



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA
E TECNOLOGIA DO AMAZONAS
CAMPUS MANAUS-DISTRITO INDUSTRIAL
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

ÁLVARO LUCAS LESSA CAVALCANTE

**EFICIÊNCIA NO PROCESSO SMT:
ESTRATÉGIAS DE OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS COM ÊNFASE NA OEE**

**MANAUS - AM
2024**

ÁLVARO LUCAS LESSA CAVALCANTE

**EFICIÊNCIA NO PROCESSO SMT:
ESTRATÉGIAS DE OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS COM ÊNFASE NA OEE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus-Distrito Industrial, Curso de Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. MSc. Renan Cavalcante Santos

**MANAUS - AM
2024**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C377e Cavalcante, Álvaro Lucas Lessa.
Eficiência no processo SMT: estratégias de otimização de parâmetros com ênfase na OEE / Álvaro Lucas Lessa Cavalcante. — Manaus, 2024. 38f.: il. color.

Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, Curso de Engenharia de Controle e Automação, 2024.

Orientador: Prof.º Renan Cavalcante Santos, Me.

1. Montagem em Superfície. 2. Processos SMT. 3. Qualidade e performance. 4. Variáveis de processo. I. Santos, Renan Cavalcante. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 629.89

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734)

ANEXO 7

ATA DE DEFESA PÚBLICA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 12 dias do mês de março, de 2024, às 14:20 h, o(a) discente Álvaro Lucas Lessa Cavalcante apresentou o seu Trabalho de Conclusão de Curso para avaliação da Banca Examinadora constituída pelos seguintes integrantes: Prof(a). Renan Cavalcante Santos (docente-orientador), Prof(a). Luiz Henrique Portela de Abreu (Membro 1) e Prof(a). Vitor Bremgartner da Frota (Membro 2). A sessão pública de defesa foi aberta pelo(a) presidente da banca, que apresentou a Banca Examinadora e deu continuidade aos trabalhos, fazendo uma breve referência ao TCC, que tem como título EFICIÊNCIA NO PROCESSO SMT: ESTRATÉGIA D EOTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS COM ÊMFASE NA OEE. Na sequência, o(a) discente teve até 30 minutos para a comunicação oral de seu trabalho. Cada integrante da banca examinadora fez suas arguições após a defesa do mesmo. Ouvidas as explicações do(a) discente, a banca examinadora, reunida em caráter sigiloso, para proceder à avaliação final, deliberou e decidiu pela APROVAÇÃO com média final 8,5 (Oito vírgula cinco) do referido trabalho.

Foi dada ciência ao(à) discente que a versão final do trabalho deverá ser entregue até o dia ____/____/____, com as devidas alterações sugeridas pela banca. Nada mais havendo a tratar, a sessão foi encerrada às ____h ____min, sendo lavrada a presente ata, que, uma vez aprovada, foi assinada por todos os membros da Banca Examinadora e pelo(a) discente.

Prof.(a) Orientador(a)/Presidente: Renan Cavalcante Santos

Prof.(a) Avaliador 1: Luiz Henrique Portela de Abreu

Prof.(a) Avaliador 2: Vitor Bremgartner da Frota

Discente: Álvaro Lucas Lessa Cavalcante

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todas as pessoas que me acompanharam e apoiaram ao longo desta jornada de estudos e descobertas. À minha família, que sempre esteve ao meu lado, me incentivando e me dando forças para seguir em frente. Aos amigos que compartilharam risadas, desafios e momentos inesquecíveis durante essa caminhada. Aos meus professores e orientadores, que me guiaram com sabedoria e conhecimento. E por fim, a todos que, de alguma forma, fizeram parte desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, queria agradecer a Deus, por tudo que Ele fez por mim na caminhada, cada etapa, desafio e conquista foram enfrentados com Sua orientação, fortalecendo minha jornada acadêmica.

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas, especialmente a minha noiva Emanuelle, que estiveram ao meu lado durante a realização deste trabalho e contribuíram para a sua concretização. Em primeiro lugar, sou imensamente grato à minha família, que sempre me apoiou em todas as fases da minha jornada acadêmica.

Agradeço também aos meus amigos, que me acompanharam nessa caminhada e compartilharam momentos inesquecíveis. Vocês foram meu suporte emocional nas horas de estudo e nas horas de descontração. Sem a amizade e o apoio de vocês, essa jornada teria sido muito mais difícil.

Aos meus professores e orientadores, sou profundamente grato pelo conhecimento transmitido, pelo apoio acadêmico e pela orientação precisa que recebi ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Suas contribuições foram fundamentais para a minha formação e para o sucesso deste projeto.

À instituição de ensino, que me proporcionou os recursos e a estrutura necessária para a realização deste trabalho, expressei minha gratidão. Agradeço também às empresas e organizações que contribuíram direta e indiretamente para este estudo, fornecendo informações e dados relevantes para minha pesquisa.

Que este trabalho possa contribuir para a área de engenharia e para a sociedade como um todo. Que ele represente o resultado de esforço, dedicação e aprendizado. E que seja apenas o início de uma jornada repleta de descobertas e realizações.

RESUMO

Este trabalho aborda a importância e os impactos da tecnologia de Montagem em Superfície (SMT) na indústria eletrônica contemporânea. A pesquisa destaca os princípios fundamentais por trás do processo de SMT, analisando seu papel crucial na eficiência e desempenho dos dispositivos eletrônicos modernos. Inicialmente, explora-se a transição da tecnologia de montagem convencional para o SMT, destacando as vantagens que impulsionaram essa mudança, como a redução de espaço, maior automação e eficiência na produção. O estudo aprofunda-se nos aspectos-chave do processo de SMT, desde os componentes e equipamentos utilizados até as técnicas de soldagem por refusão e inspeção de qualidade. Além disso, são examinados os desafios enfrentados na implantação do SMT, como a necessidade de habilidades especializadas e a complexidade do retrabalho de soldas defeituosas. Paralelamente, são apresentadas estratégias para otimizar o processo, visando maximizar a eficiência e a qualidade dos produtos finais. Através de ajustes de parâmetros, focalizando o uso do software *Fuji Flexa* e a aplicação do indicador de desempenho OEE (Eficiência Global do Equipamento), obteve-se uma redução do tempo de ciclo de 64,98 segundos para 53,88 segundos, além disso, a quantidade de placas defeituosas diminuiu de 8 para apenas 2, as adaptações nos parâmetros refletiram diretamente na OEE. A análise da OEE antes e depois das mudanças demonstrou um aumento notório, passando de 70,08% para 80,85%. Esses resultados indicam uma produção mais rápida, eficiente e de maior qualidade, destacando a eficácia das estratégias implementadas. Também são destacadas as tendências futuras, apontando para o potencial contínuo de aprimoramento e desenvolvimento do processo de SMT para atender às demandas crescentes da indústria eletrônica.

Palavras-chave: Variáveis de Processo; Qualidade e Performance; Processos SMT.

ABSTRACT

This work addresses the importance and impacts of Surface Mount Technology (SMT) in the contemporary electronics industry. The research highlights the fundamental principles behind the SMT process, analyzing its crucial role in the efficiency and performance of modern electronic devices. Initially, the transition from conventional assembly technology to SMT is explored, highlighting the advantages that have driven this change, such as reduced space, greater automation and efficiency in production. The study delves into the key aspects of the SMT process, from the components and equipment used to the reflow soldering techniques and quality inspection. In addition, the challenges faced in deploying SMT are examined, such as the need for specialized skills and the complexity of reworking faulty welds. At the same time, strategies to optimize the process are presented, aiming to maximize the efficiency and quality of the final products. Through parameter adjustments, focusing on the use of Fuji Flexa software and the application of the OEE (Overall Equipment Efficiency) performance indicator, a reduction in cycle time from 64.98 seconds to 53.88 seconds was obtained, furthermore, the number of defective boards decreases from 8 to just 2, the adaptations in the parameters reflected directly on the OEE. The analysis of the OEE before and after the changes showed a notable increase, from 70.08% to 80.85%. These results indicate a faster, more efficient, and higher quality production, highlighting the effectiveness of the strategies implemented. Future trends are also highlighted, pointing to the continued potential for improvement and development of the SMT process to meet the growing demands of the electronics industry.

