

AVALIAÇÃO DE FALHAS SIMULADAS EM BICOS ASPERSORES DO TIPO CONE VAZIO UTILIZANDO PROCESSAMENTO DE IMAGEM

Guilherme Fornazari Ward Cruz, gfw.cruz@unesp.br¹
Fabricio César Lobato de Almeida, fabricio.lobato@unesp.br¹
Gabriel Alves Costa, gabriel.a.costa@unesp.br¹

¹UNESP - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Faculdade de Engenharia de Bauru, Av. Eng. Luiz Edmundo C. Coube 14-01 - Vargem Limpa - Bauru - SP / CEP 17033-360.

Resumo. Bicos aspersores de spray cônico vazado são dispositivos vastamente empregados dentre a agricultura brasileira, logo representam um elemento indispensável para os latifundiários. Porém, eles podem apresentar defeitos por seu desgaste natural ou provenientes de seu processo de fabricação. A ocorrência destes em seu orifício de saída resulta em falhas no spray, formando estrias que prejudicam a efetividade da distribuição de fluido, podendo levar a danos ao meio ambiente quando utilizados na aplicação de defensivos. Portanto, esse trabalho busca avaliar essas falhas através de fotos laterais do spray em 4 vistas, com aplicação de técnicas de processamento de imagens como filtro e ajuste de contraste. Como as amostras fornecidas não apresentavam defeitos, foi necessário utilizar uma metodologia de indução de defeito nos bicos. Além disso, foram implementadas quatro variações de iluminação para cada vista do jato, a fim de analisar quais são os efeitos de sua escolha na identificação de falhas. Coletando uma linha de pixels da imagem do spray, a ocorrência de falhas pôde ser observada na forma de picos de intensidade nesse modelo de visualização. É demonstrado também que a mudança na configuração de iluminação altera significativamente os resultados obtidos via sinais processados, prejudicando, assim, a identificação da falha.

Palavras chave: bicos aspersores, processamento de imagem, iluminação variada.

Abstract. Hollow cone spray nozzles are widely employed in Brazilian agriculture, making them an indispensable element for large landowners. However, they can exhibit defects due to natural wear or manufacturing processes. The occurrence of these defects at the nozzle's exit orifice results in spray failures, forming streaks that impair the effectiveness of fluid distribution and can lead to environmental damage when used in pesticide application. Therefore, this study aims to evaluate these faults through side photos of the spray in four views, applying image processing techniques such as filtering and contrast adjustment. As the provided samples did not present defects, a fault induction methodology for the nozzles was necessary. Additionally, four lighting variations were implemented for each view of the spray to analyze the effects of lighting choice on fault identification. By collecting a line of pixels from the spray image, the occurrence of faults could be observed as intensity peaks in this visualization model. It is also demonstrated that changes in lighting configuration significantly alter the results obtained through processed signals, thus hindering fault identification.

Keywords: spray nozzles, image processing, varied lighting.

1. INTRODUÇÃO

Bicos de aspersão são dispositivos essenciais para a distribuição controlada de fluidos, encontrando aplicação tanto na indústria, para processos como umidificação e resfriamento (por exemplo, descarepação), quanto na agricultura, setor crucial para a economia nacional, para irrigação e aspersão de defensivos em plantações. Logo, garantir a funcionalidade adequada desses bicos é crucial para otimizar a produção agrícola e evitar desperdícios de recursos escassos, como água e produtos químicos. Dessa forma, a negligência na manutenção desses dispositivos pode acarretar prejuízos financeiros consideráveis, como apontado por Barber (2009), com perdas estimadas em até \$182.000 anuais quando os bicos operam em condições inadequadas. Diante desse cenário, há uma demanda crescente por métodos de controle de qualidade mais eficientes, dado que atualmente são utilizadas inspeções visuais, que estão inevitavelmente sujeitas a falhas humanas. Conseqüentemente, a automação desse processo se torna imperativa, não apenas para aumentar a eficiência, mas também para melhorar as condições de trabalho dos operadores. Então, isso não só reduziria os impactos econômicos e ambientais decorrentes de falhas nos bicos de aspersão, como também promoveria uma produção mais sustentável e eficiente.

