

ANÁLISE DO DESGASTE ABRASIVO DE DISCOS IMPELIDORES TIPO COWLES MEDIANTE PROCESSO POR BATELADA

Gabriel Santos Reis¹; Cleiton Silvano Goulart ¹

¹Universidade de Uberaba - Uniube, Brasil

Autor Correspondente: gabriel.reis@edu.uniube.br

DOI: <https://doi.org/10.31496/retii.v3i1.2561>

RESUMO

Os processos de dispersão industrial por batelada são amplamente utilizados em diversos segmentos produtivos devido à sua capacidade de promover a homogeneização de sistemas contendo partículas sólidas em suspensão. Nesses processos, os discos impelidores tipo Cowles desempenham papel fundamental na geração de cisalhamento e dispersão dos materiais, estando sujeitos a condições severas de operação que favorecem a ocorrência de desgaste abrasivo. Este trabalho teve como objetivo analisar o desgaste abrasivo de um disco impelidor tipo Cowles utilizado em processos industriais por batelada por meio da avaliação da perda de massa e da inspeção das alterações geométricas decorrentes da operação. A metodologia consistiu em medições periódicas de massa e análise visual do componente ao longo de aproximadamente 90 horas de operação. Os resultados evidenciaram uma perda acumulada de 0,890 kg, correspondente a 15,10% da massa inicial do disco, além da degradação significativa dos dentes periféricos. Concluiu-se que a combinação entre elevadas velocidades periféricas, presença de partículas abrasivas e altas concentrações de sólidos contribui diretamente para a remoção progressiva de material, reforçando a importância do monitoramento do desgaste para aumento da vida útil e confiabilidade operacional dos equipamentos.

Palavras-chave: disco Cowles; desgaste abrasivo; tribologia.

ABSTRACT

Batch industrial dispersion processes are widely used in several industrial sectors due to their ability to promote the homogenization of systems containing suspended solid particles. In these processes, Cowles-type impeller disks play a fundamental role in generating shear forces and dispersing materials, while being subjected to severe operating conditions that favor the occurrence of abrasive wear. This study aimed to analyze the abrasive wear of a Cowles-type impeller disk used in industrial batch processes through mass loss evaluation and inspection of geometric changes resulting from operation. The methodology consisted of periodic mass measurements and visual analysis of the component over approximately 90 hours of operation. The results showed a cumulative mass loss of 0.890 kg, corresponding to 15.10% of the initial disk mass, as well as significant degradation of the peripheral teeth. It was concluded that the combination of high peripheral speeds, the presence of abrasive particles, and high solid concentrations directly contributes to the progressive removal of material, reinforcing the importance of wear monitoring to increase equipment service life and operational reliability.

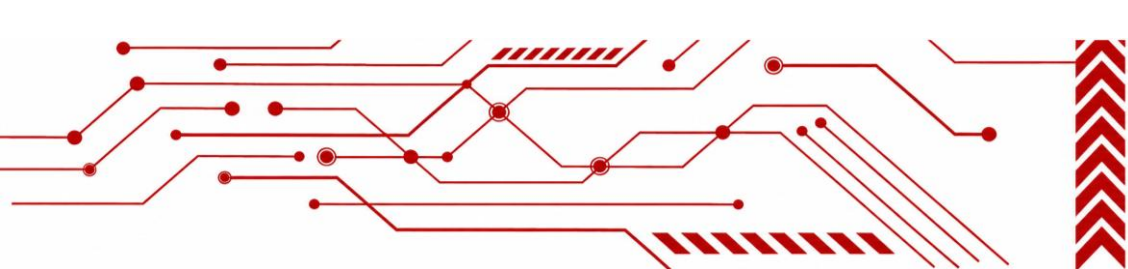
Keywords: Cowles disk; abrasive wear; tribology.

1 INTRODUÇÃO

Os processos de mistura industrial são amplamente empregados em setores como tintas, cosméticos, alimentos, fertilizantes e produtos químicos, sendo fundamentais para a obtenção de sistemas homogêneos e estáveis. Entre os equipamentos utilizados nessas operações, destacam-se os dispersores de alta rotação do tipo Cowles, cuja eficiência está associada à elevada capacidade de cisalhamento promovida pelos discos impelidores dentados, responsáveis pela dispersão e incorporação de partículas sólidas em meios líquidos.

