

**PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ANÁLISE DO EFEITO DE
BRANQUEAMENTO DO PVDF ATRAVÉS DO
PROCESSAMENTO DE IMAGENS**
*PROPOSED METHODOLOGY FOR ANALYSIS OF THE EFFECT OF PVDF
BLEACHING THROUGH IMAGE PROCESSING*

Carlos Adriano Arruda Teixeira¹

Simone Vasconcelos Silva²

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 (análise do problema, criação do banco de imagens, tratamento das imagens e análise dos resultados) que contemplam o estabelecimento de critérios de aceitação com base no entendimento da causa raiz, amostragem e testes. Como resultado espera-se a aquisição e processamento de imagens para estabelecer os padrões visuais que podem ser aceitáveis quando há ocorrência de branqueamento. Em trabalhos futuros espera-se elaborar uma ferramenta, baseada na metodologia proposta, que avalie através de 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.

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 duct. 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 to analyze the effect of bleaching on polyvinylidene fluoride (PVDF) used in flexible lines of the petroleum industry through image processing. The methodology consists of steps (problem analysis, creation of the image bank, image processing and analysis of the results) that contemplate the establishment of acceptance criteria based on root cause understanding, sampling and testing. As a result, image acquisition and processing are expected to establish the visual patterns that may be acceptable when bleaching occurs. In future works, it is expected to elaborate a tool, based on the proposed methodology, that evaluates through the processing of images whitening that may occur in the manufacturing process based on image patterns.

Keywords: Flexible Duct. PVDF. Image processing. Bleaching. Manufacturing Processes.

¹ Mestrando em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Instituto Federal Fluminense, carlosadrianotex@hotmail.com.

² Doutora em Computação, Instituto Federal Fluminense, simonevs@iff.edu.br.

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 (BOSCHÉE, 2012).

A avaliação do comportamento mecânico de polímeros para diferentes aplicações vem despertando grande interesse, neste contexto esta dissertação 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.

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). O Quadro 1 mostra as características dos dutos unbonded pipe.

Quadro 1 – Empréstimos realizados no segundo semestre pelos alunos do Curso de Administração com habilitação em marketing

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 a cargas axiais de tração
Anti-desgaste	Reduzir o atrito entre camadas metálicas
Capa externa	Prover Estanqueidade do fluido externo

Fonte: BOSCHEE (2012)

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).

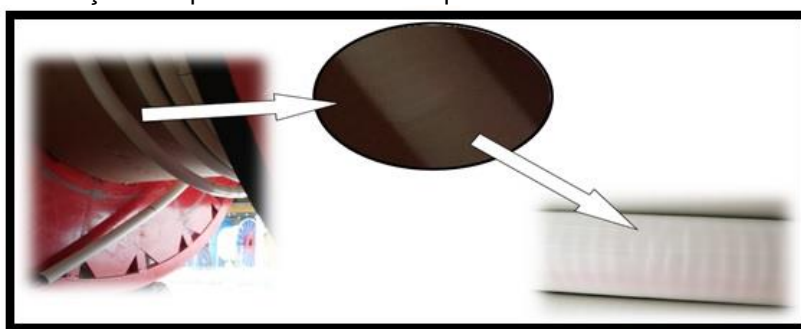
A camada de estanqueidade, também chamada de barreira de pressão (inner Liner), será a camada de interesse deste trabalho. O liner é a segunda camada de um tubo flexível, feita de material polimérico que tem como função assegurar a estanqueidade do fluido além de transferir esforços mais internos para 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 (Figura 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

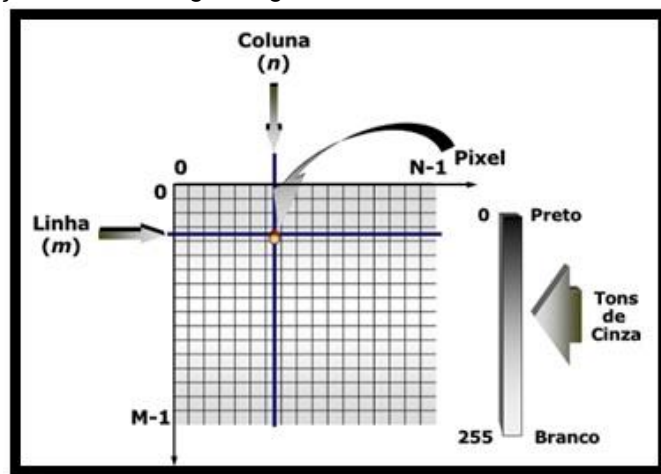


Fonte: SILVA (2014)