Nesse sentido, diversos estudos têm sido realizados para compreender melhor o comportamento desses dispositivos. Ozkan, *et al.*, (1992), por exemplo, investigou como o desgaste afeta o padrão de pulverização, observando mudanças significativas na distribuição do spray em resposta a partículas abrasivas no fluido. Além disso, estudos numéricos, como

o de Krishnaswamy e Krishnan (2002), têm desenvolvido modelos para prever o desgaste do bico ao longo do tempo, utilizando dados do spray e algoritmos de redes neurais.

Outras abordagens incluem análise de imagens, como demonstrado por Sudheer e Panda (2000), que aplicaram técnicas avançadas de processamento de sinais para determinar o tamanho das gotículas pulverizadas. Além disso, Çetin, *et al.*, (2000) propôs um método para reduzir a quantidade de dados analisados, utilizando vetores de intensidade a partir de imagens dos sprays. Integrando essas abordagens, Costa, *et al.*, (2022) propôs um método de classificação do estado dos bicos de aspersão com base em características específicas das imagens capturadas, permitindo uma avaliação mais precisa do desempenho desses dispositivos.

Esse trabalho tem como base a análise de imagens como método de detecção de falhas em bicos aspersores, investigando a introdução de falhas simuladas através de comparações, bem como a influência do layout de iluminação na coleta de dados como parâmetro na qualidade da análise, em preparação para aplicação classificatória em etapas posteriores.

2. DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Para a realização dos testes propostos, foi utilizada uma bancada de testes fornecida pela empresa Spraying Systems Co., com um sistema de recirculação de água, proporcionando a pressão de 40 psi determinada para esse tipo de teste. Nesse cenário, foram introduzidas iluminações adicionais no interior da bancada, sendo duas posicionadas na sua lateral e uma outra posicionada acima da região de acoplamento do bico, como mostra a Fig. 1, a fim de obter diferentes configurações de claridade incidente no jato a partir das combinações de possibilidades de seus acionamentos. Além disso, utilizou-se uma unidade de processamento Raspberry Pi com módulo de câmera compatível para a coleta de dados de imagem e armazenamento das imagens captadas.

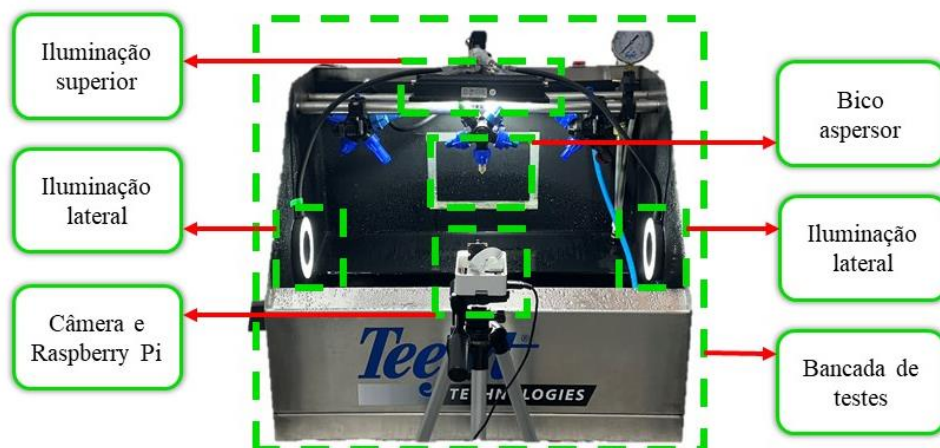


Figura 1. Bancada de testes fornecida pela empresa Spraying Systems Co

Ademais, foi disposta uma ferramenta delgada de desbaste - evidenciada pela Fig. 2 - utilizada de forma manual, isto é, retirando-se o material responsável pela formação do padrão do jato, danificando-o permanentemente, a fim de introduzir artificialmente uma falha no bico para posterior comparação com a falha originalmente contida pelo dispositivo desde a sua fabricação.



