



APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO RÍGIDO DE ALTA PERFORMANCE EM TUBULAÇÃO: MITIGAÇÃO DA CORROSÃO E REDUÇÃO DE INTERVENÇÕES



DADOS DO CASE

Categoria:

Segurança

Autores:

- Wildenbergery Pereira Lucas - Nacional Gás.
Contatos: wildenbergery.lucas@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Plínio Ricardo Martins - Nacional Gás.
Contato: plinio.martins@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Arlei Andrade da Silva - Nacional Gás.
Contatos: arlei.silva@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Paula Silva Marques - Nacional Gás.
Contatos: paula.marques@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Francisco Jackson de Sousa Forte.
Contatos: jackson.forte@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Nicolas Daniel Gomes Silva - Nacional Gás / Grupo Portfolio
Contato: t_nicolas.daniel@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Leandro Schimitt - Nacional Gás
Contatos: leandro.schimitt@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Roberto Rivelino Moura Barroso – Nacional Gás
Contatos: rivelino.barroso@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Pedna Aline Baltazar de Azevedo - Nacional Gás / Grupo Portfolio
Contato: t_aline.azevedo@nacionalgas.com.br / (085) 3466.8921
- Sérgio Sanches – END-TECH
Contato: sergiosanches@endtechba.com.br / (071) 98660-6197



RESUMO

O artigo apresenta a aplicação de revestimentos estruturais com compósitos avançados como solução para a corrosão em tubulações metálicas utilizadas em sistemas de GLP, combate a incêndio e ar comprimido nas unidades distribuidoras da Nacional Gás. As bases localizadas em regiões litorâneas enfrentavam degradação acelerada devido à ação contínua da maresia e à elevada concentração de cloretos, principalmente o cloreto de sódio (NaCl), que intensificavam os processos de oxidação. A deterioração progressiva das paredes das tubulações reduzia a espessura efetiva e a pressão de trabalho admissível, comprometendo a integridade estrutural e elevando o risco de vazamentos, incêndios e paradas não programadas.

Para mitigar esses impactos, foi conduzida uma análise detalhada dos mecanismos de corrosão, considerando fatores como acúmulo de umidade, contato metálico direto e esforços mecânicos concentrados. A partir desse diagnóstico identificou-se o potencial técnico dos compósitos estruturais - tecnologia amplamente utilizada nos setores aeronáutico e *offshore* - para adaptação ao contexto industrial do GLP. O sistema desenvolvido combina tecidos biaxiais de fibra e resinas epóxi de alta performance, formando um revestimento de elevada resistência mecânica e química, capaz de isolar a superfície metálica e restaurar a capacidade estrutural original da tubulação.

As primeiras aplicações foram realizadas nas tubulações do sistema de combate a incêndio enterradas da base de Mataripe (BA), ambiente de alta agressividade devido à proximidade com o mar. Os resultados vêm sendo acompanhados desde a implantação e apresentam excelente desempenho, sem indícios de corrosão, delaminação ou perda de integridade. A solução demonstrou grande eficiência na proteção e reforço estrutural, com vida útil projetada superior a 20 anos, representando uma alternativa duradoura e economicamente vantajosa em comparação a métodos convencionais de pintura.

A inovação representa um marco no segmento de armazenamento e distribuição de GLP, ao adaptar um conceito consolidado em setores de alta tecnologia para uma nova finalidade industrial. O uso de compósitos avançados introduz um novo paradigma



de manutenção preditiva e sustentabilidade, reforçando o compromisso da Nacional Gás com a inovação, segurança operacional e confiabilidade de seus sistemas críticos.



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	Histórico da Nacional Gás Distribuidora Ltda	8
1.2	Histórico da END-TECH Engenharia	9
1.3	Cenário Atual	9
2.	PROBLEMAS ENCONTRADOS.....	10
2.1	Degradação prematura de tubulações e suportes metálicos, causada por exposição contínua à maresia	11
2.2	Aumento dos custos de manutenção corretiva, com necessidade de repinturas e substituições frequentes;	13
2.3	Redução da confiabilidade operacional, devido a paradas não programadas.....	13
2.4	Risco de vazamentos em sistemas críticos, com impactos ambientais e de segurança....	14
2.5	Desgaste localizado em curvas, uniões e juntas de solda, pontos mais suscetíveis à corrosão e à abrasão	15
2.6	Falha em revestimento externo em tubulações enterradas	16
3.	OBJETIVO	17
3.1	Objetivo Geral	17
3.2	Objetivo específico	17
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
4.1	Corrosão	18
4.2	Maresia.....	19
4.3	Revestimento de proteção para tubulações em aço carbono.....	20
5.	MÉTODOS	21
5.1	Levantamento de dados	21
5.2	Desenvolvimento do conceito	22
5.3	Identificação da inovação	23
5.4	Implantação	24
6.	RESULTADOS	24
6.1	Levantamento de dados	24
6.2	Desenvolvimento do conceito	24
6.3	Identificação da inovação	25
6.4	Implantação	25



7. CONCLUSÃO 39

8. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 40



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corrosão De Tubulação	10
Figura 2 - Tubulações corroídas Industriais	11
Figura 3 - Tubulação co Sistema de Combate a Incêndio furada devido a ação da Maresia	12
Figura 4 - Imagem aproximada de tubulação furada devido a ação da Maresia	12
Figura 5 - Volume de GLP Congelado.....	14
Figura 6 - Tubulações Corroídas Industriais	16
Figura 7 - Furo em Tubulação de GLP ocasionado por falha no Revestimento.....	17
Figura 8 - Destaque para o furo em tubulação de GLP ocasionado por falha no Revestimento	17
Figura 9 - Trecho de tubulação com aplicação de revestimentos convencionais por distemas compósitos com tecido Biaxial 1808 e Resina Epóxi de Alta Performance	19
Figura 10 - Aplicação de revestimentos estruturais com compósitos avançados.....	23
Figura 11 - Tecido Biaxial 1808	26
Figura 12 -Centerpol L-500	27
Figura 13 - Center Meck 500	28
Figura 14 - Encamisamento da Tubulação	29
Figura 15 - Encamisamento da Tubulação	33
Figura 16 - Tecido Biaxial 1808 Aplicado.....	34
Figura 17 – Aplicação da Resina no Tecido	34
Figura 18 – Aplicação da Resina no Tecido	34
Figura 19 – Finalização da aplicação do Revestimento do Trecho	35
Figura 20 - Resina após o Período de Cura	36
Figura 21 - Tubulação com revestimento sendo instalada enterrada.....	36



1 INTRODUÇÃO

1.1 Histórico da Nacional Gás Distribuidora Ltda

A história da Nacional Gás se inicia em 1951, com um jovem empreendedor chamado Edson Queiroz que percebeu mudanças que estavam ocorrendo no mercado mundial na época e trouxe as mesmas para realidade dos cearenses. No início houve uma grande resistência da população devido ao receio do GLP, no entanto o jovem Edson conseguiu convencer a população de Fortaleza a deixar os antigos fogões a lenha pelos novos fogões que utilizavam o novo produto. No início a empresa teve enormes dificuldades, pois além do grande preconceito do povo nordestino com o produto, ainda era difícil a obtenção de GLP, pois o produto era importado do México e Estados Unidos e ainda existia a dificuldade de distribuição dele. Para conseguir superar esses obstáculos foi preciso que o jovem empresário passasse a vender fogões, além de ter que ir pessoalmente nas casas dos clientes para fazer a instalação e informar sobre as vantagens dos novos produtos.

