

APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA DOS REVESTIMENTOS ORGÂNICOS POLIMÉRICOS DE ALTA PERFORMANCE NO COMBATE À CORROSÃO, ABRASÃO, INCRUSTAÇÃO E ATAQUES QUÍMICOS.

Renan Lourenço Ramos ¹, Paulo Campos ², Guilherme Decanini ³, Adriano Gonçalves ⁴

1. RESUMO

A utilização dos revestimentos orgânicos vem crescendo exponencialmente em escala mundial para diversas aplicações de alta responsabilidade industrial e ambiental, em setores tais como Óleo e Gás, Papel e Celulose, Sucroenergético, Químico, Petroquímico e Saneamento, como uma solução alternativa ao uso das ligas metálicas nobres de alto custo e difícil disponibilidade no mercado nacional, como por exemplo, Inox, Duplex, Super Duplex, Inconel dentre outras. A aplicação do tipo de revestimento correto, após um estudo detalhado das condições de operação, pode resultar na maioria das vezes, em uma equivalência na vida útil ou até mesmo superar sua estimativa de vida quando comparado com o uso das ligas metálicas nobres. O uso em grande escala desta solução vem sendo bastante empregada, não apenas por benefícios como redução dos custos financeiros diretos, mas também pela redução dos custos indiretos, tais como a redução no número das paradas de manutenção, aumento de produtividade, aumento da vida útil do material e a não contaminação do fluído transportado, por evitar o contato direto com a superfície metálica e seus eventuais óxidos. Soluções customizadas para os mais diversos projetos e mercados podem ser aplicadas com a utilização de tubos de aço carbono revestidos interna e externamente e unidos por sistemas de acoplamentos mecânicos, mantendo a integridade da tubulação e tornando-se economicamente viável. Esta solução se torna um diferencial por substituir o método de união tradicional por solda ou rosca e também ao evitar a utilização de tubos com sobresspessura de parede para corrosão, sem mencionar a rapidez e eficiência de montagem, que implica na redução de custos relativos ao tempo de equipe na obra, e muitos outros fatores que serão demonstrados ao longo deste trabalho.

Palavras-chaves: *Corrosão, revestimento, tubos e acoplamentos.*

2. INTRODUÇÃO

A função do revestimento orgânico polimérico é separar fisicamente a estrutura metálica do ambiente corrosivo interno e externo, ou seja, atuar como uma barreira para evitar o contato direto do substrato metálico com o meio corrosivo (OLIVEIRA, 2003). Este meio corrosivo pode ser um fluido formado por ácidos, bases ou compostos químicos que quando associados, apresentam elevado potencial para causar corrosão, incrustação e/ou desgaste da estrutura metálica. O revestimento deve ser um filme completamente contínuo, de aspecto homogêneo, ausente de bolhas ou falhas, a fim de cumprir integralmente a sua função, porém para garantir todos os requisitos citados, é necessário o controle de todos os parâmetros envolvidos durante o processo de aplicação.

A aplicação dos revestimentos orgânicos poliméricos de alta performance, começou a ser desenvolvida no final dos anos 70 e colocado em prática no início dos anos 80 juntamente com o avanço dos sistemas de dutos, que passaram a ter grandes diâmetros e elevadas pressões de operação (KEHR, 2003).

As fábricas de papel e celulose, contém vários compostos químicos que apresentam grande potencial corrosivo devido ao ataque químico a estrutura metálica ou incrustação por causa da quantidade de particulados presentes, que se aglomeram e causam o entupimento dos equipamentos. Com a finalidade de evitar todos os problemas mencionados, a indústria de papel e celulose tem a maior parte dos seus equipamentos em aço inox. A aplicação do revestimento orgânico polimérico vem surgindo como uma alternativa interessante, nos aspectos técnicos e econômicos, para substituir o uso do aço inox.

Atualmente, podemos classificar os revestimentos em duas grandes classes, os metálicos e não metálicos. Os revestimentos não metálicos ainda podem ser subdivididos em mais duas subclasses, os inorgânicos e os orgânicos, é nesta última subclasse citada que se encontram os tipos de revestimentos abordados como tema deste trabalho. A Figura 1 mostra a divisão completa e os tipos de revestimentos.

