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

# Ferramentas de qualidade aplicadas à bioeconomia circular: uma revisão sistemática da literatura

**Micaela Ines Castillo Ulloa**
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
**Giulihano Luis Feltz Zeni**
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
**Diego Bastos**
Departamento de Graduação em Administração – Centro de Ensino Superior de Maringá (Unicesumar)
**Fabio Neves Puglieri**
Departamento de Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
**Antonio Carlos de Francisco**
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

**Resumo:** A bioeconomia circular surge como um paradigma produtivo indispensável para o desenvolvimento sustentável no setor agroindustrial, ao propor a transição de cadeias lineares para ciclos biológicos regenerativos e de alto valor agregado. Entretanto, a operacionalização dessa transição exige ferramentas estruturadas de gestão capazes de mensurar e otimizar processos. Este artigo tem como objetivo mapear e analisar sistematicamente as ferramentas da qualidade aplicadas no contexto da bioeconomia circular, identificando lacunas metodológicas e avaliando o grau de conexão com as dimensões ambiental, econômica e social da sustentabilidade. A pesquisa adotou o protocolo PRISMA 2020 para uma Revisão Sistemática da Literatura nas bases Scopus e Web of Science. A partir de 171 registros iniciais, consolidou-se um portfólio final de 40 artigos científicos caracterizados e categorizados em matriz analítica. Os resultados revelam uma aceleração expressiva das publicações a partir de 2021. Observou-se acentuada dispersão metodológica com liderança de frameworks híbridos e customizados (n=11) e Lean Six Sigma (n=8), demonstrando que ferramentas isoladas convencionais são insuficientes para lidar com a complexidade bioeconômica. A dimensão ambiental é a mais contemplada nos estudos, seguida da econômica, enquanto a dimensão social permanece criticamente sub-representada. Conclui-se que a gestão da qualidade atua como elemento catalisador da bioeconomia circular quando integrada a abordagens híbridas, sendo urgente a incorporação de indicadores sociais nas práticas de melhoria contínua do setor.

**Palavras-chave:** Gestão de qualidade, Bioeconomia circular, Sustentabilidade, ODS, Gestão integrada

# Quality tools applied to the circular bioeconomy: a systematic literature review

**Abstract:** The circular bioeconomy emerges as an indispensable production paradigm for sustainable development in the agro-industrial sector, as it proposes a transition from linear chains to regenerative biological cycles with high value added. However, implementing this transition requires structured management tools capable of measuring and optimizing processes. This article

aims to systematically map and analyze the quality tools applied in the context of the circular bioeconomy, identifying methodological gaps and assessing the degree of connection with the environmental, economic, and social dimensions of sustainability. The study followed the PRISMA 2020 protocol for a systematic literature review in the Scopus and Web of Science databases. From an initial 171 records, a final portfolio of 40 scientific articles was compiled and characterized and categorized in an analytical matrix. The results reveal a significant increase in publications beginning in 2021. A marked methodological dispersion was observed, with hybrid and customized frameworks (n=11) and Lean Six Sigma (n=8) leading the way, demonstrating that conventional standalone tools are insufficient to address bioeconomic complexity. The environmental dimension is the most frequently addressed in the studies, followed by the economic dimension, while the social dimension remains critically underrepresented. It is concluded that quality management acts as a catalyst for the circular bioeconomy when integrated with hybrid approaches, and there is an urgent need to incorporate social indicators into the sector's continuous improvement practices.

**Keywords:** Quality Management, Circular Bioeconomy, Sustainability, SDGs, Integrated Management

## 1. Introdução

A crescente pressão sobre os ecossistemas globais, intensificada pelas mudanças climáticas, pela escassez de recursos naturais e pela geração descontrolada de resíduos, tem exigido uma reestruturação profunda nos modelos de produção e consumo (NANDA; BERRUTI, 2022). Nesse contexto de transição, o paradigma da bioeconomia circular emerge como uma das estratégias mais promissoras para reorientar o desenvolvimento econômico rumo à sustentabilidade, oferecendo uma alternativa concreta ao modelo linear tradicional de "extrair, produzir, usar e descartar" (VENKATESH, 2022).

A bioeconomia circular resulta da convergência entre o uso produtivo e regenerativo de recursos biológicos renováveis (biomassa) e os princípios da economia circular, voltados ao fechamento de ciclos de materiais, eliminação de desperdícios e manutenção do valor dos produtos ao longo de seu ciclo de vida (SALVADOR et al., 2022; BARROS et al., 2021). No setor agroindustrial, essa abordagem ganha papel de destaque, pois permite transformar subprodutos e efluentes orgânicos em bioprodutos de alto valor agregado, como bioenergia, bioquímicos, biomateriais e fertilizantes orgânicos, promovendo o conceito de biorrefinaria integrada (YAASHIKAA; KUMAR; VARJANI, 2022; MISHRA et al., 2023).