Figura 2. Ferramenta de desbaste

3. COLETA DE DADOS E PROCESSAMENTO DE SINAL

Nessa seção será fornecida a descrição geral dos testes realizados no que se refere a escolha do sistema de iluminação, bem como a introdução manual (ou simulada) de uma falha similar àquela encontrada em bicos aspersores que sofreram desgaste ou tiveram problemas durante seu processo de fabricação.

Além disso, será descrito o método de processamento dos dados coletados, bem como o procedimento de comparação que será adotado para análise.

3.1. Descrição dos testes de bancada

Para todas as coletas foi adotado o seguinte padrão: uma fotografia é registrada para cada espaçamento de noventa graus da curvatura do spray, de modo a garantir que toda a superfície do jato foi captada, criando, assim, quatro vistas ortogonais. Posteriormente, foram definidas quatro configurações de iluminação diferentes através da combinação entre o acionamento ou não de duas direções de luz, sendo essas a lateral e a superior. Essas configurações, mostradas na Fig. 3, foram testadas da seguinte forma: lateral acesa e superior apagada, mostrada na Fig. 3 (a); lateral apagada e superior acesa, mostrada na Fig. 3 (b); lateral e superior acesas, mostrada na Fig. 3 (c); lateral e superior apagadas, mostrada na Fig. 3 (d).

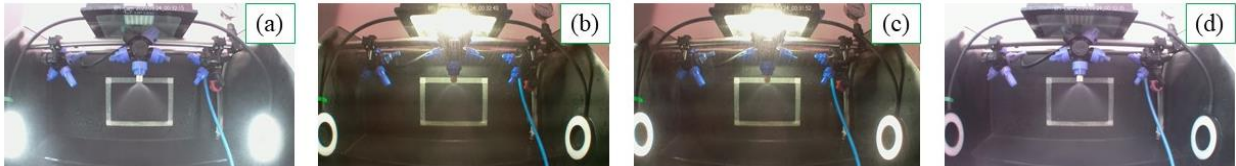


Figura 3. Bancada experimental utilizada para medições em diferentes condições de iluminação, sendo (a) lateral; (b) superior; (c) lateral e superior; (d) ambiente

Primeiramente, foi feita uma bateria de fotos do bico denominado “R98” (a nomenclatura utilizada na catalogação dos bicos/amostras foi aqui utilizada para referência futura) de acordo com o método descrito, que serviu como referência para comparação posterior com aquelas feitas após a introdução da falha. Diante disto, a falha foi introduzida manualmente no mesmo bico, como ilustra a Fig. 4, de forma a alterar o comportamento do seu padrão de distribuição do jato, uma vez que foi retirado material interno do dispositivo, o qual é o responsável por designar o formato do jato respectivo. Adiante, foi registrado o estado do bico após a introdução manual da falha em todas as vistas, variando do mesmo modo a configuração de iluminação para cada uma das vistas.



Figura 4. Introdução manual da falha

De modo paralelo, foram registradas 16 imagens do bico denominado “R50” a partir do método estabelecido para a aquisição das imagens descrito anteriormente. Este originalmente já continha defeito (estria) em seu padrão de distribuição advindo de seu processo de fabricação. Tal análise foi realizada visando uma comparação entre os resultados encontrados a partir das imagens coletadas do bico com falha induzida (R98) e aqueles encontrados a partir das imagens coletadas do bico com falha original (R50), para comprovar que é possível alterar o estado do jato de forma simulada, simples e que seu padrão seja semelhante àquele proveniente de erros verdadeiros de manufatura.

