



GABRIEL SALGADO DE MELLO

**ANÁLISE E REGISTRO DE FALHAS DO PROCESSO
PRODUTIVO DE DRIVERS DE LED POR MEIO DE UM
FAILURE BOOK**

**LAVRAS – MG
2023**

GABRIEL SALGADO DE MELLO

**ANÁLISE E REGISTRO DE FALHAS DO PROCESSO PRODUTIVO DE DRIVERS
DE LED POR MEIO DE UM FAILURE BOOK**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Programa de Graduação em
Engenharia Controle e Automação, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Vinicius Miranda Pacheco
Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

GABRIEL SALGADO DE MELLO

**ANÁLISE E REGISTRO DE FALHAS DO PROCESSO PRODUTIVO DE DRIVERS
DE LED POR MEIO DE UM FAILURE BOOK**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Graduação em Engenharia Controle e Automação, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 13 de dezembro de 2023.

Prof. Dr. Vinicius Miranda Pacheco UFLA

Prof. Dr. Danton Diego Ferreira UFLA

Jeremias Schultz da Silva SIGNIFY

Prof. Dr. Vinicius Miranda Pacheco

Orientador

**LAVRAS – MG
2023**

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial aos meus pais, Keula e Bruno, por todo apoio e incentivo.

RESUMO

A qualidade de um produto pode ter um impacto negativo significativo na percepção do cliente quando observado um defeito, afetando a satisfação do cliente, a reputação da marca e as vendas. Por isso, é de vital importância a implementação de algum método, como o *Failure Book*, para identificar a causa raiz dos problemas e implementar ações corretivas eficazes, melhorando a qualidade do produto. É apresentado neste trabalho um estudo de caso envolvendo a aplicação de um modelo de *Failure Book* em um processo produtivo de drivers de LED. Por ser um dispositivo eletrônico de pequeno tamanho e extremamente sensível, ele é bastante suscetível às falhas em sua confecção. Por isso é necessário identificar os possíveis problemas a fim de atuar contendo e corrigindo estes desvios negativos do processo de produção para que estes não ocasionem grandes impactos para a empresa. A metodologia do trabalho foi baseada em uma análise profunda do processo produtivo e a utilização de ferramentas oriundas da qualidade. Ao longo do desenvolvimento do trabalho foi discutido o conceito de qualidade, bem como sua importância e as consequências de não se ter uma estrutura que favoreça uma qualidade adequada. Além disso, foi apresentado em mais detalhes a importância do driver de LED para o avanço da iluminação e como é realizado o seu processo de fabricação. Por fim, foi realizado uma análise utilizando o modelo proposto de *Failure Book* e as ferramentas da qualidade para realizar a tratativa de um problema de caso real. O *Failure Book* é uma ferramenta valiosa para a empresa, pois ajuda a identificar e corrigir problemas, aumenta a qualidade dos produtos e processos, reduz custos, promove o aprendizado contínuo, melhora a comunicação e permite atender a requisitos de conformidade.

Palavras-chave: Qualidade; *Failure Book*; Drives de LED; Processo produtivo.

ABSTRACT

The quality of a product can have a significant negative impact on customer perception when a defect is observed, affecting customer satisfaction, brand reputation and sales. Therefore, it is vitally important to implement a method, such as the Failure Book, to identify the root cause of problems and implement effective corrective actions, improving product quality. This work presents a case study involving the application of a Failure Book model in an LED driver production process. As it is a small and extremely sensitive electronic device, it is very susceptible to errors in its manufacturing. Therefore, it is necessary to identify possible problems in order to contain and correct these negative deviations in the production process so that they do not cause major impacts on the company. The work methodology was based on an in-depth analysis of the production process and the use of quality tools. Throughout the development of the work, the concept of quality was discussed, as well as its importance and the consequences of not having a structure that favors adequate quality. Furthermore, it was presented what the driver is and what its manufacturing process is like. The results were analyzed using the proposed model and quality tools to deal with a problem in a real case. In conclusion, the Failure Book is a valuable tool for the company, as it helps identify and correct problems, increases the quality of products and processes, reduces costs, promotes continuous learning, improves communication and allows you to meet compliance requirements.

Keywords: Quality; Failure Book; LED drives; Production process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Custo da Não Qualidade na cadeia produtiva	13
Figura 2.2 – Relação de custo entre qualidade e não qualidade	14
Figura 2.3 – Desenho esquemático do circuito em blocos	18
Figura 3.1 – Fluxo do processo de produção dos drivers	20
Figura 3.2 – Máquina <i>Printer</i>	21
Figura 3.3 – Forno de cura da solda	21
Figura 3.4 – Processo de inserção manual.....	22
Figura 3.5 – Processo de <i>Router</i>	23
Figura 3.6 – Posto de teste funcional.....	23
Figura 3.7 – Filme isolante	24
Figura 3.8 – Fechamento do produto através da prensa	24
Figura 3.9 – Posto de teste <i>Light up</i>	25
Figura 3.10 – Fechamento da embalagem	25
Figura 3.11 – Modelo <i>Failure Book</i>	26
Figura 4.1 – Indutor inserido de maneira incorreta	28
Figura 4.2 – Preenchimento do 5W2H	28
Figura 4.3 – Preenchimento dos 5 Porquês.	29
Figura 4.4 – Furos da placa	30
Figura 4.5 – Placas antes e depois da modificação.....	30
Figura 4.6 – Comparação do posicionamento do indutor após modificação da PCB	31
Figura 4.7 – <i>Failure Book</i> preenchido.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	7
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	9
2.1	Qualidade	9
2.1.1	Os 7 pilares da qualidade	10
2.1.2	Custo da Não Qualidade.....	12
2.2	Failure Book.....	14
2.2.1	Análise de falhas.....	15
2.3	Driver de LED.....	17
3	METODOLOGIA	20
3.1	Processo Fabril do Driver de LED.....	20
3.2	Modelo Proposto	26
4	RESULTADOS	28
4.1	Análise das falhas	28
5	CONCLUSÃO	33
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1 INTRODUÇÃO

O avanço industrial e da tecnologia promoveu grandes mudanças na iluminação, sendo uma das mais importantes o uso da iluminação LED (diodos emissores de luz). Para entender melhor o motivo deste progresso, é preciso conhecer um dos componentes essenciais para esta mudança: o driver de LED.

Os drivers estão para as lâmpadas LED assim como os reatores estão para as lâmpadas fluorescentes e os transformadores estão para as lâmpadas halógenas. Os drivers funcionam como um conversor de energia que transforma a tensão CA (corrente alternada) da rede em tensão CC (corrente contínua) aplicada ao LED. Outra tarefa importante que o driver executa é proteger o LED. Se não existisse, a tensão danificaria o LED e prejudicaria seriamente o desempenho do produto. Através deste dispositivo, a tensão é controlada e a lâmpada não fica sujeita a risco (BRLUX, c2022).

Por ser um dispositivo eletrônico e de pequeno tamanho, o driver é extremamente sensível e bastante suscetível às falhas, sendo muitas delas não visíveis a olho nu. Estas falhas podem gerar uma iluminação inadequada, ocasionando por exemplo acidentes em vias públicas ou até mesmo o aumento do índice de violência em um determinado local devido à baixa luminosidade. Portanto é necessário para estes casos, identificar os defeitos e estabelecer soluções para mitigar o impacto negativo gerado.

A qualidade do produto não é mais apenas uma vantagem competitiva para as empresas, mas um requisito fundamental para sustentar seus negócios. As organizações são cada vez mais obrigadas a garantir que os produtos que oferecem estejam livres de defeitos, a fim de criar sucesso nos negócios e satisfação dos clientes. De acordo com Slack (2002), alta qualidade reduz retrabalho, sucata e custos de devolução e, mais importante, alta qualidade cria consumidores satisfeitos.

Muitas empresas implementam e se certificam em sistemas de gestão da qualidade como a ISO9001. Isto garante o acesso ao conhecimento, força de trabalho competente e profissional, procedimentos estruturados que suportam a ausência de erros e problemas. No entanto, muitas vezes ainda não é suficiente, podem surgir problemas durante a produção de certos produtos, e por isso, as empresas devem sempre ter alguma forma de lidar com eles.

Tais problemas são geralmente registrados como não conformidades. A não conformidade consiste no não cumprimento dos requisitos especificados para produtos manufaturados e serviços (ABNT NBR ISO 9001:2015). As consequências de não

conformidades ou problemas encontrados podem variar, podendo prejudicar a confiança do cliente e até mesmo os negócios de uma organização.