Em 1953, após uma ação arrojada, Edson Queiroz obteve a autorização para carregar seus botijões de gás na Refinaria Landulfo Alves em Mataripe/BA. A partir desta concessão, a Edson Queiroz & Cia., que tinha 289 clientes e comercializava 2,9 toneladas por mês, a partir dessa ação foram reduzidos os custos para obtenção do GLP, conseguindo progressos significativos na distribuição. Por outro lado, o mercado continuava crescendo com a disruptiva do preconceito dos consumidores em Fortaleza. Foi quando a empresa iniciou um crescimento e ampliou para outros estados do Brasil, além deste fato, também se estendeu para outras atividades econômicas.

A Nacional Gás chega aos dias atuais com foco na modernidade, com destaque nacional na comercialização de envasados domiciliar e crescendo cada vez mais no setor granel, graças ao reconhecimento e preferência dos seus parceiros de negócios, clientes e consumidores. Atuando no armazenamento, envase e distribuição de GLP, está presente em quase todo o território nacional.



1.2 Histórico da END-TECH Engenharia

A END-TECH Engenharia é uma empresa nacional especializada em soluções de engenharia voltadas à integridade de ativos e proteção anticorrosiva, com forte atuação nos setores industrial, energético, petroquímico e de infraestrutura. Fundada com o propósito de oferecer soluções técnicas sob medida, a END-TECH alia experiência de campo, inovação e alto rigor técnico em todas as etapas - do diagnóstico à execução - garantindo confiabilidade, eficiência e durabilidade às estruturas onde atua.

Seu portfólio abrange serviços de revestimentos industriais de alto desempenho, recuperação estrutural, engenharia de manutenção, inspeções técnicas e aplicação de compósitos estruturais, com destaque para o uso do Tecido Biaxial 1808 em sistemas de revestimento anticorrosivo de tubulações enterradas e expostas. Essa tecnologia reforça a integridade mecânica dos dutos, assegurando resistência à corrosão, abrasão e impacto, além de prolongar a vida útil operacional dos ativos industriais.

Com uma equipe multidisciplinar formada por engenheiros, técnicos e especialistas certificados, a END-TECH conduz seus projetos dentro das normas ABNT, API, NACE e ISO, integrando as melhores práticas de engenharia e segurança. O uso de resinas estruturais epóxi e viniléster, somado a processos de jateamento e preparação controlada de superfície, garante excelência na aderência, desempenho e acabamento dos revestimentos.

Reconhecida pela precisão técnica, pela pontualidade na entrega e pela capacidade de atuar em ambientes complexos e críticos, a END-TECH Engenharia se consolida como parceira estratégica de grandes companhias brasileiras, agregando valor por meio da engenharia aplicada e de soluções que unem tecnologia, sustentabilidade e resultados de longo prazo.

1.3 Cenário Atual

Nas unidades da Nacional Gás, as tubulações responsáveis pela condução de fluidos industriais - como GLP, sistemas de combate a incêndio (SCI) e ar comprimido - são tradicionalmente confeccionadas em aço carbono e protegidas por sistemas de pintura industrial. Embora essa metodologia seja amplamente utilizada, sua eficiência

tem se mostrado limitada frente às condições operacionais severas presentes em diversas bases, especialmente nas unidades localizadas em regiões litorâneas.

Essas tubulações estão continuamente expostas a ambientes agressivos, sujeitos à incidência de raios solares, chuva, umidade, poeira e variações térmicas. Em áreas costeiras, o desafio é ainda maior: a presença constante da maresia e de altas concentrações de cloretos, principalmente o cloreto de sódio (NaCl), acelera os processos de oxidação e corrosão. Esse fenômeno compromete a espessura das paredes dos tubos, reduz a pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) e aumenta os custos de manutenção corretiva e preventiva.

Figura 1 - Corrosão de Tubulação



Ficheiro: Corroded pipe.jpg - Wikimedia Commons

Diante desse cenário, a Nacional Gás vem avançando na modernização de seus sistemas, adotando tecnologias de revestimento estrutural com compósitos de alta performance.

2. Problemas encontrados

Nas unidades da Nacional Gás situadas em regiões litorâneas e de alta umidade, a corrosão acelerada das tubulações metálicas tornou-se um dos principais desafios de manutenção e confiabilidade operacional. O sistema de pintura convencional, utilizado como barreira anticorrosiva primária, mostrou-se insuficiente frente à agressividade ambiental - marcada pela presença constante de sais, cloretos e variações térmicas diárias.

Com o passar do tempo, foi identificado o desgaste progressivo de linhas de condução, válvulas e conexões, principalmente nas áreas expostas e enterradas. A perda gradual de espessura dos tubos reduzia a pressão de trabalho admissível e comprometia a integridade do sistema, gerando vazamentos, corrosão sob revestimento (CUI) e necessidade de intervenções corretivas recorrentes. Além dos riscos à segurança e à operação, essas falhas implicavam aumento de custos diretos e indiretos, interrupções de serviço e elevação do tempo médio entre falhas (MTBF).

Figura 2 - Tubulações corroídas industriais



https://www.shutterstock.com/pt/search/corrosion-pipeline?utm_source

Entre os principais problemas observados, destacam-se:

2.1 Degradação prematura de tubulações e suportes metálicos, causada por exposição contínua à maresia

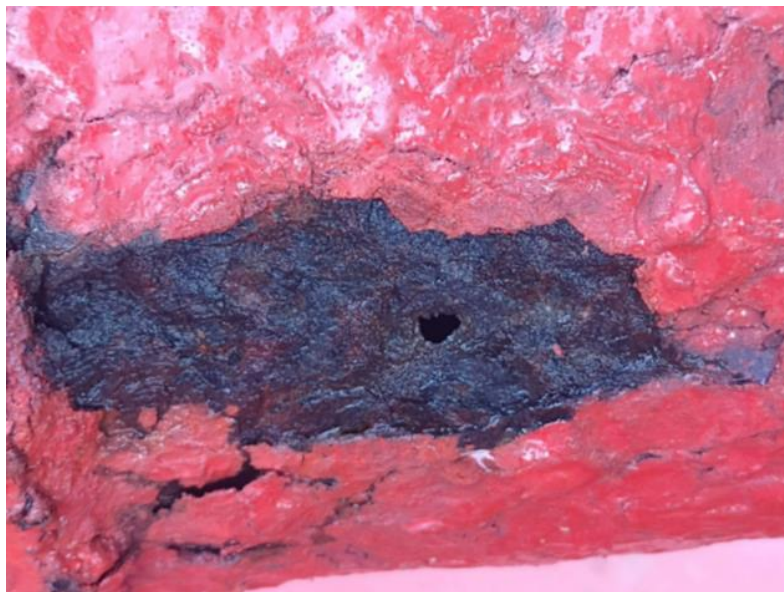
Em regiões litorâneas, a presença constante da maresia e as altas concentrações de cloretos, especialmente o cloreto de sódio (NaCl), intensificam os processos de oxidação e corrosão. Essa degradação reduz a espessura das paredes das tubulações, diminuindo a pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) e elevando os custos de manutenção corretiva e preventiva. A perda acelerada de espessura, conforme figuras 3 e 4, compromete a resistência estrutural e pode culminar no colapso de linhas de GLP, um dos cenários mais críticos na indústria, com risco de incêndios, explosões e sérias consequências humanas e patrimoniais.

