

08 a 11 de Outubro de 2018
Instituto Federal Fluminense
Búzios - RJ

PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO EFEITO DE BRANQUEAMENTO DO PVDF ATRAVÉS DO PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Carlos Adriano Arruda Teixeira¹ – carlosadrianotex@hotmail.com

Simone Vasconcelos Silva² – simonevs@iff.edu.br

¹⁻² Instituto Federal Fluminense – Campos dos Goitacazes, RJ, Brasil

Resumo. Para tornar possível a exploração de óleo e gás natural em águas marítimas é necessário desenvolvimento de alta tecnologia para dar suporte aos projetos de perfuração e exploração de poços submarinos. Um dos equipamentos que viabiliza a exploração off-shore é o duto flexível. As linhas de dutos flexíveis possuem um complexo e meticuloso processo produtivo, devido à tecnologia de ponta envolvida em seu método de construção. Considerando o alto custo e a complexidade do processo de fabricação de dutos flexíveis, é objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para análise do efeito do branqueamento em polifluoreto de vinilideno (PVDF) utilizado em linhas flexíveis da indústria de petróleo através do processamento de imagens. A metodologia consiste em etapas que contemplam o estabelecimento de critérios de aceitação com base no entendimento da causa raiz, amostragem e testes. Como resultados intermediários, foram pré estabelecidos alguns critérios de aceitação e também realizada uma pré seleção de técnicas de processamento de imagens já conhecidos e que são possíveis de serem aplicados no estudo proposto. Em trabalhos futuros espera-se elaborar uma ferramenta, baseada na metodologia proposta, que avalie através de aquisição e processamento de imagens os branqueamentos que venham a ocorrer no processo de manufatura com base em padrões de imagens.

Palavras-chave: Duto Flexível, PVDF, Processamento de Imagens, Branqueamento, Processos de Manufatura.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Martins (2008) um sistema para a exploração de petróleo off-shore consiste em um conjunto de equipamentos de uma especificidade complexa, os quais podem ser resumidos em quatro grupos: as linhas, os poços, os equipamentos submarinos e as unidades de produção. As linhas correspondem aos dutos de transferência do produto do poço até a unidade de produção, os poços provêm o acesso ao reservatório subterrâneo de hidrocarboneto, os equipamentos submarinos auxiliam, monitoram e controlam o processo de elevação dos fluidos

e as unidades de produção compõem a poção mais visível do sistema *off-shore*, situando-se na superfície, em locais de diferentes profundidades de lâmina d'água (Boschee, 2012).

A avaliação do comportamento mecânico de polímeros para diferentes aplicações vem despertando grande interesse, neste contexto o presente estudo terá como foco a análise do branqueamento em material polimérico Fluoreto de polivinilideno (PVDF) existentes em na camada de estanqueidade de dutos flexíveis (Abreu, 2012). Linhas flexíveis são dutos compostos por várias camadas sobrepostas de materiais diferentes, desprovidas de qualquer tipo de união, sendo promotoras do transporte do petróleo nas plataformas de produção. Estima-se que, do custo agregado para o desenvolvimento de um campo petrolífero submarino, 25% advenha dos dutos flexíveis (Martins, 2008).

Devido ao aumento da utilização dos tubos flexíveis no ambiente marinho, há uma crescente investigação sobre o comportamento destas estruturas flexíveis. Embora já se tenha evoluído de forma importante quanto a uma configuração otimizada, durante sua fabricação, alguns pontos ainda necessitam de estudos. A estrutura do duto flexível precisa ter um controle de qualidade rigoroso, por isso, as indústrias fabricantes deste produto tem um grande desafio para garantir a qualidade de construção conforme projeto de estrutura, de forma a garantir que todas as especificações do produto sejam atendidas em plenitude (Tavares, 2008).

O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para análise do efeito do branqueamento nas camadas de estanqueidade que são extrudadas utilizando material PVDF durante o processo de manufatura. A metodologia proposta aborda a aquisição e processamento de imagens para estabelecer os padrões visuais que podem ser aceitáveis quando há ocorrência de branqueamento. As técnicas de processamento de imagens que são consideradas mais relevantes abordadas mais adiante em um

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Duto Flexível

A classificação dos dutos flexíveis ocorre a partir da sua construção tubular ou de sua função. O duto flexível abordado neste trabalho é conhecido como *unbonded pipe*, ou seja, linha não colada. Esse nome deriva de sua estrutura, que por sua vez é composta por camadas poliméricas e metálicas, intercaladas entre si, de forma a permitir um movimento relativo entre essas camadas, fornecendo assim, a adequada flexibilidade do duto (Boschee, 2012). A Tabela 1 mostra as características dos dutos *unbonded pipe*.

Tabela 1 – Camada de um duto flexível e principal função. Fonte: Boschee (2012).