A ocorrência de desvios no processo produtivo é negativa, mas há importantes oportunidades de aprendizado organizacional. Para isso, as empresas precisam realizar a contenção e se esforçar para garantir a robustez e durabilidade de suas soluções no processo produtivo. Ou seja, o desvio deve ser finalmente eliminado, sendo necessário um mapeamento das possíveis falhas, de forma a mitigá-las ou facilitar sua detecção para uma rápida resposta e evitar maiores impactos.

O *Failure Book*, também conhecido como livro de falhas, traz de forma estruturada e de fácil utilização a padronização de etapas a serem seguidas, utilizando de metodologias amplamente conhecidas e eficazes para descrever o problema em questão, bem como evidenciar qual a real causa do mesmo. Esta é uma forma de estar em conformidade com a normativa da ISO 9001, a qual garante padrões de registro de tratativa de problemas.

O presente trabalho tem como objetivo propor um modelo de *Failure Book* e aplicá-lo em um processo produtivo de drivers para luminárias de LED.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

No contexto das necessidades e expectativas dos clientes em relação a produtos ou serviços, a qualidade, o custo e a entrega são fatores de extrema importância. Os clientes têm a expectativa de adquirir produtos ou serviços que atendam aos seus requisitos, sejam confiáveis, seguros e capazes de satisfazer suas demandas. Além disso, esperam que esses produtos ou serviços sejam entregues dentro do prazo acordado.

A qualidade está intrinsecamente ligada ao custo e à entrega. Um produto de alta qualidade geralmente requer menos manutenção e reparos, o que reduz os custos a longo prazo. Além disso, a qualidade aumenta a probabilidade de clientes satisfeitos retornarem para futuras compras ou negócios, impactando positivamente o sucesso financeiro da empresa.

Neste capítulo será apresentado o conceito de qualidade, bem como sua importância e as consequências de não se ter uma estrutura que favoreça uma qualidade adequada. Também será apresentado a ferramenta *Failure Book*, que é uma forma de tratar e evitar problemas de qualidade. Além disso, para se realizar a correta análise de falha de um produto é preciso conhecê-lo melhor, por isso, também será apresentado o que são os drivers de LED e como estes dispositivos funcionam.

2.1 Qualidade

A qualidade é um fator essencial no processo fabril, pois impacta diretamente a satisfação do cliente, a reputação da empresa e a eficiência operacional. Nesse contexto, o Sistema Toyota de Produção (STP) desempenha um papel fundamental. Baseado em princípios como melhoria contínua, redução de desperdícios e envolvimento dos funcionários, o STP busca garantir a qualidade em todas as etapas do processo de produção. Através da eliminação de desperdícios, padronização do trabalho e incentivo à participação ativa dos funcionários, o STP promove a qualidade como uma responsabilidade compartilhada e uma busca constante pela excelência.

O STP tem sido uma referência no setor industrial devido à sua correlação direta com a qualidade. Ao adotar os princípios do STP, as empresas têm a oportunidade de melhorar significativamente a qualidade de seus produtos e processos. Através da redução de desperdícios, é possível eliminar defeitos, retrabalho e estoques desnecessários, resultando em produtos finais de maior qualidade. Além disso, a padronização do trabalho proporciona consistência e aprimoramento contínuo, enquanto o envolvimento dos funcionários promove

uma cultura de qualidade e melhoria constante. Sendo expresso por Taiichi Ohno, fundador do Lean Manufacturing:

A qualidade não é apenas aprimorar o produto ou o serviço, mas também aprimorar a habilidade e a mentalidade dos funcionários. Sempre nos esforçamos para melhorar a qualidade e reduzir o custo, mas, ao mesmo tempo, devemos melhorar a habilidade e a atitude dos membros da equipe (OHNO, 1988).

A aplicação do STP vai além da indústria automobilística e é uma abordagem valiosa para qualquer processo fabril em busca de qualidade e eficiência. Ao seguir os princípios do STP e os pilares da qualidade, as empresas podem alcançar resultados consistentes, reduzindo desperdícios, aumentando a satisfação do cliente e melhorando sua competitividade no mercado. A qualidade, como parte integrante do STP, impulsiona a busca pela perfeição e garante que os produtos atendam e superem as expectativas dos clientes, tornando-se uma fonte de vantagem competitiva e sucesso empresarial.

2.1.1 Os 7 pilares da qualidade

Os pilares da qualidade são os fundamentos básicos que sustentam a implementação de um sistema de gestão da qualidade eficaz em uma organização. Provenientes do Sistema Toyota de Produção, esses pilares são essenciais para garantir a qualidade dos produtos ou serviços que são oferecidos aos clientes, bem como para melhorar continuamente os processos internos da organização (WOMACK; JONES, 2003).

Os sete pilares da qualidade são:

1. Foco no cliente: Este é o pilar mais importante da qualidade, pois é o cliente que determina a qualidade de um produto ou serviço. Para alcançar a satisfação do cliente, é necessário entender suas necessidades e expectativas e, em seguida, trabalhar para atendê-las da melhor forma possível. Um foco no cliente também implica em fornecer um excelente atendimento ao cliente e buscar continuamente maneiras de melhorar a experiência do cliente com a organização.
2. Liderança: A liderança eficaz é fundamental para estabelecer a visão, a missão e os valores da organização, além de criar um ambiente propício à qualidade e à melhoria contínua. Líderes inspiradores definem metas claras, envolvem os colaboradores, promovem uma cultura de qualidade e fornecem recursos adequados para alcançar os objetivos da organização.
3. Engajamento dos colaboradores: O envolvimento dos colaboradores é essencial para a implementação bem-sucedida de um sistema de gestão da qualidade. Os colaboradores são

a espinha dorsal da organização e devem estar comprometidos com a melhoria da qualidade. É importante envolver os colaboradores em todos os aspectos do processo de qualidade, desde a definição de metas até a implementação de melhorias e a revisão de resultados.

4. **Abordagem baseada em processos:** Uma abordagem baseada em processos envolve compreender e gerenciar as interações entre as atividades e os processos da organização. Isso inclui identificar, documentar, analisar, melhorar e monitorar os processos para alcançar resultados consistentes e previsíveis. Uma visão sistêmica dos processos permite a identificação de oportunidades de melhoria e a redução de desperdícios e falhas.
5. **Melhoria contínua:** A melhoria contínua é o processo constante de aprimoramento de todos os processos, atividades e resultados de uma organização. Isso envolve a identificação de áreas de melhoria e a implementação de mudanças para alcançar melhores resultados. A melhoria contínua também requer uma cultura organizacional de aprendizado e inovação constante.
6. **Gestão baseada em fatos:** A gestão baseada em fatos é a tomada de decisão com base em dados e informações concretas. Isso significa que a organização deve coletar dados relevantes, analisá-los e utilizá-los para tomar decisões. A gestão baseada em fatos também envolve a definição de metas específicas e mensuráveis, o monitoramento do desempenho da organização em relação a essas metas e a implementação de ações corretivas quando necessário.
7. **Gestão de relacionamento:** A gestão de relacionamento enfoca a interação com as partes interessadas, como fornecedores, parceiros e comunidade. Uma organização de qualidade busca estabelecer parcerias de longo prazo com seus fornecedores, envolver-se em práticas comerciais éticas e responsáveis, além de contribuir para a sociedade e o meio ambiente de maneira sustentável.