Keywords: Process Variables; Quality and Performance; SMT processes.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 O PROCESSO SMT	10
1.2 JUSTIFICATIVA	11
1.3 OBJETIVOS.....	12
1.3.1 Objetivo Geral.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 INTRODUÇÃO À MONTAGEM EM SUPERFÍCIE (SMT)	13
2.2 ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DA SMT.....	14
2.3 IMPACTO DA SMT NA EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO	17
2.4 RELAÇÃO ENTRE ELEMENTOS DE SMT E QUALIDADE NOS PRODUTOS	18
2.5 DESAFIOS E ESTRATÉGIAS DE OTIMIZAÇÃO DA SMT.....	19
2.6 OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS).....	21
2.7 A MÁQUINA PICK AND PLACE.....	22
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 TROCA DE PARÂMETROS DO FUJI FLEXA.....	25
3.2 PARÂMETROS DE OTIMIZAÇÃO	27
3.2.1 Primeiro Parâmetro de Otimização: Quantidade de Nozzles	27
3.2.2 Segundo Parâmetro de Otimização: Número de Fiduciais	28
3.2.3 Terceiro Parâmetro de Otimização: Velocidade de Colocação dos Componentes	29
3.3 EXECUÇÃO DE TESTE PARA OTIMIZAÇÃO DO PROGRAMA	30
4 RESULTADOS.....	32
4.1 RESULTADOS DE TESTES PARA MELHORIA NA OTIMIZAÇÃO.....	32
4.2 ANÁLISE DA OEE: ANTES E DEPOIS	33
4.3 APLICAÇÕES PRÁTICAS E PERSPECTIVAS FUTURAS	36
5 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

1.1 O PROCESSO SMT

Nos últimos anos, os avanços na tecnologia eletrônica têm sido impulsionados não apenas pela inovação em componentes, mas também pela evolução dos processos de fabricação. Entre esses processos, a Montagem em Superfície (SMT) emergiu como um componente crucial para a produção de dispositivos eletrônicos mais eficientes e de alto desempenho. Este trabalho se propõe a explorar minuciosamente os aspectos-chave do processo de SMT, focando especialmente na sua relação direta com a eficiência e performance dos dispositivos eletrônicos contemporâneos. (RAISA, 2023).

O advento da SMT revolucionou a indústria eletrônica ao permitir a montagem de componentes diretamente na superfície das placas de circuito, substituindo, em grande parte, a tecnologia de montagem de furos passantes (THT). Esse método trouxe consigo uma série de vantagens, incluindo a redução significativa do espaço ocupado pelos componentes, a automatização dos processos de montagem e aprimoramentos na qualidade e desempenho dos dispositivos finais. (PRODUZA S/A, 2022)

Neste contexto, a eficiência e performance tornaram-se focos essenciais para a análise e compreensão do processo de SMT. Esta pesquisa se propõe a desvendar os principais aspectos que contribuem para a eficiência do processo, desde a seleção e preparação dos componentes até a programação das máquinas SMT. Além disso, buscando compreender como tais aspectos influenciam diretamente no desempenho final dos dispositivos, avaliando não apenas a capacidade de produção em massa, mas também a qualidade, confiabilidade e adaptabilidade dos produtos eletrônicos.

Ao longo deste estudo, serão explorados os desafios enfrentados na melhoria do processo de SMT, destacando-se a necessidade de conhecimento técnico especializado e a complexidade do retrabalho. Serão apresentadas estratégias e inovações que visam otimizar ainda mais o processo, almejando não somente a eficiência produtiva, mas também a busca na qualidade dos produtos resultantes.

A compreensão aprofundada dos aspectos-chave da Montagem em Superfície não apenas reflete o estado atual da indústria eletrônica, mas também oferece conhecimentos significativos sobre as tendências futuras, promovendo um debate sobre como a otimização contínua deste processo pode impulsionar a criação de dispositivos eletrônicos mais avançados e adaptáveis às demandas cada vez mais exigentes do mercado.

1.2 JUSTIFICATIVA

A relevância deste estudo se estabelece na constante evolução da indústria eletrônica, onde a demanda por dispositivos mais compactos, eficientes e de alta performance é uma constante. A compreensão detalhada dos aspectos-chave do processo de SMT não apenas reflete o estado atual da tecnologia, mas também oferece oportunidades para otimização, inovação e avanço contínuo na fabricação de dispositivos eletrônicos.

Diante desse contexto, surgem questões cruciais: quais são os aspectos-chave do processo de SMT que influenciam diretamente na eficiência e performance dos dispositivos eletrônicos? Como esses elementos podem ser aprimorados para alcançar níveis mais elevados de eficiência na produção e desempenho dos produtos finais? Além disso, como a evolução contínua da tecnologia SMT pode contribuir para atender às demandas em constante mutação da indústria eletrônica?

Através desta pesquisa, busca-se não apenas identificar os elementos que contribuem para a eficiência do processo de SMT, mas também avaliar como esses aspectos impactam diretamente na qualidade e desempenho dos produtos finais. Além disso, a análise aprofundada desses fatores permitirá explorar estratégias de aprimoramento e inovação, visando atender às crescentes demandas da indústria por dispositivos eletrônicos mais avançados e adaptáveis.

Destaca-se, ainda, a importância de contribuir para o corpo de conhecimento existente nesta área, oferecendo *insights* valiosos para pesquisadores, profissionais e empresas interessadas em aprimorar suas práticas de fabricação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar a influência da otimização de parâmetros, com aplicação da Eficiência Global do Equipamento (OEE) no processo de Montagem em Superfície (SMT). Buscando compreender como as mudanças nos parâmetros impactam a eficiência operacional e o desempenho dos dispositivos eletrônicos produzidos por meio dessa tecnologia.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Definir os parâmetros do *software Fuji Flexa*: Definir detalhadamente os parâmetros do *software Fuji Flexa* no processo SMT, identificando como essas configurações específicas influenciam o desempenho e a eficiência.
- b) Identificar o Impacto dos Parâmetros na Eficiência do Processo: Identificar como os parâmetros identificados influenciam diretamente na eficiência produtiva da SMT, examinando seu papel na redução de custos, na otimização do tempo de produção e na maximização da capacidade de fabricação.
- c) Realizar testes na linha de produção: Realizar testes e análises em linhas de produção para compreender a relação direta entre os elementos específicos do processo de SMT e a performance dos dispositivos eletrônicos resultantes, considerando aspectos como confiabilidade, durabilidade e funcionalidade.
- d) Aplicar a Métrica OEE: Aplicar a métrica da OEE para quantificar a eficiência operacional antes e depois das mudanças nos parâmetros, oferecendo uma visão abrangente do impacto dessas adaptações no processo SMT.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO À MONTAGEM EM SUPERFÍCIE (SMT)

Dentro de qualquer dispositivo eletrônico moderno, é notável a presença abundante de componentes extremamente pequenos. Ao contrário dos componentes convencionais com fios usados em construções e kits, esses são montados diretamente na superfície das placas, muitos deles sendo incrivelmente pequenos. (FENIX INDÚSTRIA, 2023).

Essa técnica é chamada de Tecnologia de Montagem em Superfície (SMT) e envolve os componentes SMT. Praticamente todos os equipamentos eletrônicos comerciais atuais empregam a SMT, pois oferece vantagens significativas na fabricação de PCBs (Printed Circuit Board). O uso de componentes SMT, devido ao seu tamanho, permite a inclusão de uma quantidade muito maior de eletrônicos em espaços consideravelmente menores. Além da redução de tamanho, a SMT possibilita a automação da montagem e soldagem de PCBs, trazendo melhorias substanciais na confiabilidade e gerando economias significativas de custo. (PRODUZA S/A, 2022).

Durante as décadas de 1970 e 1980, houve um aumento na automação da montagem de placas de circuito impresso (PCBs) em vários equipamentos. No entanto, o uso de componentes tradicionais com fios se mostrou desafiador para essa montagem. Resistores e capacitores precisavam ter seus condutores moldados previamente para passar pelos furos, e até mesmo os circuitos integrados requeriam ajustes precisos para encaixar nos locais corretos. (RAISA, 2023).