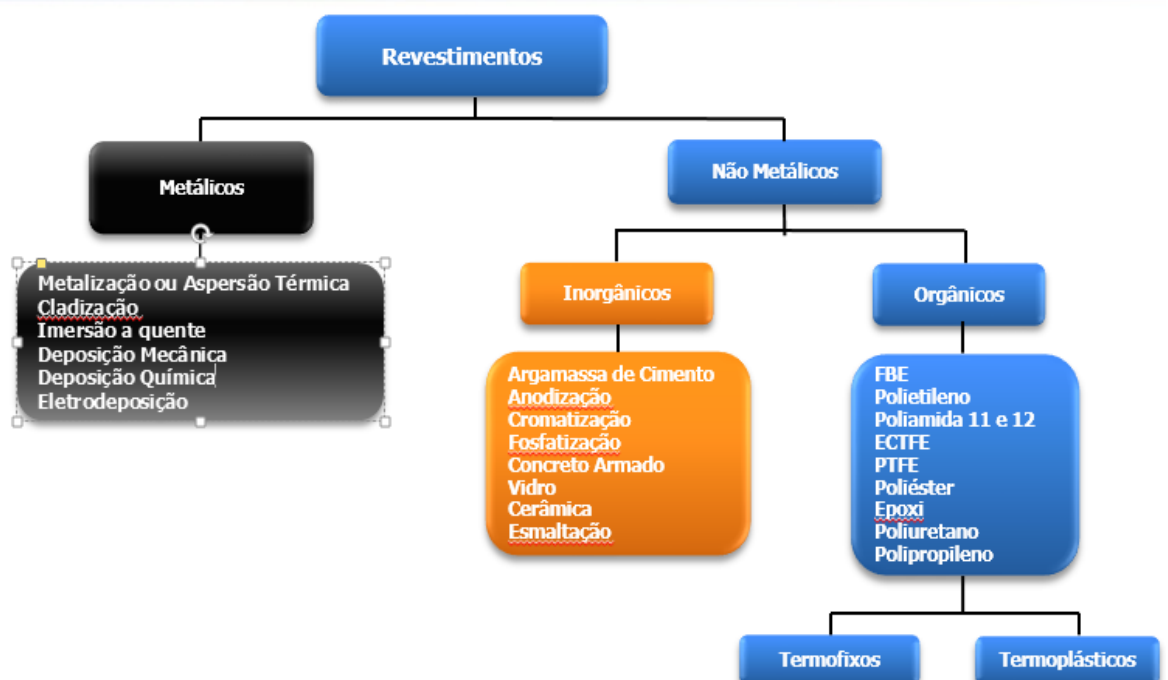


Figura 1 – Classificação geral dos revestimentos

3. REVESTIMENTOS ORGÂNICOS POLIMÉRICOS

3.1. Propriedades dos polímeros

Um polímero é uma grande molécula que é constituída por pequenas unidades que se repetem, denominadas meros. Se conhecer a estrutura dos meros que se repetem, pode-se descrever a estrutura das moléculas grandes, porém a maior parte dos polímeros se originam de uma combinação de monômeros, unidades simples de repetição (VAN VLACK, 1970).

As estruturas dos polímeros são constituídas principalmente por átomos de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio e são modificadas de acordo com a estrutura das macromoléculas. A variação dos grupos radicais que ficam ligados a cadeia principal de carbono altera as propriedades dos materiais. Os grupos radicais podem ser átomos simples ou moléculas.

Os polímeros podem ser classificados em resinas termoplásticas ou termofixas quando o assunto é deformação plástica.

Os termoplásticos deformam-se facilmente sob pressão e em temperaturas altas, assim podem ser conformados mecanicamente por diversas vezes (deformação não permanente), desde que sejam submetidos a processos de aquecimento, pois sua plasticidade aumenta com a temperatura. Por esta razão os termoplásticos são recicláveis.

Os termofixos podem ser conformados mecanicamente apenas uma vez (deformação permanente), ou seja, o produto final após o aquecimento é duro e não amolece quando reaquecido, pois, a sua plasticidade não aumenta com a temperatura (VAN VLACK, 1970).

As propriedades térmicas e mecânicas dos polímeros variam e são influenciadas por diversos fatores, alguns deles estão citados abaixo.