Os pilares da qualidade estão intrinsecamente relacionados aos desperdícios, seja de tempo, recursos ou materiais, pois comprometem a eficiência e a eficácia dos processos, resultando em produtos ou serviços de baixa qualidade. Esses desperdícios aumentam os custos ao longo do tempo, pois demandam retrabalho, correções e podem gerar insatisfação do cliente. Esse custo refere-se aos prejuízos financeiros decorrentes de falhas, erros, devoluções ou reclamações dos clientes. Isto é chamado de Custo da Não Qualidade

2.1.2 Custo da Não Qualidade

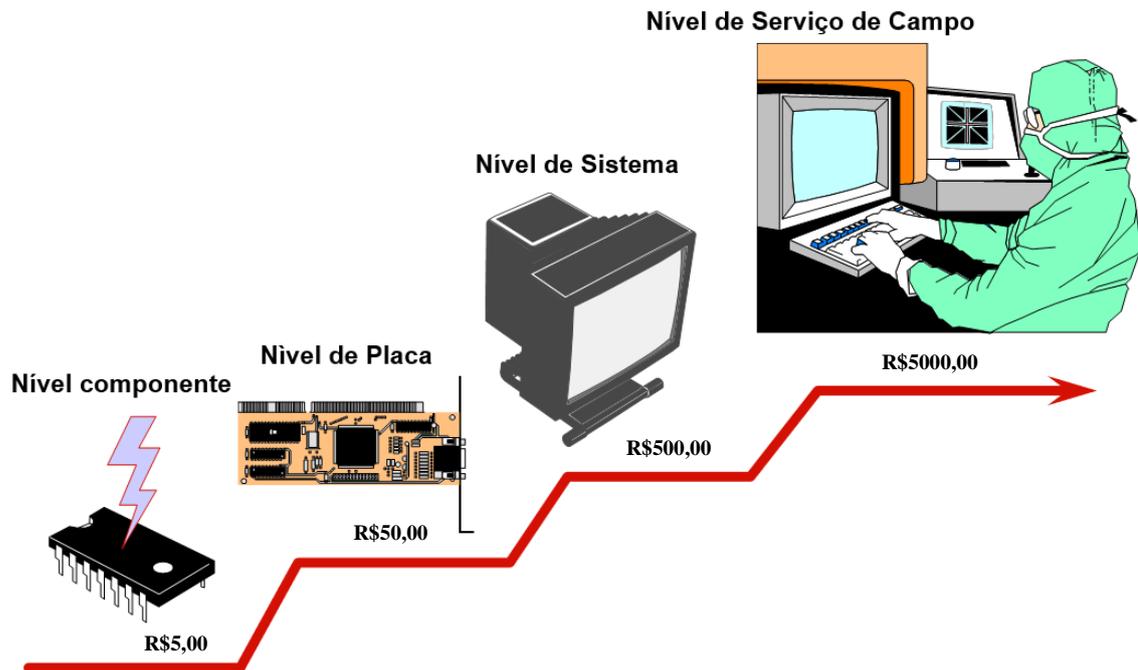
De uma forma mais conceitual, o custo da não qualidade é o conjunto de despesas e perdas resultantes de produção ou prestação de serviços com falhas ou deficiências, incluindo correções, revisões, devoluções, rejeições, processos judiciais, perda de clientes, danos à marca, entre outros (QUALIGEST, c2023).

A variação do custo da não qualidade pode ser diferente em cada etapa da cadeia produtiva, desde o fornecedor até o cliente.

1. Fornecedor: Neste nível, o custo da não qualidade pode incluir a perda de clientes devido a insatisfação com a qualidade dos produtos fornecidos, o aumento dos custos para corrigir os problemas de qualidade antes da entrega ao cliente final e o custo de revisar e aprimorar os processos para evitar futuros problemas de qualidade.
2. Fabricação: Neste nível, o custo da não qualidade pode incluir o desperdício de matérias-primas e recursos, o aumento do tempo de produção devido a interrupções e correções de problemas de qualidade, o aumento dos custos de inspeção e a necessidade de descartar produtos defeituosos.
3. Distribuição: Neste nível, o custo da não qualidade pode incluir o aumento dos custos de armazenamento devido a problemas de qualidade que resultam em retornos de produtos, a necessidade de substituir produtos defeituosos e o aumento dos custos de transporte devido a atrasos ou interrupções resultantes de problemas de qualidade.
4. Venda: Neste nível, o custo da não qualidade pode incluir a perda de vendas devido à insatisfação do cliente com a qualidade do produto, o aumento dos custos de atendimento ao cliente devido a reclamações de qualidade e a necessidade de substituir produtos defeituosos.
5. Cliente: Para o cliente, o custo da não qualidade pode incluir a perda de tempo e recursos para resolver problemas de qualidade, a insatisfação com o produto e a possibilidade de procurar alternativas no futuro.

Em geral, quanto mais tarde um problema de qualidade é detectado na cadeia produtiva, mais caro será corrigi-lo, como exemplificado na Figura 2.1, o que torna importante a prevenção e o controle da qualidade em todas as etapas da cadeia.

Figura 2.1 – Custo da Não Qualidade na cadeia produtiva

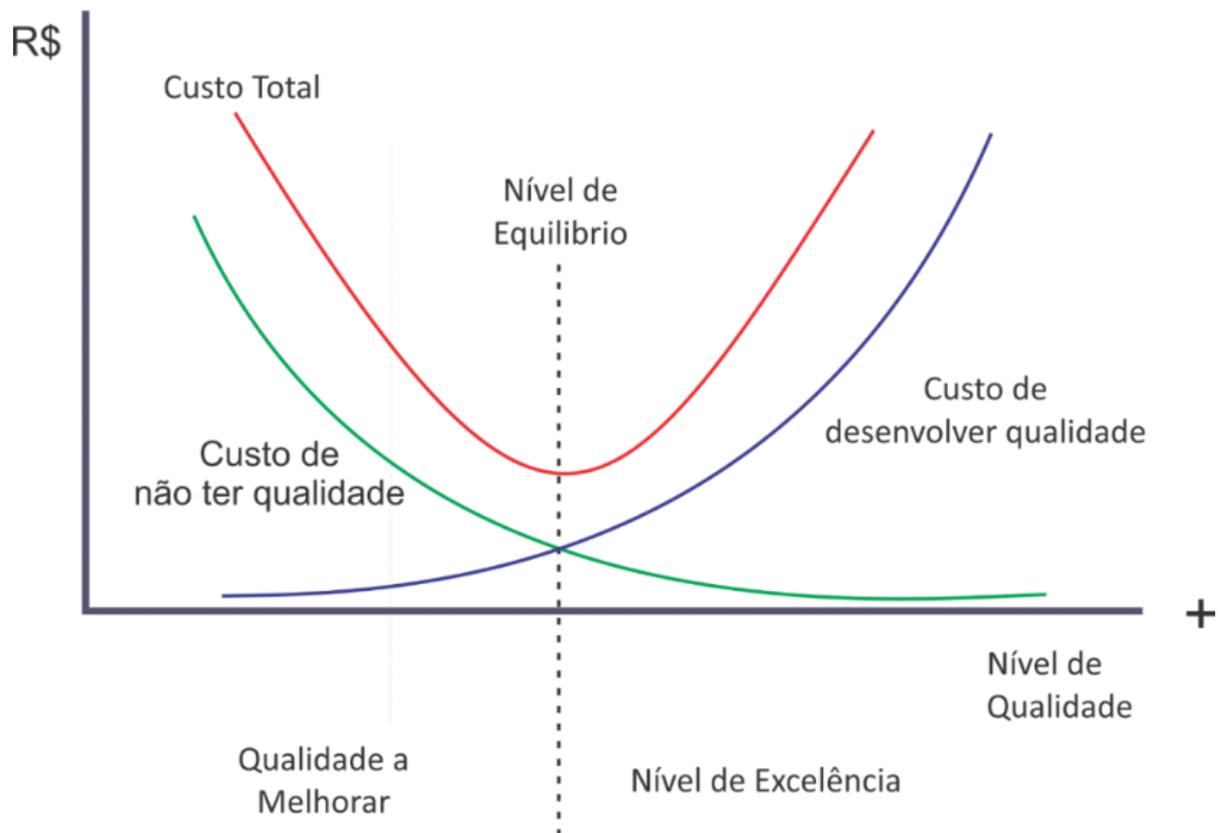


Fonte: Autor.

A relação de custo entre qualidade e defeito é geralmente vista como uma equação de *trade-off*, que é quando para se aumentar um determinado aspecto ou alcançar um objetivo específico, é necessário aceitar uma redução ou sacrifício em relação a outro aspecto ou objetivo (Vieira; Pereira; Carvalho, 2018). Neste caso, por um lado investir em garantia da qualidade pode aumentar os custos de produção de um produto ou serviço e por outro lado permitir que um produto ou serviço com problemas de qualidade seja entregue ao cliente pode resultar em custos ainda maiores.

Sendo o custo da não qualidade e o custo da qualidade inversos entre si, assim como pode ser visto na Figura 2.2, tem-se que encontrar o intermédio entre ambos, a fim de minimizar o custo total.

Figura 2.2 – Relação de custo entre qualidade e não qualidade



Fonte: Basso (c2023).