Durante a operação, esses discos são submetidos a condições severas, incluindo elevadas velocidades periféricas, fluidos de alta viscosidade e presença de partículas abrasivas. Como consequência, ocorre desgaste abrasivo progressivo, fenômeno que pode comprometer a vida útil do componente, reduzir a eficiência da mistura e aumentar os custos de manutenção. Além disso, a degradação da geometria dos impelidores pode alterar o padrão de escoamento do fluido e afetar a qualidade final do produto processado.

Estudos de Harnby, Edwards e Nienow (1992) demonstram que alterações nas condições hidrodinâmicas de sistemas de mistura podem reduzir significativamente a eficiência operacional. Da mesma forma, aplicações industriais envolvendo materiais particulados abrasivos evidenciam que o desgaste de componentes rotativos está diretamente relacionado ao aumento do consumo energético, à redução do desempenho do processo e à necessidade de intervenções corretivas mais frequentes.



Diante desse cenário, o estudo do desgaste abrasivo em discos impelidores apresenta elevada relevância para a Engenharia Mecânica, pois envolve conceitos de tribologia, dinâmica dos fluidos, resistência dos materiais e manutenção industrial. Além da contribuição acadêmica, a compreensão dos mecanismos de desgaste pode auxiliar no desenvolvimento de estratégias para aumento da durabilidade dos componentes e redução dos custos operacionais.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo analisar o desgaste abrasivo de discos impelidores tipo Cowles utilizados em processos de mistura por batelada, avaliando a perda de massa e a degradação superficial dos componentes, de modo a compreender os mecanismos de desgaste atuantes e sua influência sobre o desempenho operacional dos sistemas de dispersão industrial.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Princípios da Agitação Mecânica

A agitação mecânica é uma operação amplamente utilizada na indústria para promover a movimentação controlada de fluidos e partículas em tanques, favorecendo a homogeneização do sistema. Seu funcionamento baseia-se na transferência de energia mecânica de um impelidor rotativo para o fluido, gerando circulação, turbulência e cisalhamento.

Segundo Paul, Atiemo-Obeng e Kresta (2004), esse método é amplamente empregado devido à sua versatilidade e capacidade de adaptação a diferentes aplicações industriais. A eficiência da agitação depende da geometria do impelidor, velocidade de rotação, propriedades do fluido e configuração do tanque (Harnby; Edwards; Nienow, 1992). Além disso, a agitação intensifica fenômenos de transporte de massa e calor, fundamentais em operações de mistura e dispersão (Bird; Stewart; Lightfoot, 2007).

2.2 Padrões de Escoamento Gerado pela Agitação

Os padrões de escoamento representam a forma como o fluido circula dentro do tanque sob a ação do impelidor. De acordo com Paul, Atiemo-Obeng e Kresta (2004), os principais padrões são axial, radial e tangencial, definidos pela geometria e pelo posicionamento do elemento agitador.

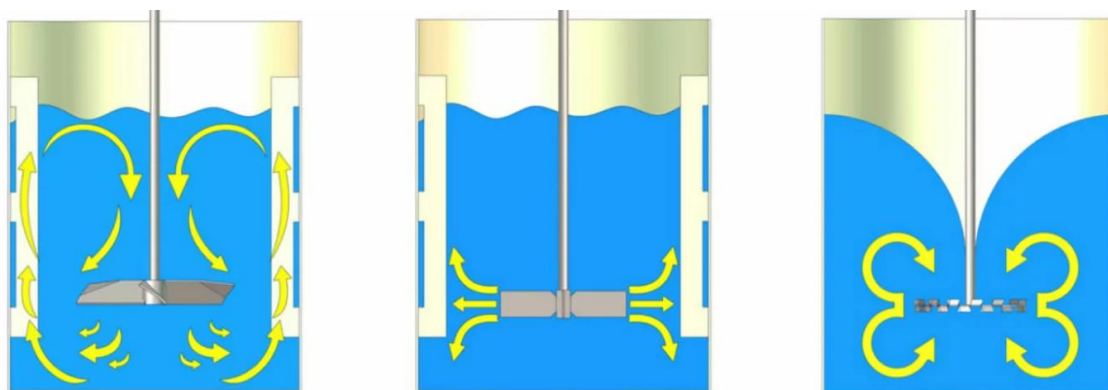
O escoamento axial promove elevada circulação global do fluido, enquanto o radial gera intensa turbulência e cisalhamento, sendo característico dos dispersores tipo Cowles, conforme mostra a Figura 1. Já o escoamento



tangencial favorece a formação de vórtices e geralmente reduz a eficiência da mistura quando não são utilizados defletores (Harnby; Edwards; Nienow, 1992).

