

BOAS PRÁTICAS DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM MÁQUINAS INJETORAS: UMA REVISÃO APLICADA À PREVENÇÃO DE VAZAMENTOS

BEST PRACTICES FOR PREVENTIVE MAINTENANCE IN INJECTION
MOLDING MACHINES: A REVIEW APPLIED TO LEAK PREVENTION

Engenharias • 01/06/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/780261453](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/780261453)

Adriano Picanço Bastos¹

Siomara Dias da Rocha²

RESUMO

O presente estudo analisa as principais práticas de manutenção preventiva aplicadas à prevenção de vazamentos na interface entre o bico injetor e o porta-bico em máquinas de moldagem por injeção de plásticos. A pesquisa foi desenvolvida por meio de revisão bibliográfica associada à coleta de dados empíricos obtidos em entrevistas semiestruturadas com técnicos de manutenção industrial atuantes no setor de transformação plástica da região de Manaus-AM. O trabalho aborda fatores críticos relacionados à estabilidade operacional do sistema de plastificação, incluindo controle térmico, aplicação correta de torque, alinhamento mecânico e inspeção periódica dos componentes. Os resultados evidenciaram que falhas relacionadas à dilatação térmica, desalinhamento do conjunto de injeção e ausência de padronização nos procedimentos de reaperto estão diretamente associadas à ocorrência de vazamentos, desperdício de matéria-prima e aumento de paradas não programadas. Observou-se ainda que a adoção sistemática de práticas preventivas contribui para a melhoria dos indicadores de disponibilidade operacional, qualidade do processo e eficiência global dos equipamentos (OEE). Além dos ganhos produtivos, as práticas analisadas apresentam impacto positivo na segurança operacional e na redução de custos de manutenção corretiva. O estudo propõe um guia técnico integrado voltado à confiabilidade operacional e à sustentabilidade dos processos industriais de transformação de polímeros.

Palavras-chave: Moldagem por injeção; Manutenção preventiva; Vazamentos industriais; Confiabilidade operacional.

ABSTRACT

This study analyzes the main preventive maintenance practices applied to preventing leaks at the interface between the injection

nozzle and the nozzle holder in plastic injection molding machines. The research was developed through a literature review combined with the collection of empirical data obtained from semi-structured interviews with industrial maintenance technicians working in the plastic transformation sector in the Manaus-AM region. The work addresses critical factors related to the operational stability of the plasticizing system, including thermal control, correct torque application, mechanical alignment, and periodic inspection of components. The results showed that failures related to thermal expansion, misalignment of the injection assembly, and lack of standardization in tightening procedures are directly associated with the occurrence of leaks, waste of raw materials, and increased unscheduled downtime. It was also observed that the systematic adoption of preventive practices contributes to the improvement of operational availability indicators, process quality, and overall equipment efficiency (OEE). In addition to productivity gains, the analyzed practices have a positive impact on operational safety and the reduction of corrective maintenance costs. The study proposes an integrated technical guide focused on the operational reliability and sustainability of industrial polymer transformation processes.

Keywords: Injection molding; Preventive maintenance; Industrial leaks; Operational reliability.

1. INTRODUÇÃO

A moldagem por injeção destaca-se como um dos processos mais relevantes na indústria de transformação de plásticos devido à elevada produtividade, precisão dimensional e capacidade de fabricação em larga escala de componentes técnicos aplicados aos setores automotivo, eletroeletrônico, hospitalar e de embalagens. Entretanto, a estabilidade desse processo depende diretamente do

controle rigoroso de parâmetros operacionais como temperatura do polímero, pressão de injeção, tempo de recalque e alinhamento do conjunto de plastificação.

Segundo Liew et al. (2022), variações inadequadas nesses parâmetros podem comprometer a estabilidade térmica do processo, ocasionando defeitos dimensionais, degradação do material e aumento dos índices de refugo industrial. Além disso, Wang et al. (2024) destacam que o monitoramento contínuo das condições operacionais tornou-se essencial para garantir maior repetibilidade e qualidade no processo de injeção.

Entre os problemas recorrentes observados em máquinas injetoras, os vazamentos na interface entre o bico injetor e o porta-bico do molde figuram entre as principais causas de perda de eficiência operacional. Essa região trabalha sob elevadas temperaturas e pressões, exigindo perfeita vedação e alinhamento mecânico para assegurar a estabilidade do fluxo do polímero fundido.

De acordo com Rafli et al. (2025), desgastes mecânicos, desalinhamentos estruturais e falhas nos procedimentos de aperto estão diretamente relacionados ao surgimento de microvazamentos, ocasionando desperdício de matéria-prima, carbonização do polímero e necessidade frequente de intervenções corretivas. Complementarmente, Araújo et al. (2023) ressaltam que pequenas perdas de pressão nessa região podem alterar significativamente o comportamento do fluxo do material dentro da cavidade do molde, comprometendo a qualidade final das peças produzidas.

Os impactos provocados por vazamentos não se restringem apenas às perdas de material, mas também afetam diretamente indicadores estratégicos de desempenho industrial relacionados à produtividade e manutenção. Dentro da abordagem da Manutenção Produtiva Total (TPM), falhas dessa natureza contribuem para a redução da disponibilidade operacional e para o aumento das chamadas “*Six Big Losses*”, impactando negativamente o índice Overall Equipment Effectiveness (OEE).

Estudos desenvolvidos por Rakes, Windyatri e Suhendra (2024) demonstram que paradas não programadas em máquinas de injeção representam uma das principais causas de queda de produtividade nas indústrias de transformação plástica. Da mesma forma, Suhendra e Wiyatno (2024) evidenciam que programas estruturados de manutenção preventiva e padronização operacional contribuem significativamente para o aumento da eficiência global dos equipamentos de injeção.

Com o avanço dos conceitos relacionados à Indústria 4.0 e à manufatura inteligente, novas tecnologias vêm sendo incorporadas ao monitoramento do processo de moldagem por injeção, incluindo sensores de pressão, sistemas de aquisição de dados em tempo real e modelos preditivos baseados em inteligência artificial. Segundo Zhang et al. (2022), técnicas de manutenção preditiva aplicadas ao processo de injeção permitem identificar anomalias operacionais antes da ocorrência de falhas críticas, reduzindo custos associados à manutenção corretiva e aumentando a confiabilidade operacional.

