista não estruturada com a empresa de serviços.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A análise e tomada de decisão para seguir uma metodologia é complexa e demanda um estudo aprofundado de viabilidade técnica e econômica. As tecnologias mais cotadas são o *Pipe Bursting* e *CIPP*, ambas proporcionando uma garantia de vida útil adicional de 10 até 50 anos (TRICTOOLS, 2020). Esta diferença de tempo é diretamente relacionada com o fluido transportado e seu tipo de escoamento, sendo os fluidos de natureza química e corrosiva com menores tempos estimados de vida útil.

As duas tecnologias refletem seu custo de implantação em vários fatores como profundidade de localização do duto antigo, gravidade do estado de integridade e localização de passagem, sendo mais crítico quando enterrado sob áreas urbanas, construções em geral, vias rodoviárias e ferroviárias. O *Pipe Bursting* possui valor de aplicação em torno de \$60 até \$200 por cada pé de comprimento enquanto o *CIPP* varia em torno de \$80 até \$250 por cada pé de comprimento, sendo estes valores de referência obtidos ao praticado no mercado (TRICTOOLS, 2020).

#### 3.1 ESTUDO DE CASO

O presente estudo tem enfoque em um estudo de caso de um gasoduto localizado em Alagoas, Brasil. Por questões de confidencialidade da empresa cedente das informações, foram adotados nomes fictícios para as instalações e empresas.

##### 3.1.1 Dados Técnicos

O duto está em operação desde 1988 e transporta gás natural da Estação Coletora Brejinho para a Estação de Produção Vista Alegre. O gasoduto em análise transporta o fluido a baixa pressão e divide sua faixa com mais duas outras tubulações, sendo elas de média pressão com 12" de diâmetro externo e alta pressão com 10" de diâmetro externo. A Tabela 1 contempla os principais dados técnicos do duto de baixa pressão:

**Tabela 1 – Dados técnicos do duto de baixa pressão**

Diâmetro	14"
Extensão	5,3 km
Largura da faixa	15 m
Espessura de parede	0,219" 0,250"
Material	Aço carbono API 5L Gr. B Aço carbono API 5L X52
Norma de projeto	ANSI B 31.8
Início de operação	1988
SPEC	Bx
Schedule	100
Classe de pressão	150#
Proteção anticorrosiva	Revestimento em fita de polietileno Proteção catódica por corrente impressa
Controle de corrosão	Cupom de corrosão PIG instrumentado
Vazão média de operação	60.000 m <sup>3</sup> /dia
Pressão Normal de Operação	5 kgf/cm <sup>2</sup>
Pressão Mínima de Operação	2 kgf/cm <sup>2</sup>
Pressão Máxima de Operação (PMO)	10 kgf/cm <sup>2</sup>
Pressão Máxima de Operação Admissível (PMOA)	19 kgf/cm <sup>2</sup>
Volume físico interno	532,8 m <sup>3</sup>
Sistemas de controle de integridade	2 cupons de corrosão, 2 retificadores e 1 válvula Hi-Lo

**Fonte: Elaborado pelo autor (2022)**

### 3.1.2 Estação Coletora Brejinho

O duto que sai da estação emissora está atualmente desconectado da malha de escoamento com o conjunto do lançador de pig isolado com flange cego (Figura 10). Porém, o duto desconectado não foi devidamente isolado das condições atmosféricas com flange cego, apresentando indícios de aceleração de oxidação (Figura 11).



**Figura 10 - Trecho lançador de pig desconectado e isolado**  
Fonte: Própria (2022)



**Figura 11 – Início do duto na estação emissora**  
Fonte: Própria (2022)

### 3.1.3 Estação de Produção Vista Alegre

O duto que chega na estação receptora está atualmente desconectado da malha de escoamento com o conjunto do receptor de pig isolado com flange cego (Figura 12) (Figura 13).





**Figura 12 – Trecho receptor de pig desconectado e isolado**  
**Fonte: Própria (2022)**



**Figura 13 – Arranjo espacial da chegada do duto na estação recebedora**  
**Fonte: Própria (2022)**

Porém, a chegada do duto não foi devidamente isolada das condições atmosféricas com flange cego (Figura 14) e já começou a apresentar descolamento da camada interna do material por processo de oxidação acelerada (Figura 15).



**Figura 14 – Chegada do duto na estação recebedora**  
**Fonte: Própria (2022)**



**Figura 15 – Descolamento da camada interna do duto**  
**Fonte: Própria (2022)**

A Figura 16 mostra o início do afloramento do duto na estação recebedora, atualmente com uma área escavada para rotina de inspeção.





**Figura 16 – Ponto de afloramento na estação recebedora**  
**Fonte: Própria (2022)**

### 3.2 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA (EVTE)

A partir do estudo bibliográfico realizado e de entrevistas não estruturadas e formulários com empresas prestadoras de serviço de condicionamento MND (Anexo A, Anexo B e Anexo C), foi realizado um estudo de viabilidade técnica com o objetivo de quantificar os ganhos de cada tecnologia e realizar uma métrica de comparação entre elas.

A metodologia base utilizada na análise é a matriz de tomada de decisão. A matriz tem por objetivo facilitar o critério de tomada de decisão a partir do sistema de notas, estas sendo atribuídas para cada atributo em avaliação conforme complexidade e necessidade do problema avaliado. A quantidade de critérios e atributos em análise dependem da necessidade de cada pesquisa, sendo, portanto, uma matriz flexível para diversas aplicações.

Para este estudo foi atribuído dois critérios de decisões, chamados de graus de decisões, sendo eles: Grau comparativo, a fim de comparar as tecnologias de condicionamento entre si e grau de importância, com o objetivo de quantificar cada atributo na aplicação direta no estudo de caso, conforme Tabela 2.

As categorias utilizadas no grau de decisão tomaram como base uma adaptação da matriz GUT (Matriz Gravidade, Urgência e Tendência). Esta matriz se

utiliza de 5 categorias pontuadas de 1 até 5, sendo a menor pontuação associada a uma menor criticidade e o grau 5 a uma maior criticidade.