- A estrutura do polímero (cristalino, semicristalino e amorfo);
- Temperatura;
- Presença de ligações cruzadas, grupos polares e ramificações;
- Grau de cristalinidade;
- Massa molar.

3.2. Propriedades do revestimento aplicado

Para iniciar um processo de revestimento, é de extrema importância ter o conhecimento completo do projeto que ele estará envolvido, bem como todas as condições ambientais e operacionais, estas informações associadas a um processo de aplicação correto e cuidadoso, são requisitos fundamentais para que o revestimento seja confiável, eficiente e com vida útil dentro do prazo estipulado. A maneira como o processo de aplicação e os materiais afetam as propriedades finais do revestimento pode ser direta ou indireta. As propriedades finais do revestimento aplicado podem ser basicamente divididas em dois aspectos: propriedades anticorrosivas e propriedades mecânicas.

3.2.1. Propriedades Anticorrosivas

As propriedades anticorrosivas têm como objetivo preservar a superfície do metal de substâncias presentes no ambiente tais como oxigênio, água e íons específicos que podem levar ao início do fenômeno da corrosão (OLIVEIRA, 2003). A proteção oferecida pelo revestimento deve ser eficiente durante a vida da tubulação, e por muitas vezes, o revestimento consegue superar a estimativa de vida quando comparado com o uso das ligas metálicas nobres.

3.2.1.1 Resistência a intempéries

Antes de serem enterradas ou lançadas, tubulações ou equipamentos auxiliares ficam estocadas ao ar livre, aguardando todas as etapas anteriores a instalação, até mesmo atrasos no cronograma das obras. Durante este período, que pode ser de longa duração, a tubulação está exposta as intempéries físicas e químicas, e o revestimento deve suportar sem falhar a

ação agressiva do ambiente, ainda que tenha sido projetado para trabalhar em condições não expostas.

Certos polímeros são degradados e perdem suas propriedades quando expostos ao intemperismo e a ação da luz solar, portanto, é de extrema importância avaliar todas as condições as quais o revestimento será exposto antes de escolher o tipo de revestimento aplicado.

3.2.1.2 Resistência à temperatura

A temperatura de operação de uma linha depende de diversos fatores, como o tipo de fluido transportado, pressão, vazão entre outros. Estas temperaturas podem variar razoavelmente conforme ocorre a modificação dos fatores. Por exemplo, em linhas pressurizadas, as temperaturas podem atingir valores maiores, já que a temperatura é diretamente proporcional à variação da pressão. O revestimento deve resistir, sem trincar, empolar ou perder aderência, tanto a temperatura contínua de operação da linha, quanto às temperaturas mais elevadas que ocorrem pontualmente de acordo com a variação de algum dos fatores mencionados no início do parágrafo.

3.2.1.3 Resistência química

Os materiais utilizados no revestimento podem ser expostos a reagentes químicos (ácido ou base) ou contaminantes presentes no meio ambiente tanto nas etapas de transporte e estocagem, quanto durante a instalação e operação. As substâncias mais comuns que podem entrar em contato com os revestimentos são a água doce, água salgada, gasolina, óleo diesel, metanol, ácidos e bases fracas.

A resistência química é uma propriedade anticorrosiva muito importante dos revestimentos. Na maioria dos fluidos transportados, encontram-se reagentes químicos dissolvidos e conhecer a composição do fluido transportado é de fundamental importância para manter a integridade do revestimento, isto porque os diversos reagentes químicos dispersos no fluido, podem gerar produtos de elevado potencial corrosivo que não seriam conhecidos caso não soubesse a composição do material transportado.

3.2.2 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas permitem a definição da resistência do revestimento às diferentes tensões as quais o tubo está sujeito durante o manuseio, armazenamento, transporte, instalação e operação, e devem ser avaliadas não só à temperatura ambiente, mas também em uma ampla faixa de temperatura, com o objetivo de simular o comportamento do revestimento em diversas condições de operação, já que a temperatura é um dos fatores que influenciam as propriedades de um polímero (OLIVEIRA, 2003).

3.2.2.1 Resistência ao impacto

A resistência ao impacto é uma função da coesividade do revestimento, principalmente da camada do top coat, que deve ter limite de resistência e capacidade de alongamento suficientes para suportar a energia do impacto e a deformação por ele provocada, sem ocorrer o rompimento.