Nesse contexto, Luisi et al. (2023) destacam que sistemas híbridos de monitoramento industrial têm possibilitado maior controle sobre parâmetros críticos de produção, contribuindo para a redução de

defeitos relacionados à perda de pressão e instabilidades térmicas no sistema de plastificação.

Diante desse cenário, o presente artigo tem como objetivo apresentar um guia estruturado de boas práticas voltadas à prevenção de vazamentos na região do bico e porta-bico de máquinas injetoras. O estudo aborda aspectos relacionados ao controle térmico, técnicas adequadas de aperto, alinhamento entre máquina e molde e manutenção preventiva de componentes críticos do sistema de plastificação. Busca-se, assim, contribuir para a melhoria da confiabilidade operacional, da produtividade industrial e da segurança no ambiente fabril, integrando fundamentos teóricos recentes com práticas aplicadas ao contexto da manufatura de plásticos.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Referencial Teórico

2.1.1. Processo de Moldagem por Injeção e Controle Operacional

O processo de moldagem por injeção é amplamente utilizado na indústria de transformação de polímeros devido à sua elevada capacidade produtiva, repetibilidade e precisão dimensional. O princípio básico do processo consiste na fusão do material termoplástico e posterior injeção sob alta pressão em uma cavidade metálica, onde ocorre o resfriamento e solidificação da peça. Segundo Wang et al. (2024), a estabilidade do processo depende diretamente do controle simultâneo de variáveis como temperatura do cilindro, pressão de injeção, velocidade de enchimento e tempo de recalque. Pequenas oscilações nesses parâmetros podem

provocar defeitos como rebarbas, bolhas, linhas de solda e variações dimensionais.

Nos últimos anos, a incorporação de sensores inteligentes e sistemas de aquisição de dados em tempo real tornou-se uma prática crescente na indústria de injeção plástica. Estudos realizados por Liew et al. (2022) demonstram que sensores instalados no cilindro, no bico injetor e na cavidade do molde permitem identificar alterações no comportamento térmico e no fluxo do polímero durante o processo produtivo. Essa abordagem possibilita maior rastreabilidade operacional e redução de falhas associadas à instabilidade térmica e à perda de pressão no sistema de plastificação.

Além do monitoramento operacional, o alinhamento mecânico entre o bico da máquina e o porta-bico do molde exerce papel fundamental na estabilidade do processo. Segundo Araújo et al (2023), desalinhamentos mínimos podem provocar distribuição irregular da pressão de injeção, ocasionando vazamentos e desgaste prematuro dos componentes de vedação. Em ambientes industriais de alta produtividade, essas falhas resultam em aumento do tempo de parada e redução da confiabilidade operacional das máquinas injetoras.

2.1.2. Vazamentos em Sistemas de Plastificação

Os vazamentos na região do bico injetor representam uma das principais falhas operacionais observadas em máquinas injetoras termoplásticas. Essa ocorrência está diretamente associada à combinação de altas temperaturas, elevadas pressões e esforços mecânicos repetitivos aplicados ao conjunto de plastificação. De

acordo com Rafli et al. (2025), os vazamentos geralmente surgem em função de desgaste superficial, torque inadequado de aperto, desalinhamento entre os componentes ou falhas no controle térmico do sistema.

O comprometimento da vedação provoca não apenas desperdício de matéria-prima, mas também riscos operacionais relacionados à segurança dos trabalhadores e danos aos componentes da máquina. Conforme destacado por Zhang et al. (2022), o acúmulo de material polimérico carbonizado na região do bico pode gerar obstruções internas e instabilidades no fluxo do polímero fundido, afetando diretamente a qualidade final das peças produzidas.

Outro aspecto relevante refere-se à influência da temperatura operacional sobre a eficiência da vedação. Estudos recentes mostram que temperaturas excessivas favorecem a degradação térmica do polímero e reduzem a resistência mecânica de componentes metálicos sujeitos a ciclos contínuos de aquecimento e resfriamento. Segundo Luisi et al. (2023), o controle inadequado da temperatura do conjunto de injeção está entre os principais fatores associados à ocorrência de microvazamentos em processos industriais contínuos.

2.1.3. Manutenção Preventiva e TPM em Máquinas Injetoras

A manutenção preventiva tem assumido papel estratégico na indústria de transformação plástica devido à necessidade crescente de redução de falhas operacionais e aumento da disponibilidade dos equipamentos. No contexto da Manutenção Produtiva Total (TPM), as falhas relacionadas a vazamentos são classificadas como perdas que afetam diretamente a eficiência global do equipamento (OEE).

Segundo Rakes, Windyatri e Suhendra (2024), programas estruturados de manutenção preventiva contribuem significativamente para a redução de paradas não planejadas e para o aumento da confiabilidade operacional das máquinas injetoras.

As práticas preventivas incluem inspeções periódicas no bico injetor, verificação de torque de aperto, análise de desgaste de componentes e monitoramento térmico do sistema de plastificação. De acordo com Suhendra e Wiyatno (2024), a padronização dessas atividades reduz falhas recorrentes e aumenta a estabilidade produtiva em linhas de injeção de grande porte. Além disso, os autores destacam que empresas que adotam rotinas preventivas sistematizadas apresentam melhores indicadores de produtividade e menor índice de refugo industrial.

Com a evolução da Indústria 4.0, técnicas preditivas baseadas em inteligência artificial e análise de dados vêm sendo incorporadas aos programas de manutenção industrial. Zhang et al. (2022) afirmam que modelos preditivos aplicados à moldagem por injeção permitem detectar alterações operacionais antes da ocorrência de falhas críticas, possibilitando intervenções antecipadas e redução significativa dos custos de manutenção corretiva.

2.2. Estado da Arte

2.2.1. Monitoramento Inteligente no Processo de Injeção

As pesquisas recentes na área de moldagem por injeção têm concentrado esforços no desenvolvimento de sistemas inteligentes de monitoramento capazes de aumentar a estabilidade operacional e reduzir falhas de produção. Wang et al. (2024) destacam que técnicas avançadas de aquisição de dados vêm sendo utilizadas para

monitorar pressão, temperatura e viscosidade do polímero em tempo real.

Esses sistemas permitem detectar anomalias operacionais associadas a falhas de vedação e instabilidades no processo produtivo. Estudos conduzidos por Liew et al. (2022) demonstram que sensores integrados ao bico injetor e à cavidade do molde possibilitam rastrear alterações no fluxo do polímero fundido, contribuindo para maior controle da qualidade e redução de desperdícios. Além disso, os autores evidenciam que o uso de sistemas de monitoramento em tempo real melhora significativamente a repetibilidade do processo industrial.

