ConBRepro
XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
EVENTO ON-LINE
02 a 04 de dezembro de 2026
Inovação e Transformação Digital como Estratégia Competitiva nas Engenharias

BRAIAN como plataforma sociotécnica para apoio à decisão com inteligência artificial generativa na manufatura

Maurício Cavalli
PPGEPS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)
Maria Isabel Wolf Motta Morandi
PPGEPS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)
Gabriel Motta Luft
PPGEPS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)
Fabio Antonio Sartori Piran
PPGEPS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)

Resumo: A fragmentação do fluxo de informações entre planejamento da qualidade e execução operacional dificulta o acesso a conteúdo técnico contextualizado no ambiente industrial. Este artigo analisa como uma plataforma de inteligência artificial generativa pode apoiar esse fluxo sem substituir o julgamento profissional. A pesquisa, aplicada e de abordagem mista, adotou pesquisa-ação em uma empresa metalmecânica e foi conduzida em dois ciclos entre 2024 e 2026. A intervenção, denominada BRAIAN, combinou modelos de linguagem, Geração Aumentada por Recuperação, processamento local, representação do conhecimento, ferramentas determinísticas, integração com sistemas corporativos e validação humana. No primeiro ciclo, cinco provas de conceito evidenciaram potencial de recuperação de documentos e imagens, mas também limitações de desempenho, governança, integração e adesão. No segundo, a arquitetura foi ampliada e 17 projetos foram acompanhados por meio da abordagem Estruturar, Ensinar e Encapsular. Os casos com indicadores mostraram redução do prazo de atendimento do Assistente BWM, de quatro a sete dias para um a dois dias, e projeção de redução do esforço de cotação de nove para quatro horas. Os resultados indicam que a confiabilidade depende da qualidade das fontes, da decomposição das tarefas, do uso complementar de componentes determinísticos e da participação recorrente dos especialistas. Conclui-se que a efetividade da IA industrial resulta da articulação entre tecnologia, organização e pessoas, com autonomia ampliada de forma gradual e governada.

Palavras-chave: inteligência artificial generativa, manufatura, RAG, pesquisa-ação, apoio à decisão.

BRAIAN as a sociotechnical platform for generative artificial intelligence decision support in manufacturing

Abstract: The fragmentation of information flows between quality planning and operational execution hinders access to contextualized technical content in industrial environments. This article analyzes how a generative artificial intelligence platform can support this flow without replacing professional judgment. The applied mixed-method study used action research in a metalworking company and was conducted in two cycles between 2024 and 2026. The intervention, named BRAIAN, combined language models, Retrieval-Augmented Generation, local processing, knowledge representation, deterministic tools, enterprise-system integration, and human validation. In the first cycle, five proofs of concept showed potential for retrieving information from documents and images, while revealing limitations in performance, governance, integration, and adoption. In the second cycle, the architecture was expanded and 17 projects were followed through the Structure, Teach, and Encapsulate approach. Cases with indicators showed a reduction in the BWM

Assistant service time from four-to-seven days to one-to-two days, and a projected reduction in quotation effort from nine to four hours. Findings indicate that reliability depends on source quality, task decomposition, the complementary use of deterministic components, and recurring expert participation. The study concludes that effective industrial AI results from the interplay of technology, organization, and people, with autonomy expanded gradually under governance.