Essa abordagem era problemática, já que os fios frequentemente não se ajustavam perfeitamente nos furos, exigindo intervenção manual para resolver problemas de encaixe, o que interrompia o processo e elevava os custos. Surge então a tecnologia de montagem em superfície (SMT), que elimina a necessidade dos condutores dos componentes passarem pela placa. Nesse método, os componentes são soldados diretamente na superfície da placa. O uso dos componentes SMT cresceu rapidamente devido às suas vantagens percebidas, o que impulsionou sua adoção (RAISA, 2023).

Hoje, a tecnologia de montagem em superfície é a principal tecnologia usada para montagem de PCB na fabricação de eletrônicos. Os componentes SMT podem ser feitos muito pequenos e muitos tipos são usados aos bilhões, particularmente capacitores SMT e resistores SMT.

Figura 01 - Exemplo de uma máquina de processos SMT.



Fonte: NEODEN, 2020.

2.2 ELEMENTOS FUNDAMENTAIS DA SMT

Os componentes de montagem em superfície apresentam diferenças marcantes em relação às suas contrapartes com pinos. Ao invés de serem projetados para conexões entre pontos através de fios, os componentes SMT são concebidos para serem posicionados e soldados diretamente à superfície de uma placa. (RAISA, 2023).

Figura 02 - Exemplo de um pino (componente eletrônico) usado em processos SMT.



Fonte: Produza, 2020.

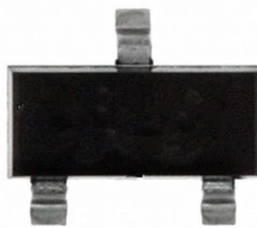
Ao contrário dos componentes tradicionais com pinos que atravessam furos na placa, os componentes SMT possuem uma variedade de estilos de embalagem adequados a diferentes tipos de componentes. Geralmente, esses estilos de embalagem podem ser agrupados em três categorias principais: componentes passivos, como resistores e capacitores; transistores e diodos; e circuitos integrados. Essas três categorias de componentes SMT são detalhadas a seguir. (RAISA, 2023).

Componentes SMD Passivos: Existe uma ampla gama de invólucros usados para componentes SMD passivos. Contudo, a maioria deles são resistores SMT ou capacitores SMT, cujos tamanhos de invólucro são geralmente padronizados. Outros componentes, como bobinas, cristais e similares, tendem a ter requisitos mais específicos e, conseqüentemente, seus próprios invólucros. (RAISA, 2023).

Resistores e capacitores apresentam diferentes tamanhos de invólucro identificados por designações como: 1812, 1206, 0805, 0603, 0402 e 0201. Os números referem-se às dimensões em centésimos de polegada. Por exemplo, 1206 indica 12 x 6 centésimos de polegada. Tamanhos maiores, como 1812 e 1206, foram usados inicialmente, mas atualmente, são menos comuns devido à necessidade de componentes menores. No entanto, ainda são utilizados em aplicações que demandam maior potência ou em situações específicas. As conexões com a placa de circuito impresso são estabelecidas através de áreas metalizadas nas extremidades de cada invólucro. (RAISA, 2023).

Transistores e Diodos: Os transistores e diodos SMT geralmente são encapsulados em invólucros de plástico menores. As conexões são realizadas por meio de condutores que saem do invólucro e são dobrados de forma a se conectarem à placa. Para esses invólucros, geralmente são utilizados três terminais, facilitando a identificação da orientação do dispositivo. (RAISA, 2023).

Figura 03 - Transistor com 03 (três) terminais, utilizado em SMT e SMD.



Fonte: Arquivo pessoal, 2024.

Circuitos Integrados: Para circuitos integrados, são utilizados vários invólucros conforme o nível de interconectividade necessário. Chips simples podem demandar apenas 14 ou 16 pinos, enquanto processadores VLSI (*Very-Large-Scale Integration*) e chips similares podem exigir 200 pinos ou mais. Dessa forma, há uma diversidade de invólucros disponíveis. (RAISA, 2023).

Para chips menores, podem ser utilizados invólucros como o SOIC (*Small Outline Integrated Circuit*), uma versão SMT dos conhecidos invólucros DIL (*Dual In Line*). Existem versões ainda menores, como TSOP (*Thin Small Outline Package*) e SSOP (*Shrink Small Outline Package*). (RAISA, 2023).

Figura 04 - Modelo simples de um chip VLSI para compreensão.



Fonte: Eletronics Hub, 2015.

Chips VLSI requerem uma abordagem distinta. Geralmente, é utilizado um invólucro chamado *Quad Flat Package* (QFP). Este possui uma pegada quadrada ou retangular com pinos em todos os quatro lados. Os pinos são dobrados para fora do invólucro, denominado "*gull wing*", a fim de se conectarem a placa. O espaçamento entre os pinos varia conforme o número necessário. Em alguns chips, pode chegar a 20 milésimos de polegada. O manuseio desses chips requer cuidado, pois os pinos são facilmente dobrados. (RAISA, 2023).

Outros invólucros também são utilizados, como o BGA (*Ball Grid Array*), com as conexões na parte inferior por meio de esferas de solda que derretem durante o processo de soldagem. Essa configuração oferece uma conexão mais ampla e confiável, sendo considerada muito mais segura. Uma versão menor, conhecida como microBGA (*Micro Ball Grid Array*), também está sendo empregada em alguns ICs. (RAISA, 2023).

Com a ampla aceitação da tecnologia de montagem em superfície, há uma extensa gama de componentes à disposição. A diversidade de componentes disponíveis em invólucros de

montagem em superfície supera significativamente a variedade disponível em formas tradicionais com pinos, resultado direto da crescente demanda. (RAISA, 2023).

No entanto, componentes fundamentais e populares, como transistores e vários circuitos integrados (ICs) tanto lógicos quanto analógicos, como amplificadores operacionais, geralmente são oferecidos em versões tanto nos tradicionais invólucros com pinos quanto nos invólucros de montagem em superfície. Por exemplo, um transistor BC109 está disponível em ambas as configurações, assim como muitos amplificadores operacionais e ICs lógicos essenciais. Essa dualidade atende à diversidade de necessidades do mercado.

2.3 IMPACTO DA SMT NA EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO

A SMT é uma tecnologia e processo de montagem de circuitos eletrônicos que utiliza componentes de montagem em superfície (SMDs), que são fixados diretamente na superfície das placas de circuito impresso (PCBs) ou de outros substratos, sem a necessidade de furos ou terminais de solda. A SMT oferece diversas vantagens em relação à montagem convencional através de orifícios (THT), que impactam diretamente na eficiência da produção. Entre essas vantagens, podemos destacar: (FENIX INDÚSTRIA, 2023).

- Redução de tempo: A SMT é fácil de automatizar, o que agiliza a produção de eletrônicos em larga escala, encurtando prazos e se adaptando às mudanças de mercado e tecnologia. Além disso, a SMT elimina a necessidade de perfurar furos nas placas, o que reduz o tempo de fabricação e montagem. (FENIX INDÚSTRIA, 2023).
- Redução de custos: A SMT reduz os custos em 30% a 50%, pois economiza material, energia, equipamentos, força de trabalho, tempo, etc. A SMT também permite a utilização de componentes menores e mais leves, o que diminui os custos de transporte e armazenamento. (FENIX INDÚSTRIA, 2023).
- Redução de desperdícios: A SMT reduz os desperdícios de material, pois utiliza menos pasta de solda e menos componentes que a THT. A SMT também reduz os desperdícios de energia, pois utiliza menos calor e eletricidade que a THT. (FENIX INDÚSTRIA, 2023).
- Aspectos de automação: A SMT utiliza equipamentos de alta tecnologia, como máquinas de impressão de pasta de solda, máquinas de colocação de componentes, fornos de refusão, equipamentos de inspeção óptica automatizada (AOI) e inspeção de

raios-X automatizada (AXI), que permitem o monitoramento e controle em tempo real de todas as etapas do processo, garantindo a qualidade e a precisão dos produtos. (FENIX INDÚSTRIA, 2023).

- Aspectos de manuseio de materiais: A SMT facilita o manuseio de materiais, pois utiliza componentes que são fornecidos em fitas, rolos ou bandejas, que são facilmente transportados e alimentados nas máquinas de montagem. A SMT também evita o manuseio manual dos componentes, o que reduz os riscos de danos, contaminação e erros humanos. (FENIX INDÚSTRIA, 2023).