Um ponto importante, mas frequentemente ignorado, é que a energia de impacto é absorvida não apenas pelo revestimento, mas também pelo substrato. Em consequência disso, rugosidades elevadas que colaboram para aumentar a aderência, também ajudam para piorar as propriedades de impacto, pois, a concentração de tensão nos picos tende a perfurar o revestimento de dentro para fora, efeito que é mais propício em revestimentos que possuem a espessura da película seca inferior a 500 µm.

3.2.2.2 Resistência a carregamentos estáticos e dinâmicos

Durante o transporte, rodoviário ou marítimo, bem como na instalação dos tubos, os revestimentos estão sujeitos à carga estática e dinâmica que tendem a danificar a camada de

revestimento aplicado, seja ao arranhar, perfurar, raspar (perda de volume por fricção), arrancar ou provocar deformações permanentes. Para manter sua integridade, o revestimento deve ser capaz de resistir às estas cargas dinâmicas ou estáticas, seja pela dureza da camada externa, pela aderência ou pela resistência à abrasão.

A aplicação dos revestimentos orgânicos, confere a superfície metálica uma redução no coeficiente de atrito, aumentando a fluidez do líquido transportado ao longo do trecho revestido, fator este que colabora na resistência aos carregamentos estáticos e dinâmicos.

3.2.2.3 Aderência

A aderência é a chave para a efetividade do revestimento, é o que definirá se o revestimento é meramente uma folha fina de material cobrindo o substrato ou se tornou uma parte real do substrato. Um revestimento resistente à corrosão e aos esforços mecânicos deve ser altamente aderente.

A aderência é criada pelas interações físicas e químicas que são formadas na interface entre o revestimento e o substrato. As moléculas que possuem polaridade têm uma forte afinidade com a superfície do metal e promovem uma excelente interação entre o revestimento e o substrato. Materiais fortemente polares frequentemente possuem as características requeridas para uma boa aderência.

A rugosidade também é um fator muito importante na aderência. Por exemplo, quando comparada a uma superfície laminada lisa, uma superfície jateada, com perfil de rugosidade adequado, tem várias vezes mais área na qual aderir em relação a superfície inicial não jateada. Para exemplificar a situação, um perfil de rugosidade de 70 µm tem sua área superficial aumentada para aproximadamente 60% do valor inicial, o que facilita a ancoragem do revestimento aplicado.

Outro ponto importante do revestimento que está diretamente ligado a aderência, é a permeabilidade ao oxigênio e a água. Se o revestimento não possui uma boa aderência, é sinal que existe uma interface entre o revestimento e o substrato, e, portanto, a umidade (vapor) pode permear a camada aplicada e ser transferida para dentro desta área. A umidade pode condensar neste espaço, ou, se a temperatura do revestimento aumentar, a umidade (vapor) dentro do vazio pode se expandir por causa da mudança térmica e desenvolver pressão suficiente no revestimento aplicado, de dentro para fora, ocasionando um visual de “bolha”.

Além dos fatores mencionados, a capacidade de um revestimento resistir ao dobramento, ao descolamento catódico e ao tensionamento do solo, está diretamente relacionada com a sua aderência junto a superfície do tubo.

3.2.2.4 Flexibilidade

Durante a instalação de linhas de dutos, há a necessidade frequente de curvar tubos para atender exigências de projeto, que nem sempre é regular. Quando essas curvas são feitas a partir de tubos já revestidos, o revestimento deve ter flexibilidade suficiente para suportar a curvatura aplicada sem sofrer trincas ou perder aderência.

A flexibilidade é uma das diversas propriedades do polímero que é afetada com a variação da temperatura. Usualmente, temperaturas mais baixas afetam negativamente a flexibilidade dos revestimentos, isto porque, baixas temperaturas reduzem o coeficiente de difusão, diminuindo a mobilidade rotacional das moléculas, porém, de forma contrária e análoga, o aumento da temperatura favorece a flexibilidade dos revestimentos.

3.2.2.5 Penetração

Ao longo de uma operação, os revestimentos das tubulações estão sujeitos às pressões concentradas exercidas pelo peso do tubo combinado com o local onde será instalado, que pode conter pontos mais duros e pontiagudos, como pedras e outros materiais. A penetração funciona como uma medida direta da dureza da camada do revestimento e de sua capacidade de sofrer deformação sem sofrer fratura ou rompimento.

