

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

HENRIQUE BREHM WOLFGRAMM

GERENCIAMENTO DE FERRAMENTAS DE CORTE NO SETOR METAL-
MECÂNICO: ESTUDO DO CENÁRIO BRASILEIRO E IMPLANTAÇÃO PRÁTICA EM
LABORATÓRIO UNIVERSITÁRIO

Joinville

2026

HENRIQUE BREHM WOLFGRAMM

GERENCIAMENTO DE FERRAMENTAS DE CORTE NO SETOR METAL-
MECÂNICO: ESTUDO DO CENÁRIO BRASILEIRO E IMPLANTAÇÃO PRÁTICA EM
LABORATÓRIO UNIVERSITÁRIO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Automotiva, no Curso de
Engenharia Automotiva, do Centro
Tecnológico de Joinville, da Universidade
Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Erick Cardoso
Costa

Joinville

2026

Dedico este trabalho aos meus pais, Romeu e Karla, e às minhas irmãs, Juliana e Isabela, por sempre acreditarem no meu potencial e estarem ao meu lado em todos os momentos desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente:

Ao Professor Dr. Erick Cardoso Costa, pela orientação, confiança, dedicação e contribuições ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos integrantes do Laboratório de Engenharia de Manufatura (LEM), pelo apoio, pela troca constante de conhecimentos e pelo convívio diário.

À equipe da empresa Âmagon, pela parceria estabelecida e pela disponibilização do sistema gerenciador utilizado neste estudo de caso.

Às empresas e aos profissionais que dedicaram seu tempo ao preenchimento do questionário, contribuindo diretamente para os resultados obtidos neste trabalho.

Aos amigos que estiveram presentes ao longo da graduação, tornando esse período mais divertido e enriquecedor. Em especial, aos colegas Leonardo e Murilo e aos amigos Cristhian e Gabriel, pela parceria de tantos anos.

Por fim, agradeço à minha família pelo incentivo, compreensão e apoio durante toda a trajetória acadêmica que culminou na realização deste trabalho. Em especial, aos meus avós, Mário e Lilian, por todo auxílio e carinho.

RESUMO

O gerenciamento de ferramentas de corte possui relevância nos processos de manufatura, pois influencia a organização do estoque e a eficiência operacional. A ausência de práticas estruturadas pode dificultar a localização de ferramentas, comprometer o registro de informações, reduzir a padronização entre usuários e limitar a tomada de decisão baseada em dados. Nesse contexto, esta pesquisa apresenta uma análise do gerenciamento de ferramentas de corte no setor metal-mecânico brasileiro, por meio de um diagnóstico com empresas do setor e de um estudo de caso da implantação de um sistema gerenciador automatizado em laboratório universitário. A metodologia envolveu a aplicação de um questionário a profissionais de empresas brasileiras do setor metal-mecânico, visando identificar práticas de gerenciamento, sistemas utilizados, métodos de controle da vida das ferramentas, gargalos e oportunidades de melhoria. Também foi realizado um estudo de caso no Laboratório de Engenharia de Manufatura (LEM), contemplando a implantação do sistema Toolsync® e a reorganização física das ferramentas. Os resultados do questionário indicaram que, embora o conceito de gerenciamento de ferramentas seja conhecido pela maioria dos respondentes, ainda existem diferentes níveis de maturidade entre as empresas pesquisadas, com certa presença de controles manuais e de armários automatizados. Os principais problemas identificados pelas empresas foram a dificuldade em registrar e analisar dados, quebras inesperadas e desgaste precoce das ferramentas. No estudo de caso, a implantação do gerenciador permitiu cadastrar e padronizar as ferramentas e insumos, controlar movimentações por meio de interface digital e ampliar a rastreabilidade das retiradas. Conclui-se que o gerenciamento estruturado de ferramentas contribui para maior controle operacional e disponibilidade de informações, tanto em ambientes industriais quanto acadêmicos de manufatura.

Palavras-chave: rastreabilidade; gerenciador; questionário; Toolsync®.

ABSTRACT

Cutting tool management is relevant in manufacturing processes, as it influences inventory organization and operational efficiency. The absence of structured practices may hinder tool location, compromise information recording, reduce standardization among users, and limit data-based decision-making. In this context, this research presents an analysis of cutting tool management in the Brazilian metal-mechanical sector through a diagnosis with companies in the sector and a case study involving the implementation of an automated tool management system in a university laboratory. The methodology involved the application of a survey to professionals from Brazilian metal-mechanical companies, aiming to identify management practices, systems used, tool life control methods, bottlenecks, and improvement opportunities. A case study was also carried out at the Manufacturing Engineering Laboratory (LEM), covering the implementation of the Toolsync® system and the physical reorganization of the tools. The survey results indicated that, although the concept of tool management is known by most respondents, different maturity levels still exist among the companies surveyed, with the presence of both manual controls and automated cabinets. The main problems identified by the companies were the difficulty in recording and analyzing data, unexpected tool breakage, and premature tool wear. In the case study, the implementation of the management system made it possible to register and standardize tools and supplies, control movements through a digital interface, and expand the traceability of withdrawals. It is concluded that structured tool management contributes to greater operational control and information availability, both in industrial environments and in academic manufacturing environments.

Keywords: traceability; tool management system; survey; Toolsync®.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Armários <i>Sandvik</i>	24
Figura 2 – Armários MATRIX	25
Figura 3 – Fluxograma dos blocos do questionário	27
Figura 4 – Localização da empresa	32
Figura 5 – Porte das empresas	33
Figura 6 – Setor de atuação	34
Figura 7 – Segmento característico.....	35
Figura 8 – Tempo de experiência.....	35
Figura 9 – Cargo e função.....	36
Figura 10 – Tipo de gerenciamento utilizado.....	37
Figura 11 – Sistema utilizado	38
Figura 12 – Tempo de uso do sistema	39
Figura 13 – Atendimento às demandas da empresa.....	40
Figura 14 – Satisfação com o sistema	41
Figura 15 – Benefícios percebidos pelos sistemas de gerenciamento.....	42
Figura 16 – Acompanhamento da vida das ferramentas de corte	43
Figura 17 – Critério para troca de ferramentas de corte.....	44
Figura 18 – Uso de indicadores de desempenho	45
Figura 19 – Aproveitamento do potencial máximo das ferramentas.....	46
Figura 20 – Principais problemas relacionados à vida das ferramentas	47
Figura 21 – Armário principal	57
Figura 22 – Estantes do armário principal	58
Figura 23 – Gaveteiro de ferramentas.....	59
Figura 24 – Armário secundário	60
Figura 25 – Modelo TS09.....	62
Figura 26 – Disposição da gaveta 1	65
Figura 27 – Disposição da gaveta 4	66
Figura 28 – Disposição da gaveta 5	66
Figura 29 – Disposição da gaveta 9	67
Figura 30 – Disposição da estante 1	68
Figura 31 – Categorias elencadas.....	69

Figura 32 – Estoque cadastrado	69
Figura 33 – Painel com principais informações	70
Figura 34 – Câmera e movimentações realizadas no armário	71
Figura 35 – Armário principal depois da implantação.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipo de gerenciamento vs Porte da empresa	50
Quadro 2 – Tipo de gerenciamento vs Acompanhamento da vida da ferramenta	51
Quadro 3 – Tipo de gerenciamento vs Aproveitamento das ferramentas	52
Quadro 4 – Etapas de implantação	63

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- CAD** – *Computer-Aided Design* (Desenho Assistido por Computador)
- CAM** – *Computer-Aided Manufacture* (Manufatura Assistida por Computador)
- CNC** – *Computer Numerical Control* (Controle Numérico Computadorizado)
- ERP** – *Enterprise Resource Planning* (Planejamento de Recursos Empresariais)
- IoT** – *Internet of Things* (Internet das Coisas)
- LEM** – Laboratório de Engenharia de Manufatura
- NC** – *Numerical Control* (Controle Numérico)
- RFID** – *Radio-Frequency Identification* (Identificação por Radiofrequência)
- TCC** – Trabalho de Conclusão de Curso
- TDM** – *Test Data Management* (Gestão de Dados de Teste)
- UFSC** – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS	14
1.1.1. Objetivo Geral.....	14
1.1.2. Objetivos Específicos	15
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1. INDÚSTRIA 4.0	16
2.2. PROCESSOS DE USINAGEM.....	17
2.3. FERRAMENTAS DE CORTE NA INDÚSTRIA DE MANUFATURA.....	18
2.4. CICLO DE VIDA DAS FERRAMENTAS DE CORTE	20
2.4.1. Seleção e aquisição das ferramentas de corte	20
2.4.2. Armazenamento e identificação.....	20
2.4.3. Utilização.....	21
2.4.4. Controle e monitoramento.....	21
2.4.5. Recondicionamento e descarte	22
2.5. GERENCIAMENTO DE FERRAMENTAS DE CORTE	23
2.6. <i>BENCHMARKING</i> DAS SOLUÇÕES ADOTADAS PARA GERENCIAMENTO DE FERRAMENTAS DE CORTE.....	24
3. METODOLOGIA	26
3.1. QUESTIONÁRIO	26
3.1.1. Público-alvo da pesquisa	26
3.1.2. Estrutura do questionário.....	27
3.1.3. Escalas utilizadas.....	28
3.1.4. Validação.....	28
3.1.5. Distribuição.....	29
3.1.6. Tamanho amostral esperado.....	30
3.1.7. Critério de inclusão e exclusão.....	30
3.1.8. Tratamento dos dados	30
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	32
4.1. RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO	32
4.1.1. Caracterização da amostra.....	32
4.1.2. Conhecimento e adoção do gerenciamento de ferramentas.....	36

4.1.3. Avaliação dos sistemas utilizados.....	40
4.1.4. Controle da vida das ferramentas de corte	43
4.1.5. Gargalos e problemas identificados.....	47
4.1.6. Recursos desejados para melhoria	49
4.1.7. Cruzamento de dados	49
5. ESTUDO DE CASO	54
5.1. CARACTERIZAÇÃO DO LABORATÓRIO	54
5.2. SITUAÇÃO ANTERIOR À IMPLANTAÇÃO.....	55
5.3. IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO AUTOMATIZADO TOOLSUNC®	61
5.4. ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO.....	63
5.5. FLUXOGRAMA DO PROCESSO.....	64
5.6. SITUAÇÃO POSTERIOR À IMPLANTAÇÃO	65
5.6.1. Disposição do armário gerenciador automatizado	65
5.6.2. Disposição do sistema de gerenciamento automatizado	68
5.6.3. Comparativo com a situação anterior	71
5.7. SUGESTÕES DE MELHORIA	72
6. CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS.....	78
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO.....	80
APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DE RETIRADA/DEVOLUÇÃO DE FERRAMENTAS NO TOOLSUNC® (PARTE 1)	85
APÊNDICE C – FLUXOGRAMA DE RETIRADA/DEVOLUÇÃO DE FERRAMENTAS NO TOOLSUNC® (PARTE 2)	86

1. INTRODUÇÃO

A indústria automotiva e o setor metal-mecânico, particularmente as ferramentarias, fabricantes de moldes e setores de manutenção, caracterizam-se por grandes exigências de qualidade e precisão em seus processos produtivos. Nesse contexto, os processos de usinagem desempenham um papel importante, pois estão diretamente ligados à produção de componentes críticos e ao cumprimento de tolerâncias mais estreitas. Ao mesmo tempo, a competitividade do mercado exige que as empresas reduzam custos e tempo concomitante a melhoria da qualidade do componente. Como estratégia, é necessário utilizar os recursos de manufatura de forma mais eficiente.

Nesse contexto industrial, as ferramentas de corte constituem elementos fundamentais nesses processos, uma vez que influenciam o desempenho da máquina-ferramenta, os tempos de operação, a qualidade das peças, a estabilidade do processo e a eficiência produtiva. Embora representem apenas uma parcela dos custos totais de fabricação, sua utilização inadequada pode gerar impactos indiretos significativos, como aumento de paradas, retrabalhos, quebras inesperadas, desperdícios e perda de produtividade (Favaretto, 2005).

Nesse cenário, o gerenciamento de ferramentas se mostra um componente essencial da manufatura, pois abrange aspectos técnicos, logísticos e estratégicos, desde a seleção e o armazenamento até a implantação e o controle ao longo de todo o seu ciclo de vida (Favaretto, 2005; Zonta Junior, 2007). Mesmo assim, é evidente que muitas empresas ainda têm dificuldades em implementar procedimentos estruturados para a gestão de ferramentas de corte (Souza, 2011).

Como consequência do contato intenso entre ferramenta e peça, ocorrem fenômenos tribológicos que levam ao desgaste do gume devido às tensões mecânicas e alta temperatura, comprometendo o desempenho do processo de usinagem e qualidade das peças produzidas. Como alternativa fundamental, deve-se acompanhar a vida da ferramenta de corte (Machado *et al.*, 2009).

No que diz respeito ao monitoramento da vida das ferramentas, nota-se que é frequentemente empírico e baseado na experiência do operador, o que pode levar a falhas inesperadas, trocas prematuras de ferramentas e potencial de produção não aproveitado. Além disso, as empresas normalmente não conseguem avaliar com

precisão a condição real das ferramentas de corte em uso ou medir adequadamente seu desempenho ao longo do tempo, prejudicando a tomada de decisões técnicas e de negócios (Zonta Junior, 2007).

A importância deste tema é amplamente discutida na literatura, que destaca a gestão de ferramentas como um fator crucial para a produtividade e competitividade industrial. Estudos de autores como Favaretto (2005), Souza (2011) e Zonta Junior (2007) demonstram que a falta de métodos sistemáticos leva a problemas como padronização insuficiente, aumento de custos, estoque desatualizado e utilização ineficiente de ferramentas. O monitoramento da vida das ferramentas de corte é um dos aspectos mais importantes nesse contexto.

Com base nas informações citadas acima, o objetivo deste trabalho é analisar os conceitos e práticas de gestão de ferramentas de corte e, com isso, dedicar-se a apresentar meios de otimizar o sistema de gerenciamento. Como fator fundamental, considera-se a realidade de algumas empresas dos setores automotivo, de manufatura e de fabricação de ferramentas.

Para atingir esse objetivo, aplica-se uma metodologia baseada em bibliografia existente, sobre usinagem, ferramentas de corte, rastreabilidade e gerenciamento de ferramentas, seguida da aplicação de um questionário a empresas brasileiras do setor metal-mecânico. Além disso, realiza-se um estudo de caso no Laboratório de Engenharia de Manufatura (LEM), envolvendo a análise do cenário anterior, a implantação do sistema gerenciador Toolsync®, da empresa Âmagon, e a reorganização física dos itens, o cadastro das ferramentas e a representação do novo fluxo operacional de controle.

1.1. OBJETIVOS

Para avaliar a problemática do controle incompleto das ferramentas de corte nas empresas do setor de manufatura, propõem-se os seguintes objetivos.

1.1.1. Objetivo Geral

Analisar o gerenciamento de ferramentas de corte no setor metal-mecânico brasileiro por meio de diagnóstico com empresas do setor e realizar um estudo de

caso da implantação de um sistema gerenciador automatizado em laboratório universitário.

1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar, por meio de questionário, as práticas de gerenciamento de ferramentas de corte utilizadas por algumas empresas do setor metal-mecânico brasileiro;
- Classificar os principais sistemas, métodos de controle da vida de ferramenta de corte, gargalos e dificuldades associados ao gerenciamento de ferramentas nas empresas pesquisadas;
- Demonstrar a organização e disposição de ferramentas em um laboratório universitário;
- Validar a metodologia proposta através de um estudo de caso de implantação de um sistema gerenciador de ferramentas nesse laboratório;
- Propor melhorias para o gerenciamento de ferramentas de corte com base no diagnóstico industrial e no estudo de caso.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura para contextualizar o problema abordado, identificar os principais conceitos relacionados à gestão de ferramentas de corte no contexto da manufatura. São discutidos tópicos como usinagem e sua relevância para a indústria, gestão de ferramentas, controle da vida das ferramentas, ciclo de vida das ferramentas de corte e os fundamentos da Indústria 4.0.

2.1. INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial e simboliza uma profunda transformação dos sistemas de produção por meio da integração de tecnologias digitais avançadas. O termo foi oficialmente apresentado na feira Hannover Messe de 2011, como parte de uma estratégia do governo alemão para fortalecer a competitividade industrial. Esta nova fase da manufatura é caracterizada pela convergência dos mundos físico e digital e promove a integração de sistemas ciberfísicos, *Internet of Things* (IoT), inteligência artificial, análise de *big data*, computação em nuvem e automação inteligente.

Como explicam Favaretto (2005) e Souza (2011), a digitalização da informação e a integração de sistemas são fatores cruciais para o aprimoramento do controle operacional e o aumento da competitividade industrial. A gestão baseada em dados confiáveis permite a redução do desperdício, maior previsibilidade dos processos e otimização dos recursos de produção. Nesse cenário, a gestão de ferramentas de corte se torna altamente relevante, uma vez que *softwares* especializados e armários de ferramentas automatizados possibilitam a coleta constante de dados sobre o consumo, a localização e a durabilidade das ferramentas (Favaretto, 2005).

Esses dados podem ser incorporados aos sistemas de planejamento e controle da produção, auxiliando, dessa forma, na rastreabilidade, na padronização e em uma tomada de decisão mais fundamentada. Pesquisas indicam que a utilização de métodos alinhados à Indústria 4.0 na gestão de ferramentas contribui

para a diminuição de custos, elevação da produtividade e aprimoramento da confiabilidade dos processos de usinagem.

No ambiente de ferramentarias, empresas de moldes/matrizes e manufatura de peças automotivas, a integração entre gerenciamento de ferramentas, controle da vida da ferramenta de corte e sistemas digitais representa um passo fundamental para a modernização dos processos. Essa abordagem é a base da sustentação da competitividade industrial em longo prazo, o que é crucial para a competitividade regional e global.

2.2. PROCESSOS DE USINAGEM

A usinagem compreende um conjunto de processos de fabricação baseados na remoção controlada de material, com o objetivo de conferir forma, dimensão e acabamento a uma peça, resultando em um componente que atenda uma função mecânica. Segundo Machado *et al.* (2009), trata-se de um dos principais processos de fabricação da indústria mecânica, sendo amplamente empregado na produção de componentes com elevada precisão dimensional e qualidade superficial.

Nos processos convencionais de usinagem, essa remoção ocorre pela ação de uma ferramenta de corte, em especial, a região conhecida como gume, que engaja sobre o material da peça levando a tensões mecânicas e aumento de temperatura de modo a induzir deformações elasto-plásticas até atingir o limite de ruptura do material, resultando na formação de cavaco (Machado *et al.*, 2009). Os processos de usinagem mais comuns são torneamento, fresamento, furação, retificação, entre outros.

De acordo com Altintas (2012), a usinagem dos metais é um dos métodos mais utilizados para produzir a forma final de produtos manufaturados, estando presente em diferentes operações realizadas em máquinas-ferramenta, especialmente em ambientes industriais que utilizam sistemas de Controle Numérico Computadorizado (CNC), Desenho Assistido por Computador (CAD), Manufatura Assistida por Computador (CAM) e recursos de automação.

A importância da usinagem está relacionada à sua capacidade de produzir componentes com elevada precisão dimensional, repetibilidade e qualidade superficial. Klocke (2011) destaca que a escolha e o projeto adequado dos processos de fabricação são fatores importantes para a qualidade e a eficiência

econômica da produção industrial. Nesse sentido, a usinagem se mantém relevante em setores como automotivo, ferramentarias, moldes, matrizes, máquinas e equipamentos, nos quais há demanda por componentes com geometrias específicas, tolerâncias rigorosas e desempenho funcional confiável.