Portanto, a SMT é uma tecnologia e processo que influencia diretamente na eficiência da produção, pois oferece diversas vantagens em relação à THT, tais como redução de tempo, custos e desperdícios, além de aspectos de automação e manuseio de materiais. A SMT é atualmente a tecnologia de montagem de PCB mais utilizada na indústria eletrônica moderna, sendo aplicada em diversos segmentos, como telecomunicações, informática, automação, médico, militar, aeroespacial, entre outros.

2.4 RELAÇÃO ENTRE ELEMENTOS DE SMT E QUALIDADE NOS PRODUTOS

A principal motivação para a transição para a tecnologia de montagem em superfície foi à significativa melhoria em termos de velocidade, confiabilidade e custo no processo de montagem de PCB. Embora essa seja a maior influência na adoção dessa tecnologia, ela também impacta o design e o desenvolvimento de novos circuitos e dispositivos eletrônicos. Felizmente, essa mudança traz mais benefícios para o desenvolvimento e desempenho do circuito do que desvantagens. Para os engenheiros de desenvolvimento, o uso da tecnologia de montagem em superfície oferece várias vantagens, embora alguns pontos mereçam atenção: (RAISA, 2023).

- Baixa capacitância e indutância espúria: Devido ao pequeno tamanho dos componentes, os níveis de indutância e capacitância espúria são consideravelmente menores. Resistores SMT operam mais próximos do ideal, e capacitores SMT apresentam indutância parasita significativamente reduzida. Isso viabiliza velocidades mais altas e frequências superiores com componentes SMT em comparação com equivalentes com chumbo. (RAISA, 2023).
- Classificações de potência mais baixas: A classificação de potência dos componentes de montagem em superfície é uma consideração importante. Resistores de montagem

em superfície, por exemplo, têm capacidade de dissipação menor do que seus equivalentes com chumbo. É essencial atentar para essas diferenças e verificar as informações fornecidas pelos fabricantes. (RAISA, 2023).

- Circuitos menores e/ou mais densos: Com a busca por funcionalidade em espaços reduzidos na indústria eletrônica, a tecnologia de montagem em superfície desempenha um papel crucial ao possibilitar a miniaturização. Componentes podem ser substancialmente menores e montados mais próximos na placa de circuito impresso do que seria possível com componentes tradicionais com chumbo. (RAISA, 2023).
- Embora seja necessário observar algumas precauções ao utilizar a tecnologia de montagem em superfície em um novo projeto, a maioria dos aspectos do design permanece praticamente inalterada. Esses designs, no entanto, tendem a ser mais complexos, proporcionando maior funcionalidade e capacidade no campo da eletrônica. (RAISA, 2023).

2.5 DESAFIOS E ESTRATÉGIAS DE OTIMIZAÇÃO DA SMT

Atualmente, o SMT é predominantemente empregado na montagem e fabricação de PCB, permitindo a inclusão de uma maior quantidade de eletrônicos em espaços mais reduzidos. Os componentes de montagem em superfície, sendo mais compactos, oferecem geralmente um desempenho aprimorado e são compatíveis com sistemas automatizados de seleção e posicionamento, muitas vezes eliminando a necessidade de intervenção manual no processo de montagem. (RAISA, 2023)

A colocação automática de componentes com fios sempre foi desafiadora, uma vez que os fios precisavam ser moldados previamente para se adequar ao espaçamento do orifício relevante, resultando frequentemente em problemas de colocação. (RAISA, 2023)

Hoje em dia, na montagem de placas de circuito impresso, a maioria dos componentes é inserida automaticamente, reduzindo ao mínimo a intervenção manual. Embora alguns componentes possam eventualmente necessitar de ajustes manuais, essa necessidade está constantemente diminuindo. O design de placas de circuito impresso é frequentemente adaptado para favorecer a colocação automática de componentes, com fabricantes desenvolvendo versões especializadas de montagem em superfície que possibilitam a automação quase completa. (RAISA, 2023)

A resiliência ao calor tem sido uma preocupação para alguns componentes durante os processos de soldagem, com tecnologias como circuitos integrados, resistores de montagem em superfície e muitos capacitores de montagem em superfície apresentando boa adaptabilidade a essas condições. (FENIX INDÚSTRIA, 2023)

Entretanto, os capacitores eletrolíticos de montagem em superfície inicialmente enfrentaram desafios nesse aspecto. No entanto, foram desenvolvidas versões capazes de suportar as temperaturas do processo de soldagem, superando as limitações iniciais. Além disso, alguns componentes exigiram desenvolvimento específico para viabilizar sua disponibilidade em formatos de montagem em superfície. (FENIX INDÚSTRIA, 2023).

Problemas associados às placas de montagem em superfície podem surgir devido às variações de temperatura e à flexão da placa. Em placas que utilizam componentes com chumbo, esse cenário não representa grande preocupação, pois os fios desses componentes absorvem o movimento e aliviam qualquer tensão resultante. O mesmo não se aplica necessariamente aos componentes de montagem em superfície, que são soldados rigidamente à placa de circuito impresso. (RAISA, 2023).

Componentes como transistores e circuitos integrados de montagem em superfície, nos quais os condutores se estendem do corpo do dispositivo até a superfície da placa, possuem certos mecanismos para acomodar o movimento. No entanto, resistores e capacitores de montagem em superfície não contam com esses meios. (RAISA, 2023).

Os componentes mais suscetíveis à tensão na placa são os capacitores de montagem em superfície, especialmente a variedade MLCC (Cerâmico Multicamada) de cerâmica, que tendem a rachar sob tensão de tração, representando uma considerável preocupação para a confiabilidade. Diversas precauções podem ser implantadas no design e na montagem do PCB para minimizar problemas de empenamento e expansão térmica: (RAISA, 2023).

- Distribuição uniforme de energia e aterramento: Durante o processo de soldagem, as placas de circuito impresso experimentam aquecimento significativo, podendo levar ao empenamento, especialmente em placas grandes. Distribuir uniformemente os planos de energia e aterramento por toda a placa ajuda a mitigar esse problema. A ausência desses planos em partes específicas da placa pode resultar em empenamento. (RAISA, 2023).
- Formato dos componentes: Componentes de montagem em superfície com corpos curtos e largos são preferíveis aos longos e finos, pois reduzem os efeitos de expansão e flexão. (RAISA, 2023).

- Montagem dos componentes em ângulo reto à direção da flexão máxima: Dado que as placas tendem a se deformar ao longo do comprimento mais longo, montar os componentes em um plano sujeito à flexão mínima contribui para a minimização de problemas. (RAISA, 2023).
- Apesar da possibilidade de utilizar alguns componentes SMT em projetos de construção caseira, é essencial exercer extrema cautela durante o processo de soldagem. Mesmo circuitos integrados com espaçamento mais amplo entre os pinos podem apresentar desafios ao serem soldados manualmente. (FENIX INDÚSTRIA, 2023).

Dispositivos com cinquenta ou mais pinos requerem equipamento especial para soldagem, sendo destinados principalmente à produção em larga escala. Mesmo ao lidar com placas já construídas, é crucial adotar precauções. No entanto, os benefícios de custo significativos oferecidos pelos componentes SMT levaram à sua ampla adoção pelos fabricantes. Por sorte, para aqueles envolvidos em construção caseira, os componentes tradicionais com terminais que podem ser soldados manualmente continuam amplamente disponíveis, constituindo uma opção mais viável. É importante observar que os componentes SMT podem ser empregados em projetos caseiros específicos, contanto que os terminais e conexões não sejam excessivamente pequenos para serem manipulados com ferramentas tradicionais, como ferros de solda. (FENIX INDÚSTRIA, 2023).

2.6 OEE (OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS)

OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), ou Eficiência Global do Equipamento, é um indicador amplamente utilizado na indústria para medir a eficiência global do equipamento. Ele é baseado em três principais dimensões: disponibilidade, desempenho e qualidade. (OEE, 2023).

