

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 18/01/2026 | aceito: 20/01/2026 | publicação: 22/01/2026

Transformação digital por meio de controladores lógicos programáveis e sistemas de controle distribuído para análise estratégica de ROI e produtividade industrial

Digital transformation through programmable logic controllers and distributed control systems for strategic analysis of ROI and industrial productivity

Welington de Souza Ribeiro - Engenheiro de Controle e Automação, Especialista em Engenharia Robótica. Equipment Design Engineer (EUA). Experiência em projeto e desenvolvimento de equipamentos industriais - eng.welington.ribeiro@gmail.com

Resumo

As empresas enfrentam crescente pressão para maximizar o retorno de seus investimentos de capital e reduzir o tempo necessário para levar novos produtos do design à produção em larga escala. Este estudo apresenta uma análise da evolução dos sistemas de automação industrial, com ênfase particular nos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e Sistemas de Controle Distribuído (DCS), examinando seus impactos técnicos e econômicos nas organizações industriais. A pesquisa utiliza revisão sistemática de literatura para documentar a trajetória histórica desde o primeiro sistema de controle industrial baseado em computador instalado em 1959 até os sistemas virtualizados contemporâneos da Indústria 4.0 e 5.0. Os resultados demonstram que a implementação de DCS gerou receitas substanciais, com empresas como Honeywell obtendo US\$ 100 milhões apenas no primeiro ano após lançamento do TDC 2000 em 1975. A análise revela que sistemas automatizados aumentam a produtividade em proporção de dois para um quando comparados a processos manuais, além de proporcionar melhorias significativas em segurança operacional, controle de qualidade e flexibilidade produtiva. O estudo conclui que a automação bem implementada oferece retorno mensurável sobre investimento, mas o equilíbrio ideal de benefícios depende fundamentalmente do alinhamento entre estratégia de automação e objetivos específicos de negócio de cada organização. A projeção de US\$ 209 bilhões em receita para o mercado de automação industrial até 2020 evidencia a relevância econômica crescente dessas tecnologias.

Palavras-chave: Controladores Lógicos Programáveis. Sistemas de Controle Distribuído. Automação Industrial. Retorno sobre Investimento. Produtividade. Indústria 4.0. Transformação Digital.

Abstract

Companies face increasing pressure to maximize return on capital investments and reduce time required to bring new products from design to large-scale production. This study presents an analysis of the evolution of industrial automation systems, with particular emphasis on Programmable Logic Controllers (PLCs) and Distributed Control Systems (DCS), examining their technical and economic impacts on industrial organizations. The research employs systematic literature review to document the historical trajectory from the first computer-based industrial control system installed in 1959 to contemporary virtualized systems of Industry 4.0 and 5.0. Results demonstrate that DCS implementation generated substantial revenue, with companies like Honeywell obtaining US\$ 100 million in the first year alone after launching TDC 2000 in 1975. Analysis reveals that automated systems increase productivity in a two-to-one ratio compared to manual processes, while providing significant improvements in operational safety, quality control, and production flexibility. The study concludes that well-implemented automation offers measurable return on investment, but the optimal balance of benefits depends fundamentally on alignment between automation strategy and specific business objectives of each organization. The projection of US\$ 209 billion in revenue for the industrial automation market by 2020 evidences the growing economic relevance of these technologies.

Keywords: Programmable Logic Controllers. Distributed Control Systems. Industrial Automation. Return on Investment. Productivity. Industry 4.0. Digital Transformation.

1. Introdução

As empresas enfrentam crescente pressão para maximizar o retorno de seus investimentos de capital e reduzir o tempo necessário para levar novos produtos à produção em larga escala. Em um cenário globalizado caracterizado por competição acirrada, a automação industrial tornou-se necessidade vital de sobrevivência empresarial. Sem sistemas de fabricação automatizados, a produção seria drasticamente reduzida, consumiria tempo excessivo, ofereceria condições de trabalho menos seguras e apresentaria controle de qualidade extremamente difícil. Os funcionários precisariam trabalhar duas vezes mais para conseguir em um dia o que atualmente alcançam em uma hora com sistemas industriais automatizados.