3.2. Processamento de imagens utilizado

A fim de refinar os dados obtidos, as imagens foram submetidas à metodologia de processamento de imagem utilizada por Costa, *et al.*, (2022) pois, dessa forma, é possível analisá-las mais claramente, uma vez que as gotículas no anteparo da bancada de teste são quase totalmente removidas e o contraste do spray é realçado por tal método. Para isto, este autor discorre que, a partir da Eq. (1), apresentada por Gonzalez, *et al.*, (2008), deve ser aplicado um filtro passa-baixa, uma vez que os ruídos na imagem introduzem uma alta frequência que não interessa a esta análise.

$$H(u, v) = \frac{1}{\sqrt{1 + [D(u, v)/D_0]^{2\sigma_d}}} \quad (1)$$

$$D(u, v) = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (2)$$

A Equação (1) mostra a função do filtro, onde u e v são as frequências espaciais, D_0 é uma constante relacionada à frequência de meia potência (*half-power frequency*) e O_d é a ordem do filtro. A Eq. (2) descreve a variável $D(u, v)$ como a distância euclidiana do centro do espectro em função das frequências espaciais u e v . Seguindo a metodologia apresentada por Costa, *et al.* (2022) foram determinados para este experimento O_d sendo 8 e D_0 25 ciclos/pixel.

Além disso, para realçar a visualização das estrias no spray, foi aplicada a técnica de alteração de contraste por *power-law transformation*, que consiste na aplicação de um nível de intensidade $i_f(p)$ de cada *pixel* elevado ao fator γ , alterando o contraste da imagem processada de acordo com a Eq. (3).

$$i_s(p) = \begin{cases} 0 & \text{se } i_f(p) < L_{in} \\ \left[\frac{i_f(p) - L_{in}}{H_{in} - L_{in}} \right]^\gamma & \text{se } L_{in} < i_f(p) < H_{in} \\ 1 & \text{se } i_f(p) > H_{in} \end{cases} \quad (3)$$

Basicamente, esta equação determina tanto um limite superior quanto um inferior de modo a intensificar os valores que se encontram dentro desses limites, isto é, caso o valor esteja abaixo do limite inferior, ele é intensificado a 0 (mais escuro), porém caso o valor se encontre acima do limite superior, ele é intensificado a 1 (mais claro), de modo que os valores restantes (que estão situados entre os limites) são estendidos numa escala de 0 a 1. Para os dados coletados, o fator determinado foi $\gamma = 2$ e os limites escolhidos foram $L_{in} = 0,3$ e $H_{in} = 0,6$.

3.3. Introdução da linha de pixels

Uma vez que os dados foram pré-processados, foi necessário um método de identificação da falha. Assim, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Costa, *et al.*, (2022), que consiste na aplicação de uma linha horizontal – representada na Fig. 5 (a) - nas imagens processadas, cujos *pixels* apresentam intensidades luminosas variadas. Desse modo, a partir da curva de variação dessa intensidade luminosa em função da posição do *pixel* correspondente – evidenciada pela Fig. 5 (b) -, é possível determinar um padrão de comportamento para bicos bons e ruins. Dessa forma, foi aplicada essa metodologia para os dados relacionados a uma das vistas do bico “R98 – falha induzida”, que segue abaixo na Fig. 5.