Contudo, a simple intenção de adotar modelos circulares não garante, por si só, que os processos sejam ambientalmente favorável, economicamente viáveis ou socialmente justos. A transição para a bioeconomia circular requer instrumentos operacionais capazes de mensurar, padronizar e aprimorar continuamente os fluxos produtivos. É nesse ponto que a Gestão da Qualidade(GQ) se consolida como um campo estratégico e complementar (SHRESTHA et al., 2025; MISZTAL; RATAJSZCZAK, 2025). Ferramentas clássicas da qualidade, tais como o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), a Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), o Diagrama de Ishikawa, o Controle Estatístico de Processo (CEP) e o Desdobramento da Função Qualidade (QFD), aliadas a metodologias como Lean Six Sigma (LSS), demonstraram histórico de sucesso na redução de variabilidade e eliminação de desperdicios (MATTOS BATISTA DE MORAES et al., 2025; PIERLI et al., 2026).

Apesar do volume expressivo de estudos sobre gestão da qualidade, a integração sistemática de suas ferramentas com indicadores multidimensionais de sustentabilidade, nas dimensões ambiental, econômica e social do Triple Bottom Line, ainda é incipiente no contexto específico da bioeconomia circular (BASTAS; LIYANAGE, 2018; POTKANY et al., 2022). Grande parte das aplicações no setor agroindustrial limita-se à eficiência operacional de curto prazo ou ao cumprimento normativo, sem articular explicitamente o desempenho dos processos aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030

(CAIXETA et al., 2022; HASSAN, 2026). É nesse ponto que reside o problema de pesquisa: **quais ferramentas da qualidade têm sido efetivamente aplicadas no contexto da bioeconomia circular, e em que medida suas aplicações se articulam com indicadores de sustentabilidade nas dimensões ambiental, econômica e social?**

Para responder a essa questão, este artigo tem como objetivo mapear e analisar sistematicamente a produção científica sobre a aplicação de ferramentas da qualidade em empresas e iniciativas de bioeconomia circular. Especificamente, busca-se? (i) identificar as ferramentas e metodologias de qualidade mais freqüentes no setor; (ii) verificar quais dimensões da sustentabilidade são priorizadas; (iii) avaliar o grau de integração entre as ferramentas e os indicadores de desempenho; e (iv) propor direcionamentos para futuras pesquisas e práticas gerenciais.

A relevância deste trabalho fundamenta-se na urgente necessidade de subsidiar gestores, engenheiros de produção e pesquisadores com uma visão sistematizada das melhores práticas de qualidade voltadas à transição circular. O artigo está estruturado em cinco seções: esta Introdução; o Referencial Teórico (Seção 2); a Metodologia (Seção 3); os Resultados e Discussões (Seção 4); e a Conclusão (Seção 5).

## 2. Referencial Teórico

A bioeconomia circular resulta da fusão estratégica entre duas correntes de pensamento: a bioeconomia, focada na substituição de insumos de origem fóssil por recursos biológicos renováveis, e a economia circular, orientada à eliminação do conceito de resíduo e à preservação do valor dos materiais em ciclos fechados (NANDA; BERRUTI, 2022; VENKATESH, 2022). Em um sistema de bioeconomia circular, os fluxos de biomassa e resíduos orgânicos são reinseridos continuamente na cadeia de valor por meio de reciclagem, compostagem, digestão anaeróbia ou conversão química em biorrefinarias (SALVADOR et al., 2021; PILIPENETS et al., 2025).

No setor agroindustrial, a biomassa residual (malhas, bagaço, efluentes líquidos, cascas e resíduos de poda) representa um ativo estratégico de grande potencial (YAASHIKAA; KUMAR; VARJANI, 2022). Estratégias como a cascata de uso da biomassa priorizam primeiramente aplicações de alto valor (como extração de compostos bioativos, proteícas e biomateriais), seguidas por reutilização de segunda geração (rações e polímeros) e, finalmente, recuperação energética (biogás e biocombustíveis) (MISHRA et al., 2023; ALINEJAD et al., 2024).

Historicamente, a Gestão da Qualidade concentrou-se na conformidade de produtos e na satisfação do cliente direto. Contudo, sua evolução conceitual expandiu o escopo para a Gestão da Qualidade Total (TQM) e, mais recentemente, para a Qualidade 4.0, incorporando demandas de todas as partes interessadas (stakeholders), incluindo a sociedade e o meio ambiente (AICHOUNI; SILVA; FERREIRA, 2024; SHRESTHA et al., 2025). Ferramentas tradicionais como o PDCA, FMEA e CEP oferecem a estrutura lógica para identificar causas-raiz de ineficiências e implementar melhorias padronizadas (MATTOS BATISTA DE MORAES et al., 2025).

A integração entre a GQ e a sustentabilidade tem dado origem a abordagens híbridas inovadoras, como o Green Lean Six Sigma (GLSS) e o Circular Lean Six Sigma 4.0 (CLSS 4.0) (SKALLI et al., 2024; PERERA; NG; HASSAN, 2026). Essas metodologias combinam a eliminação de desperdícios (Lean), a redução de variabilidade (Six Sigma), o rastreamento digital (Indústria 4.0) e os princípios da economia circular (9Rs), demonstrando que a qualidade pode funcionar como a espinha dorsal operacional para o alcance do desempenho sustentável (CAIXETA et al., 2022; EROL et al., 2022).