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 e RAY, 2005). Na notação matricial usual para a localização de um pixel no arranjo de pixels de uma imagem bidimensional (Figura 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 e Wood (2011), Jänhe (2002) propõem algumas técnicas de processamento de imagem para análise de extração de características e classificação:

- 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 do duto precoce 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. Esta seção abordará algumas possíveis causas raízes previamente apontadas pelos principais stakeholders de uma empresa do setor de dutos flexíveis;

(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 Figura 3 é possível observar que o branqueamento começa a aparecer no ponto de dobra da linha enquanto é bobinada para o carretel de produção e a Figura 4 apresenta um efeito generalizado de branqueamento ao longo de todo o comprimento em contato com o núcleo do carretel;

(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 Figura 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 a 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 Figura 6;

(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 (Figura 7). Grandes comprimentos de duto também podem ser impactados por

branqueamento generalizado, como é o caso observado na Figura 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;

(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 Figura 9 mostra o branqueamento na região onde houve variação;

(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 Figura 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.

O PDVF possui uma característica translúcida e também opaca, como pode ser observado na Figura 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 Figura 12 apresenta um comparativo de ocorrências em 180° e 90° ao longo da circunferência do duto.

Ainda na Figura 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 Figura 13. 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 Figura 14 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.

- 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 Figura 15 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 3 – Branqueamento no enrolamento do duto.



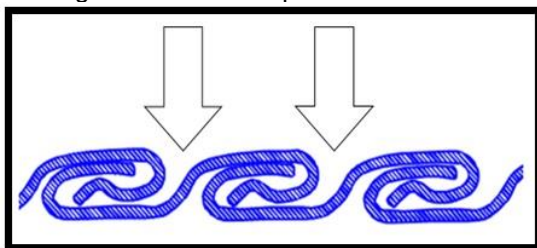
Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 4 – Branqueamento no duto.



Fonte: Próprio Autor (2019).

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



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 6 – Variação de passo na carcaça de duto flexível.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 7 – Falha gerada por branqueamento devido à estrição local excessiva.



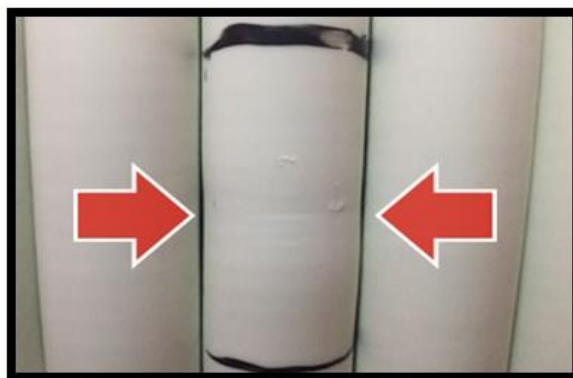
Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 8 – Branqueamento causado por variação no passo da carcaça.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 9 – Branqueamento por redução de espessura do material.



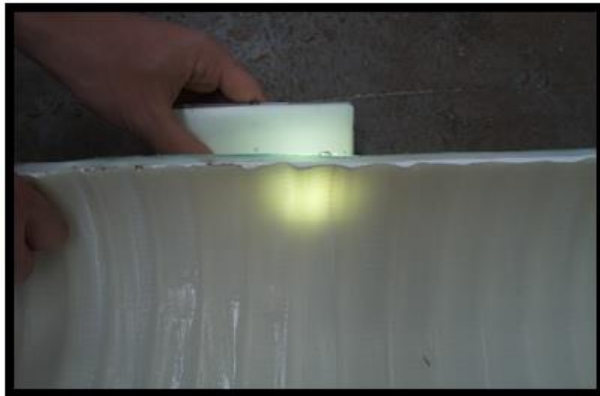
Fonte: Próprio Autor (2019).

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



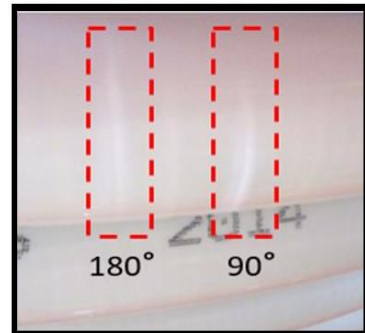
Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 11 – Característica opaca e translúcida do PVDF.