A disponibilidade refere-se à quantidade de tempo de trabalho de um equipamento, em comparação com o período em que ficou disponível para seu funcionamento. A performance, por sua vez, avalia o ritmo de produção, levantando dados sobre a velocidade de produção de determinado item, comparando com o nível de agilidade esperado. Já a qualidade é um índice utilizado para medir produtos e itens que apresentam defeitos, e não podem ser entregues ao cliente. (VOITOO, 2021).

O OEE é uma ferramenta cujas métricas são construídas a partir da junção dos índices de disponibilidade de equipamentos, desempenho e qualidade. Antes do surgimento desse

indicador, apenas a disponibilidade era considerada na utilização dos equipamentos, o que resultava no dimensionamento de capacidade. O OEE permite uma análise mais real da utilização dos ativos industriais medindo o valor agregado que cada equipamento produz em um determinado período de tempo. (VOITOO, 2021).

2.7 A MÁQUINA PICK AND PLACE

O sistema *Pick and Place* trata de soluções de automação voltadas para o manuseio de objetos por máquinas ou robôs. Esses dispositivos são capazes de pegar peças, partes, caixas ou outros itens e direcioná-los a áreas específicas. Por exemplo, em uma linha de produção, um braço robótico colaborativo pode pegar embalagens de produtos e inseri-las em caixas ou transferir embalagens vazias para outra esteira onde serão preenchidas. O sistema *Pick and Place* está intimamente ligado a tarefas como paletização e empacotamento. (CLAVEL, 1984).

Para superar essas limitações, eles mudaram para máquinas multifuncionais modulares, com várias cabeças e vários pórticos (*gantry*) que poderiam ter cabeças trocadas rapidamente em diferentes módulos, dependendo do produto sendo construídas para máquinas com várias minitorres capazes de colocar o todo espectro de componentes com velocidades teóricas de 136.000 componentes por hora. As máquinas mais rápidas podem ter velocidades de até 200.000 CPH (componentes por hora).

Figura 05 - Cabeças de montagem (minitorre).



Fonte: FUJI, 2022.

- *Nozzle*: A captura (*pickup*) e posicionamento (*placement*) de um determinado tipo de componente eletrônico são feitas por meio de um bocal de sucção apropriada (*nozzle*) acoplada à cabeça (*Head*). Os fatores que definem o tipo de *nozzle* a ser utilizado são a

área de contato do componente e seu peso. Por exemplo, componentes como (IC's) circuitos integrados exigem bocais de maior dimensão inclusive com ventosas (*gaskets*), enquanto componente tipo 1608 (1,6 x 0,8 mm) exigem bocais menores. A troca de bocais é feita na unidade de troca automática de *nozzles* (*Nozzle Station*).

Figura 06 - *Nozzles*.



Fonte: CNSMT, 2022.

- *Nozzles Station*: (ou estação de *nozzles*) que é o dispositivo onde são alocados os *nozzles* que são configurados pelo programador durante a confecção no programa do conteúdo. Com isso, entra o revólver, que é um componente presente em máquinas *Pick and Place*. Sua principal responsabilidade é armazenar e trocar os *nozzles* conforme necessário para diferentes tarefas.

Figura 07 – *Nozzle Station*.



Fonte: FUJI, 2022.

- **Fiducial da Placa**: Os fiduciais são marcas de referência presentes na Placa de Circuito Impresso (PCB). Essas marcas são essenciais para o processo de montagem, pois ajudam o sistema a alinhar corretamente os componentes. Quando a PCB é populada

com componentes eletrônicos, como resistores, conectores e matrizes de grades de esferas, os fiduciais servem como pontos de referência. Eles garantem que os componentes sejam posicionados com precisão durante a montagem. O dispositivo responsável pela leitura dos fiduciais é crucial para a calibração automática de posicionamento de todos os componentes do equipamento, incluindo as *parts câmera* e os alimentadores.

Figura 08 - Máquina.



Fonte: FUJI, 2022.

- *Fuji Flexa*: embora seja abordado mais tarde e com mais detalhes, é preciso falar sobre este software de programação e controle, que é um software utilizado para programar e controlar os movimentos do braço robótico em máquinas *Pick and Place*. Ele desempenha um papel fundamental na precisão e eficiência da operação. Com ele, é possível definir trajetórias exatas para o braço robótico, garantindo que os componentes sejam posicionados corretamente na PCB. Além disso, o *Fuji Flexa* permite a configuração personalizada de parâmetros, como velocidade, aceleração e posicionamento, para otimizar o processo de montagem.

3 METODOLOGIA

Este estudo adotará uma abordagem prática e acessível para investigar os aspectos-chave da Montagem em Superfície (SMT). Inicialmente, será realizada uma revisão detalhada de fontes bibliográficas, incluindo artigos científicos e recursos online, visando compreender os fundamentos e avanços dessa tecnologia.

Além disso, uma análise prática será conduzida, examinando componentes eletrônicos utilizados no processo de SMT e investigando o funcionamento dos equipamentos envolvidos.

Será feita uma análise da máquina *Pick and Place* e seus acessórios, como o *nozzle*, a estação de troca de *nozzles*, *software Fuji Flexa*, fiduciais da placa e a cabeça da *Pick and Place*. Serão estudados o funcionamento desses elementos, sua interação no processo de montagem e como eles influenciam a eficiência e a precisão da máquina.

Na metodologia deste trabalho, será empregado o uso do indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) em conjunto com uma simulação utilizando o software de programação *Fuji Flexa* para máquinas *Pick and Place*. O objetivo é avaliar a eficiência do processo de montagem antes e depois das alterações nos parâmetros da máquina. Os parâmetros a serem alterados incluem a quantidade de *nozzles* utilizados, o número de fiduciais identificados na placa e a velocidade de colocação dos componentes.

Inicialmente, será feita uma análise do estado atual do processo, utilizando o OEE para quantificar a eficiência. Em seguida, serão realizadas simulações no software de programação para identificar possíveis melhorias.

Após a implantação das alterações feitas na simulação, será realizada uma nova análise com o OEE para quantificar o impacto das mudanças na eficiência do processo. Dessa forma, será possível avaliar de maneira objetiva a eficácia das alterações propostas.

Em seguida, serão analisados casos reais de implantação do SMT por empresas, buscando compreender suas práticas e desafios enfrentados.

3.1 TROCA DE PARÂMETROS DO FUJI FLEXA

O *Fuji Flexa* é um software de gerenciamento de linha SMT (Tecnologia de Montagem em Superfície). Ele é usado para aumentar a produtividade e a qualidade na produção de eletrônicos. O software realiza tudo, desde a criação de dados de programa até o monitoramento do status de produção. Ele é capaz de converter uma grande variedade de dados CAD e você

pode verificar a consistência dos dados do programa. Isso permite que os operadores preparem programas de produção e verifiquem a disponibilidade de componentes antes da produção.

Além disso, o *Fuji Flexa* pode monitorar o status de produção em tempo real, fornecendo informações valiosas para aperfeiçoar o processo de produção. Ele também pode gerenciar o inventário de componentes e fornecer relatórios detalhados sobre o desempenho da produção. Em resumo, o *Fuji Flexa* é uma ferramenta essencial para qualquer operação de produção SMT, ajudando a garantir que os processos de produção sejam eficientes e de alta qualidade.

Agora, serão explorados alguns dos parâmetros de otimização essenciais no contexto da montagem de componentes utilizando este software como ferramenta central para analisar e aprimorar a eficiência dos processos de produção. Essas otimizações têm o potencial de impactar significativamente o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), resultando em maior produtividade e qualidade.

Os parâmetros escolhidos foram selecionados com base em recomendações de um líder de produção, especialista em processo SMT. Os parâmetros foram os seguintes:

- Quantidade de *Nozzles*: Parâmetro que influencia diretamente na capacidade de produção da máquina *Pick and Place*. A escolha desse parâmetro é fundamentada na necessidade de maximizar a cobertura da área de trabalho, minimizando os tempos de troca de *nozzles*, já que isso afeta a capacidade de colocação dos componentes em uma única passada, assim aumentando a velocidade de montagem dos componentes.
- Número de Fiduciais: Para garantir a precisão e a confiabilidade da montagem dos componentes durante o processo SMT. Ao ajustar esse parâmetro, visamos encontrar um equilíbrio entre a quantidade mínima necessária para garantir uma colocação precisa dos componentes e a minimização do tempo de inicialização do processo.
- Velocidade de Colocação dos Componentes: A velocidade de colocação dos componentes foi ajustada considerando a variação no tamanho dos componentes utilizados no processo SMT. Componentes menores podem ser colocados mais rapidamente, aproveitando sua menor necessidade de precisão, o que contribui para um aumento na produtividade geral. Por outro lado, componentes maiores requerem uma colocação mais lenta para garantir uma montagem precisa, reduzindo o risco de defeitos na placa.