## 3. Metodologia

Para cumprir o objetivo de mapear e analisar a literatura científica sobre a aplicação de ferramentas da qualidade em empresas de bioeconomia circular, optou-se por conduzir uma revisão sistemática da literatura seguindo o protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (Page et al.,2021). O protocolo PRISMA assegura a transparência, reprodutibilidade e redução de vieses no processo de seleção e análise dos estudos.

A RSL fundamentou-se em três blocos conceituais combinados por meio de operadores booleanos (AND/OR), aplicados aos campos de título, resumo e palavras-chave nas bases de dados Scopus e Web of Science (WoS). A Tabela 1 detalha os termos empregados.

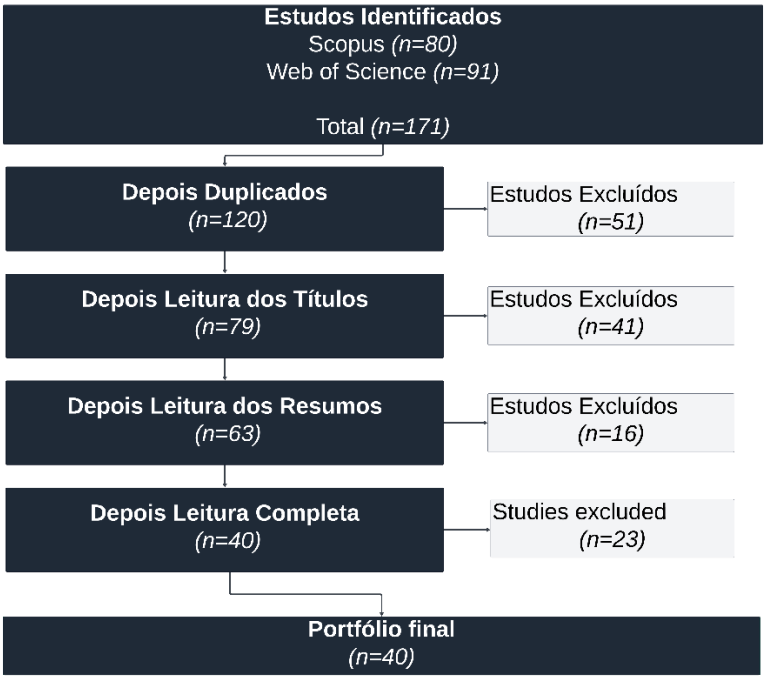
**Tabela 1 – Termos-chave e combinações booleanas**

| Conceito 1 | Conceito 2 | Conceito 3 |
|---|---|---|
| "quality tools" OR "quality management" OR "PDCA" OR "FMEA" OR "Ishikawa" OR "statistical process control" OR "Six Sigma" OR "QFD" | "circular bioeconomy" OR "bioeconomy" OR "circular economy" | "sustainability indicators" OR "sustainability" OR "agroindustry" OR "agro-industrial" |

**Fonte: Auttoria própria (2026)**

A seleção dos artigos seguiu cinco etapas consecutivas, conforme ilustrado no fluxo PRISMA da Figura 1: (1) Identificação: busca inicial resultando em 171 registros (80 na Scopus e 91 na Web of Science); (2) Remoção de Duplicatas: eliminação de 51 registros duplicados com suporte do software Mendeley, restando 120 estudos únicos; (3) Triagem por Título: exclusão de 41 artigos desconectados do tema, restando 79 estudos; (4) Triagem por Resumo: exclusão de 16 artigos sem aplicação explícita de ferramentas da qualidade, restando 63 estudos; (5) Elegibilidade e Leitura Completa: exclusão de 23 trabalhos que não atenderam integralmente aos critérios de inclusão (trabalhos puramente teóricos sem dados primários, anais de eventos ou capítulos de livros). Ao final, consolidou-se um portfólio final de 40 artigos científicos de alta relevância.