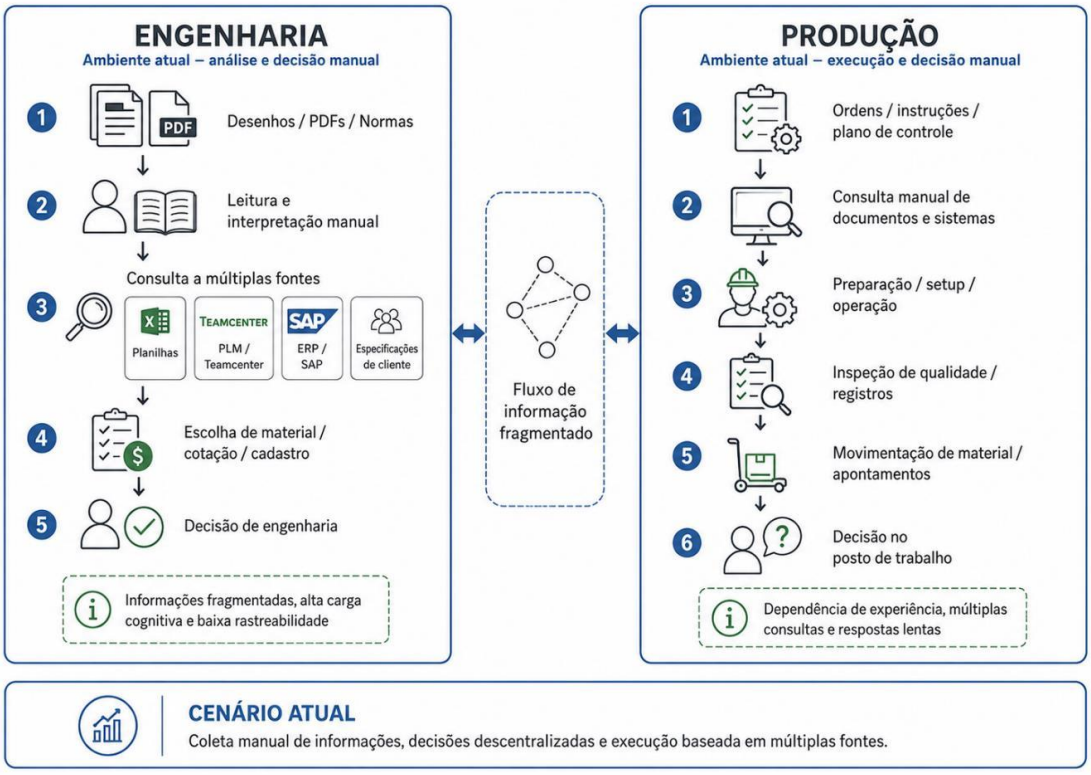
Keywords: generative artificial intelligence, manufacturing, RAG, action research, decision support.

1. Introdução

A manutenção do fluxo de informações entre planejamento e execução permanece um desafio em ambientes de manufatura. O desempenho no chão de fábrica depende da coordenação entre decisões tomadas em diferentes níveis e momentos, de modo que requisitos técnicos definidos no planejamento cheguem ao posto de trabalho de forma completa, atualizada e compreensível (HOPP; SPEARMAN, 2011). Em empresas metalmecânicas que fabricam componentes sob encomenda, desenhos, normas, especificações de clientes, planos de controle e registros transacionais mudam ao longo do tempo e ampliam a necessidade de combinar dados e conhecimento sobre o processo.

Embora sistemas ERP, MES e plataformas de qualidade organizem parcelas desse conteúdo, engenheiros e operadores ainda alternam entre interfaces, documentos e formulários. A dispersão dificulta a compreensão da situação operacional e aumenta o esforço para localizar, interpretar e combinar informações (ENDSLEY, 2017; LONGO; NICOLETTI; PADOVANO, 2022). O problema não se resume à disponibilidade de dados, mas à possibilidade de transformá-los em informação contextualizada e confiável no momento da decisão. Iniciativas da Indústria 4.0 frequentemente privilegiam automação de equipamentos e análise gerencial, mantendo lacunas de disseminação do conhecimento no posto de trabalho (LI et al., 2019; ROMERO; STAHRE; TAISCH, 2020). A Figura 1 ilustra essa fragmentação do fluxo informacional entre engenharia e produção.

Figura 1 - Fluxo fragmentado da informação entre engenharia e produção



Fonte: Elaborado pelos autores com auxílio de inteligência artificial generativa (2026)

A inteligência artificial generativa amplia as possibilidades de recuperação e interpretação de conhecimento industrial. Modelos de linguagem podem relacionar conteúdos dispersos e apresentá-los em linguagem natural, enquanto a Geração Aumentada por Recuperação (RAG) permite ancorar respostas em fontes selecionadas (LEWIS et al., 2020; BUEHLER, 2024). Entretanto, respostas linguisticamente plausíveis podem permanecer factualmente incorretas. Em processos sujeitos à IATF 16949, APQP e FMEA, uma especificação inadequada pode gerar refugo, retrabalho ou risco de segurança; por isso, fluência não equivale a confiabilidade.

O estudo parte da seguinte questão: como aprimorar o fluxo de informações entre o planejamento da qualidade e a execução operacional para favorecer informações contextualizadas, confiáveis e rastreáveis em manufatura metalmecânica? O objetivo é investigar esse aprimoramento por meio do desenvolvimento e da avaliação da plataforma BRAIAN. O artigo apresenta a fundamentação sociotécnica e tecnológica, descreve os dois ciclos de pesquisa-ação, compara seus resultados e deriva contribuições e diretrizes de implantação responsável.