**Tabela 2 – Graus de decisão**

<b>Grau</b>	<b>Comparativo</b>	<b>Importância</b>
<b>1</b>	Não atende as premissas de projeto	Sem importância
<b>2</b>	Menos vantajoso	Pouco importante
<b>3</b>	Neutro	Neutro
<b>4</b>	Mais vantajoso	Importante
<b>5</b>	Diferencial de mercado	Muito importante

**Fonte: Própria (2022)**

O grau comparativo tem por objetivo quantificar as tecnologias entre si através das vantagens que proporcionam no que tange cada atributo que está sendo analisado. Considera-se atributo como cada característica técnica como a aplicação em gasodutos, alteração de diâmetro mediante aplicação da tecnologia e demais abordados no Capítulo 4.

O valor 1 no grau comparativo é considerado de caráter eliminatório no seguimento da tecnologia na análise de viabilidade técnica e econômica por não atender as premissas básicas de projeto, sendo, portanto, não aplicável ao estudo de caso proposto e o valor 5 interpreta-se como um diferencial de mercado.

O grau de importância quantifica a relevância de cada atributo para a aplicação no estudo de caso, determinando o fator multiplicador do grau comparativo.

No estudo de viabilidade técnica utiliza-se inicialmente o grau comparativo e de importância, multiplicando essas duas variáveis entre si gerando um total do atributo para cada tecnologia. Somando todos os totais de atributos é obtido como resultado o valor quantitativo da técnica de condicionamento para fim de comparação e decisão técnica na análise. A partir deste ranqueamento, é possível determinar qual tecnologia melhor se aplica para o duto em estudo.

É realizado em sequência um estudo de viabilidade econômica a partir de propostas de serviço de diferentes fabricantes da tecnologia selecionada na análise anterior. Para esta etapa, foram realizadas consultas de mercado e desenvolvimento de propostas com empresas nacionais prestadoras de serviço de condicionamento MND.

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta seção será apresentado os estudos de viabilidade técnica e econômica, apresentando toda a metodologia e critério de seleção do ponto de vista técnico da tecnologia melhor indicada para aplicação assim como a análise de propostas comerciais e sua comparação com o método convencional de recondicionamento por abertura de vala.

### 4.1 ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA

Para análise de viabilidade técnica foram resumidas as informações relevantes na Tabela 3, assim como as vantagens e limitações de cada tecnologia a fim de reunir de forma mais concisa todas suas características.

A Tabela 3 é utilizada como base para determinação dos graus comparativos e de importância para cada atributo em discussão.

**Tabela 3 – Resumo de propriedades MND**

	<b>Vala Convencional</b>	<b>Sliplining</b>	<b>Close-fit Lining</b>	<b>Pipe Bursting</b>	<b>CIPP</b>	<b>SIPP</b>
<b>Aplicação em gasoduto</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim*	Sim*
<b>Aplicação em oleoduto</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Material Estrutural</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
<b>Máxima distância entre pontos de acesso (metros)</b>	NA	1500 até 2500	1500 até 2500	150	100 até 500	60 até 240
<b>Alteração de diâmetro</b>	Ampliação	Redução	Nulo	Ampliação	Nulo	Nulo
<b>Pigabilidade</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim*
<b>Tempo de reabilitação</b>	5 meses	1 mês	1 mês	6,5 meses	2,5 meses	3,5 meses

**Tabela 3 – Resumo de propriedades MND**

<b>Garantia</b>	05 anos	05 anos	05 anos	05 anos	05 anos	05 anos
<b>Vida útil</b>	30 anos	50 anos	50 anos	50 anos	50 anos	10 anos
<b>Aplicação em curvas até**</b>	90°	0°	90°*	0°	90°*	0°
<b>Aplicação em dutos que compartilham faixa</b>	Sim	Sim	Sim	Sim*	Sim	Sim
<b>Melhoria significativa no escoamento</b>	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Redução de custo de manutenção</b>	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

\* Itens possuem ressalvas que foram melhor desenvolvidas em cada tópico de discussão neste capítulo;

\*\* Tomado como referência 0° como sem curvaturas e 90° como curvaturas máximas.

**Fonte: Entrevistas estruturadas através de formulários (2022)**

#### 4.1.1 Aplicação em Gasoduto

Todas as tecnologias estudadas possuem aplicação em gasodutos. Porém, no caso dos métodos de revestimento *CIPP* e *SIPP*, estes não são aplicáveis nos dutos em estudo por conta da classe de pressão, não podendo ser aplicadas quando em pressão de operação normal próximo de 10 kgf/cm<sup>2</sup> pois são tecnologias para recondicionamento de baixas pressões. Por isto, estas duas foram atribuídas com grau 1.

As tecnologias de revestimento não-metálicos (*Sliplining*, *Close-fit Lining*, *CIPP* e *SIPP*) e o *Pipe Bursting* merecem uma atenção especial pois se faz necessário uma comprovação que ateste material inerte com o fluido de trabalho, preferencialmente em laboratório independente. Há uma atenção especial no material PEAD com relatos de permitir a permeabilidade do gás em seu meio e fragilizar o *liner*, provocando sua eventual ruptura.

No caso da Vala Convencional, como se trata de substituição de trecho por material metálico idêntico ou semelhante, com suas propriedades físicas e de interação já bem conhecidas, não há necessidade dessa comprovação laboratorial.

Apesar das ressalvas e pontos de atenção, as tecnologias Vala Convencional, *Sliplining*, *Close-fit Lining* e *Pipe Bursting* oferecem um confortável espaço de aplicação e, portanto, um grau equânime 3.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 4.

**Tabela 4 – Grau comparativo: Aplicação em gasoduto**

<b>Vala Convencional</b>	<b><i>Sliplining</i></b>	<b><i>Close-fit Lining</i></b>	<b><i>Pipe Bursting</i></b>	<b><i>CIPP</i></b>	<b><i>SIPP</i></b>
3	3	3	3	1	1

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 5 devido ao estudo de caso ser um gasoduto.

#### 4.1.2 Aplicação em Oleoduto

Todas as tecnologias estudadas possuem aplicação em oleodutos e seguem as mesmas ressalvas laboratoriais mencionadas no item anterior.

Para este caso em particular, já que o enfoque se trata de um gasoduto, foi dado o mesmo peso de relevância, grau 3, visto que não influenciará na tomada de decisão.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 5.