Camada	Principal Função
Carcaça	Prover resistência ao Colapso
Barreira de pressão	Prover Estanqueidade do fluido interno
Armadura de pressão	Prover resistência à pressão interna, colapso, esmagamento
Armadura de tração	Prover resistência à cargas axiais de tração
Anti-desgaste	Reduzir o atrito entre camadas metálicas
Capa externa	Prover Estanqueidade do fluido externo

Ainda de acordo com Boschee (2012), os dutos podem ser classificados por aplicação: (i) aplicação estática (*flowline*), em que o componente não sofre carregamento dinâmico ou são

de ordem muito baixa; e (ii) aplicação dinâmica (*riser*), onde um carregamento cíclico de tal ordem é capaz de gerar falha por fadiga em um duto flexível.

A fabricação de um duto flexível é composta por vários processos, onde cada processo é relacionado a uma das camadas que compõem o produto final. Em cada processo existe, uma série de fatores que podem contribuir para que haja um desvio de qualidade na produção, gerando um desvio de fabricação, o qual deve ser rapidamente identificado e avaliado. Na identificação, verifica-se se a ocorrência realmente configura-se como um desvio e, em seguida, avalia-se quais ações devem ser tomadas e quem será o responsável por conduzir as mesmas e/ou a quem recorrer (Tee *et al.*, 2013). Toda a matéria-prima utilizada deve ser inspecionada, tanto durante o recebimento, quanto durante o carregamento do material nas bobinas de processo (Zhang *et al.*, 2003). Contudo, durante o processo de manufatura pode ser necessário executar a tratativa de eventuais não conformidades em uma linha de produção, onde duas medidas devem ser adotadas: i) buscar a causa raiz da ocorrência e atuar para mitigar a fonte do problema; ii) avaliar a falha no produto e tomar uma decisão (Boschee, 2012).

A camada de estanqueidade, também chamada de barreira de pressão (*inner Liner*), será a camada de interesse deste trabalho. O *liner* é a segunda camada de um tubo flexível, feita de material polimérico que tem como função assegurar a estanqueidade do fluido além de transferir esforços mais internos para outras camadas mais externas (Zhang *et al.*, 2003). Os materiais poliméricos são selecionados por apresentarem em sua composição química elementos resistentes à corrosão, assim como também excelentes propriedades mecânicas a fim de suportar as condições de operações impostas pelos carregamentos à alta pressão e elevadas temperaturas (Boschee, 2012). Os principais materiais poliméricos para esta camada são: Polietileno de alta densidade, Polietileno reticulado, Poliamida 11 – PA-11 ou nylon 11, Poliamida 12 – PA-12 ou nylon 12 e Polifluoreto de vinilideno - PVDF.

Este trabalho está voltado para o material PVDF, o qual é um polímero semicristalino termoplástico da classe dos fluorados. Possui grande estabilidade química, sendo resistente a solventes orgânicos, além de elevada resistência mecânica e térmica, podendo atuar em ambientes com até 130 °C de temperatura e 15000 psi de pressão (Aquino, 2015).

Segundo Abreu (2012), Laiarinandrasana *et al.* (2009) e Silva (2014), o branqueamento conforme apresentado na Fig. 1, é definido como a mudança na opacidade de um material polimérico devido a nucleação e/ou crescimento de micro vazios, resultando em aumento de volume e possível modificação de propriedades mecânicas. A formação do branqueamento pode surgir do processamento do material em algumas condições de temperaturas ou tensões mecânicas que atuam nos polímeros. O branqueamento pode aumentar a taxa de permeação do gás de operação, reduzir a vida útil da camada de estanqueidade e levar o duto flexível à falha de operação (Jerjen *et al.*, 2013). A compreensão do fenômeno de branqueamento e seu efeito sobre o comportamento mecânico do PVDF é de grande importância para engenharia uma vez que o uso deste material vem amplamente sendo utilizado no mercado de óleo e gás em exploração em águas ultra profundas. Tendo em vista os riscos associados ao branqueamento, é fundamental controlar a ocorrência deste tipo de característica durante o processo de fabricação, a fim de garantir a qualidade do produto (Laiarinandrasana *et al.*, 2009).

