

# 1

## Introdução

### 1.1

#### Objetivo

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de um reparo em dutos, que utiliza multicamadas metálicas coladas; estudando seu comportamento e propondo modelos numéricos e analíticos que buscam seu dimensionamento otimizado.

### 1.2

#### Considerações Iniciais

Desde tempos remotos os dutos são muito utilizados para o transporte de fluidos e gases [1]. Por sua eficiência e segurança no transporte de óleo, gás e seus derivados, o uso de dutos se estendeu por todo o mundo, onde a malha global pode ser avaliada em alguns milhões de quilômetros. Com o aumento das necessidades de energia dos mercados, programas privados e governamentais de ampliação das redes dutoviarias são cada vez mais comuns. No entanto, o seu custo de projeto, aquisição e instalação representa um grande investimento inicial, com prazos de retorno de até 30 anos [2]. Sendo assim, o esforço para acrescentar vida útil às redes dutoviarias é perfeitamente justificável.

Devido às condições de trabalho, tais como ambiente corrosivo, possibilidade de serem atingidos por ferramentas em escavações, recalques dos apoios, movimentação de solos, etc, os dutos estão sujeitos a vários tipos de danos, sendo a perda de espessura um dos mais comuns. A corrosão é uma das principais

causas de perda localizada de espessura, que com o passar do tempo pode se tornar acentuada nos dutos de aço. Uma vez detectada uma perda de espessura relevante, procura-se aumentar a vida útil de um duto reparando-se o trecho danificado.

### 1.3

#### **Métodos Convencionais de Reparo para Dutos com Defeitos**

Os tipos de reparos nos dutos podem ser divididos em reparos de contingência, reparos temporários e reparos permanentes [3]. Os reparos de contingência são realizados para minimizar os impactos ao meio ambiente e às pessoas, e viabilizam a execução de reparos temporários ou permanentes. Os reparos temporários são realizados para reforçar as regiões com defeito, procurando devolver a continuidade operacional do duto, o qual posteriormente deve ser substituído por um reparo permanente. Os reparos permanentes devolvem a integridade estrutural ao duto. Exemplos de reparos permanentes são:

- **Corte e Substituição:** consiste na troca do trecho corroído por um segmento de duto novo. É indicado na recuperação de dutos que perderam sua estanqueidade.
- **Dupla Calha Soldada:** consiste em envolver o duto com duas meias calhas soldadas longitudinalmente e circunferencialmente no duto, sem deixar nenhum espaço anular. Estes reparos têm suas variantes que são, por exemplo, reparos feitos com dupla calha com fechamento e aperto por parafusos, entre outros.
- **Dupla Calha com Enchimento:** consiste em envolver o trecho corroído com uma luva de diâmetro maior que o diâmetro do duto. No espaço anular se injeta resina epóxi ou outro material similar sob pressão.
- **Luva de Material Compósito:** consiste em envolver o trecho corroído com mangas de materiais compostos formados por tecido de fibra de vidro e uma matriz de resina.

Cada um dos métodos mencionados apresenta desvantagens. O método de corte e substituição normalmente implica em parada operacional acarretando alto custo. A técnica de dupla calha com soldagem direta apresenta grande risco no caso da linha estar em operação, dependendo do produto circulante. A técnica de dupla calha com enchimento epóxi não é suficientemente rápida, uma vez que exige a construção de um molde com dimensões precisas, o que aumenta o custo e o tempo para a realização do reparo [2]. O reparo com material compósito, devido a seu baixo módulo de elasticidade, trabalha após grandes deformações plásticas terem ocorrido no duto. Estes compostos também podem sofrer degradação com o tempo.

#### 1.4

#### **Alcance do Trabalho**

Este trabalho analisa um novo método de reparo para dutos com defeitos de perda de espessura, que consiste na utilização de multicamadas metálicas que são coladas ao duto com adesivo epóxi. Este método objetiva devolver a integridade estrutural do duto de uma forma simples e econômica.

A resistência de um reparo formado por multicamadas metálicas depende do tipo de arranjo das juntas coladas. Este tipo de reparo se sobrepõe em praticamente toda a área circunferencial do duto, onde se desenvolve a maior tensão causada pela pressão interna.

Para conhecer o comportamento deste tipo de reparo, foram utilizados métodos analíticos, métodos experimentais e o método dos elementos finitos. O uso de uma técnica como os elementos finitos apresenta a grande vantagem de poder considerar a não linearidade do material, já que são levadas em consideração situações de estado limite para o cálculo das pressões que originam a plastificação e a ruptura do duto na região do defeito.

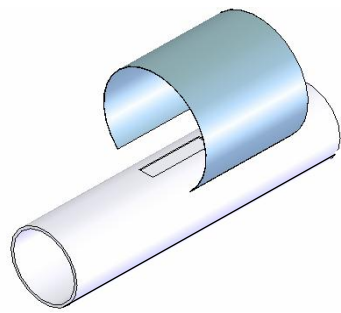
Na abordagem experimental foram testados oito espécimes tubulares, devidamente instrumentados para a obtenção de dados de pressões, variações

volumétricas e deformações ocorridas em pontos localizados de diferentes seções dos espécimes tubulares.