3.2 PARÂMETROS DE OTIMIZAÇÃO

3.2.1 Primeiro Parâmetro de Otimização: Quantidade de Nozzles

Antes da mudança nos parâmetros de otimização do *Fuji Flexa*, observava-se um desempenho relativamente estável na produção, com resultados consistentes (figura 09), porém sem grandes avanços em eficiência. Inicialmente, a opção padrão era configurada como "No", indicando que a otimização da estação de *nozzles* não seria utilizada, resultando na necessidade frequente de trocar os *nozzles* na estação e na configuração manual do próprio programador. Esse processo manual dependia também do próprio conhecimento do programador, pois ele deveria definir os *nozzles* adequados para o programa.

No entanto, após a revisão e ajuste dos parâmetros específicos no software *Fuji Flexa*, uma mudança significativa ocorreu. A opção foi alterada para "Minimum", permitindo ao software determinar automaticamente a quantidade mínima de *nozzles* necessária para completar a estação (figura 10). Essa decisão eliminou a necessidade de trocas constantes de *nozzles*, otimizando assim o tempo de operação da máquina *Pick and Place*. Com esta configuração, a cabeça da máquina podia utilizar o cartucho completo sem interrupções, resultando em um processo mais eficiente e ágil, diferentemente, da configuração anterior.

Figura 09 - Primeiro Parâmetro de Otimização (antes).

Field Label	Value	Description
▼ Machine Setup		
High Productivity Mode		Do not use. With this mode, all of the axes on the robot move faster to improve productivity.
Ultra productivity mode		Do not use. When this mode is set, all the axes on the robot move faster than they do when [High Productivity Mode] is specified.
Board Flow		Left->Right. Specifies the direction of board conveyance as viewed from the front of the machine(This is used for optimization).
▼ Optimization		
Optimize Nozzle Station		No. Specifies whether or not to optimize the nozzle allocation.
Use Wide Range Nozzle		When set in shape data. Specify whether to use wide range nozzles.
Optimizer Type		Optimal. Specifies the optimizer type.
Optimizer Priority		Prioritize balance. Specifies whether optimization prioritizes module balancing.

Fonte: Arquivo Pessoal, 2024.

Figura 10 - Primeiro Parâmetro de Otimização (depois).

Field Label	Value	Description
▼ Machine Setup		
High Productivity Mode		Do not use. With this mode, all of the axes on the robot move faster to improve productivity.
Ultra productivity mode		Do not use. When this mode is set, all the axes on the robot move faster than they do when [High Productivity Mode] is specified.
Board Flow		Left->Right. Specifies the direction of board conveyance as viewed from the front of the machine(This is used for optimization).
▼ Optimization		
Optimize Nozzle Station		Yes. Specifies whether or not to optimize the nozzle allocation.
Nozzle Station Nozzle Allocation Method		Minimum. Specifies whether to allocate the maximum amount of nozzles to the station or only the minimum amount of nozzles required by the head.
Use Wide Range Nozzle		Use when possible. Specify whether to use wide range nozzles.
Optimizer Type		Optimal. Specifies the optimizer type.
Optimizer Priority		Prioritize balance. Specifies whether optimization prioritizes module balancing.

Fonte: Arquivo Pessoal, 2024.

Figura 11 - Estação de *Nozzles* (antes).

No.	Name
1	R07-011WRM-070
2	R07-011WRM-070
3	R07-011WRM-070
4	R07-011WRM-070
5	R07-013-070
6	R07-007-070
7	R07-007-070
8	R07-007-070
9	R07-007-070
10	R07-007-070
11	R07-007-070
12	R07-007-070
13	R07-006WRS-070
14	R07-006WRS-070
15	R07-006WRS-070

Fonte: Arquivo Pessoal, 2024.

Figura 12 - Estação de *Nozzles* (depois).

No.	Name
1	R07-006WRS-070
2	R07-006WRS-070
3	R07-007-070
4	R07-007-070
5	R07-007-070
6	R07-007-070
7	R07-007-070
8	R07-007-070
9	R07-007-070
10	R07-007-070
11	R07-007-070
12	R07-007-070

Fonte: Arquivo Pessoal, 2024.

Na figura 11, entende-se que a máquina tinha uma quantia variada de 15 *nozzles* com 4 variações de tamanho para operação do programa. Na figura 12, percebe-se que a estação foi reduzida em 12 *nozzles* com apenas 2 variações de tamanho.

3.2.2 Segundo Parâmetro de Otimização: Número de Fiduciais

Anteriormente, o processo de iniciação do programa na máquina *Pick and Place* exigia que a câmera identificasse quatro pontos fiduciais na placa, uma etapa para garantir a precisão na colocação dos componentes (figura 13). No entanto, ao realizar uma análise mais aprofundada dos parâmetros envolvidos, foi identificado um potencial de otimização nesse aspecto específico do processo.

A mudança estratégica ocorreu ao ajustar o parâmetro fiducial da máquina para permitir a identificação de apenas dois pontos na placa (figura 14). Essa alteração representou uma abordagem mais eficiente, resultando em uma notável redução no tempo de iniciação do

programa. Agora, a câmera precisava identificar apenas dois pontos fiduciais para iniciar o processo de colocação dos componentes, simplificando significativamente a fase inicial do procedimento.

Figura 13 - Segundo Parâmetro de Otimização (antes).

▼ Mark	
Mark Reset	Reset Specifies whether or not to perform fiducial mark auto selection.
Mark Compensation Count	4 marks Specifies the number of marks for auto fiducial mark selection.

Fonte: Arquivo Pessoal, 2024.

Figura 14 - Segundo Parâmetro de Otimização (depois).

▼ Mark	
Mark Reset	Reset Specifies whether or not to perform fiducial mark auto selection.
Mark Compensation Count	2 marks Specifies the number of marks for auto fiducial mark selection.

Fonte: Arquivo Pessoal, 2024.

A redução no número de pontos fiduciais necessários não comprometeu a precisão do processo, evidenciando como ajustes estratégicos nos parâmetros podem resultar em ganhos consideráveis de eficiência, sem comprometer a qualidade do produto final.

3.2.3 Terceiro Parâmetro de Otimização: Velocidade de Colocação dos Componentes

Antes da otimização dos parâmetros, o software da máquina implementava a opção "*Fine-Slow*" para certos componentes, uma escolha padronizada visando garantir uma colocação precisa e suave na placa. Essa configuração reduzia a velocidade durante o processo de deposição, minimizando o risco de deslocamentos indesejados dos componentes. Embora essa abordagem priorizasse a precisão, também resultava em um aumento no tempo de ciclo para cada placa, impactando a eficiência operacional.

No entanto, ao realizar uma revisão detalhada, identificou-se a oportunidade de melhorar a eficiência do processo para certos componentes. Introduziu-se a opção "*Fine-Fast*", que permitia aumentar a velocidade de colocação para componentes menores, onde a alta precisão não era crítica (figura 15). Essa mudança possibilitou a deposição desses componentes em alta velocidade, sem comprometer a segurança e evitando deslocamentos, uma vez que eram

menos propensos a esse tipo de problema. Com a implementação desta opção, observou-se uma redução no tempo de ciclo de cada placa. Essa adaptação não apenas otimizou a eficiência operacional, mas também demonstrou a importância de ajustes específicos nos parâmetros para atender às necessidades específicas de diferentes componentes.

Figura 15 - Terceiro Parâmetro de Otimização (depois).



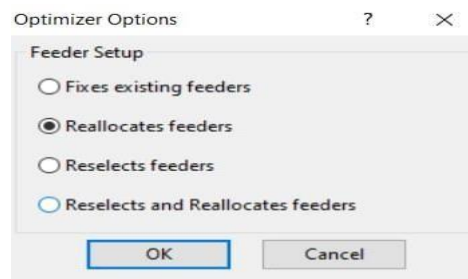
Fonte: Arquivo Pessoal, 2024.