2.2.2. Aplicação de Manutenção Preditiva em Máquinas Injetoras

A manutenção preditiva baseada em análise de dados representa uma das principais tendências tecnológicas associadas à Indústria 4.0. Segundo Zhang et al. (2022), algoritmos de aprendizado de máquina vêm sendo utilizados para prever falhas em componentes críticos do sistema de plastificação, permitindo intervenções antes da ocorrência de paradas inesperadas.

Luisi et al. (2023) ressaltam que arquiteturas híbridas de monitoramento industrial possibilitam integrar dados operacionais e informações de manutenção em plataformas digitais, ampliando a capacidade de análise do desempenho das máquinas injetoras. Essas tecnologias têm sido empregadas principalmente em ambientes industriais de alta produtividade, onde pequenas falhas podem gerar impactos econômicos significativos.

2.3. Estado da Técnica

2.3.1. Técnicas de Vedação e Alinhamento do Bico Injetor

As técnicas atuais utilizadas para prevenção de vazamentos em sistemas de plastificação envolvem procedimentos de alinhamento mecânico, aplicação correta de torque e uso de componentes metálicos com maior resistência térmica. Conforme Araújo et al. (2023), o alinhamento inadequado entre o bico e o porta-bico compromete a distribuição uniforme da pressão de injeção, favorecendo o surgimento de falhas de vedação.

Além disso, fabricantes de máquinas injetoras têm adotado sistemas de ajuste fino e superfícies usinadas com maior precisão para reduzir perdas de pressão e desgaste mecânico. Rafli et al. (2025) destacam que a utilização de rotinas padronizadas de inspeção e reaperto contribui significativamente para o aumento da vida útil dos componentes do sistema de injeção.

2.3.2. Sistemas de Monitoramento e Automação Industrial

O avanço da automação industrial permitiu a incorporação de sensores inteligentes e sistemas supervisórios voltados ao monitoramento contínuo das máquinas injetoras. Wang et al. (2024) afirmam que sensores de pressão e temperatura integrados ao sistema de plastificação permitem identificar alterações operacionais em tempo real, reduzindo riscos de falhas críticas.

Da mesma forma, Zhang et al. (2022) demonstram que técnicas de manutenção preditiva associadas à inteligência artificial possibilitam reduzir custos operacionais e aumentar a disponibilidade das máquinas. Essas tecnologias representam atualmente uma das principais tendências técnicas aplicadas à indústria de transformação de polímeros.

3. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualitativa, objetivo exploratório e procedimento metodológico fundamentado em revisão bibliográfica e investigação prática em ambiente industrial. A pesquisa aplicada foi escolhida por buscar soluções voltadas à melhoria de processos produtivos relacionados à prevenção de vazamentos em máquinas injetoras, contribuindo diretamente para o aumento da confiabilidade operacional e da eficiência produtiva em indústrias de transformação plástica.

A pesquisa foi estruturada em duas etapas complementares: levantamento bibliográfico e coleta de dados empíricos junto a profissionais da área de manutenção industrial. A etapa de revisão da literatura teve como finalidade identificar fundamentos teóricos, práticas preventivas, técnicas de manutenção e tecnologias recentes aplicadas à moldagem por injeção e à prevenção de falhas em sistemas de plastificação. Para isso, foram realizadas buscas sistemáticas em bases de dados científicas nacionais e internacionais, incluindo SciELO, *ScienceDirect*, *Google Scholar*, *SpringerLink* e MDPI. Foram utilizados descritores em português e inglês, tais como: “máquinas injetoras”, “injeção de plásticos”, “*polymer leakage*”, “*preventive maintenance*”, “*injection molding maintenance*”, “*plastic injection machines*” e “*predictive maintenance*”.

Como critérios de inclusão, selecionaram-se artigos científicos, livros técnicos, dissertações, teses e documentos industriais publicados entre os anos de 2020 e 2025, priorizando estudos relacionados ao controle operacional, manutenção preventiva, vedação do sistema

de plastificação, monitoramento térmico e manutenção preditiva em máquinas injetoras. Também foram considerados trabalhos clássicos anteriores a esse período quando apresentavam relevância conceitual consolidada para compreensão do funcionamento do processo de injeção plástica. Os materiais selecionados passaram por análise de aderência temática, confiabilidade da fonte e relevância técnica para o problema investigado.

A etapa de coleta de dados empíricos foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas com três técnicos de manutenção industrial atuantes em empresas do setor de transformação plástica localizadas na região metropolitana de Manaus. A seleção dos participantes ocorreu por amostragem intencional não probabilística, considerando como critérios mínimos possuir experiência profissional superior a cinco anos em manutenção de máquinas injetoras e atuação direta em processos industriais relacionados à injeção de termoplásticos. Essa estratégia metodológica buscou garantir maior profundidade técnica e maior confiabilidade às informações coletadas, permitindo identificar problemas recorrentes e práticas efetivamente utilizadas na rotina industrial.

As entrevistas foram conduzidas com roteiro previamente estruturado, contendo questões relacionadas às principais causas de vazamentos no sistema de bico e porta-bico, métodos de inspeção preventiva, práticas de alinhamento mecânico, controle térmico, reaperto de componentes e estratégias utilizadas para redução de falhas operacionais. As respostas obtidas foram registradas, organizadas e submetidas à técnica de análise de conteúdo temática, conforme proposta por Bardin (2016), permitindo a categorização das informações em eixos analíticos relacionados às

causas das falhas, impactos operacionais e métodos preventivos adotados pelas empresas.

A análise dos dados foi desenvolvida por meio da triangulação entre os resultados da revisão bibliográfica e os dados obtidos nas entrevistas técnicas. Essa abordagem permitiu comparar evidências teóricas recentes com práticas industriais efetivamente aplicadas no contexto produtivo, contribuindo para a construção de um guia técnico estruturado e alinhado às necessidades operacionais observadas nas indústrias de injeção plástica. A triangulação metodológica também possibilitou aumentar a confiabilidade da pesquisa ao integrar diferentes fontes de informação para interpretação do fenômeno estudado.