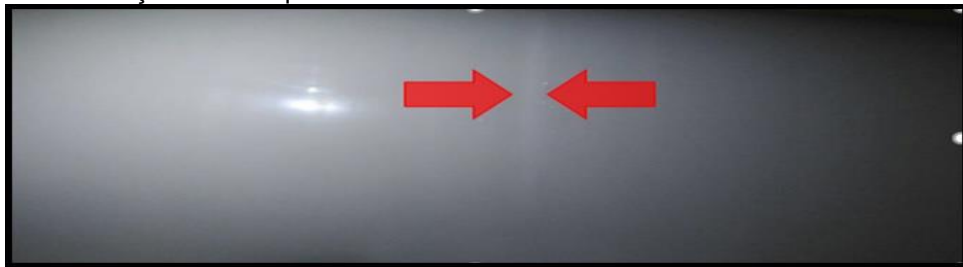
Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 12 – Ocorrências de branqueamento ao longo do duto.



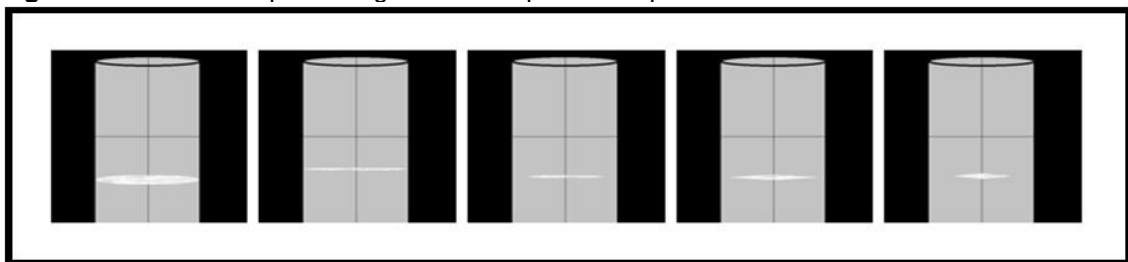
Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 13 – Formação de branqueamento observado em contraste de tons de cinza.



Fonte: Próprio Autor (2019).

Figura 14 – Possíveis padrões geométricos para branqueamento no PVDF.



Fonte: Próprio Autor (2019).

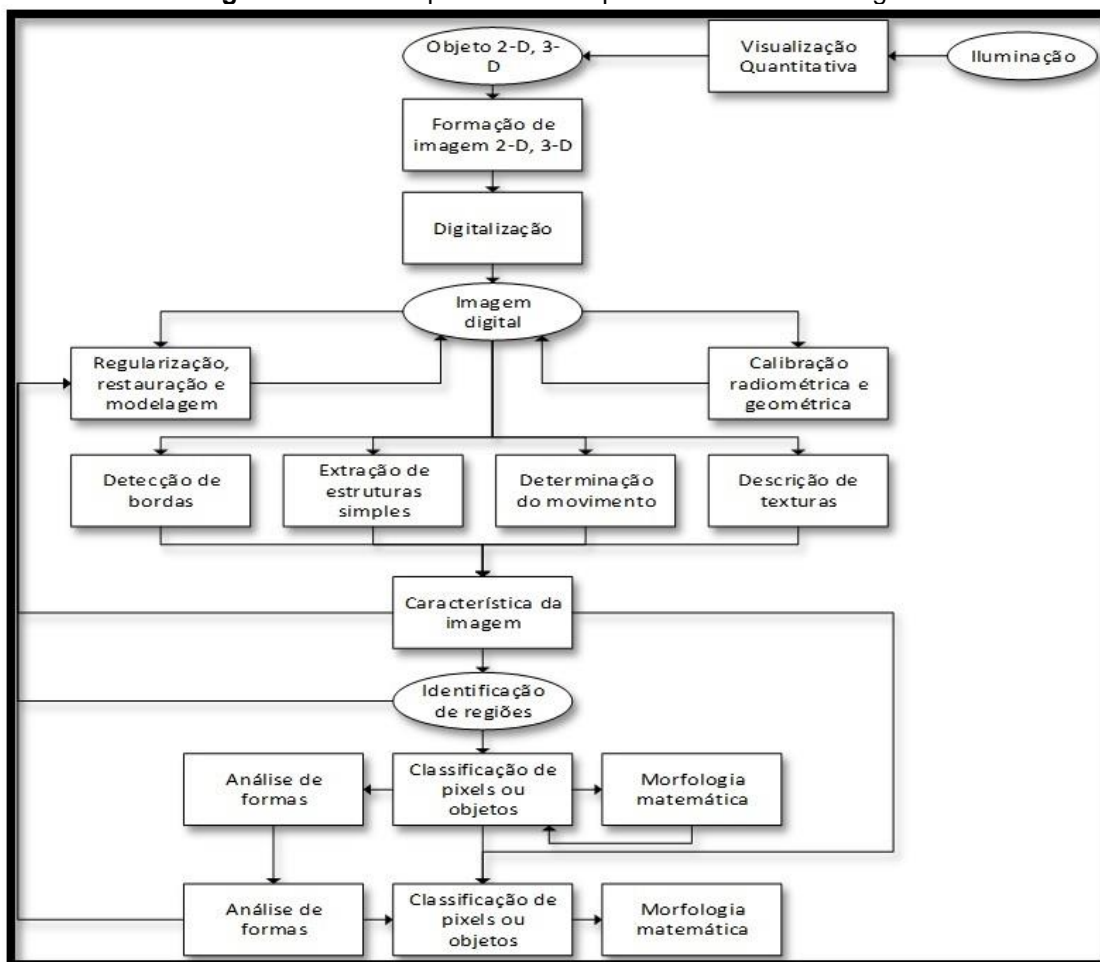
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de uma pesquisa bibliográfica e de trabalho de campo, um estudo vem sendo elaborado na área industrial com foco na fabricação de