3.2.2.6 Tensionamento do solo

O termo tensionamento do solo aplica-se somente onde há movimentos de expansão e contração do solo. Alguns solos, especialmente os argilosos, apresentam grande variações de volume, por causa da expansão e contração do solo em ciclos de encharcamento, secagem, congelamento e descongelamento. Como estes tipos de solo aderem fortemente a superfície dos revestimentos, os revestimentos ficam suscetíveis a falhas quando estas mudanças sazonais são suficientes para causar movimentações de solo significativas. Esta ação cíclica tende a arrancar o revestimento do tubo ou estruturas criando trincas e vazios.

3.2.2.7 Resistência elétrica

O revestimento deve parar o circuito elétrico iniciado durante a reação catódica a fim de ser resistente à corrosão. Isso é feito resistindo a passagem de quaisquer elétrons e assim previne a ida de algum metal proveniente do ânodo para a solução. Se os elétrons não podem viajar até o cátodo, o mecanismo de corrosão não é possível. A resistência dielétrica é também uma característica importante sempre que o revestimento for usado com proteção catódica, pois tal proteção produz um forte excesso de elétrons no metal. Se um revestimento tiver resistência dielétrica suficiente, ele pode parar o circuito elétrico e assim prevenir o fluxo de corrente catódica. Uma vez que a resistência dielétrica pode ser afetada pela absorção de umidade, a menor absorção de umidade é mais favorável ao revestimento.

3.3. Mercados de atuação do revestimento

A utilização dos revestimentos orgânicos poliméricos de alta performance vem crescendo significativamente em escala mundial para diversas aplicações de alta responsabilidade industrial e ambiental, em setores tais como Óleo e Gás, Papel e Celulose, Sucrenergético, Químico, Petroquímico e Saneamento.

Estes tipos de revestimentos podem ser aplicados por diversos métodos, entre eles estão o processo eletrostático, leito fluidizado, rotomoldagem entre outros. O método comumente utilizado é o processo eletrostático, que é realizado com o auxílio de uma pistola eletrostática, que asperge as partículas de pó do material polimérico carregadas eletricamente e de forma homogênea, como mostra a Figura 2.



Figura 2 - Aplicação do revestimento pelo processo eletrostático.

Este processo permite que o revestimento seja aplicado aos mais diferentes tipos de peças e equipamentos, mesmo que estes possuam uma geometria complexa. Este fator, combinado com as mais diversas condições de operação que o revestimento pode operar e as distintas propriedades que o revestimento fornece a superfície metálica, são as principais razões que tornam esta solução uma alternativa interessante para diversos mercados.

3.4. Tubos revestidos unidos por acoplamentos mecânicos

O conceito de união por acoplamentos mecânicos, com o objetivo de substituir os métodos tradicionais de união por solda e rosca, já vem sendo empregado há alguns anos no mercado nacional, porém inicialmente, era utilizado em aplicações bem específicas, como por exemplo em tubos de irrigação.

Atualmente, este método de união está sendo mais empregado nacionalmente e com aplicações diversas, devido ao fato de que algumas empresas começaram a utilizar esta tecnologia e adotar como padrão em suas obras e instalações, sendo, em algumas ocasiões, especificado previamente no escopo dos seus projetos. A praticidade do manuseio, eficiência da montagem, facilidade na hora da manutenção, redução de equipamentos e homens em campo e redução no tempo de parada, são alguns dos fatores que combinados, implicam de uma forma geral na redução dos custos indiretos de um projeto e fazem deste método uma solução rentável para mercados como Mineração, Ar condicionado (AVAC-R), Saneamento, Sucrenergético, obras de Infraestrutura e de Proteção contra Incêndio entre outros. As figuras 3 e 4 demonstram o uso da mesma solução em mercados distintos.



Figura 3 - Uso da solução para linhas de combate a incêndio.



Figura 4 - Uso da solução em obras de infraestrutura.

Soluções customizadas também podem ser aplicadas em diversos projetos e mercados com a instalação de tubos de aço carbono revestidos interna e externamente e unidos por sistemas de acoplamentos mecânicos, conforme apresentado na Figura 5.



Figura 5 - Tubos revestidos interna e externamente e unidos por acoplamentos.