Por fim, os resultados obtidos foram sistematizados em categorias técnicas relacionadas à prevenção de vazamentos em máquinas injetoras, abrangendo aspectos de manutenção preventiva, alinhamento mecânico, controle térmico e monitoramento operacional. A partir dessa sistematização, foi elaborado o guia prático proposto neste trabalho, com foco na aplicação industrial e na melhoria da eficiência operacional dos sistemas de plastificação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. A Importância da Temperatura na Prevenção de Vazamentos

A integridade da vedação entre o bico injetor e o porta-bico está diretamente relacionada ao controle térmico do sistema de plastificação, sendo esse um dos princípios mais importantes da engenharia de processamento de polímeros. Durante o funcionamento da máquina injetora, o conjunto metálico composto pelo cilindro, bico e componentes adjacentes é submetido a

elevadas temperaturas operacionais, provocando expansão dimensional dos materiais metálicos. Segundo Strong (2006), o comportamento térmico dos componentes metálicos influencia diretamente a estabilidade mecânica e a eficiência da vedação em sistemas submetidos a altas pressões.

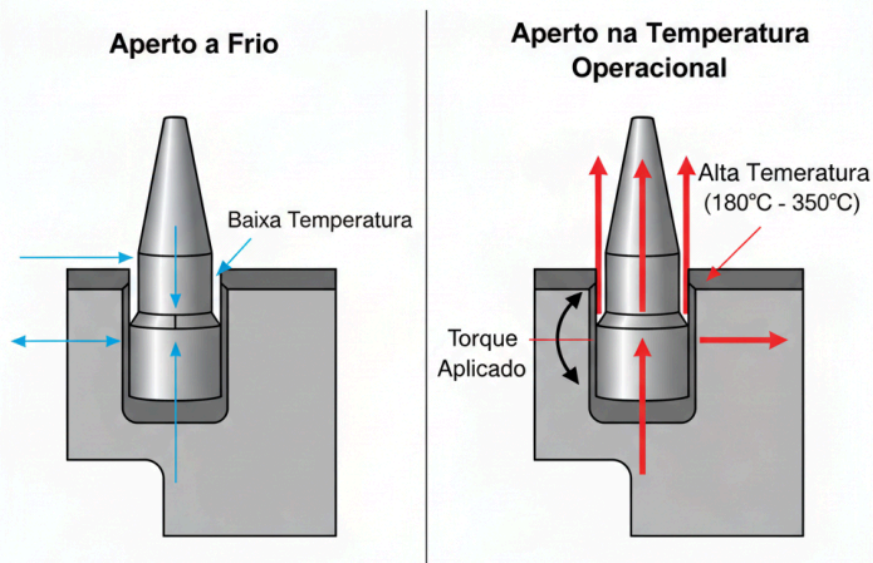
Base Física da Dilatação: A variação dimensional (ΔL) de um componente é dada pela relação, representada pela Equação 1:

$$\Delta L = L_0 \alpha \Delta T, \text{ (Equação 1)}$$

Onde L_0 é o comprimento inicial, α é o coeficiente de expansão térmica do material (característico do aço utilizado) e ΔT é a diferença de temperatura. A Figura 1 ilustra o comportamento da interface entre o bico injetor e o porta-bico durante a variação térmica do processo de moldagem por injeção. A representação demonstra que, à medida que a temperatura operacional da máquina aumenta, ocorre a dilatação térmica dos componentes metálicos do conjunto de plastificação, provocando alterações dimensionais no bico, no cilindro e na região de contato com o molde. A figura evidencia que diferenças nos coeficientes de expansão térmica dos materiais podem gerar dilatação diferencial entre as peças, modificando a pressão de contato responsável pela vedação

Figura 1: Influência da Temperatura na Vedação do Bico Injetor.

Influência da Temperatura na Vedação de Bico Injetor



Dilatação Diferencial:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

A expansão térmica garante o assentamento correto

Fonte: Próprio Autor, 2026.

A influência prática desse fenômeno ocorre porque o bico injetor e o corpo do cilindro podem ser fabricados com ligas metálicas distintas, apresentando coeficientes de expansão térmica ligeiramente diferentes. Além disso, a distribuição de calor no conjunto de plastificação não ocorre de maneira totalmente uniforme, gerando gradientes térmicos ao longo do sistema. Conforme descrito por Cato, mesmo variações dimensionais da ordem de micrômetros podem comprometer significativamente a vedação em sistemas submetidos a pressões superiores a 2000 bar, típicas do processo de moldagem por injeção.

Quando o aperto mecânico do bico é realizado com a máquina ainda em temperatura ambiente, o conjunto metálico não atingiu sua condição dimensional definitiva de operação. À medida que a máquina alcança temperaturas operacionais entre 180°C e 350°C, dependendo do polímero processado ocorre a expansão térmica dos

componentes, modificando a pressão de contato entre as superfícies metálicas responsáveis pela vedação. Caso o torque inicial tenha sido insuficiente, o sistema pode desenvolver folgas internas após o aquecimento, favorecendo o surgimento de vazamentos. Por outro lado, um torque excessivo aplicado a frio pode gerar tensões elevadas após a expansão térmica, ocasionando deformações permanentes, danos às roscas e desgaste prematuro dos componentes.

Os resultados observados durante as entrevistas com técnicos de manutenção corroboraram diretamente os fundamentos descritos pela literatura técnica. Os profissionais relataram que reapertos realizados com a máquina fria frequentemente resultavam em reincidência de vazamentos após poucas horas de operação contínua. Segundo os entrevistados, o problema normalmente se manifesta após a estabilização térmica do sistema, quando os componentes atingem sua máxima dilatação. Dessa forma, os resultados reforçam que o controle térmico deve ser considerado parte integrante das rotinas de manutenção preventiva, sendo fundamental para garantir estabilidade operacional, confiabilidade do processo e integridade da vedação entre o bico injetor e o porta-bico.

Consequência para a Vedação: Ocorre uma dilatação diferencial entre as peças, pois o bico e o corpo do cilindro podem ser fabricados com ligas que possuem coeficientes de expansão ligeiramente distintos, e a distribuição de calor não é perfeitamente uniforme. Essa dilatação diferencial, que pode gerar variações de micrômetros, é suficiente para comprometer a vedação. Segundo Cato (2019), essa variação dimensional é crítica para interfaces que

trabalham com pressões elevadas, como as que podem atingir *2000 bar* no processo de injeção.