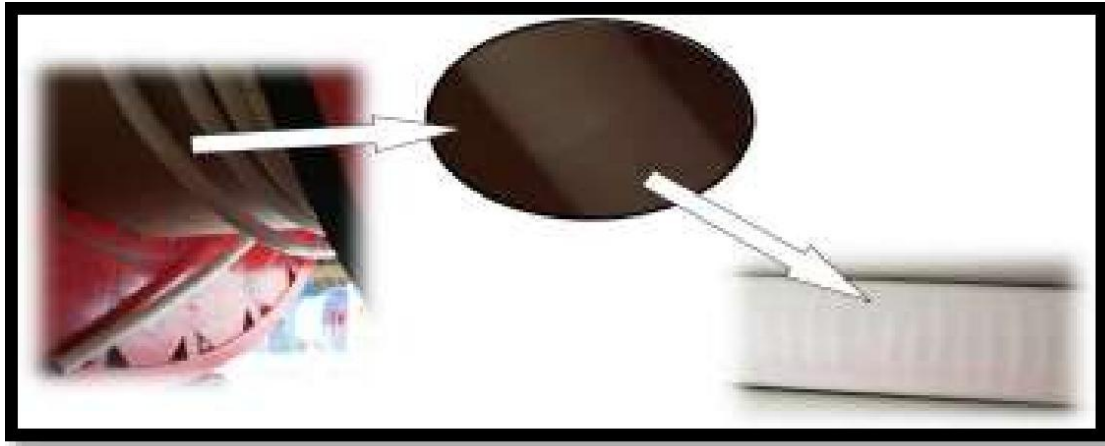


Figura 1 – Identificação de aparecimento de branqueamento em um *liner* de PVDF

2.2 Processamento de Imagens

O processo de transformar uma imagem real em uma imagem digital é chamado de Processamento Digital de Imagens (PDI). Uma imagem monocromática é uma função bidimensional contínua $f(x, y)$, na qual x e y são coordenadas espaciais e o valor de f em qualquer ponto (x, y) é proporcional à intensidade luminosa (brilho ou nível de cinza) no ponto considerado. Como os computadores não são capazes de processar imagens contínuas, mas apenas *arrays* de números digitais, é necessário representar imagens como arranjos bidimensionais de pontos. Cada ponto na grade bidimensional que representa a imagem digital é denominado elemento de imagem ou pixel (Acharya & Ray, 2005). Na notação matricial usual para a localização de um pixel no arranjo de pixels de uma imagem bidimensional (Fig. 2), o primeiro índice denota a posição da linha, m , na qual o pixel se encontra, enquanto o segundo, n , denota a posição da coluna. Se a imagem digital contiver m linhas e n colunas, o índice m variará de 0 a $m - 1$, enquanto n variará de 0 a $n - 1$ (Jähne, 2002).

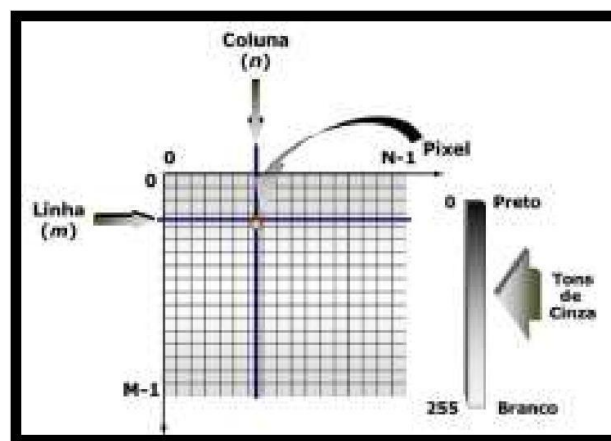


Figura 2 – Representação de uma imagem digital bidimensional. Fonte: Jähne (2002)

Gonzalez & Wood (2011) e Jähne (2002) propõem algumas técnicas de processamento de imagem para análise de extração de características e classificação que serão consideradas durante o desenvolvimento do estudo, como por exemplo:

- Inversão da Escala de Cinza: pode ter diversas aplicações, uma delas é que, em se tratando do negativo da imagem, após o registro fotográfico a partir de uma câmera convencional, a revelação do negativo do filme produzirá uma imagem positiva, passível de uso como slide. Adicionalmente, o negativo de uma imagem pode possibilitar melhor discriminação de alvos em determinados tipos de imagens;

- Limiarização (Thresholding): é uma abordagem para a segmentação fundamentada na análise da similaridade de níveis de cinza, de modo a extrair objetos de interesse mediante a definição de um limiar T que separa os agrupamentos de níveis de cinza da imagem. Uma das dificuldades do processo reside na determinação do valor mais adequado de limiarização. Através da análise do histograma da imagem, é possível estabelecer um valor para T na região do vale situado entre picos que caracterizam regiões de interesse na imagem;

- Segmentação orientada a regiões: se fundamenta na similaridade dos níveis de cinza da imagem. O crescimento de regiões é um procedimento que agrupa pixels ou sub-regiões de uma imagem em regiões maiores. A variante mais simples da segmentação orientada a regiões é a agregação de pixels, que se fundamenta na definição de um conjunto de pontos similares em valor de cinza, a partir do qual as regiões crescem com a agregação de cada pixel ao ponto à qual estes apresentem propriedades similares. A técnica apresenta algumas dificuldades: (i) a seleção de pontos que representem as regiões de interesse; e (ii) a seleção de propriedades para a inclusão de pontos nas regiões;

