



Campus São Mateus
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO



DMAIC APLICADO AO CONTROLE DE PRODUÇÃO DE PEÇAS MANUFATURADAS DE REPOSIÇÃO: ESTUDO DE CASO EM UMA FÁBRICA DE MAQUINÁRIOS AGRÍCOLAS

DMAIC APPLIED TO THE PRODUCTION CONTROL OF MANUFACTURED REPLACEMENT PARTS: A CASE STUDY IN AN AGRICULTURAL MACHINERY FACTORY

DMAIC APLICADO AL CONTROL DE PRODUCCIÓN DE PIEZAS DE REPUESTO MANUFACTURADAS: ESTUDIO DE CASO EN UNA FÁBRICA DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Daniel Alejandro Mantilla Gómez¹, Fernando de Araújo², Aline Gonçalves do Santos³, & Lázaro Antônio da Fonseca Júnior^{4*}

^{1 2 3 4} Universidade Federal de Catalão

¹ damantillagomez@gmail.com ² faraujo@ufcat.edu.br ³ aline_santos@ufcat.edu.br ⁴ jrlazaro@ufcat.edu.br

ARTIGO INFO.

Publicado: 04.12.2024

PALAVRAS-CHAVE: DMAIC; Lean Manufacturing; Controle; Fluxo de Material.

KEYWORDS: DMAIC; Lean Manufacturing; Control; Material Flow.

PALABRAS CLAVE: DMAIC; Lean Manufacturing; Control; Flujo de Material.

***Autor Correspondente:** Fonseca Jr., L. A. da.

RESUMO

O mundo globalizado e competitivo exige das empresas níveis de qualidade e de controle de processos cada vez mais rígidos. O desafio por garantir um alto padrão de servibilidade ao cliente demanda a execução de tarefas de forma a não desperdiçar recursos materiais e humanos, agregando valor ao serviço ou produto final. Dentro desse contexto, este trabalho visa a identificar as causas raízes que são responsáveis pelos atrasos nos envios de peças de reposição de uma empresa de maquinários agrícolas ao seu centro de distribuição, propondo implementações que melhorem o processo de manufatura das peças através da metodologia DMAIC, orientada pela filosofia do *lean manufacturing*.

ABSTRACT

The globalized and competitive world requires companies to maintain increasingly strict levels of quality and process control. The challenge of ensuring a high standard of serviceability for the customer demands that tasks be performed in a way that avoids wasting material and human resources, adding value to the final service or product. Within this context, this work aims to identify the root causes responsible for delays in the shipment of replacement parts from an agricultural machinery company to its distribution center, proposing implementations to improve the manufacturing process of these parts through the DMAIC methodology, guided by the principles of lean manufacturing.

RESUMEN

El mundo globalizado y competitivo exige que las empresas mantengan niveles de calidad y control de procesos cada vez más estrictos. El desafío de garantizar un alto estándar de servicio al cliente requiere que las tareas se realicen de manera que se eviten desperdicios de recursos materiales y humanos, agregando valor al servicio o producto final. En este contexto, este trabajo tiene como objetivo identificar las causas raíz responsables de los retrasos en el envío de piezas de repuesto de una empresa de maquinaria agrícola a su centro de distribución, proponiendo implementaciones para mejorar el proceso de fabricación de estas piezas mediante la metodología DMAIC, orientada por los principios de lean manufacturing.

INTRODUÇÃO

Em meados do século 19, após a Revolução Industrial, o mundo passou por uma mudança cultural drástica, em que a sociedade, ávida por adquirir o máximo no menor tempo possível, sem entender o real custo ambiental e humano por trás disso, começou a perceber valor no consumismo e materialismo. Por outro lado, a globalização e o aumento da população trouxeram consigo desafios antes nunca imaginados, geralmente desencadeados por uma causa raiz: a fome.

Foi a partir desse cenário que o mundo enxergou no agro uma solução para as problemáticas sociais ascendentes advindas do acesso limitado à comida. Assim, a indústria de maquinários agrícolas se tornou protagonista no desenvolvimento de soluções tecnológicas que garantissem a maior produtividade e eficiência para as diferentes etapas que envolvem o processo de plantio e colheita de uma cultura, com o menor impacto ambiental possível (Karunathilake et al., 2023).