2. Fundamentação teórica

2.1 Fluxo informacional e manufatura centrada no ser humano

A digitalização industrial aumenta a quantidade de dados disponíveis, mas não elimina descontinuidades entre áreas, sistemas e documentos. Padrões de implementação da Indústria 4.0 demonstram que tecnologias são adotadas de forma heterogênea e nem sempre integradas ao trabalho cotidiano (FRANK; DALENOGARE; AYALA, 2019). Quando a responsabilidade pela busca e reconciliação das fontes permanece com o operador, o sistema transfere ao indivíduo uma parcela do esforço de integração que deveria ser tratada pelo desenho informacional.

A manufatura centrada no ser humano propõe que tecnologias digitais ampliem capacidades, segurança e qualidade do trabalho, preservando o julgamento profissional (XU et al., 2021; GRANDI et al., 2025). Nessa perspectiva, a IA não deve ser analisada apenas pela qualidade de uma resposta isolada, mas por sua inserção no processo. Importa considerar quais fontes utiliza, que tarefa executa, como comunica incerteza, quem valida a saída e qual decisão pode influenciar. A relação humano-automação requer níveis de autonomia compatíveis com os riscos e mecanismos que mantenham consciência situacional e responsabilidade (ENDSLEY, 2017).

2.2 RAG, representação do conhecimento e confiabilidade

A RAG combina um mecanismo de recuperação com um modelo gerador. Diante de uma pergunta, documentos relacionados são selecionados e fornecidos como contexto para a elaboração da resposta (LEWIS et al., 2020). Em engenharia, essa arquitetura pode melhorar consultas dependentes de normas, desenhos e conhecimento especializado (SIDDHARTH; LUO, 2024; HEREDIA ALVARO; GONZALEZ BARREDA, 2025). Ainda assim, recuperar um trecho relacionado não assegura que ele seja suficiente, vigente ou corretamente interpretado. A avaliação precisa considerar relevância do contexto, fidelidade da resposta e cobertura das evidências (ES et al., 2024).

A representação estruturada do conhecimento complementa a busca vetorial ao explicitar entidades, relações, regras e restrições do domínio. Grafos e ontologias podem apoiar interpretabilidade e conexão entre requisitos técnicos, falhas, controles e recursos produtivos (BUEHLER, 2024; WANG et al., 2024). Nos casos industriais, porém, nem toda atividade deve ser atribuída ao modelo de linguagem. Cálculos, transações e registros oficiais exigem comportamento determinístico; o modelo pode interpretar uma solicitação e acionar ferramentas controladas, preservando a consistência da execução.

A confiabilidade resulta, portanto, de uma arquitetura em camadas. Essa arquitetura reúne fontes autorizadas e versionadas, recuperação adequada, instruções delimitadas, representação do domínio, ferramentas determinísticas, registro das interações e validação humana. A existência de RAG reduz parte do risco, mas não elimina alucinações ou inconsistências, exigindo avaliação específica para o contexto de uso (NIU et al., 2024).

2.3 Perspectiva sociotécnica da adoção

A adoção de IA em produção depende simultaneamente de fatores tecnológicos, organizacionais e humanos. Infraestrutura, qualidade dos dados e integração formam a base técnica; patrocínio, recursos, cultura e redesenho de processos condicionam a implantação; competências, confiança, carga de trabalho e participação moldam o uso (HEIMBERGER; HORVAT; SCHULTMANN, 2026). Essa perspectiva desloca a pergunta de qual modelo é melhor para como organizar um sistema de trabalho no qual a IA produz valor com controle.

O especialista de processo ocupa posição central porque conhece exceções, critérios tácitos e consequências das decisões. Sua atuação não se limita à homologação final: ele participa da delimitação do problema, seleciona fontes, produz exemplos, corrige respostas e define limites. A aprendizagem ocorre em duas direções. O sistema recebe conhecimento formalizado e o especialista desenvolve competências para estruturar e governar capacidades digitais (GRANDI et al., 2025).

3. Método

A pesquisa é aplicada, exploratória e prescritiva, com abordagem mista. Adotou-se a pesquisa-ação porque o objeto de interesse abrangeu tanto a plataforma quanto o processo participativo de diagnóstico, intervenção, aprendizagem e mudança organizacional. Essa estratégia associa pesquisa e ação na resolução de problemas coletivos (THIOLLENT, 2011) e organiza o aperfeiçoamento em movimentos de planejamento, ação, monitoramento e reflexão (TRIPP, 2005).