3.3 EXECUÇÃO DE TESTE PARA OTIMIZAÇÃO DO PROGRAMA

Aliado a este tipo de análise, o *Job Builder* também agrega valor neste processo. Esta extensão de otimização usado na programação de máquinas de montagem em superfície (SMT), é uma parte essencial do sistema de gerenciamento do *software Fuji Flexa*. O *software* é usado para distribuir peças para diferentes módulos e organizar as sequências para cada módulo na ordem ideal para minimizar o tempo de ciclo. O otimizador dentro do *Job Builder* é usado para organizar as sequências na melhor ordem.

Para aperfeiçoar um trabalho, você seleciona "*Optimizer...*" no menu "*Tools*" para exibir a caixa de diálogo "*Optimizer Options*" (figura 16). Para aperfeiçoar a disposição do alimentador, você seleciona a opção "*Allocate feeders*". Depois de especificar as configurações desejadas, clique em "OK" para exibir a caixa de diálogo "*Select Machine*". Selecione as máquinas desejadas e clique em "OK". Clique em "*Yes*" na caixa de diálogo de confirmação para confirmar que a otimização deve ser realizada para as máquinas selecionadas.

Figura 16 - Configuração de Otimização.



Fonte: Arquivo Pessoal, 2024.

A caixa de diálogo "*Optimizer*" exibe o status do processo de otimização junto com quaisquer erros e também exibe o melhor *Cycle Time* (tempo de ciclo) que a própria extensão conseguiu aplicar.

4 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DE TESTES PARA MELHORIA NA OTIMIZAÇÃO

A escolha do *Cycle Time* (Tempo de ciclo) como parâmetro de otimização se fundamenta na sua relevância para a eficiência operacional e na sua capacidade de fornecer dados de tempo sobre o desempenho do sistema. Ao diferenciar o tempo de produção de cada trabalho, será possível identificar padrões, gargalos e oportunidades de melhoria que podem passar despercebidos em uma análise mais generalizada.

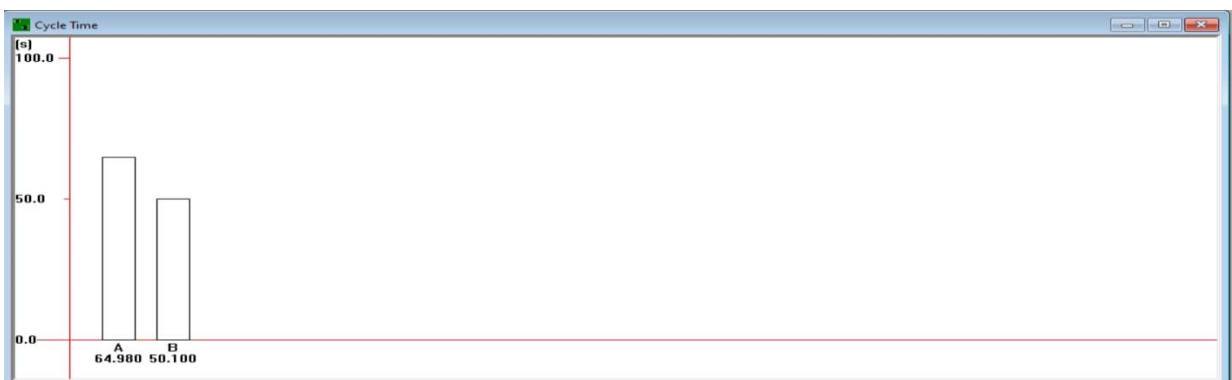
Os resultados dos testes de otimização do *software Fuji Flexa* revelaram impactos importantes na eficiência operacional da máquina *Pick and Place*. Anteriormente, o tempo de ciclo estava estabelecido em 64,98 segundos, refletindo a configuração inicial dos parâmetros (figura 17). No entanto, com as adaptações estratégicas discutidas anteriormente, observou-se uma notável redução para 53,88 segundos no tempo de ciclo (figura 18).

Essa diminuição de 11 segundos representativa no tempo de ciclo demonstra claramente os benefícios tangíveis das mudanças implementadas nos parâmetros. A otimização do processo, incluindo ajustes na estação de *nozzles*, na identificação fiducial, e na velocidade de colocação de componentes, convergiu para uma melhoria geral na eficiência da máquina *Pick and Place*.

A capacidade de reduzir o tempo de ciclo não apenas aumenta a produtividade, mas também impacta diretamente os custos operacionais, resultando em uma produção mais eficiente.

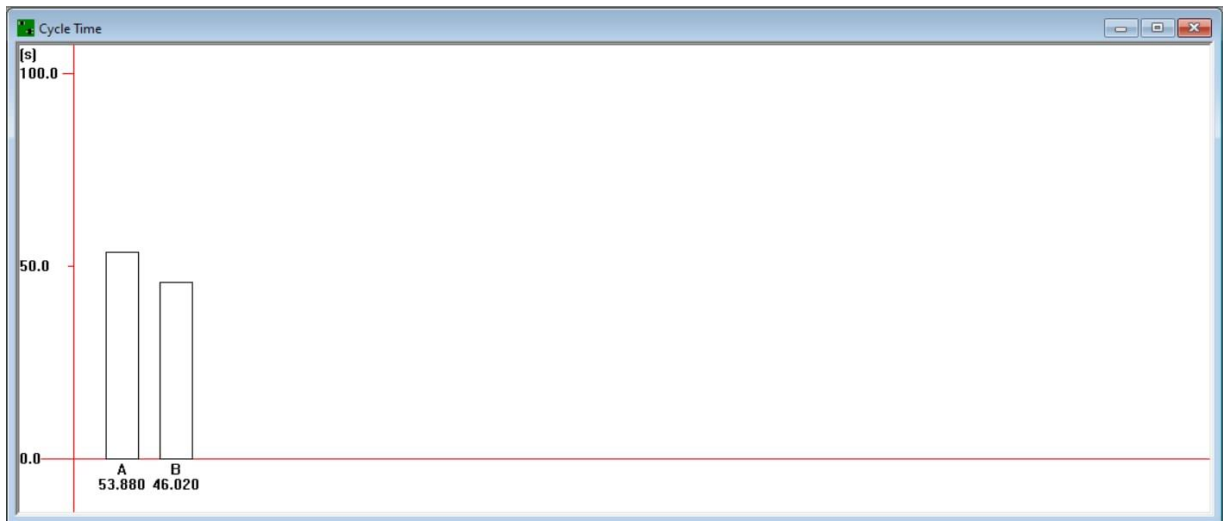
As figuras 17 e 18, respectivamente, provam que a utilização do tempo de ciclo como parâmetro de otimização proporciona uma visão mais abrangente e precisa do desempenho do *Fuji Flexa*, complementando outras métricas e indicadores já utilizados no sistema.

Figura 17 - *Cycle Time* (Tempo de Ciclo) (Antes).



Fonte: Arquivo pessoal, 2024.

Figura 18 - *Cycle Time* (Tempo de Ciclo) (Depois).



Fonte: Arquivo pessoal, 2024.

É importante identificar que nas figuras 17 e 18, o que determina o tempo de ciclo é o maior tempo entre as colunas A e B, ou seja, deve-se considerar a coluna A para saber o tempo de ciclo correto do programa.

4.2 ANÁLISE DA OEE: ANTES E DEPOIS

Nesta etapa, será utilizada a métrica OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), ou Eficiência Global do Equipamento, como citada anteriormente, em conjunto com uma máquina *Pick and Place* e o parâmetro de tempo de ciclo da máquina.

O OEE é um indicador amplamente utilizado na indústria para medir a eficiência global de um equipamento, levando em consideração aspectos como disponibilidade, desempenho e qualidade. A máquina *Pick and Place*, por sua vez, é um equipamento utilizado em processos de Tecnologia de Montagem em Superfície (SMT) para colocar componentes em placas de circuito impresso.