- Segmentação Baseada em Bordas: possibilita a análise de descontinuidades nos níveis de cinza de uma imagem. As bordas na imagem de interesse caracterizam os contornos dos objetos nela presentes, sendo bastante úteis para a segmentação e identificação de objetos na cena. Pontos de borda podem ser entendidos como as posições dos pixels com variações abruptas de níveis de cinza. Os pontos de borda caracterizam as transições entre objetos diferentes. Várias técnicas de segmentação baseiam-se na detecção de bordas, sendo as mais simples aquelas nas quais as bordas são detectadas pelos operadores de gradiente (Sobel, Roberts, Laplaciano), seguida de limiarização;

- Extração de Características e Reconhecimento: o objetivo é identificar objetos na cena a partir de um conjunto de medições. Cada objeto é um padrão e os valores medidos são as características desse padrão. Um conjunto de objetos similares, com uma ou mais características semelhantes, é considerado como pertencente à mesma classe de padrões. Há diversos tipos de características, cada uma das quais é obtida a partir de uma técnica específica.

3. METODOLOGIA

A metodologia está dividida nas seguintes etapas:

- **Etapa I – Revisão Bibliográfica sobre Dutos Flexíveis e Processamento de Imagens:** descrita na Seção 2;

- **Etapa II – Análise do Problema – Branqueamento no Processo Fabril:**

- (i) Análise da causa raiz: Alto contraste da coloração branca no polímero, ou seja, grande variação de opacidade na região onde houve estiramento de material polimérico pode indicar grande incidência de micro vazios gerando um ponto frágil da região, tornando-a susceptível a falhas durante dobramento ou por fadiga precoce do duto durante operação. Para entender o fenômeno deste contraste de coloração branca mais profundamente foram realizadas algumas dissecações em dutos já fabricados e também produções simulando condições propensas ao aparecimento de branqueamento no PVDF onde algumas possíveis causas raízes foram

apontadas. As principais causas raízes para o aparecimento de branqueamento em *liners* extrudados com PVDF durante o processo fabril foram identificados como sendo de diferentes naturezas. Algumas possíveis causas raízes previamente apontadas pelos principais *stakeholders* de uma empresa do setor de dutos flexíveis serão apresentadas;

(ii) Mínimo raio de flexão: Os carretéis de produção têm um papel fundamental para evitar a ocorrência de branqueamentos durante a produção do liner. Cada projeto de duto flexível possui uma especificação de raio mínimo de flexão definido do projeto estrutural da linha e que deve ser respeitado durante a produção. O núcleo do carretel deve corresponder à especificação sendo igual ou superior ao solicitado pelo raio mínimo de flexão da camada de estanqueidade. Na Fig. 3 é possível observar que o branqueamento começa a aparecer no ponto de dobra da linha enquanto é bobinado para o carretel de produção e a Fig. 4 apresenta um efeito generalizado de branqueamento ao longo de todo o comprimento em contato com o núcleo do carretel;



Figura 3 – Branqueamento durante o enrolamento do duto



Figura 4 – Branqueamento ao longo do duto

(iii) Variação do passo da carcaça: A carcaça é a primeira camada de um duto flexível e também a camada anterior à extrusão da camada de estanqueidade. Como pode ser observado pela Fig. 5, o material extrudado ingressa sutilmente na carcaça através do efeito chamado fluência entre espaçamentos e quando o material se conforma nestas lacunas, uma movimentação desta região pode forçar o material extrudado forçando-o a uma estricção localizada onde é potencial região de aparecimento de branqueamento. Uma variação de passo irregular é apresentada na Fig. 6;

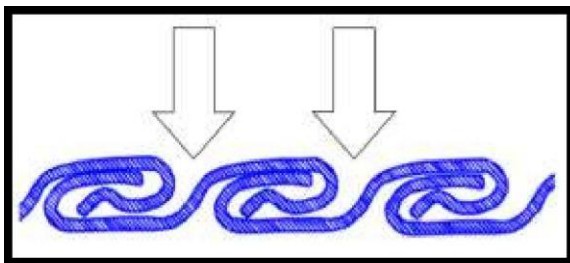


Figura 5 – Perfil da carcaça onde o material do *liner* ingressa durante o processo de extrusão



Figura 6 – Variação de passo em uma carcaça de duto flexível

(iv) Esta variação pode ser dar por vários motivos, entre as quais podem ser aperto dos enrolamentos da carcaça, variação de velocidade do processo, falhas no equipamento que traciona a linha, etc. A região da carcaça que apresentou maior variação de passo com abertura

próximo da máxima possível, resultou em um branqueamento excessivo com posterior falha da camada ainda durante o enrolamento do duto no carretel de manufatura (Fig. 7). Grandes comprimentos de duto também podem ser impactados por branqueamento generalizado, como é o caso observado na Fig. 8. Em casos como este não é recomendável aceitação do produto, uma vez que se entende que a qualidade da produção já está comprometida como um todo;