O uso de tubos de aço carbono revestidos interna e externamente evita a utilização de sobresspessura de parede para corrosão e permite a substituição do uso de tubos de aço inox ou de outras ligas metálicas nobres, tornando o projeto ainda mais viável economicamente. Esta solução customizada, além das vantagens citadas, ainda está em conformidade com normas nacionais e internacionais, que servem de referência técnica para quem deseja utilizá-las.

3.4.1. Instalação

A instalação destes acoplamentos mecânicos, é extremamente fácil de ser realizada. Para executar a instalação, primeiramente necessita que os tubos possuam um anel ou uma ranhura na extremidade, que têm como objetivo promover a ancoragem mecânica entre as extremidades que serão unidas. Estes tipos de extremidades dos tubos mencionados podem ser vistos nas Figuras 6 e 7, respectivamente.

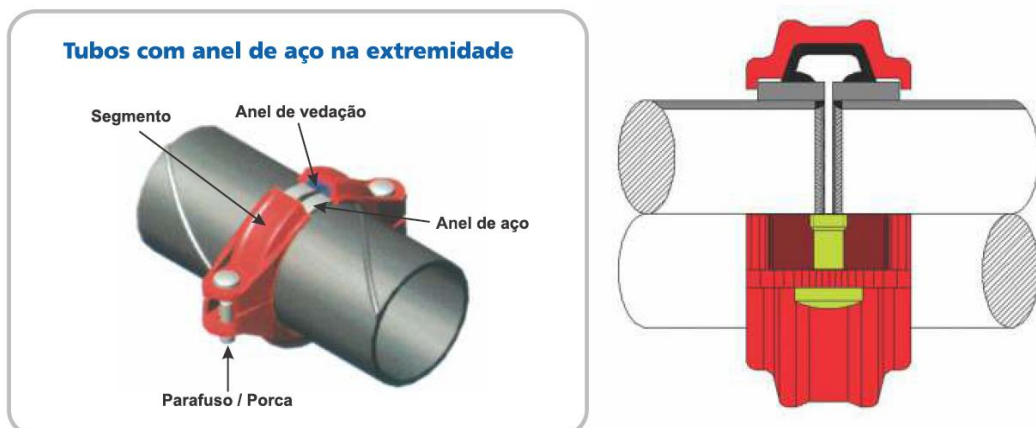


Figura 6 - Tubo com anel de aço soldado a extremidade.

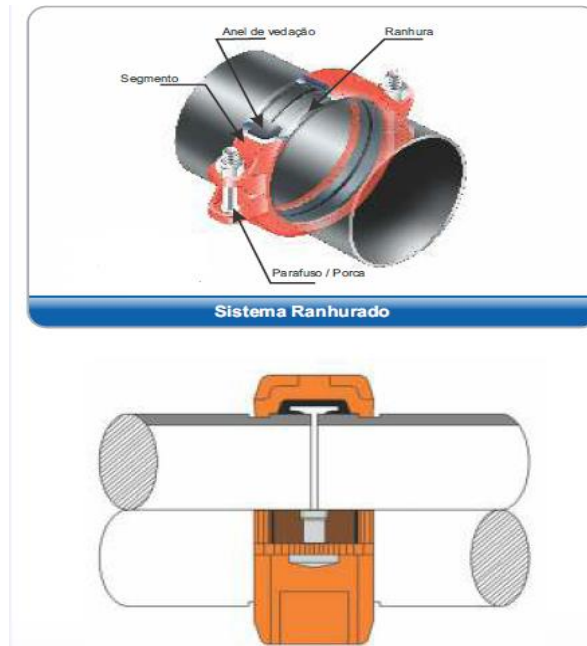


Figura 7 - Tubo ranhurado na extremidade.

Os acoplamentos que fazem a união dos tubos são constituídos de um anel de borracha e uma estrutura de ferro fundido nodular, vide Figura 8.



Figura 8 - Acoplamento mecânico.

Para iniciar a instalação, facear o anel de borracha em uma das extremidades do tubo e puxar totalmente o anel de borracha para atrás de uma das extremidades dos tubos. Em seguida, escorregar o anel de borracha até a posição central sobre as extremidades. Após o anel estar situado centralmente as extremidades, montar inicialmente a parte inferior do acoplamento sobre o anel de borracha e posteriormente a parte superior e assegurar-se de que a face interna do acoplamento envolva os anéis de aço de ambos os tubos. Por último, apertar as porcas alternadamente, fazendo com que as superfícies do acoplamento se encostem por igual.