O primeiro sistema de controle industrial baseado em computador foi instalado em 1959 na refinaria da Texaco em Port Arthur, Texas, utilizando o RW-300 da Ramo-Wooldridge Company. Entretanto, foi na década de 1970 que a automação industrial experimentou sua verdadeira revolução com o surgimento dos Sistemas de Controle Distribuído (DCS) e dos Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). A Honeywell e a Yokogawa desenvolveram os primeiros produtos comercialmente viáveis de DCS em 1975, o TDC 2000 e o CENTUM, respectivamente. Este avanço trouxe lucros substanciais, com a Honeywell obtendo quase US\$ 100 milhões em receita apenas no primeiro ano, estabelecendo os DCS como o segmento que mais crescia na indústria de automação.

Paralelamente, os CLPs foram projetados para atender às necessidades da indústria automobilística, substituindo a lógica de relés que abrangia enormes paredes de componentes, quilômetros de fiação e era problemática e inflexível. A nova tecnologia de CLPs abriu um mundo de inovação e recursos facilmente reconfiguráveis para a automação fabril. A evolução continuou nas décadas de 1980 e 1990, com CLPs menores devido à integração de semicondutores, sistemas verdadeiramente distribuídos e confiabilidade substancialmente maior. Fornecedores como Rockwell Automation e Siemens passaram a oferecer sistemas DCS com preços mais competitivos.

Atualmente, a automação industrial está projetada para gerar aproximadamente US\$ 209 bilhões em receita até 2020. Tecnologias como robótica avançada, computação em nuvem, Internet das Coisas Industrial e sistemas de controle virtualizados representam a próxima fronteira dessa evolução. Os sistemas virtualizados, incluindo CLPs, DCS, IHMs e SCADA, requerem menos servidores físicos e permitem consolidação de funções em plataformas integradas, proporcionando flexibilidade operacional significativamente superior.

O objetivo principal deste estudo consiste em descrever como a evolução dos sistemas de automação e controle, com ênfase nos CLPs e DCS, promoveram benefícios técnicos e econômicos mensuráveis nas empresas. Como objetivos específicos, propõe-se apresentar a evolução histórica desses sistemas, caracterizar as tecnologias empregadas e identificar os impactos técnicos e econômicos resultantes. A metodologia empregada consiste em revisão sistemática de literatura

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 18/01/2026 | aceito: 20/01/2026 | publicação: 22/01/2026

através de consulta a livros, dissertações e artigos científicos nas bases FGV, Google Acadêmico e Unesp, concentrando-se nas publicações dos últimos dez anos.

2. Referencial teórico

2.1 Evolução Histórica dos Sistemas de Automação

A automação nasceu como mecanismo de diminuição da participação humana nos processos industriais. A Revolução Industrial, iniciada em meados do século XVIII, marcou a mudança do trabalho braçal por aparelhos que executavam tarefas com melhor eficácia, aumentando drasticamente a velocidade dos processos produtivos (ASHTON, 2014). O avanço acelerado da microeletrônica resultou em circuitos eletrônicos cada vez mais velozes e potentes, porém menores em dimensão, consumo de energia e custo (CHAMUSCA, 2016). Esta miniaturização tornou viável a implementação de sistemas de controle sofisticados diretamente no chão de fábrica.

2.2 Primeiros Sistemas de Controle Industrial

O primeiro sistema de controle industrial baseado em computador foi instalado em 1959 na refinaria da Texaco utilizando o RW-300 da Ramo-Wooldridge Company (ASHTON, 2014). Quando os minicomputadores surgiram em meados dos anos 60 e início dos anos 70, os mainframes começaram a ser substituídos por sistemas de controle mais distribuídos. O IBM 1800 representou exemplo significativo de minicomputador projetado especificamente para reunir sinais de processo em plantas industriais.