Encontrar formas mais eficientes de garantir a qualidade do produto com baixo investimento é ideal para uma empresa mais sustentável. Para isto, existem diversas ferramentas da qualidade que auxiliam no controle dos processos, como cartas de controle (para monitorar a estabilidade e o desempenho de um processo), *pokayokes* (que são dispositivos ou mecanismos que impedem a ocorrência de erros), *checklists* (que são listas de verificação de etapas/itens em um processo) e a que será discutida neste trabalho, o *Failure Book* (POLI JÚNIOR, c2023).

2.2 Failure Book

A detecção antecipada de defeitos é uma parte crucial do processo de garantia da qualidade. O objetivo principal é identificar e corrigir problemas com qualidade antes que eles sejam entregues ao cliente. Existem vários métodos utilizados para detectar defeitos antecipadamente, incluindo inspeção do produto, teste de protótipo para identificar problemas antes da produção em massa e teste final simulando condições reais de uso. Uma vez verificado o defeito ou falha, é necessário realizar uma análise mais profunda com relação ao mesmo e pode-se utilizar o *Failure Book*.

O *Failure Book* é uma ferramenta de gestão da qualidade que registra e analisa os erros ou falhas que ocorrem durante a produção de um produto ou prestação de um serviço. Sua principal função é identificar as causas subjacentes dessas falhas e implementar medidas preventivas para evitar que ocorram novamente no futuro.

Lembre-se sempre de que o '*Failure Book*' é o arquivo de nossas experiências, lições e aprendizados, contendo as páginas escritas por aqueles corajosos o suficiente para enfrentar os desafios, superar os obstáculos e buscar incessantemente a melhoria. É um testemunho da resiliência e determinação daqueles que se recusam a aceitar o fracasso como um destino inevitável (LIKER, 2020).

Essa ferramenta é uma parte importante do processo de melhoria contínua, pois ajuda a identificar pontos fracos nos processos de produção e a implementar soluções para corrigi-los. Ele também pode ser usado para acompanhar a eficácia das medidas preventivas implementadas e para identificar tendências ou padrões de falhas que possam ser corrigidos.

A criação e manutenção de um *Failure Book* é uma prática comum em muitas empresas, especialmente aquelas que seguem padrões de qualidade rigorosos como ISO 9001. A informação registrada no *Failure Book* é geralmente compartilhada com equipes envolvidas na produção, para garantir que as soluções preventivas sejam implementadas de forma eficaz e consistente.

O processo de análise de falha através do *Failure Book* geralmente envolve registro, análise, identificação de soluções, implementação e acompanhamento.

2.2.1 Análise de falhas

A análise de falha é uma metodologia para identificar, analisar e mitigar falhas em sistemas, produtos ou processos. Ela visa antecipar modos de falha, determinar suas causas e avaliar seus efeitos, com o objetivo de propor ações corretivas.

2.2.1.1 Registro da falha

A primeira etapa é registrar a falha ou erro que ocorreu. Isso pode incluir informações como data, hora, descrição detalhada do problema e informações sobre o produto ou processo envolvido. É recomendável utilizar a metodologia de 5W2H para garantir uma abordagem estruturada a qual permite identificar todas as informações relevantes sobre um problema (GEORGE et al, 2004).

O 5W2H é uma ferramenta de gestão da qualidade que ajuda a identificar e descrever problemas de forma clara e concisa. A seguir estão os passos para utilizar a metodologia a fim de descrever um problema de forma eficiente:

1. Identificar o problema: identificar claramente o problema que precisa ser descrito.
2. Responder às perguntas 5W:
 - *What* (o que) - Descrição detalhada do problema
 - *Who* (quem) - Pessoas ou equipes envolvidas no problema
 - *Where* (onde) - Local onde o problema ocorreu
 - *When* (quando) - Momento em que o problema ocorreu
 - *Why* (por que) - Causas subjacentes do problema
3. Responder às perguntas 2H:
 - *How* (como) - Como o problema pode ser resolvido
 - *How much* (quanto) - Custo estimado para resolver o problema
4. Documentação: as informações coletadas nas perguntas 5W2H são registradas de forma clara e concisa, incluindo informações relevantes sobre o problema, as pessoas envolvidas, a data e hora se possível, as causas subjacentes e a solução proposta.
5. Verificação e validação: verificar se todas as informações coletadas são precisas e completas antes de usá-las como base para a resolução do problema.

Isso permite que as equipes colaborem para resolver o problema de forma mais eficiente, aumentando a qualidade e eficácia dos processos de produção. É amplamente utilizada em muitos setores, incluindo produção, engenharia, gerenciamento de projetos e qualidade.

2.2.1.2 Análise da falha

A falha é analisada para identificar as causas subjacentes. Isso pode incluir a realização de investigações adicionais, entrevistas com equipes envolvidas na produção ou revisão de registros de produção.

A metodologia dos 5 porquês é uma ferramenta de análise de falha que visa identificar as causas raízes de um problema. Ela é amplamente utilizada na melhoria contínua de processos e na resolução de problemas complexos. (GEORGE et al, 2004)

Consiste em repetir a pergunta "Por que?" até que a causa raiz do problema seja identificada. O objetivo é responder a cada pergunta "Por que?" com uma resposta lógica e fundamentada, evitando as respostas superficiais e/ou óbvias. Ao final do quinto "Por que?" é feita uma análise na resposta, verificando se essa possível causa for solucionada resolveria o problema tratado. Caso for positivo, então esta é denominada como a causa raiz do problema.

2.2.1.3 Identificação de soluções

Uma vez identificadas as causas subjacentes, são identificadas soluções preventivas para evitar que a falha ocorra novamente no futuro. Esta é uma etapa importante na resolução de problemas, pois fornece uma estrutura clara e detalhada para a implementação das soluções.

2.2.1.4 Implementação

As soluções identificadas são implementadas na produção, garantindo que a falha não ocorra novamente. Nesta etapa é realizado um plano de ação em que descreve as medidas que serão tomadas para atingir um objetivo específico, além do responsável pela implementação e o prazo de conclusão.

2.2.1.5 Acompanhamento

O processo de análise de falha não termina com a implementação das soluções preventivas. É importante monitorar e avaliar a eficácia dessas soluções para garantir que a falha não ocorra novamente.

2.3 Driver de LED

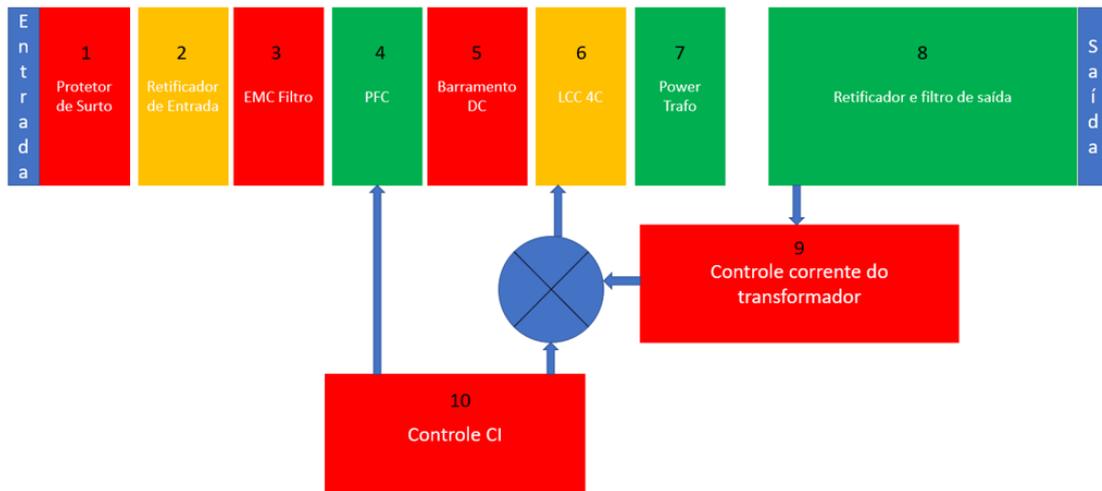
Os drivers de LED são dispositivos eletrônicos que fornecem energia e controle adequados para os LEDs. Eles convertem a tensão de alimentação, fornecem a corrente necessária e oferecem recursos como controle de brilho. Os drivers garantem o funcionamento correto, eficiência energética e longevidade dos LEDs.

Eles têm diversas aplicações em diferentes setores, são amplamente utilizados na iluminação residencial e comercial, como lâmpadas de LED, luminárias, painéis de LED e fitas de LED. Além disso, são utilizados em displays de painéis de LED em estádios esportivos, telas de LED em eventos e shows, iluminação automotiva, iluminação de ruas e estradas, sinalização de trânsito, iluminação de fachadas de prédios, iluminação de paisagens e jardins, entre muitas outras aplicações onde os LEDs são empregados.