duto 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.

Figura 15 – Hierarquia de tarefas processamento de imagens.



Fonte: Adaptado de JÄHNE (2002)

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. G. **Análise de polifluoreto de vinilideno (PVDF) sob carregamento cíclico**. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE, UFRJ-RJ. 2012.
- ACHARYA, T., RAY, A. K. **Image Processing- Principles and Applications**. John Wiley & Sons. 2005.
- AQUINO, F. G. **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, 2015.
- BOSCHEE, P. Best Practices for Flexible Pipe Integrity: Evolve. **Oil Gas. Facilities**, 2012.
- GONZALEZ, R. C., WOODS, R. E. **Digital Image Processing**. Pearson Education. 2011.
- JÄHNE, B. **Digital Image Processing**. Springer-Verlag. 2002.
- JERJEN, I., REVOL, V., BRUNNER, A.J., SCHUETZ, P., KOTTLER, C., KAUFMAN, R., LUETHI, T., NICOLETTI, G., URBAN, C., SENNHAUSER, U. Detection of stress whitening in plastics with the help of X-ray dark field imaging. **Polymer Testing**. v. 32, n.6, p. 1094 – 1098. 2013.
- LAIARINANDRASANA, L., BESSON, J., LAFARGE, M., HOCHSTETTER, G. Temperature dependent mechanical behaviour of PVDF: Experiments and numerical modelling. **International Journal Plasticity**. v. 25, n.7, p.1301-1324. 2009.
- MARTINS, C. O. D. **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. 2008.
- YEH, P. S. T, WENG, C. H., LAU, B. Face Detection Through Template Matching and Color Segmentation. **Nevim**. v.89. 2003.
- SILVA, M. D. C. **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. 2014.
- TAVARES, J. C. V.; CABELINO, K.; QUINTAES, M.; BARAÚNA, L. **Apostila de Equipamentos Submarinos**. 2008.
- TEE, K.F., KHAN, L.R., CHEN, H.-P. Probabilistic failure analysis of underground flexible pipes. **Structural Engineering and Mechanics**. v. 47, n.2. 2013.
- ZHANG, Y., CHEN, B., QIU, L., HILL, T., CASE, M. State of the art analytical tools improve optimization of unbonded flexible pipes for deepwater environments. **Offshore Technology Conference**. Houston, Texas. 2003.

Edição especial - XXI ENMC (Encontro Nacional de Modelagem Computacional) e IX ECTM (Encontro de Ciência e Tecnologia dos Materiais)

Enviado em: 18 jun. 2019

Aceito em: 07 out. 2019

Editores responsáveis: Bianca Neves Machado/ Mateus das Neves Gomes