**Tabela 5 – Grau comparativo: Aplicação em oleoduto**

<b>Vala Convencional</b>	<b><i>Sliplining</i></b>	<b><i>Close-fit Lining</i></b>	<b><i>Pipe Bursting</i></b>	<b><i>CIPP</i></b>	<b><i>SIPP</i></b>
3	3	3	3	3	3

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 1 devido ao estudo de caso ser um gasoduto.

#### 4.1.3 Material Estrutural

Para a avaliação deste tópico a configuração estrutural de cada tecnologia foi comparada seguindo os seguintes critérios: Grau 4 para todas as tecnologias que possuem característica estrutural e grau 1 para a tecnologia *SIPP* visto que esta se limita apenas ao revestimento, não atendendo ao estudo proposto já que este sofre de perda de massa na parede, sendo interpretada como uma fragilização estrutural.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 6.

**Tabela 6 – Grau comparativo: Material Estrutural**

<b>Vala Convencional</b>	<b><i>Sliplining</i></b>	<b><i>Close-fit Lining</i></b>	<b><i>Pipe Bursting</i></b>	<b><i>CIPP</i></b>	<b><i>SIPP</i></b>
4	4	4	4	4	1

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 4 devido ao estudo de caso apresentar perda de espessura de parede.

#### 4.1.4 Máxima Distância entre Pontos de Acesso

Neste ponto, é atribuído grau máximo 5 para todas as tecnologias com distância máxima entre pontos de acesso maior que 1000 metros, sendo consideradas um diferencial de mercado. São elas: *Sliplining* e *Close-fit Lining*.

Para as demais tecnologias, consideradas de menor potencial, foi atribuído grau 2 devido à baixa flexibilidade de aplicação em trechos maiores do que 500 metros, chegando a uma distância máxima de 100 metros em alguns casos, ficando bem abaixo da expectativa.

No caso particular da Vala Convencional, esta tecnologia exige que a vala seja aberta ao longo de todo o trecho desejado. Colocando em números, pode-se dizer que a máxima distância entre pontos de acesso deste método seria 0 metros

visto que, na prática, não há pontos de acesso e sim aberturas completas de vala no comprimento desejado da troca de trecho.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 7.

**Tabela 7 – Grau comparativo: Máxima distância entre pontos de acesso**

<b>Vala Convencional</b>	<b><i>Sliplining</i></b>	<b><i>Close-fit Lining</i></b>	<b><i>Pipe Bursting</i></b>	<b><i>CIPP</i></b>	<b><i>SIPP</i></b>
2	5	5	2	2	2

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 4 devido à necessidade de realizar menor quantidade de aberturas de pontos de acesso diante da extensão considerável do duto em estudo.

#### 4.1.5 Alteração de Diâmetro

No caso das tecnologias por Vala Convencional e *Pipe Bursting*, como há a substituição do duto, existe margem tanto para manter quanto ampliar seu diâmetro e, conseqüentemente, sua capacidade de escoamento. Para este caso foi dado, portanto, um grau 4 já que contempla uma maior flexibilidade entre as demais tecnologias.

Para o *Sliplining*, é posto um grau 1 visto que este contempla uma grande desvantagem entre as demais com a redução de diâmetro útil na tubulação após aplicação do *liner*, impactando em uma redução de vazão nominal de operação. A perda de capacidade de escoamento é interpretada nesse estudo como limitante diante do cenário da companhia em aumento de produção.

Para as demais técnicas foi atribuído um grau 3 visto que não há reduções de diâmetros significativas, suas perdas são apenas das espessuras dos revestimentos.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 8.

Tabela 8 – Grau comparativo: Alteração de diâmetro

Vala Convencional	<i>Sliplining</i>	<i>Close-fit Lining</i>	<i>Pipe Bursting</i>	<i>CIPP</i>	<i>SIPP</i>
4	1	3	4	3	3

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 5 devido a necessidade de manter o diâmetro útil de escoamento atual.

#### 4.1.6 Pigabilidade

No quesito pigabilidade, todas as tecnologias possibilitam a passagem de pigs de limpeza após recondiçãoamento.

Porém, no caso das tecnologias de revestimento, há uma limitação no que tange uso restrito dos pigs tipo espuma. Estes pigs acompanham uma grande desvantagem por estar associado a eventos de desintegração durante as limpezas e, por consequência, transportar seus fragmentos para dentro do processo das instalações, danificando equipamentos e máquinas. Apesar da ressalva, foi atribuído grau 3 à essas tecnologias, com exceção do *SIPP*, pois este acompanha controvérsias nesta possibilidade de limpeza e, portanto, foi atribuído grau 2 devido à incerteza e maior risco de danos ao revestimento. Aos demais foi atribuído grau 4.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 9.

Tabela 9 – Grau comparativo: Pigabilidade

Vala Convencional	<i>Sliplining</i>	<i>Close-fit Lining</i>	<i>Pipe Bursting</i>	<i>CIPP</i>	<i>SIPP</i>
4	3	3	4	3	2

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 5 devido a necessidade de manter a pigabilidade no duto em estudo devido ao histórico de formação de condensado.



#### 4.1.7 Tempo de Reabilitação

Para o tempo de reabilitação foi atribuído grau 4 para todas as tecnologias que atendem em uma janela temporal menor ou igual do que 2 meses, grau 3 para os que atendem em até 4 meses e grau 2 para os que despendem maior tempo de execução.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 10.

**Tabela 10 – Grau comparativo: Tempo de reabilitação**

<b>Vala Convencional</b>	<b><i>Sliplining</i></b>	<b><i>Close-fit Lining</i></b>	<b><i>Pipe Bursting</i></b>	<b><i>CIPP</i></b>	<b><i>SIPP</i></b>
2	4	4	2	3	3

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 5 devido a necessidade operacional de retornar com o duto em operação.

#### 4.1.8 Garantia

Todas as tecnologias estudadas oferecem garantia máxima de 5 anos para vícios construtivos conforme legislação brasileira vigente e uma garantia que varia para cada fornecedor nos primeiros anos que instalação, configurando uma dupla garantia no que tange a defeitos de fabricação e instalação. Para este caso, portanto, foi atribuído grau 3 para todas as tecnologias.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 11.

**Tabela 11 – Grau comparativo: Garantia**

<b>Vala Convencional</b>	<b><i>Sliplining</i></b>	<b><i>Close-fit Lining</i></b>	<b><i>Pipe Bursting</i></b>	<b><i>CIPP</i></b>	<b><i>SIPP</i></b>
3	3	3	3	3	3

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 3 pela necessidade de atendimento às garantias mínimas legais.