Seu circuito é composto por um circuito digital responsável por regular e fornecer a corrente ideal para o componente LED. O conversor estático fornece energia e regula as correntes dos módulos de LEDs, fornecendo uma quantidade constante de energia. Os conversores estáticos com corrente de saída constante são o tipo mais comum e preferido pelo

mercado. A Figura 2.3 apresenta um desenho esquemático de um exemplo do circuito de um driver.

Figura 2.3 – Desenho esquemático do circuito em blocos



Fonte: Autor.

O esquema do circuito apresentado é constituído dos seguintes blocos:

1. Protetor de Surto: é responsável por proteger o driver de surtos elétricos que podem ser gerados através de uma descarga atmosférica. Sua principal função é atuar no momento de uma descarga elétrica absorvendo a energia gerada ou escoar esta energia através da conexão terra.
2. Retificador de Entrada: tem como principal função retificar a tensão alternada da rede elétrica em uma tensão contínua pulsante.
3. EMC Filtro: tem como principal função, filtrar os ruídos elétricos provenientes da rede elétrica e ou também filtrar os ruídos gerados pelo circuito chaveador (PFC e LCC 4C).
4. PFC: tem a função de garantir um alto fator de potência (acima de 0.92) e uma distorção harmônica total (THD) menor que 15%. O PFC ajuda a alinhar a forma de onda da corrente elétrica com a forma de onda da tensão de entrada, garantindo que a corrente consumida pela carga seja mais sinusoidal e esteja em fase com a tensão. Isso minimiza as distorções harmônicas.
5. Barramento DC: tem como principal função garantir que mesmo a tensão de entrada variando entre 110 e 277Vac a tensão CC fornecida ao circuito vai se manter constante.
6. LCC 4C: tem como principal função transformar a tensão contínua CC em uma forma de onda quadrada em alta frequência através do chaveamento por PWM, garantindo que a corrente de saída do driver seja sempre estável independente da variação de carga.

7. Power Trafo: responsável por transformar a tensão quadrada em uma tensão alternada em alta frequência, além de gerar uma tensão no enrolamento secundário, que fornecerá um retorno ao circuito integrado, garantindo o controle da corrente de saída dentro de um limite de variação de +/-8%.
8. Retificador e filtro de saída: tem como principal função retificar a tensão em alta frequência em uma tensão contínua que vai alimentar o módulo de LED com corrente contínua.
9. Controle corrente do transformador: trabalha em conjunto com o bloco 10 (Controle CI), fazendo o monitoramento da corrente e da tensão de saída, controlando os parâmetros já previamente definidos, evitando que ocorra sobre o módulo de LED uma sobrecarga de tensão ou corrente. Este circuito também é utilizado para informar o circuito de proteção, definindo se o driver precisa ou não ser desligado.
10. Controle CI: é responsável por realizar o controle dos circuitos PFC, LCC e proteções, a principal função deste circuito é garantir que o driver de LED esteja totalmente funcionando.

3 METODOLOGIA

Para realizar uma análise de falha é preciso, inicialmente, conhecer todo o processo de fabricação. Neste capítulo será abordado a análise do processo produtivo de drivers de LED e o modelo proposto de um *Failure Book*.

3.1 Processo Fabril do Driver de LED

A fabricação de placas eletrônicas é uma atividade complexa e delicada, possuindo diversas conexões com a espessura de um fio de cabelo. A empresa que oferece esse tipo de produto deve se atentar a diversos aspectos, atender alguns critérios e ser amparada por processos, como por exemplo o fato de uma simples descarga eletrostática gerada pelo atrito de uma roupa de poliéster poder danificar todo um circuito de uma placa (Hallmark, 2023). Por isso, a produção desses componentes exige um padrão que deve ser seguido à risca ou, em caso de adaptações, é preciso avaliar os impactos para a operação e para o resultado do projeto. O processo de confecção dos drivers segue as etapas da Figura 3.1:

Figura 3.1 – Fluxo do processo de produção dos drivers



Fonte: Autor.

1. Ferramentas de pré-forma: para os componentes onde a inserção é manual é necessário que o formato dos terminais seja igual, para facilitar a montagem na placa de circuito impresso, uma vez que o produto requer um posicionamento pré-definido e preciso dos componentes. Essas ferramentas são necessárias para garantir o posicionamento correto dos componentes na placa de circuito impresso, que é primordial para assegurar a correta soldagem e qualidade de inserção.
2. Processo de inserção automática de componentes SMD (Dispositivo de Montagem em Superfície): as placas de circuito impresso, passam pela etapa de aplicação da cola via

stencil plástico na máquina *Printer*, como visto na Figura 3.2, e em seguida a inserção de componentes SMD nano tecnologia (Capacitores, resistores, CI's, transistores de baixa potência e baixa tensão) nas inseroras automáticas SMD.

Figura 3.2 – Máquina *Printer*



Fonte: Autor.

3. Processo *Reflow* de cura da solda: após a finalização do processo de inserção automática de todos os componentes SMD, as placas de circuito impresso são direcionadas para o forno de cura da solda, visualizado na Figura 3.3, onde ocorre a cura da solda entre os componentes inseridos nos endereços existentes nas placas de circuito impresso. Este processo acontece uma vez para os componentes inseridos no lado *bottom* das placas de circuito impresso (PCB) e depois para os componentes inseridos no lado *top* da PCB.

Figura 3.3 – Forno de cura da solda



Fonte: Autor.

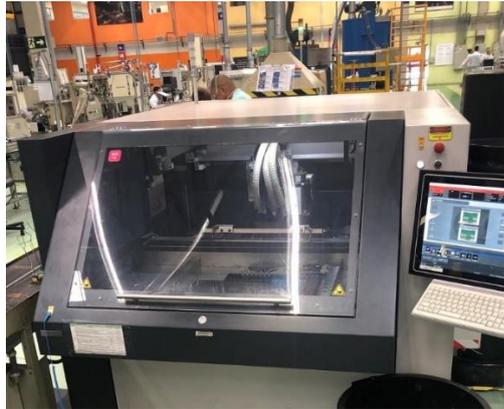
4. Inserção automática de componentes radiais: onde são inseridos os componentes de média dimensão (capacitores eletrolíticos, micro indutores, diodos de média potência e média tensão).
5. Inserção manual: finalizado o processo de inserção automática, as placas de circuito impresso são encaminhadas para a linha de montagem, onde alguns componentes, devido seu tamanho e indisponibilidade do fabricante em fornecê-los de forma adequada para inserção automática, precisam ser inseridos manualmente, como mostrado na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Processo de inserção manual



Fonte: Autor.

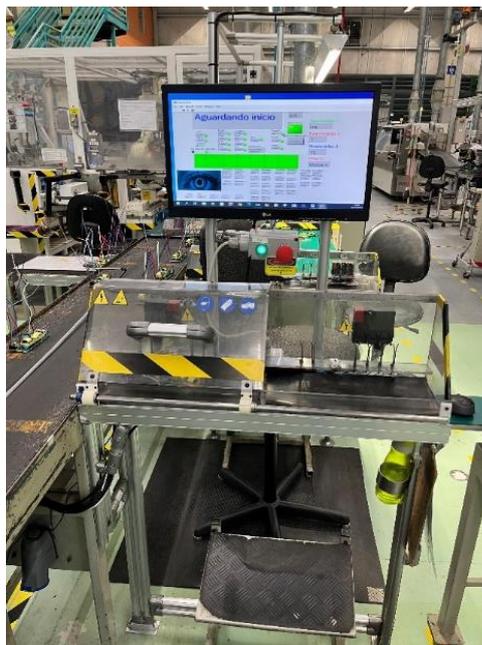
6. Solda convencional: concluído o processo de inserção manual, as placas de circuito impresso, seguem para uma segunda etapa de soldagem, onde as mesmas, já com os componentes inseridos manualmente, passam sobre o tanque de estanho existente na estação de solda garantindo a soldagem.
7. Inspeção e retrabalho: após o processo de soldagem uma inspeção visual é realizada por operadores, para avaliar e garantir que todos os componentes foram soldados durante processo de soldagem e que nenhum curto de solda ou falha de solda estão presentes na PCB.
8. Separação da PCB: finalizada a inspeção, as placas de circuito impresso são separadas através do processo de *router*, mostrado na Figura 3.5, onde através de um processo automático a fresa existente na máquina faz a rota de separação da PCB do painel, separando-as em unidade de PCB e não mais painel.