Figura 3 - Tubulação do Sistema de Combate a Incêndio furada devido a ação da maresia



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 4 - Imagem aproximada de tubulação furada devido a ação da maresia



Fonte: Elaborada pelo autor

Além dos danos físicos e operacionais, os impactos se estendem ao meio ambiente e à reputação corporativa. Vazamentos de grande porte podem causar contaminação do solo e de lençóis freáticos, demandando ações corretivas complexas e onerosas. Ao mesmo tempo, a repercussão negativa junto à sociedade, órgãos reguladores e clientes abala a credibilidade da empresa, tornando a perda de integridade de vasos de pressão não apenas um problema técnico, mas um risco estratégico à sustentabilidade do negócio.



2.2 Aumento dos custos de manutenção corretiva, com necessidade de repinturas e substituições frequentes;

Intervenções corretivas provoca desvio orçamentário e elevação dos custos operacionais das unidades. Com isso, parte significativa dos recursos destinados a melhorias e inovações acaba sendo redirecionada para ações emergenciais, reduzindo a capacidade de investimento em soluções estruturais de longo prazo. Essa condição cria um ciclo vicioso de correção reativa, em que os reparos momentâneos substituem medidas preventivas mais eficazes, comprometendo a eficiência do planejamento de manutenção.

Além do impacto financeiro, a priorização de emergências causa atrasos nos cronogramas de manutenção preventiva e sobrecarga das equipes técnicas, aumentando a exposição a riscos operacionais durante as intervenções. A falta de intervalos adequados entre os ciclos de manutenção também favorece a perda de garantia de integridade estrutural dos sistemas, ampliando o risco de falhas críticas. Com isso, a operação se torna mais vulnerável a interrupções não programadas e à degradação progressiva dos ativos, afetando diretamente a confiabilidade e a segurança das instalações.

2.3 Redução da confiabilidade operacional, devido a paradas não programadas

A ocorrência de falhas decorrentes da corrosão e do desgaste de componentes metálicos pode gerar interrupções inesperadas no processo produtivo, resultando em perda direta de produtividade e redução da eficiência global das unidades. Essas paradas não programadas comprometem o cumprimento das metas e compromissos, exigindo replanejamento de cargas, redistribuição de recursos e, em alguns casos, horas extras ou operação em regime emergencial para compensar o atraso. A instabilidade operacional decorrente dessas interrupções impacta o equilíbrio do processo e aumenta a dependência de ações corretivas imediatas.

Além disso, o aumento do índice de falhas operacionais e da variabilidade nos indicadores de desempenho afeta a previsibilidade das operações e gera impactos em cadeia sobre sistemas interdependentes. Quando um desses setores sofre parada, os demais também são afetados, criando gargalos e reduzindo a eficiência do fluxo. Essa

situação recorrente reduz a confiança da gestão na estabilidade do processo, dificultando o planejamento estratégico e comprometendo a credibilidade das projeções de desempenho da planta.

2.4 Risco de vazamentos em sistemas críticos, com impactos ambientais e de segurança

A ocorrência de vazamentos em sistemas críticos, como na figura 5, que mostra a imensa massa de GLP congelado impregnado de terra, representa um dos cenários de maior gravidade para a operação industrial, podendo resultar em acidentes com potencial de incêndio ou explosão.

Figura 5 - Volume de GLP congelado



Fonte: Elaborada pelo autor

Além do risco direto à integridade física dos colaboradores, há a possibilidade de contaminação do solo e da atmosfera, o que gera passivos ambientais significativos e pode acarretar sanções legais e administrativas. Nessas situações, é comum a necessidade de evacuação emergencial e o acionamento imediato dos planos de contingência, exigindo resposta rápida e coordenada entre as equipes de operação, manutenção e segurança.

Os impactos não se restringem ao evento em si, mas se estendem ao ambiente organizacional e à continuidade do negócio. A interrupção total das atividades até a



completa estabilização e inspeção da área afetada ocasiona perdas operacionais expressivas e compromete o cronograma de produção. Além disso, os incidentes dessa natureza afetam a imagem institucional e a credibilidade da empresa perante órgãos reguladores, comunidade local e parceiros comerciais, exigindo esforços adicionais de comunicação e reconstrução da confiança.

2.5 Desgaste localizado em curvas, uniões e juntas de solda, pontos mais suscetíveis à corrosão e à abrasão

O desgaste localizado em curvas, uniões e juntas de solda pode originar vazamentos pontuais de difícil detecção, sobretudo em trechos encobertos, subterrâneos ou com isolamento térmico. Esses pequenos vazamentos tendem a evoluir de forma silenciosa até gerar rupturas súbitas em linhas pressurizadas, resultando na liberação não controlada de gás ou fluido. Além do risco imediato à segurança, a perda de estanqueidade reduz a integridade estrutural das juntas e compromete a confiabilidade do sistema como um todo, exigindo intervenções corretivas cada vez mais frequentes.

Como consequência, torna-se necessária a realização de paradas específicas para reparos localizados, o que impacta diretamente a disponibilidade global da planta e interfere no fluxo operacional. Em casos mais severos, o comprometimento de um ponto crítico pode desencadear falhas em cascata, afetando o desempenho de todo o conjunto interligado de tubulações e suportes. Esse tipo de ocorrência não apenas reduz a eficiência do processo, mas também eleva os custos de manutenção e o tempo de indisponibilidade, evidenciando a importância de inspeções periódicas e monitoramento contínuo da integridade dos materiais.

Figura 6 - Tubulações corroídas industriais



https://www.shutterstock.com/pt/search/corrosion-pipeline?utm_source

2.6 Falha em revestimento externo em tubulações enterradas

As tubulações enterradas estão sujeitas a diversos mecanismos de degradação e esforços externos, tais como falhas no revestimento externo e processos de corrosão, danos mecânicos ocasionados por terceiros, movimentação do solo, instabilidade geotécnica, fadiga e fratura decorrentes de cargas cíclicas. A exposição contínua à umidade e a solos com elevada agressividade química favorece o desenvolvimento de corrosão localizada (pitting corrosion) e consequente redução da espessura da parede do tubo.

Esses fenômenos podem resultar em vazamentos ou até no rompimento total da tubulação, ocasionando perdas de produto e contaminação do meio ambiente. A perda de contenção do GLP representa um risco significativo devido à sua densidade superior à do ar, o que facilita sua migração e acúmulo em áreas subterrâneas, galerias e caixas de inspeção. Estudos de modelagem demonstram que a dispersão do GLP em espaços confinados pode originar atmosferas explosivas distantes do ponto de vazamento, ampliando o raio de risco e a severidade dos acidentes (CHEN et al., 2021). Além das consequências de segurança, o vazamento de GLP acarreta impactos ambientais e econômicos significativos. As Figuras 7 e 8 representam falha em revestimento que culminou em furo da tubulação de GLP.