O estudo foi conduzido entre 2024 e 2026 em uma empresa sistemista metalmecânica do noroeste do Rio Grande do Sul. O recorte abrangeu engenharia de produto, planejamento industrial e operações, com ênfase no fluxo de informações ligado ao APQP. A infraestrutura foi mantida localmente em razão de requisitos de segurança da informação e do tratamento de documentos de clientes. A amostra foi intencional e formada por especialistas das áreas, denominados Agentes de Transformação Digital (ATDs), além da equipe técnica de apoio.

Foram realizados dois ciclos com as mesmas perguntas orientadoras. Em cada um ocorreram identificação de necessidades, implementação ou refinamento, testes, registro de pendências e reflexão. O primeiro ciclo envolveu sete ATDs e cinco provas de conceito. O segundo ampliou a participação e acompanhou 17 projetos em diferentes estágios. Mudanças organizacionais alteraram parte do grupo entre os ciclos, condição incorporada à análise como evidência do contexto real.

A coleta combinou formulários, entrevistas, registros de treinamentos e reuniões, logs de uso, avaliações dos especialistas e indicadores dos setores. As respostas individuais foram avaliadas pelos responsáveis de cada processo. Correções e justificativas foram registradas com identificadores que permitiam auditoria. Indicadores quantitativos foram obtidos nos próprios setores e complementados por evidências qualitativas quando não havia medição padronizada. A triangulação considerou convergências e divergências entre registros, percepções, resultados técnicos e literatura. A Figura 2 sintetiza a abordagem adotada na condução prática da pesquisa.

Figura 2 - Abordagem Estruturar, Ensinar e Encapsular



Fonte: Elaborado pelos autores com auxílio de inteligência artificial generativa (2026)

A condução prática foi organizada em três etapas. Estruturar significou delimitar processo, problema, entradas, documentos, sistemas, regras, indicadores e resultados esperados. Ensinar consistiu em utilizar o assistente com casos reais, avaliar as respostas, corrigir falhas e registrar o conhecimento do especialista. Encapsular transformou a capacidade validada em configuração reutilizável, com instruções, ferramentas, fontes, formato de saída e critérios de confiança. O termo assistente designou a interação validada a cada resposta. O termo agente designou uma capacidade encapsulada, capaz de processar ocorrências em lote ou de ser acionada por outro componente, com limites definidos.

4. Resultados

4.1 Primeiro ciclo

O primeiro ciclo concentrou-se em documentos, imagens e RAG. As cinco provas de conceito abrangeram suporte ao BWM, cotação, ferramental, desenhos e aplicações complementares. O ciclo demonstrou viabilidade para recuperar conhecimento técnico e apoiar consultas, mas revelou limitações de leitura de arquivos extensos, tempo de processamento, integração com sistemas, separação de acessos e governança. A expectativa inicial de que a tecnologia estivesse praticamente pronta para uso também reduziu a participação de alguns especialistas quando as primeiras respostas exigiram ajustes.