Nos impelidores tipo Cowles, o fluxo radial é predominante e constitui o principal responsável pela geração das elevadas taxas de cisalhamento necessárias à dispersão de partículas sólidas. Essa característica torna esses equipamentos particularmente eficientes em aplicações que exigem desaglomeração e homogeneização de suspensões concentradas.

Figura 1 – Padrões de Escoamento de Fluido



Fonte: Grabe, 2026.

2.3 Importância da Tribologia

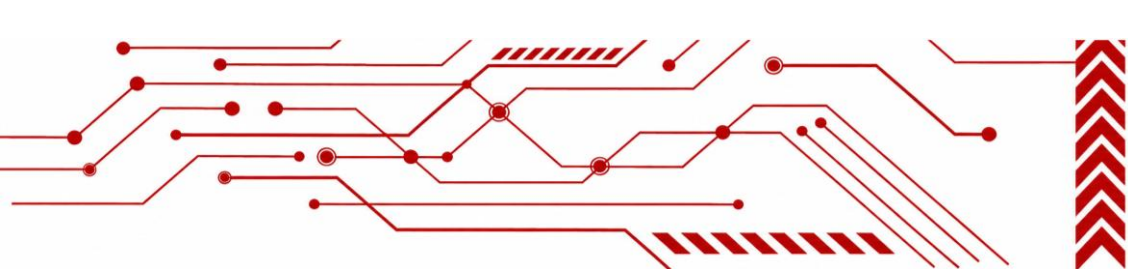
A tribologia é o ramo da engenharia responsável pelo estudo do atrito, desgaste e lubrificação entre superfícies em movimento relativo. Segundo Jost (1966), perdas associadas ao desgaste representam elevados custos industriais devido ao aumento da manutenção e redução da vida útil dos equipamentos.

Stachowiak e Batchelor (2014) afirmam que a aplicação adequada dos princípios tribológicos pode aumentar a confiabilidade dos sistemas mecânicos e reduzir custos operacionais. Em sistemas de agitação, a tribologia é fundamental para compreender a degradação de impelidores, eixos e demais componentes submetidos a esforços contínuos.

A análise tribológica dos discos Cowles permite compreender os mecanismos de desgaste presentes durante a operação e desenvolver estratégias para aumentar a durabilidade dos equipamentos.

2.4 Influência da Concentração de Sólidos

A concentração de sólidos influencia diretamente o comportamento reológico das suspensões e o desempenho dos sistemas de mistura. Segundo Paul, Atiemo-Obeng e Kresta (2004), o aumento da quantidade de partículas modifica as propriedades do fluido e as condições de operação do equipamento.



Harnby, Edwards e Nienow (1992) destacam que elevadas concentrações de sólidos aumentam a frequência de contato entre partículas e superfícies metálicas, favorecendo mecanismos de abrasão e erosão. Além disso, tendem a elevar a viscosidade aparente da suspensão e a potência requerida para a agitação.

Dessa forma, a concentração de partículas abrasivas constitui um dos fatores mais relevantes para a intensidade do desgaste observado em discos impelidores.

2.5 Efeito do Cisalhamento sobre a Viscosidade

O cisalhamento corresponde à deformação provocada pelas diferenças de velocidade entre camadas adjacentes de um fluido. Segundo Macosko (1994), a resposta do material depende de suas propriedades reológicas e pode resultar em alterações significativas da viscosidade.

Barnes, Hutton e Walters (1989) destacam que muitos produtos industriais apresentam comportamento não newtoniano, podendo reduzir sua viscosidade quando submetidos ao cisalhamento ou aumentá-la em determinadas condições.