Figura 7 - Furo em tubulação de GLP ocasionado por falha no revestimento



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 8 - Destaque para o furo em tubulação de GLP ocasionado por falha no revestimento



Fonte: Elaborada pelo autor

3. Objetivo

3.1 Objetivo Geral

Demonstrar os resultados obtidos com a implementação do uso de revestimento estrutural com compósitos avançados em tubulações metálicas que proporcionou proteção mecânica e estrutural, eliminando a ocorrência de corrosão, trazendo melhora no desempenho operacional, através da redução de intervenções, e confiabilidade do processo.

3.2 Objetivo específico

- Desenvolver revisão bibliográfica baseada em livros, normas e artigos;
- Apresentar o fluxo de trabalho adotado para a implementação da aplicação de revestimento estrutural com compósitos avançados em tubulações metálicas;
- Demonstrar os resultados obtidos com a aplicação dessa inovação, evidenciando os impactos nas operações e a eficiência dos projetos industriais da Nacional Gás.



4. Revisão bibliográfica

4.1 Corrosão

A corrosão é um dos fenômenos mais críticos que afetam a integridade e a vida útil das tubulações metálicas utilizadas na indústria de GLP. Trata-se de um processo natural de degradação eletroquímica em que o metal reage com o meio ambiente, resultando na perda de espessura e, conseqüentemente, na redução da resistência mecânica e da pressão máxima de trabalho admissível (PMTA).

Segundo a AMPP (antiga NACE International), os custos globais da corrosão ultrapassam US\$ 2,5 trilhões por ano, representando cerca de 3,4% do PIB mundial, enquanto no Brasil esse impacto chega a 3% do PIB nacional - aproximadamente R\$ 261 bilhões anuais. Estudos indicam que a adoção de práticas adequadas de proteção pode reduzir esses custos em até 35%, evidenciando a importância da gestão preventiva e da aplicação de tecnologias de mitigação.

De forma simplificada, a oxidação ocorre quando o metal perde elétrons e se degrada, enquanto a redução ocorre quando outra substância ganha elétrons, completando o ciclo eletroquímico. Nos aços carbono, essa reação resulta na formação de óxidos de ferro - conhecidos como ferrugem -, que avançam progressivamente até a falha do material.

Os principais mecanismos de corrosão podem ser classificados em três grupos:

- Corrosão química - ocorre pela reação direta entre o metal e substâncias agressivas, como oxigênio, gases ou ácidos, sem a presença de corrente elétrica;
- Corrosão eletroquímica - manifesta-se quando diferentes áreas de um mesmo metal ou metais distintos entram em contato com um eletrólito, gerando uma célula galvânica que acelera o desgaste;
- Corrosão eletrolítica - associada à passagem de corrente elétrica externa, geralmente causada por falhas de aterramento, que geram microfuros e perda localizada de material.

As formas de corrosão mais recorrentes nas tubulações industriais são:

- Uniforme, quando o desgaste ocorre de maneira homogênea sobre toda a superfície;
 - Galvânica, provocada pela diferença de potencial entre metais distintos;
 - Em frestas ou pitting, concentrada em regiões com acúmulo de umidade e sais, formando cavidades profundas e de difícil detecção;
 - Por erosão, resultante do atrito de fluidos e partículas em movimento;
 - Sob tensão, causada pela combinação de esforços mecânicos e ambiente corrosivo.
- Compreender esses mecanismos é fundamental para selecionar corretamente os sistemas de proteção e os materiais empregados. No caso da Nacional Gás, a substituição dos revestimentos convencionais por sistemas compósitos com Tecido Biaxial 1808 e resina epóxi de alta performance, conforme figura 9, representa uma evolução técnica no controle da corrosão, garantindo maior durabilidade, segurança e eficiência às suas instalações.

Figura 9 - Trecho de tubulação com aplicação de revestimentos convencionais por sistemas compósitos com Tecido Biaxial 1808 e resina epóxi de alta performance



Fonte: Elaborada pelo autor

4.2 Maresia

A maresia é um fenômeno ambiental caracterizado pela presença de partículas de sal e umidade transportadas do mar para áreas costeiras pela ação do vento. Essa combinação de salinidade e umidade cria um ambiente altamente agressivo para materiais metálicos, acelerando processos de corrosão atmosférica. Estudos indicam que os cloretos presentes na maresia, principalmente o cloreto de sódio (NaCl), são os

principais responsáveis pelo comprometimento de revestimentos protetivos e pela oxidação de superfícies metálicas expostas (Fontana, 2005; Pourbaix, 1974).

Na literatura técnica, é amplamente reconhecido que a corrosão em ambientes litorâneos apresenta características específicas, como ataque localizado em juntas, soldas e superfícies com trincas ou fissuras, onde a concentração de sais se torna mais intensa (Revie & Uhlig, 2011). Diversos autores destacam que a exposição contínua à maresia não apenas reduz a vida útil de tubulações, suportes e estruturas metálicas, mas também aumenta os custos de manutenção corretiva, devido à necessidade de repinturas frequentes, inspeções periódicas e substituições de componentes (ASM International, 2000). Estratégias de mitigação incluem o uso de ligas resistentes à corrosão, aplicação de revestimentos especiais, barreiras físicas, manutenção preventiva e monitoramento constante da integridade dos materiais (Melchers, 2003; Uhlig, 2008). Além dos impactos físicos sobre os materiais, a maresia tem implicações econômicas e operacionais, pois falhas prematuras em sistemas críticos podem gerar interrupções na produção, riscos ambientais e ameaças à segurança de trabalhadores (Baboian, 2005). Dessa forma, a compreensão dos mecanismos de corrosão em ambientes marinhos e a adoção de técnicas preventivas são essenciais para a engenharia de manutenção, garantindo a confiabilidade e a segurança das instalações industriais localizadas em regiões costeiras.

4.3 Revestimento de proteção para tubulações em aço carbono

A proteção de tubulações em aço carbono contra corrosão é um aspecto crítico na engenharia industrial, especialmente em ambientes agressivos, como áreas litorâneas ou industriais. Diversos estudos indicam que a aplicação de revestimentos protetivos, como epóxi, poliuretano ou sistemas multicamadas, é uma das estratégias mais eficazes para prolongar a vida útil das tubulações (Fontana, 2005; Revie & Uhlig, 2011; ASM International, 2000). Esses revestimentos atuam como barreiras físicas, prevenindo o contato direto do metal com agentes corrosivos, incluindo água, oxigênio e sais presentes na maresia (Melchers, 2003). Além disso, a escolha do tipo de revestimento deve considerar fatores como adesão, resistência mecânica, compatibilidade com o

fluido transportado e durabilidade sob condições operacionais específicas (Baboian, 2005; Uhlig, 2008).