Figura 7 – Falha gerada por branqueamento devido à estricção local excessiva



Figura 8 – Branqueamento causado por variação no passo da carcaça

(v) Redução de espessura da camada: A espessura do material tem papel fundamental no cálculo de resistência da estrutura. Uma camada mais fina pode permitir maior flexibilidade à camada, além de reduzir o custo do produto, porém oferecerá menor resistência aos esforços solicitados pelo projeto do duto e aos carregamentos sofridos pelos processos da produção. Durante o processo de extrusão da camada de estanqueidade a espessura da camada deve ser controlada afim de não variar para uma gama fora das tolerâncias de fabricação. A Fig. 9 mostra o branqueamento na região onde houve variação de espessura fora dos critérios de fabricação estabelecidos;

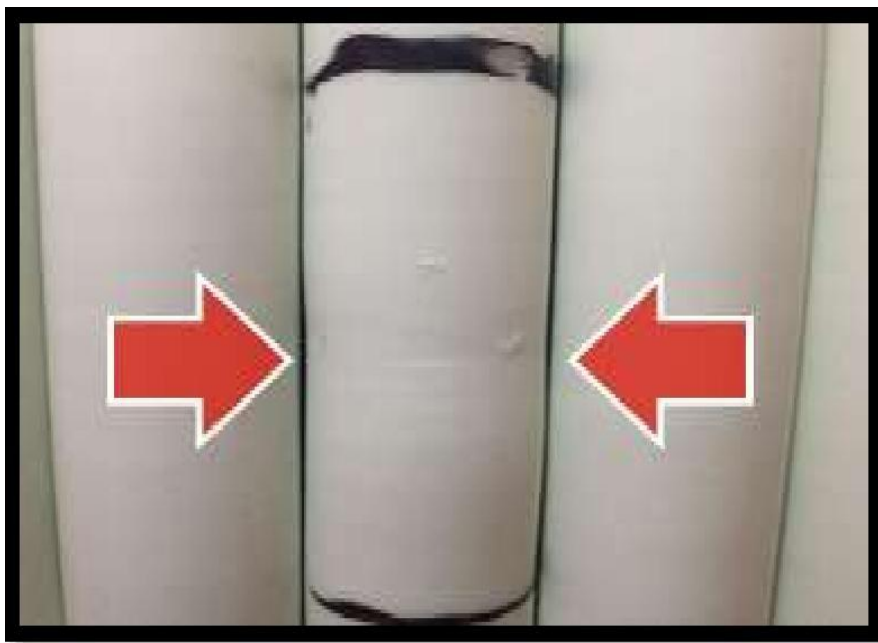


Figura 9 – Branqueamento por redução de espessura do material

(vi) Outras possíveis causas de branqueamento: Como outras possíveis causas que possam gerar ou contribuir para o aparecimento de branqueamento são apontadas emendas de fitas da camada intermediária entra a carcaça e a camada de estanqueidade durante a troca de bobinas, arrefecimento da camada durante conformação, etc.

• **Etapa III – Criação do Banco de Imagens: definição da amostragem e aquisição das imagens**

Várias amostras estão programadas para serem extraídas ao longo do desenvolvimento do presente estudo. As amostras foram disponibilizadas para análise por uma grande indústria do setor e são provenientes de camadas extrudadas com PVDF com finalidade comercial, mas que não foram aceitas no produto devido ao risco de falha. Entretanto algumas amostras serão produzidas especificamente para estudos e algumas destas serão exploradas para efeitos de enriquecimento deste trabalho. O método de extração das amostras, observado na Fig. 10, foi definido com intuito de manter a integridade do material extrudado para posteriores testes e ensaios. Como o foco deste trabalho é analisar as características visuais do polímero, todas as amostras que sofrerão ensaios destrutivos serão preservadas para registro das características relevantes com o equipamento apropriado que ainda será definido.