A utilização deste tipo de equipamento, além de promover vantagens significativas no que se refere a tempo, praticidade de instalação e redução de todos os custos envolvidos durante esta etapa do projeto, ainda apresenta responsabilidade ambiental. A instalação dispensa a solda, o que elimina a necessidade do uso de energia e emissão de gases poluentes, diminui os riscos com chamas, ameniza a poluição sonora e a inexistência do processo de rosca reduz a zero o índice de contaminação do solo.

3.4.2. Mercados de atuação

Por se tratar de soluções customizadas, que apresentam flexibilidade para serem aplicadas nos mais diversificados projetos e que são viáveis do ponto de vista econômico e técnico, é possível a aplicação em mercados como Mineração, AVAC-R, Papel e Celulose, Saneamento, Sucroenergético, Industrial, Óleo e Gás dentre outros.

Atualmente, podemos encontrar exemplos de sucesso desta solução em todos os mercados citados, confirmando o que vêm sendo apresentado durante este trabalho no que se refere as vantagens técnicas e econômicas.

4. DISCUSSÃO

A aplicação destas soluções tubulares customizadas, com a utilização de tubos de aço carbono revestidos interna e externamente e unidos por sistemas de acoplamentos mecânicos, eliminam definitivamente o processo de solda na obra. A eliminação do processo de solda em uma obra, resulta em inúmeras vantagens técnicas e financeiras aos projetistas, instaladores e clientes finais. Entre estas vantagens podemos citar menos mão-de-obra especializada, já que não irá precisar de soldadores na obra, menor necessidade de equipamentos em campo, eliminando todo o maquinário envolvido durante um processo de solda, menor tempo de parada porque esta solução facilita a realização da manutenção. A principal vantagem que é notada quando se utiliza esta solução, é a redução do tempo, minimizando todos os custos indiretos relacionados ao tempo de execução de uma obra.

Todas as vantagens citadas, quando analisadas ao final de uma obra, levam a uma maior economia, viabilizando o uso desta solução.

5. CONCLUSÃO

Esta solução customizada se torna um diferencial por substituir o método de união tradicional por solda ou rosca e também ao evitar a utilização de tubos com sobresspessura de parede para corrosão ou até substituir o uso das ligas metálicas nobre, através da aplicação de um revestimento adequado. Ter conhecimento dos parâmetros de processo, saber de maneira precisa em quais condições o revestimento irá operar, não são suficientes para garantir que o revestimento consiga cumprir todas as solicitações que ocorrerão ao longo do seu uso, é necessário ter também um procedimento detalhado de aplicação e um padrão rigoroso de controle da qualidade do revestimento aplicado, com a execução de todos os testes necessários, para garantir que o revestimento cumprirá todas as funções para as quais foi requisitado.

Para adotar a solução tema deste trabalho de maneira eficiente, é sempre necessário conhecer bem o projeto, isométricos, condições de operação, local de instalação, condições ambientais e entre outros. Estes fatores permitem que o projeto seja realizado da maneira mais prática e econômica possível, devido as diversas soluções que podem ser adotadas. Ao adotar a solução mais adequada, é possível usufruir ao máximo das vantagens que foram mencionadas ao longo do trabalho.

6. REFERÊNCIAS

1. VAN VLACK, H. L. **Princípios de Ciência dos Materiais**. In: EDGAR BLUCHER. *Princípios de Ciência dos Materiais*. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1970. p. 50. p.185.
2. OLIVEIRA, C. L.; SILVA, E. C.; SANTOS, T. P.; CAMPOS, H. P. **Uma Abordagem Teórica da Influência dos Parâmetros de Processo e das Características das Matérias-Primas nas Propriedades Finais de um Revestimento de Polietileno em Tripla Camada**. In: _____. Trabalho apresentado no COTEQ 226, 2003.

3. KEHR, A. J. **Fusion Bonded Epoxy (FBE) A Foundation for Pipeline Corrosion Protection.** In: NACE INTERNATIONAL. *Fusion Bonded Epoxy (FBE) A Foundation for Pipeline Corrosion Protection.* Texas: Editora NACE International, 2003. p. 85.