Nos impelidores tipo Cowles, as elevadas taxas de cisalhamento promovem a quebra de aglomerados e favorecem a dispersão das partículas. Entretanto, também alteram as condições de escoamento e podem influenciar os mecanismos de desgaste atuantes sobre o dispersor.

2.6 Interação entre Partículas Abrasivas e Superfícies Metálicas

O desgaste abrasivo ocorre quando partículas duras promovem a remoção de material de uma superfície por meio de corte, sulcamento ou deformação plástica. Segundo Hutchings e Shipway (2017), esse mecanismo é comum em equipamentos que operam em contato com materiais particulados.

Stachowiak e Batchelor (2014) classificam a abrasão em dois corpos e três corpos. Em dispersores industriais, predomina a abrasão a três corpos, na qual as partículas permanecem suspensas no fluido e interagem continuamente com a superfície do impelidor.

De acordo com Ludema (1996), a severidade do desgaste depende da dureza dos materiais envolvidos, da energia dos impactos e da frequência de interação entre partículas e superfície metálica.



2.7 Perda de Massa

A perda de massa é um dos métodos mais utilizados para quantificar o desgaste de materiais. Segundo a ASTM G40 (2021), o procedimento consiste em determinar a diferença entre a massa inicial e final do componente após sua exposição a determinadas condições operacionais.

Stachowiak e Batchelor (2014) destacam que esse método apresenta elevada aplicabilidade em estudos de desgaste abrasivo por fornecer uma medida direta da quantidade de material removida. Para garantir a confiabilidade dos resultados, Hutchings e Shipway (2017) ressaltam a importância da limpeza adequada da superfície antes da pesagem final.

Nos discos impelidores tipo Cowles, a perda de massa permite avaliar quantitativamente a degradação provocada pela interação contínua entre partículas abrasivas e superfície metálica durante o processo de dispersão.

3. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido em ambiente industrial utilizando um disco impelidor tipo Cowles empregado em processos de dispersão por batelada. O componente analisado foi fabricado em aço inoxidável AISI 304, com espessura de 5 mm, diâmetro de 300 mm e 30 dentes distribuídos uniformemente em sua periferia, conforme demonstrado na

Figura 2. Ao final da construção, o conjunto apresentou massa inicial de 5,895 kg.

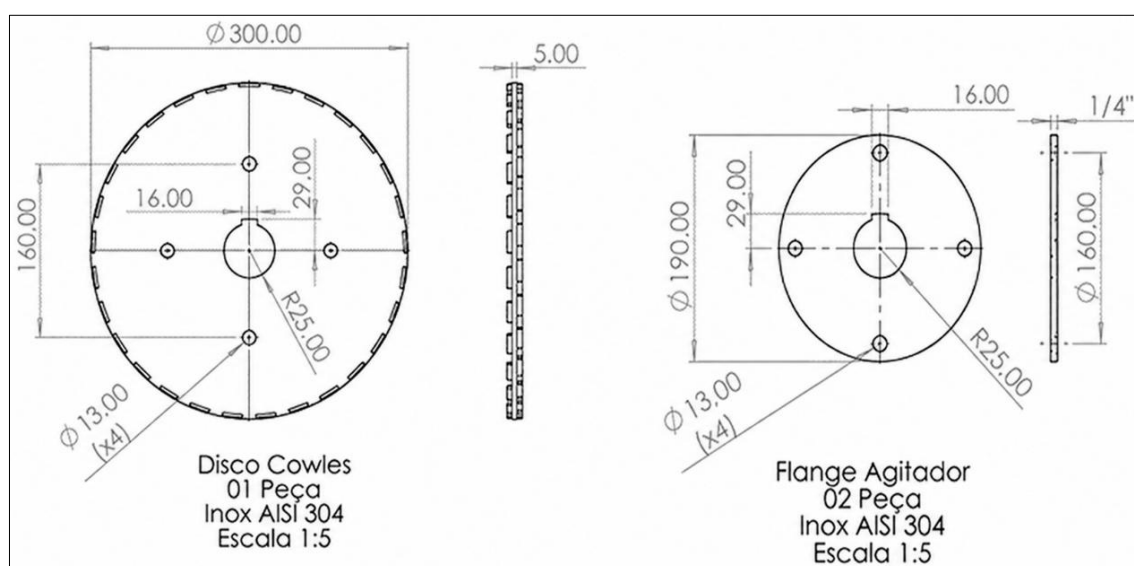


Figura 2 – Projeto construtivo do disco Cowles

Fonte: Acervo do Autor, 2026.