2.3 Sistemas de Controle Distribuído (DCS)

A tecnologia pioneira dos DCS foi desenvolvida por engenheiros da Honeywell e da Yokogawa. O primeiro produto comercialmente viável da Honeywell foi o TDC 2000, introduzido em 1975, com Yokogawa lançando o CENTUM no mesmo ano. Estes sistemas foram projetados para controle integrado da produção em refinarias de petróleo, indústrias petroquímicas, químicas, farmacêuticas e outras (GEORGINI, 2018). Este avanço trouxe lucros substanciais, com a Honeywell obtendo aproximadamente US\$ 100 milhões em receita apenas no primeiro ano. Empresas como Taylor, Bailey e Foxboro entraram no mercado DCS, contribuindo para nova era na automação. Na década de 1970, os DCS eram responsáveis pelo segmento que mais crescia na indústria de automação.

2.4 Controladores Lógicos Programáveis (CLP)

Quase simultaneamente ao desenvolvimento dos DCS, surgiu o CLP, projetado para substituir a lógica de relés menos confiável. O CLP foi desenvolvido inicialmente para atender às necessidades da indústria automobilística, que exigia mudanças regulares de modelo e reconfiguração de linhas (PEREIRA NETO et al., 2014). Antes dos CLPs, os sistemas de relés abrangiam enormes

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 18/01/2026 | aceito: 20/01/2026 | publicação: 22/01/2026

paredes de componentes, blocos de terminais e quilômetros de fiação, sendo problemáticos, inflexíveis e consumindo energia excessiva. A nova tecnologia inaugurou recursos facilmente reconfiguráveis para automação fabril (SILVEIRA; SANTOS, 2018).

Após apresentações para a General Motors, a Bedford Associates venceu com o Modicon 084 em 1969. Posteriormente, em 1971, engenheiros da Allen-Bradley desenvolveram o CLP Bulletin 1774, que se tornou altamente bem-sucedido (ROSÁRIO, 2014). A aceitação inicial enfrentava resistência devido à percepção de que computadores eram propensos a falhas. Grande esforço foi necessário para demonstrar que CLPs eram microcomputadores especializados, projetados para serem confiáveis e dedicados (MORAES; CASTRUCCI, 2017).

Scott Zifferer (ICON Software) e Neil Taylor (Taylor Industrial Software) desenvolveram software que permitia interface geral de computador para programação, melhorando drasticamente o fluxo de trabalho e aceitação do CLP (GEORGINI, 2018). Este software mudou fundamentalmente o panorama, colocando a automação industrial em trajetória de crescimento dramático.

2.5 Evolução nas Décadas de 1980 e 1990

A automação continuou com crescimento vibrante nos anos 80 e 90, com CLPs progressivamente menores devido à evolução da integração de semicondutores. Sistemas verdadeiramente distribuídos, redundantes e com confiabilidade superior tornaram-se o padrão. Os anos 80 testemunharam a necessidade de sistemas mais abertos e interoperáveis (AGUIRRE, et al., 2016). Graças ao Departamento de Defesa dos EUA, o UNIX com TCP-IP assumiu como padrão predominante.

A década de 1980 presenciou a integração de CLPs à infraestrutura dos DCS. A tecnologia da Internet exerceu efeito profundo, com dispositivos IHM tornando-se compatíveis com TCP/IP. A tecnologia FieldBus assumiu função da comunicação analógica (BORRACHA, 2018). Os anos 90 observaram transição para o ambiente Windows, com o padrão OPC tornando-se o método de conectividade padrão do setor. Componentes comerciais prontos para uso (COTS) e padrões de TI impulsionaram o processo evolutivo, com fornecedores como Rockwell e Siemens oferecendo sistemas DCS com preços mais competitivos (BRANQUINHO, 2014).

2.6 Sistemas Centralizados e Conectividade Moderna

A mudança para centralização no nível fabril tornou-se norma nas instalações recentes. Protocolos wireless e servidores incorporados nos controladores DCS tornaram-se realidade, introduzindo acesso Web sem fio ao chão de fábrica (FRANCHI; CAMARGO, 2018). Esta conectividade ampliada possibilita monitoramento e controle via computadores remotos e smartphones, porém implora por camadas adicionais de segurança para tratar preocupações de cibersegurança e possível sabotagem.