Figura 3.5 – Processo de *Router*

Fonte: Autor.

9. Teste Funcional: a etapa de teste acontece com o produto ainda sem estar em sua caixa metálica, quando então é realizado um teste de medição de parâmetros elétricos (*funcional test*). O equipamento de teste possui diversos programas, que são criados para cada produto. Quando o produto chega ao posto de teste, como mostrado na Figura 3.6, o programa relacionado ao produto é selecionado pelo operador. Este programa já possui todas as informações pré-estabelecidas pela engenharia para avaliar se ele atende as especificações. Os produtos aprovados nesse teste são liberados para a próxima etapa do processo.

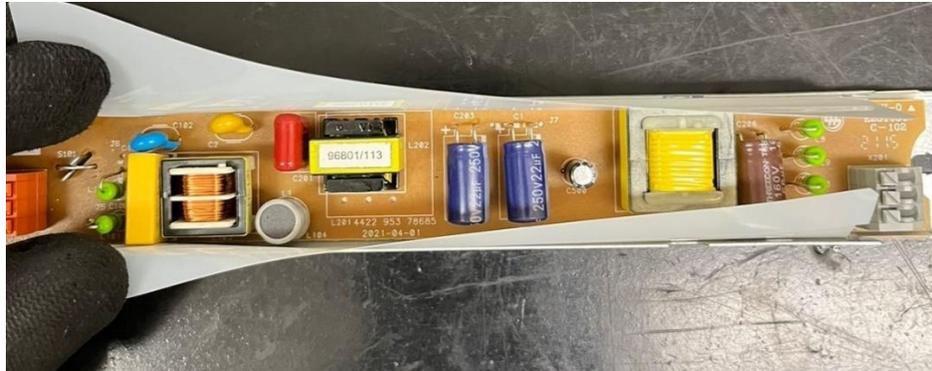
Figura 3.6 – Posto de teste funcional



Fonte: Autor.

10. Montagem: a base metálica do produto, recebe um filme isolante, mostrado na Figura 3.7. Posteriormente a placa de circuito impresso é posicionada sobre a base metálica.

Figura 3.7 – Filme isolante



Fonte: Autor.

11. Fixação da PCB na caixa: uma vez devidamente posicionada na base metálica, os fios elétricos são fixados manualmente por retentores que são encaixados na base metálica do produto, para garantir o correto posicionamento dos fios de alimentação, saída e *dimmer* (circuito de ajuste de potência) do produto.
12. Fechamento: a tampa é posicionada sobre a base e através de uma prensa mecânica o produto é fechado, como pode ser visualizado na Figura 3.8. Este processo garante que o cliente não tenha contato direto com as partes vivas do produto.

Figura 3.8 – Fechamento do produto através da prensa



Fonte: Autor.

13. Teste Final: a etapa de teste acontece com o produto já pronto, quando então é realizado um teste de medição de parâmetros elétricos (*Light up*). O equipamento de teste, apresentado na Figura 3.9, também possui diversos programas, que são específicos para

cada produto. Os produtos aprovados nesse teste são liberados para a última etapa do processo.

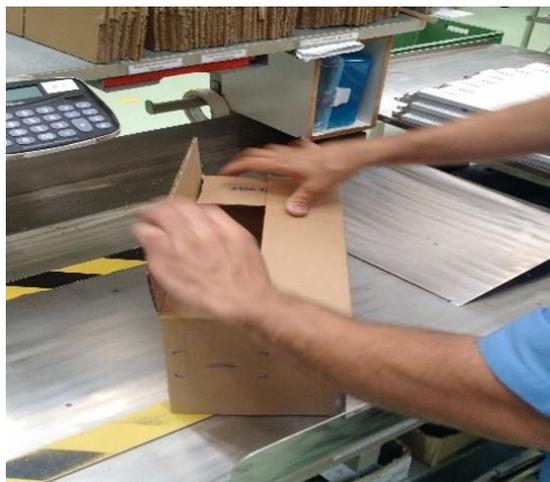
Figura 3.9 – Posto de teste *Light up*



Fonte: Autor.

14. Embalagem: nesta última etapa, os produtos já estão aprovados e são embalados, como mostrado na Figura 3.10. Passam também por uma balança que verifica se as quantidades dentro da caixa coletiva de papelão estão corretas, para serem faturados para os clientes.

Figura 3.10 – Fechamento da embalagem



Fonte: Autor.

O processo foi desenhado de forma eficaz e que assegure a qualidade do produto. Com a execução de todas as ações acima temos o processo produtivo devidamente preparado para produção em massa do produto desenvolvido, sendo este encaminhado para armazenagem e posterior distribuição.

3.2 Modelo Proposto

Como descrito em 2.2, o *Failure Book* permite identificar e compreender as causas de uma falha antes que elas causem maiores danos ou interrupções do processo. Além disso, ele é fundamental para desenvolver soluções eficazes, evitando problemas similares no futuro.

Portanto, após realizada toda a tratativa do problema, faz-se o preenchimento de um formulário de forma a gerar uma gestão visual clara e enxuta, para rapidamente identificar e resolver a falha, além de permitir acompanhar a história de problemas e soluções, o que pode ser útil para futuras investigações e melhorias. Abaixo na Figura 3.11, é apresentado um modelo proposto para trabalhar os modos de falha em um processo:

Figura 3.11 – Modelo *Failure Book*

Date: 18/10/2022			Template – Modo de falha		
1	Descrição do modo de falha	2	Mecanismo de causa/Causa Raiz	3	Soluções
	Campo para descrever o modo de falha. (5W2H)		Campo para descrever a Causa Raiz do modo de falha		Campo para descrever a solução implementada para o problema
4	Impacto	5	Deteccção	6	Referência a documentos técnicos e especialistas
	Campo para descrever o impacto para a fábrica e para o cliente final		Campo para descrever como é detectado o modo de falha e como é possível identificar a falha durante a operação		Documentos que suportam a solução e os responsáveis pela implementação

Fonte: Autor.

1. Descrição do modo de falha: um resumo daquilo que foi compilado pelo 5W2H na etapa de Registro da falha.
2. Mecanismo de causa/Causa raiz: de maneira clara e ilustrativa, é colocado a causa raiz do problema extraído da análise de falha pela metodologia dos 5 porquês.
3. Solução: após realizada a verificação de eficácia da solução proposta e implementada, é trazida aqui uma breve explicação do que é necessário ser realizado.
4. Impacto: é feita também uma análise do que esse problema impacta para a fábrica e para o cliente final, a fim de tornar clara a importância de realizar a tratativa do mesmo.
5. Deteccção: muitas falhas não são tão aparentes ou são difíceis de serem observadas. Portanto é colocado neste local onde a falha é observada e como pode ser identificada.

6. Referência a documentos técnicos e especialistas: anexado documentos que suportam a solução trabalhada e os responsáveis pela implementação para facilitar o rastreio.

Dessa forma, torna-se visualmente fácil a identificação das falhas e suas tratativas. O suporte, quando necessário, se torna ágil pois já se sabe onde ou a quem recorrer para auxiliar. Além de tudo, se torna uma forma de comunicação para com os operadores, pois eles passam a ter uma maior ciência do impacto dos problemas e da importância que suas atividades têm para o todo.

4 RESULTADOS

Para aplicação e análise do método, neste capítulo será tomado como exemplo uma situação real encontrada na fábrica de drivers.

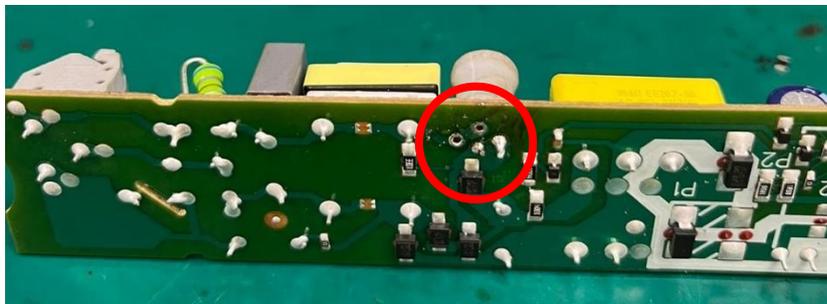
4.1 Análise das falhas

A análise de falha foi realizada na inserção manual (etapa 5 descrita em 3.2). Foi verificado que, ao inserir o indutor na placa, o operador inseria o mesmo de maneira incorreta.