Entretanto, como qualquer outra indústria, há uma série de elementos que devem estar bem consolidados para poder garantir vantagem competitiva frente à concorrência. O controle de produção, processos e qualidade, aliado à melhoria contínua, além de produtividade, eficiência, uso consciente de materiais e alto nível de servicibilidade ao cliente (que são essenciais nessa corrida pelo *market share*) são as ferramentas que permitem que as empresas estejam à frente no mercado.

Desse ponto de vista que o *lean manufacturing* assume papel fundamental. Conforme Díaz-Reza (2022), essa filosofia busca a eliminação de 8 desperdícios – sendo eles de estoque, superprodução, superprocessamento, movimento, transporte, defeitos, espera e intelectual, os quais são responsáveis por custos desnecessários e baixa qualidade, que não trazem valor ao cliente e podem ser identificados e atacados através de diversas ferramentas e metodologias.

Uma das metodologias mais versáteis para a resolução de problemas é o DMAIC (acrônimo para *Define, Measure, Analysis Improvement and Control*), que tem por objetivo guiar projetos de melhorias identificando as causas raízes e permitir propostas de implementação que tragam resultados expressivos, ao mesmo tempo em que cuida da manutenção desse novo status. Além disso, é amplamente utilizada no mundo industrial dada a praticidade e efetividade de foco em oportunidades que representam valores significativos para a empresa (Mittal et al., 2023).

É em função dessa problemática que este trabalho visa à aplicação dos conceitos DMAIC em um projeto que busca aumentar o nível de servicibilidade no atendimento de peças de reposição de uma fábrica de maquinários agrícolas. Ainda, orientado pela filosofia *lean*, procura garantir o controle do processo passando pelas etapas de manufatura das peças, a qual se inicia no corte das chapas, posteriormente passa por dobra ou calandra, pintura e, por fim, expedição. O objetivo final é enviar as peças de reposição dentro do prazo que o cliente está disposto a esperar, diminuir os custos de produção e eliminar desperdícios ao longo das etapas.

METODOLOGIA

O primeiro passo do projeto foi realizar visitas *in loco* às áreas de primários, pintura e expedição para poder realizar o mapeamento de processos e entender o fluxo de informação e material durante a manufatura das peças de reposição. Em paralelo, entrevistas e reuniões constantes com supervisores, facilitadores e operadores permitiram entender a relação fornecedor/cliente entre os departamentos e as dificuldades e expectativas para cada etapa.

Para poder entender os desvios das peças de reposição absorvidas para alimentar a linha de produção, foi feita uma análise de dados via PowerBI, usando como fonte um banco de dados do SAP HANA da empresa. Esses dados mostravam a relação entre ordens de produção de reposição confirmadas e quantidade de peças pintadas, última etapa com registro feita pelo sistema antes do envio ao Centro de Distribuição (CD) pelo time de expedição.

Foi a partir dessas análises e discussões que testes de melhorias foram executados e, após validação do piloto, implementaram-se definitivamente as mudanças. Os resultados das mudanças foram comprovados através da comparação entre os registros de envio das peças ao CD antes, durante e depois das implementações.

A aplicação do DMAIC seguiu as seguintes fases: i) detecção do problema de envio de peças em atraso, fora do prazo previsto pela empresa e proposta de um projeto de melhoria; ii) criação de um time multifuncional composto por membros de todas as áreas envolvidas, entrevistas e identificação das características críticas para cada cliente (D); iii) estudo da problemática através de mapeamento de processos e criação de um plano para coletar dados que pudessem traduzir quantitativamente o sistema (M); iv) análise dos dados por meio de ferramentas de *Business Intelligence* (A); v) execução de implementações pilotos que posteriormente foram aprovadas quando validadas (I); vi) estabelecimento de um cronograma de reuniões de acompanhamento dos *Key Performance Indicators* (KPIs) das etapas e mudanças físicas que garantissem os resultados obtidos (C).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em fevereiro a gestão da área de peças percebeu uma tendência no aumento do atraso da entrega de peças de reposição manufaturadas ao CD. Além de não conseguir performar dentro das metas da empresa, foi possível identificar diversas ordens de produção para o mesmo pedido. Desencadeando um baixo nível de atendimento ao cliente final e custos elevados de produção.

Em função desse cenário, em março, a gerência aprovou a execução de um projeto DMAIC – formado por um time multifuncional composto por membros das áreas de primários, pintura, expedição, logística interna e peças, do qual o objetivo era, no menor tempo possível, identificar as causas raízes, implementar melhorias e garantir que o processo performasse dentro das metas de entrega da empresa. Assim, o projeto passou pelas 5 fases da metodologia, explicadas detalhadamente nos próximos subtópicos.