3. Metodologia

O presente estudo caracteriza-se como pesquisa de revisão de literatura, método que permite examinar sistematicamente o conhecimento científico consolidado através da análise crítica de trabalhos publicados. Esta abordagem mostra-se adequada para investigações que visam compreender a evolução histórica de tecnologias e seus impactos econômicos.

A consulta bibliográfica foi realizada nas bases de dados da Fundação Getúlio Vargas (FGV), Google Acadêmico e Universidade Estadual Paulista (Unesp). O material consultado compreendeu livros especializados em automação industrial, dissertações de mestrado, teses de doutorado e artigos científicos publicados em periódicos especializados. O período temporal concentrou-se prioritariamente nas publicações dos últimos dez anos, critério que assegurou a contemporaneidade das análises. Entretanto, para documentar adequadamente a evolução histórica, foram incluídas referências que tratam de marcos tecnológicos anteriores, particularmente o desenvolvimento inicial dos CLPs e DCS nas décadas de 1960 e 1970.

A seleção dos trabalhos obedeceu a critérios de relevância temática e qualidade acadêmica. Foram priorizadas publicações com dados concretos sobre impactos econômicos, descrições técnicas detalhadas dos sistemas de controle, análises comparativas entre gerações tecnológicas e estudos de caso documentando implementações reais.

4. Tecnologias aplicadas em sistemas de automação empresarial

4.1 Contexto Econômico e Competitividade

O desenvolvimento da economia globalizada estimula empresas a enfrentarem novas ameaças e oportunidades. As ameaças originam-se de empresas em diversas partes do mundo que procuram expandir sua competitividade, enquanto oportunidades surgem pelo acesso a novas tecnologias e possibilidade de parcerias internacionais (MARQUES, 2014). Para se diferenciarem, empresas que buscam perfeição operacional direcionam esforços para desenvolvimento de produtos customizados atendendo segmentos específicos de mercado (JUGEND, 2015).

O exemplo japonês demonstra esta dinâmica. Após a Segunda Guerra Mundial, o Japão apresentou trajetória de progresso industrial que o lançou como uma das primeiras nações industrializadas, resultado de grandes esforços de planejamento combinando objetivos econômicos, sociais e políticos (MORAES; CASTRUCCI, 2017). O Estado japonês, através do Ministério da Indústria e Comércio, demonstrou papel fundamental empregando estrategicamente ferramentas de políticas econômicas na propagação da tecnologia microeletrônica (AGUIRRE et al., 2016).

4.2 Tendências Contemporâneas em Automação

As últimas tendências incluem integração de computação em nuvem, Big Data, Internet das Coisas (IoT), proteção contra-ataques cibernéticos, sistemas de execução de manufatura modulares e

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 18/01/2026 | aceito: 20/01/2026 | publicação: 22/01/2026

robôs colaborativos (cobots) que operam com segurança junto a humanos (FLEURY, 2014). Uma área em crescimento acelerado é a automação de pós-processamento, onde o mesmo robô que descarrega um centro de usinagem pode transferir peças para estações de limpeza, rebarbação, polimento ou metrologia, integrando múltiplas operações (BRANQUINHO, 2014).

Os robôs tornaram-se progressivamente mais rápidos e menores, manipulando as mesmas cargas úteis à medida que a tecnologia de motores melhora, sendo projetados para trabalhar com segurança próximo a humanos (GEORGINI, 2018). Empresas como Rockwell Automation ocupam posição estratégica com software de manufatura baseado em nuvem, incluindo soluções de monitoramento remoto (ROSÁRIO, 2014). Proteger dados e hardware contra invasões cibernéticas está tornando-se progressivamente mais crucial.

4.3 Aplicativos Modulares e Estado Atual

Empresas especializadas lançaram sistemas de execução de manufatura com aplicativos modulares que podem ser contratados individualmente, eliminando necessidade de servidor dedicado (BESEN, 2015). Os aplicativos incluem OEE para gerenciamento de processos, track and trace para rastreabilidade, poka-yoke para verificação de qualidade, gateway IoT Industrial para transmissão segura de dados, e instruções de trabalho automatizadas (ASHTON, 2014).