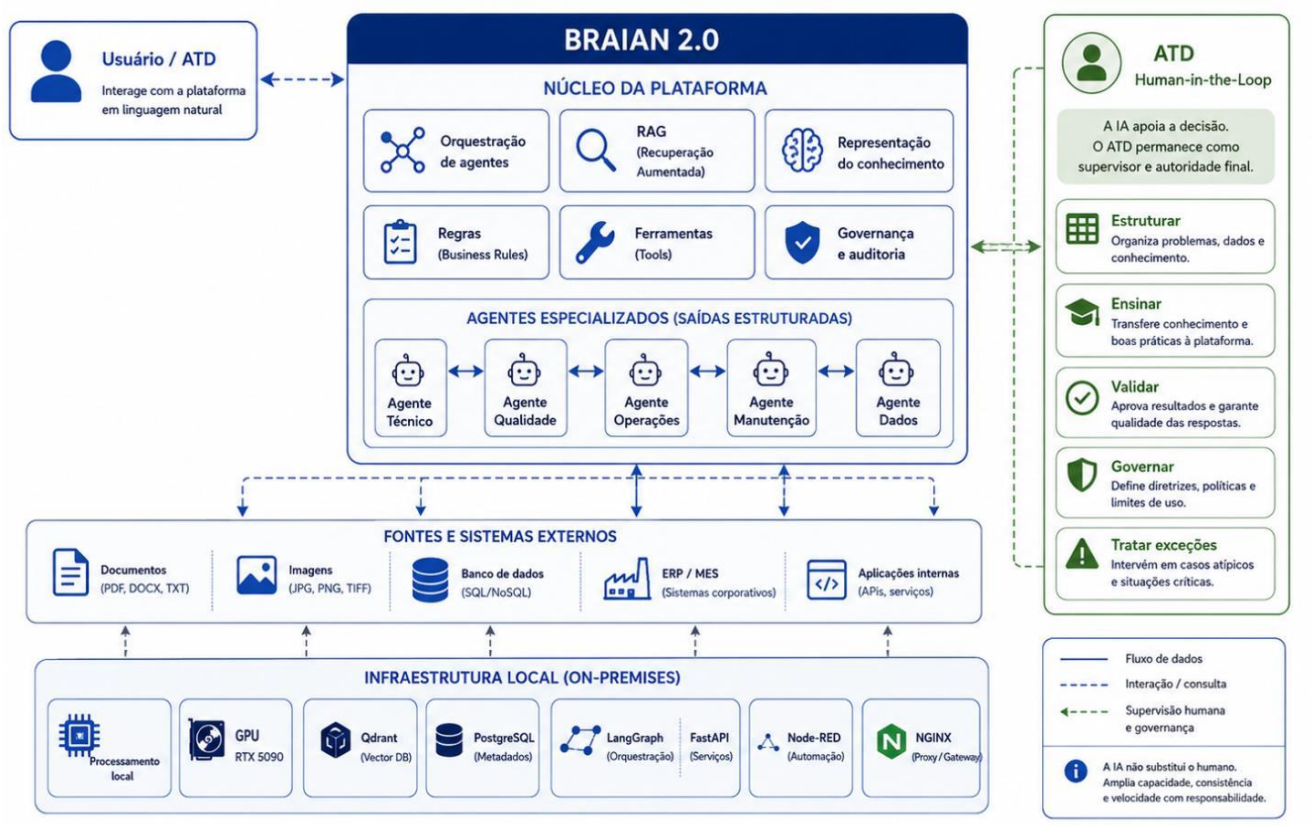
Nos projetos com medição, o Assistente BWM reduziu o prazo informado pelo especialista de quatro a sete dias para um a dois dias. A estimativa não representa uma série controlada, mas evidencia mudança no acesso ao conhecimento técnico. No caso de cotação, a seleção manual de material a partir do desenho consumia aproximadamente dez minutos por item e estava inserida em um lead time mais amplo. A prova de conceito mostrou que a IA poderia apoiar a extração e a associação das informações, mas a integração transacional e a validação normativa ainda precisavam evoluir.

O principal aprendizado foi que desempenho técnico isolado não explicava o avanço. Projetos com interação frequente dos especialistas produziram melhores fontes, exemplos e critérios; projetos com participação irregular permaneceram como demonstrações. Também se tornou necessário distinguir tarefas interpretativas, adequadas ao modelo, de cálculos e transações, que deveriam ser executados por componentes determinísticos.

4.2 Segundo ciclo e evolução da arquitetura

O segundo ciclo incorporou os aprendizados anteriores e ampliou a plataforma para processamento local, multimodalidade, ferramentas, agentes, governança e integração com dados corporativos. A arquitetura passou a separar experiência do usuário, agentes especializados, fontes e sistemas externos, permitindo que o modelo consultasse documentos, imagens, bancos vetoriais e serviços controlados. Essa evolução deslocou o foco de uma interface de perguntas e respostas para uma camada de coordenação do fluxo informacional. A Figura 3 apresenta a arquitetura resultante dessa evolução.

Figura 3 - Arquitetura da plataforma BRAIAN 2.0



Fonte: Elaborado pelos autores com auxílio de inteligência artificial generativa (2026)

Dezessete projetos foram acompanhados em diferentes níveis de maturidade. Entre os casos que avançaram, o Price AssistenteEng projetou redução do esforço de nove para quatro horas por cotação ao combinar extração documental, seleção assistida de materiais e consulta a dados corporativos. Na avaliação 5S, o modelo interpretava imagens e um componente em Python consolidava notas e resultados, ilustrando complementaridade entre processamento semântico e execução determinística. A integração via Model Context Protocol permitiu solicitar dados de estoque ao sistema corporativo sem atribuir ao modelo a responsabilidade por criar ou alterar o registro transacional.