**Figura 1 – Fluxo de seleção dos estudos**




**Fonte: Autoria própria (2026)**

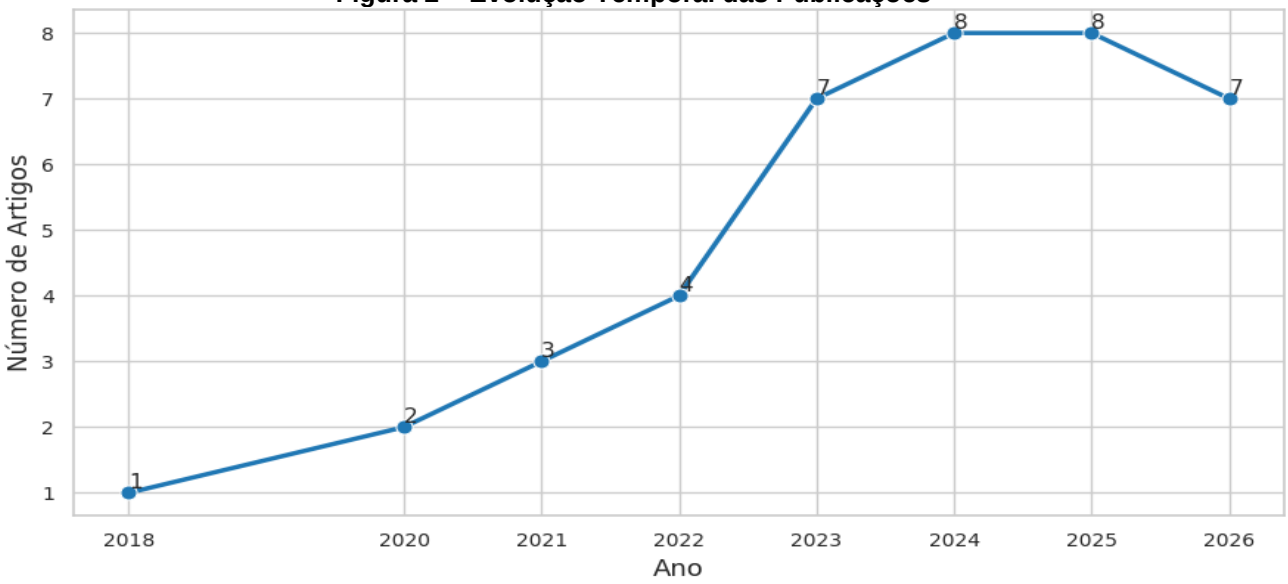
Os 40 artigos selecionados foram fichados e categorizados em uma matriz analítica no MS Excel, registrando: autor, ano, periódico, ferramentas da qualidade identificadas, setor agroindustrial/bioeconômico avaliado, e dimensões da sustentabilidade contempladas (Ambiental, Econômica e Social).

## 4. Resultados e Discussões

### 4.1. Panorama Temporal e Aceleração Científica

A análise da distribuição temporal do portfólio selecionado (Figura 2) evidencia que a pesquisa sobre a integração entre gestão da qualidade e bioeconomia circular é recente e apresenta forte ritmo de crescimento. Entre 2018 e 2020, a produção era incipiente, com apenas 1 a 2 artigos por ano. A partir de 2021, observa-se uma expansão acelerada, atingindo o pico de 8 publicações anuais em 2024 e 2025, e mantendo ritmo elevado até agosto 2026 (7 publicações).

**Figura 2 – Evolução Temporal das Publicações**



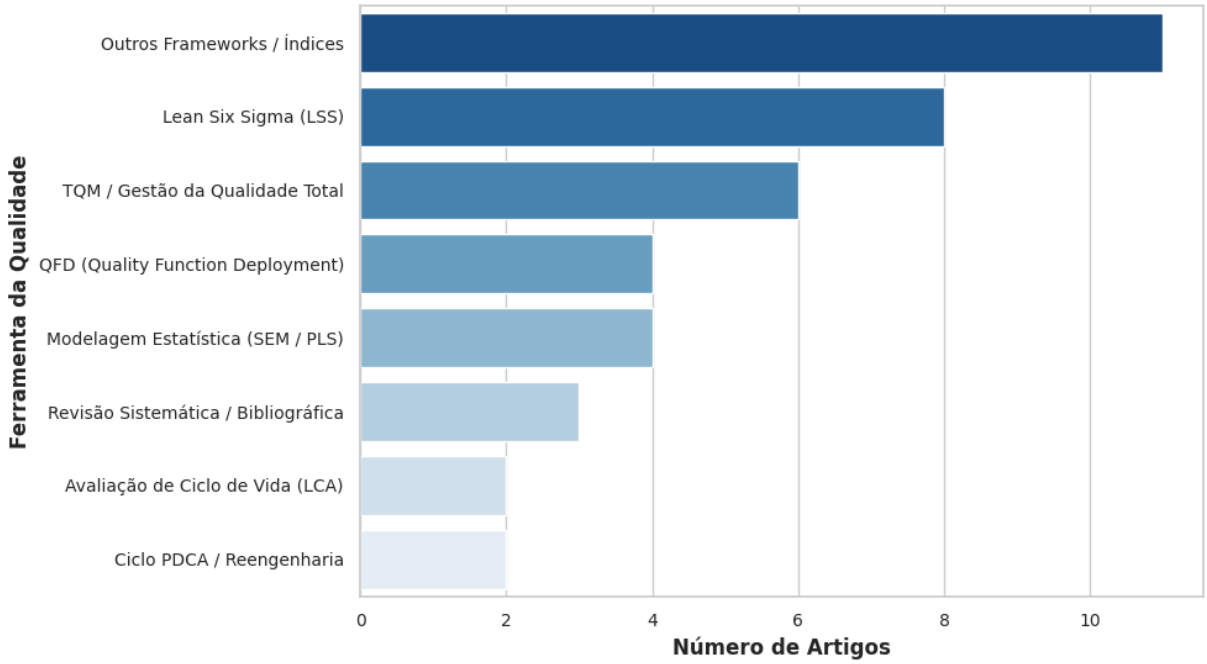

**Fonte: Autoria própria em base ao portfólio final (2026)**

Essa aceleração científica não ocorre por acaso. Ela acompanha a consolidação das políticas globais de sustentabilidade, destacando-se o Plano de Ação para a Economia Circular da União Europeia e a urgência do cumprimento das metas dos ODS até 2030. Estudos como o de Caixeta et al. (2022), ao integrar o Nexus Água-Energia-Alimento a modelos de excelência operacional, e o de Perera, Ng e Hassan (2026), ao mapear o uso do Lean Six Sigma no agronegócio, ilustram como o setor agroindustrial passou a enxergar a qualidade como conduto operacional para viabilizar estratégias bioeconômicas complexas.