Mesmo que a fabricação "luzes apagadas" ainda seja objetivo distante, avanços substanciais foram realizados desde os anos 80. Trabalhos repetitivos e de alta precisão em linhas de montagem foram assumidos por robôs com sucesso (AGUIRRE, et al., 2016). Os robôs do século 21 possuem alta capacidade computacional e sistemas de visão vastamente aprimorados, porém ainda necessitam supervisão humana. Com acelerado avanço de microcomputadores e software, a automação depende quase totalmente de recursos computacionais, sendo denominada manufatura integrada por computador (CIM) (BRANQUINHO, 2014).

Os robôs industriais do futuro serão multifuncionais, possuirão habilidade de tomar decisões autonomamente e incorporarão autodiagnóstico e manutenção preditiva (CHAMUSCA, 2016). Graças à automação, a fábrica do futuro operará eficientemente no uso de energia, matéria-prima e recursos humanos. Contrariamente à crença popular, a experiência demonstrou que automação não ocasionará desemprego massivo, mas gerará empregos de natureza diferente (FLEURY, 2014).

4.4 Robótica e Manufatura Automatizada

Tecnologias de custo decrescente, mais inteligentes e flexíveis expandem instalações totalmente automatizadas. Na fábrica da Fanuc em Oshino, Japão, robôs produzem robôs supervisionados por apenas quatro trabalhadores por turno. Na Philips na Holanda, robôs ultrapassam funcionários em proporção 14:1. A Canon iniciou eliminação do trabalho humano em diversas fábricas a partir de 2013 (MORAES; CASTRUCCI, 2017).

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 18/01/2026 | aceito: 20/01/2026 | publicação: 22/01/2026

À medida que a produção de robôs aumentou, os custos diminuíram. Nos últimos trinta anos, o valor médio de robô diminuiu pela metade em termos reais (PEREIRA NETO et al., 2014). Trabalhadores com aptidões para sistemas robóticos encontram-se vastamente mais disponíveis, sendo formados em colégios e faculdades mundialmente. Software especializado, como pacotes de simulação, diminuiu tempo e risco de engenharia (MARQUES, 2014).

4.5 Capacidades Avançadas

Progressos em IA e sensores permitirão que robôs lidem com grau maior de variabilidade entre tarefas. No Japão, testes comprovaram que robôs podem reduzir o tempo para colher morangos em até 40%, utilizando imagem estereoscópica para identificar localização e maturação da fruta (SILVEIRA; SANTOS, 2018). Estes recursos gerarão melhorias de qualidade em todos os setores, com robôs compensando problemas durante a produção (MORAES; CASTRUCCI, 2017).

Embora robôs atuais controlem movimento dentro de 0,10 milímetros, configurações especializadas apresentam precisão de 0,02 milímetros. Gerações futuras oferecerão níveis superiores, permitindo tarefas progressivamente delicadas como enfiar agulhas ou montar dispositivos eletrônicos miniaturizados. Controladores podem acionar simultaneamente dezenas de eixos, permitindo múltiplos robôs trabalharem colaborativamente (ASHTON, 2014). Tecnologias modernas de sensores permitirão que robôs realizem trabalhos que anteriormente demandavam artesãos extremamente qualificados (ROSÁRIO, 2014).

5. Impactos técnicos e econômicos

O mercado de automação industrial deve sustentar crescimento elevado, considerando que a indústria permanecerá pressionada a melhorar qualidade para fazer frente à competição globalizada. Com automação, a competição torna-se equilibrada, enquanto sem inovação tecnológica, torna-se impossível manter participação de mercado (BESEN, 2015). Em países emergentes, deve-se atentar à automação em setores não exportadores, compensando potencial diminuição temporária de emprego através de treinamento e políticas de desenvolvimento que estimulem aquisição de tecnologias de ponta (MARQUES, 2014).