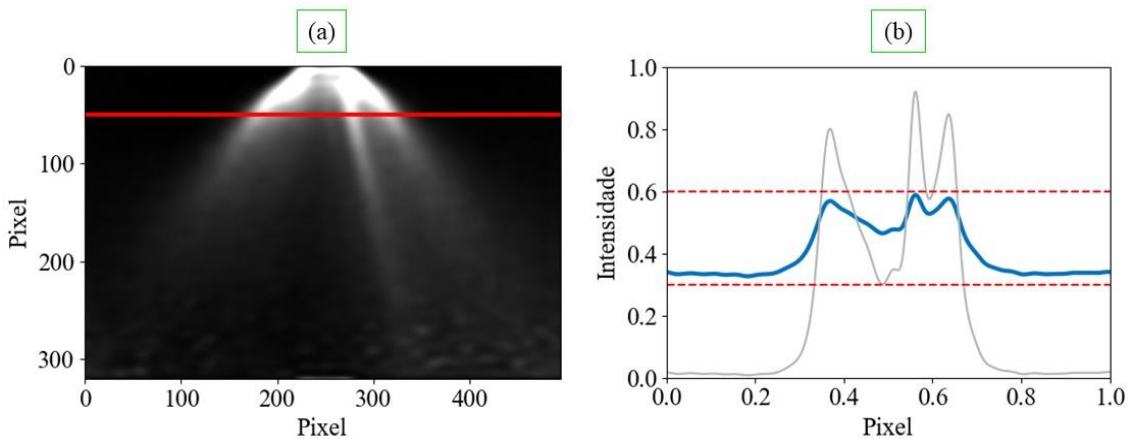


Figura 5. Introdução da linha (a) cujos *pixels* tem intensidade luminosa representada pela curva (b) no bico “R98 – falha induzida”

Segundo Costa, *et al.*, (2022), ao observar uma assimetria nessa curva, pode-se concluir que existem falhas na distribuição do fluido e vice-versa, isto é, também pode-se concluir que o bico está em bom estado (não apresenta falhas) caso observar uma simetria nessa curva.

Além disso, uma normalização da posição dos *pixels* referente ao eixo das abscissas é efetuada para a construção da curva, de forma que a posição daquele que está mais distante com relação à origem é transformada na unidade. Assim, a posição de todos os outros situados entre este e a origem são transformadas em valores entre zero e a unidade proporcionalmente a sua posição original. De forma paralela, o eixo das ordenadas também é normalizado de acordo com a intensidade luminosa, sendo que o valor 1 representa a cor branca e o valor 0 representa a cor preta.

Posto isto, é preciso salientar que esse método, até o momento, não foi aplicado a esse gênero de falha. Entretanto, nenhuma restrição de sua aplicação foi apresentada por seus autores quanto a isso. Logo, é esperado que, através dessa

metodologia, seja possível identificar a falha de maneira similar a que foi apresentada por essa referência.

4. ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Face aos experimentos conduzidos, foram obtidas 48 imagens de 3 diferentes bicos (“R50”, “R48 – original” e “R48 – falha induzida”), pois nisto resulta a combinação entre as 4 vistas distintas e as 4 configurações de iluminação diversas. Entretanto, a partir da seleção de uma única vista para cada bico, serão representadas apenas 16 destas imagens, divididas pelas Fig. 6 e Fig. 7, por razões organizacionais.

Dessa forma, a Fig. 6 evidencia as diferentes configurações de iluminação estabelecidas, sendo (a) com incidência lateral e superior, (b) apenas iluminação natural, (c) com incidência lateral e (d) com incidência superior.

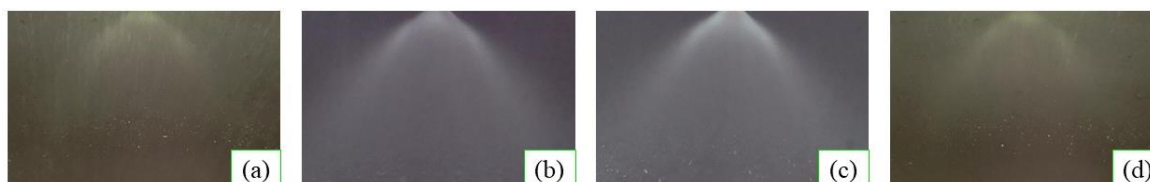


Figura 6. Jatos em diferentes configurações de iluminação, sendo (a) com incidência lateral e superior; (b) apenas iluminação natural; (c) com incidência lateral; (d) com incidência superior

Diante disso, é evidente a influência da configuração de iluminação. Por exemplo: a iluminação superior, sempre que ativada, prejudica a análise, pois causa uma certa homogeneização da intensidade luminosa dos *pixels* de toda a fotografia, fato que resulta em uma maior dificuldade de determinação do padrão de comportamento do jato quando se compara imagens com ou sem a incidência de claridade superior.