### 4.2. Mapeamento e Frequência das Ferramentas da Qualidade

A análise das ferramentas da qualidade aplicadas no portfólio (Figura 3) revela um achado metodológico de grande relevância: não há uma ferramenta única hegemônica. Pelo contrário, verifica-se uma marcante dispersão e a preferência por abordagens integradoras e customizadas.

**Figura 3 – Frequência de Aplicação das Ferramentas da Qualidade**




**Fonte: Autoria própria em base ao portfólio final (2026)**

A categoria 'Outros Frameworks / Índices' lidera a amostragem com 11 artigos (27,5%), seguida por Lean Six Sigma (LSS) com 8 artigos (20,0%) e TQM / Gestão da Qualidade Total com 6 artigos (15,0%). Empatados com 4 artigos (10,0% cada) surgem o Desdobramento da Função Qualidade (QFD) e a Modelagem Estatística por Equações Estruturais (SEM / PLS). Revisões Sistemáticas específicas correspondem a 3 estudos (7,5%), enquanto Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) isolada e o Ciclo PDCA / Reengenharia registraram 2 estudos cada (5,0%).

Esses dados contrariam a expectativa inicial de que ferramentas isoladas tradicionais (como diagrama de causa e efeito ou cartas de controle puras) dominariam a literatura. A prevalência de frameworks customizados e híbridos reflete a natureza multifacetada dos sistemas bioeconômicos. Empresas e pesquisadores perceberam que otimizar apenas uma variável de processo não resolve os desafios de circularidade. Estudos emblemáticos do portfólio confirmam essa tendência de hibridização:

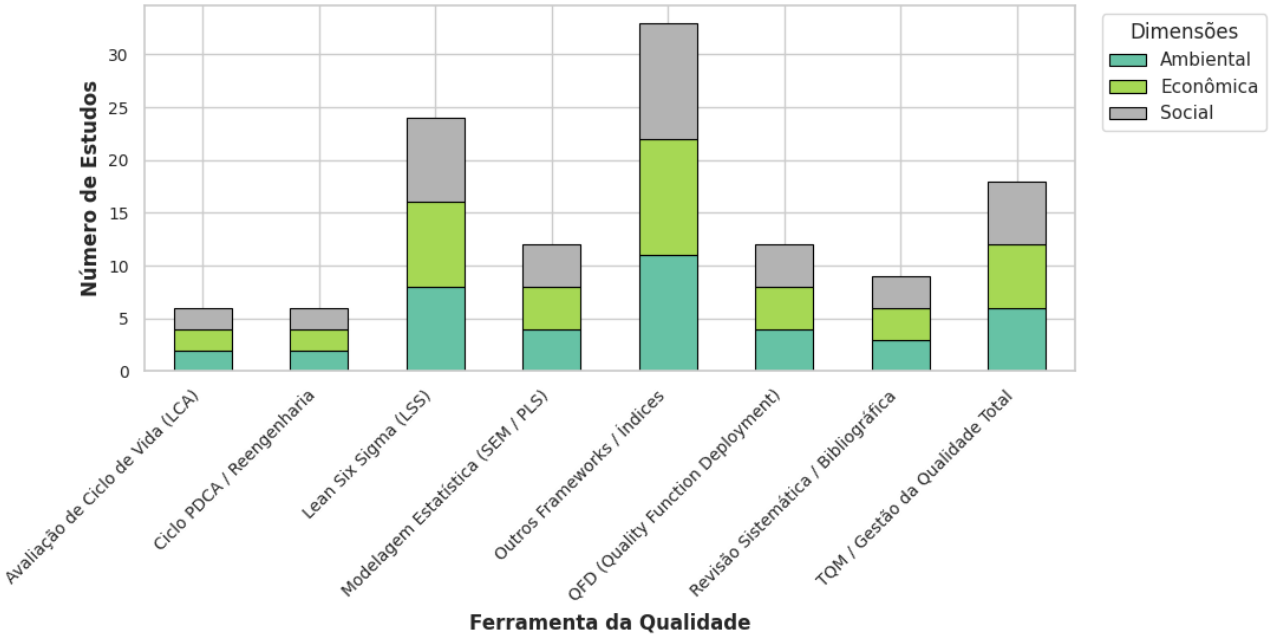
- **Circular Lean Six Sigma 4.0 (CLSS 4.0):** Skalli et al. (2024) e AlHerimi et al. (2025) propõem a integração do ciclo DMAIC com sensores da Indústria 4.0 (IoT, Big Data) e estratégias dos 9Rs para otimizar estagios de tratamento de efluentes e manufatura sustentável.
- **QFD Orientado à Circulariedade (QFD-CE e QFD-QCC):** Siwiec, Pacana e Gazda (2023) e Poponi et al. (2026) adaptaram a Casa da Qualidade tradicional, inserindo 'Requisitos Circulares do Cliente' para alinhar o ecodesign de bioprodutos e cosméticos com a percepção do consumidor.
- **Balanço de Massa e PDCA em Logística Circular:** Iturriago Castro et al. (2026) e Barros et al. (2021) aplicaram o ciclo PDCA acoplado ao balanço de massa para gestão de resíduos de madeira e paletes em operações portuárias e agroindustriais.
- **Índices de Circularidade de Processos (ProCI):** Pilipenets et al. (2025) desenvolveram um framework conceitual de indicador de circularidade de processo que integra fluxos de materiais, água, energia e emissões operacionais de GEE.