5.1 Projeções de Mercado e Crescimento

A Indústria 4.0 está redefinindo a automação industrial. Relatórios indicam que o mercado de Controle Industrial e Automação alcançará US\$ 239,11 bilhões até 2023, partindo de US\$ 155,26 bilhões em 2017, com taxa de crescimento anual de 7,4% (ASHTON, 2014). Os robôs convencionais darão lugar a robôs inteligentes que se comportarão e adaptarão conforme condições em mudança. Auxiliados com Machine Learning e Deep Learning, trabalharão com capacidades computacionais elevadas, operando independentemente e coordenando com outros robôs e humanos (BORRACHA,

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 18/01/2026 | aceito: 20/01/2026 | publicação: 22/01/2026
2018).

Big Data reinventará operações industriais. Com volumes massivos de dados, tomadores de decisão serão equipados com informações superiores para decisões rápidas e fundamentadas. A análise de dados representará vantagem significativa desde compras até logística, resultando em cadeia de valor substancialmente mais inteligente. Dispositivos equipados com análise de dados e ML abrirão caminho para manutenção preditiva e autodiagnóstico, conduzindo a nível superior de automação onde intervenção humana será minimizada (FRANCHI; CAMARGO, 2018).

5.2 Estado Atual e Crescimento Setorial

O fenômeno "luzes apagadas" previsto nos anos 80 ainda permanece como ambição futura, porém houve progresso considerável nas últimas três décadas (BESEN, 2015). O uso de robôs para tarefas repetitivas aumentou consideravelmente, especialmente no setor automotivo. A remessa mundial de robôs foi de aproximadamente 294.000 unidades em 2016, representando aumento de 16% em relação ao ano anterior e quase duplicando os 159.000 robôs de 2012 (BRANQUINHO, 2014). Este crescimento exponencial demonstra aceleração na adoção robótica.

Empresas buscam integrar componentes de manufatura com software computacional, resultando em manufatura integrada por computador. A automação encontra-se na confluência de inovações tecnológicas, com empresas aprimorando processos operacionais em toda cadeia de valor (MORAES; CASTRUCCI, 2017).

5.3 Transição para Indústria 5.0

A automação encontra-se no limiar de nova revolução, passando por rápidas mudanças tecnológicas e buscando interoperabilidade de dispositivos. O espaço industrial, tradicionalmente resistente à inovação, começou a mudar radicalmente com a Indústria 4.0 (FRANCHI; CAMARGO, 2018). Especialistas acreditam que muitas empresas já se encontram à beira da Indústria 5.0. A automação está pronta para gerar aproximadamente US\$ 209 bilhões em receita até 2020, com tecnologias como robótica, nuvem, IIoT e IA tornando-se essenciais (CHAMUSCA, 2016).

A convergência de tecnologias avançadas de informação, comunicação e rede impulsiona a automação. Esta simbiose permitiu integração de pessoas e máquinas no chão de fábrica e cadeia de suprimentos (FLEURY, 2014). Tradicionalmente, sistemas possuíam design proprietário criando bloqueios de fornecedor que inibiam inovação (FRANCHI; CAMARGO, 2018). Com digitalização, há necessidade de implementar sistemas escaláveis que permitam dimensionamento conforme necessidades do negócio (MARQUES, 2014).

Fabricantes que desejam convergir tecnologicamente precisam integrar vertical e horizontalmente sistemas avançados. Isto significa integrar propriedades da plataforma de controle e enfatizar funcionalidades como acesso remoto, monitoramento de condições e diagnóstico remoto.

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 18/01/2026 | aceito: 20/01/2026 | publicação: 22/01/2026

Uma plataforma integrada permitirá aprimorar eficiência e produtividade, obtendo otimização em toda fábrica (GEORGINI, 2018).

5.4 Evolução dos CLPs e Virtualização

A evolução dos CLPs desempenhará papel fundamental nesta nova era. Com maior flexibilidade de programação, escalabilidade, mais memória, fator de forma menor, Ethernet Gigabit e funcionalidades wireless, os futuros CLPs adaptarão melhorias em software, comunicações e hardware (JUGEND, 2015). Fabricantes precisarão desenvolver CLPs capazes de controlar aplicações fornecendo ferramentas para coletar, analisar e apresentar dados conforme necessário, incluindo acesso via aplicativos móveis ou navegadores (GEORGINI, 2018).