Ao longo do tempo, os processos de usinagem evoluíram de operações predominantemente manuais para sistemas automatizados e integrados. O desenvolvimento de máquinas automáticas, máquinas comandadas numericamente e centros de usinagem CNC ampliou a capacidade de produzir peças complexas com maior controle de trajetória, parâmetros de corte e repetibilidade.

Nos sistemas modernos de manufatura, a usinagem não depende apenas da máquina-ferramenta. Altintas (2012) destaca que a produtividade e a precisão das operações de remoção de material dependem de fatores como preparação dos programas NC, planejamento dos parâmetros de processo, condições de corte, geometria da ferramenta, materiais da peça e da ferramenta, rigidez estática e dinâmica da máquina-ferramenta e desempenho da unidade CNC. Dessa forma, a usinagem deve ser compreendida como um sistema técnico integrado, no qual a ferramenta de corte possui papel central.

Além dos aspectos técnicos, a usinagem apresenta impacto econômico significativo, uma vez que envolve máquinas de alto valor agregado, ferramentas de corte, tempo de preparação, operadores qualificados, consumo de energia, fluidos de corte e controle de qualidade. Klocke (2011) destaca que o monitoramento do processo possui papel relevante para reconhecer distúrbios em tempo adequado e introduzir contramedidas, evitando danos à ferramenta, à peça ou à máquina.

Assim, o desempenho econômico da usinagem está fortemente relacionado à capacidade de controlar o processo, reduzir falhas e utilizar adequadamente os recursos produtivos disponíveis. Isso demonstra o papel estratégico da usinagem no fortalecimento das capacidades industriais brasileiras, apesar dos desafios estruturais enfrentados pelo setor.

2.3. FERRAMENTAS DE CORTE NA INDÚSTRIA DE MANUFATURA

As ferramentas de corte desempenham papel fundamental nos processos de usinagem, pois são responsáveis pela remoção de material e pela obtenção das geometrias, dimensões e acabamentos exigidos em componentes mecânicos,

quando sujeitadas a uma trajetória. Em setores como a indústria automotiva, a precisão dimensional, a repetibilidade e a confiabilidade do processo são requisitos essenciais, o desempenho das ferramentas de corte está diretamente relacionado à qualidade do produto e à estabilidade da produção.

Além de sua função técnica, as ferramentas de corte representam uma parcela significativa dos custos operacionais da usinagem. Esses custos não se limitam apenas à aquisição das ferramentas, mas incluem também despesas associadas ao armazenamento, preparação, ajustes, trocas, paradas de máquina, manutenção e descarte. Segundo Favaretto (2005), a falta de controle sistematizado sobre esses elementos pode resultar em desperdícios relevantes e em perda de competitividade industrial. Nesse contexto, a ausência de práticas organizadas pode gerar atrasos, retrabalhos e uso inadequado das ferramentas de corte.

Além disso, a vida da ferramenta de corte corresponde ao período em que ela é capaz de realizar a usinagem dentro de limites aceitáveis de desgaste, qualidade (tolerância geométrica e forma) e segurança do processo. Tönshoff e Denkena (2013) definem a vida da ferramenta como o tempo durante o qual a ferramenta corta desde o primeiro contato até atingir um limite de desgaste previamente estabelecido, sendo influenciada pela combinação entre material da ferramenta de corte, material da peça, condições de usinagem e geometria da cunha cortante. Dessa forma, a determinação da vida não depende apenas do tempo de uso, mas também das condições reais em que a ferramenta é aplicada.

O monitoramento da vida de ferramentas de corte é um componente central da gestão de ferramentas. É essencial garantir a vida da ferramenta durante um período definido, a quantidade de material removido, a manutenção de um desempenho aceitável da ferramenta e a conformidade com os requisitos de qualidade e segurança do processo.

Na prática industrial, o monitoramento da vida da ferramenta de corte pode ser realizado de forma eficaz de diversas maneiras: métodos empíricos, comportamento do operador, sistemas estruturados (que podem ser usados em paralelo), número de produtos fabricados ou monitoramento automatizado. Favaretto (2005) enfatiza que a falta de critérios claros para a troca de ferramentas de corte frequentemente leva a trocas prematuras e consequentes aumentos de custos, bem como a falhas inesperadas e perdas de produtividade.

2.4. CICLO DE VIDA DAS FERRAMENTAS DE CORTE

O ciclo de vida das ferramentas de corte compreende o conjunto de etapas pelas quais a ferramenta de corte passa desde sua seleção inicial até seu recondicionamento ou descarte. Em processos de usinagem, esse ciclo envolve decisões de natureza técnica, logística e econômica, que influenciam diretamente a qualidade das peças produzidas, a produtividade, os custos operacionais e a confiabilidade do processo produtivo (Favaretto, 2005; Zonta Junior, 2007).

2.4.1. Seleção e aquisição das ferramentas de corte

A primeira etapa do ciclo de vida das ferramentas de corte refere-se à seleção e aquisição, sendo decisiva para o desempenho futuro da ferramenta no processo de usinagem. A escolha adequada deve considerar fatores como o material da peça, o tipo de operação, as condições de corte, a geometria da ferramenta e a compatibilidade com a máquina-ferramenta utilizada. Uma seleção inadequada pode resultar em desgaste prematuro, quebras frequentes e baixa qualidade superficial.

Em muitas empresas, a seleção das ferramentas ainda ocorre de forma empírica, baseada exclusivamente na experiência dos operadores ou programadores. No entanto, autores como Zonta Junior (2007) ressaltam que a padronização técnica e o uso de critérios definidos para a escolha das ferramentas contribuem significativamente para a redução de custos e para o aumento da estabilidade dos processos. Além disso, a padronização facilita o controle de estoques e a reposição de ferramentas ao longo do tempo.

2.4.2. Armazenamento e identificação

Após a aquisição, as ferramentas de corte devem ser armazenadas de forma adequada, garantindo sua integridade física, identificação correta e fácil acesso. O armazenamento inadequado pode causar danos às ferramentas, perda de rastreabilidade e dificuldades na localização, resultando em atrasos e desperdícios no processo produtivo.

A identificação das ferramentas é um aspecto fundamental dessa etapa, pois permite o controle do histórico de uso, da vida remanescente e da aplicação correta em cada operação. Sistemas tradicionais de armazenamento, como almoxarifados manuais, ainda são amplamente utilizados, porém apresentam limitações quanto à rastreabilidade e ao controle do consumo. Em contrapartida, armários automatizados integrados a *softwares* de gerenciamento possibilitam maior precisão no controle, além de fornecer dados em tempo real sobre a utilização das ferramentas.

A distribuição das ferramentas para o chão de fábrica deve ocorrer de forma organizada e alinhada às necessidades da produção. Segundo Souza (2011) e Svinjarević (2007), falhas nessa etapa frequentemente resultam em paradas de máquina, improvisações e uso inadequado de ferramentas, reforçando a importância de sistemas estruturados para garantir a disponibilidade correta no momento certo.

2.4.3. Utilização

A fase de utilização corresponde ao período durante o qual a ferramenta é efetivamente usada no processo de usinagem. Ela é influenciada pelos parâmetros de corte, condições da máquina, rigidez do sistema, estratégia de usinagem e habilidade do operador. O desempenho da ferramenta durante essa fase determina diretamente sua vida e o custo por peça produzida.

Independentemente do material da ferramenta e das condições de usinagem, o desgaste é um fenômeno inevitável ao longo do processo de corte. Machado *et al.* (2009, p. 231) destacam que “[...] desgastes acelerados e/ou avarias frequentes levam a paradas da máquina para troca, e isso significa custos adicionais e perda de produtividade.”.

Em ambientes de produção modernos, a definição correta dos parâmetros de corte auxilia na utilização ideal da ferramenta. Variações excessivas nos parâmetros entre diferentes operadores ou turnos podem levar a desgaste irregular, falhas prematuras e inconsistências na qualidade das peças. Portanto, a utilização controlada e padronizada da ferramenta contribui para uma maior previsibilidade no processo de produção.

2.4.4. Controle e monitoramento

O controle da vida das ferramentas de corte é uma das etapas mais críticas do ciclo de vida e está diretamente relacionado à eficiência do gerenciamento de ferramentas. A vida pode ser monitorada por meio de diferentes métodos, incluindo controle por tempo de corte, número de peças usinadas ou avaliação da condição da ferramenta de corte por meio da visualização do gume utilizando lupas, estereoscópio ótico, microscópio ótico ou microscópio eletrônico de varredura.

Na prática industrial, muitas empresas ainda realizam esse controle de forma empírica, substituindo as ferramentas apenas após a ocorrência de falhas ou quando o operador percebe desgaste excessivo. Conforme apontado por Favaretto (2005), essa abordagem tende a gerar quebras inesperadas e paradas não planejadas, além de dificultar a mensuração do desempenho real das ferramentas.

"O ideal é adotar um sistema de monitoramento que seja capaz de determinar com segurança o momento de troca da aresta desgastada." (Machado *et al.*, 2009, p. 250). A adoção de sistemas informatizados e a integração com máquinas CNC possibilitam um controle mais preciso da vida, permitindo trocas programadas e melhor aproveitamento do potencial das ferramentas.

2.4.5. Recondicionamento e descarte

O recondicionamento de ferramentas de corte, incluindo afiação e pré-ajuste, é uma fase fundamental em seu ciclo de vida, particularmente para ferramentas de alta qualidade. Quando feito de maneira adequada, o recondicionamento pode aumentar consideravelmente a durabilidade da ferramenta e diminuir a demanda por substituições (Machado *et al.*, 2009; Tönshoff e Denkena, 2013).

Entretanto, a escolha de recondicionar ou descartar uma ferramenta deve levar em consideração critérios técnicos e financeiros. Conforme Favaretto (2005), a ausência de registros históricos sobre utilização, desgaste e desempenho dificulta essa avaliação, podendo resultar em substituições prematuras ou no uso prolongado de ferramentas já inadequadas.

A fase final do ciclo de vida abrange a eliminação de ferramentas que não são mais tecnicamente utilizáveis ou que foram recondicionadas. O descarte inadequado pode levar a perdas econômicas e desperdício de materiais potencialmente recicláveis, principalmente para ferramentas feitas de metais preciosos, como carboneto, e aquelas com revestimentos especiais.

A aplicação de práticas estruturadas de descarte, incluindo a reciclagem de materiais e a documentação do ciclo de vida das ferramentas, contribui para a sustentabilidade do processo produtivo. Além disso, a análise dos motivos do descarte fornece informações para aprimorar os estágios iniciais do ciclo de vida.

2.5. GERENCIAMENTO DE FERRAMENTAS DE CORTE

O gerenciamento de ferramentas de corte pode ser definido como o conjunto de práticas, métodos e sistemas destinados a planejar, controlar e otimizar o uso das ferramentas ao longo de todo o processo produtivo. De acordo com Favaretto (2005) e Svinjarević (2007), esse gerenciamento deve abranger aspectos técnicos, logísticos e estratégicos, indo além do simples controle de estoque.

Enquanto o ciclo de vida descreve as etapas percorridas pela ferramenta, desde sua seleção até o descarte, o gerenciamento de ferramentas busca integrar essas etapas por meio de registros, padronização e análise de informações. Dessa forma, torna-se possível acompanhar não apenas a localização dos itens, mas também seu desempenho, quantidade e impacto no processo produtivo.

Zonta Junior (2007) destaca que a implementação do gerenciamento de ferramentas de corte contribui para a redução de tempos de *setup*, maior estabilidade dos processos e melhor aproveitamento do potencial das ferramentas. Entretanto, o autor ressalta que, em muitas empresas do setor metal-mecânico, esse gerenciamento ainda é realizado de forma informal, baseado na experiência individual dos operadores, o que limita os ganhos possíveis.

Souza (2011) aponta que empresas que adotam sistemas de gerenciamento de ferramentas apresentam maior controle sobre o consumo, menor variabilidade nos processos e melhor previsibilidade da vida das ferramentas de corte. Esses fatores são especialmente relevantes na indústria automotiva, onde a padronização e a confiabilidade dos processos são essenciais para atender aos requisitos de qualidade e prazos de entrega.

Além disso, o gerenciamento adequado das ferramentas contribui para reduzir a dependência de decisões empíricas e individuais, permitindo que o conhecimento sobre uso, falhas, reposição e desempenho das ferramentas seja registrado e compartilhado (Amorim, 2023). Esse aspecto é particularmente

importante em empresas com múltiplos turnos, elevada rotatividade de mão de obra ou grande variedade de ferramentas e operações.

Outro ponto relevante é a possibilidade de utilização do gerenciador como ferramenta de apoio à tomada de decisão. Ao registrar retiradas, devoluções e consumo de itens, o sistema pode contribuir para a formação de histórico de uso, identificação de materiais mais demandados, definição de estoque mínimo e planejamento de reposições.

2.6. *BENCHMARKING* DAS SOLUÇÕES ADOTADAS PARA GERENCIAMENTO DE FERRAMENTAS DE CORTE

Uma das tendências observadas em empresas de manufatura, ferramentarias e ambientes de usinagem é a adoção de armários automatizados de ferramentas integrados a *softwares* específicos de gerenciamento. Essas soluções têm como objetivo ampliar o controle sobre o estoque, melhorar a rastreabilidade dos itens e apoiar a tomada de decisão por meio de dados relacionados ao consumo e à movimentação das ferramentas.

Como referência de mercado, destaca-se o *CoroPlus® Tool Supply*, desenvolvido pela empresa *Sandvik Coromant*. A solução combina *hardware* e *software* para o armazenamento e controle de ferramentas de corte utilizadas nas operações de usinagem. Um exemplo pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Armários *Sandvik*



Fonte: *Sandvik Coromant* (2026).

O sistema permite maior visibilidade dos níveis de estoque, acompanhamento das movimentações, controle de consumo e apoio à reposição

dos itens. Além disso, a integração com sistemas corporativos pode contribuir para a redução de estoques excessivos e para a melhoria da logística interna.

Outro exemplo é o sistema MATRIX, da ISCAR, composto por armários automatizados e *software* de gestão. Esse sistema permite acesso controlado às ferramentas, rastreamento de retiradas e devoluções e geração de relatórios e indicadores. O *software* associado também pode oferecer recursos como cálculo de estoque, criação de pedidos, análise de consumo e integração com sistemas ERP. A Figura 2 apresenta exemplos dos armários MATRIX.

Figura 2 – Armários MATRIX



Fonte: IMC Group (2026).

Essas soluções são consideradas boas práticas porque promovem maior precisão no controle de estoque, reduzem o tempo gasto na busca e reposição de ferramentas e aumentam a eficiência operacional. No contexto da Indústria 4.0, o uso de armários automatizados e *software* de gestão atende aos requisitos de digitalização, rastreabilidade e integração de dados na manufatura e serve como modelo para empresas que buscam melhorar sua competitividade.

As funcionalidades observadas nessas soluções, como controle de acesso, rastreabilidade, integração digital, relatórios e monitoramento de estoque, servem como referência para compreender a aplicação prática de sistemas gerenciadores de ferramentas. No presente trabalho, essas características são posteriormente analisadas no estudo de caso da implantação do sistema Toolsync® no Laboratório de Engenharia de Manufatura.

3. METODOLOGIA

Este capítulo apresenta os procedimentos utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, com foco na elaboração, validação, aplicação e análise do questionário destinado a empresas do setor metal-mecânico brasileiro. A metodologia foi estruturada de modo a possibilitar a identificação das práticas de gerenciamento de ferramentas de corte adotadas pelas empresas.

3.1. QUESTIONÁRIO

A utilização de questionário como instrumento de coleta de dados justifica-se pela necessidade de compreender como o gerenciamento de ferramentas de corte é aplicado na prática em diferentes empresas do setor de manufatura, especialmente em ferramentarias e empresas ligadas à engenharia automotiva. Esse método permite alcançar um número maior de respondentes, possibilitando a identificação de padrões, práticas recorrentes e dificuldades comuns enfrentadas pelas empresas.

Souza (2011) destaca que o uso de questionários em pesquisas relacionadas ao gerenciamento de ferramentas é uma abordagem eficaz para avaliar o nível de maturidade das empresas, bem como o grau de adoção de sistemas e práticas de controle. Além disso, o questionário possibilita a coleta de informações diretamente de profissionais envolvidos com o processo produtivo, como operadores, programadores, técnicos e engenheiros, conferindo maior aderência dos dados à realidade industrial.

3.1.1. Público-alvo da pesquisa

O público-alvo deste estudo é composto por profissionais atuantes em empresas do setor metalúrgico. Os respondentes esperados incluem operadores de máquinas-ferramentas CNC, programadores CAM, engenheiros de processo, funcionários de armazém/estoque, engenheiros de produção e proprietários de empresas.

Este público-alvo foi escolhido porque esses especialistas estão diretamente envolvidos na aplicação, controle e gerenciamento de ferramentas de corte e

possuem conhecimento prático dos desafios e oportunidades de melhoria relacionados ao tema deste estudo.

3.1.2. Estrutura do questionário

O questionário foi estruturado na plataforma *Google Forms*, a fim de obter informações objetivas e acelerar o processo de compilação das respostas. Todas as perguntas estão listadas no Apêndice A. O questionário foi composto por um total de 29 perguntas, combinando perguntas fechadas e abertas. Sua organização foi dividida em 5 blocos temáticos, visando facilitar o entendimento por parte dos respondentes e a posterior análise dos dados. Os blocos do questionário estão demonstrados na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma dos blocos do questionário



Fonte: Autor (2026).

1. Identificação do respondente, incluindo nome, cargo e tempo de experiência. Caracterização da empresa, considerando porte, segmento de atuação e número de funcionários;
2. Compreensão e aplicação da empresa pelo gerenciamento de ferramentas de corte e o tipo de sistema de gerenciamento utilizado (manual, *software* ou armário automatizado);
3. Se a resposta no bloco 2 for que “a empresa não possui gerenciamento” ou que “é feito manualmente”, o bloco 3 é sobre a satisfação com o gerenciamento existente e a motivação de não ter um sistema para isso, depois o respondente segue para o bloco 5;
4. Se a resposta no bloco 2 for que a empresa possui *software* de gerenciamento ou armário automatizado, o bloco 3 é pulado e o bloco 4 é sobre as tecnologias empregadas, satisfação pelo produto implantado e pontos positivos que ele trouxe para a empresa;

5. Práticas adotadas para o controle da vida das ferramentas de corte, critérios de troca, principais dificuldades e benefícios percebidos e oportunidades de melhoria no gerenciamento de ferramentas.

Essa estrutura permite avaliar tanto o nível de conhecimento teórico quanto as práticas efetivamente aplicadas nas empresas, além de identificar tendências e lacunas na gestão de ferramentas de corte.

3.1.3. Escalas utilizadas

O questionário combinou diferentes formatos de resposta, incluindo questões de múltipla escolha com seleção única, seleção múltipla, perguntas abertas e algumas perguntas opcionais.

Foram utilizadas escalas ordinais do tipo *Likert* de quatro níveis, sem opção intermediária, (“Nem um pouco”, “Levemente”, “Parcialmente” e “Completamente”), visando estimular o posicionamento do respondente quanto às práticas de gerenciamento adotadas na empresa e reduzir respostas excessivamente neutras.

Também foram aplicadas questões condicionais, como já explicado brevemente nos blocos temáticos, permitindo direcionar o fluxo do formulário conforme o tipo de gerenciamento utilizado na organização, reduzindo respostas irrelevantes e aumentando a consistência dos dados obtidos.

3.1.4. Validação

Antes de sua aplicação em larga escala, o questionário passou por um processo de validação de conteúdo e adequação técnica. Inicialmente, o instrumento foi revisado pelo orientador do trabalho, docente e pesquisador da área de usinagem e manufatura da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – Campus Joinville, com o objetivo de verificar coerência metodológica, clareza das questões e alinhamento acadêmico com os objetivos da pesquisa.