Define:

Define foi a primeira etapa do projeto. Nela foi possível desenvolver o *Project charter*, que expôs o problema (atraso no envio das peças e múltiplas ordens de produção para um mesmo pedido por perda para a linha corrente), o objetivo (enviar as peças de reposição manufaturadas dentro do prazo estipulado pela empresa, o time responsável), os ganhos esperados (garantir 90% dos envios dentro do prazo e os *deliverables*).

Para melhor entender o cenário, foi executado um SIPOC conforme Tabela 1, que relacionou as entradas e saídas das áreas passando por primários, depois pintura e, por fim, expedição, sendo a logística interna a responsável por intermediar esses transportes.

Tabela 1. Fluxo de material analisado via SIPOC

SUPPLIER	INPUT	PROCESS	OUTPUT	CUSTOMER
Primários	Chapas metálicas	Corte das peças	Peças cortadas prontas para a operação de dobra (2ª) ou calandra (3ª)	Primários
Primários	Peças cortadas prontas para 2ª ou 3ª operação	2ª ou 3ª operação	Peças dobradas ou calandradas	Primários
Primários	Peças dobradas ou calandradas	Acumulação para transportar para a pintura	Containers com peças	Pintura
Pintura	Containers com peças	Pintar as peças	Peça pintada	Expedição
Expedição	Peça pintada	Embarque ao CD	Peça enviada	CD

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Em adição a isso, usou-se o VOC de acordo com a Tabela 2. As informações vieram tanto dos supervisores das áreas como dos facilitadores e operadores por meio de entrevistas e reuniões. A partir disso, foi possível identificar as CTQs conforme ilustra a Figura 1 para cada etapa.

Tabela 2. Dificuldades observadas pelos operadores

RANK	CUSTOMER	VOC	KEY ISSUE	CTQ
1	Operadores da 2ª ou 3ª operação	"As peças estão espalhadas em containers diferentes por primários"	Não existe carrinho de movimentação para as peças de reposição, com ordens de produção própria	Implementar carrinho de movimentação exclusivo para o transporte das peças de reposição entre corte, operações e pintura
2	Operadores da pintura	"As peças chegam com ordens de produção da linha e não consigo identificar para onde enviar as peças"	As peças de reposição que chegam à pintura não são discriminadas das que alimentam a linha e muitas vezes são iguais ou parecidas	Mudar a ordem de reposição para outra cor e, assim, na hora de adicionar no kanban da pintura, ficará visualmente claro quais são as peças de linha e de reposição carregadas
3	Operadores da logística	"Às vezes transportamos as peças de reposição para a linha, ou vice-versa, porque todas elas ficam no mesmo lugar"	Não existe um espaço definido para a reposição na área da pintura	Definir um local próprio para as peças de reposição depois de pintadas

Fonte: Autores (2024).

Figura 1. Organograma do CTQ

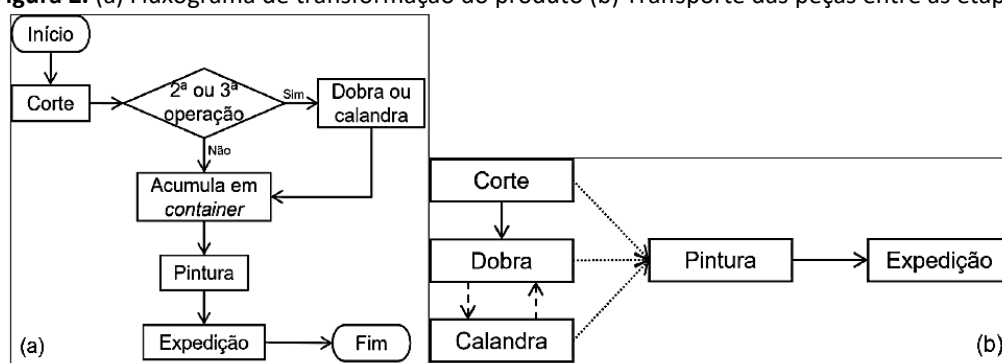


Fonte: Autores (2024).

Measure:

A fase *Measure* constou de dois mapeamentos, um plano de coleta de dados e registro de fotos e vídeos *in loco*. O primeiro mapeamento foi de processos conforme Fig. (2a) que apresenta o fluxograma das etapas pelas quais a peça passa durante a sua transformação. Já o segundo, de movimentos de acordo com a Fig. (2b), mostra a efetividade do transporte de material entre as etapas de produção, sendo que quanto mais pontuada a linha for, menos efetivo é o transporte de material; quanto menos pontuada for, mais efetivo.