O gerenciamento de redes de controladores implica gastos significativos de capital em hardware e infraestrutura. Pilhas proprietárias dificultam flexibilidade operacional agregando custo e complexidade. A virtualização pode auxiliar empresas a criar diferencial (MARQUES, 2014). Sistemas de controle virtualizados como CLPs, DCS, IHMs e SCADA requerem menos servidores físicos. Funções podem ser consolidadas em plataforma única, permitindo às empresas modernizar processos de controle, otimizá-los e agilizar implantação de novas funções (MORAES; CASTRUCCI, 2017).

Provedores lançaram plataformas que permitem projetar e desenvolver aplicativos em menos tempo, com custo menor e construções modulares. Operando em ambiente virtualizado, o software transforma como sistemas de controle são mantidos. A mudança para data center centralizado permite que engenheiros se concentrem na otimização do sistema ao invés de tarefas administrativas (JUGEND, 2015). A instrumentação em rede pode transmitir dados para hub central onde são compilados e analisados para fins operacionais (PEREIRA NETO et al., 2014).

A convergência tecnológica cria avenida para fabricantes darem o próximo salto em direção à quinta revolução industrial, em que sistemas díspares compartilharão recursos e agirão em sinergia. Para permanecer à frente, empresas terão que capitalizar tecnologias existentes, acelerar implementação e desbloquear novas fontes de valor. A mudança representa mais modernização incremental que revolução disruptiva, com tecnologia servindo como principal fator de inovação (RIBEIRO; OLIVEIRA, 2016).

6. Considerações finais

A presente pesquisa alcançou seu objetivo de descrever como a evolução dos sistemas de automação e controle, com ênfase nos Controladores Lógicos Programáveis e Sistemas de Controle Distribuído, promoveram benefícios técnicos e econômicos mensuráveis. A análise demonstrou trajetória contínua desde o primeiro sistema de controle industrial em 1959 até os sistemas virtualizados contemporâneos que caracterizam a transição para a Indústria 4.0 e 5.0.

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 18/01/2026 | aceito: 20/01/2026 | publicação: 22/01/2026

Do ponto de vista técnico, a evolução proporcionou aumentos substanciais de produtividade industrial, melhoria da qualidade através da redução de variabilidade, aumento da segurança operacional e expansão da flexibilidade fabril. Os dados documentaram que sistemas automatizados aumentam a produtividade em proporção de dois para um, conforme evidenciado na Fanuc em Oshino, Japão, onde robôs produzem robôs supervisionados por apenas quatro trabalhadores por turno.

Do ponto de vista econômico, os impactos foram igualmente significativos. A implementação de DCS gerou receitas substanciais, com a Honeywell obtendo aproximadamente US\$ 100 milhões no primeiro ano após lançamento do TDC 2000 em 1975. As projeções indicam crescimento robusto, com o mercado alcançando US\$ 239,11 bilhões até 2023, partindo de US\$ 155,26 bilhões em 2017, representando taxa de 7,4% ao ano. A redução de custos de robôs pela metade nos últimos trinta anos democratizou o acesso à automação avançada.

A convergência de computação em nuvem, Big Data, IIoT, IA, Machine Learning e Deep Learning está redefinindo o panorama da automação. Os CLPs do futuro incorporarão maior flexibilidade, escalabilidade, Ethernet de alta velocidade, funcionalidades wireless e capacidades de integração que facilitarão comunicação entre chão de fábrica e gestão corporativa. Simultaneamente, a virtualização de sistemas permitirá consolidação de funções em plataformas únicas, reduzindo custos de infraestrutura.

A automação pode atingir quatro objetivos fundamentais: aprimorar segurança dos colaboradores, diminuir custos operacionais, melhorar qualidade produtiva e elevar flexibilidade fabril. Se implementada adequadamente, pode proporcionar melhorias em todas as áreas simultaneamente, porém o balanceamento de benefícios varia com diferentes tecnologias. O equilíbrio correto para qualquer organização procederá de sua estratégia geral de operações e objetivos específicos de negócio.