Todavia, a iluminação lateral mostrou-se como auxiliadora no processo de distinção do jato, uma vez que ela é capaz de realçar as características desejadas para essa análise, tornando, assim, o padrão mais evidente quando feita a comparação com aquele captado através de iluminação natural, a qual atua como uma referência para essa conferência.

Adiante, a Fig. 7 mostra imagens pós-processadas de 3 diferentes bicos para todas as configurações de iluminação, sendo: (a) bico “R98” original (antes da introdução da falha); (b) bico “R98” após a introdução da falha; (c) bico “R50” original (defeito advindo de fábrica). As legendas “i”, “ii”, “iii” e “iv” representam iluminação lateral e superior, iluminação natural, iluminação superior e iluminação lateral, respectivamente.

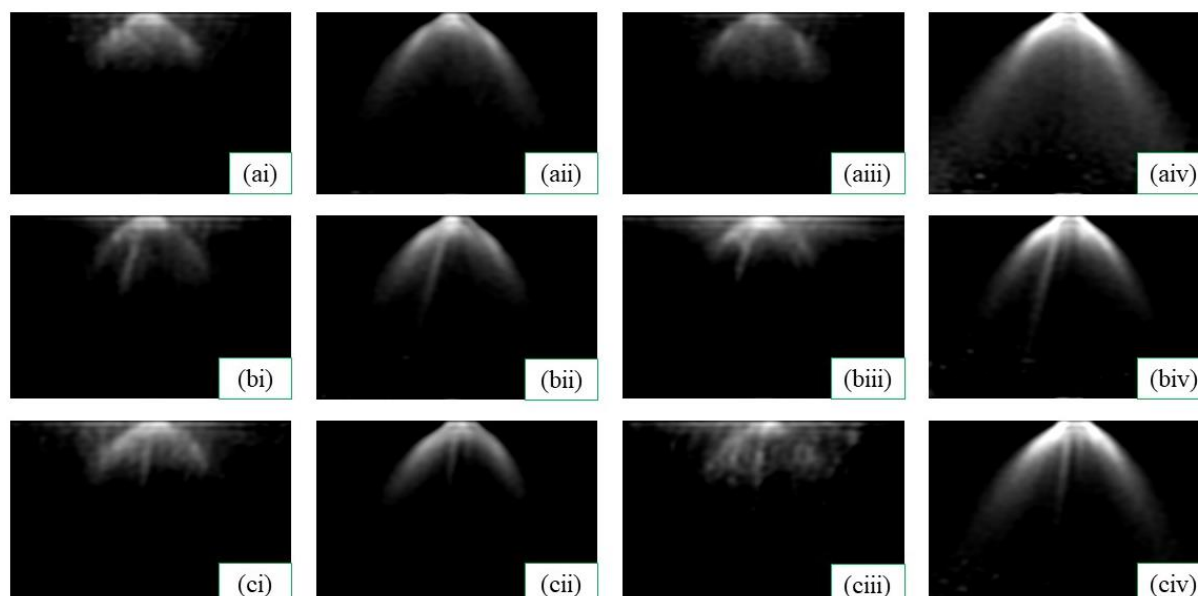


Figura 7. Jatos de diferentes bicos, sendo (a) bico “R98” original (antes da introdução da falha); (b) bico “R98” após a introdução da falha; (c) bico “R50” original (defeito advindo de fábrica). As legendas “i”, “ii”, “iii” e “iv” representam iluminação lateral e superior, iluminação natural, iluminação superior e iluminação lateral, respectivamente

Posto isso, é necessário primeiramente observar que o processamento de imagem proposto na seção 3.2 é fundamental, uma vez que os limites do jato são facilmente identificados após sua aplicação, o que o torna indispensável para a realização dos testes propostos, já que, anteriormente a sua execução, era relativamente mais complicada a constatação

desse padrão de distribuição do jato.