1. Registro da falha:

Durante a fase de implementação do projeto, foi identificado um problema no posto de trabalho onde ocorre a inserção manual dos componentes. Foi constatado que o operador inseriu o indutor de maneira incorreta na placa PCB do driver de LED, visto na Figura 4.1. Essa falha na montagem pode prejudicar o funcionamento do circuito e comprometer o desempenho dos LEDs. Com os dados foi possível dar início no registro da falha e o preenchimento do 5W2H, conforme Figura 4.2.

Figura 4.1 – Indutor inserido de maneira incorreta



Fonte: Autor.

Figura 4.2 – Preenchimento do 5W2H

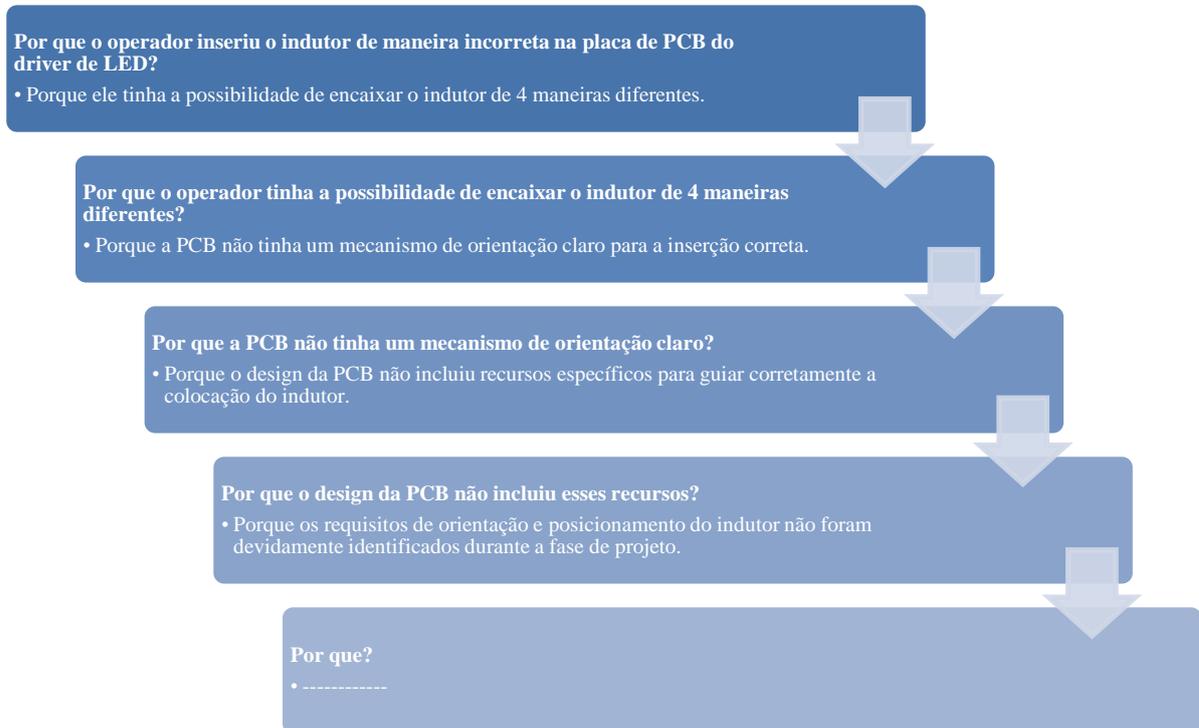
What	• Identificação de inserção incorreta do indutor na placa de PCB do driver de LED
Who	• Operador responsável pela inserção manual dos componentes.
Where	• Posto de trabalho onde ocorre a inserção manual dos componentes.
When	• Durante a fase de implementação do projeto.
Why	• Será tratado posteriormente na etapa de análise de falha.
How	• Será tratado posteriormente na etapa de solução do problema
How much	• Será tratado posteriormente na etapa de solução do problema

Fonte: Autor.

2. Análise da falha:

Tomando como base a falha de inserção incorreta do indutor, prosseguiu-se com a análise de causa raiz, como é possível observar a tratativa dos 5 Porquês na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Preenchimento dos 5 Porquês.

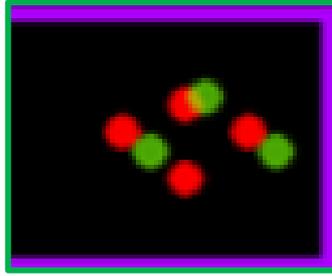


Fonte: Autor.

3. Identificação da solução:

Como verificado na análise da falha, a causa raiz do problema é que os requisitos de orientação e posicionamento do indutor não foram devidamente identificados durante a fase de projeto. Portanto, havia a possibilidade da inserção do componente de 4 maneiras diferentes. Dessa forma, foi proposto modificar a PCB criando um *pokayoke* (uma solução que impeça a ocorrência de erros) que onde no lugar de 4 furos, passaram a ter 3 furos apenas. Assim, eliminando o risco do encaixe errôneo, como apresentado na Figura 4.4, onde em vermelho são mostrados os furos antigos e em verde os novos furos.

Figura 4.4 – Furos da placa



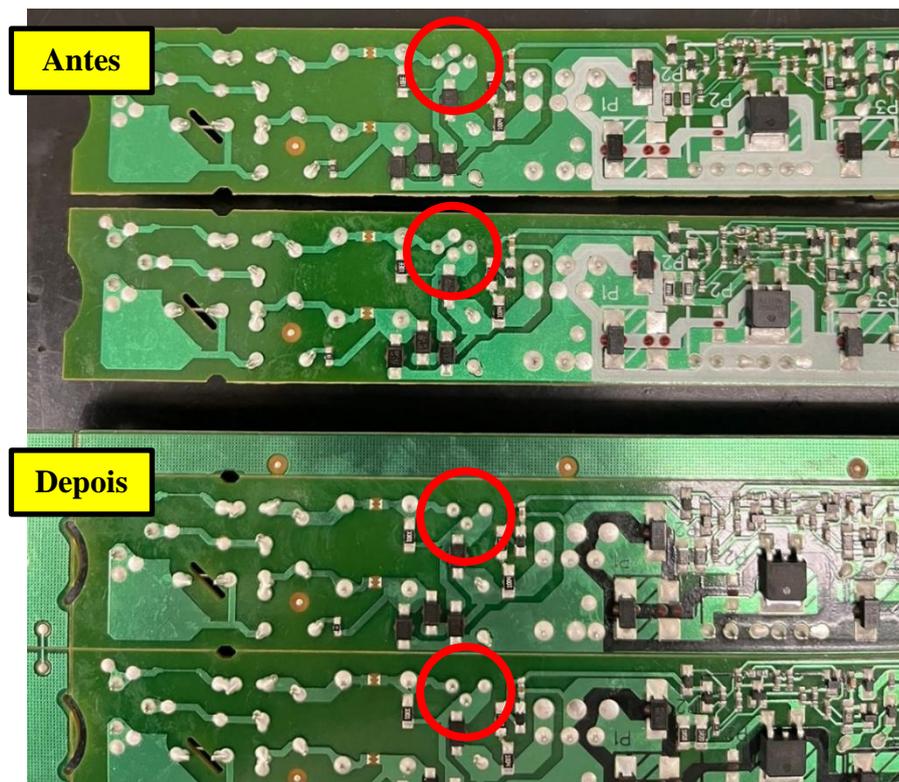
Fonte: Autor.

4. Implementação:

Após desenvolvida a solução, foi feita a análise de risco para garantir que a alteração do desenho não provocaria nenhum risco ao produto. A implementação desta nova etapa se deu no início de todo o processo, modificando o desenho de impressão da PCB.