Figura 10 – Retirada de amostras da camada com ocorrência de branqueamento

O PDVDF possui uma característica translúcida e também opaca, como pode ser observado na Fig. 11. Tal característica será explorada ao longo do desenvolvimento deste estudo com intuito de definir o limiar da aceitação da variação na opacidade do material através do contraste da coloração branca. É propósito deste trabalho definir um critério de aceitação com base nas imagens registradas antes dos ensaios destrutivos, a partir dos resultados dos ensaios em momento posterior. Os resultados dos ensaios podem ser associados a padrões visuais aceitáveis ou não aceitáveis uma vez que apresentem variação suficientemente perceptível para atribuir um critério com base nestes padrões. O efeito de branqueamento em *liners* de PVDF aparece basicamente de forma radial através da circunferência do duto. Entretanto, ao analisar mais profundamente, pode ser observado que o material pode sofrer uma estricção expandindo a região de branqueamento no sentido longitudinal ao duto. Branqueamento concentrado em seções menores que 90° podem ser mais susceptíveis a falha devido a maior estiramento local, embora estudos ainda não tenham chegado a uma conclusão que comprove tal afirmativa. Da mesma forma, o comprimento de circunferência afetado em seções de 180° não tem impacto mais severo na propriedade estrutural da camada, pois um maior arco de propagação apresenta menor concentração de micro vazios comparado com ocorrências e 90° . A Fig. 12 apresenta um comparativo de ocorrências em 180° e 90° ao longo da circunferência do duto.

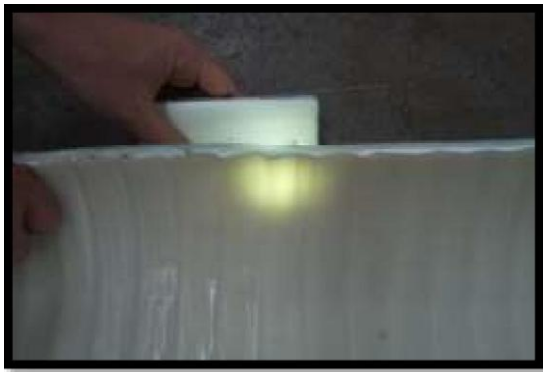


Figura 11 - Característica opaca e translúcida do PVDF

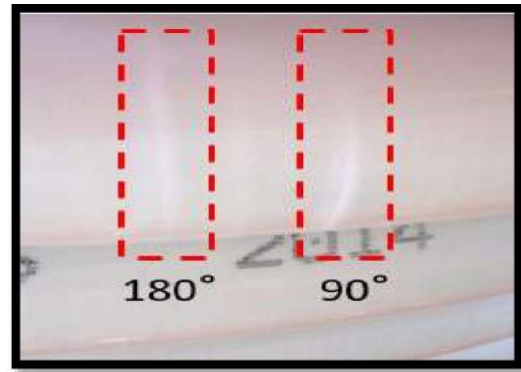


Figura 12 – Ocorrências de branqueamento ao longo do duto

• **Etapas IV, V e VI - Tratamento das Imagens e Análises dos resultados**

Será estudada a hierarquia de tarefas de processamento de imagens digitais proposta por Ping *et al.* (2003). Para efeitos de análise, a hierarquia detalhada na Fig. 13 é um guia para o processo de extração de características e classificação das imagens. Um protótipo de câmara será construído para viabilizar o método de processamento de imagens proposto, tornando o modelo de aquisições das imagens padronizado, ou seja, a mesma intensidade de luz e contraste estarão presentes em todas as imagens registradas. Através do método de aquisição de imagens com ambiente controlado, pretende-se processar as imagens adquiridas aplicando algumas técnicas específicas, que possam realçar as características do branqueamento com intuito de viabilizar a análise das características. Desta forma as regiões de interesse da imagem serão analisadas e então classificadas através de comparativo com parâmetros registrados no banco de imagens.