Figura 2. (a) Fluxograma de transformação do produto (b) Transporte das peças entre as etapas



Fonte: Autores (2024).

O plano de coleta de dados foi desenvolvido em função da limitação de registro de dados da fábrica. A partir do momento em que uma demanda surge, uma ordem de produção (OP) é criada, com informações relevantes para a produção daquela peça, e é feito um registro para cada etapa de transformação concluída da peça. Por exemplo, se a peça foi cortada, um registro é feito na área de primários, e assim por diante até a pintura, último apontamento antes da expedição.

Porém, não é possível acompanhar em tempo real a produção de uma peça, já que, cada vez que um novo apontamento é feito, o anterior é apagado e, ainda, não há um código próprio para a produção de cada peça. A única informação disponível trata da quantidade total de um código de peça de reposição que foi cortado, dobrado, calandrado ou pintado, não podendo referenciar uma ordem de produção (OP) específica por apontamento.

Assim, o plano de coleta teve de captar a quantidade total das peças de reposição que foram cortadas e pintadas, definindo a relação da quantidade de ordens de produção aprovadas versus a quantidade expedida, dividindo entre os conjuntos soldados e não soldados, durante um período de 5 meses (começando em novembro do ano anterior até março). Além disso, uma tabela com a demanda por mês (para o mesmo intervalo) e envios em atraso foi feita para análises gráficas na seguinte fase.

Analyze:

As fotos do local de acordo com a Figura 3 corroboram a hipótese das causas para as falhas no transporte identificadas no SIPOC e VOC, que estão relacionadas à desorganização, falta de identificação, falta de local apropriado e falha na comunicação por inexistência de processo definido.

Figura 3. Localização inapropriada do *container* e mistura de OP



Fonte: Autores (2024).

Observou-se que, dentro dos *containers*, havia uma mistura de ordens de produção de reposição e da linha corrente com peças inacabadas, o local inapropriado para os *containers* de acumulação dificultava o seu acesso, a falta de identificação dos *containers* induzia operador ao erro (por achar que era um *container* de descarte ou de peças não conformes) e, ainda, a cor preta do *container* representava peças de reposição em primários, peças urgentes na pintura e peças não conformes para os operadores logísticos, expondo assim a comunicação falha do processo.

Para entender essas informações quantitativamente, foi feita uma análise de dados, retirados do SAP HANA, tratados via *Query* e expostos em uma tabela que comparava o total de cortados *versus* o total expedido. Com isso, foi possível constatar que cerca de 35% das peças cortadas eram perdidas no processo conforme consta na Tabela 3, seja por descarte, absorção pela linha corrente ou erros de manufatura. Além disso, foi analisada a quantidade de peças enviadas em atraso dentro do mesmo período estudado de acordo com a Tabela 4 e feito um gráfico de barras para acompanhar a tendência dos dados conforme Figura 5.

Fica nítido que existe uma diminuição dos atrasos entre novembro e janeiro, que pode ser explicada por que a demanda por essas peças diminuiu e a fábrica tendeu a trabalhar de forma mais organizada já que havia pouca produção da linha corrente. Porém, em fevereiro, após diminuição do quadro do time de operadores, quando a demanda voltou a subir, tanto por peças quanto pela produção corrente, houve um aumento no atraso de envio.

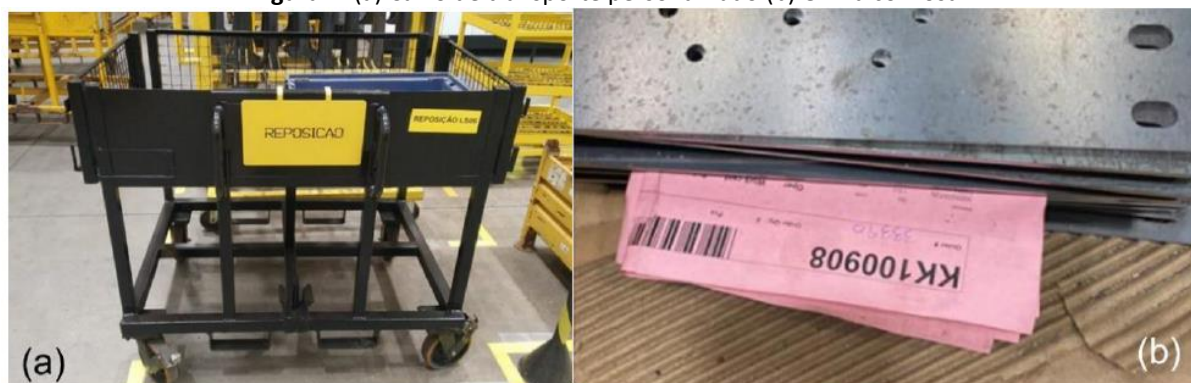
Improve:

A fase *Improve* aconteceu, de forma prática, em paralelo à *Analyze*. A cada análise do processo ou dado estudado, uma ideia de melhoria surgia, logo o time mantinha reuniões de implementação de melhorias para atacar essas causas raízes anteriormente identificadas.

O primeiro passo foi definir um fluxo próprio para as peças de reposição que recriaria o fluxo das peças correntes de linha. Para isso, escolheu-se a cor preta como cor universal da reposição dentro da fábrica, qualquer container, suporte ou carrinho de movimentação nessa cor indicava que aquela peça tratava de reposição.

Carrinhos de movimentação pretos, identificados com placas em amarelo, com espaço físico definido conforme Figura 4a foram implementados para o transporte das peças entre corte, segundas e terceiras operações e pintura. As folhas de processo mudaram de cor para rosa conforme apresenta a Figura 4b, a fim de facilitar a identificação da ordem de peça de reposição. Ademais, a pintura ganhou um espaço maior para as peças de reposição de forma que a logística interna pudesse identificar com mais clareza as peças de reposição e, por fim, treinamentos de rotas foram aplicados aos operadores das áreas.

Figura 4. (a) Carro de transporte personalizado (b) OP na cor rosa



Fonte: Autores (2024).

A partir dessas implementações que atacaram as causas raízes, foi possível identificar uma melhoria na performance do processo. Nos seguintes 4 meses (entre março e junho), houve uma diminuição de mais de 25% de perdas das peças de reposição de acordo com a Tabela 3 e envio de mais de 90% dos pedidos dentro do prazo ao CD conforme constam na Tabela 4 e Figura 4.

Tabela 3. Quantidade total de peças de reposição pintadas em relação às cortadas, antes e depois das implementações de melhoria

Implementações	Primários	Pintura	Saldo	%
Antes	8278	5329	-2949	64,38%
Durante	6295	4773	-1522	75,82%

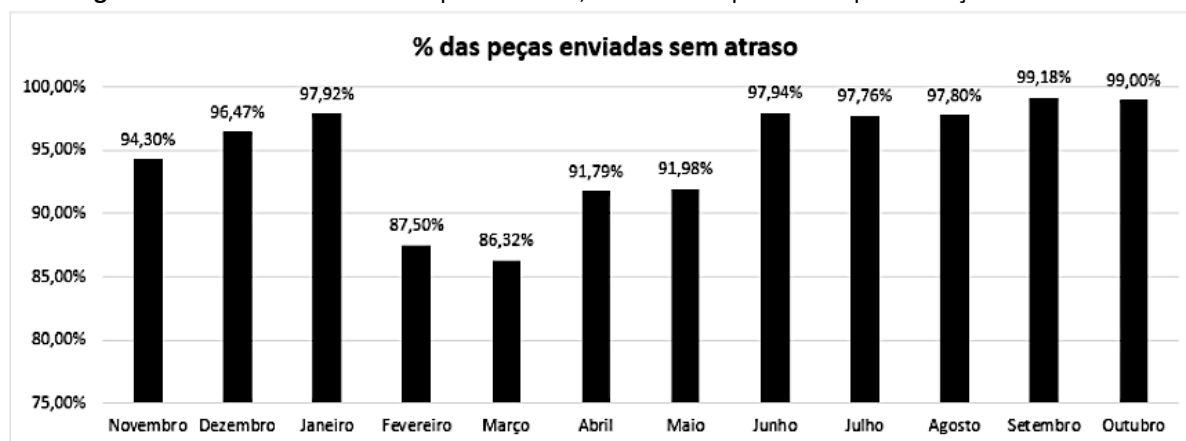
Fonte: Autores (2024).