A eficácia dos revestimentos é avaliada por normas e testes padronizados, garantindo que a proteção seja adequada às condições de operação. Entre os métodos mais utilizados estão o teste de aderência por fita (ASTM D 3359 – 17) e a avaliação do grau de oxidação superficial (ASTM D 610 – 08), que permitem monitorar a integridade do revestimento ao longo do tempo e orientar a manutenção preventiva (Baboian, 2005). A aplicação correta de revestimentos protetivos, associada a inspeções periódicas e estratégias de manutenção planejada, contribui para reduzir custos com reparos emergenciais, aumentar a confiabilidade operacional e minimizar riscos de falhas em sistemas críticos (Fontana, 2005; Revie & Uhlig, 2011).

5. Métodos

A metodologia desse trabalho, apresentado no fluxo, inclui um estudo mais aprofundado sobre oportunidade de melhoria na execução de projetos que envolvem a instalação de tubulação de aço carbono para condução de fluídos como GLP, água e ar comprimido, em uma base de distribuição de GLP, e obtenção de informações em artigos sobre os conceitos e fundamentos dos estudos associados ao tema, metodologia tecnológica, implantação da tecnologia, e medição dos resultados.



5.1 Levantamento de dados

O trabalho de análise técnica aprofundada conduzido pelo corpo de engenharia da Nacional Gás teve como ponto de partida a consolidação de informações provenientes dos relatórios de inspeção das tubulações, emitidos conforme os programas periódicos de integridade mecânica definidos na NR13, e registros de



manutenções corretivas. Os registros permitiram identificar um índice maior de necessidades de intervenções, seja preventiva ou corretiva, em tubulações enterradas.

Foram avaliados parâmetros como tipo de revestimento, histórico de manutenção e condições microclimáticas locais, permitindo correlacionar a ocorrência de corrosão com variáveis ambientais e construtivas. Esse cruzamento de informações possibilitou uma visão abrangente do problema, subsidiando a priorização das unidades mais críticas e o planejamento das intervenções.

Complementarmente, visitas técnicas in loco e o acompanhamento de reparos realizados pelas equipes de manutenção confirmaram a gravidade e a abrangência da problemática. Durante essas inspeções, foram observadas situações em que o avanço da corrosão comprometia não apenas a integridade superficial, mas também a espessura residual da parede das tubulações - condição que, se não tratada tempestivamente, poderia evoluir para perda de contenção do produto. Esses achados reforçaram a necessidade de uma atuação imediata e coordenada, tanto para correção dos danos já identificados quanto para prevenção de novas ocorrências em outras unidades do grupo.

5.2 Desenvolvimento do conceito

A partir do levantamento detalhado das ocorrências de corrosão nas tubulações, tornou-se evidente a necessidade de um novo conceito que atuasse de forma preventiva, eliminando a causa raiz do problema. O corpo técnico da Nacional Gás, em conjunto com a empresa E END-TECH Engenharia, iniciou então uma série de estudos voltados à compreensão dos mecanismos de corrosão envolvidos. Esse diagnóstico direcionou a busca por uma solução que pudesse combinar resistência mecânica, isolamento da superfície metálica e durabilidade frente às condições de operação em campo.

Com base nessa análise, foram investigadas diferentes soluções. O conceito buscou aproveitar de tecnologias existentes já validadas em outros segmentos. Essa abordagem inovadora surgiu como alternativa técnica de alto potencial, conciliando viabilidade prática, facilidade de aplicação e ganhos expressivos em vida útil e segurança dos equipamentos.

5.3 Identificação da inovação

Com base no levantamento detalhado das ocorrências de corrosão nas tubulações metálicas e na análise dos impactos operacionais e de segurança, foi identificada como solução inovadora a aplicação de revestimentos estruturais com compósitos avançados, conforme figura 10:

Figura 10 - aplicação de revestimentos estruturais com compósitos avançados



Fonte: Elaborada pelo autor

Esses materiais, amplamente utilizados em setores de alta engenharia para reforço estrutural e proteção contra agentes agressivos, demonstraram potencial técnico para adaptação ao contexto industrial das tubulações de aço carbono da Nacional Gás. A escolha dessa tecnologia considerou suas propriedades de resistência mecânica, durabilidade frente à maresia e agentes químicos, além da capacidade de isolamento das superfícies metálicas, reduzindo significativamente os pontos críticos de corrosão.

A aplicação do revestimento estrutural com compósitos avançados representa uma inovação inédita no segmento de distribuição de GLP, ao transferir conceitos consolidados em outros ramos da engenharia para uma nova finalidade industrial. Essa abordagem inovadora não apenas aumenta a vida útil das tubulações, mas também promove maior segurança operacional, diminui a necessidade de manutenção corretiva e fortalece a confiabilidade do sistema. A identificação desta solução resultou de um processo estruturado de diagnóstico, estudo de alternativas e adaptação de tecnologias existentes, conciliando viabilidade prática, eficiência técnica e benefícios estratégicos para a operação.



5.4 Implantação

A inovação foi implantada nas tubulações enterradas do sistema de combate a incêndio da Unidade da Nacional Gás de Mataripe – BA.

6. Resultados

6.1 Levantamento de dados

As visitas in loco dos profissionais do corpo de engenharia da Nacional Gás, cancelaram a efetividade da implementação, uma vez que a solução aplicada resistiu, visualmente e mantiveram a pressão de teste durante os ensaios de estanqueidade realizados, as condições impostas e não houve ocorrência de vazamentos desde a sua implantação.

6.2 Desenvolvimento do conceito

Com foco na eliminação das ocorrências de corrosão e degradação prematura das tubulações metálicas expostas à maresia, foi conduzido um estudo aprofundado dos mecanismos responsáveis pelo processo corrosivo, considerando fatores como elevada concentração de cloretos, variações de umidade e limitações dos revestimentos convencionais. A análise técnica realizada pelo corpo de engenharia da Nacional Gás, em conjunto com a empresa END-TECH Engenharia, indicou a necessidade de uma solução que combinasse propriedades estruturais e de proteção superficial, atuando de forma integrada contra o avanço da corrosão.

A partir desse diagnóstico, a utilização de revestimentos estruturais com compósitos avançados foi identificada como a alternativa de melhor desempenho entre as tecnologias avaliadas. Esses materiais apresentam alta resistência mecânica, excelente aderência ao substrato metálico e elevada durabilidade frente às condições ambientais agressivas, garantindo isolamento efetivo da superfície e reforço da integridade das tubulações. A aplicação dessa tecnologia resultou em um conceito preventivo e estruturalmente eficiente, capaz de estender a vida útil dos equipamentos e reduzir de forma significativa a necessidade de intervenções corretivas.



6.3 Identificação da inovação

Após a consolidação do diagnóstico sobre os mecanismos de corrosão e perda de espessura em tubulações, iniciou-se a busca por soluções capazes de garantir a integridade estrutural sem a necessidade de substituição completa dos componentes. A partir da análise técnica das alternativas disponíveis, foi identificada como solução de maior potencial a aplicação de revestimentos estruturais à base de compósitos avançados, combinando fibras de alta resistência e resinas epóxi. Essa tecnologia, amplamente utilizada em setores como petróleo e gás offshore, naval e aeroespacial, demonstrou desempenho superior em aderência, resistência mecânica e durabilidade frente a agentes químicos e intempéries.