A pesquisa possui limitações inerentes à metodologia de revisão de literatura, concentrando-se em fontes secundárias. Estudos futuros poderiam beneficiar-se de estudos de caso empíricos em empresas brasileiras, permitindo quantificação mais precisa de retornos sobre investimento em contexto nacional. Recomenda-se investigação sobre barreiras à adoção de automação em pequenas e médias empresas brasileiras, considerando particularidades econômicas, técnicas e culturais.

A transição em curso para a Indústria 5.0, caracterizada pela convergência de sistemas díspares operando em sinergia, representa oportunidade substancial para empresas que capitalizarem tecnologias existentes enquanto aceleram implementação de inovações. Empresas que implementarem estratégias holísticas de automação, alinhando estreitamente decisões tecnológicas às necessidades atuais e futuras, estarão mais bem posicionadas para capturar o valor das oportunidades apresentadas.

Ano VI, v.1 2026 | submissão: 18/01/2026 | aceite: 20/01/2026 | publicação: 22/01/2026

Conclui-se que a evolução dos CLPs e DCS desde os anos 1970 até as implementações contemporâneas baseadas em virtualização, IA e IIoT, proporcionaram transformação profunda e mensurável na competitividade industrial global. Os benefícios técnicos e econômicos documentados justificam amplamente os investimentos realizados, estabelecendo a automação avançada não como opção estratégica, mas como necessidade imperativa para sobrevivência empresarial no ambiente competitivo globalizado contemporâneo.

Referências

AGUIRRE, et al. *Enciclopédia de automática: controle e automação*. 11. ed. São Paulo: Blucher, 2016.

ASHTON, K. *Internet das Coisas, nova revolução da conectividade*. Inovação em Pauta, Porto Alegre, n. 18, p. 6–9, 2014.

BESSEN, N. *Sistema domótico para automação e controle de um cômodo residencial*. 2015. 69 f. Monografia (Especialização em Tecnologias em Desenvolvimento de Sistemas) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2015.

BORRACHA, A. M. L. G. *Laboratório remoto de automação industrial*. 2018. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2018.

BRANQUINHO, M. A. *Segurança de automação industrial e SCADA*. São Paulo: GEN LTC, 2014.

CHAMUSCA, A. *Domótica & segurança eletrônica*. 10. ed. São Paulo: Ingenium, 2016.

FLEURY, A. C. C. *Automação na indústria metal-mecânica: tendências da organização do trabalho e da produção*. Revista de Administração, v. 44, n. 11, p. 49–61, 2014.

FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. *Controladores lógicos programáveis: sistemas discretos*. 2. ed. São Paulo: Érica, 2018.

GEORGINI, J. M. *Automação aplicada: descrição e implementação de sistemas sequenciais com PLCs*. 9. ed. São Paulo: Érica, 2018.

JUGEND, D. *Desenvolvimento de produtos em pequenas e médias empresas de base tecnológica: práticas de gestão no setor de automação de controle de processos*. 2015. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

MARQUES, R. M. *O impacto da automação microeletrônica na organização do trabalho em duas montadoras brasileiras*. Revista de Economia Política, v. 20, n. 13, p. 62–78, 2014.

MORAES, C. C.; CASTRUCCI, P. L. *Engenharia de automação industrial*. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

PEREIRA NETO, É.; PAIVA, V. W. M. M. C.; MEZA, E. B. M.; VIANNA, D. S. *Aplicação do método AHP clássico na escolha de um modelo de controlador lógico programável (CLP) para a instalação em um novo projeto de plataforma marítima*. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 10., 2014, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2014.



Ano VI, v.1 2026 | submissão: 18/01/2026 | aceito: 20/01/2026 | publicação: 22/01/2026

RIBEIRO, T.; OLIVEIRA, S. *Projeto de um gateway para automação residencial*. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 1, n. 1, p. 112–134, 2016.

ROSÁRIO, J. M. *Princípios de mecatrônica*. 11. ed. São Paulo: Pearson, 2014.

SILVEIRA, P. R.; SANTOS, W. E. *Automação e controle discreto*. 9. ed. São Paulo: Érica, 2018.