#### 4.1.9 Vida Útil

Para a análise da vida útil da tecnologia foi seguido os seguintes critérios: Grau 4 para as tecnologias com vida útil de 50 anos, grau 3 para as com vida útil de 30 anos e grau 2 para as de 10 anos.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 12.

**Tabela 12 – Grau: Vida útil**

<b>Vala Convencional</b>	<b><i>Sliplining</i></b>	<b><i>Close-fit Lining</i></b>	<b><i>Pipe Bursting</i></b>	<b><i>CIPP</i></b>	<b><i>SIPP</i></b>
3	4	4	4	4	2

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 5 pela necessidade de uma maior longevidade do material.

#### 4.1.10 Desempenho em Curvas

Para este ponto, foi atribuído grau 4 para todas as tecnologias que possuem flexibilidade de aplicação para curvas críticas (90°) e grau 1 para as tecnologias que esbarram na limitação de não aceitar curvas, caso do *Sliplining*, *Pipe Bursting* e *SIPP*, não atendendo aos critérios básicos do projeto.

No caso do *Close-fit Lining*, dependendo do fabricante do liner, é possível ficar limitado na aplicação até curvas abertas (3D ou 5D). Como no estudo de caso as curvas são consideradas como abertas, segue ainda com o grau 4 atribuído.

No caso do *CIPP*, há associado uma baixa qualidade de revestimento nas regiões de curvatura com a formação de “rugos”, sendo considerado formação de pontos críticos e, portanto, pontos de fragilidade. Devido a isso, foi atribuído grau 2 para esta tecnologia.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 13.

Tabela 13 – Grau comparativo: Desempenho em curvas

Vala Convencional	<i>Sliplining</i>	<i>Close-fit Lining</i>	<i>Pipe Bursting</i>	<i>CIPP</i>	<i>SIPP</i>
4	1	4	1	2	1

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 3 devido ao estudo de caso apresentar curvas abertas, não sendo críticos para a etapa de condicionamento.

#### 4.1.11 Aplicação em Dutos que Compartilham Faixa

Todas as tecnologias, com exceção do *Pipe Bursting* e da Vala Convencional, foram atribuídas com grau 4, visto que atendem ao cenário do estudo já que este compartilha sua faixa com dois outros dutos e estes se encontram ainda em operação e estarão ainda em carga durante todo o período de condicionamento.

Para as exceções, foi atribuído grau 3 para a Vala Convencional já que é preciso uma atenção redobrada nesta aplicação durante a etapa de abertura de vala com maquinários pesados ou manuais para que não atinja indevidamente os dois outros dutos em operação, e grau 2 para o *Pipe Bursting* já que nesta aplicação existe a possibilidade de movimentações do solo ao redor que pode ocasionar uma avaria ou movimentação não planejada dos dutos vizinhos, agravado caso haja passagem de duto de maior diâmetro.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 14.

Tabela 14 – Grau comparativo: Aplicação em dutos que compartilham faixa

Vala Convencional	<i>Sliplining</i>	<i>Close-fit Lining</i>	<i>Pipe Bursting</i>	<i>CIPP</i>	<i>SIPP</i>
3	4	4	2	4	4

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 5 devido ao estudo de caso compartilhar sua faixa com mais dois outros dutos em operação.

#### 4.1.12 Melhoria Significativa no Escoamento

Todas as tecnologias que envolvem revestimento e o *Pipe Bursting* foram atribuídas com grau 5 visto que impactam diretamente no incremento de produção com a redução significativa do coeficiente de perda de carga no escoamento devido ao material de origem polimérica contemplar menor rugosidade associada quando comparada ao aço carbono.

Para a tecnologia restante, Vala Convencional, foi atribuído grau 3 já que não apresenta melhora significativa no escoamento. Com a troca de material, há um ligeiro ganho por eliminar-se as rugosidades severas formadas pelo tempo à corrosão do duto antigo, porém por não sofrer alteração de material não há um ganho à longo prazo no quesito perda de carga associada.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 15.

**Tabela 15 – Grau comparativo: Impactos no incremento da produção**

<b>Vala Convencional</b>	<b><i>Sliplining</i></b>	<b><i>Close-fit Lining</i></b>	<b><i>Pipe Bursting</i></b>	<b><i>CIPP</i></b>	<b><i>SIPP</i></b>
3	5	5	5	5	5

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 3 devido ao interesse em impacto significativo na produção após recondiçãoamento, não sendo limitante porém desejável.

#### 4.1.13 Redução de Custo de Manutenção

Todas as tecnologias de revestimento e o *Pipe Bursting* impactam diretamente no *OPEX (Operational Expenditure)* para manutenção da integridade do duto visto que espaçam consideravelmente o acompanhamento periódico por pig instrumentado, sendo aplicado conforme necessidade da companhia ou suspeita de falhas no revestimento.

Reduz ou elimina inclusive a necessidade das passagens de pig de limpeza, impactando em uma compra periódica de menor volume desses acessórios. Neste

item é importante mencionar novamente os impactos operacionais e de produção que esta ação pode provocar, impactos estes já mencionados no tópico 4.1.6 e que não estão sendo levados em consideração neste indicador. Para estas tecnologias foi atribuído grau 4.

Para a tecnologia restante, Vala Convencional, foi atribuído grau 3 levando em consideração que não há redução e nem aumento dos custos envolvidos.

O resumo dos critérios e decisões definidas foram resumidas na Tabela 16.

**Tabela 16 – Grau comparativo: Redução do custo de manutenção**

<b>Vala Convencional</b>	<b><i>Sliplining</i></b>	<b><i>Close-fit Lining</i></b>	<b><i>Pipe Bursting</i></b>	<b><i>CIPP</i></b>	<b><i>SIPP</i></b>
3	4	4	4	4	4

Fonte: Própria (2022)

Para o grau de importância foi atribuído o valor 2 pois não apresenta interesse significativo neste item frente aos demais itens analisados.

#### 4.1.14 Conclusão do Estudo de Viabilidade Técnica

A partir da análise feita, é possível já retirar do estudo as tecnologias *Sliplining*, *Pipe Bursting*, *CIPP* e *SIPP*. Ambas receberam grau 1 em um ou mais de um dos itens de comparação, configurando não cumprimento das premissas básicas de projeto do estudo de caso e, portanto, se tornando não aptas em seguirem aplicação.