Além da avaliação acadêmica, o formulário foi analisado por especialistas do setor industrial, incluindo sócios de uma empresa especializada em armários automatizados e sistemas de gerenciamento de ferramentas, possibilitando a verificação da aderência técnica das perguntas à realidade industrial.

Esse processo contribuiu para o refinamento da redação, da sequência lógica das perguntas e da relevância prática dos tópicos abordados, aumentando a consistência do instrumento antes de sua distribuição aos respondentes.

3.1.5. Distribuição

O questionário foi divulgado digitalmente por meio de e-mail e mensagem via WhatsApp, sendo encaminhado a empresas do setor metal-mecânico localizadas em diferentes regiões do Brasil. A seleção dos contatos ocorreu por meio de contatos profissionais, redes de relacionamento industrial, grupos técnicos e comunicação direta com ferramentarias e empresas de manufatura.

O uso de um formulário *online* permitiu ampliar o alcance geográfico da pesquisa, reduzir custos operacionais e facilitar o acesso dos participantes ao instrumento de coleta. Foram enviados e-mails para 487 empresas relacionadas ao ramo de manufatura.

No envio por e-mail, foram elaboradas mensagens com uma estrutura objetiva e linguagem clara. Essa abordagem se baseou na ideia de que mensagens longas ou pouco diretas tendem a diminuir o engajamento do destinatário. Assim, foram usados títulos que incluíam informações sobre o tema, a natureza nacional da pesquisa e a estimativa de tempo de resposta, com o objetivo de despertar interesse e incentivar a abertura das mensagens. O corpo dos e-mails foi estruturado com o link para o formulário, seguido de uma breve explicação sobre os objetivos do TCC, a garantia de confidencialidade das respostas e a informação de que o tempo médio de preenchimento é inferior a cinco minutos.

Além disso, a distribuição dos e-mails foi feita de forma escalonada, em grupos menores de destinatários, em vez de um único envio em massa. Essa estratégia teve o objetivo de diminuir a chance de as mensagens serem marcadas como spam pelos provedores de e-mail e permitiu monitorar a taxa de resposta, fazendo ajustes na comunicação durante a coleta.

Para o envio, optou-se por dias úteis e horários comerciais, principalmente no começo e no meio do dia. Isso devido ao fato de as empresas e profissionais costumarem ter mais disponibilidade para ler comunicações nessas horas. Foram evitados horários que normalmente apresentam baixa taxa de abertura, como fins de semana, noites e as sextas-feiras no final do expediente. E-mails "*follow-ups*"

também foram enviados, respeitando intervalos entre as mensagens. Essa estratégia levou em conta a possibilidade de que o destinatário não tivesse visto a primeira mensagem ou estivesse indisponível, buscando aumentar a representatividade da amostra sem parecer insistente ou prejudicar a experiência do respondente.

3.1.6. Tamanho amostral esperado

Considerando o caráter exploratório da pesquisa e a utilização de amostragem não probabilística por conveniência, não foi estabelecida uma meta rígida de respostas. O objetivo do questionário consistiu na obtenção de um conjunto amostral suficientemente diversificado para permitir a identificação de tendências e práticas recorrentes associadas ao gerenciamento de ferramentas de corte em empresas de diferentes portes e segmentos do setor metal-mecânico.

3.1.7. Critério de inclusão e exclusão

Para a distribuição do questionário, foi realizado um levantamento prévio de empresas potencialmente aderentes ao escopo do estudo, totalizando 487 organizações localizadas em diferentes regiões do Brasil. Com o objetivo de ampliar a probabilidade de recebimento e resposta ao formulário, foram utilizados, quando disponíveis, múltiplos contatos eletrônicos pertencentes à mesma empresa, resultando em aproximadamente 600 e-mails enviados.

Durante o processo de distribuição, verificou-se que parte dos contatos eletrônicos se encontrava desatualizada, inativa ou indisponível, impossibilitando o recebimento efetivo do questionário por algumas empresas. Dessa forma, após a exclusão dos contatos considerados inválidos e das organizações sem canais efetivos de comunicação, definiu-se um espaço amostral efetivo de 444 empresas aptas ao recebimento do instrumento de pesquisa, valor utilizado como referência para análise da taxa de retorno do questionário.

3.1.8. Tratamento dos dados

Os dados coletados foram organizados e tratados por meio de estatística descritiva, utilizando frequências absolutas, frequências relativas e representações gráficas para facilitar a interpretação dos resultados. Questões de seleção múltipla foram analisadas considerando a incidência de cada alternativa, enquanto perguntas abertas foram avaliadas qualitativamente por agrupamento temático, buscando identificar padrões de dificuldades, oportunidades de melhoria e tendências percebidas pelos participantes.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os dados obtidos a partir da aplicação do questionário desenvolvido. Os resultados são apresentados de forma descritiva, com apoio de gráficos gerados a partir das respostas obtidas.

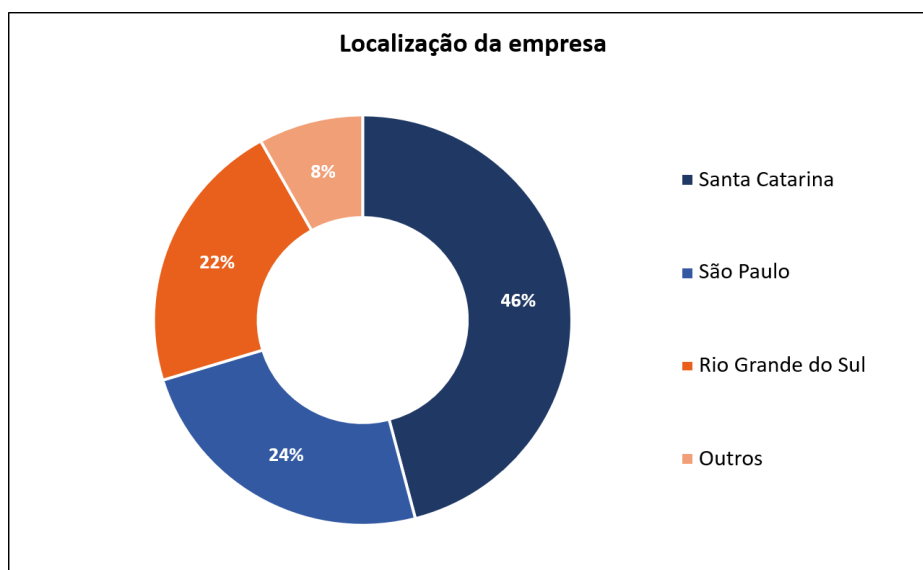
4.1. RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO

A apresentação dos resultados foi organizada de modo a facilitar a compreensão do cenário identificado nas empresas pesquisadas. Foram obtidas 37 respostas válidas, que foram analisadas segundo as características gerais dos respondentes e das empresas.

4.1.1. Caracterização da amostra

Esta seção apresenta os respondentes participantes da pesquisa. Essencial para compreender como a amostra se compara ao objetivo do trabalho. A Figura 4 apresenta a distribuição dos respondentes nos estados brasileiros.

Figura 4 – Localização da empresa

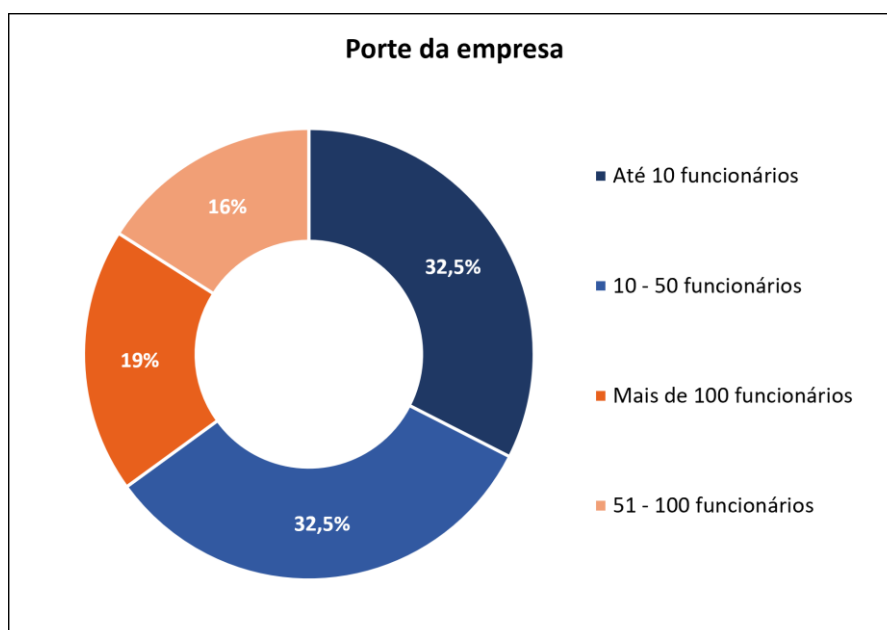


Fonte: Autor (2026).

Pode-se observar uma maior concentração de respostas na região Sul do Brasil, especialmente nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Esse resultado pode estar relacionado à proximidade da pesquisa com o contexto regional da universidade, bem como da localização de cidades importantes para o setor metal-mecânico como Joinville e Brusque em Santa Catarina e Caxias do Sul no Rio Grande do Sul. Ainda assim, houve respostas significativas da região sudeste com destaque a participação de empresas de São Paulo contribuiu para ampliar a abrangência da amostra, considerando a relevância desse estado para a indústria brasileira, a citar às cidades de São José dos Campos e a capital São Paulo, bem como a região metropolitana. Em “Outros”, destacam-se os estados da região nordeste, Bahia e Pernambuco, além de incluir o estado do Paraná da região Sul.

Adiante, a Figura 5 apresenta o gráfico pertinente às respostas quanto ao porte das empresas participantes da pesquisa. Observa-se uma distribuição concentrada em organizações de pequeno e médio porte. As empresas com até 10 funcionários representaram 32,5% das respostas (equivalente a 12 respostas), aquelas com 10 a 50 funcionários corresponderam também a 32,5% das respostas (12 respostas). Também houve participação de empresas maiores, com 6 respostas de organizações entre 51 e 100 funcionários e 7 respostas de empresas com mais de 100 funcionários os quais correspondem a 16,1 e 18,9% das respostas, respectivamente.

Figura 5 – Porte das empresas

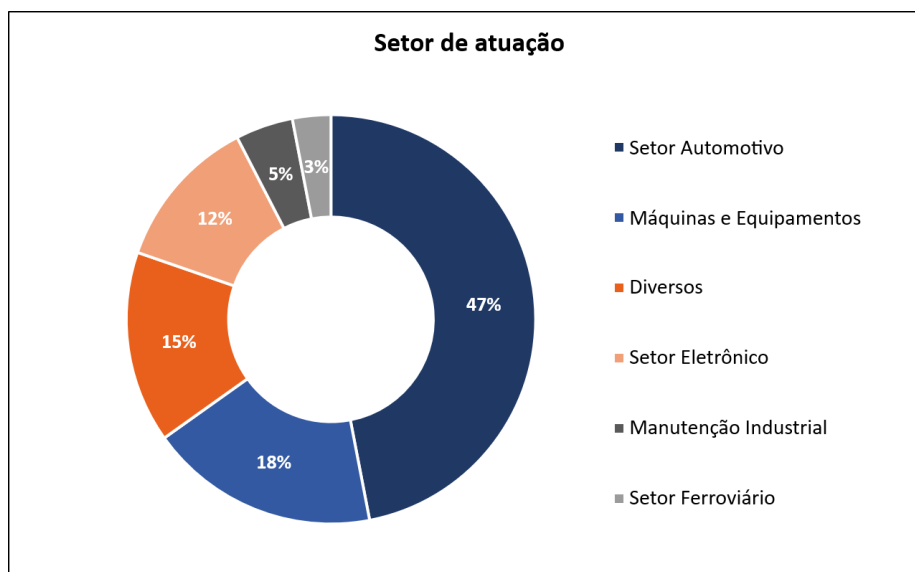


Fonte: Autor (2026).

Essa diversidade de portes permite comparar diferentes níveis de maturidade no gerenciamento de ferramentas de corte. No geral, empresas menores tendem a apresentar estruturas mais simples de controle, enquanto empresas maiores geralmente possuem maior demanda por padronização, rastreabilidade e integração de dados. Dessa forma, o perfil da amostra contribui para identificar variações nas práticas adotadas conforme a complexidade organizacional.

As Figuras 6 e 7 apresentam os principais setores em que estão inseridas as empresas participantes no mercado brasileiro. A forte presença do setor automotivo é coerente com o tema do trabalho, pois esse setor demanda elevada precisão, repetibilidade e controle de processos. Nesse contexto, o gerenciamento de ferramentas de corte torna-se relevante não apenas para a organização do estoque, mas também para a redução de paradas, controle de custos, estabilidade da produção e melhoria da rastreabilidade operacional.

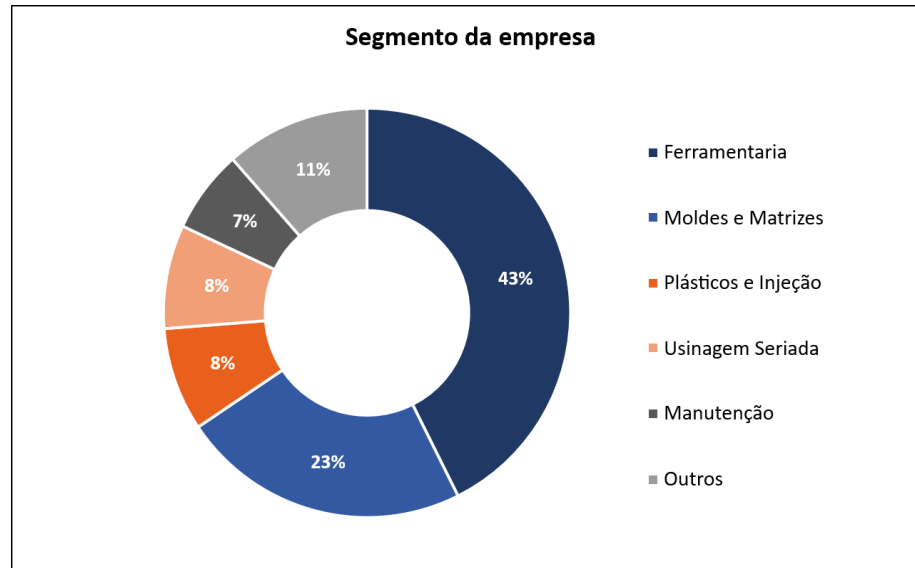
Figura 6 – Setor de atuação



Fonte: Autor (2026).

Como apresentado na Figura 7, foi possível constatar que o segmento mais recorrente entre as empresas participantes foi o de ferramentaria, citado em 26 ocorrências, equivalente a 70% das empresas. Visto que se trata de uma pergunta de múltipla escolha, em comparação, esse número equivale a 43% de todas as respostas. Também se destaca a presença de empresas ligadas a moldes e matrizes, com 14 ocorrências, sendo equivalente a 38% das empresas ou 23% das respostas.

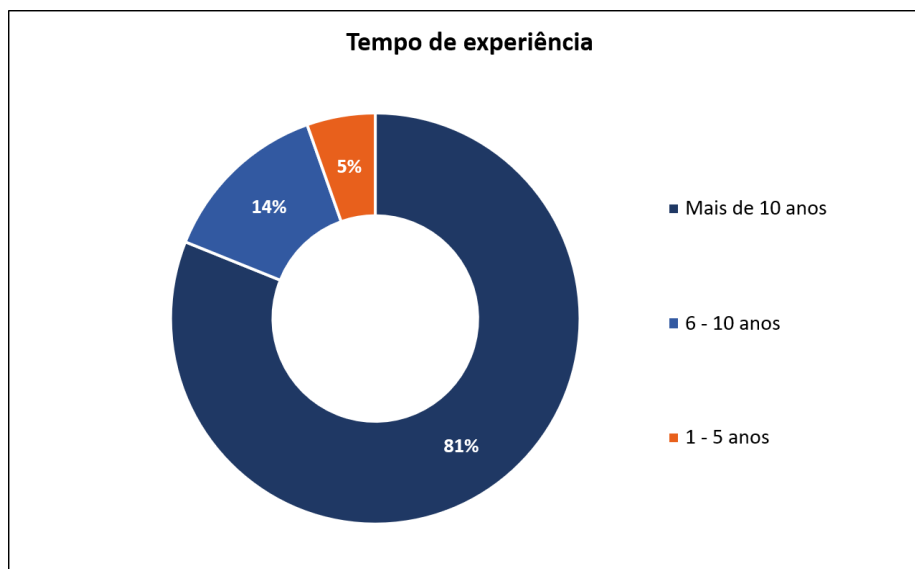
Figura 7 – Segmento característico



Fonte: Autor (2026).

Esse resultado confirma a aderência da amostra ao objetivo da pesquisa, uma vez que ferramentarias, empresas de moldes e setores de usinagem possuem forte dependência de ferramentas de corte, dispositivos, porta-ferramentas e insumos associados. A predominância desses segmentos reforça a pertinência dos dados para o estudo do gerenciamento de ferramentas e para a identificação de gargalos relacionados à rastreabilidade e ao controle da vida da ferramenta de corte. As Figuras 8 e 9 caracterizam os respondentes do questionário em termos de tempo de experiência e cargo exercido.

Figura 8 – Tempo de experiência

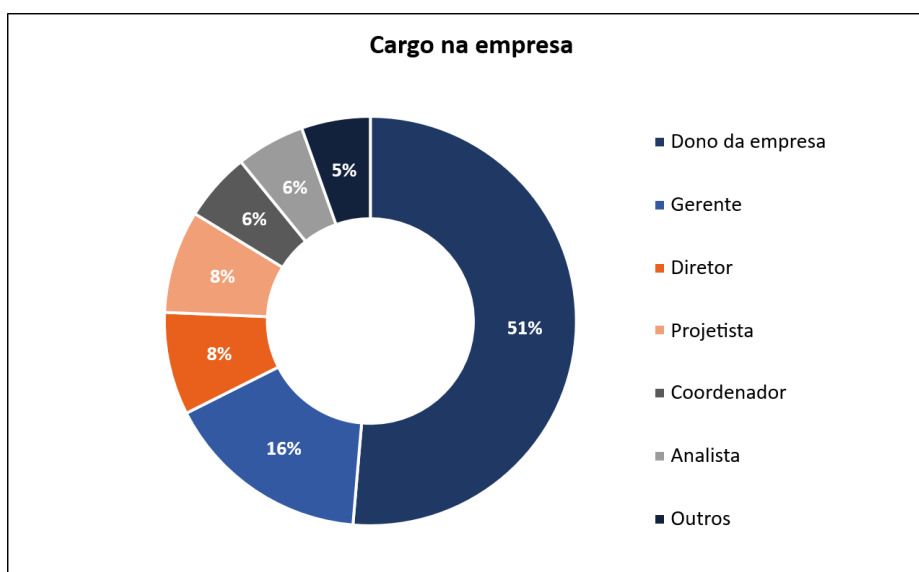


Fonte: Autor (2026).

Como pode ser observado, a maior parcela dos respondentes possui mais de 10 anos de experiência na área, representando 30 das 37 respostas válidas, ou seja, 81%. Esse resultado indica que os dados coletados foram fornecidos por profissionais com vivência consolidada no ambiente industrial, o que contribui para a confiabilidade das percepções obtidas. Assim, as respostas não refletem apenas uma percepção superficial sobre o uso de ferramentas de corte, mas sim uma visão construída a partir da rotina industrial.

Conforme a Figura 9, observa-se predominância de donos de empresa, que representam 51% da amostra, seguidos por gerentes, com 16%. Apesar de comporem parcelas menores entre 5 e 8%, também se destacam diretores, projetistas, coordenador de área, analista e outros. Esse resultado indica que grande parte das respostas foi fornecida por profissionais com posição de decisão ou influência direta sobre processos de gestão, o que contribui para a relevância das informações obtidas no questionário.