Os dados de uso mostraram adoção desigual. Entre os 89 usuários cadastrados de março a julho de 2026, 24 não haviam iniciado conversa, e as interações concentraram-se em um grupo reduzido. Registros de presença e reuniões relacionaram a baixa frequência à rotina operacional, à falta de tempo reservado e à compreensão incompleta do papel do

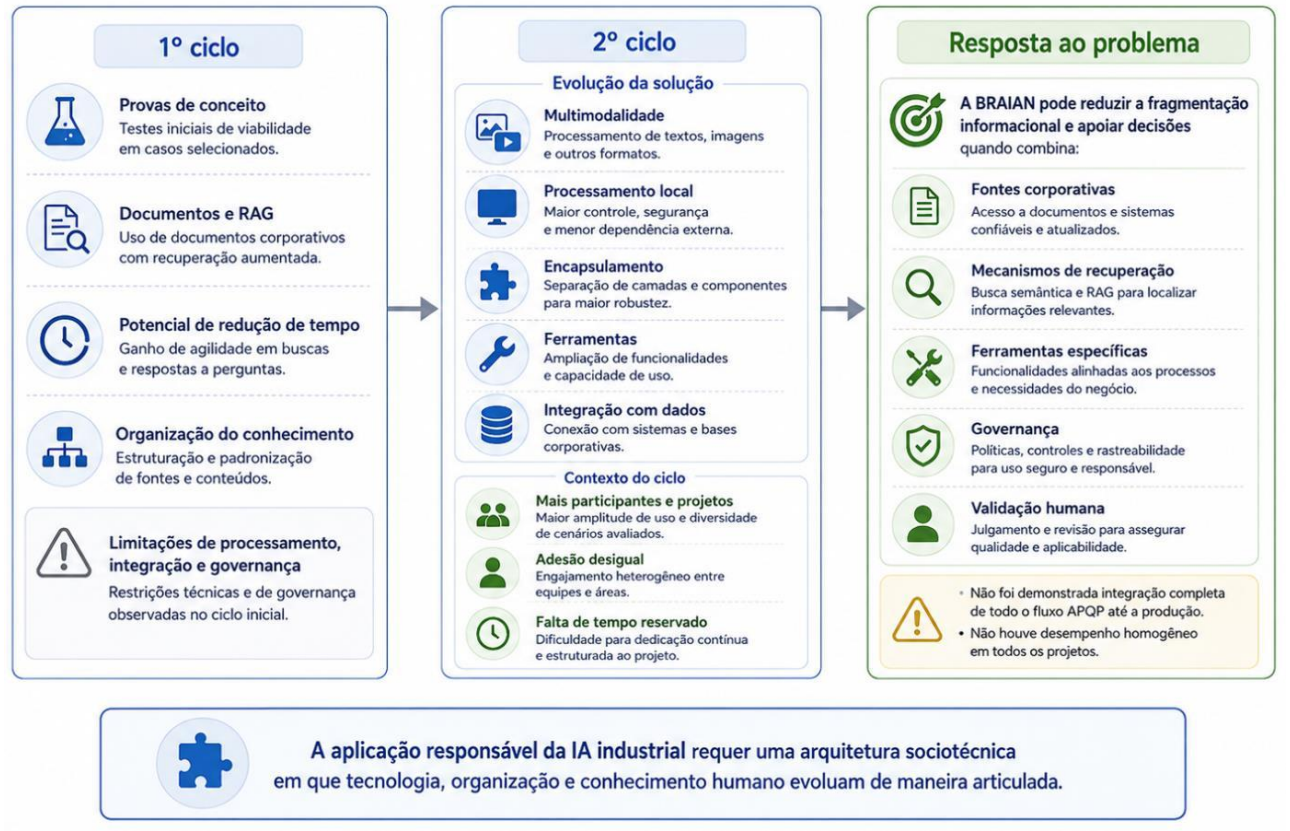
especialista. A disponibilidade de recursos mais avançados, portanto, não gerou automaticamente maior utilização.

4.3 Síntese comparativa

O primeiro ciclo comprovou a possibilidade de recuperar e contextualizar documentos e imagens, ao mesmo tempo que expôs limites de processamento, governança e participação. O segundo respondeu tecnicamente a parte dessas limitações, mas tornou mais visíveis as condições organizacionais e humanas. A abordagem Estruturar, Ensinar e Encapsular emergiu dessa transição. Em vez de tentar automatizar processos completos, os participantes passaram a decompor tarefas, testar exemplos e elevar a autonomia conforme as evidências.

A comparação também delimitou os resultados. A pesquisa não demonstrou integração completa de todo o fluxo APQP, e os casos mais consistentes permaneceram concentrados em engenharia, planejamento e apoio. A redução de carga cognitiva foi inferida apenas como menor esforço de busca e organização em situações específicas; não houve aplicação de instrumento próprio para medir o construto. Essas restrições impedem generalizações estatísticas, mas preservam o valor analítico dos mecanismos observados. A Figura 4 sintetiza a comparação entre os ciclos e a resposta ao problema de pesquisa.