6.4 Implantação

O revestimento de tubulação é uma tecnologia essencial de proteção anticorrosiva e mecânica, aplicada para garantir a integridade, confiabilidade e durabilidade de sistemas de transporte de fluidos. Atua como barreira física e química, mitigando processos de degradação como corrosão, abrasão, erosão, incrustações e ataques químicos, que podem comprometer a eficiência operacional, a segurança e a vida útil do ativo.

Sua aplicação é crítica em setores como petroquímico, óleo e gás (onshore e offshore), mineração, saneamento, indústria alimentícia, farmacêutica e geração de energia, onde as condições de operação expõem as tubulações a ambientes altamente agressivos. Além de proteger os materiais de base (aço carbono, ligas metálicas ou concreto), o revestimento reduz custos de manutenção corretiva, previne falhas catastróficas, minimiza paradas não programadas e assegura conformidade com normas técnicas nacionais e internacionais, como:

- ABNT NBR 15221 - Revestimento de dutos de aço-carbono com materiais poliméricos;
- API 5L - Requisitos para tubos de condução de petróleo e gás;
- NACE/ISO 21809 - Proteção anticorrosiva em tubulações enterradas ou submersas.

Entre as soluções implementadas, destaca-se o uso do Tecido Biaxial 1808 impregnado com resina estrutural epóxi CENTERPOL L-500 e primer de aderência CENTER MECK 500, formando um sistema de barreira anticorrosiva e mecânica altamente eficiente.

O Tecido Biaxial 1808 é um geocompósito de reforço estrutural non-crimp (sem ondulação das fibras), conforme figura 11, projetado para atuar como armadura principal em sistemas de revestimento anticorrosivo de tubulações industriais enterradas. Sua arquitetura biaxial (0°/90°) com rovings de fibra de vidro E-CR costurados por fio de poliéster garante alta resistência mecânica, controle de fissuração e distribuição uniforme de tensões, quando impregnado com resinas epóxi ou viniléster.

Figura 11 - Tecido Biaxial 1808



<https://www.nauticatintas.com.br/fiberglass/tecido-comb-1808cm-avulso-0-70x1-20-kg?srsId=AfmBOooPv1DsJDL3Qn3ghmoB3BJqs4QxAVvNaeteAcw8Z5L3FPiQGyWd>

O tecido biaxial possui a seguinte estrutura e composição:

- ✓ Camada principal: rovings biaxiais ($\approx 1800 \text{ g/m}^2$) orientados em 0° e 90°, responsáveis pela rigidez e resistência balanceada.
- ✓ Camada complementar: manta leve de filamentos aleatórios ($\sim 80 \text{ g/m}^2$), favorecendo impregnação e resistência interlaminar.
- ✓ Costura: tecnologia non-crimp, que mantém fibras alinhadas, elimina crimpagem e maximiza eficiência de transferência de carga.

Suas principais vantagens são:

- ✓ alta resistência específica (resistência/peso);
- ✓ flexibilidade para conformação em geometrias complexas;

- ✓ transparência que permite verificação da impregnação;
- ✓ não corrosivo e imune a ataques eletroquímicos.

A Resina epóxi bicomponente Centerpol L500, figura 12, possui alta performance mecânica e térmica, desenvolvido especificamente para atuar como matriz de laminação e barreira anticorrosiva em sistemas de revestimento estrutural de tubulações industriais enterradas.

Figura 12 -Centerpol L-500



Fonte: Elaborada pelo autor

Pertence à classe das resinas estruturais de alta performance, destacando-se pela:

- ✓ Elevada resistência química frente a solos agressivos, sais, umidade e hidrocarbonetos;
- ✓ Alta resistência mecânica, suportando esforços de impacto, compressão e abrasão;
- ✓ Excelente adesão a substratos metálicos devidamente preparados (ex.: aço jateado Sa 2½).

Suas principais vantagens são:

- ✓ alta aderência a metais e concreto;
- ✓ excelente resistência química a hidrocarbonetos e solventes;
- ✓ baixa contração durante a cura;

- ✓ temperatura de serviço: até 120°C.

O Center Meck 500, figura 13, é um primer epóxi de altíssima penetração e aderência, formulado para atuar como camada primária de ancoragem em sistemas de revestimento estrutural de tubulações industriais enterradas. Sua principal função é promover aderência química e mecânica entre o substrato metálico (aço carbono jateado) e o sistema de revestimento subsequente (resinas estruturais epóxi, mantas de reforço em fibra de vidro ou geocompósitos).

Figura 13 - Center Meck 500



Fonte: Elaborada pelo autor

Trata-se de um produto classificado como revestimento epoxídico anticorrosivo de baixo a médio teor de sólidos, especificamente desenvolvido para:

- ✓ Proteção inicial contra corrosão logo após o jateamento;
- ✓ Ancoragem do sistema de laminação (ex.: CENTERPOL L-500 + Tecido Biaxial 1808);
- ✓ Selagem da superfície metálica, prevenindo oxidação instantânea (“flash rust”) antes da aplicação da matriz estrutural.

Sua Composição química e estrutura do sistema são:

- ✓ Componente A (Base):
 - Resina epóxi líquida de baixo peso molecular, que confere elevada capacidade de penetração nos poros do aço jateado;
 - Aditivos anticorrosivos passivadores, que reduzem a atividade eletroquímica da superfície metálica;

- Pigmentos inertes e cargas micronizadas, para conferir cor, homogeneidade e resistência à sedimentação.
- ✓ Componente B (Agente de Cura)
 - Sistema amínico (amina alifática ou poliamida modificada), responsável pela reticulação da resina, resultando em uma película termorrígida, aderente e quimicamente estável.
- ✓ Relação de Mistura: fixa (ex.: 4:1 em volume), devendo ser seguida rigorosamente para garantir polimerização completa.

Suas principais vantagens são:

- ✓ previne a re-oxidação após o jateamento;
- ✓ reduz o risco de descolamento do sistema compósito;
- ✓ compatível com operações em ambientes controlados.

Essa tecnologia cria uma armadura estrutural integrada a tubulação, capaz de suportar esforços de impacto, abrasão e pressão, isolando o substrato metálico do contato com agentes agressivos. O revestimento proporciona proteção química, estabilidade térmica e vida útil superior a 20 anos, reduzindo paradas não programadas, falhas por corrosão e custos operacionais.

O revestimento de tubulação, também conhecido como encamisamento, coating ou lining, conforme figura 14, é definido como a aplicação de uma camada protetora contínua e aderente, de natureza polimérica, inorgânica ou metálica, sobre as superfícies interna (revestimento interno) e/ou externa (revestimento externo) de um tubo.