- **MCDM e Lógica Fuzzy na Bioeconomia:** Erol et al. (2022) e Alinejad et al. (2024) combinaram QFD e DEMATEL com conjuntos fuzzy intuitivos circulares (CIF-QFD) e tecnologia Blockchain para superar barreiras de rastreabilidade na cadeia de suprimentos de biomassa.

### 4.3. Conexão com as Dimensões da Sustentabilidade

A análise da articulação entre as ferramentas da qualidade e os três pilares da sustentabilidade (Figura 4) revela um desequilíbrio crítico que exige reflexão acadêmica e gerencial.

**Figura 4 – Conexão entre Ferramentas da Qualidade e Dimensões da Sustentabilidade**




**Fonte: Autoria própria em base ao portfólio final (2026)**

Conforme demonstrado na Figura 4, a dimensão ambiental é a mais recorrente em praticamente todas as ferramentas analisadas, sendo abordada no topo das metas operacionais (redução de pegada de carbono, minimização de efluentes, eficiência hídrica e energética). A dimensão econômica aparece logo em seguida, fortemente associada à redução de custos operacionais, aumento de produtividade e retorno sobre o investimento (ROI).

Em contrapartida, a dimensão social é consistentemente a menos abordada em quase todas as metodologias de qualidade. Quando citada, a dimensão social surge de forma periférica ou secundária, frequentemente restrita a aspectos básicos de saúde e segurança do trabalho (SST) ou cumprimento de exigências trabalhistas legais, sem integração real aos indicadores de desempenho da melhoria contínua.

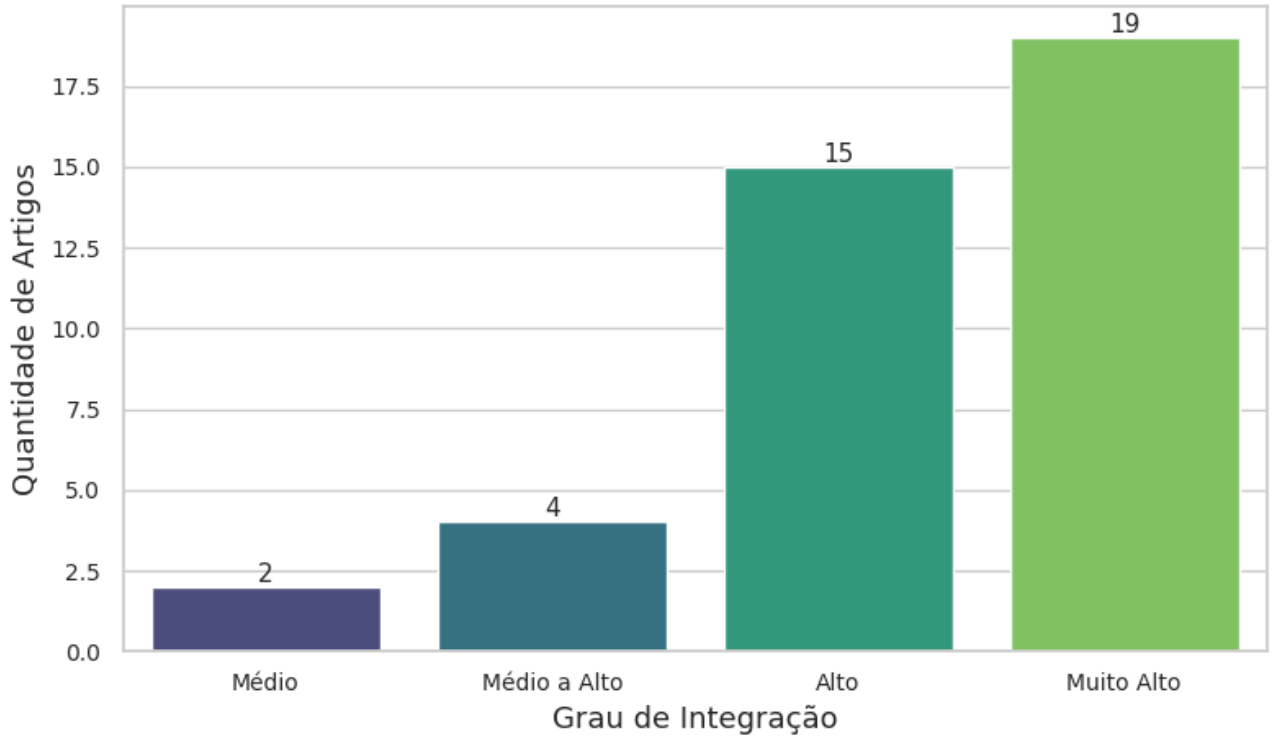
Estudos do portfólio reforçam esse contraste. Trabalhos como o de Marrucci, Marchi e Daddi (2020), que utiliza LSS para redução da pegada de carbono, e de Masudin et al. (2025), que combina LCA e FMEA na indústria madeireira, focam intensamente em eficiência ambiental e financeira. Por outro lado, pesquisas voltadas ao fator humano, tais como o estudo de Ribeiro et al. (2023) sobre necessidades de capacitação na bioeconomia e o de Brefo-Manuh, Dwomoh e Tetteh (2026) sobre cultura organizacional e integração da cadeia verde em PMEs, demonstram que o engajamento humano é o verdadeiro motor da