Quando o aperto (torque) é aplicado com a máquina fria (temperatura ambiente), o sistema ainda não atingiu sua máxima expansão. Ao ligar a máquina e atingir a temperatura operacional (180C a 350C, dependendo do polímero), a expansão térmica aumenta a compressão e o assentamento entre as superfícies. No entanto, se o aperto inicial não for adequado, o aquecimento pode levar a folgas internas após a expansão ou, inversamente, a um excesso de tensão que danifica as roscas.

A prática recomendada, reforçada por manuais técnicos da ABIMAQ (2020), é que o ajuste de torque final ou o reaperto sejam realizados somente após o sistema atingir a temperatura de processo e estabilizar. Integração Prática: Essa recomendação teórica foi fortemente corroborada pelos dados qualitativos da pesquisa: os técnicos entrevistados confirmaram que ajustes realizados com a máquina fria apresentaram reincidência de vazamentos após poucas horas de operação. Eles relataram que o vazamento se manifesta tipicamente após a estabilização térmica, reforçando a necessidade de sincronizar a manutenção do aperto com a condição de trabalho do equipamento. Ignorar a dilatação térmica é, portanto, a causa raiz de muitos vazamentos recorrentes na interface bico/porta-bico.

4.2. Aperto Correto: Ferramentas e Procedimentos

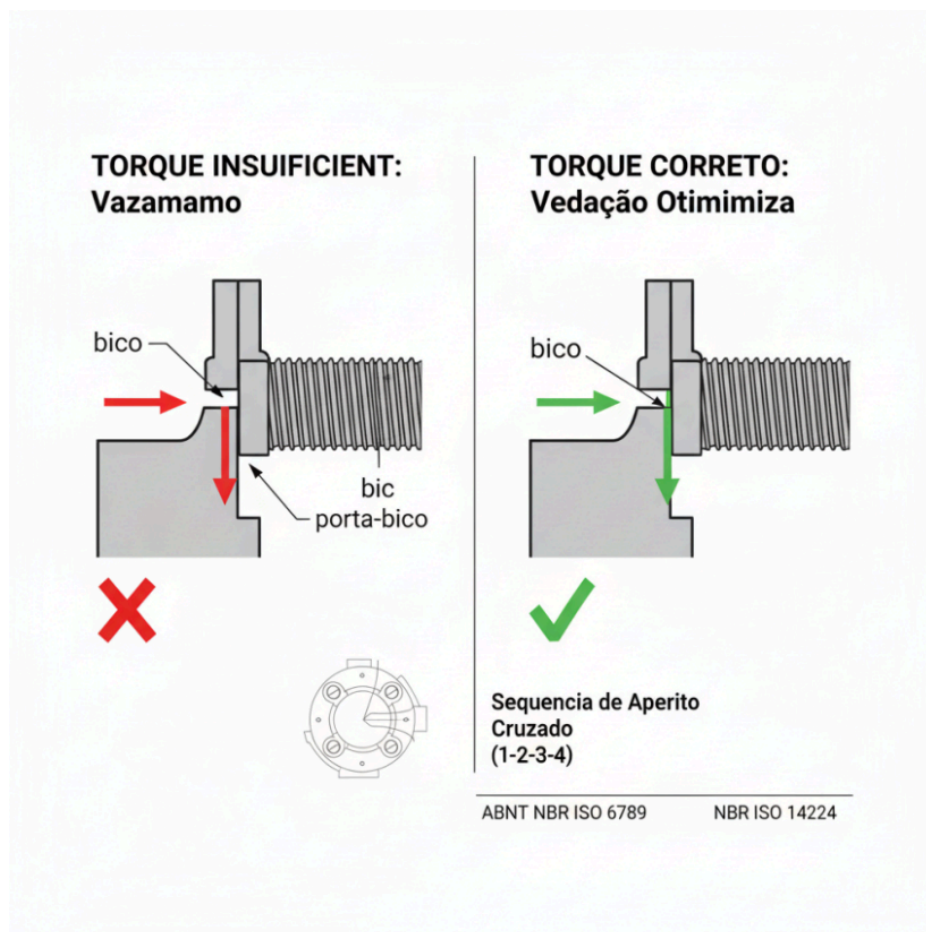
O uso de ferramentas adequadas, especialmente o torquímetro, é essencial para assegurar a integridade e a durabilidade da conexão entre o bico e o porta-bico. A aplicação de torque fora dos limites

recomendados pelo fabricante pode causar desde o afrouxamento prematuro, levando a vazamentos, até trincas estruturais no bico ou no cilindro.

A precisão na aplicação da força é crucial. A calibração e o uso correto do torquímetro são normatizados pela ABNT NBR ISO 6789:2019, que estabelece os requisitos para ferramentas de aperto e medição de torque, conferindo rastreabilidade e confiabilidade ao processo de montagem. O uso de chaves comuns ou a aplicação de força "no tato" introduz alta variabilidade e risco de falha.

Segundo Strong (2006), a sequência de aperto, especialmente em flanges e roscas múltiplas, deve seguir um padrão cruzado, garantindo uniformidade na distribuição das tensões de compressão. Adicionalmente, a limpeza das roscas e das superfícies de contato, que devem estar livres de resíduos de plástico queimado, rebarbas ou lubrificantes inadequados, é condição fundamental para evitar esforços adicionais e garantir que o torque aplicado se converta efetivamente em força de vedação. Conforme ilustrado na **Figura 2**, a diferença entre um aperto inadequado e um aperto corretamente executado influencia diretamente a estabilidade da vedação e a ocorrência de falhas operacionais.

Figura 2: Dois Modelos de Torque: Com e Sem Vazamentos.



Fonte: Próprio autor 2026.

O uso sistemático de torquímetros calibrados integra as boas práticas de manutenção preventiva conforme a NBR ISO 14224 (2016), que trata da coleta e intercâmbio de dados de confiabilidade e manutenção. Essa padronização reduz significativamente a variabilidade de montagem entre diferentes turnos e operadores, transformando um procedimento manual em uma etapa controlada e previsível do ciclo de manutenção. A garantia do torque correto, aliada à execução na temperatura operacional (conforme discutido no tópico 4.1), maximiza a vida útil do conjunto e previne falhas catastróficas.