Figura 14 - Encamisamento da Tubulação



Fonte: Elaborada pelo autor

Essa camada é projetada para isolar o substrato metálico ou cementício dos agentes de degradação, prevenindo falhas estruturais e operacionais. Os principais mecanismos de proteção são:

- ✓ Proteção contra corrosão: atua como barreira física e elétrica, isolando o substrato metálico (ex.: aço carbono) do meio eletrolítico. Esse isolamento interrompe o circuito eletroquímico de corrosão, evitando a formação de pares galvânicos e a degradação progressiva do material.
 - Resistência mecânica: garante proteção contra esforços externos e internos, incluindo:
 - Erosão-abrasão interna - desgaste provocado pelo fluxo de partículas sólidas em suspensão (ex.: areia, catalisadores, escórias).
 - Danos mecânicos externos - impactos, atritos e tensões provenientes de movimentação de solo, vibrações ou operações industriais.
- ✓ Inércia química: oferece elevada resistência ao ataque de agentes químicos agressivos, como ácidos, bases, sais, solventes e hidrocarbonetos. Essa propriedade é essencial para tubulações que operam em ambientes industriais corrosivos ou transportam fluidos de elevada reatividade química.
- ✓ Controle de incrustação: a superfície interna revestida, quando projetada com baixa rugosidade e características antiaderentes, reduz significativamente a deposição de sais, carbonatos, parafina, melão e biofilmes (incrustação biológica). Isso assegura



manutenção da seção de escoamento, maior eficiência hidráulica e menor consumo energético.

- ✓ Estabilidade térmica: confere proteção adicional em condições de operação com altas temperaturas, pressões elevadas e ciclos térmicos, reduzindo a propagação de trincas, delaminações ou perda de propriedades do substrato.

Além da função primária de proteção contra corrosão, abrasão e degradação química, alguns revestimentos são projetados com características funcionais adicionais, voltadas à otimização operacional e preservação da qualidade do produto transportado. Esses objetivos secundários incluem:

- Redução do Atrito de Fluxo (Flow Efficiency)

Revestimentos internos com baixa rugosidade superficial (ex.: epóxi de alta performance) reduzem as perdas de carga ao longo da tubulação. Isso resulta em maior capacidade de vazão para a mesma pressão de bombeamento ou menor consumo energético, otimizando a eficiência operacional de oleodutos, gasodutos e adutoras de água.

- Preservação da Pureza do Produto (Product Purity)

Em indústrias com requisitos sanitários rigorosos, como a alimentícia, farmacêutica e de água potável, utilizam-se revestimentos com aprovação por órgãos regulatórios (FDA, NSF, ANVISA). Esses materiais (ex.: poliuretanos e epóxios especiais) evitam:

- ✓ Lixiviação de íons metálicos para o fluido;
- ✓ Adsorção de contaminantes na parede da tubulação;
- ✓ Crescimento bacteriano em superfícies rugosas.

- Isolamento Térmico e Eficiência Energética

Determinados revestimentos poliméricos e sistemas combinados com mantas ou camadas isolantes auxiliam na manutenção da temperatura do fluido. Essa função é crítica em tubulações de transporte de hidrocarbonetos pesados, produtos químicos sensíveis à temperatura ou fluidos criogênicos.

- Controle de Incrustações e Depósitos:



Superfícies internas com acabamento liso e propriedades antiaderentes reduzem significativamente a adesão de parafinas, melão, carbonatos, sais e biofilmes biológicos. Isso garante:

- ✓ Estabilidade da seção de escoamento;
- ✓ Menor perda de eficiência hidráulica;
- ✓ Redução da frequência de limpezas mecânicas ou químicas.

- Processo de Aplicação (Metodologia)

A eficácia do sistema depende totalmente da correta execução. O processo é meticuloso e segue procedimentos específicos dos fabricantes, como aplicado na Unidade da Nacional Gás de Mataripe – BA e detalhado a seguir:

- Preparação de superfície (etapa crítica):

A superfície do tubo foi rigorosamente limpa e isenta de contaminantes (graxas, óleos, umidade);

Foi realizado um jateamento abrasivo para atingir um grau de limpeza Sa 2½ (ISO 8501-1) e criar um perfil de ancoragem (50 a 75 µm) que garantiu a aderência mecânica do sistema.

- Preparação do primer/resina:

Uma resina estrutural (geralmente epóxi ou viniléster de alta resistência) foi misturada com seu agente de cura (catalisador/hardener) conforme proporções definidas pelo fabricante.

Aplicação da camada de selante

Uma camada generosa da resina misturada foi aplicada sobre a área preparada. Esta camada tem a função de preencher irregularidades e umedecer o substrato.

- Aplicação do tecido biaxial 1808:

- ✓ O tecido foi posicionado sobre a resina ainda fresca, conforme figura 15;

Figura 15 - Encamisamento da Tubulação



Fonte: Elaborada pelo autor

- ✓ Foram utilizados rolos de consolidamento, a resina foi completamente impregnada no tecido, eliminando todas as bolhas de ar e garantindo que as fibras fiquem totalmente embebidas. A transparência do tecido permite visualizar a completa impregnação.
 - Aplicação de camadas adicionais (se necessário)
- ✓ Dependendo da pressão de serviço e da severidade do dano, múltiplas camadas de tecido e resina podem ser aplicadas.
 - Aplicação da camada de selagem final
- ✓ Uma camada final de resina pura foi aplicada para selar o sistema, proporcionando uma superfície lisa e resistente à intempérie e a produtos químicos, conforme figuras 16 a 19.

Figura 16 - Tecido Biaxial 1808 aplicado



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 17 – Aplicação da resina no tecido



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 18 – Aplicação da resina no tecido



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 19 – Finalização da aplicação do revestimento do trecho



Fonte: Elaborada pelo autor

- Cura

- ✓ O sistema passou pela curar por um tempo necessário, conforme figura X, seguindo as especificações da resina (dependente da temperatura ambiente), até atingir suas propriedades mecânicas finais e realizar a instalação.

Figura 20 - Resina após o período de cura



Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 21 - Tubulação com revestimento sendo instalada enterrada



Fonte: Elaborada pelo autor

Resultado Esperado

Com a correta aplicação do tecido biaxial 1808, espera-se:

- Proteção mecânica e estrutural

- ✓ Resistência superior contra impacto, abrasão e cargas externas;
- ✓ Distribuição eficiente de esforços longitudinais e circunferenciais da tubulação;
- ✓ Reforço estrutural em áreas críticas ou reparadas.

- Proteção química e corrosiva

- ✓ Isolamento do substrato metálico contra umidade, sais, ácidos, bases e hidrocarbonetos;



- ✓ Redução do risco de corrosão sob isolamento (CUI - Corrosion Under Insulation).
- Durabilidade e desempenho operacional
- ✓ Vida útil projetada superior a 20 anos, dependendo da especificação do sistema.
- ✓ Redução de falhas por corrosão, evitando paradas não programadas.
- ✓ Compatibilidade com inspeção periódica (ensaios não destrutivos podem ser aplicados sobre o compósito).

O revestimento de tubulação é uma solução de engenharia que transcende uma simples aplicação protetiva, representando um investimento estratégico com impactos positivos diretos na confiabilidade operacional e na rentabilidade de plantas industriais. Suas vantagens são particularmente críticas para empresas que operam processos contínuos, onde paradas não programadas resultam em perdas produtivas significativas.

Aumento da Confiabilidade e do MTBF (Mean Time Between Failures)

A aplicação de um revestimento adequado atua diretamente na causa raiz da maioria das falhas em tubulações: a degradação do substrato. Ao criar uma barreira eficaz contra mecanismos de desgaste, ele:

- ✓ Reduz drasticamente a taxa de falhas, aumentando o Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) do sistema;
- ✓ Proporciona previsibilidade operacional, permitindo que a manutenção seja planejada e baseada em condições, e não em falhas reativas.