Figura 9 – Cargo e função



Fonte: Autor (2026).

4.1.2. Conhecimento e adoção do gerenciamento de ferramentas

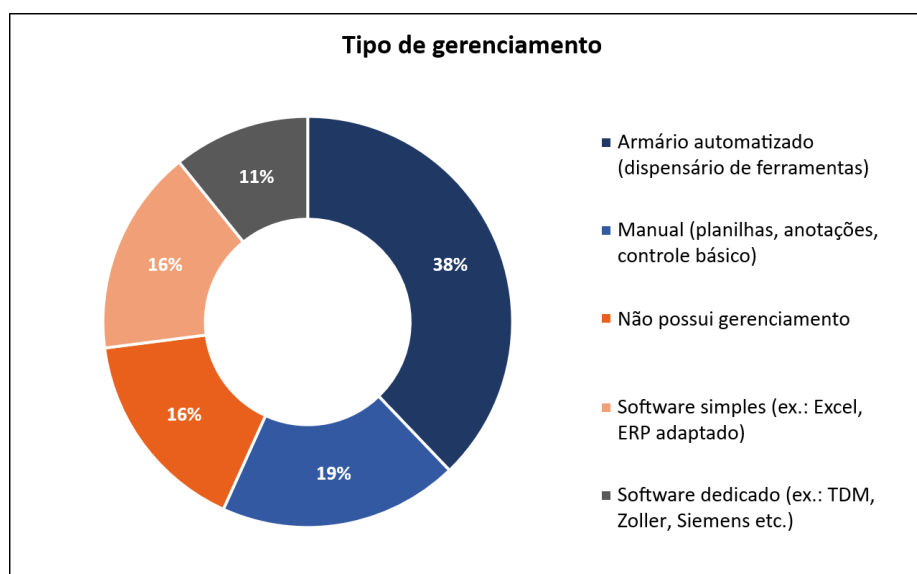
Após a caracterização da amostra, buscou-se identificar o nível de conhecimento dos respondentes sobre gerenciamento de ferramentas de corte e os tipos de sistemas utilizados pelas empresas participantes. Essa análise permite compreender o estágio atual de adoção de práticas de controle, desde métodos

manuals até soluções automatizadas e *softwares* dedicados para este tipo de atividade.

A maioria dos respondentes declarou conhecimento quanto ao gerenciamento de ferramentas de corte com parcela em torno de 89,2%, totalizando 33 respostas positivas entre as 37 respostas válidas. Esse resultado demonstra que o conceito é de conhecimento pela maior parte dos profissionais participantes da pesquisa. Entretanto, o conhecimento do conceito não implica, necessariamente, na aplicação estruturada na empresa. Dessa forma, torna-se necessário analisar também o tipo de gerenciamento efetivamente utilizado, pois a existência de familiaridade com o tema pode coexistir com práticas operacionais ainda manuais, empíricas ou parcialmente estruturadas.

A Figura 10 apresenta os perfis de gerenciamento das empresas participantes da pesquisa. Conforme a Figura 10, pode-se verificar que o tipo de gerenciamento mais citado foi o armário automatizado, presente em 38% das respostas (equivalente a 14 respostas). Em seguida, aparecem o gerenciamento manual que representa 18,9%, correspondendo as 7 respostas obtidas. Adiante, tem se respostas referentes a ausência de gerenciamento com 6 respostas, o uso de *software* simples, também com 6 respostas, e o uso de *software* dedicado, com 4 respostas, os quais correspondem a 16,2%, 16,2% e 10,8% das respostas, respectivamente.

Figura 10 – Tipo de gerenciamento utilizado

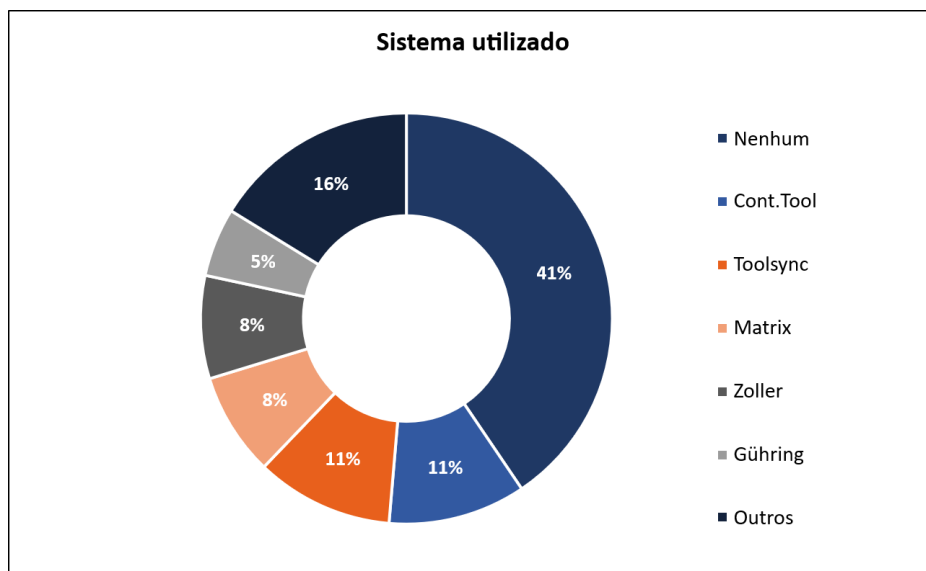


Fonte: Autor (2026).

Esses dados indicam que há grande variação no nível de maturidade das empresas pesquisadas. Embora parte da amostra já utilize soluções automatizadas ou *softwares* dedicados, ainda há uma parcela significativa de empresas que depende de controles manuais, planilhas ou sequer possui um sistema formal de gerenciamento. Isso evidencia que o mercado pesquisado se encontra em diferentes estágios de digitalização e rastreabilidade e justifica a relevância do estudo, pois demonstra que o gerenciamento de ferramentas ainda não é uma prática homogênea entre as empresas participantes.

A Figura 11 mostra os resultados referentes aos modelos e soluções automatizadas adotadas pelas empresas participantes. Entre as empresas que utilizam algum tipo de sistema ou solução dedicada, foram identificadas diferentes marcas e modelos, a citar: Cont.Tool (11%), Matrix (8%), Zoller (8%), Toolsync (11%) e Gühring (11%), além de soluções internas ou sistemas adaptados. Essa diversidade demonstra que o mercado dispõe de diferentes alternativas tecnológicas para o gerenciamento de ferramentas. Cabe ressaltar que 41% não adota nenhum sistema automatizado.

Figura 11 – Sistema utilizado



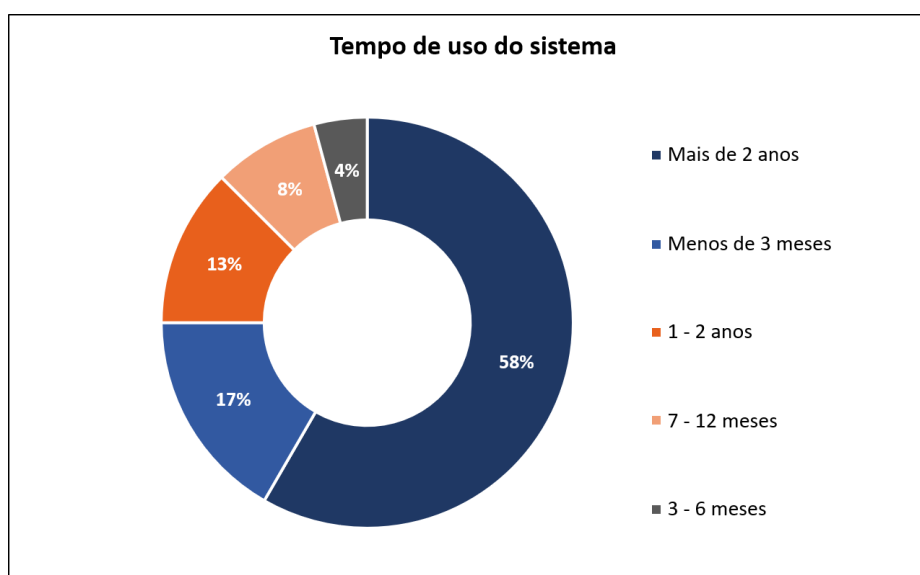
Fonte: Autor (2026).

É importante mencionar que essa variedade de sistemas também indica que não há uma solução única de adoção que seja predominante entre as empresas participantes da pesquisa. Dessa forma, a eficiência do gerenciamento de ferramentas de corte e demais insumos de usinagem não depende apenas da

presença de uma tecnologia específica, mas também da forma como o sistema é integrado aos processos internos e incorporado à rotina dos operadores.

Como elemento fundamental, faz-se necessário analisar o tempo de uso/adoção de soluções automatizadas de gerenciamento de ferramentas de corte. A Figura 12 compara o tempo de uso das soluções dentre as empresas participantes. Entre os respondentes que informaram utilizar algum sistema, em torno de 58% indicou tempo de uso de soluções de gerenciamento de ferramentas de corte e demais insumos sendo superior a 2 anos de adoção. Empresas com adoção no intervalo de 1 a 2 anos correspondem a 13% dos respondentes. Esse resultado sugere que algumas empresas já possuem experiência consolidada e maturidade com soluções de gerenciamento de ferramentas de corte, o que permite avaliar benefícios e limitações a partir de um período razoável de aplicação.

Figura 12 – Tempo de uso do sistema



Fonte: Autor (2026).

Por outro lado, também aparecem respostas associadas a implantações/adoções mais recentes, com menos de três meses ou menos de um ano de uso. Conforme é mostrado no gráfico apresentado na Figura 12, empresas com adoção de soluções de gerenciamento de ferramentas de corte com tempo menor que 3 meses, de 7 a 12 meses e de 3 a 6 meses correspondem a 17%, 8% e 4% dos respondentes. Com bases nesses resultados, revela-se um aspecto importante a destacar visto que sistemas recém-implantados ainda podem estar em

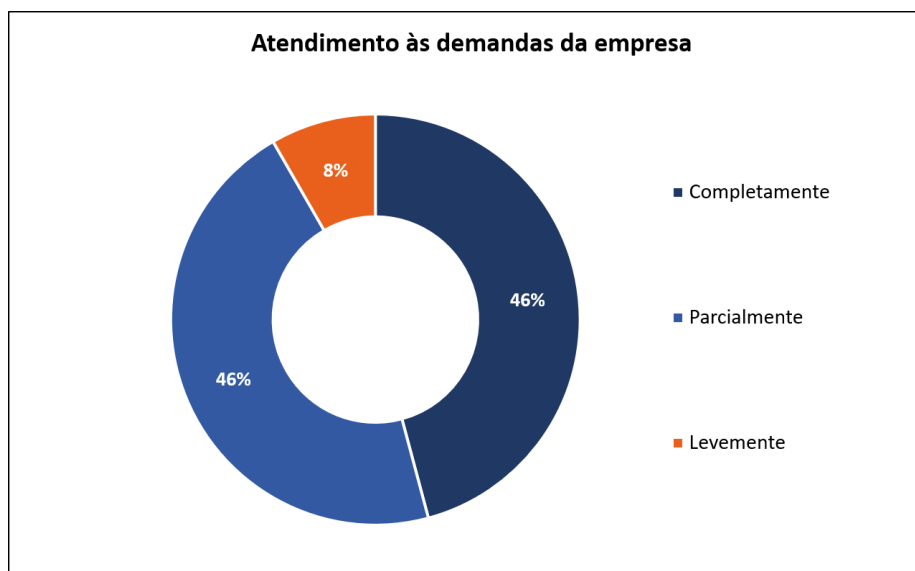
fase de adaptação, treinamento e coleta de dados, o que influencia diretamente a percepção de satisfação e os benefícios observados.

4.1.3. Avaliação dos sistemas utilizados

Para compreender a efetividade das soluções adotadas, analisaram-se a percepção dos respondentes quanto ao atendimento das demandas da empresa, o nível de satisfação com os sistemas de gerenciamento utilizados e os principais benefícios observados após a adoção de soluções de gerenciamento de ferramentas de corte e demais insumos. Dessa forma, elaborou-se um questionamento para compor o formulário de forma que refletisse a efetividade das soluções adotadas.

Conforme supracitado, o resultado desse questionamento é apresentado no gráfico da Figura 13. Entre os respondentes que utilizam sistemas de gerenciamento mais estruturados, observa-se uma predominância de avaliações positivas ou parcialmente positivas quanto ao atendimento das demandas da empresa. As respostas “completamente” e “parcialmente” concentram a maior parte das avaliações válidas.

Figura 13 – Atendimento às demandas da empresa



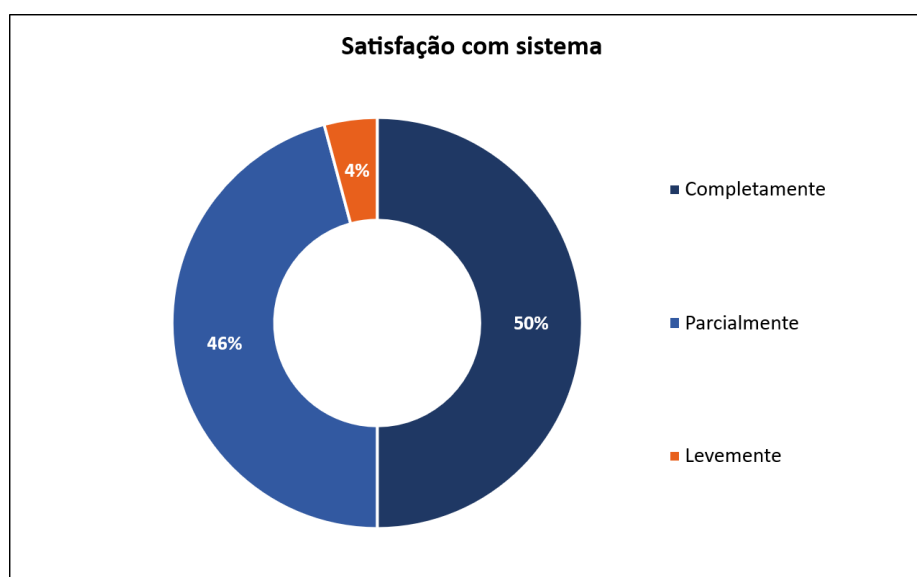
Fonte: Autor (2026).

Esse resultado sugere que os sistemas de gerenciamento contribuem para atender necessidades operacionais, mas nem sempre solucionam integralmente os problemas existentes e recorrentes no setor de manufatura. A presença de

respostas parciais indica que a implantação de um sistema, por si só, não garante plena eficiência, sendo necessário considerar fatores como integração com outros sistemas, treinamento dos usuários, padronização de processos e qualidade dos dados registrados.

Adiante, a Figura 14 apresenta o resultado referente aos dados de satisfação dos respondentes ao sistema de gerenciamento de ferramentas de corte e demais insumos das empresas participantes da pesquisa. A satisfação com os sistemas utilizados apresentou comportamento semelhante ao atendimento das demandas, com concentração nas respostas “completamente” e “parcialmente”, correspondendo 50% e 46%, respectivamente. Isso indica que, de modo geral, os usuários percebem benefícios nas soluções de gerenciamento adotadas, ainda que existam limitações ou oportunidades de melhoria.

Figura 14 – Satisfação com o sistema

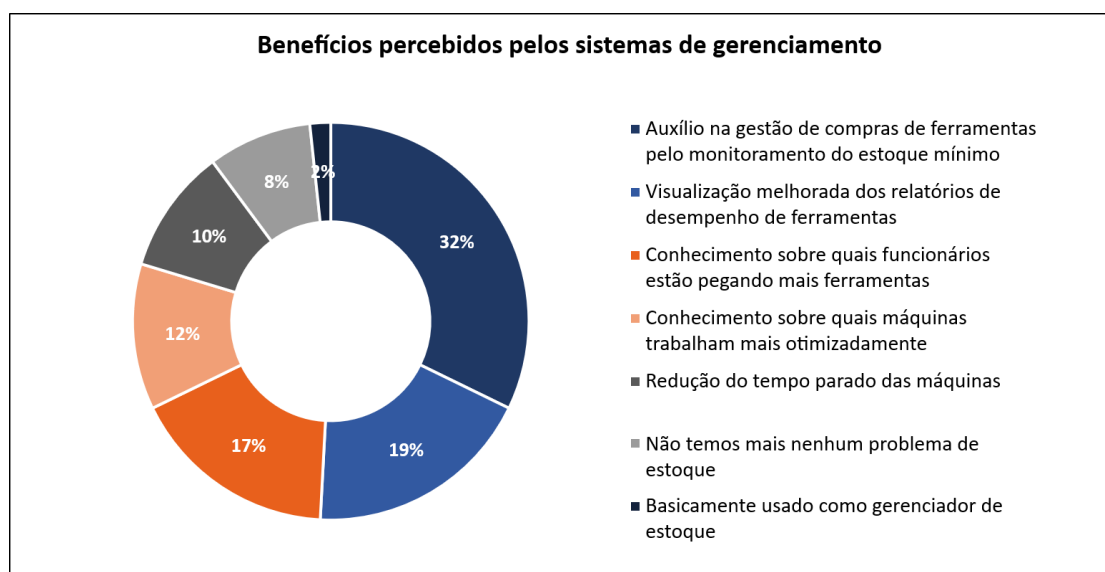


Fonte: Autor (2026).

A presença de satisfação parcial é especialmente relevante para a pesquisa, pois demonstra que o gerenciamento de ferramentas deve ser analisado como um processo contínuo. Enfatiza-se que não basta implantar um sistema; é necessário acompanhar sua utilização, ajustar fluxos, integrar dados e garantir que as informações geradas sejam efetivamente utilizadas para etapas de tomada de decisão. Entretanto, apesar de uma parcela pequena, ainda houve respostas que refletem satisfação baixa (neste caso, “levemente”), revelando um percentual de 4%.

Na Figura 15, pode-se observar a opinião sobre os benefícios que os sistemas mais trouxeram para a empresa. De acordo com os resultados, o benefício mais citado foi o auxílio na gestão de compras de ferramentas de corte por meio do monitoramento do estoque mínimo, com 18 ocorrências como respostas. Também se destacaram a melhoria na visualização de relatórios de desempenho, o controle sobre quais funcionários retiram mais ferramentas de corte e a redução do tempo parado das máquinas-ferramentas.

Figura 15 – Benefícios percebidos pelos sistemas de gerenciamento



Fonte: Autor (2026).