mudança sustentável, embora raramente esteja conectado às ferramentas formais da qualidade.

Ao aprofundar a análise sobre como essas ferramentas operam na prática, percebe-se que a escolha por abordagens mais robustas impacta diretamente a maturidade dos trabalhos. Quando avaliamos a profundidade com que os estudos conectam os processos produtivos aos objetivos de circularidade, os dados revelam um panorama bastante animador.

Como ilustra a Figura 6, a imensa maioria da literatura recente caminha para patamares elevados de sinergia: 19 artigos alcançam um grau de integração "Muito Alto" e 15 configuram um nível "Alto", somando a esmagadora maioria do portfólio. Em contrapartida, estudos com integração moderada ou intermediária (Médio, com 2 publicações, e Médio a Alto, com 4) tornaram-se exceção.

**Figura 3 – Distribuição do Grau de Integração nos Estudos**




**Fonte: Autoria própria em base ao portfólio final (2026)**

Esse cenário demonstra que o campo amadureceu de vez. A comunidade científica e o setor agroindustrial perceberam que não basta aplicar uma ferramenta isolada para cumprir uma meta ecológica pontual; é preciso estruturar redes de valor sistêmicas que amarrem qualidade, eficiência biológica e tomada de decisão estratégica de forma coesa.

## 5. Conclusão

Esta revisão sistemática da literatura cumpriu integralmente o objetivo de mapear e analisar a aplicação de ferramentas da gestão da qualidade em empresas e iniciativas da bioeconomia circular, preenchendo uma lacuna crítica na intersecção entre a engenharia de produção e a sustentabilidade.

As principais conclusões e sínteses analíticas do estudo estruturam-se nos seguintes pontos fundamentais:

- Aceleração e Consolidação Científica do Campo: Demonstrou-se uma clara expansão do volume de publicações a partir de 2021 (com ápice no biênio 2024-2025), consolidando a gestão da qualidade não como mero mecanismo passivo de conformidade industrial, mas como uma viabilizadora operacional indispensável para a viabilidade prática da bioeconomia circular.

- Prevalência de Frameworks Híbridos e Sistemáticos: Ferramentas tradicionais aplicadas de forma isolada (como PDCA ou FMEA convencionais) revelaram-se insuficientes frente à alta variabilidade e complexidade dos ecossistemas biológicos. Observa-se o predomínio de abordagens integradas e customizadas, como o Circular Lean Six Sigma 4.0 (CLSS 4.0), o QFD-CE (Desdobramento da Função Qualidade adaptado à Economia Circular) e o uso de índices de circularidade de processo (ProCI).

- Desequilíbrio Tridimensional: A aplicação prática das ferramentas da qualidade está maciçamente concentrada nas dimensões ambiental (redução de desperdícios, pegada de carbono e emissões) e econômica (eficiência operacional e mitigação de custos). Constatou-se um preocupante vazio social, evidenciando que indicadores de saúde e segurança do trabalhador, bem-estar, transição justa e engajamento comunitário precisam ser integrados urgentemente às rotinas de qualidade.

- Implicações Práticas e Gerenciais: O estudo fornece aos engenheiros de produção e gestores agroindustriais um direcionamento metodológico estruturado. Evidencia-se que a gestão da qualidade deve transcender a redução de desperdícios lineares para orientar o fechamento de ciclos de vida de produtos biológicos (*closed-loop*), utilizando dados em tempo real e monitoramento contínuo para suporte à tomada de decisão.

- Contribuição Teórica e Alinhamento aos ODS: O trabalho avança a fronteira do conhecimento ao conectar a Engenharia da Sustentabilidade com a Engenharia da Qualidade, fornecendo suporte direto ao cumprimento das metas da Agenda 2030 da ONU, notadamente o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima).

## Referências


AICHOUNI, M.; SILVA, A.; FERREIRA, L. Quality Management 4.0 and Industry 4.0 integration for organizational sustainability: A systematic review. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 35, n. 3, p. 311-328, 2024.

ALHERIMI, M. et al. Integrating Lean Six Sigma and Circular Economy principles in wastewater treatment facilities: A structured framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 435, p. 140220, 2025.