Na Tabela 17 e Tabela 18 é resumido todo o estudo feito até o momento para a tecnologia Vala convencional e *Close-fit Lining*, respectivamente. Para cada técnica é realizado a multiplicação dos devidos graus analisados para se obter o valor total de cada atributo e posteriormente o somatório desses valores para se obter a métrica total da tecnologia em si.

Tabela 17 – Matriz de viabilidade técnica para Vala Convencional

	<b>Grau de importância</b>	<b>Grau comparativo</b>	<b>TOTAL</b>
Aplicação em gasoduto	5	3	15
Aplicação em oleoduto	1	3	3
Material estrutural	4	4	16
Máxima distância entre pontos de acesso	4	2	8
Alteração de diâmetro	5	4	20
Pigabilidade	5	4	20
Tempo de reabilitação	5	2	10
Garantia	3	3	9
Vida útil	5	3	15
Desempenho em curvas	3	4	12
Aplicação em dutos que compartilham faixa	5	3	15
Melhoria significativa no escoamento	3	3	9
Redução de custo de manutenção	2	3	6
<b>TOTAL</b>			<b>158</b>

Fonte: Própria (2022)

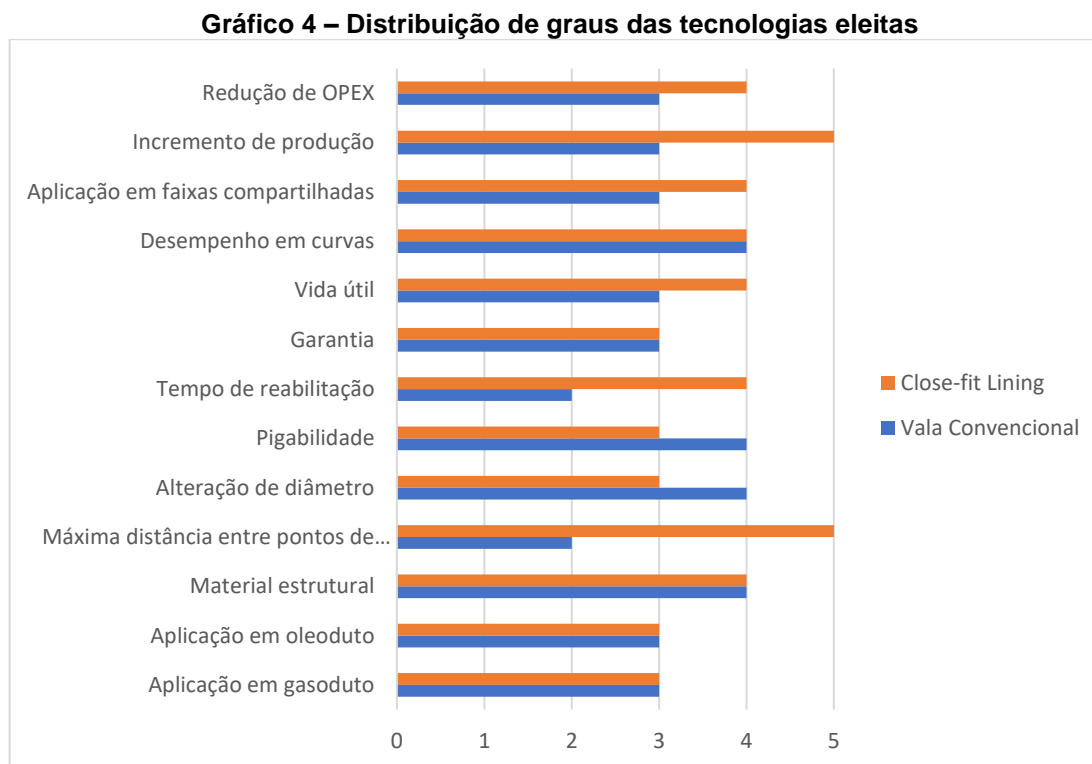
Tabela 18 – Matriz de viabilidade técnica para *Close-fit Lining*

	<b>Grau de importância</b>	<b>Grau comparativo</b>	<b>TOTAL</b>
Aplicação em gasoduto	5	3	15
Aplicação em oleoduto	1	3	3
Material estrutural	4	4	16
Máxima distância entre pontos de acesso	4	5	20
Alteração de diâmetro	5	3	15
Pigabilidade	5	3	15
Tempo de reabilitação	5	4	20
Garantia	3	3	9
Vida útil	5	4	20
Desempenho em curvas	3	4	12
Aplicação em dutos que compartilham faixa	5	4	20
Melhoria significativa no escoamento	3	5	15
Redução de custo de manutenção	2	4	8
<b>TOTAL</b>			<b>188</b>

Fonte: Própria (2022)

Tomando como base os resultados da Tabela 17 e Tabela 18, o estudo foi continuado com a tecnologia *Close-fit Lining*.

No Gráfico 4 está representado a distribuição de graus das tecnologias eleitas tecnicamente.



Fonte: Própria (2022)

## 4.2 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

A partir da tecnologia eleita, foi realizado um estudo de mercado e coleta de propostas de serviço para recondicionamento do duto em estudo com empresas nacionais prestadoras de serviço de recondicionamento MND, em especial o *Close-fit Lining*. Foi realizada proposta com três empresas diferentes, sendo elas descritas nessa pesquisa como Empresas A, B e C, e cotação de serviço por Vala Convencional para fins de comparação. É tomado como premissa para as propostas de serviço um recondicionamento total de toda a extensão do duto em análise.

Na Tabela 19 e Tabela 20 estão reunidos os principais pontos que balizarão o estudo de viabilidade econômica da tecnologia escolhida.