O disco operava acoplado a um eixo cisalhador com 2,135 m de comprimento e 60 mm de diâmetro, instalado em um reator de fabricação construído em aço inoxidável AISI 304. O tanque utilizado possuía diâmetro interno de 2 metros, altura de costado de 2 metros, fundo abaulado e capacidade aproximada de 6,28 m³. A Figura 3 apresenta o reator de fabricação mencionado. O acionamento do conjunto era realizado por um motor elétrico WEG W22 IR3 de 40 CV, controlado por inversor de frequência CFW500.

A metodologia adotada baseou-se na avaliação do desgaste abrasivo por meio da técnica de perda de massa, amplamente utilizada em estudos tribológicos por fornecer uma medida direta da quantidade de material removida da superfície durante a operação. Complementarmente, foram realizadas inspeções visuais para identificação de alterações geométricas e degradação superficial do impelidor.

A coleta de dados foi realizada durante a operação normal do equipamento em processos industriais por batelada. As formulações processadas apresentavam diferentes características físico-químicas, incluindo variações de viscosidade, massa específica, pH e concentração de sólidos, permitindo avaliar o comportamento do disco sob distintas condições operacionais.

O monitoramento da utilização do dispersor foi realizado por meio do inversor de frequência CFW500, que registrava o tempo acumulado de operação do conjunto agitador. As medições de massa foram efetuadas em intervalos aproximados de 30 horas de funcionamento, totalizando cerca de 90 horas de operação avaliadas ao longo do estudo.

Figura 3 – Reator de
AISI 304



Fabricação em Aço Inox

Fonte: Acervo do Autor, 2026.

Para as medições, utilizou-se uma balança de bancada equipada com indicador de pesagem Digi-Tron DGN Universal Line, homologado pelo INMETRO e classificado na classe de exatidão III. O equipamento foi empregado para determinar a massa do disco antes do início do estudo e após cada período de operação monitorado. A demonstra sua utilização, bem como o registro do peso inicial do disco Cowles.

Os valores obtidos em cada etapa foram registrados e comparados com a massa inicial do componente, possibilitando a determinação da perda acumulada de material ao longo do período analisado. Paralelamente, foram realizados registros fotográficos para documentar a evolução do desgaste e as alterações observadas nos dentes periféricos do impelidor.

Por fim, os dados coletados foram organizados e analisados de forma comparativa, relacionando a perda de massa observada com as condições operacionais do processo e com os mecanismos de desgaste abrasivo descritos na literatura técnica, permitindo avaliar a severidade da degradação sofrida pelo disco Cowles durante sua utilização industrial.

Figura 4 – Balança de



Pesagem de Bancada

Fonte: Acervo do Autor, 2026.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação experimental permitiu quantificar o desgaste abrasivo de um disco impelidor tipo Cowles fabricado em aço inoxidável AISI 304 durante sua utilização em processos industriais de dispersão por batelada. Durante o período de estudo foram processadas formulações com diferentes características físico-químicas, apresentando viscosidades entre 104 e 755,9 cP, massas específicas entre 1130 e 1810 kg/m³ e concentrações de sólidos de até 69,07%, condições reconhecidas como favoráveis à ocorrência de desgaste abrasivo em sistemas de mistura industrial. A Tabela 1 mostra a variação dos dados físico-químicos.

O monitoramento da massa do impelidor foi realizado ao longo de aproximadamente 90 horas de operação acumulada. A massa inicial do disco era de 5,895 kg e, ao final do período analisado, foi registrada massa de 5,005 kg, resultando em perda acumulada de 0,890 kg, correspondente a 15,10% da massa original. A taxa média de desgaste foi de aproximadamente 9,89 g/h, indicando remoção contínua de material ao longo dos ciclos produtivos. Segundo Stachowiak e Batchelor (2014), a perda de massa é um dos métodos mais confiáveis para quantificação do desgaste abrasivo, por representar diretamente a quantidade de material removida da superfície do componente.