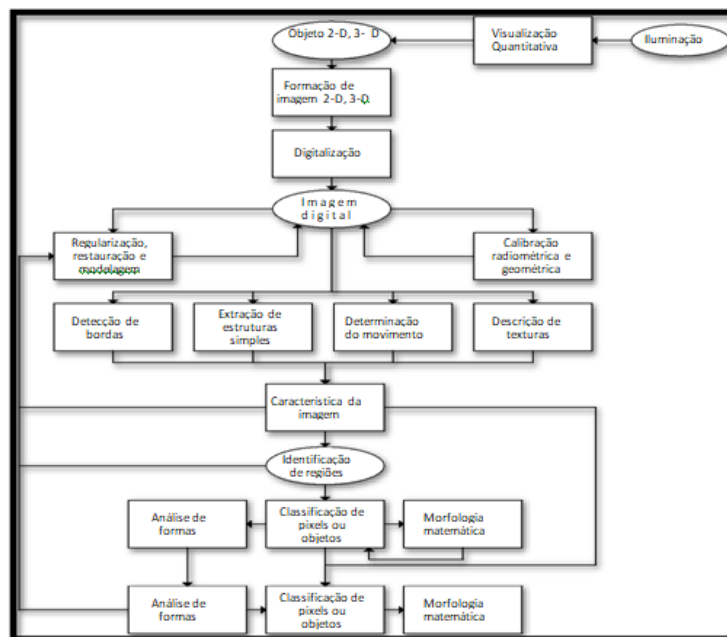


Figura 13 - Hierarquia de tarefas processamento de imagens. Fonte: Adaptado de Jähne (2002)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como pôde ser observado na Fig. 12, é possível distinguir a intensidade do efeito do branqueamento nas duas ocorrências destacadas em pontilhado vermelho. Esta diferença no tom de branqueamento será abordada no decorrer do estudo proposto neste trabalho, como principal recurso para avaliar a qualidade do produto em relação aos critérios de aceitação. O padrão de cores do branqueamento (escala de cinza) ocorre conforme a Fig. 14. Além da análise de diferença entre tons de coloração que toma como base a variação de opacidade do material, também se faz necessário uma abordagem que relacione a geometria e extensão da região afetada. É possível observar diferentes formas longitudinais, assim como diferentes comprimentos de arco nas ocorrências de branqueamento que são observadas em produções comerciais. A Fig. 15 lustra algumas formas possíveis que o branqueamento pode assumir tanto em relação ao comprimento de arco no sentido radial do duto quanto em relação a propagação axial.

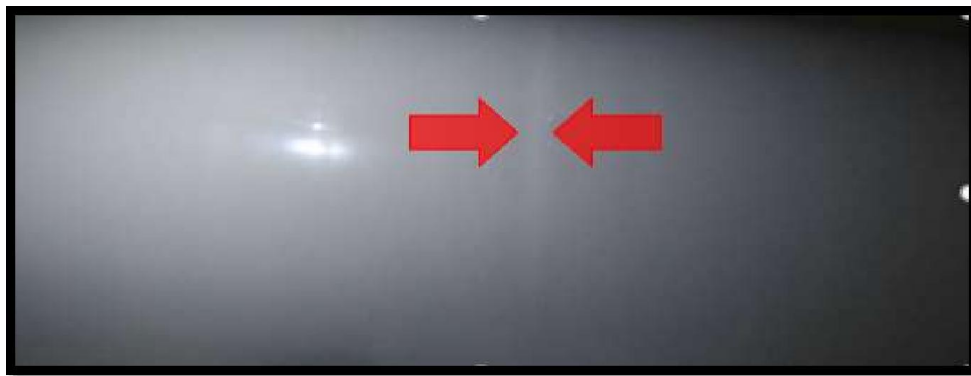


Figura 14 – Formação de branqueamento observado em contraste de tons de cinza

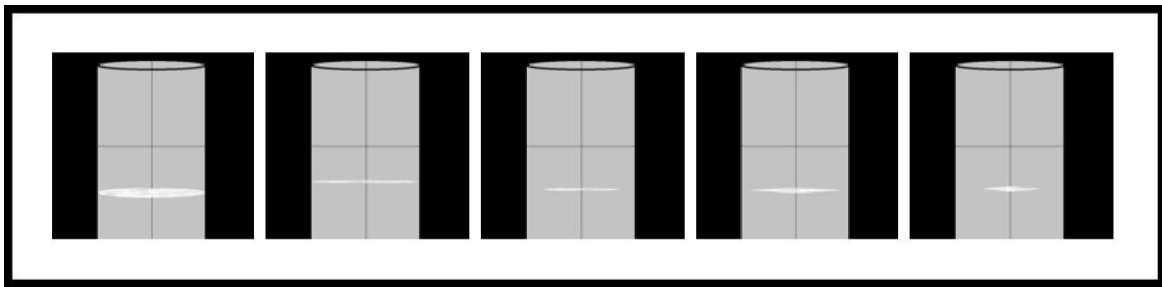


Figura 15 – Possíveis padrões geométricos para branqueamento no PVDF

Utilizando a digitalização de imagens adquiridas na fábrica, espera-se realçar as características mais relevantes que são encontradas nos branqueamentos e extrair um perfil da imagem digital através da aplicação das técnicas de processamento de imagens.

Tomando como base o entendimento de causa raiz que está sendo abordado neste trabalho e o conseqüente grau de risco de falha do PVDF, que já é conhecido, espera-se conseguir associar as principais características visuais dos branqueamentos encontrados nas amostras analisadas, com uma escala percentual de risco. Desta forma, as tomadas de decisão durante o processo fábriil podem se tornar menos subjetivas quando se tratar de branqueamento em *liner* de PVDF, e poderá ser possível assegurar ainda mais o controle de qualidade de produção e evitando prejuízos desnecessários para a indústria de dutos flexíveis. Porém os

resultados atuais ainda são inconclusivos, fazendo-se necessário ainda, aquisição de muitas amostras para serem analisadas e montar um banco de imagens sólido, o que pode demorar um tempo considerável, ou seja, alguns anos, pois a maioria das amostras dependem da ocorrência não esperada de branqueamento durante produções comerciais.