4.3. Alinhamento Preciso: O Elo Entre o Bico e o Molde

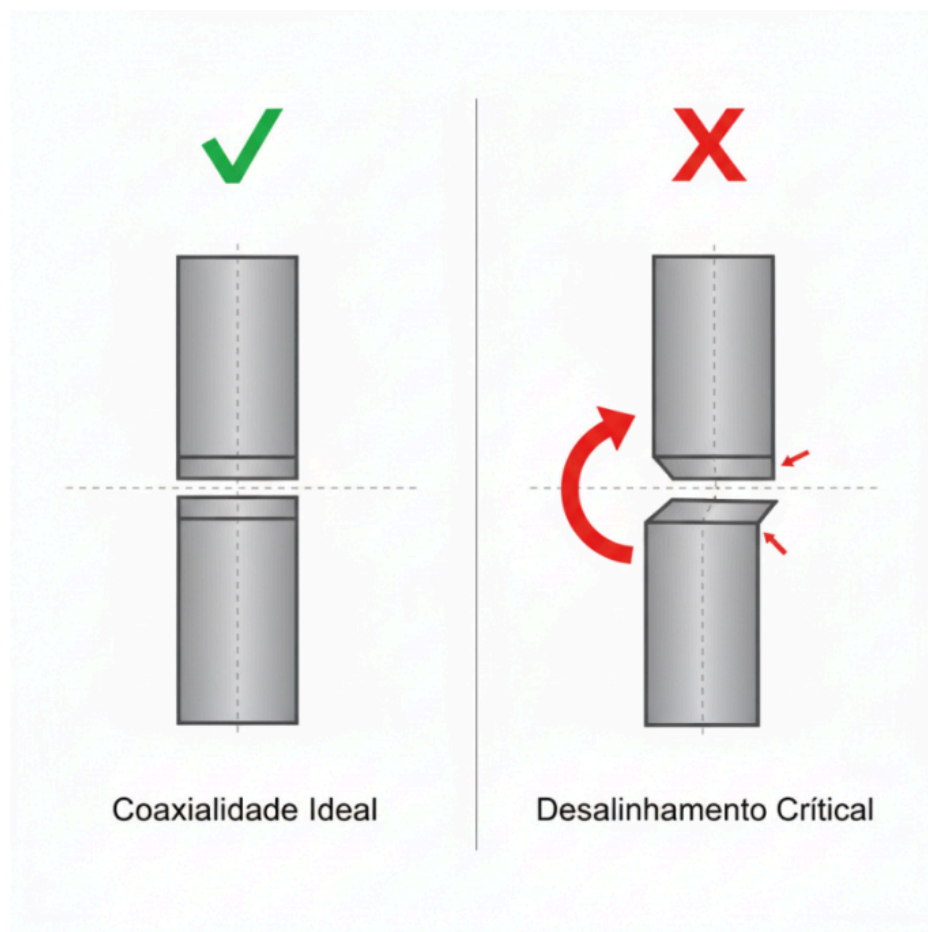
O desalinhamento entre o bico injetor e a bucha do molde é, frequentemente, uma causa raiz subestimada de vazamentos crônicos e de elevado custo de manutenção. Não se trata apenas de

uma imperfeição geométrica, mas de um estressor mecânico constante que compromete a longevidade do sistema. Na prática, o bico e a bucha do molde devem manter uma coaxialidade rigorosa para que a vedação seja perfeita. Desvios, mesmo que mínimos, significam que o bico não está centrado na bucha.

Estudos de Osswald e Turng (2008) indicam que desvios de coaxialidade superiores a 0,05mm já são suficientes para iniciar um contato excêntrico. Sob as elevadas pressões de injeção (que podem chegar a *2000 bar*), esse contato gera atrito constante e localizado, em vez de uma compressão uniforme. Isso acelera o desgaste, cria sulcos nas superfícies de vedação e, finalmente, inicia o vazamento.

Conforme exemplificado na **Figura 3**, pequenas variações no posicionamento do bico em relação à bucha do molde são suficientes para provocar distribuição irregular das cargas mecânicas e perda da eficiência de vedação.

Figura 3: Exemplificação do Desalinhamento.



Fonte: Próprio autor, 2026.

Essa falha na concentricidade possui impactos operacionais que vão além do simples desperdício de matéria-prima. Conforme demonstrado na Figura 4, o desalinhamento entre o bico injetor e a bucha do molde gera forças laterais contínuas sobre a unidade de injeção, provocando tensões mecânicas adicionais na haste da máquina, nos componentes de guia e na própria estrutura do sistema de plastificação. Esse esforço irregular acelera o desgaste de componentes de elevado valor agregado, reduzindo a vida útil do conjunto e aumentando os custos de manutenção corretiva.

Além dos danos mecânicos, o desalinhamento interfere diretamente na dinâmica do fluxo do polímero fundido durante a etapa de injeção. A distribuição irregular da pressão pode comprometer o preenchimento uniforme da cavidade do molde, favorecendo o surgimento de defeitos como rebarbas (flash), variações dimensionais, preenchimento incompleto e instabilidades no

acabamento superficial das peças produzidas. Esses defeitos indicam que a vedação entre o bico e o molde não está operando de maneira eficiente, comprometendo tanto a qualidade do produto quanto a estabilidade operacional do processo.

Figura 4: Medindo o Desalinhamento.



Fonte: Imagem criada por inteligência artificial, 2026.

A metodologia eficaz de prevenção de desalinhamento reside no uso de instrumentos de precisão, como o relógio comparador (ou indicador de mostrador). Ao montar o molde, a equipe de manutenção deve realizar a medição do desvio lateral (*run-out*) do bico. Essa medição deve ser feita, idealmente, na temperatura operacional, para compensar os efeitos da dilatação. A meta é sempre manter a concentricidade dentro das tolerâncias do fabricante, geralmente abaixo de 0,02mm. A correção imediata de qualquer desvio detectado, seja ajustando as guias da máquina ou

substituindo componentes desgastados do molde, é uma ação de manutenção preditiva crucial. O alinhamento preciso, portanto, é a garantia de que a pressão de injeção será convertida em força de vedação eficiente, e não em força destrutiva de cisalhamento.

4.4. Inspeção e Manutenção das Condições do Bico e Acessórios

A gestão da integridade dos componentes é o pilar final que amarra as práticas de controle de temperatura, torque e alinhamento, transformando a manutenção reativa em uma estratégia proativa e gerencialmente sólida. A inspeção visual frequente é a ferramenta de baixo custo mais eficaz para a detecção precoce de falhas. A equipe de operação e manutenção deve ser treinada para identificar sinais críticos de deterioração: corrosão causada por polímeros higroscópicos ou aditivos agressivos; deformações na ponta do bico, geralmente causadas por impactos ou apertos excessivos (torque incorreto); e arranhões ou sulcos nas superfícies de vedação, que funcionam como caminhos preferenciais para o vazamento de material fundido.