Os resultados evidenciam uma tendência contínua de redução da massa do impelidor ao longo do tempo de operação. Esse comportamento está de acordo com os mecanismos descritos por Hutchings e Shipway (2017), segundo os quais a interação repetitiva entre partículas abrasivas e superfícies metálicas promove a remoção progressiva de material, especialmente em sistemas submetidos a elevadas velocidades relativas.

Tabela 1 – Parâmetros físico-químicos

Item	Fórmula/Batelada	Faixa de Viscosidade (cP)	Faixa de Temperatura (°C)	Massa Específica (kg/m ³)	pH	% de sólidos
A	BCZ 5.10.15	694,90	25 - 55	1660,00	8,06	62,03
B	BMZ 3.5.11	677,90	25 - 55	1490,00	8,15	55,92
C	BMZ 5.8.17	647,00	25 - 55	1810,00	8,09	69,07
D	BMZ 5.10.10	755,90	25 - 55	1770,00	7,94	65,06
E	BCMZ 3.1.6.6	743,40	25 - 55	1430,00	5,60	52,14
F	BZ 5.10	725,00	25 - 55	1350,00	7,41	55,18
G	PHOS BLACK	104,00	25 - 55	1130,00	10,32	--

Fonte: Autor, 2026.

A severidade do desgaste observada e evidenciada na Tabela 2 pode ser associada às características das formulações processadas. Conforme discutido

por Paul, Atiemo-Obeng e Kresta (2004), suspensões contendo elevadas concentrações de sólidos aumentam significativamente a frequência de contato entre partículas e superfícies metálicas. Além disso, Harnby, Edwards e Nienow (1992) destacam que dispersores de fluxo radial, como os discos Cowles, promovem intensa recirculação das partículas pela região periférica do impelidor, aumentando a ocorrência de impactos abrasivos.

Tabela 2 – Análise do desgaste gradual do disco Cowles

Período	Total de Horas	Peso Inicial (kg)	Peso Final (kg)	Diferença de peso (kg)	% de Desgaste
30/03 a 13/05	30	5,895	5,580	0,315	5,34 %
13/05 a 01/06	60	5,580	5,290	0,290	5,20 %
01/06 a 09/06	90	5,290	5,005	0,285	5,39 %

Fonte: Autor, 2026.

A inspeção visual do componente confirmou a degradação progressiva da geometria original dos dentes periféricos. Foram observados arredondamento das extremidades, redução da espessura dos dentes e perda parcial das arestas responsáveis pela geração de cisalhamento. A Figura 5 demonstra a diferença visual do disco Cowles. Segundo Ludema (1996), alterações geométricas dessa natureza representam uma das principais consequências do desgaste abrasivo, pois afetam simultaneamente a resistência mecânica e o desempenho funcional dos componentes.

Além da perda de material, os resultados sugerem impactos diretos na eficiência do processo de mistura. De acordo com Paul, Atiemo-Obeng e Kresta (2004), a geometria dos dentes do disco Cowles é fundamental para a geração das elevadas taxas de cisalhamento necessárias à dispersão eficiente de partículas. Assim, a degradação observada na Tabela 3 e na Figura 6 pode reduzir a transferência de energia ao fluido, comprometer a desaglomeração de partículas e aumentar o tempo necessário para obtenção da homogeneidade desejada.

De modo geral, os resultados demonstram que o desgaste abrasivo constitui um importante mecanismo de degradação em discos impelidores tipo Cowles utilizados em processos industriais por batelada. A perda de 15,10% da massa inicial em apenas 90 horas de operação evidencia a severidade das condições de trabalho e reforça a necessidade de estratégias voltadas ao aumento da resistência ao desgaste.

Figura 5 – Inspeção visual do disco cowles



Fonte: Acervo do Autor, 2026.