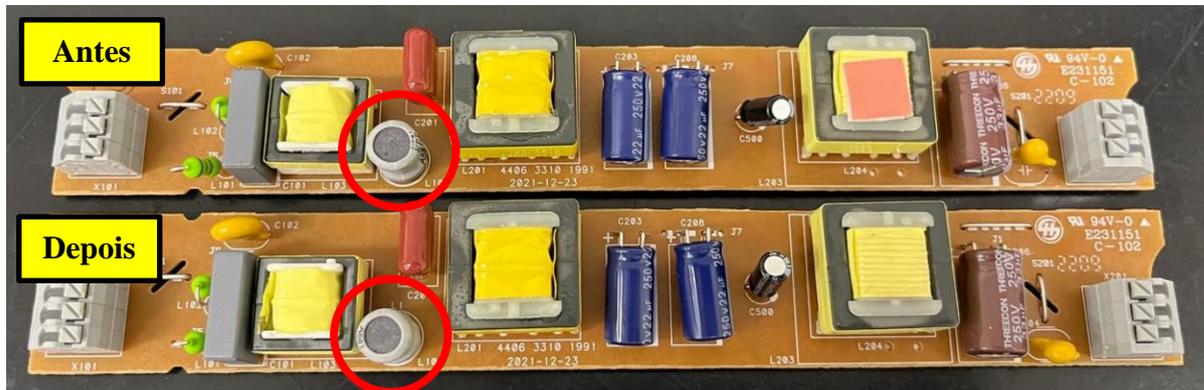
Dessa forma, devido ao *pitch* (distância entre os furos) do componente só haveria a possibilidade de encaixá-lo da maneira correta, não havendo a possibilidade de posicioná-lo de nenhuma outra forma, como mostrado no *pokayoke* (ferramenta que impede a ocorrência de erros) na Figura 4.5. A Figura 4.6 faz uma comparação antes da implementação, onde o indutor poderia ser posicionado da forma incorreta, e depois, com indutor posicionado na forma correta.

Figura 4.5 – Placas antes e depois da modificação



Fonte: Autor.

Figura 4.6 – Comparação do posicionamento do indutor após modificação da PCB



Fonte: Autor.

Além disso, foi realizada a comunicação e o treinamento de todos os colaboradores e envolvidos no processo de alteração, para ficarem cientes das modificações realizadas e da melhoria implementada.

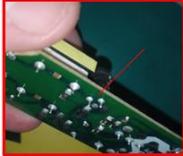
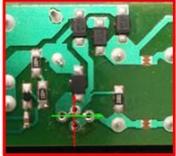
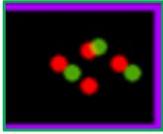
5. Acompanhamento:

Depois de implementado o processo de alteração, foi realizado todo um acompanhamento a fim de verificar sua eficácia e também se a alteração não acarretaria alguma consequência negativa no produto ou no processo de produção. A verificação de eficácia foi comprovada através dos registros dos testes funcionais, os quais não apontaram mais esta falha. Além disso, a produtividade do processo não foi comprometida.

6. Documentação:

Para registro, foi preenchido o Modelo de *Failure Book* a fim de assegurar o histórico de tratativa do problema e garantir a qualidade do produto. A Figura 4.7 apresenta o formulário preenchido.

Figura 4.7 – *Failure Book* preenchido

Date: 18/10/2023		index	
		Componente L104 inserido incorretamente	
Descrição do modo de falha	Mecanismo de causa/Causa Raiz		Soluções
<p>Durante a implementação da Família Certa Drive G2 na Planta de Varginha, foi observado que algumas peças estavam com o indutor L104 posicionado incorretamente. O indutor L104 é inserido de forma manual, podendo ser inserido de até 4 maneiras diferentes, sendo apenas uma delas a posição correta.</p> <p>Abrangência 929001007251-CertaDrive_44W_200_350mA_125V_230V</p>	<p>Durante a análise de causa raiz foi observado que durante a inserção do indutor L104 (que é realizado de forma manual) há a possibilidade do mesmo ser inserido de até 4 maneiras diferentes, sendo apenas uma a posição correta.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>		<p>Como solução, para evitar a inserção de forma incorreta do indutor L104 foi solicitado para o dono do projeto a alteração da PCB do produto, para eliminar a possibilidade das ligações incorretas. A solicitação foi atendida e o risco de inserir o componente L104 de forma incorreta foi eliminado na nova revisão da PCB. (Pontos em vermelho = antigos furos, Pontos em verde = novos furos.</p> 
Impacto	Detecção		Referência a documentos técnicos e especialistas
<p>O indutor L104 inserido na posição errada, impossibilita o funcionamento do produto, pois não há circulação da corrente elétrica.</p>	<p>A falha é detectada durante o teste de linha do produto.</p> <p>O parâmetro exibido no teste com essa falha é "REPROVADO TESTE DC"</p> <p>O indutor L104 inserido em uma posição incorreta pode ser detectado através de inspeção visual.</p>		<p>Especialistas (exemplo) Gerente da Engenharia de Produto</p>

Fonte: Autor.

Com o preenchimento do *Failure Book* o resultado de toda a análise da falha e da sua respectiva solução é apresentado de forma mais objetiva e visual. Além disso, pelo fato de o modo de falha ter sido identificado na fase inicial e de implementação do projeto de fabricação do driver, o impacto negativo para a fábrica foi evitado. O que comprova a importância desta ferramenta de qualidade.

5 CONCLUSÃO

O *Failure Book* é uma importante ferramenta para a empresa quando utilizado de forma correta. Ao registrar e analisar falhas, é possível identificar e corrigir problemas de forma mais eficiente, o que aumenta a qualidade dos produtos e os processos da empresa. A detecção antecipada e correção de problemas pode ajudar a evitar danos maiores e interrupções no futuro, o que pode significar uma redução significativa de custos para a empresa.

Cria-se com ele também um aprendizado contínuo, onde permite-se acompanhar o histórico de problemas e soluções, o que pode ser útil para futuras investigações e melhorias. A empresa pode aprender com seus erros e se tornar mais eficiente com o tempo. Também permite que a equipe de trabalho compartilhe informações e conhecimentos sobre falhas e soluções, o que ajuda a melhorar a comunicação e a colaboração entre as equipes.

Levando em consideração uma empresa que preza por uma gestão de qualidade e para atendimento a normas e regulamento como a ISO9001, o *Failure Book* é uma excelente ferramenta para atendimento aos requisitos de registro e análise de falhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR ISO 9001:2015: Sistemas de gestão da qualidade - requisitos. Rio de Janeiro, 2015. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

AMBIPAR VG. **Tratamento de não conformidade:** definindo desvio e processos. 2017. ESG - GOVERNANÇA, SOLUÇÕES VG, TECNOLOGIA VG. Disponível em: <<https://www.verdeghaia.com.br/tratamento-de-nao-conformidade-definindo-desvio-e-processo/>>. Acesso em: 18 dez. 2022.

BASSO, Victor. **É infalível investir em gestão da qualidade nos hospitais!** Opuspac, c2023. Disponível em: <<https://www.opuspac.com/br/artigos/e-infalivel-investir-em-gestao-da-qualidade-nos-hospitais/>>. Acesso em: 16 jan. 2023.

Driver de LED: o que é e como funciona. c2022. BRLUX. Disponível em: <

GEORGE, M. L. et al. **The lean six sigma pocket toolbox:** a quick reference guide to nearly 100 tools for improving quality and speed. New York: McGraw-Hill, 2004.

HALLMARK. **What is electrostatic discharge?** your complete guide to ESD safety. Hallmark Nameplate, c2023. Disponível em: <<https://www.hallmarknameplate.com/all-about-electrostatic-discharge/>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

LIKER, Jeffrey K. **The Toyota Way:** 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. New York: McGraw-Hill, 2020.

MENDES, Guilherme. **Análise de Causa Raiz (RCA):** as ferramentas mais utilizadas. 2021. FM2S - Solução e Consultoria. Disponível em: <

OHNO, Taiichi. **Toyota production system: beyond large-scale production**. New York: Productivity Press, 1988.

POLI JÚNIOR. **7 ferramentas da Qualidade**: conheça todas e quais suas aplicações. Poli Júnior. 2023. Disponível em: https://polijunior.com.br/blog/ferramentas-da-qualidade/?gclid=Cj0KCQjwho-IBhC_ARIsAMpgMofDhl4t4hVGl_rpxI5rLoGtz0j7UxW8nYPOHFodPtpMF-RswR7cMREaAoZ7EALw_wcB. Acesso em: 25 jun. 2023.

QUALIGEST. **O Custo da Não-Qualidade**. Blog Qualigest, [S.l.], 2023. Disponível em: <https://qualigest.com.br/blog/o-custo-da-nao-qualidade.html>. Acesso em: 25 jun. 2023.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2.d. São Paulo: Atlas, 2002.

VIEIRA, V. A.; PEREIRA, G. D.; CARVALHO, L. R. **Equações de trade-off**: uma abordagem para tomada de decisões em sustentabilidade. *Gestão & Produção*, v. 25, n. 2, p. 250-264, 2018.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Lean thinking**: banish waste and create wealth in your corporation. New York: Free Press, 2003