A manutenção preventiva, em conformidade com o sistema de gestão da qualidade ABNT NBR ISO 9001 (2015), exige que sejam estabelecidos cronogramas de substituição e critérios de descarte para componentes críticos, baseados nas horas de trabalho ou no número de ciclos. Ignorar esse planejamento transforma peças de desgaste previsível em causas de paradas não programadas.

A escolha e a adequação do design do bico são cruciais para a vedação. Bicos de diferentes geometrias, como o bico reto (padrão) e o bico torpedo (misturador), ou bicos com ponteiras especiais (agulha), apresentam comportamentos de vedação e exigências de

limpeza distintas. A seleção deve estar alinhada não só com o molde, mas principalmente com o tipo de matéria-prima processada (por exemplo, polímeros de alta viscosidade exigem canais de fluxo mais amplos, enquanto materiais sensíveis ao cisalhamento podem demandar ponteiros específicas).

Dessa maneira, a limpeza periódica da região do porta-bico é essencial. O acúmulo de material plastificado que vaza e se solidifica ao redor do bico impede o assentamento correto no próximo setup. Esse material queimado e endurecido age como um espaçador indesejado, impedindo a vedação metálica. A remoção sistemática desses resíduos garante que, mesmo com o torque e a temperatura corretos, a área de contato esteja livre para absorver a força de compressão necessária. Em suma, a atenção aos detalhes do componente e a manutenção preditiva garantem a sustentabilidade das demais boas práticas.

4.5. Implicações Gerenciais e Ganhos de OEE na Prevenção de Vazamentos

A aplicação sistemática do guia de prevenção de vazamentos, que integra controle térmico, torque preciso, alinhamento rigoroso e manutenção de componentes, transcende a simples solução técnica, impactando diretamente o desempenho gerencial e a competitividade da indústria plástica. As práticas detalhadas nos eixos 3.1 a 3.4 atuam como alavancas para a melhoria dos indicadores-chave de desempenho (KPIs), especialmente o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*).

O primeiro e mais tangível ganho gerencial é o aumento da Disponibilidade do equipamento. Um vazamento exige a parada

imediate da máquina para limpeza, resfriamento e reaperto, resultando em horas de inatividade não planejada. Ao garantir a vedação por meio das quatro práticas preventivas, elimina-se o tempo de parada não programada e o tempo gasto com a limpeza do material solidificado, que é trabalhosa e muitas vezes danifica resistências e sensores. A redução no *downtime* eleva diretamente o indicador de Disponibilidade do OEE.

Em segundo lugar, há a melhoria no indicador de Qualidade. Um vazamento compromete o controle da pressão de injeção e permite que o material fundido escape e se degrade termicamente ao redor do bico. Esse material queimado (comumente chamado de "preto") pode reentrar no fluxo de injeção, contaminando o lote e resultando em refugo. A vedação perfeita e o controle de alinhamento garantem que a pressão seja mantida e que apenas material de qualidade controlada chegue ao molde, minimizando o refugo e o custo associado ao descarte e à repetição da produção.

Por fim, a prevenção de vazamentos está diretamente ligada à Segurança Operacional. Vazamentos de polímero fundido representam riscos severos de queimaduras para os operadores e técnicos de manutenção. Ao eliminar a ocorrência dessa falha, o ambiente de trabalho torna-se significativamente mais seguro. Adicionalmente, o controle de torque e temperatura estende a vida útil de componentes caros como bicos, resistências e termopares, resultando em uma substancial redução de custos de manutenção corretiva. Portanto, o guia proposto é uma ferramenta estratégica que transforma as rotinas de manutenção em um ativo que suporta a produtividade e a sustentabilidade fabril.

A investigação, que combinou a revisão de literatura técnica e a coleta de dados primários junto a profissionais da região de Manaus, permitiu não apenas a estruturação de um guia de prevenção, mas também a validação empírica de seus benefícios. A aplicação consistente das quatro práticas principais (controle de temperatura, torque padronizado, alinhamento coaxial e inspeção de componentes) demonstrou impactos positivos diretos na eficiência operacional.

Estudos da literatura corroboram com os resultados obtidos pelas entrevistas com os técnicos e indicaram uma relação direta entre a aplicação do torque na temperatura operacional (Tópico 4.1) e a estabilidade da máquina. A referência de Silva (2020), que reporta a redução de até 35% nas ocorrências de paradas não programadas em empresas que adotam rotinas de manutenção preventiva, encontra eco nos relatos práticos. Os técnicos confirmaram que a falha de vedação é a principal causa de paradas curtas, mas recorrentes, exigindo a interrupção da produção para limpeza e reaperto. O controle rigoroso do aperto, suportado pela NBR ISO 6789 (Tópico 4.2), minimiza a variância da montagem, transformando a manutenção de corretiva em preditiva e, conseqüentemente, elevando a Disponibilidade do equipamento.

A prevenção de vazamentos tem um efeito significativo na qualidade final da peça. O desalinhamento (Tópico 4.3) e o vazamento de material comprometem a uniformidade da injeção. O vazamento reduz a pressão efetiva no sistema e permite que o material se degrade. A eliminação desses fatores, por meio do alinhamento preciso (coaxialidade) e da integridade do bico (Tópico 4.4), resulta em maior estabilidade dimensional das peças produzidas. O material flui e preenche o molde sob as condições de

pressão e temperatura para as quais o processo foi projetado, reduzindo defeitos como rechupes, vazios e variações de peso.