Ademais, nota-se que há uma inegável semelhança entre a distribuição do bico R50 – o qual já continha defeito proveniente de sua fabricação – e a do bico R98 após a indução da falha (vide Fig. 7 (biv) e Fig. 7 (civ)), pois é possível identificar ambas suas estrias em todas as configurações de iluminação, especialmente na lateral. Isto ocorre de tal maneira que seria improvável a diferenciação entre ambos apenas ao analisar visualmente suas imagens.

Por fim, ao aplicar, de forma inédita, a metodologia proposta por Costa, *et al.*, (2022), de acordo com a seção 3.3, nas fotografias representadas pelas Fig. 7 (aiv), Fig. 7 (biv) e Fig. 7 (civ), cujas iluminações estão configuradas igualmente (incidência lateral), foram obtidas as seguintes curvas evidenciadas pela Fig. 8.

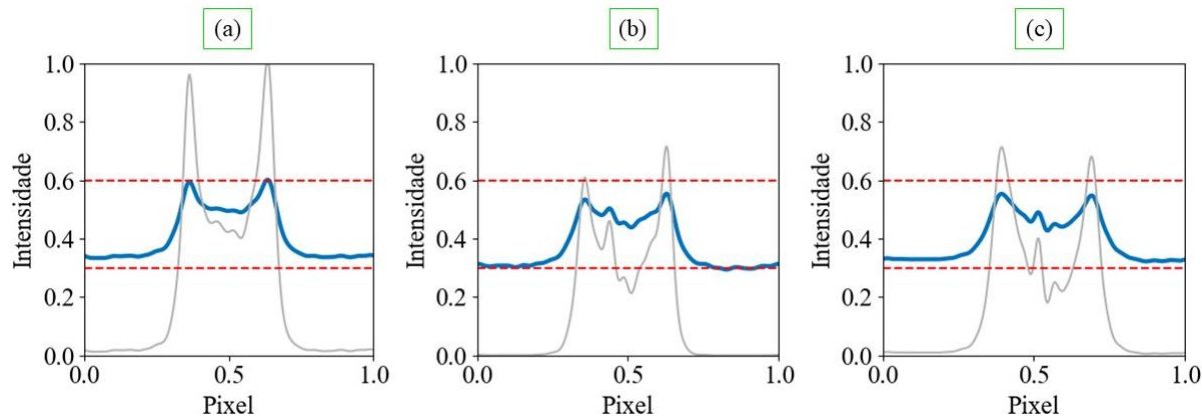


Figura 8. Curvas de intensidade luminosa dos *pixels* para os bicos (a) “R98 – original”; (b) “R98 – falha induzida”; (c) “R50” em função de posição normalizada

Diante disso, observa-se que, de acordo com Costa, *et al.*, (2022), a Fig. 8 (a) trata de um bico em bom estado, uma vez que se pode verificar uma simetria satisfatória. Em contrapartida, as Fig. 8 (b) e Fig. 8 (c) tratam de bicos em mal estado, já que se verifica uma assimetria considerável, bem como uma semelhança notável entre elas. Logo, posto essa similaridade entre a falha induzida e a falha original, é cabível dizer que a introdução do defeito foi bem-sucedida, e pode ser utilizada para demais aplicações sem a perda de atributos relevantes.