Tabela 19 – Propostas de mercado

	<b>Empresa A</b>	<b>Empresa B</b>	<b>Empresa C</b>
Tecnologia	SANITUBE	British Gas	Primus Line
Empresa Fabricante	AMEX	Nacional Patente aberta	Primus Line
País	Reino Unido	Brasil	Alemanha
Material	PEAD/PU	PEAD	TPU
Vida útil	50 anos	50 anos	50 anos

Fonte: Proposta de serviço dos fornecedores (2022)

Tabela 20 – Resumo de viabilidade econômica

	<b>Empresa A</b>	<b>Empresa B</b>	<b>Empresa C</b>	<b>Vala Convencional</b>
<b>Investimento Total (\$)</b>	<b>3.629.491</b>	<b>3.313.600</b>	<b>8.286.436.600**</b>	<b>7.420.000</b>
<b>Tempo Total</b>	<b>5,5 meses</b>	<b>5,7 meses</b>	<b>5,5 meses</b>	<b>6 meses</b>
Fabricação	30 dias	60 dias	30 dias	30 dias
Serviços preliminares*	30 dias	07 dias	60 dias	0 dias
Mobilização	30 dias	30 dias	30 dias	30 dias
Reabilitação	60 dias	60 dias	30 dias	105 dias
Desmobilização	15 dias	15 dias	15 dias	15 dias

\* Inclusos tempos de importação, desembaraço alfandegário, documentações gerais, etc;

\*\* Alto valor de proposta devido a tecnologia patenteada e diferencial de mercado.

Fonte: Proposta de serviço dos fornecedores (2022)

A fim de avaliar em quanto tempo cada aplicação se paga, é tomada as seguintes premissas abaixo:

- Vazão média de operação (Q) de 60.000 Nm<sup>3</sup>/dia contida na Tabela 1 – Dados técnicos do duto de baixa;
- Média de R\$1,55/Nm<sup>3</sup> praticado pelo mercado (P);
- Câmbio BRL/USD médio praticado no último ano (C) = 5 (UOL ECONOMIA, 2022).



A partir da expressão da Equação 1, é obtido o faturamento diário da produção que escoou pelo duto:

$$F = Q \times P = 60.000 \left[ \frac{Nm^3}{dia} \right] \times 1,55 \left[ \frac{R\$}{Nm^3} \right] = 93.000,00 \left[ \frac{R\$}{dia} \right] \quad [1]$$

Convertendo para o mesmo câmbio das propostas, temos na Equação 2 o valor monetário convertido para a moeda nacional:

$$F \times C = 93.000 \left[ \frac{R\$}{dia} \right] \div 5 \left[ \frac{R\$}{\$} \right] = 18.600 \left[ \frac{\$}{dia} \right] \quad [2]$$

A aplicação do liner promete uma vida útil de 50 anos. Tomando como base a periodicidade recomendada na indústria de 5 anos entre passagens de pig instrumentado, é tido então uma economia de 10 corridas de pigs ao longo da vida útil do material. Sabendo que para cada passagem desses pigs é tido um investimento de \$92.080,00, baseado nos últimos contratos e consulta de mercado, temos então um montante economizado, ao longo das 5 décadas de \$920.800,00.

Para uma análise diária, foi estimado esse valor em dias dividindo-se o montante economizado acima pelo total de anos e posteriormente o resultado por 365 dias. A Equação 3 resume a operação:

$$920.800 [\$] \div 50 [ano] \div \frac{1}{365} \left[ \frac{ano}{dia} \right] = 50,45 \left[ \frac{\$}{dia} \right] \quad [3]$$

Somando o valor das corridas com pigs instrumentados acima com o valor de faturamento diário de produção do duto obtém-se o faturamento global provindo do duto. Dividindo os valores totais de cada proposta pelo resultado acima resultará no tempo necessário em dias para que o investimento se pague. O valor obtido na Equação 3 não foi contabilizado para o cálculo da Vala Convencional visto que este continua tendo sua periodicidade de passagem de pig instrumentado e, logo, não há o abatimento de custo.

A Tabela 21 reúne os resultados discutidos:

Tabela 21 – Tempo necessário para se pagar o investimento

	Empresa A	Empresa B	Empresa C	Vala Convencional
<b>Dias necessários</b>	195	178	444.303	399
<b>Meses necessários</b>	6,5	5,9	14.810,1	13,3

Fonte: Própria (2022)

Não foi inclusa nesta análise o ganho de produção diária incremental devido ao menor coeficiente de perda de carga por exigir um estudo detalhado no âmbito da simulação hidráulica. Em adicional não foi considerado a perda de produção diária para acondicionamento visto que o duto se encontra atualmente fora de operação.

Diante dos resultados, tem-se que as técnicas de acondicionamento por MND são economicamente viáveis e aplicáveis na indústria *onshore* nacional. Além dos valores de aplicação competitivos quando comparado com a Vala convencional, chegando em uma das propostas até a metade do valor, a tecnologia *Close-fit Lining* apresenta inclusive um retorno financeiro mais rápido, se refletindo em um melhor custo-benefício na aplicação.

Apesar dos tempos globais de serviço se equipararem, o tempo de reabilitação pela técnica MND apresenta um grande diferencial de tempo, encurtando em 30 à 60 dias contra 105 dias no caso da abertura de vala. Esse tempo é de suma importância, pois indica quanto tempo de fato o duto estará fora de operação, excluindo os tempos de mobilização e desmobilização após o serviço que podem ser executados em paralelo com o retorno operacional do duto.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando as tecnologias MND, *Pipe Bursting* e de Vala Convencional na aplicação direta no duto de caso, foi realizado um estudo de viabilidade técnica que resultou na desclassificação do *Pipe Bursting* pelo motivo de não aceitar aplicação em curvas, do *Sliplining* por, além de não aceitar aplicação em curvas, limitar o diâmetro nominal de escoamento e, conseqüentemente na capacidade de escoamento. Tanto o *CIPP* quanto o *SIPP* foram desclassificados por não poderem ser aplicados no duto com sua devida classe de pressão de atuação, sendo considerada mais alta do que a admissível, e no *SIPP* ainda o limitante da aplicabilidade apenas em trechos retos.

Em seguida, foi selecionado a continuidade do estudo com os métodos por Vala Convencional e *Close-fit Lining* por atenderem todas as características construtivas do duto, realizando em sequência uma análise de viabilidade econômica a partir de propostas de mercado. Com a análise, foram comparadas três propostas de três empresas diferentes especialistas em *Close-fit Lining* em conjunto com a por Vala Convencional.

A análise levou em consideração a produção diária do duto quando em operação e, conseqüentemente, seu faturamento diário. Em adicional, levando em consideração a autonomia de não obrigatoriedade de realizar passagens de pig instrumentado no duto durante a vida útil do *liner* aplicado, foi contemplado o custo diário para que se chegue ao montante do valor global da passagem no período de 5 anos e adicionado ao faturamento diário, sob a interpretação que o custo será convertido em lucro após o recondicionamento. Esses valores foram divididos do preço global da proposta e obtido o tempo necessário para que se pague a aplicação de cada tecnologia.