Redução de Paradas Não Programadas e Maximização da Disponibilidade

Paradas de planta são extremamente custosas. O revestimento previne vazamentos, rupturas e obstruções que exigiriam interrupções de emergência para reparos, garantindo:

- ✓ continuidade operacional e cumprimento de metas de produção;
- ✓ redução de custos diretos e indiretos associados a paradas de emergência (mão de obra over time, perda de produção, multas por atraso).

Proteção especializada e personalizada para diferentes mecanismos de desgaste. Diferente de uma solução genérica, os revestimentos são engenheirados para combater ameaças específicas:



- ✓ desgaste abrasivo/erosivo: Revestimentos à base de cerâmicas, poliuretanos ou epóxi modificados oferecem resistência superior ao atrito de partículas sólidas em suspensão;
- ✓ corrosão química: Sistemas epóxi, fenólicos ou de polietileno cruzado protegem contra ácidos, bases e solventes;
- ✓ ataque eletroquímico: Revestimentos com zinco (proteção catódica) e barreiras dielétricas (epóxi, poliuretanos) isolam o metal do ambiente corrosivo.

Melhoria da Eficiência Energética e Hidráulica

Revestimentos internos de baixa rugosidade superficial (ex.: epóxi liso de auto-nivelamento) reduzem significativamente o fator de atrito da tubulação. Isso se traduz em:

- ✓ menor perda de carga (head loss) no sistema;
 - ✓ redução no consumo de energia de bombas e compressores para manter a vazão;
1. aumento da capacidade de vazão em sistemas existentes, ou permite o uso de tubos com diâmetro nominal menor em novos projetos, reduzindo CAPEX.

Preservação da Pureza do Produto e Conformidade Regulatória

Em setores como alimentício, farmacêutico e de semicondutores, a contaminação do produto é inaceitável. Revestimentos inertes e aprovados (ex.: FDA, USP Classe VI):

- ✓ impedem a contaminação por íons metálicos ou crescimento microbiano;
- ✓ facilitam a limpeza e a sanitização (CIP - Clean-in-Place), reduzindo tempo e consumo de produtos de limpeza;
- ✓ garantem conformidade com rigorosas normas de higiene e qualidade.

Excelente relação custo-benefício e redução do custo do ciclo de vida (LCC)

Embora represente um investimento inicial (CAPEX), o revestimento é altamente vantajoso financeiramente a médio e longo prazo:

- ✓ redução do OPEX: Minimiza gastos com manutenção corretiva, substituição de tubulações e mão de obra de emergência;
- ✓ extensão da vida útil do ativo: Permite que tubulações operem por décadas além de sua expectativa de vida em condições não protegidas;



- ✓ proteção do ativo crítico: O custo do revestimento é insignificante perante o custo total de uma parada de planta ou de uma falha catastrófica com danos ambientais ou à segurança.

A aplicação do tecido biaxial 1808, proporcionou:

Proteção mecânica e estrutural

- ✓ Resistência superior contra impacto, abrasão e cargas externas;
- ✓ Distribuição eficiente de esforços longitudinais e circunferenciais da tubulação;
- ✓ Reforço estrutural em áreas críticas ou reparadas.

Proteção química e corrosiva

- ✓ Isolamento do substrato metálico contra umidade, sais, ácidos, bases e hidrocarbonetos;
- ✓ Redução do risco de corrosão sob isolamento (CUI – Corrosion Under Insulation).

Durabilidade e desempenho operacional

- ✓ Vida útil projetada superior a 20 anos, dependendo da especificação do sistema.
- ✓ Redução de falhas por corrosão, evitando paradas não programadas.
- ✓ Compatibilidade com inspeção periódica (ensaios não destrutivos podem ser aplicados sobre o compósito).

7. CONCLUSÃO

A Nacional Gás reafirma sua liderança e compromisso com a excelência operacional ao adotar o revestimento estrutural com Tecido Biaxial 1808, um marco tecnológico na proteção de tubulações industriais e na gestão de integridade de ativos do setor de GLP.

Mais do que uma inovação em engenharia, essa iniciativa representa uma transformação cultural no modo como a empresa enxerga a manutenção preditiva, a sustentabilidade e a segurança operacional.

O novo sistema, composto por primer de aderência CENTER MECK 500, resina epóxi estrutural CENTERPOL L-500 e Tecido Biaxial 1808 como armadura compósita, substituiu de forma definitiva os métodos tradicionais de pintura industrial, que já se mostravam insuficientes frente às condições extremas das unidades litorâneas. O



resultado é uma barreira anticorrosiva e mecânica de alto desempenho, com vida útil projetada superior a 20 anos e resistência comprovada a agentes químicos, abrasão, impacto e maresia.

Os benefícios são expressivos:

Redução significativa de falhas e paradas não programadas, com aumento da disponibilidade operacional das plantas;

Elevação do MTBF (Mean Time Between Failures) e redução de custos de manutenção corretiva;

Preservação da integridade estrutural das tubulações, garantindo segurança e continuidade operacional;

Sustentabilidade ambiental, pela menor necessidade de substituição de componentes e redução de resíduos metálicos;

Conformidade com normas técnicas nacionais e internacionais, como ABNT, NACE/AMPP e ISO.

A parceria com a END-TECH Engenharia, especialista em soluções de revestimento industrial, foi decisiva para o sucesso da aplicação, unindo rigor técnico, experiência em campo e inovação aplicada. Essa sinergia garantiu um processo de execução exemplar — do jateamento abrasivo à cura final do compósito - resultando em desempenho superior e rastreabilidade técnica de cada etapa.

A aplicação do Tecido Biaxial 1808 reforça a visão da empresa de que inovar é proteger o futuro, fortalecendo a infraestrutura do setor de GLP com segurança, tecnologia e responsabilidade ambiental.

A Nacional Gás segue à frente, combinando engenharia de ponta, gestão de ativos e sustentabilidade, consolidando-se como referência nacional em integridade industrial e inovação aplicada, e elevando o padrão técnico do setor - um projeto digno de medalha de ouro no Prêmio GLP 2025.

8. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- ABNT NBR 15221 - Revestimento de dutos de aço-carbono com materiais poliméricos. Rio de Janeiro, 2023.



- ABNT NBR 15589-1 - Indústria de petróleo, petroquímica e gás natural – Proteção catódica de sistemas de transporte por dutos - Parte 1: Dutos terrestres. Rio de Janeiro, 2016.
- ABRACO - Associação Brasileira de Corrosão. Disponível em: <https://abraco.org.br>.
- AMPP - Association for Materials Protection and Performance (antiga NACE International). Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States. Houston, 2022.
- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. Materials Science and Engineering: An Introduction. 10ª ed. Wiley, 2018.
- FONTANA, M. G. Corrosion Engineering. 3ª ed. McGraw-Hill, New York, 2005.
- GENTIL, V. Corrosão. 6ª ed. LTC, Rio de Janeiro, 2011.
- END-TECH Engenharia. Portfólio Técnico - Revestimentos Estruturais e Compósitos Industriais. Fortaleza, 2024.