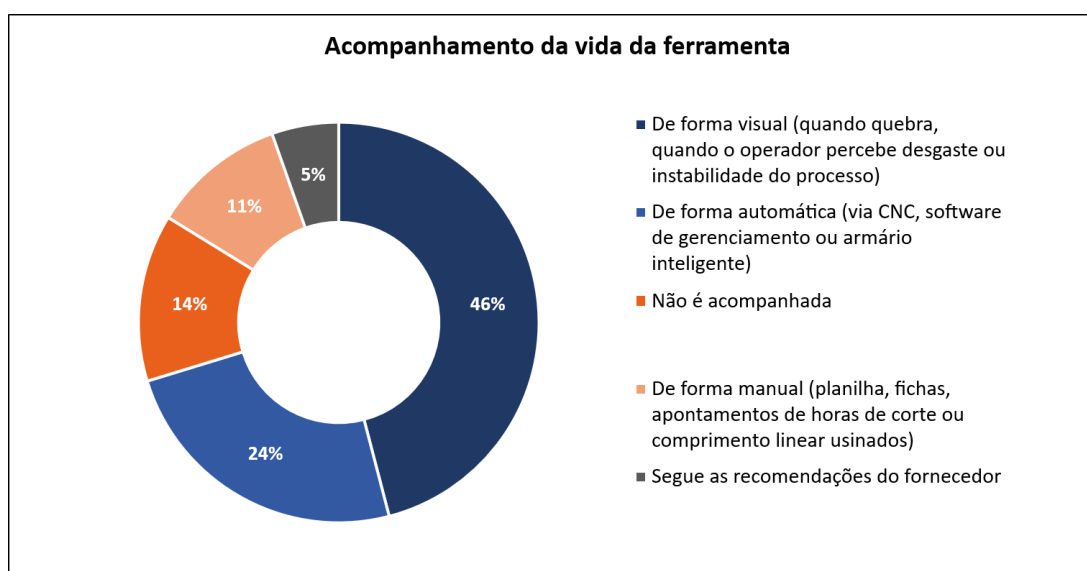
Esses resultados revelam que os sistemas de gerenciamento são percebidos principalmente como ferramentas de controle logístico e apoio à reposição de estoque. Entretanto, os dados também indicam potencial para aplicações mais avançadas e oportunidade de explorar ao máximo a capacidade do sistema de gerenciamento, como análise de desempenho, rastreabilidade por máquina-ferramenta, célula de manufatura e/ou operador, controle de consumo por operador e apoio à tomada de decisão técnica.

Essa análise reforça que o gerenciamento de ferramentas não deve ser entendido apenas como controle de almoxarifado. Quando bem estruturado, ele pode contribuir para compras, produção, manutenção, custos, rastreabilidade e melhoria contínua dos processos de usinagem.

4.1.4. Controle da vida das ferramentas de corte

O controle da vida das ferramentas de corte constitui um dos pontos centrais do gerenciamento de ferramentas, pois influencia diretamente o custo por peça, a previsibilidade do processo, a ocorrência de quebras e a qualidade das operações de usinagem (Klocke, 2011). Dessa forma, a Figura 16 demonstra como as empresas acompanham a vida das ferramentas de corte, bem como quais critérios utilizam para efetuar a troca das mesmas e se há o emprego indicadores de desempenho.

Figura 16 – Acompanhamento da vida das ferramentas de corte



Fonte: Autor (2026).

De acordo com os resultados, o método mais recorrente de acompanhamento da vida das ferramentas de corte foi o controle visual, indicado por 17 respondentes, o que corresponde a 46%. Nesse método de acompanhamento, a substituição da ferramenta de corte ocorre com base na percepção do operador, na observação de desgaste que possa ser visualizado, na ocorrência de quebra/falha ou na instabilidade do processo (excesso de vibração, temperatura e evidência de má qualidade da superfície da peça).

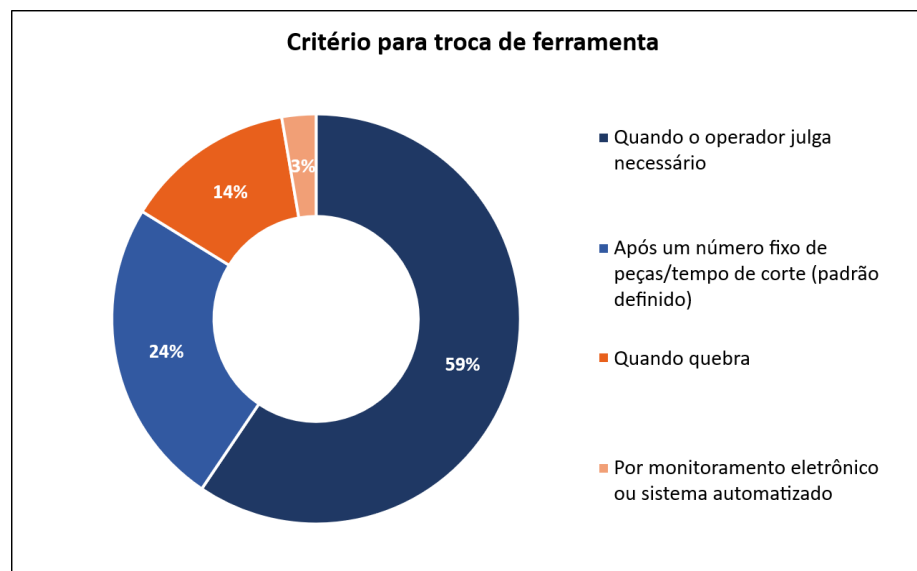
Esse resultado evidencia a forte dependência da experiência individual dos operadores e baixa padronização no controle da vida das ferramentas de corte. Embora a avaliação visual seja comum na prática industrial, sua utilização isolada pode dificultar a geração de histórico, a comparação entre ferramentas de corte e

material de peça de trabalho e a definição de critérios técnicos para troca, recondição ou descarte.

Além do acompanhamento de desgaste das ferramentas de corte, também é importante entender em qual momento deve ocorrer a troca de uma ferramenta de corte em fim de vida (cujo critério deve ser baseado na formação e profundidade de cratera sobre a face de saída (KT), desgaste de flanco médio e máximo (VB_B), convencionalmente de 0,3 mm ou 10% da largura do inserto, bem como a presença de oxidação e adesão de material) para uma nova ferramenta de corte. A Figura 17 apresenta esses dados sobre as empresas respondentes.

Os critérios para a troca de ferramentas de corte indicam que muitas empresas ainda dependem de decisões empíricas, como a avaliação do operador ou a substituição apenas após a quebra/falha catastrófica. Esse comportamento demonstra que, em parte da amostra, a troca de ferramentas ainda ocorre de forma reativa, e não preventiva ou baseada em dados. De acordo com o gráfico apresentado na Figura 17, um percentual de 59% das empresas respondentes adota a troca com base na experiência do operador.

Figura 17 – Critério para troca de ferramentas de corte



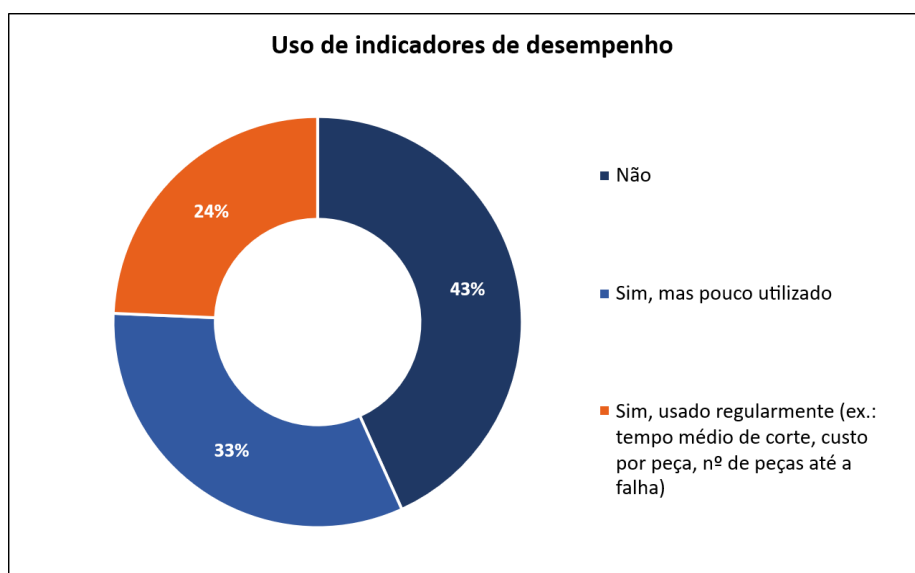
Fonte: Autor (2026).

A adoção de critérios padronizados, como número de peças e tempo de corte (representando 24%) ou monitoramento eletrônico (correspondendo a 3%), tende a aumentar a previsibilidade do processo de usinagem e reduzir quebras inesperadas. Além disso, esses critérios também contribuem para evitar trocas

prematuras, que podem limitar o aproveitamento do potencial da ferramenta de corte e, conseqüentemente, acrescentando ao custo total. Ressalta-se que 14% dos respondentes acusaram que efetuam a troca apenas após a quebra da ferramenta de corte, o que é crítico visto que gera muito refugo e retrabalho, independentemente da etapa de usinagem. Portanto, esse resultado reforça a importância de sistemas capazes de registrar o histórico de uso e apoiar decisões técnicas sobre a vida das ferramentas de corte em consonância com a ISO 3685 (ISO, 1993).

Ainda com relação ao monitoramento dos dados, os indicadores de desempenho permitem transformar o uso das ferramentas de corte em informações mensuráveis para apoiar a gestão do processo. Métricas como tempo médio de corte/usinagem, custo por peça e número de peças produzidas até a falha ajudam a avaliar o desempenho das ferramentas de corte e orientar decisões sobre a troca das mesmas. Dessa forma, a Figura 18 apresenta a distribuição das empresas quanto ao uso de indicadores de desempenho.

Figura 18 – Uso de indicadores de desempenho



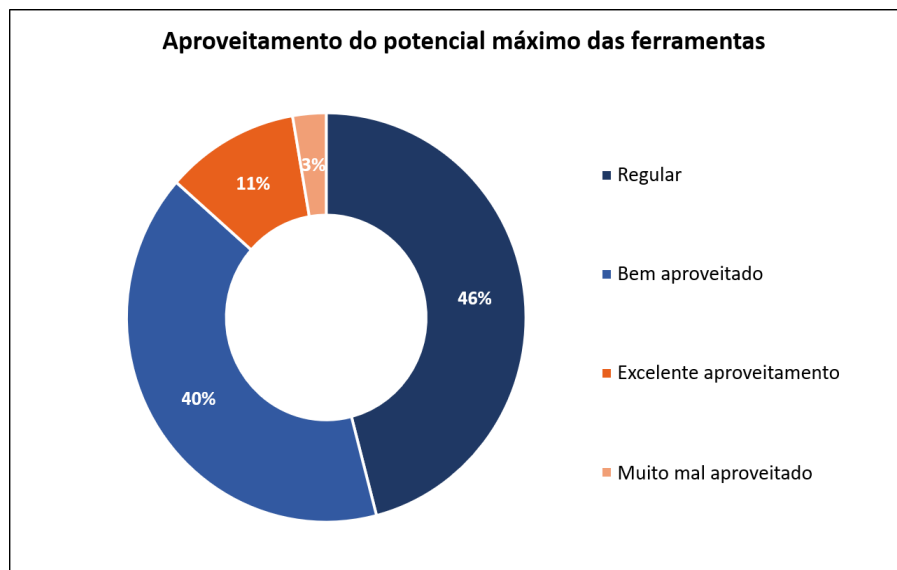
Fonte: Autor (2026).

Em relação ao uso de indicadores de desempenho, 16 respondentes afirmaram que a empresa não utiliza indicadores para medir o rendimento das ferramentas de corte. Esse resultado revela uma lacuna na gestão baseada em dados, indicando um empirismo nas abordagens aplicadas para um setor de alto valor agregado. A baixa utilização de indicadores dificulta a análise da vida real da

ferramenta de corte e da frequência de falhas, uma vez que a ausência de dados tecnológicos não permite correlacionar causa-efeito quanto ao insumo utilizado na usinagem. Como consequência, decisões sobre compra e troca tendem a permanecer dependentes de percepção prática, ao invés de evidências quantitativas.

A Figura 19 apresenta como os respondentes avaliam a utilização das ferramentas de corte no dia a dia das empresas. A percepção sobre o aproveitamento máximo das ferramentas de corte concentrou-se principalmente entre as respostas “regular” e “bem aproveitado”. Foram registradas 16 respostas como “regular”, representando 46%, e 15 como “bem aproveitado”, correspondendo a 40%. Enquanto apenas 4 respondentes indicaram “excelente aproveitamento”. Houve apenas 1 respondente que indicou o mal aproveitamento das ferramentas de corte.

Figura 19 – Aproveitamento do potencial máximo das ferramentas



Fonte: Autor (2026).

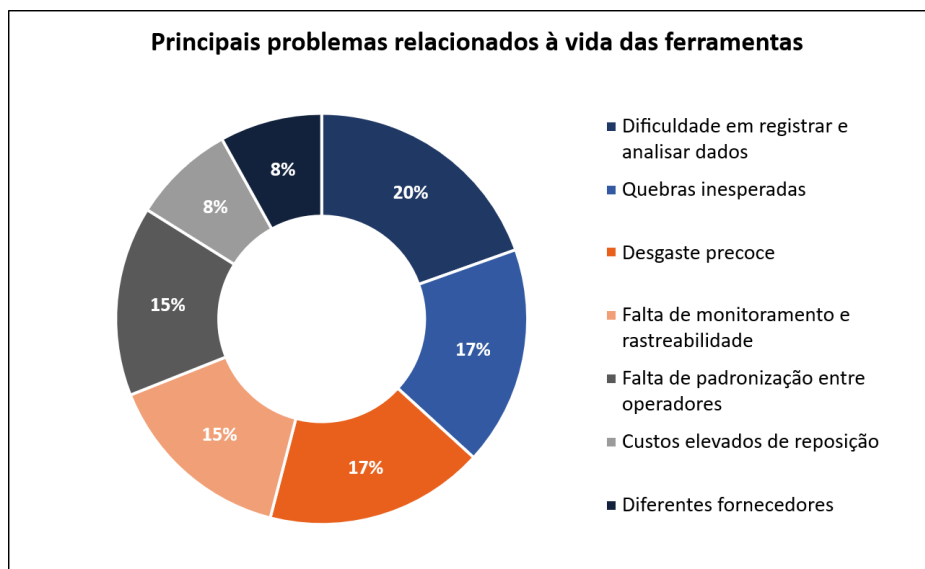
Esse resultado sugere que, embora muitas empresas consigam utilizar suas ferramentas de forma funcional, ainda há margem significativa para melhoria. A baixa ocorrência de respostas indicando aproveitamento excelente reforça a existência de oportunidades relacionadas ao controle da vida, padronização de parâmetros, treinamento, rastreabilidade e uso mais efetivo de indicadores.

4.1.5. Gargalos e problemas identificados

Adicionalmente à abordagem de identificação dos métodos utilizados, o questionário buscou levantar os principais gargalos percebidos pelos profissionais no gerenciamento e na operação das ferramentas de corte. Essa análise permite compreender quais problemas são mais recorrentes e quais aspectos devem ser priorizados em propostas de melhoria no que tange ao gerenciamento de ferramentas de corte e demais insumos de manufatura. As respostas para essa questão estão representadas no gráfico da Figura 20.

O problema mais citado diz respeito a dificuldade em registrar e analisar dados, no qual foram obtidas 17 ocorrências nas respostas, que contabiliza 46% das empresas participantes. Considerando que a pergunta era de múltipla escolha, esse número compreende 20% das respostas totais. Também se destacaram falhas ou quebras inesperadas e desgaste precoce, ambos com 15 ocorrências, correspondendo, cada um, a 41% das empresas ou a 17% das respostas totais. Além disso, foi também identificada a falta de monitoramento e rastreabilidade, e a falta de padronização entre operadores, sendo identificadas 13 ocorrências de respostas para cada item, contabilizando 35% das empresas ou 15% das respostas.

Figura 20 – Principais problemas relacionados à vida das ferramentas



Fonte: Autor (2026).

Esses resultados indicam que os principais gargalos não estão relacionados apenas à ferramenta de corte em si, mas principalmente no que tange à gestão da

informação sobre seu uso. A dificuldade de registrar dados, associada à baixa rastreabilidade e à falta de padronização, compromete a capacidade da empresa de compreender o porquê de uma ferramenta de corte atingir a falha catastrófica/quebra, quando deve ser substituída e como seu desempenho pode ser melhorado para otimizar sua utilização em processo.

Essa informação representa um das mais importantes motivações do questionário, pois conecta diretamente o diagnóstico industrial à necessidade de sistemas de gerenciamento de insumos de usinagem. A implantação de um gerenciador de ferramentas de corte no laboratório universitário pode ser justificada como uma resposta prática aos mesmos desafios identificados no mercado industrial, considerando às magnitudes e demandas particulares ao ambiente de ensino e pesquisa da universidade, a citar: i) registro de dados; ii) padronização, rastreabilidade; e iii) controle de uso.

Já nas perguntas abertas, foram obtidas variadas informações pertinentes aos problemas no gerenciamento/operação de ferramentas de corte. Os principais tópicos abordados foram:

- Pouca integração entre sistemas do tipo ERP, TDM e sistemas independentes;
- Ausência de dados de uso, desempenho e rendimento;
- Falta de treinamento e qualificação de operadores para uso correto do sistema, falha organizacional com a falta de comprometimento dos usuários;
- Falta de padronização operacional entre operadores e processos;
- Controle de desgaste, necessidade de *preset*, medição e monitoramento.

As respostas abertas complementam os dados quantitativos ao evidenciar problemas relacionados à integração entre sistemas, ausência de dados históricos, treinamento de usuários, padronização operacional e controle de desgaste. Alguns respondentes destacaram que possuem sistemas implantados, mas estes são subutilizados ou pouco integrados aos demais recursos da empresa.

Esse resultado demonstra que a implantação tecnológica não elimina automaticamente os problemas de gerenciamento. Para que um sistema gere benefícios consistentes, é necessário que ele esteja integrado ao fluxo operacional,

que os usuários sejam treinados e que os dados coletados sejam utilizados efetivamente na gestão de compras, produção e desempenho das ferramentas.

4.1.6. Recursos desejados para melhoria

Com base nos questionamentos que compuseram o questionário, foram sugeridos pontos de melhoria por parte dos indivíduos, são eles:

- *Software* mais completo;
- Integração entre sistemas;
- Controle do tempo de uso;
- Monitoramento de desgaste;
- Opção de *preset* de ferramentas;
- Mais opções de treinamentos intensivos.

Entre os recursos apontados como desejáveis para melhorar o gerenciamento de insumos de usinagem, destacam-se *softwares* mais completos, integração entre sistemas, controle do tempo de uso da ferramenta, monitoramento de desgaste, *preset* de ferramentas e treinamentos. Esses elementos indicam que as empresas reconhecem a necessidade de evoluir de controles isolados para sistemas mais integrados e orientados por dados.

As respostas também reforçam que a melhoria do gerenciamento depende de uma combinação entre tecnologia, processo e pessoas. Ou seja, além da aquisição de um sistema, é necessário definir fluxos de operação, responsabilidades, critérios de registro e formas de utilização das informações geradas.

4.1.7. Cruzamento de dados

Após a apresentação individual dos principais resultados obtido com o questionário aplicado, foram realizados cruzamentos entre algumas perguntas selecionadas com o objetivo de identificar possíveis relações entre características das empresas e práticas de gerenciamento de ferramentas de corte e insumos de usinagem. Os cruzamentos apresentados a seguir têm caráter exploratório, o

objetivo não é estabelecer relações estatísticas conclusivas, mas sim evidenciar tendências observadas na amostra.

O Quadro 1 apresenta uma relação entre o tipo de gerenciamento utilizado com o porte da empresa. Observa-se que os métodos manuais e a ausência de gerenciamento aparecem com maior frequência entre empresas de menor porte. Entre as empresas com até 10 funcionários, há quatro casos de gerenciamento manual e quatro casos sem gerenciamento formal, indicando que organizações menores ainda tendem a depender de controles simples ou informais. Por outro lado, empresas com maior número de funcionários apresentam menor ocorrência de ausência total de gerenciamento.

Quadro 1 – Tipo de gerenciamento vs Porte da empresa

	Não possui gerenciamento	Manual	Software simples	Software dedicado	Armário automatizado	Total
Até 10 funcionários	4	4	1	0	3	12
10 - 50 funcionários	2	2	2	1	5	12
51 - 100 funcionários	0	1	1	1	3	6
Mais de 100 funcionários	0	0	2	2	3	7
Total	6	7	6	4	14	37

Fonte: Autor (2026).