Tabela 4. Comparação entre demanda recebida e envios em atraso por mês, antes, durante e depois das implementações de melhoria

Implementações	Mês	Ordens totais	Ordens em atraso	% das peças enviadas sem atraso
Antes	Novembro	544	31	94,30%
Antes	Dezembro	312	11	96,47%
Antes	Janeiro	337	7	97,92%
Antes	Fevereiro	456	57	87,50%
Durante	Março	636	87	86,32%
Durante	Abril	633	52	91,79%
Durante	Maio	499	40	91,98%
Durante	Junho	437	9	97,94%
Depois	Julho	447	10	97,76%
Depois	Agosto	454	10	97,80%
Depois	Setembro	730	6	99,18%
Depois	Outubro	700	7	99,00%

Fonte: Autores (2024).

Figura 5. Envio mensal dentro do prazo - antes, durante e depois das implementações de melhoria



Fonte: Autores (2024).

É importante destacar que esses resultados obtidos tomaram lugar dentro de um período de maior produção, entre março e junho, e com um time menor, ou seja, na falta das ações executadas, a tendência seria de um aumento na perda de peças e de envios em atraso.

Control:

Para garantir que os resultados obtidos se tornassem o novo status da produção, foi definido um plano de reuniões de KPIs para reposição com supervisores de cada área, compartilhando os seus feedbacks sobre dificuldades, possíveis novas implementações e alinhamento de

treinamento de funcionários. Durante o primeiro mês, os encontros aconteceram semanalmente; a partir do segundo, tornou-se quinzenal; e, no quarto, mensal.

O projeto foi fechado no fim do quarto mês (junho) em reunião conjunta com a gestão da empresa quando o time responsável pôde garantir que a nova performance (97% das peças enviadas sem atraso) fosse o novo normal. Além dos ganhos de performance, não só houve melhorias relacionadas a 5S, comunicação entre times efetiva, organização do layout e definição de papéis e responsabilidades entre os colaboradores, como também ocorreu redução no impacto ambiental pela diminuição do descarte e retrabalhos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Independentemente do tamanho da organização ou da sua natureza, seja com ou sem fins lucrativos, é necessário que se estabeleça uma cultura de melhoria contínua, capaz de identificar oportunidades e trabalhar para a resolução de desafios visando à eliminação dos desperdícios apontados pela filosofia *lean*.

Este trabalho mostra o poder dessa premissa, quando aplicada a metodologia DMAIC dentro desse contexto. As causas raízes encontradas ao longo do projeto expõem o quanto ineficiências que podem passar despercebidas e que, a princípio, aparentam ser inofensivas podem representar grandes perdas para a empresa, tanto a nível econômico e ambiental, como na sua reputação dentro da servicibilidade ao cliente final.

Ações assertivas e simples de implementar viabilizaram soluções concretas para o negócio. Após o fim do projeto em junho, foi possível desenvolver um processo capaz de garantir a entrega mensal de mais de 97% de peças de dentro da janela definida pela empresa, até o fim do ano fiscal (outubro), superando o objetivo inicial estabelecido. Por outro lado, há espaço para a realização de novos estudos que busquem uma maior diminuição da perda de peças, considerando a relação ganho/investimento do projeto.

A efetividade dessas propostas de implementação de ações só encontrou sucesso dentro de uma gestão de projetos assertiva. A definição por objetivos, datas de entregas, expectativas e resultados esperados fizeram parte da construção e execução de ideias. Como comentado por Clemente e Domingues em seu artigo *Analysis of Project Management Tools to support Knowledge Management*, trabalho em equipe, organização, negociação e experimentação são cruciais para direcionar o trabalho às metas da empresa.

REFERÊNCIAS

Clemente, M. & Domingues, L. (2022). Analysis of Project Management Tools to support Knowledge Management. In: *CENTERIS - International Conference on Enterprise Information Systems / ProjMAN - International Conference on Project Management / HCist - International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies*.
Karunathilake, E. M. B. M., et al (2023). *The Path to Smart Farming: Innovations and Opportunities in Precision Agriculture*. Agriculture.
Mittal, A., et al (2023). *The performance improvement analysis using Six Sigma DMAIC methodology: A case study on Indian manufacturing company*. Cell.

Theodore, A. (2006). *Introduction to Engineering Statistics and Six SIGMA. Statistical Quality Control and Design of Experiments and Systems*. Londres: Springer.

Carroll, C. (2013). *Six Sigma for Powerful Improvement. A Green Belt DMAIC Training Sysytem with Software Tools and 25-Lesson Course*. Florida: CRC Press

Díaz-Reza, J. R., García Alcará, J. L., & Morales García, A. S. (2022). *Best Practices in Lean Manufacturing: A relational Analysis*. Suíça: Springer.