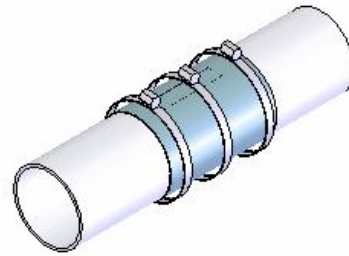
## 1.5

### **Reparo Utilizando Multicamadas Metálicas Coladas**

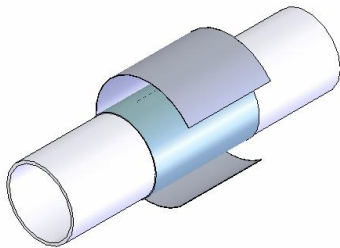
O método de reparo que utiliza multicamadas metálicas consiste na utilização de finas chapas de aço coladas na região do duto que apresenta defeito. As chapas são previamente dobradas por calandragem, têm um comprimento longitudinal igual a quatro vezes o comprimento do defeito, e um comprimento circunferencial 5% menor que a circunferência do duto. As chapas e o duto passam por um tratamento superficial de lixamento e limpeza para garantir a colagem das superfícies. O adesivo epóxi é preparado usando-se uma quantidade de 1280 gramas por metro quadrado (de área sobreposta para a colagem). O adesivo utilizado constituiu na mistura do Araldite® AV 138 e o Endurecedor HV 998 em uma relação de peso de 2.5:1. A mistura tem um tempo de manuseio de aproximadamente 30 minutos na temperatura de 25°C. A superfície interna da primeira camada e a superfície externa do duto são untadas com o adesivo. Esta camada é colocada no duto com sua junção a 180° do defeito e é fixada por braçadeiras durante cinco horas. As duas camadas seguintes são coladas segundo o mesmo procedimento, com cada junção posicionada a 90° da junção da primeira camada, sem a coincidência de junções. No caso de utilizar-se uma quarta camada, esta é montada na mesma posição da primeira. Após da cura do adesivo as camadas e o duto formam um só corpo. O procedimento é mostrado na figura 1.1.



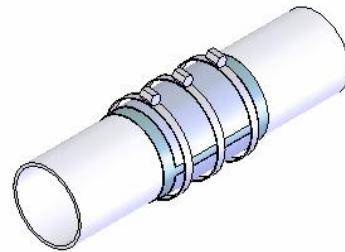
Colagem da primeira camada  
Junção a 180° do defeito



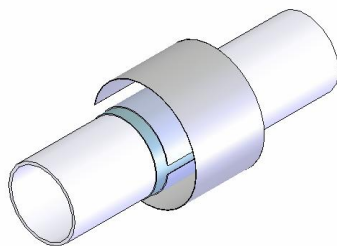
Braçadeiras fixam a primeira  
camada



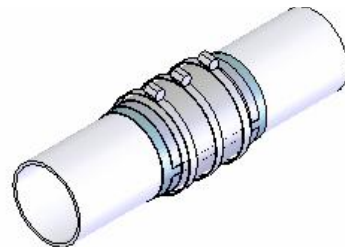
Colagem da segunda camada  
Junção a -90° do defeito



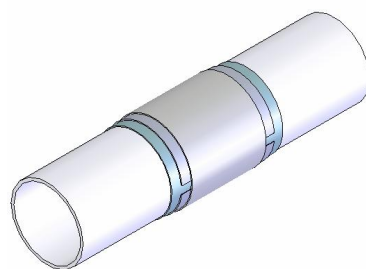
Braçadeiras fixam a segunda  
camada



Colagem da terceira camada  
Junção a 90° do defeito



Abraçadeiras fixam a terceira  
camada



Reparo final de três camadas

Figura 1.1 – Aplicação de um reparo com três camadas.

## 1.6

### Roteiro da Dissertação

Esta dissertação foi dividida em sete capítulos: um de introdução (este), cinco de desenvolvimento e um de conclusões. A seguir estão listados os tópicos principais de cada capítulo.

- Capítulo 2: são apresentados conceitos básicos da integridade estrutural em dutos e se faz o resumo da pesquisa bibliográfica na qual se sustenta parte do estudo feito.
- Capítulo 3: é feita a modelagem numérica descrevendo passo a passo o seu desenvolvimento, estuda-se a influência das não linearidades e se apresentam os resultados dos diferentes modelos numéricos desenvolvidos.
- Capítulo 4: apresenta-se o modelo analítico, onde as equações nas quais se baseia este modelo são deduzidas e aplicadas nos regimes de comportamento achados no capítulo anterior. Mostra-se também um programa para facilitar a aplicação da modelagem.
- Capítulo 5: é feita a abordagem experimental, que inclui a preparação e instrumentação dos espécimes tubulares, a descrição do dispositivo experimental e a análise dos resultados.
- Capítulo 6: é feita a comparação dos resultados, mediante os quais podem ser avaliados os modelos numéricos e analíticos. Também se apresenta um exemplo de aplicação onde se projeta e analisa um reparo de multicamadas metálicas a partir da modelagem desenvolvida.
- Capítulo 7: são feitas as conclusões sobre a eficácia do método de reparo proposto.