ALINEJAD, S. et al. Modeling the challenges of circular bioeconomy using Circular Intuitionistic Fuzzy QFD and DEMATEL methods. **Energy Conversion and Management,** v. 314, p. 118690, 2024.

BARROS, M. V. et al. Circular economy as a driver to sustainable businesses. **Cleaner Environmental Systems**, v. 2, p. 100006, 2021.

BASTAS, A.; LIYANAGE, J. P. Sustainable supply chain quality management: A systematic review. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, p. 726-744, 2018.

BREFO-MANUH, A.; DWOMOH, G.; TETTEH, S. Organisational culture, green supply chain integration and circular economy performance in manufacturing SMEs. **Business Strategy and the Environment**, v. 35, p. 1-22, 2026.

CAIXETA, F. et al. Sustainability-focused excellence: A novel model integrating the Water–Energy–Food Nexus for agro-industrial companies. **Sustainability**, v. 14, n. 15, p. 9678, 2022.

EROL, I. et al. Alleviating the impact of the barriers to circular economy adoption through blockchain: An investigation using an integrated MCDM-based QFD with Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets. **Computers & Industrial Engineering**, v. 165, p. 107962, 2022.

GHOLAMI, H. et al. Green Lean Six Sigma implementation in manufacturing sector: A systematic review and future research agenda. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 13, n. 4, p. 890-915, 2022.

ITURRIAGO CASTRO, M. M. et al. Residual-wood mass balance and PDCA cycle for port logistics waste management in a circular economy framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 545, p. 147770, 2026.

MARRUCCI, L.; MARCHI, M.; DADDI, T. Improving the carbon footprint of supermarkets through Lean Six Sigma. **Journal of Cleaner Production,** v. 252, p. 119772, 2020.

MASUDIN, I. et al. Life Cycle Assessment and Failure Mode and Effects Analysis (LCA-FMEA) integration for sustainable wood processing industry. **Sustainable Production and Consumption**, v. 47, p. 617-631, 2025.

MATTOS BATISTA DE MORAES, R. et al. Quality tools for environmental emissions reduction in process industries: A systematic literature review. **Clean Technologies and Recycling,** v. 6, n. 2, p. 139-160, 2025.

MISHRA, S. et al. Agro-industrial waste valorization for circular bioeconomy: Biomaterials and bio-composites applications. **Bioresource Technology,** v. 370, p. 128510, 2023.

MISZTAL, A.; RATAJSZCZAK, M. Quality management evolution in the era of sustainability and digital transformation. **International Journal for Quality Research**, v. 19, n. 1, p. 45-62, 2025.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, p. e1000097, 2009.

NANDA, S.; BERRUTI, F. Municipal solid waste management and landfilling technologies: A review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 20, n. 2, p. 1133-1142, 2022.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, n. 71, p. 1-9, 2021.

PERERA, S.; NG, Y. H.; HASSAN, M. Application of Lean, Six Sigma, and Lean Six Sigma in agribusiness towards sustainability: A systematic literature review. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 17, n. 8, p. 330-362, 2026.

PIERLI, G. et al. Quality tools and Triple Bottom Line integration: Empirical evidence from European manufacturing firms. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 37, n. 2, p. 180-198, 2026.

PILIPENETS, O. et al. Process Circularity Framework: Introducing the Process Circularity Index (ProCI). **Resources, Conservation & Recycling,** v. 215, p. 108083, 2025.

POPONI, S. et al. Applying Quality Function Deployment (QFD) to circular cosmetics product design: The Sunscreen QFD-QCC approach**. Journal of Innovation & Knowledge**, v. 15, p. 100987, 2026.

POTKANY, M. et al. Integration of quality management and sustainability in wood-processing enterprises. **Sustainability**, v. 14, n. 8, p. 4512, 2022.

RIBEIRO, B. et al. Skills and training needs for circular bioeconomy transition in European agri-food sector. **Journal of Cleaner Production**, v. 382, p. 135210, 2023.

SALVADOR, R. et al. Key aspects for designing business models for a circular bioeconomy. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 124341, 2021.

SHRESTHA, A. et al. Total Quality Management and stakeholder satisfaction in sustainable operations. **International Journal of Production Economics**, v. 268, p. 109112, 2025.

SIWIEC, D.; PACANA, A.; GAZDA, A. A new QFD-CE method for considering the concept of sustainable development and circular economy. **Energies,** v. 16, n. 5, p. 2474, 2023.

SKALLI, D. et al. Analyzing the integrated effect of circular economy, Lean Six Sigma, and Industry 4.0 on sustainable manufacturing performance: A practice-based view perspective. **Business Strategy and the Environment,** v. 33, n. 2, p. 1208-1226, 2024.

VENKATESH, V. G. Circular bioeconomy in global supply chains: Principles, practices, and prospects. **Management of Environmental Quality**, v. 33, n. 5, p. 1100-1122, 2022.

YAASHIKAA, S. A.; KUMAR, P. S.; VARJANI, S. Valorization of agro-industrial wastes for bioproducts in a circular bioeconomy framework. **Bioresource Technology**, v. 343, p. 126120, 2022.