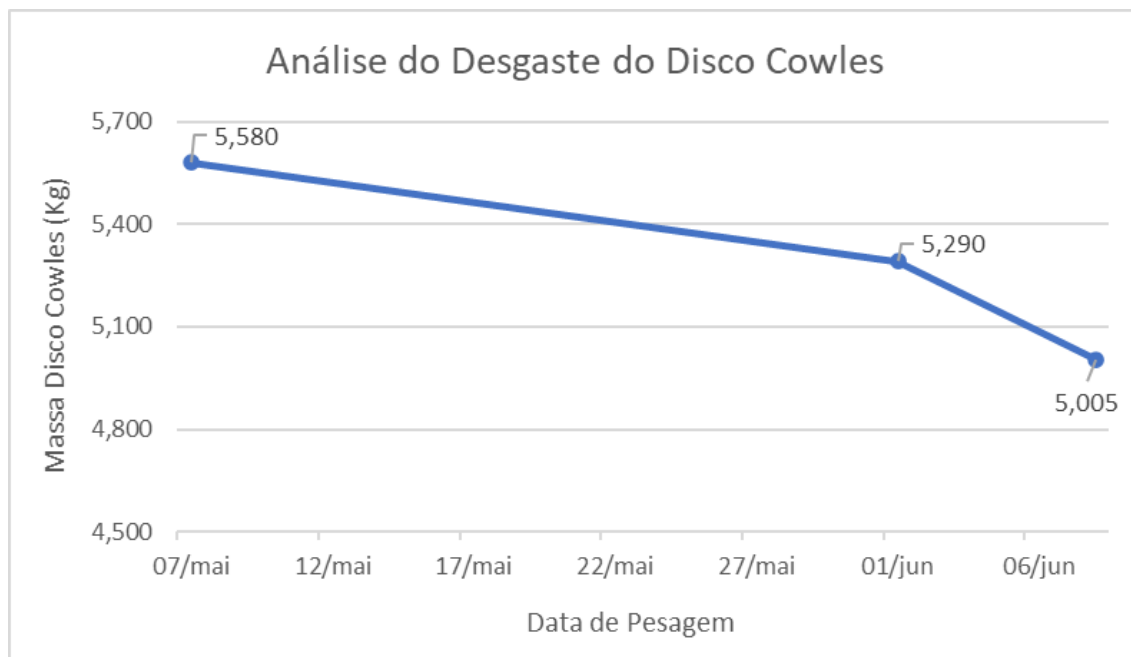
Entre as alternativas mais promissoras destaca-se a aplicação de revestimentos obtidos por deposição física de vapor (PVD – *Physical Vapor Deposition*), como nitreto de titânio (TiN), carbonitreto de titânio (TiCN), nitreto de cromo (CrN) e nitreto de alumínio e titânio (AlTiN), amplamente empregados em componentes submetidos a condições severas de desgaste devido à elevada dureza superficial, baixa taxa de atrito e excelente resistência à abrasão. Esses revestimentos apresentam a vantagem de formar camadas finas e uniformes, preservando as características geométricas originais do impelidor e minimizando alterações hidrodinâmicas que poderiam comprometer a eficiência da dispersão. A literatura indica que a aplicação de revestimentos PVD pode reduzir significativamente a taxa de remoção de material, aumentar a resistência ao desgaste abrasivo e prolongar a vida útil operacional dos discos Cowles, contribuindo para a redução dos custos de manutenção e substituição dos componentes.

Tabela 3 – Percentual de desgaste do disco Cowles

Período de Análise	Horas de Operação	Peso Inicial (kg)	Peso Final (kg)	Diferença de peso (kg)	% de Desgaste
13/05 a 09/06	90	5,895	5,005	0,890	15,10 %

Fonte: Autor, 2026.

Figura 6 – Linha do tempo de desgaste do disco Cowles



Fonte: Acervo do Autor, 2026.

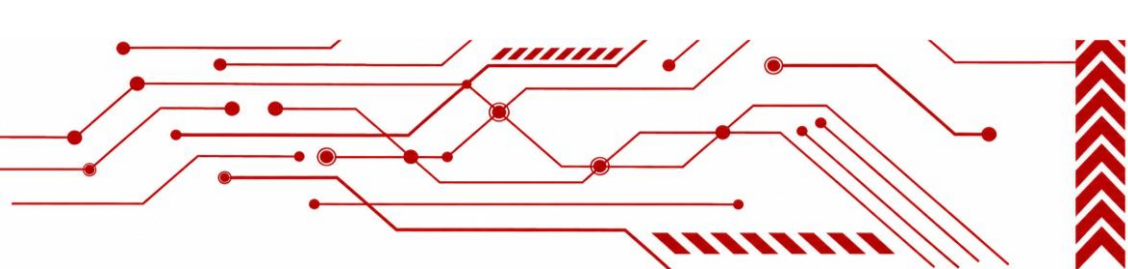
Outra alternativa tecnicamente viável consiste na substituição do aço inoxidável AISI 304 por materiais com maior dureza e resistência ao desgaste, como aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação, aços ferramenta ou ligas especiais desenvolvidas para aplicações abrasivas. Adicionalmente, tratamentos superficiais como nitretação e cementação podem promover o endurecimento das regiões mais solicitadas sem comprometer a resistência à corrosão exigida pelo processo produtivo.