Essa relação sugere que a complexidade organizacional, o volume de ferramentas de corte e a quantidade de usuários envolvidos podem influenciar a necessidade de sistemas de gerenciamento mais estruturados e vinculado a *software* de ERP e demais. Empresas maiores geralmente possuem maior número de máquinas-ferramentas e equipamentos, operadores, estoques e fluxos de retirada, o que aumenta a importância da rastreabilidade, da padronização e do controle das movimentações. Ainda assim, a presença de armários automatizados também em empresas de menor porte indica que a adoção desse tipo de sistema não depende apenas do tamanho da empresa, mas também do nível de maturidade da gestão.

O Quadro 2 continua a análise apresentando uma relação entre o tipo de gerenciamento utilizado nas empresas e o método de acompanhamento da vida das ferramentas.

O cruzamento entre o tipo de gerenciamento e a forma de acompanhamento da vida das ferramentas de corte permite verificar se a presença de sistemas mais estruturados está associada a práticas mais avançadas de controle. Essa análise é importante uma vez que a simples existência de um armário gerenciador automatizado ou *software* dedicado não garante, necessariamente, o monitoramento efetivo da vida das ferramentas de corte e disponibilidade das mesmas.

Quadro 2 – Tipo de gerenciamento vs Acompanhamento da vida da ferramenta

	Não possui gerenciamento	Manual	Software simples	Software dedicado	Armário automatizado	Total
Não é acompanhada	2	0	0	0	3	5
De forma manual	0	2	1	0	1	4
De forma visual	4	4	4	2	3	17
De forma automática	0	1	1	2	5	9
Segue as recomendações do fornecedor	0	0	0	0	2	2
Total	6	7	6	4	14	37

Fonte: Autor (2026).

Observa-se que o acompanhamento visual do desgaste ainda aparece em diferentes tipos de gerenciamento, inclusive entre empresas que utilizam armários gerenciadores automatizados, *softwares* simples ou *softwares* dedicados. Esse resultado indica que parte das empresas participantes da pesquisa ainda depende da percepção e experiência do operador para identificar o desgaste, a quebra ou a instabilidade no processo de usinagem. Por outro lado, o acompanhamento automático aparece com maior frequência entre empresas que possuem armário gerenciador automatizado, o que sugere maior potencial de integração entre controle físico das ferramentas de corte e registro digital das informações.

Quando empresas com sistemas estruturados ainda utilizam controle visual ou pouco padronizado, evidencia-se uma lacuna entre a tecnologia disponível e sua utilização prática no ambiente industrial. Esse ponto reforça que a eficiência do

gerenciamento depende não apenas da ferramenta tecnológica, mas também da forma como o processo é configurado, alimentado e analisado. Assim, sistemas automatizados podem contribuir para maior rastreabilidade e controle da vida, desde que sejam acompanhados por critérios claros de uso e desempenho, registros consistentes baseados na norma vigente ISO 3685 (ISO, 1993) e análise periódica dos dados gerados com finalidade de alimentar um banco de dados interno ou público.

O Quadro 3 apresenta a relação entre o tipo de gerenciamento utilizado e a avaliação pessoal do respondente quanto ao aproveitamento do potencial das ferramentas de corte utilizadas nas diferentes operações de usinagem.

Quadro 3 – Tipo de gerenciamento vs Aproveitamento das ferramentas

	Não possui gerenciamento	Manual	Software simples	Software dedicado	Armário automatizado	Total
Muito mal aproveitado	0	0	0	0	1	1
Regular	3	2	4	3	5	17
Bem aproveitado	3	3	2	0	7	15
Excelente aproveitamento	0	2	0	1	1	4
Total	6	7	6	4	14	37

Fonte: Autor (2026).

Observa-se que empresas que possuem implantado armários gerenciadores automatizados concentram parte significativa das respostas classificadas como “bem aproveitado”, o que pode indicar uma relação positiva entre sistemas estruturados e melhor controle das ferramentas de corte e demais insumos de usinagem. Entretanto, também há avaliações classificadas como “regular” mesmo entre empresas que utilizam armários gerenciadores automatizados, *softwares* simples ou *softwares* dedicados. Esse resultado mostra que a adoção de tecnologia, isoladamente, não garante o aproveitamento máximo das ferramentas de corte.

Dessa forma, o cruzamento entre os dados reforça que o desempenho do gerenciamento depende não apenas da existência de um sistema implantado, mas também da padronização dos processos, da definição de indicadores, do acompanhamento da vida e do uso contínuo das informações registradas.

De modo geral, os resultados do questionário indicam que o gerenciamento de ferramentas de corte é um tema conhecido pela maioria dos profissionais participantes, porém sua aplicação prática apresenta diferentes níveis de maturidade entre as empresas participantes da pesquisa. Enquanto algumas organizações já utilizam armários gerenciadores automatizados, *softwares* dedicados ou sistemas integrados, outras empresas ainda dependem de controles manuais, planilhas ou não possuem gerenciamento formal.

A análise também demonstrou que o controle da vida das ferramentas de corte permanece como um dos principais desafios da indústria metal-mecânica. A predominância de acompanhamento visual, a ausência de indicadores em parte significativa das empresas e a dificuldade em registrar e analisar dados tecnológicos evidenciam que a rastreabilidade ainda é limitada em muitos contextos industriais.

Os principais gargalos identificados, como a dificuldade de registro e análise de dados, quebras inesperadas, desgaste precoce ou falha catastrófica, falta de monitoramento e ausência de padronização, reforçam a importância de soluções capazes de organizar informações, controlar retiradas, acompanhar o uso das ferramentas e apoiar decisões técnicas e econômicas.

Dessa forma, o diagnóstico obtido por meio do questionário serve como base para o estudo de caso desenvolvido no laboratório universitário. A implantação de um sistema gerenciador automatizado nesse ambiente permite analisar, em escala piloto, desafios semelhantes aos observados no mercado e demonstrar como a estruturação do processo pode contribuir para maior controle, rastreabilidade e organização do fluxo de ferramentas.

5. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso complementa o diagnóstico realizado com as empresas do setor metal-mecânico brasileiro. Enquanto o questionário permite identificar práticas, gargalos e níveis de maturidade no mercado, a implantação do armário gerenciador automatizado no laboratório universitário possibilita observar, em escala piloto, os principais desafios envolvidos na estruturação de um sistema de controle e rastreabilidade de ferramentas de corte.

5.1. CARACTERIZAÇÃO DO LABORATÓRIO

O estudo de caso foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia de Manufatura (LEM), vinculado ao Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina. O LEM atua como o principal ambiente dedicado às atividades de usinagem e demais processos de manufatura com intuito de desenvolver conhecimento fundamental e tecnológico envolvidos nas etapas de fabricação, servindo como espaço voltado à pesquisa, ao desenvolvimento e à inovação em processos de fabricação. Além disso, o LEM busca formar recursos humanos (graduação, mestrado e doutorado) para atuação na área de engenharia de manufatura, bem como contribuir para o estudo e solução de problemas de interesse mútuo da universidade e indústria de transformação metal-mecânica.

Dessa forma, o LEM atende tanto demandas internas da universidade, relacionadas aos projetos de pesquisas, trabalhos acadêmicos e equipes de competição, quanto demandas externas provenientes de empresas e parceiros interessados no desenvolvimento de pesquisas, testes ou soluções aplicadas.

Entre os principais equipamentos disponíveis no laboratório, destaca-se o centro de usinagem CNC ROMI D600, utilizado em atividades de pesquisa, desenvolvimento de processos, fabricação de componentes e apoio aos projetos acadêmicos e industriais. Em função da variedade de operações realizadas, o laboratório possui um conjunto amplo de ferramentas e acessórios, incluindo fresas, brocas, insertos, cones, machos, ferramentas de torneamento e diversos outros itens associados aos processos de usinagem.

Parte significativa desses recursos foi adquirida ao longo do tempo por meio de projetos, parcerias e doações de empresas. Como consequência, o laboratório passou a reunir ferramentas de corte de diferentes geometrias, fornecedores, aplicações e estados de conservação. Isso torna necessária a implementação de uma forma mais estruturada de gestão e organização, identificação e controle desses itens aplicados nas atividades do laboratório.

A equipe de pesquisadores com participação ativa no laboratório até o momento da escrita desse trabalho é composta, em média, por oito pessoas, incluindo um professor-pesquisador responsável, um técnico em mecânica e seis alunos de graduação em Engenharia Aeroespacial (1 aluno), Engenharia Automotiva (3 alunos) e Engenharia Naval (2 alunos). A presença de diferentes usuários, somada à diversidade de ferramentas de corte disponíveis e à variedade de demandas atendidas, reforça a importância de um sistema de gerenciamento capaz de controlar armazenamento, retiradas, devoluções, disponibilidade e histórico de utilização das ferramentas de corte.

Nesse contexto, a implantação de um sistema gerenciador de ferramentas no LEM busca melhorar a organização física e digital dos itens, aumentar a rastreabilidade das movimentações e reduzir a dependência de controles informais. Além disso, o estudo de caso permite analisar, em ambiente universitário, desafios semelhantes aos observados em empresas do setor metal-mecânico, como controle de estoque, padronização do fluxo de uso e disponibilidade de informações para tomada de decisão.

5.2. SITUAÇÃO ANTERIOR À IMPLANTAÇÃO

Antes da implantação do sistema gerenciador de ferramentas de corte, o armazenamento dos itens no Laboratório de Engenharia de Manufatura (LEM) era realizado de forma predominantemente manual, utilizando armários, estantes, gaveteiros e caixas organizadoras. As ferramentas de corte e demais itens utilizados nas operações de usinagem eram separados fisicamente conforme disponibilidade de espaço, tipo de item ou frequência de uso. Porém, essa organização não apresentava integração com um sistema digital de controle de estoque, retirada, devolução ou histórico de utilização, como por exemplo uma planilha digital.

Embora parte das ferramentas de corte estivesse agrupada por categorias, como cones, brocas, insertos, fresas, machos, chaves e acessórios, a organização dependia da manutenção manual feita pelos usuários/operadores do laboratório. Dessa forma, a localização dos itens estava fortemente associada ao conhecimento prático das pessoas que utilizavam o espaço, dificultando a rastreabilidade quando havia troca de usuários, ausência de responsáveis ou alta demanda simultânea por ferramentas de corte para as diferentes operações de usinagem.

Nesse cenário, não havia um controle sistematizado capaz de registrar quem retirava determinada ferramenta de corte, em que momento, para qual finalidade ou se o item retornava ao local correto após o uso. Como consequência, destacam-se problemas como dificuldade de localização, mistura de ferramentas de diferentes aplicações, ausência de histórico de movimentação, armazenamento inadequado e baixa previsibilidade de reposição poderiam ocorrer com maior frequência.

As imagens apresentadas nesta seção registram a condição anterior à implantação do gerenciador e evidenciam a necessidade de um sistema mais estruturado. A análise visual permite identificar pontos críticos relacionados à disposição dos itens, ao agrupamento de ferramentas, à identificação parcial dos espaços e à limitação do controle manual para garantir rastreabilidade e disponibilidade das ferramentas.

Conforme mostrado na Figura 21, observa-se o armário principal utilizado para armazenar parte das ferramentas de corte e acessórios de usinagem do laboratório. Diferentemente de outros espaços, este armário apresenta maior nível de organização física, com a separação de cones, porta-ferramentas, insertos e acessórios em prateleiras específicas, além do uso de etiquetas para identificação de algumas categorias.

A presença de etiquetas e apoios em espuma indica uma tentativa de padronizar a disposição dos itens e facilitar sua localização. Esse arranjo contribui para reduzir danos às ferramentas e melhorar a visualização dos componentes disponíveis, principalmente no caso de cones e porta-ferramentas utilizados no centro de usinagem CNC.

Figura 21 – Armário principal



Fonte: Autor (2026).

Adiante, a Figura 22 mostra uma das prateleiras do armário principal, contendo cabeçotes de fresamento, brocas, insertos, suportes, acessórios, manuais, catálogos e itens auxiliares. A imagem evidencia que as ferramentas de corte e os materiais de apoio eram armazenados próximos uns dos outros, sem separação totalmente definida entre itens técnicos, documentação e materiais diversos. Isso demonstra uma conveniência de utilização devido aos itens serem, potencialmente, dependentes uns dos outros para sua efetiva utilização.

É também possível observar que as ferramentas de corte e acessórios de usinagem organizados em prateleiras com identificação parcial. Estão presentes insertos de metal duro, brocas inteiriças, suportes, porta-ferramentas e cones. Identificou-se que alguns deles estão posicionados em bases de espuma ou agrupados conforme sua aplicação.

Além disso, são identificados cones e porta-ferramentas armazenados no armário principal do laboratório. Esses itens possuem maior valor agregado e são essenciais para a operação do centro de usinagem CNC, pois fazem a interface entre a máquina, o sistema de fixação e a ferramenta de corte. Cabe ressaltar que o alto valor agregado aos itens pode ser vital para exigir métodos mais seguros de armazenamento.

Figura 22 – Estantes do armário principal



Fonte: Autor (2026).

A utilização de apoios e separadores contribui para a conservação desses componentes, reduzindo o contato direto entre superfícies e diminuindo o risco de danos mecânicos. Entretanto, mesmo com uma organização física adequada, o modelo anterior não garantia o registro do histórico de uso, a associação do item a uma operação específica ou a identificação do usuário responsável pela retirada.

Embora alguns componentes estejam agrupados por tipo, a disposição geral ainda apresenta limitações quanto à padronização e à rastreabilidade. Além disso, ferramentas de corte menores, como brocas e insertos, podem ser facilmente

deslocadas, misturadas ou retiradas sem registro, dificultando a conferência posterior do estoque.

A Figura 23 apresenta um gaveteiro utilizado para o armazenamento de ferramentas e acessórios diversos empregados no laboratório. Na imagem apresentada, observa-se a presença de chaves, discos de corte, embalagens de insertos, elementos de fixação, componentes plásticos, ferramentas manuais e outros itens acondicionados no mesmo espaço físico.

Esse cenário demonstra que, embora houvesse um local destinado ao armazenamento, a separação por categoria, aplicação ou frequência de uso não era plenamente padronizada. A disposição dos itens em uma mesma gaveta dificultava a localização rápida de ferramentas específicas e aumentava a possibilidade de extravio, armazenamento inadequado ou devolução em local incorreto.

Figura 23 – Gaveteiro de ferramentas



Fonte: Autor (2026).

Na Figura 24, observa-se um dos armários utilizados para armazenamento de ferramentas de corte, componentes, acessórios e materiais diversos do laboratório. Os itens encontram-se distribuídos em prateleiras, caixas plásticas,

embalagens originais, sacos e pequenos compartimentos, indicando uma organização física baseada principalmente na disponibilidade de espaço.

Apesar da existência de caixas e divisórias, nota-se a presença de materiais de diferentes naturezas armazenados no mesmo local, como ferramentas, acessórios, componentes mecânicos, embalagens, mangueiras, produtos auxiliares e itens de uso geral. Essa condição dificulta a identificação rápida dos materiais e pode aumentar o tempo de busca por ferramentas específicas.

Figura 24 – Armário secundário



Fonte: Autor (2026).

A análise do cenário do anteriormente apresentado demonstra que o laboratório já possuía iniciativas de organização física, como uso de armários, etiquetas, caixas separadoras e apoios para cones e porta-ferramentas. No entanto, essas práticas demonstraram-se predominantemente manuais e dependiam da disciplina dos usuários para manter a ordem dos itens e garantir sua devolução ao local correto.

5.3. IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO AUTOMATIZADO TOOLSYNC®

A principal limitação identificada no ambiente do LEM era a ausência de um sistema integrado de controle e rastreabilidade. Esse diagnóstico justificou a implantação de um sistema gerenciador automatizado para estruturar o armazenamento, registrar movimentações e melhorar a disponibilidade das informações para uso acadêmico, técnico e gerencial.

O sistema gerenciador adotado no Laboratório de Engenharia de Manufatura foi o Toolsync®, uma solução voltada à gestão inteligente de ferramentas de corte e insumos industriais. É desenvolvido pela Âmagon, empresa com atuação em gestão eletrônica de itens críticos e é parceira do LEM. O sistema utiliza armários inteligentes com tecnologia embarcada para automatizar o controle de ativos, reduzir perdas e permitir que usuários autorizados tenham acesso aos itens corretos no momento adequado.

A linha Toolsync® é composta por diferentes modelos de armários e módulos, que podem ser configurados conforme o tipo de operação, o perfil de consumo e o espaço disponível. Entre os modelos apresentados pela empresa estão versões com portas, gavetas e soluções compactas. O *hardware* conta com acesso por biometria, monitor *touchscreen*, leitor de código de barras, gavetas com divisórias e possibilidade de expansão do armazenamento total com adoção de módulos auxiliares.

Além disso, as gavetas possuem compartimentos individuais, denominados *miniboxes*, que permitem separar os itens fisicamente e reduzir o contato entre ferramentas e insumos diferentes. O sistema possibilita a abertura digital apenas do compartimento selecionado pelo usuário, impedindo o acesso simultâneo às demais ferramentas presentes na mesma gaveta.

No contexto do laboratório, a implantação do sistema permite substituir parte do controle manual anteriormente utilizado por um fluxo mais padronizado, no qual as movimentações passam a ser registradas digitalmente. Dessa forma, torna-se possível identificar quais itens foram retirados, por qual usuário, em qual momento e a quantidade. A Figura 25 mostra o armário gerenciador automatizado Toolsync® modelo TS09.

Figura 25 – Modelo TS09



Fonte: Âmagon (2026).

Entre os principais benefícios observados e destacados pelo fabricante em aplicações industriais semelhantes, estão a rastreabilidade total das movimentações, a organização do estoque, a redução do tempo de busca e a otimização do processo de compras por meio do auxílio na tomada de decisões. Esse aspecto é especialmente importante para o laboratório, uma vez que o LEM possui ferramentas de corte provenientes de diferentes origens, como projetos, doações, parcerias e demandas externas.

O equipamento foi instalado no laboratório com o objetivo de apoiar atividades de ensino, pesquisa e desenvolvimento relacionadas ao gerenciamento de ferramentas de corte e rastreabilidade. Essa parceria possibilitou a aplicação prática de um sistema utilizado no ambiente industrial dentro de um laboratório universitário, permitindo avaliar sua implantação e potenciais melhorias em um contexto acadêmico.

Dessa forma, o gerenciador automatizado não foi tratado apenas como um novo local de armazenamento, mas como um elemento estruturante para a reorganização do fluxo de ferramentas no laboratório. Sua utilização permite relacionar o estudo de caso aos problemas de rastreabilidade e controle identificados no questionário aplicado às empresas.

5.4. ETAPAS DE IMPLANTAÇÃO

A implantação não se limitou à instalação do equipamento, mas foi feita conforme as etapas apresentadas no Quadro 4, baseadas em Favaretto (2005).

Quadro 4 – Etapas de implantação

Etapas	Descrição
Etapa 1 - Levantamento dos itens existentes	▪ Listar ferramentas; ▪ Identificar tipos e geometrias; ▪ Verificar estado de conservação.
Etapa 2 - Organização e classificação	▪ Definir categorias; ▪ Agrupar por tipo de ferramenta; ▪ Padronizar nomes.
Etapa 3 - Cadastro no sistema	▪ Inserir nome e código; ▪ Fornecedor; ▪ Estoque mínimo; ▪ Imagem, se houver.
Etapa 4 - Configuração do sistema	▪ Definição das gavetas ou posições; ▪ Vinculação dos itens aos compartimentos; ▪ Permissões de usuários; ▪ Níveis de acesso.
Etapa 5 - Testes	▪ Simular retirada; ▪ Simular devolução; ▪ Verificar baixa de estoque; ▪ Testar reposição; ▪ Conferir relatórios.
Etapa 6 - Treinamento	▪ Orientar alunos, técnicos e professores; ▪ Explicar regras de uso; ▪ Definir responsáveis pelo sistema.