Além do mais, constatou-se uma maior intensidade luminosa para o bico em bom estado, fato que é coerente fisicamente, já que se espera que, na ausência de estrias, o jato se distribua uniformemente ao longo do cone de dispersão. Assim, quando o jato é observado lateralmente, ocorre uma concentração luminosa nas regiões laterais da fotografia devido à sobreposição em profundidade de camadas de fluido, o que causa essa maior intensidade observada.

Face aos resultados da aplicação desse método, observa-se que a metodologia proposta por Costa, *et al.*, (2022) é efetiva para esse tipo de análise, uma vez que, ao comparar os resultados obtidos por inspeção visual e aqueles obtidos por esse método, é constatado o mesmo resultado.

Futuramente, a técnica de introdução de falha, que foi comprovada eficaz por esse trabalho, será utilizada para gerar um banco de dados que será utilizado com o objetivo de suprir o aprendizado de um algoritmo classificador de estado de bicos, a fim de automatizar esse processo de avaliação.

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, é claro que a alteração da configuração da iluminação tem influência significativa no processo de análise das falhas, de modo que a iluminação superior causou uma total distorção dos dados, tornando-a, assim, inviável para este gênero de pesquisa; em oposição, a iluminação lateral mostrou-se efetiva ao evidenciar as características desejadas para realizar essa análise, isto é, auxiliou em tornar o padrão de distribuição do jato distinguível dos demais *pixels* da imagem. Logo, esse fato a configura como sendo a ideal para esse estudo.

Além disso, ao realizar a inspeção da falha induzida de forma a compará-la com a original, advinda de erros de processo de fabricação, é nítido que sua introdução pode ser feita sem preocupações relacionadas a confiabilidade dos resultados, já que foi constatada uma enorme similaridade entre ambas para todas as configurações de iluminação disponíveis, particularmente para a lateral.

Ademais, a metodologia proposta por Costa, *et al.*, (2022), implementada de forma inédita por este artigo, foi identificada como eficaz para essa aplicação, já que há coerência entre os resultados obtidos por inspeção visual e os obtidos por esse método.

Finalmente, o sucesso da comprovação da eficácia do procedimento de indução de falha será importante futuramente para sua utilização no treinamento de um classificador de estado de bicos, pois ele auxiliará no aumento do banco de dados responsável por esse aprendizado, tornando possível a automatização desse processo.

6. AGRADECIMENTOS

À Reitoria da UNESP pelo financiamento deste trabalho através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Tecnológica – projeto nº 10928 do edital 10/2023, PIBITI.

7. REFERÊNCIAS

- Barber, J., 2009. “How to preempt a significant profit drain: Nozzle wear”. Internal report, Spraying Systems Co.
- Çetin, N., Saglam, C. e D. B., 2000. “Determination of spray angle and flow uniformity of spray nozzles with image processing operations”. The Journal of Animal and Plant Sciences, Vol. 29, n. 6, p. 159-167.
- Costa, G. A., Almeida, F. C. L., Silveira, M. e Gonçalves, P. J. P., 2022. “On the manufacturing condition estimation of spray nozzles via image processing and epicycle representation”. XLIII CILAMCE, Foz do Iguaçu, Brazil.
- Gonzalez, R. C.; Woods, R. E.; Eddins, S. L., (2008). “Digital Image Processing”. 3^a ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Krishnaswamy, M. e Krishnan, P., 2002. “Pm - power and machinery: Nozzle wear rate prediction using regression and neural network”. Biosystems Engineering, Vol. 82, n. 1, p. 53-64.
- Ozkan, H. E., Reichard, D. L. e Ackerman, K. D., 1992. “Effect of orifice wear on spray patterns from fan nozzles”. Transactions of the ASAE, Vol. 35, n. 4, p. 1091–1096.
- Sudheer, K. P. e Panda, R. K., 2000. “Digital image processing for determining drop sizes from irrigation spray nozzles”. Agricultural Water Management, Vol. 45, n. 2, p. 159-167.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.