Avaliando o tempo de reabilitação é notório uma diferença que varia de 25% até 55% menor quando utilizado a tecnologia MND em relação a Vala Convencional, podendo ser considerado um fator crítico de decisão caso o duto estivesse em operação, refletindo em retorno operacional mais breve e ganho de produção. Apesar da diferença na etapa de reabilitação, os tempos globais das propostas não variam consideravelmente, com uma diferença máxima de 15 dias.

No comparativo econômico, a tecnologia MND apresentou grande competitividade de aplicação com um retorno financeiro duas vezes mais rápido quando comparado ao de Vala Convencional.

A partir de todas as informações discutidas, conclui-se que a tecnologia MND já é uma realidade para aplicações de recondicionamento na indústria de óleo e gás no Brasil e é indicado pelos resultados como melhor direcionamento para o duto em estudo.

Como sugestões para estudos futuros, sugere-se realizar estudo laboratorial que ateste material inerte com as propriedades do fluido de trabalho, a partir de dados cromatográficos. Além da propriedade química, é de suma importância um estudo mais detalhado acerca das propriedades físicas do material para que garanta sua plena estanqueidade para gás, impedindo que o gás de processo percole pelo material do *liner* e tenha contato com o duto recondicionado.

Em adicional, faz-se necessário maiores estudos de simulação a fim de quantificar o ganho de produção impactado pela redução do coeficiente de atrito entre o fluido e material e seus desdobramento e impactos no faturamento diário do duto e o tempo que cada tecnologia irá se pagar.

## REFERÊNCIAS

A SIDERURGIA EM NÚMEROS. **INSTITUTO AÇO BRASIL**, 2020. Disponível em: [https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2020/04/Mini\\_anuario\\_2020\\_completo.pdf](https://acobrasil.org.br/site/wp-content/uploads/2020/04/Mini_anuario_2020_completo.pdf). Acesso em: 30 jun. 2022.

BERSTLINING: GRABENLOSE LEITUNGSERNEUERUNG IN VORHANDENER TRASSE. **Egeplast**, Sem data de publicação. Disponível em: <https://www.egeplast.de/planer/verlegetechniken/grabenlose-verlegung/berstlining/>. Acesso em: 05 dez. 2021.

Câmbio dólar comercial. **Uol economia**, 2022. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/cotacoes/cambio/>. Acesso em: 02 jul 2022.

CIPP COM CURA UV. **Sanit Engenharia**, 2016. Disponível em: <http://www.sanit.com.br/industria/cipp-com-cura-uv.html>. Acesso em: 08 dez. 2021.

ENGINEERED LINING SYSTEMS. **HK Solutions Group**, 2022. Disponível em: <https://www.hksolutionsgroup.com/locations/engineered-lining-systems>. Acesso em: 05 dez. 2021.

FELÍCIO, E. A. **Estudo da implementação de conceito da produção enxuta para redução de resíduos em uma manufatura do ramo siderúrgico**, 2012. 66p. Tese de conclusão de curso em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2012. Disponível em: [https://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2012\\_1\\_Eduardo.pdf](https://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2012_1_Eduardo.pdf).

INSERÇÃO C-LINING. **Sanit Engenharia**, 2016. Disponível em: <http://www.sanit.com.br/industria/c-lining.html>. Acesso em: 08 dez. 2021.

IDE, E. M.; ROSOSTOLATO, E. **Corrosão em dutos e formas de monitoramento**, 2016. 4p. Artigo técnico publicado. Instituto Federal Fluminense. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Q53qhR7STj4J:https://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/6735/4437+&cd=11&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>.

MISHRA, T. Sliplining or pipe bursting for pipe repair?. **Trenchlesspedia**, 2017. Disponível em: <https://www.trenchlesspedia.com/sliplining-or-pipe-bursting-for-pipe-repair/2/3467>. Acesso em: 05 dez. 2021.

OLIVEIRA, P. A. **Vantagens e desvantagens na reabilitação e recuperação de tubulações subterrâneas, utilizando métodos não destrutivos (MND) em comparação à vala convencional**, 2020. 25p. Tese (Pós-graduação em Engenharia de Infraestrutura Urbana). Complexo Educacional FMU. São Paulo, 2020. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/341953547\\_VANTAGENS\\_E\\_DESVANTAGENS\\_NA\\_REABILITACAO\\_E\\_RECUPERACAO\\_DE\\_TUBULACOES\\_SUBTERRANEAS\\_UTILIZANDO\\_OS\\_METODOS\\_NAO\\_DESTRUTIVOS\\_MND\\_EM\\_COMPARACAO\\_A\\_VALA\\_CONVENCIONAL](https://www.researchgate.net/publication/341953547_VANTAGENS_E_DESVANTAGENS_NA_REABILITACAO_E_RECUPERACAO_DE_TUBULACOES_SUBTERRANEAS_UTILIZANDO_OS_METODOS_NAO_DESTRUTIVOS_MND_EM_COMPARACAO_A_VALA_CONVENCIONAL).

OLIVEIRA, R. G. **Produção e reciclagem de aços inoxidáveis**, 2009. 67p. Tese de conclusão de curso em Engenharia Metalúrgica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/8090/1/monopoli10003735.pdf>.

PIPE BURSTING. **US Trenchless**, 2021. Disponível em: <https://ustrenchless.com/pipe-bursting/>. Acesso em: 18 dez. 2021.

RELIABLE TRIC-LOCK 4-INCH PIPE BURSTING HEADS. **TRICTools**, 2020. Disponível em: <https://www.trictools.com/products/bursting-heads/tric-lock-4-inch/>. Acesso em: 19 dez. 2021.

SERVICES CURED-IN-PLACE-PIPE. **Vietzke Trenchless**, 2011. Disponível em: <https://vietzketrenchless.com/services/cured-in-place-pipe/>. Acesso em: 05 dez. 2021.

SEWER PIPER LINE REPAIR: RELINING VERSUS PIPE BURSTING. **TRICTools**, 2020. Disponível em: <https://www.trictools.com/sewer-pipe-line-repair-relining-versus-pipe-bursting/>. Acesso em: 19 dez. 2021.