Fonte: Autor (2026).

A separação da implantação em etapas teve como objetivo organizar o processo de transição entre o armazenamento manual das ferramentas e o uso de um sistema gerenciador automatizado. Essa divisão permitiu conduzir a implantação de forma progressiva, iniciando pelo levantamento dos itens existentes, seguido da organização física, classificação, cadastro, configuração do sistema, realização de testes e treinamento dos usuários.

Essa lógica está alinhada à abordagem de Favaretto (2005), que trata o gerenciamento de ferramentas de corte como um conjunto de atividades integradas, envolvendo aquisição, armazenagem, preparação, controle, distribuição, monitoramento e descarte das ferramentas de corte. Dessa forma, buscou-se evitar que o armário fosse utilizado apenas como local de armazenamento, garantindo que sua aplicação estivesse associada à padronização dos dados e à confiabilidade das informações registradas.

5.5. FLUXOGRAMA DO PROCESSO

Com o objetivo de representar o funcionamento operacional do sistema Toolsync®, foi elaborado um fluxograma contemplando os principais caminhos de utilização do armário gerenciador, conforme apresentado nos Apêndices B e C. O fluxo inicia-se com a identificação do usuário por login ou biometria e, em seguida, direciona o processo conforme a operação desejada, como retirada avulsa, retirada por ordem de serviço, devolução, reabastecimento livre ou reabastecimento por ordem de serviço. Dessa forma, torna-se possível acompanhar cada etapa do processo, desde a solicitação da ferramenta até sua retirada, devolução, reabastecimento ou eventual destinação para avaliação, reparo ou descarte.

A representação por fluxograma torna visível o caminho percorrido pelas informações e pelos materiais, auxiliando na identificação de pontos críticos, como etapas redundantes, falhas de comunicação, divergências de estoque, gargalos e possibilidades de retrabalho. Ao exigir a escolha do destino, da categoria, da ferramenta e da quantidade, além da confirmação da retirada ou abastecimento, o sistema contribui para maior controle sobre as movimentações e para a construção de um histórico de uso das ferramentas.

A partir dessa visão mais clara do processo, torna-se possível realizar uma análise crítica da operação e levantar oportunidades de melhoria. Essa abordagem

aproxima a gestão de ferramentas de corte da rotina prática do laboratório, indo além da análise teórica e dos dados coletados no questionário. Além disso, permite observar como os conceitos de padronização, rastreabilidade e digitalização podem ser aplicados em um ambiente real de manufatura.

5.6. SITUAÇÃO POSTERIOR À IMPLANTAÇÃO

Após a implantação do sistema gerenciador automatizado, parte das ferramentas e insumos do LEM foi reorganizada em gavetas e compartimentos específicos do armário Toolsync®. A nova disposição buscou agrupar os itens conforme tipo, dimensão, frequência de uso e necessidade de controle.

5.6.1. Disposição do armário gerenciador automatizado

A organização interna do gerenciador foi dividida em diferentes tipos de gavetas. As três primeiras gavetas foram destinadas ao armazenamento de ferramentas de corte de menor porte, como fresas de diâmetro pequeno, que anteriormente estavam mais suscetíveis à mistura ou perda. Um exemplo de como ficou essas três primeiras gavetas pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 – Disposição da gaveta 1



Fonte: Autor (2026).

As três gavetas seguintes foram organizadas com *miniboxes* de tamanho médio, permitindo o armazenamento de ferramentas com dimensões superiores, como caixas de insertos, fresas maiores, brocas e machos. A organização pode ser exemplificada pelas Figuras 27 e 28.

Figura 27 – Disposição da gaveta 4



Fonte: Autor (2026).

Figura 28 – Disposição da gaveta 5



Fonte: Autor (2026).

Além das gavetas com controle digital individualizado, foram utilizadas três gavetas do tipo matriz, sem controle digital por compartimento. Essas gavetas apresentam maior liberdade de organização interna, permitindo o uso de divisórias ajustáveis conforme a necessidade do laboratório. Elas foram destinadas ao armazenamento de componentes de fixação, limas, brocas grandes e outros itens que não se enquadram adequadamente nas *miniboxes* menores. Como demonstrado na Figura 29.

Figura 29 – Disposição da gaveta 9



Fonte: Autor (2026).

Por fim, foi utilizado o compartimento superior do gerenciador, composto por duas estantes, que são consideravelmente mais altas se comparadas com outras gavetas, com divisórias ajustáveis, para o armazenamento de produtos eletrônicos e itens maiores ou mais altos que não cabem nas gavetas de baixo. Dessa forma, o gerenciador passou a atender não apenas ao armazenamento de ferramentas de corte, mas também ao controle de insumos e componentes valiosos do laboratório, exemplificado pela Figura 30. Neste caso destaca-se rugosímetro portátil, apalpador de rubi para medição de forma, padrões de acabamento, e demais eletroeletrônicos para prototipagem.

Figura 30 – Disposição da estante 1



Fonte: Autor (2026).

5.6.2. Disposição do sistema de gerenciamento automatizado

Além da estrutura física do armário automatizado, o sistema gerenciador automatizado utilizado no laboratório possui uma interface digital acessada por navegador *web*. É a mesma interface disponível no armário físico, mas permite uma consulta centralizada, sem precisar ir até o armário. Por meio desta, é possível acompanhar o estoque cadastrado, verificar categorias de ferramentas de corte e insumos, consultar movimentações realizadas, identificar itens com baixa quantidade e acessar relatórios gerenciais.

Conforme apresentado na Figura 31, foram criadas categorias como fresas, cabeçotes, brocas, alargadores, entre outras. Essa classificação contribui para padronizar o cadastro dos itens e facilitar a retirada rápida quando necessário, pois elas funcionam como um funil da lista completa de ferramentas de corte uma vez que alguém retira uma ferramenta para uma determinada máquina-ferramenta e operação de usinagem.

Figura 31 – Categorias elencadas

Cadastros ▾

Relatórios ▾

Configurações ▾

Brametec

Usuário: Henrique Wolfigramm

Versão: V.1.4.1 de 22/05/2025

Sair

Ferramentas

Incluir Categorias (produtos)

(10)

Procurar por: CodCategoria ▾

Ordenar por: CodCentroCusto ▾

		CodCategoria	Categoria	Ativo
✖		001	Fresas	S
✖		002	Caboçotes	S
✖		003	Brocas	S
✖		004	Alargadores	S
✖		005	Machos	S
✖		006	Conos	S
✖		007	Insertos	S
✖		008	Pinças e Acessórios	S
✖		009	Torneamento	S
✖		010	Ferramentas	S

Fonte: Autor (2026).

Na Figura 32 é apresentada a tela de relatório de estoque do sistema, na qual constam os itens cadastrados, seus respectivos códigos, locais de armazenamento, descrições e quantidades disponíveis. Até o momento, haviam sido cadastrados um total de 81 itens no sistema, incluindo ferramentas de corte, acessórios e insumos utilizados nas atividades do laboratório. Esse relatório permite verificar a disponibilidade dos itens e auxiliar na identificação de ferramentas de corte que necessitam de reposição e/ou compra.

Figura 32 – Estoque cadastrado

TOOL
SYNC

Cadastros ▾

Relatórios ▾

Configurações ▾

Brametec

Usuário: Henrique Wolfigramm

Versão: V.1.4.1 de 22/05/2025

Sair

Filtro

Atualizar

☐ Tipo: (estoque)

Estoque ▾

Módulo: (1)

Porta: (1)

Centro Custos: (1)

Categoria: (1)

Fabricante: (1)

Incluir valores de custo médio? (N) ▾

Não

Procurar por: Produto (qualquer parte) ▾

Ordenar por: Produto ▾

(81) Relatório de Estoque ()

Local	Código	Produto	Qtd
CS1 -		Fresa Topo Esférico_00,1x40	0
CS1 -	E2 00,40-050-0,80	Fresa Topo Esférico_00,2x50	3
CS1 -		Fresa Topo Esférico_00,3x40	5
CS5 -	2F-85C00X10075L	Fresa Topo Esférico_010x75	1
CS5 -	R216,32-12030 HC22P 1630	Fresa Topo Esférico_011x92	1
CS5 -	E2 16,0-100-40,0	Fresa Topo Esférico_016x100	1
CS1 -	E23,0 050 6,0	Fresa Topo Esférico_03	3
CS1 -	R1,5*50 D3 2F HRC55	Fresa Topo Esférico_03x50	1
CS5 -	40210600T038_4C	Fresa Topo Esférico_06x100	1
CS5 -	06-100-10	Fresa Topo Esférico_06x100	1
CS1 -	E2 06,0-050-12,0	Fresa Topo Esférico_06x50	1
CS1 -	R3 6D 50,-2F HRC50	Fresa Topo Esférico_06x50	2
CS1 -	E2 06,0-060-10	Fresa Topo Esférico_06x60	1
CS5 -	E2 06,0-032-12,0	Fresa Topo Esférico_06x60	1
CS1 -	R2 00,70-038-02,40	Fresa Topo Reto_00,7x38	8
CS5 -	4F 100C5075 0001302-1	Fresa Topo Reto_010	3
CS5 -	R4 10,0-075-25,0	Fresa Topo Reto_010x75	1
CS5 -	KMT 14x14x26-42x83 C0,25	Fresa Topo Reto_011x83	1
CS1 -	D4,0*12*50 D4 4F HRC55	Fresa Topo Reto_04	4
CS1 -	D6-20-08F HRC55	Fresa Topo Reto_08	1
CS1 -	R4 06,0-060-70,0	Fresa Topo Reto_08x60	1
CS5 -	HMEN 1501,62	Fresa Toraxial_010x22,184-MG	5
CS3 -	4801,62	Fresa Toraxial_010,325_R2_HM-PG	3

<

página 2 de 4

>

1

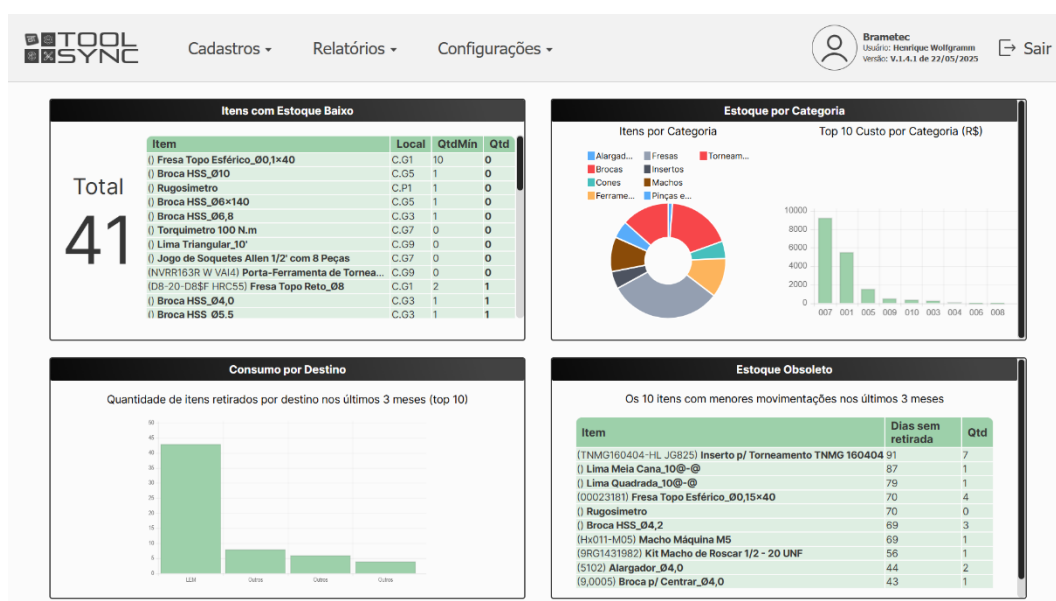
2

3

Fonte: Autor (2026).

Outro recurso relevante é o painel de informações, conforme apresentado na Figura 33. Esse *dashboard* resume dados tecnológicos importantes para o gerenciamento, como itens com estoque baixo, distribuição por categoria, consumo por destino e itens com baixa movimentação. Essas informações são úteis para apoiar decisões sobre reposição, reorganização do estoque e avaliação do uso real das ferramentas de corte e demais insumos de usinagem no laboratório. A presença desse painel representa um avanço em relação ao modelo anterior, no qual a análise dependia de conferência manual e conhecimento prático dos usuários.

Figura 33 – Painel com principais informações

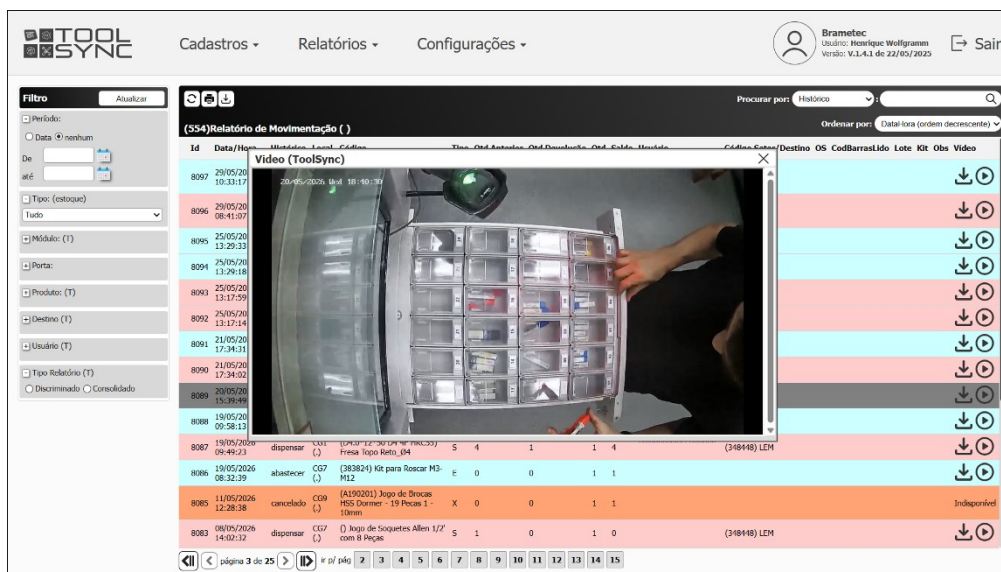


Fonte: Autor (2026).

Outra funcionalidade relevante do sistema é a capacidade de registrar e armazenar informações referentes a cada retirada, devolução ou abastecimento realizado no armário gerenciador. A Figura 34 apresenta um exemplo do relatório de movimentação do sistema. Nessa tela é possível consultar informações como data e horário da movimentação, produto retirado, quantidade movimentada, usuário responsável e destino associado. Além do registro textual das movimentações, o sistema também possui recurso de verificação por câmera, permitindo visualizar a operação realizada no momento da retirada ou abastecimento.

Dessa forma, caso ocorra divergência de estoque, retirada incorreta ou dúvida sobre uma movimentação, é possível consultar o histórico e visualizar o procedimento executado. Esse recurso aumenta a confiabilidade do sistema e reduz a dependência de controles informais ou relatos posteriores dos usuários.

Figura 34 – Câmera e movimentações realizadas no armário



Fonte: Autor (2026).

5.6.3. Comparativo com a situação anterior

Após a implantação do sistema gerenciador, o antigo armário principal de ferramentas também passou por um processo complementar de reorganização física. A Figura 35 apresenta a disposição atual dos itens nesse armário. Observa-se que, após a reorganização, houve redução da quantidade de itens soltos e maior clareza na disposição das ferramentas, quando comparado ao cenário anterior apresentado na Figura 21.

Parte dos porta-ferramentas foi mantida no armário principal por questões de praticidade, uma vez que esses itens possuem maiores dimensões e já estavam posicionados em um local adequado para armazenamento. Além disso, algumas ferramentas de corte e acessórios ainda permanecem nesse armário por estarem em uso ou por aguardarem futura classificação e cadastro no sistema gerenciador.

A proposta é que, gradualmente, os itens compatíveis com o gerenciador sejam transferidos para o armário automatizado. Dessa forma, a organização atual representa uma etapa intermediária do processo de implantação, combinando o uso do sistema gerenciador com a reorganização dos espaços físicos já existentes no laboratório.

Figura 35 – Armário principal depois da implantação



Fonte: Autor (2026).

De modo geral, a nova organização proporcionou maior padronização no armazenamento e ampliação da rastreabilidade das movimentações. A abertura controlada dos compartimentos contribui para reduzir o acesso indevido a itens não solicitados, enquanto o cadastro digital permite associar cada ferramenta a uma posição específica no armário. Assim, o sistema implantado representa uma evolução em relação ao modelo anterior, que dependia principalmente da organização visual e da disciplina dos usuários.

5.7. SUGESTÕES DE MELHORIA

Com base na análise do estudo de caso, observa-se que a implantação do gerenciador automatizado representa um avanço importante para a organização e rastreabilidade das ferramentas de corte do laboratório. No entanto, algumas

melhorias podem ser propostas para ampliar o potencial do sistema e aproximá-lo ainda mais das necessidades identificadas no setor metal-mecânico.

Uma possível melhoria para o sistema seria ampliar o controle da vida das ferramentas de corte cadastradas. O acompanhamento técnico do desgaste ainda depende da avaliação dos usuários. A inclusão de campos específicos para condição da ferramenta de corte, número de utilizações, tempo aproximado de uso, material usinado e motivo de descarte permitiria transformar o gerenciador em uma ferramenta mais completa de apoio à decisão técnica.

Outra melhoria seria a obrigatoriedade de registrar a condição da ferramenta no momento da devolução. Essa etapa permitiria diferenciar ferramentas aptas para novo uso daquelas que necessitam de avaliação, recondicionamento ou descarte. Com isso, o sistema evitaria que ferramentas de corte danificadas/fim de vida retornassem ao estoque como itens disponíveis, aumentando a confiabilidade das informações apresentadas ao usuário.

Recomenda-se também avaliar a integração do sistema com informações de projeto, máquina ou ordem de serviço. Ao associar cada retirada a uma atividade específica, seria possível identificar quais ferramentas são mais utilizadas em determinados projetos, quais itens apresentam maior consumo em operações específicas e quais demandas geram maior necessidade de reposição. Essa integração ampliaria a rastreabilidade e permitiria análises mais próximas da realidade industrial.

Outra melhoria relevante está na ampliação dos indicadores disponíveis no *dashboard*. Além das informações de estoque, consumo e itens com baixa movimentação, o sistema poderia apresentar indicadores como ferramentas mais retiradas, itens com maior frequência de quebra/falha, materiais abaixo do estoque mínimo, consumo por projeto, consumo por usuário e taxa de não devolução. Esses dados permitiriam utilizar o gerenciador não apenas como sistema de armazenamento, mas também como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

6. CONCLUSÃO

Esta pesquisa teve como objetivo analisar o gerenciamento de ferramentas de corte no setor metal-mecânico brasileiro, por meio de diagnóstico com empresas do setor e de estudo de caso da implantação de um sistema gerenciador automatizado em laboratório universitário. Esta seção foi subdividida em dois tópicos, considerando os principais temas abordados nesta pesquisa. Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que:

A aplicação do questionário permitiu caracterizar parte do cenário atual do gerenciamento de ferramentas de corte no setor pesquisado.