Sob o ponto de vista operacional, o estabelecimento de um programa de monitoramento baseado em inspeções periódicas de massa, espessura e geometria dos dentes pode contribuir para a implementação de estratégias de manutenção preditiva. Tal abordagem permite antecipar intervenções, reduzir paradas não programadas e aumentar a confiabilidade dos sistemas de dispersão industrial.

Como limitação do estudo, destaca-se a avaliação de apenas um material de impelidor e a ausência de análises metalográficas ou ensaios de dureza que permitissem caracterizar de forma mais aprofundada os mecanismos de desgaste observados.

5. CONCLUSÕES

O presente estudo permitiu compreender a influência das condições operacionais dos processos de dispersão por batelada sobre a degradação de discos impelidores tipo cowles, atingindo o objetivo proposto de avaliar o desgaste abrasivo desses componentes em ambiente industrial. A análise



realizada demonstrou que os fenômenos tribológicos associados à interação entre partículas sólidas e superfícies metálicas constituem um fator determinante para a durabilidade dos impelidores utilizados em sistemas de mistura de alta intensidade.

Os resultados obtidos reforçam a importância da avaliação sistemática do desgaste como ferramenta de apoio à engenharia de manutenção e à gestão da confiabilidade operacional. A compreensão dos mecanismos envolvidos fornece subsídios para a seleção adequada de materiais, desenvolvimento de revestimentos resistentes à abrasão e otimização das condições de processo, contribuindo para o aumento da vida útil dos equipamentos e para a redução dos custos associados à sua substituição e manutenção.

Dessa forma, o trabalho evidencia a relevância da tribologia aplicada aos processos de mistura industrial e contribui para o aprimoramento técnico de sistemas de dispersão que utilizam discos cowles, servindo como base para futuros estudos voltados ao desenvolvimento de soluções que conciliem elevada eficiência de dispersão e maior resistência ao desgaste.

REFERÊNCIAS

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM G40-21**: Standard Terminology Relating to Wear and Erosion. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2021.

BAPTISTA, F. **Dimensionamento de um tanque misturador para fabricação de produtos de limpeza a partir de óleo vegetal usado**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim, 2022.

BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. **An Introduction to Rheology**. Amsterdam: Elsevier, 1989.

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Transport Phenomena**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 2007.

DAVIS, J. R. **Handbook of Thermal Spray Technology**. Materials Park: ASM International, 2004.

HARNBY, N.; EDWARDS, M. F.; NIENOW, A. W. **Mixing in the Process Industries**. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1992.

HUTCHINGS, I. M.; SHIPWAY, P. **Tribology**: Friction and Wear of Engineering Materials. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2017.

JOST, H. P. **Lubrication (Tribology)**: A Report on the Present Position and Industry's Needs. London: Her Majesty's Stationery Office, 1966.



LUDEMA, K. C. **Friction, Wear, Lubrication**: A Textbook in Tribology. Boca Raton: CRC Press, 1996.

MACOSKO, C. W. **Rheology**: Principles, Measurements and Applications. New York: Wiley-VCH, 1994.

PAUL, E. L.; ATIEMO-OBENG, V. A.; KRESTA, S. M. **Handbook of Industrial Mixing**: Science and Practice. Hoboken: John Wiley & Sons, 2004.

SÓ HÉLICES. **Disco Cowles**. Disponível em:
<https://sohelices.com.br/equipamentos/disco-cowles/>. Acesso em: 29 maio 2026.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. **Engineering Tribology**. 4. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014.