SEWER PIPE REPAIRS. **Don't break your floors**, 2019. Disponível em: <http://dontbreakyourfloors.com/Pipe-Repairs.html>. Acesso em: 05 dez. 2021.

TRENCHLESS PIPE BURSTING. **TSR Trenchless**, 2015. Disponível em: <https://tsrtrenchless.com/services/trenchless-pipe-bursting/>. Acesso em: 18 dez. 2021.

WHAT CAN YOU EXPECT FROM PIPES BURSTING VS. LINING?. **TRICTools**, 2020. Disponível em: <https://www.trictools.com/what-can-you-expect-from-pipes-bursting-vs-lining/>. Acesso em: 19 dez. 2021.

What is Cured in Place Pipe (CIPP)?. **Wessler Engineering**, 2015. Disponível em: <https://info.wesslerengineering.com/blog/cured-in-place-pipe-cipp>. Acesso em: 01 jul. 2022.

## APÊNDICE A – FORMULÁRIO DE VIABILIDADE DA EMPRESA A

**Tabela 22 – Apêndice A: Formulário de viabilidade da empresa A**

	<i>Open Trench</i>	<i>Sliplining</i>	<i>Close-fit Lining</i>	<i>Pipe Bursting</i>	<i>CIPP</i>	<i>SIPP</i>
<b>Preço por metro estimado</b>	Não é possível estimar	Não é possível estimar	Não é possível estimar	Não é possível estimar	Não é possível estimar	Não é possível estimar
<b>Aplicação em gasoduto</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Aplicação em oleoduto</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Máxima distância a partir/até ponto de acesso (metros)</b>	NA	2,5km (PrimousLine)	Sem estimativa	120/300m (CIPP UV)	120/240m	NA
<b>Há redução de diâmetro? Existe alguma métrica para dimensionar a redução?</b>	Não	Insignificante	Não é possível estimar			Não
<b>Continuam pigáveis?</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Tempo de reabilitação a partir do início da atividade</b>		Sem estimativa	Sem estimativa			
<b>Há garantia fornecida? Quantos anos?</b>		Com fabricante	Com fabricante	Com fabricante	Com fabricante	
<b>Aplicação em curvas?</b>			Até curvas abertas (3D)	Até curvas fechadas (90° ou próximo)	Até curvas abertas (3D)	
<b>Aplicação em dutos que compartilham faixa</b>		Sim				
<b>Melhora o escoamento (Ex: Diminui o coeficiente de atrito fluido x parede)</b>		Sim				
<b>Duto precisa estar inertizado?</b>						
<b>Limitações da tecnologia:</b>		Depende do fabricante.	Curvas dependem do material	As curvas fechadas de 90° são apenas a de inversão		

**Fonte: Formulário preenchido pela Empresa A**

## APÊNDICE B – FORMULÁRIO DE VIABILIDADE DA EMPRESA B

**Tabela 23 – Apêndice B: Formulário de viabilidade da empresa B**

	<i>Open Trench</i>	<i>Sliplining</i>	<i>Close-fit Lining</i>	<i>Pipe Bursting</i>	<i>CIPP</i>	<i>SIPP</i>
<b>Preço por metro estimado</b>						
<b>Aplicação em gasoduto</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Aplicação em oleoduto</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Máxima distância a partir/até ponto de acesso (metros)</b>	NA				500m	60m
<b>Há redução de diâmetro? Existe alguma métrica para dimensionar a redução?</b>	Não	sim	sim	sim	Considerar no máximo 32mm	Sim, considerar no máximo 5mm
<b>Continuam pigáveis?</b>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<b>Tempo de reabilitação a partir do início da atividade</b>			100/150m por dia		12 horas	48 horas
<b>Há garantia fornecida? Quantos anos?</b>			50 anos		50 anos	-
<b>Aplicação em curvas?</b>			Até curvas abertas (3D)		Até curvas abertas (3D)	Até curvas fechadas (90° ou próximo)
<b>Aplicação em dutos que compartilham faixa</b>			Sim		Sim	Sim
<b>Melhora o escoamento (Ex: Diminui o coeficiente de atrito fluido x parede)</b>			Sim		Sim	Sim
<b>Duto precisa estar inertizado?</b>			Sim		Não	Não
<b>Limitações da tecnologia:</b>			Curvas mais fechadas		Pressão acima de 10bar	Metragem de mangueira em torno de 120m

**Fonte: Formulário preenchido pela Empresa B**



## APÊNDICE C – FORMULÁRIO DE VIABILIDADE DA EMPRESA C

**Tabela 24 – Apêndice C: Formulário de viabilidade da empresa C**

	<i>Open Trench</i>	<i>Sliplining</i>	<i>Close-fit Lining</i>	<i>Pipe Bursting</i>	<i>CIPP</i>	<i>SIPP</i>
<b>Preço por metro estimado</b>						
<b>Aplicação em gasoduto</b>	Sim	Sim			Sim	
<b>Aplicação em oleoduto</b>	Sim	Sim			Sim	
<b>Máxima distância a partir/até ponto de acesso (metros)</b>	NA	1500 metros			300 - 500 metros	
<b>Há redução de diâmetro? Existe alguma métrica para dimensionar a redução?</b>	Não	Sim	Não		Não	
<b>Continuam pigáveis?</b>	Sim	Não			Não	
<b>Tempo de reabilitação a partir do início da atividade</b>		3 dias dependendo das singularidades			3 dias dependendo das singularidades	
<b>Há garantia fornecida? Quantos anos?</b>		50 anos			50 anos	
<b>Aplicação em curvas?</b>		Apenas trechos retos			Apenas trechos retos	
<b>Aplicação em dutos que compartilham faixa</b>		Sim			Sim	
<b>Melhora o escoamento (Ex: Diminui o coeficiente de atrito fluido x parede)</b>		Sim			Sim	
<b>Duto precisa estar inertizado?</b>		Sim			Sim	
<b>Limitações da tecnologia:</b>		O gás permeia pela parede do PEAD e colapsa o liner ao longo do tempo	Idem do Sliplining, com exceção da redução de diâmetro	Trecho curtos. Não se aplica.	Boa solução. Tem limitação de extensão	Não é estrutural

**Fonte: Formulário preenchido pela Empresa C**