- i. Foram obtidas 37 respostas válidas, provenientes de profissionais atuantes em empresas do setor metal-mecânico, com predominância a ferramentarias e setor automotivo. Esse perfil contribuiu para que as respostas refletissem percepções associadas à prática industrial e aos desafios reais de rastreabilidade de ferramentas.
- ii. Os resultados indicaram que o conceito de gerenciamento de ferramentas é conhecido pela maioria dos respondentes, uma vez que 33 dos 37 participantes afirmaram saber o que é gerenciamento de ferramentas de corte. Entretanto, esse conhecimento não se traduz em práticas estruturadas em todas as empresas. Foram identificados diferentes níveis de maturidade, com empresas que utilizam armários automatizados, *softwares* dedicados, *softwares* simples, controles manuais e empresas que ainda não possuem gerenciamento formal.
- iii. Entre os tipos de gerenciamento informados, o armário automatizado foi o mais citado, com 14 respostas. Apesar disso, também houve presença significativa de gerenciamento manual, uso de *softwares* simples e ausência de gerenciamento. Esse resultado evidencia que o mercado pesquisado não apresenta uma condição homogênea, pois coexistem empresas com soluções mais avançadas e empresas que ainda dependem de registros manuais, planilhas, organização física ou experiência dos usuários.
- iv. O controle da vida das ferramentas de corte apareceu como um dos pontos mais críticos do diagnóstico. A forma mais recorrente de

acompanhamento foi o controle visual, indicado por 17 respondentes, baseado na percepção do operador. Além disso, 16 respondentes afirmaram que a empresa não utiliza indicadores de desempenho para medir o rendimento das ferramentas, enquanto 11 indicaram que os indicadores existem, mas são pouco utilizados. Esses dados demonstram que a gestão baseada em informações quantitativas ainda é limitada em parte das empresas pesquisadas.

- v. As respostas abertas complementaram os dados quantitativos ao apontar problemas como baixa integração entre sistemas, ausência de dados históricos, falta de treinamento, falhas de comprometimento dos usuários, falta de padronização operacional e necessidade de melhor controle de desgaste. Esses pontos indicam que a melhoria do gerenciamento depende da combinação entre tecnologia, processos bem definidos e participação dos usuários.

O estudo de caso realizado no Laboratório de Engenharia de Manufatura permitiu observar, em ambiente controlado, desafios semelhantes aos identificados no diagnóstico industrial.

- i. A implantação do sistema Toolsync® representou uma mudança importante no fluxo de gerenciamento do laboratório. O sistema foi recebido por meio de parceria com a empresa responsável pela solução e passou a ser utilizado como elemento estruturante para reorganização das ferramentas e insumos. A implantação envolveu levantamento dos itens existentes, separação, classificação, cadastro, configuração do sistema, testes operacionais e orientação dos usuários.
- ii. Após a implantação, parte das ferramentas de corte foi organizada em gavetas e compartimentos específicos do armário automatizado. As gavetas com *miniboxes* permitiram armazenar fresas pequenas, fresas maiores, brocas, insertos e machos de forma mais controlada, com abertura digital apenas do compartimento solicitado. Também foram utilizadas gavetas do tipo matriz para itens com maior variação dimensional, como componentes de fixação, limas e brocas maiores, além do compartimento superior para materiais eletrônicos e itens de maior valor agregado.

- iii. A interface *web* do sistema também contribuiu para ampliar o controle das informações. Foram criadas categorias para facilitar a identificação dos itens, como fresas, cabeçotes, brocas, alargadores, machos, cones, insertos, pinças e acessórios, torneamento e ferramentas. Até o momento da análise, 81 itens haviam sido cadastrados no sistema, permitindo a consulta de códigos, descrições, localização e quantidades disponíveis.

Os resultados indicam que o gerenciamento estruturado de ferramentas de corte contribui para maior organização, padronização, rastreabilidade e controle operacional. No diagnóstico industrial, observou-se que muitas empresas ainda enfrentam dificuldades ligadas ao registro de dados, controle da vida e uso de indicadores. No estudo de caso, verificou-se que a implantação de um sistema automatizado pode auxiliar na redução dessas limitações, desde que acompanhada por cadastro adequado, organização física, definição de responsabilidades e uso contínuo das informações geradas.

Apesar dos resultados obtidos, algumas limitações devem ser consideradas. O questionário foi aplicado por amostragem não probabilística e contou com participação voluntária de profissionais do setor, o que impede generalizações estatísticas para todo o mercado brasileiro. Além disso, as respostas representam a percepção dos participantes, podendo variar conforme cargo, experiência, porte da empresa, segmento de atuação e nível de envolvimento direto com o gerenciamento de ferramentas.

Outra limitação está relacionada ao estágio inicial da implantação no laboratório. Embora o sistema já tenha permitido avanços na organização e rastreabilidade, a implantação ainda se encontra em fase de consolidação. Parte das ferramentas permanece fora do gerenciador por questões de dimensão, frequência de uso, classificação pendente ou adequação ao espaço disponível. Assim, os resultados do estudo de caso representam a etapa inicial de implantação, e não uma avaliação definitiva do desempenho do sistema em longo prazo.

Para trabalhos futuros, recomenda-se ampliar o número de respostas do questionário e aprofundar a análise por porte de empresa, setor de atuação, tipo de sistema utilizado e nível de maturidade do gerenciamento. Também seria relevante complementar o questionário com entrevistas semiestruturadas com profissionais responsáveis por ferramentarias, almoxarifados técnicos, programação CNC e

gestão da produção, permitindo compreender com maior profundidade barreiras de implantação, custos, resistência dos usuários e benefícios percebidos.

No contexto do LEM, sugere-se acompanhar o funcionamento do gerenciador ao longo de um período maior, avaliando indicadores como frequência de retirada, itens mais utilizados, ocorrências de estoque baixo, tempo de localização de ferramentas, perdas, divergências de estoque e necessidade de reposição. Também podem ser estudadas futuras integrações entre o sistema gerenciador, máquinas CNC, *softwares* CAM, sistemas de planejamento ou métodos de identificação como códigos de barras e RFID. Essas possibilidades podem ampliar a rastreabilidade e aproximar ainda mais o ambiente universitário das práticas de digitalização e controle adotadas na indústria.

REFERÊNCIAS

ALTINTAS, Yusuf. **Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations, and CNC design**. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2012.

ÂMAGON. **Toolsync: gestão inteligente para sua indústria**. Toolsync, 2026. Disponível em: <https://toolsync.com.br/>. Acesso em: 2 jun. 2026.

AMORIM, Renan Flôr de. **Desenvolvimento de sistema para gerenciamento de estoque de ferramentas de corte**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

DENKENA, Berend; TÖNSHOFF, Hans Kurt. **Spanen: Grundlagen**. 3. ed. Berlin: Springer-Verlag, 2011.

FAVARETTO, Alexandre Souto. **Estudo do gerenciamento de ferramentas de corte na indústria automotiva de Curitiba e Região Metropolitana**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2005.

IMC GROUP. **CTMS – Integrated Tool Management Solutions**. IMC Group, 2025. Disponível em: <https://www.ctms-imc.com/pt/>. Acesso em: 1 dez. 2025.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 3685:1993: Tool-life testing with single-point turning tools**. Geneva: ISO, 1993.

KLOCKE, Fritz. **Manufacturing processes 1: cutting**. Berlin: Springer, 2011.

MACHADO, Álisson Rocha; *et al.* **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Blucher, 2009.

SANDVIK COROMANT. **CoroPlus® Tool Supply**. Sandvik Coromant, 2025. Disponível em: <https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/tools/digital-machining/coroplus-tool-supply>. Acesso em: 1 dez. 2025.

SOUZA, Eduardo de; BAPTISTA, Elesandro Antonio; VIEIRA JÚNIOR, Milton; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Sistema de gerenciamento de ferramentas: aplicação de um survey em empresas de máquinas e implementos agrícolas no Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 6., 2011, Caxias do Sul. Anais [...]. Caxias do Sul: ABCM, 2011.

SOUZA, Eduardo. **Estudo do nível de utilização de sistema de gerenciamento de ferramentas de corte em empresas de máquinas e implementos agrícolas**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2011.

SVINJAREVIĆ, Goran. **Implementation of cutting tool management system**. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2007.

TÖNSHOFF, Hans Kurt; DENKENA, Berend. **Basics of cutting and abrasive processes**. Berlin: Springer, 2013.

ZONTA JUNIOR, Adir. **Gerenciamento de ferramentas**: estudos de caso em empresas do setor metal-mecânico brasileiro. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

APÊNDICE A – Questionário

Apresentação

- 1.1. E-mail
- 1.2. Nome
- 1.3. Empresa
- 1.4. Cidade / Estado
- 1.5. Segmento característico da empresa
 - i. Ferramentaria
 - ii. Usinagem Seriada
 - iii. Manutenção
 - iv. Moldes e Matrizes
 - v. Plásticos e Injeção
 - vi. Outro:
- 1.6. Setor de atuação da empresa
 - i. Setor Automotivo
 - ii. Setor Eletrônico
 - iii. Manutenção Industrial
 - iv. Máquinas e Equipamentos
 - v. Setor Naval
 - vi. Setor Ferroviário
 - vii. Diversos
- 1.7. Cargo / Função
 - i. Operador de Máquina
 - ii. Projetista
 - iii. Gerente de estoque
 - iv. Gerente de produção
 - v. Dono da empresa
 - vi. Outro:
- 1.8. Tempo de experiência na área
 - i. Até 1 ano
 - ii. 1 - 5 anos
 - iii. 6 - 10 anos
 - iv. Mais de 10 anos

1.9. Número de funcionários da empresa

- i. Até 10 funcionários
- ii. 10 - 50 funcionários
- iii. 51 - 100 funcionários
- iv. Mais de 100 funcionários

1.10. Escolaridade média dos funcionários

- i. Sem Escolaridade
- ii. Ensino Fundamental Incompleto
- iii. Ensino Fundamental Completo
- iv. Ensino Médio Completo
- v. Ensino Superior Completo

Sobre Gerenciamento de Ferramentas

2.1. Você sabe o que é “gerenciamento de ferramentas de corte”?

- i. Sim
- ii. Não

2.2. Na sua empresa, existe algum tipo de gerenciamento de ferramentas? Se sim, qual tipo?

- i. Não possui gerenciamento
- ii. Manual (planilhas, anotações, controle básico)
- iii. *Software* simples (ex.: Excel, ERP adaptado)
- iv. *Software* dedicado (ex.: TDM, Zoller, Siemens etc.)
- v. Armário automatizado (dispensário de ferramentas)

Sobre Gerenciamento de Ferramentas (caso 2.2. seja “i” ou “ii”)

3.1. Atende as demandas da empresa?

- i. Nem um pouco
- ii. Levemente
- iii. Parcialmente
- iv. Completamente

3.2. Quais motivos levaram a optar por esse tipo de gerenciamento?

- i. Poucas ferramentas
- ii. Não tenho problemas de estoque
- iii. Sem dinheiro para buscar a automatização

- iv. Sem tempo para buscar a automatização
- v. Já tive software de gerenciamento, mas não deu certo
- vi. Outro:

3.3. Pontos positivos/negativos percebidos (opcional)

Sobre Gerenciamento de Ferramentas (caso 2.2. seja “iii”, “iv” ou “v”)

4.1. Qual a marca/modelo utilizado?

- i. Gühring
- ii. Cont.Tool
- iii. Log Z Tech
- iv. Zoller
- v. Toolsync
- vi. KCLink
- vii. Spinwiser
- viii. Haimer
- ix. Kromi
- x. Sandvik
- xi. ToolBOSS
- xii. Inobag
- xiii. Matrix
- xiv. Outro:

4.2. Há quanto tempo utilizam o sistema?

- i. Menos de 3 meses
- ii. 3 - 6 meses
- iii. 7 - 12 meses
- iv. 1 - 2 anos
- v. Mais de 2 anos

4.3. Atende as demandas da empresa?

- i. Nem um pouco
- ii. Levemente
- iii. Parcialmente
- iv. Completamente

4.4. Estão satisfeitos com o sistema?

- i. Nem um pouco

- ii. Levemente
- iii. Parcialmente
- iv. Completamente

4.5. O que trouxe de mais positivo para a empresa?

- i. Não temos mais nenhum problema de estoque
- ii. Visualização melhorada dos relatórios de desempenho de ferramentas
- iii. Conhecimento sobre quais funcionários estão pegando mais ferramentas
- iv. Conhecimento sobre quais máquinas trabalham mais otimizada
- v. Redução do tempo parado das máquinas
- vi. Auxílio na gestão de compras de ferramentas pelo monitoramento do estoque mínimo
- vii. Outro:

4.6. A empresa utiliza algum software de ERP?

- i. Sim
- ii. Não

4.7. Se sim, qual software ERP utilizam? (Se não, apenas escreva "Não")

Vida da ferramenta

5.1. A vida das ferramentas é acompanhada na sua empresa?

- i. Não é acompanhada
- ii. De forma visual (quando quebra, quando o operador percebe desgaste ou instabilidade do processo)
- iii. De forma manual (planilha, fichas, apontamentos de horas de corte ou comprimento linear usinados)
- iv. De forma automática (via CNC, software de gerenciamento ou armário inteligente)
- v. Segue as recomendações do fornecedor

5.2. Como normalmente é feita a troca de ferramentas?

- i. Quando quebra
- ii. Quando o operador julga necessário
- iii. Após um número fixo de peças/tempo de corte (padrão definido)
- iv. Por monitoramento eletrônico ou sistema automatizado

5.3. Na sua percepção, qual é o maior problema hoje relacionado à vida das ferramentas?

- i. Quebras inesperadas
- ii. Desgaste precoce
- iii. Falta de padronização entre operadores
- iv. Dificuldade em registrar e analisar dados
- v. Custos elevados de reposição
- vi. Diferentes fornecedores
- vii. Falta de monitoramento e rastreabilidade
- viii. Outro:

5.4. Existe algum indicador de desempenho usado para medir o rendimento da ferramenta de corte?

- i. Não
- ii. Sim, mas pouco utilizado
- iii. Sim, usado regularmente (ex.: tempo médio de corte, custo por peça, nº de peças até a falha)

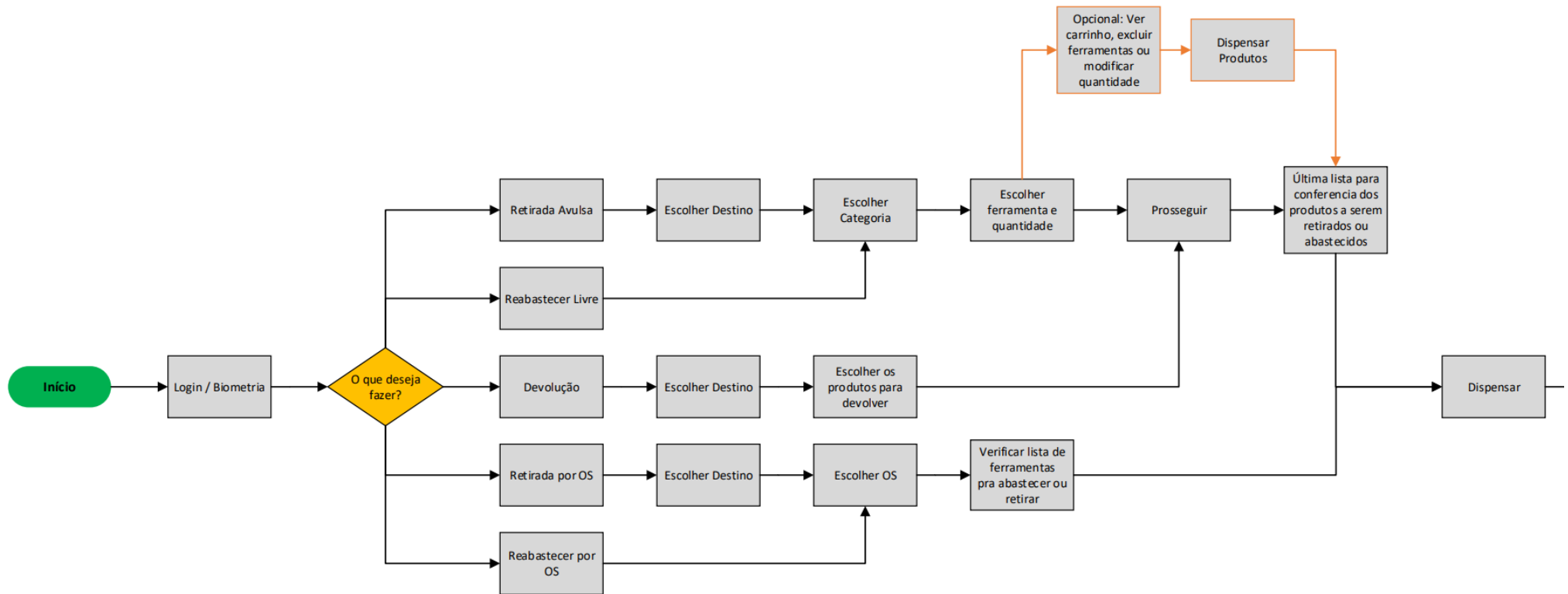
5.5. O quanto você considera que sua empresa aproveita o potencial máximo das ferramentas?

- i. Muito mal aproveitado
- ii. Regular
- iii. Bem aproveitado
- iv. Excelente aproveitamento

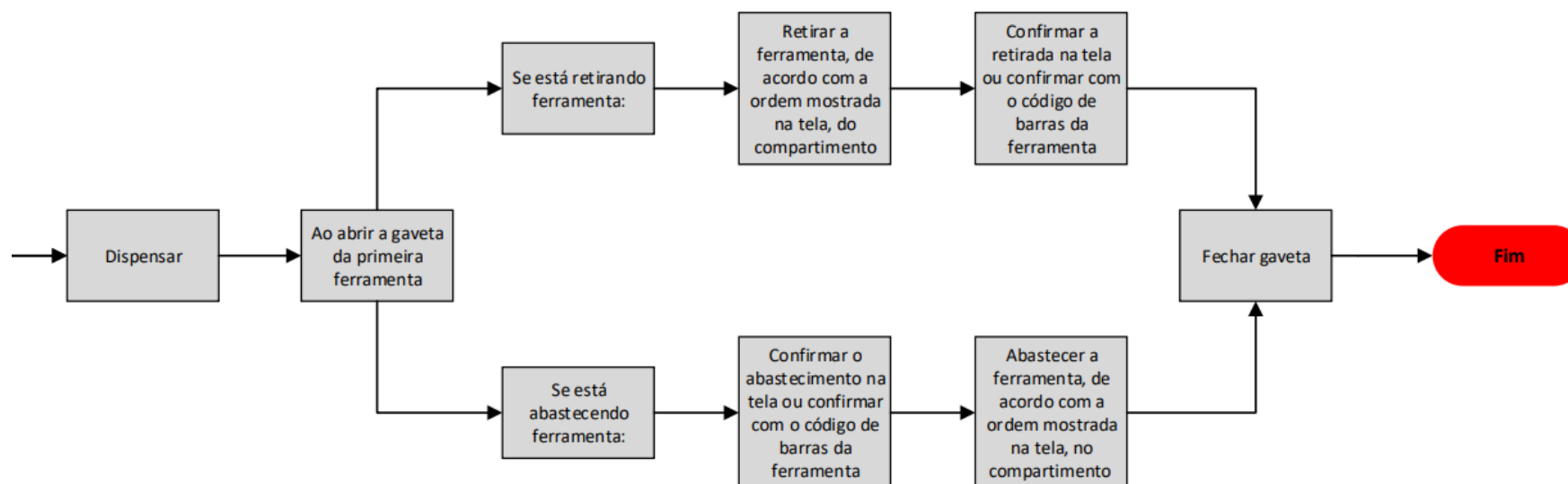
5.6. Quais os principais problemas no gerenciamento/operação hoje? (opcional)

5.7. Quais recursos você acha que deveriam existir para melhorar o gerenciamento de ferramentas na sua empresa? (opcional)

APÊNDICE B – Fluxograma de retirada/devolução de ferramentas no Toolsync® (Parte 1)



Fonte: Autor (2026).

APÊNDICE C – Fluxograma de retirada/devolução de ferramentas no Toolsync® (Parte 2)

Fonte: Autor (2026).