Figura 4 - Síntese dos ciclos e resposta ao problema de pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores com auxílio de inteligência artificial generativa (2026)

5. Discussão

Os achados confirmam que a fragmentação informacional não é resolvida apenas pela presença de sistemas corporativos. A dificuldade reside na continuidade entre fontes, responsabilidades e situações de uso. A BRAIAN reduziu o esforço de consolidação em casos selecionados porque reuniu recuperação semântica, regras de acesso e apresentação em linguagem natural. Esse resultado converge com a literatura sobre

disseminação centrada no ser humano (LI et al., 2019) e recuperação de conhecimento na manufatura (HEREDIA ALVARO; GONZALEZ BARREDA, 2025).

A confiabilidade observada não decorreu do modelo isoladamente. Fontes atualizadas, instruções delimitadas, representação do conhecimento, ferramentas e validação formaram um arranjo de controle. A RAG forneceu evidência textual, mas não substituiu a avaliação da suficiência do contexto. Esse resultado é coerente com Buehler (2024), que relaciona recuperação e representação ontológica à interpretabilidade, e com Niu et al. (2024), que demonstram a persistência de alucinações em sistemas aumentados por recuperação.

A separação entre tarefas semânticas e determinísticas constitui contribuição prática relevante. No caso 5S, o modelo analisou imagens, enquanto a consolidação ocorreu por código; na cotação, o modelo requisitou dados, mas o sistema corporativo permaneceu como fonte oficial. Essa configuração evita exigir do modelo precisão algorítmica em cálculos e transações e o posiciona como mediador entre linguagem, conhecimento e ferramentas. A autonomia pode aumentar, mas apenas após validação de entradas, saídas e exceções.

A validação humana contínua, na lógica *human-in-the-loop*, mostrou-se estrutural. O especialista forneceu contexto, selecionou documentos, avaliou exceções e definiu limites. Projetos com participação recorrente avançaram mais, embora a associação não permita afirmar causalidade. O resultado converge com a manufatura centrada no humano, em que tecnologias e competências evoluem conjuntamente (GRANDI et al., 2025). Também indica que implantação de IA é trabalho de processo, não uma entrega exclusiva da área de tecnologia.

A adesão desigual reforça a perspectiva sociotécnica. A arquitetura do segundo ciclo era tecnicamente superior, mas a falta de tempo protegido, prioridade e patrocínio limitou o uso. O achado é compatível com a síntese de Heimberger, Horvat e Schultmann (2026), segundo a qual adoção de IA em produção resulta da interação entre tecnologia, organização e fatores humanos. Assim, uma plataforma disponível não equivale a uma capacidade organizacional incorporada.

A abordagem Estruturar, Ensinar e Encapsular sistematiza esse aprendizado. Estruturar reduz ambiguidade e define critérios; Ensinar transforma conhecimento tácito em exemplos e regras; Encapsular estabiliza uma capacidade para reutilização. O encadeamento vem depois da validação, não antes. Essa sequência oferece uma alternativa à expectativa de automação integral e favorece governança gradual, embora ainda precise ser avaliada longitudinalmente e em outras organizações.

6. Conclusões

O artigo investigou como uma plataforma de inteligência artificial generativa pode aprimorar o fluxo de informações entre planejamento da qualidade e execução operacional. Nos casos analisados, a integração de RAG, processamento local, representação do conhecimento, ferramentas determinísticas, sistemas corporativos e validação humana permitiu recuperar e contextualizar informações, reduzir esforços em tarefas selecionadas e ampliar a rastreabilidade das interações. O resultado central é que a efetividade não pode ser atribuída ao modelo de linguagem isoladamente.

Quatro conclusões sustentam a resposta ao problema. Primeiro, a IA generativa complementa sistemas determinísticos, pois interpreta linguagem e conteúdo não estruturado, enquanto regras, cálculos e transações permanecem em ferramentas controladas. Segundo, a validação humana é condição estrutural, pois especialistas delimitam o processo, corrigem respostas e governam exceções. Terceiro, processos complexos avançam melhor quando decompostos em capacidades menores e

progressivamente validadas. Quarto, adoção depende de tempo protegido, patrocínio, prioridade e continuidade da participação.

As contribuições distribuem-se em três dimensões. Na dimensão tecnológica, foi desenvolvida uma arquitetura integrada e local para IA industrial. Na organizacional, foram identificadas condições de seleção, priorização, governança e redesenho dos processos. Na humana, o ATD foi caracterizado como elo entre processo, tecnologia e conhecimento. Metodologicamente, a abordagem Estruturar, Ensinar e Encapsular organiza a formalização progressiva e a elevação gradual da autonomia.