5. CONCLUSÕES

A partir de uma pesquisa bibliográfica e de trabalho de campo, um estudo vem sendo elaborado na área industrial com foco na fabricação de dutos flexíveis, especificamente na execução do processo de extrusão da camada de estanqueidade da estrutura do duto. A metodologia proposta neste trabalho tem a finalidade de comparar uma característica do material PVDF que pode ocorrer durante o processo de manufatura da camada de estanqueidade em que se aplica tal polímero.

O branqueamento do PVDF será avaliado através de processamento de imagens seguindo os critérios de aceitação definidos em trabalhos futuros. Com isso pretende-se estabelecer uma avaliação das ocorrências de branqueamento como sendo passível de aceitação no produto comercial ou se terá impacto negativo significativo na qualidade do material aplicado na camada, indicando uma possível reprovação do processo.

Utilizando as técnicas de processamentos de imagens propostas, conforme detalhado na seção 2.2, espera-se conseguir automatizar o processo de comparação de características da imagens adquiridas, com imagens já conhecidas de amostras previamente analisadas por especialistas da área, possivelmente atribuindo uma margem percentual de risco em cada análise comparativa. Se o objetivo do estudo proposto for alcançado com sucesso, o trabalho poderá então evoluir para uma próxima etapa, que será o desenvolvimento de um dispositivo portátil para avaliação *in loco*, caso venha ocorrer algum branqueamento durante o processo de produção, já sendo utilizado como uma ferramenta de suporte à tomada de decisão durante as análises dos especialistas.

REFERÊNCIAS

- Abreu, F.G. (2012). Análise de polifluoreto de vinilideno (PVDF) sob carregamento cíclico. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE, UFRJ-RJ.
- Acharya, T., Ray, A. K. (2005). Image Processing- Principles and Applications. John Wiley & Sons.
- Aquino, F. G. (2015). Evaluation of PVDF Microstructure via Microbeam Small-Angle X-ray Scattering after the Exposure to Supercritical CO. Tese do Department of Chemistry of University of Hamburg, Alemanha.
- Boschee, P. (2012). Best Practices for Flexible Pipe Integrity: Evolve. Oil Gas. Facilities.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E. (2011). Digital Image Processing. Pearson Education.
- Jähne, B. (2002). Digital Image Processing. Springer-Verlag.
- Jerjen, I., Revol, V., Brunner, A.J., Schuetz, P., Kottler, C., Kaufman, R., Luethi, T., Nicoletti, G., Urban, C., Sennhauser, U. (2013). Detection of stress whitening in plastics with the help of X-ray dark field imaging. Polymer Testing.
- Laiarinandrasana, L., Besson, J., Lafarge, M., Hochstetter, G. (2009). Temperature dependent mechanical behaviour of PVDF: Experiments and numerical modelling. International Journal Plasticity.
- Martins, C.O.D. (2008). Desenvolvimento de Metodologias de Inspeção e Monitoramento de Risers Flexíveis através de Técnicas Micromagnéticas de Análise de Tensões. Tese do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da UFRGS - RS.
- Ping, S., Weng, C., Lau, B. (2003). Face Detection Through Template Matching and Color Segmentation.
- Nevim, Silva, M. D. C. (2014). Geração do efeito whitening em polifluoreto de vinilideno sob carregamento cíclico.
- Dissertação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e Materiais, COPPE, UFRJ-RJ. Tavares, J. C. V.; Cabelino, K.; Quintaes, M.; Baraúna, L. (2008). Apostila de Equipamentos Submarinos.
- Tee, K.F., Khan, L.R., Chen, H.-P. (2013). Probabilistic failure analysis of underground flexible pipes. Structural

Engineering and Mechanics.

Zhang, Y., Chen, B., Qiu, L., Hill, T., Case, M. (2003). State of the art analytical tools improve optimization of unbonded flexible pipes for deepwater environments. Offshore Technology Conference.

Abstract. *In order to make possible the exploration of oil and natural gas in maritime waters, it is necessary to develop high technology to support projects for drilling and exploration of submarine wells. One of the equipment that enables offshore exploration is the flexible pipe. The flexible pipelines have a complex and meticulous production process, due to the cutting-edge technology involved in their construction method. Considering the high cost and complexity of the flexible pipeline manufacturing process, the objective of this work is to propose a methodology for the analysis of the whitening effect in polyvinylidene polyfluoride (PVDF) used in flexible lines of the oil industry through image processing. The methodology consists of steps that include the establishment of acceptance criteria based on root cause understanding, sampling and testing. As intermediate results, some acceptance criteria were pre-established and a pre-selection of known image processing techniques was also carried out, which are possible to be applied in the proposed study. In future works, it is expected to elaborate a tool, based on the proposed methodology, that evaluates through the acquisition and processing of images the whitening that may occur in the manufacturing process based on image patterns.*

Keywords: *Flexible pipes, PVDF, Image Processing, Whitening, Manufacturing Processes.*