Os resultados demonstraram que as quatro práticas são sinérgicas. Não basta ter um alinhamento perfeito se o aperto for realizado a frio; ou ter o torque correto se a ponta do bico estiver corroída. Os relatos dos técnicos destacaram que a manutenção de bicos e acessórios (Tópico 4.4) é a fase que mais exige atenção, pois a deterioração dos componentes (corrosão ou *pitting*) anula a eficácia das demais práticas. Em síntese, a sistematização das rotinas de manutenção, focada nesses quatro eixos, comprova que a prevenção de falhas na vedação não é um custo, mas sim um investimento que traz benefícios diretos à produtividade, à redução do desperdício de matéria-prima e à segurança no ambiente fabril.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo possibilitou a elaboração de um guia técnico estruturado para prevenção de vazamentos na interface entre o bico injetor e o porta-bico em máquinas de moldagem por injeção de plásticos, integrando fundamentos da engenharia de polímeros, práticas de manutenção industrial e observações obtidas em ambiente produtivo. Os resultados demonstraram que a estabilidade da vedação depende diretamente da atuação integrada de quatro fatores críticos: controle térmico adequado, aplicação correta de torque, alinhamento preciso do conjunto de injeção e inspeção periódica dos componentes. Verificou-se que pequenas falhas nesses parâmetros podem comprometer significativamente a qualidade do processo, favorecendo desperdício de matéria-prima, aumento de paradas não programadas e desgaste prematuro dos componentes mecânicos.

Além dos aspectos técnicos, a pesquisa evidenciou que a padronização das rotinas de manutenção contribuiu para a migração de práticas corretivas para abordagens preventivas e preditivas, alinhadas aos princípios da TPM e da Indústria 4.0. A aplicação sistemática das práticas propostas apresentou potencial para elevar indicadores de desempenho industrial, especialmente relacionados à disponibilidade operacional, redução de refugo, aumento do OEE e melhoria da segurança no ambiente fabril. Dessa forma, o guia proposto configura-se como uma ferramenta de apoio à confiabilidade operacional e à gestão eficiente de processos na indústria de transformação plástica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR ISO 6789-1:2019**. Ferramentas de montagem para parafusos e porcas — Ferramentas dinamométricas manuais — Parte 1: Requisitos e métodos de ensaio para verificação da conformidade do projeto e qualidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. Disponível em: ABNT. Acesso em: mar. 2026.

_____. **ABNT NBR ISO 9001:2015**. Sistemas de gestão da qualidade — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Disponível em: ABNT. Acesso em: fev. 2026.

_____. **ABNT NBR ISO 14224:2016**. Indústrias de petróleo, petroquímica e gás natural — Coleta e intercâmbio de dados de confiabilidade e manutenção para equipamentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. Disponível em: ABNT. Acesso em: abr. 2026.

Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos. **Manual técnico de manutenção preventiva para máquinas**

injetoras. São Paulo: ABIMAQ, 2020. Disponível em: [ABIMAQ](#). Acesso em: maio 2026.

ARAÚJO, C.; OLIVEIRA, J. P.; MARTINS, R. Henrique; SILVA, F.L. *In-cavity pressure measurements for failure diagnosis in the injection moulding process and correlation with numerical simulation*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Londres, v. 126, p. 291–300, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-023-11100-1>. Acesso em: 18 fev. 2026.

CATO, J. **Injection Molding Technology and Fundamentals**. 2. ed. New York: Industrial Press, 2019. Disponível em: Industrial Press. Acesso em: abr. 2026.

LIEW, Kai-Fu; LEE, Weng-Sing; CHONG, Kai-Yin; TAN, Ching-Sin; LIM, Wei-Jie. *Injection Barrel/Nozzle/Mold-Cavity Scientific Real-Time Sensing and Molding Quality Monitoring for Different Polymer-Material Processes*. Sensors, Basel, v. 22, n. 13, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/13/4792>. Acesso em: 12 mar. 2026.

LUISI, G.; FILIPPIS, A. de; FANELLI, A. M.; GRECO, A.; FACCIO, M. *A Hybrid Architectural Model for Monitoring Production Performance in the Plastic Injection Molding Process*. Applied Sciences, Basel, v. 13, n. 22, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/13/22/12145>. Acesso em: 27 abr. 2026.

OSSWALD, Tim A.; TURNG, Lih-Sheng; GRAMANN, Paul J. **Injection Molding Handbook**. 2. ed. Munich: Hanser Publishers, 2008. Disponível em: [Hanser Publishers](#). Acesso em: maio 2026.

RAFLI, M.; PRATAMA, R. A.; SETIAWAN, D.; NUGROHO, F. *Preventive Analysis of Polymer Leakage in Injection Molding Machines and Its Impact on Production Efficiency*. Review: Journal of Multidisciplinary in Social Sciences, Jakarta, v. 2, n. 12, 2025. Disponível em: <https://jurnal.lenteranusa.id/index.php/RJMSS/article/view/1101>.

Acesso em: 05 maio 2026.

RAKES, D.; WINDYATRI, H.; SUHENDRA, M. *Scheduling Preventive Maintenance to Increase the Effectiveness of Injection Molding Machines Using the Overall Equipment Effectiveness Method*. OPSearch: American Journal of Open Research, New York, v. 3, n. 7, 2024. Disponível em:

<https://opsearch.us/index.php/us/article/view/122>. Acesso em: 21 abr. 2026.

SILVA, José Ricardo da. **Manutenção preventiva aplicada à indústria de transformação plástica: impactos na eficiência operacional**. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v. 16, n. 2, p. 45–60, 2020. Disponível em: [Revista Gestão Industrial](#). Acesso em: mar. 2026.

STRONG, A. Brent. **Plastics: Materials and Processing**. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2006. Disponível em: [Pearson](#). Acesso em: fev. 2026.

SUHENDRA, M.; WIYATNO, T. N. *Increasing Overall Equipment Effectiveness on 650T Injection Machines with a Lean Manufacturing Approach*. Jurnal Informasi dan Teknologi, Jakarta, v. 6, n. 3, 2024. Disponível em: <https://jidt.org/jidt/article/view/584>. Acesso em: 14 maio 2026.

WANG, Y.; ZHAO, M.; LIU, C.; XU, H.; ZHOU, L. *Measurement techniques in injection molding: A comprehensive review of machine status detection, molten resin flow state characterization, and component quality adjustment*. Measurement, Londres, v. 226, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224124000472>. Acesso em: 08 mar. 2026.

ZHANG, Y.; LI, J.; CHEN, X.; WANG, R.; HUANG, Z. *A data-driven predictive maintenance framework for injection molding process*. Journal of Manufacturing Processes, Amsterdam, v. 80, p. 887–897, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1526612522003978>. Acesso em: 30 abr. 2026.

¹ Discente do Curso Superior de Engenharia Mecânica da Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica- FUCAPI, Manaus-AM. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#).

² Docente do Curso Superior de do Curso Superior de Engenharia Mecânica da Fundação Centro de Análise, Pesquisa e Inovação Tecnológica- FUCAPI, Manaus-AM. E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)