As limitações incluem uma única organização, amostra intencional, participação desigual, ausência de grupo de controle e de acompanhamento longitudinal, número restrito de casos com indicadores quantitativos e integrações ainda em desenvolvimento. Não foi comprovada redução generalizada da carga cognitiva nem transformação formal dos cargos. Estudos futuros devem aplicar instrumentos específicos de carga cognitiva, avaliar retorno econômico e maturidade dos agentes, acompanhar competências ao longo do tempo e testar cadeias de agentes em diferentes contextos industriais.

Referências

BUEHLER, Markus J. Generative retrieval-augmented ontologic graph and multiagent strategies for interpretive large language model-based materials design. ACS Engineering Au, v. 4, p. 241-277, 2024. DOI: 10.1021/acsengineeringau.3c00058.

ENDSLEY, Mica R. From here to autonomy: lessons learned from human-automation research. Human Factors, v. 59, n. 1, p. 5-27, 2017. DOI: 10.1177/0018720816681350.

ES, Shahul et al. RAGAS: automated evaluation of Retrieval Augmented Generation. In: CONFERENCE OF THE EUROPEAN CHAPTER OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTATIONAL LINGUISTICS, 18., 2024. Proceedings [...]. p. 150-158. DOI: 10.18653/v1/2024.eacl-demo.16.

FRANK, Alejandro G.; DALENOGARE, Lucas S.; AYALA, Néstor F. Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. International Journal of Production Economics, v. 210, p. 15-26, 2019. DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.01.004.

GRANDI, Fabio et al. A human-centric methodology for the co-evolution of operators skills, digital tools and user interfaces to support the Operator 4.0. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, v. 91, 102854, 2025. DOI: 10.1016/j.rcim.2024.102854.

HEIMBERGER, Heidi; HORVAT, Djerdj; SCHULTMANN, Frank. Exploring the factors driving AI adoption in production: a systematic literature review and future research agenda. Information Technology and Management, v. 27, p. 53-69, 2026. DOI: 10.1007/s10799-024-00436-z.

HEREDIA ALVARO, José A.; GONZALEZ BARREDA, Javier. An advanced retrieval-augmented generation system for manufacturing quality control. Advanced Engineering Informatics, v. 64, 103007, 2025. DOI: 10.1016/j.aei.2024.103007.

HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L. Factory Physics. 3. ed. Long Grove: Waveland Press, 2011.

LEWIS, Patrick et al. Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. In: ADVANCES IN NEURAL INFORMATION PROCESSING SYSTEMS, 33., 2020. Proceedings [...]. v. 33, p. 9459-9474.

LI, Dan et al. Human-centred dissemination of data, information and knowledge in Industry 4.0. Procedia CIRP, v. 84, p. 380-386, 2019. DOI: 10.1016/j.procir.2019.04.261.

LONGO, Francesco; NICOLETTI, Letizia; PADOVANO, Antonio. New perspectives and results for Smart Operators in Industry 4.0: a human-centered approach. Computers & Industrial Engineering, v. 163, 107824, 2022. DOI: 10.1016/j.cie.2021.107824.

NIU, Cheng et al. RAGTruth: a hallucination corpus for developing trustworthy Retrieval-Augmented Language Models. In: ANNUAL MEETING OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTATIONAL LINGUISTICS, 62., 2024. Proceedings [...]. p. 10862-10878. DOI: 10.18653/v1/2024.acl-long.585.

ROMERO, David; STAHRE, Johan; TAISCH, Marco. The Operator 4.0: towards socially sustainable factories of the future. Computers & Industrial Engineering, v. 139, 106128, 2020. DOI: 10.1016/j.cie.2019.106128.

SIDDHARTH, L.; LUO, Jianxi. Retrieval augmented generation using engineering design knowledge. Knowledge-Based Systems, v. 303, 112410, 2024. DOI: 10.1016/j.knosys.2024.112410.

THIOLLENT, Michel. Metodologia da pesquisa-ação. 18. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. Educação e Pesquisa, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005. DOI: 10.1590/S1517-97022005000300009.

WANG, Shilong et al. An intelligent quality control method for manufacturing processes based on a human-cyber-physical knowledge graph. Engineering, v. 41, p. 242-260, 2024. DOI: 10.1016/j.eng.2024.03.022.

XU, Xun et al. Industry 4.0 and Industry 5.0: inception, conception and perception. Journal of Manufacturing Systems, v. 61, p. 530-535, 2021. DOI: 10.1016/j.jmsy.2021.10.006.