O cálculo do OEE é realizado pelo produto entre esses três indicadores. Portanto, $OEE\% = Disponibilidade\% * Performance\% * Qualidade\%$. A performance, que está diretamente relacionada ao tempo de ciclo, é calculada da seguinte maneira: $Performance\% = (Produção\ Real / Produção\ Ideal) * 100\%$. A utilização do OEE tem como objetivo avaliar a eficiência do processo de montagem realizado pela máquina *Pick and Place*. Ao verificar o tempo de ciclo

da máquina, é possível identificar possíveis ineficiências no processo e programar melhorias para aperfeiçoar a produção.

Figura 19 - Cálculo da OEE (Antes)

OEE = 93,66% * 80% * 93,54% = 70,08%	D% 2,81 / 3 93,66%	A	TEMPO PROGRAMADO PRA PRODUZIR 3 hrs		
			B	TEMPO PRODUZINDO 2,81 hrs	PERDAS DE DISPONIBILIDADE 0,19 hrs
			C	PRODUÇÃO TEÓRICA = (B * 3600)/CYCLE TIME 155 blanks	
			D	PRODUÇÃO REAL 124 blanks	PERDAS DE PERFORMANCE 31 blanks
			E	BOAS + RUINS 124 blanks	
			F	BOAS 116 blanks	PERDAS DE QUALIDADE 8 blanks
CYCLE TIME: 64,98 seg/blank					

Fonte: Arquivo Pessoal, 2024.

Tabela 01 - Antes - OEE *Pick and Place*

Cycle Time = 64,98s

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de Operação Real}}{\text{Tempo Total de Funcionamento}}$$

$$\text{Disponibilidade} = \frac{2,81 \text{ horas}}{3 \text{ horas}}$$

$$\text{Disponibilidade} = 93,66\%$$

$$\text{Performance} = \frac{\text{Produção Real}}{\text{Produção Ideal} \left[\frac{(\text{Tempo de Operação Real} * 3600)}{\text{Cycle Time}} \right]}$$

$$\text{Performance} = \frac{124 \text{ blanks}}{155 \text{ blanks}}$$

$$\text{Performance} = 80\%$$

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Produtos bons}}{\text{Total de Produtos Produzidos}}$$

$$\text{Qualidade} = \frac{116 \text{ blanks}}{124 \text{ blanks}}$$

$$\text{Qualidade} = 93,54\%$$

$$OEE = Disponibilidade * Performance * Qualidade$$

$$OEE = 93,66\% * 80\% * 93,54\%$$

$$OEE = 70,08\%$$

Figura 20 - Cálculo da OEE (Depois)

OEE = 94,33% * 86,77% * 98,78% = 80,85%	D%	A	TEMPO PROGRAMADO PRA PRODUZIR 3 hrs		
	94,33%	2,83 / 3	B	TEMPO PRODUZINDO 2,83 hrs	PERDAS DE DISPONIBILIDADE 0,17 hrs
	P%	164 / 189	C	PRODUÇÃO TEÓRICA = (B * 3600) / CYCLE TIME 189 blanks	PERDAS DE PERFORMANCE 25 blanks
	86,77%	164 / 189	D	PRODUÇÃO REAL 164 blanks	
	Q%	162 / 164	E	BOAS + RUINS 164 blanks	PERDAS DE PRODUÇÃO
	98,78%	162 / 164	F	BOAS 162 blanks	

CYCLE TIME: 53,88 seg/blank

Fonte: Arquivo Pessoal, 2024.

Tabela 02 - Depois - OEE Pick and Place

$$\text{Cycle Time} = 53,88s$$

$$\text{Disponibilidade} = \frac{\text{Tempo de Operação Real}}{\text{Tempo Total de Funcionamento}}$$

$$\text{Disponibilidade} = \frac{2,83 \text{ horas}}{3 \text{ horas}}$$

$$\text{Disponibilidade} = 94,33\%$$

$$\text{Performance} = \frac{\text{Produção Real}}{\text{Produção Ideal} \left[\frac{(\text{Tempo de Operação Real} * 3600)}{\text{Cycle Time}} \right]}$$

$$\text{Performance} = \frac{164 \text{ blanks}}{189 \text{ blanks}}$$

$$\text{Performance} = 86,77\%$$

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Produtos bons}}{\text{Total de Produtos Produzidos}}$$

$$\text{Qualidade} = \frac{162 \text{ blanks}}{164 \text{ blanks}}$$

$$\text{Qualidade} = 98,78\%$$

$$OEE = Disponibilidade * Performance * Qualidade$$

$$OEE = 94,33\% * 86,77\% * 98,78\%$$

$$OEE = 80,85\%$$

A análise da Eficiência Global do Equipamento (OEE) antes e depois das melhorias nos parâmetros do software *Fuji Flexa* proporcionou uma visão abrangente do impacto positivo dessas adaptações na eficiência operacional da máquina *Pick and Place*. Inicialmente, com um tempo de ciclo de 64,98 segundos, a OEE era calculada em 70,08% (tabela 01). Após a implementação das melhorias nos parâmetros, o tempo de ciclo foi reduzido para 53,88 segundos, resultando em um aumento significativo na OEE para 80,85% (tabela 02).

Os resultados obtidos em diferentes dias de produção ilustram como as melhorias nos parâmetros não apenas aceleraram o processo, mas também aumentaram a produção total. Antes das mudanças, o tempo de produção real foi registrado em 2,81 horas, resultando na produção de 124 placas com 8 placas ruins (figura 19). Após as melhorias, mesmo com um tempo de produção real de 2,83 horas, a produção aumentou para 164 placas, com apenas 2 placas defeituosas (figura 20). Essa variação nos números ressalta não apenas a eficácia das alterações nos parâmetros para acelerar a produção, mas também para melhorar a qualidade do produto final. A OEE aprimorada, combinada com um aumento substancial na produção e uma redução significativa de placas defeituosas, destaca o sucesso das adaptações realizadas. Essa abordagem estratégica na otimização de parâmetros resultou em benefícios tangíveis, posicionando a máquina *Pick and Place* em um patamar mais elevado em termos de eficiência operacional e qualidade de produção.

A partir dos cálculos e análises da OEE realizados durante a pesquisa, foi possível observar melhorias nos resultados obtidos. Esses ganhos operacionais são fundamentais para aumentar a competitividade da empresa, reduzir custos e garantir a satisfação do cliente.

4.3 APLICAÇÕES PRÁTICAS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Muitas empresas têm adotado a SMT como uma forma de se manterem competitivas e inovadoras no mercado eletrônico, obtendo resultados significativos em termos de eficiência e desempenho de seus produtos. Alguns exemplos de estudos de caso de empresas que programaram com sucesso a SMT são:

A *ASMPT Solutions*, uma empresa de automação industrial, implantou a SMT em seus processos de produção, utilizando componentes ultrafinos, integração de sistemas em pacote

(SiP) e soldagem 3D. Com isso, a empresa conseguiu aumentar a eficiência energética em 25%, reduzir o tempo de produção em 30%, melhorar a qualidade e a confiabilidade dos produtos e reduzir os desperdícios de material e energia. (ASMPT SMT Solutions, 2024).

A *Foxconn* anunciou um investimento de 1 bilhão de dólares para expansão e aprimoramento do processo SMT. Esse investimento visou impulsionar a eficiência e qualidade na produção de dispositivos eletrônicos. A empresa buscou incorporar tecnologias avançadas do SMT como parte de sua estratégia para fortalecer a capacidade produtiva e manter-se na vanguarda da inovação na fabricação de componentes eletrônicos. (ETTelecom, 2023).

Além dos casos de sucesso, existem também tendências emergentes na SMT, que apontam para o futuro desta tecnologia e seus potenciais impactos na eficiência e performance dos dispositivos eletrônicos. Algumas dessas tendências são como exemplo a miniaturização, que consiste na redução do tamanho dos componentes e das placas, exigindo novas técnicas e abordagens para garantir a qualidade e a confiabilidade dos produtos eletrônicos miniaturizados e a manufatura aditiva, que consiste na utilização de técnicas de impressão 3D para a produção de componentes eletrônicos, permitindo a personalização e à inovação dos produtos eletrônicos.

Portanto, a SMT é uma tecnologia e processo que tem se mostrado eficaz e vantajoso para as empresas que buscam melhorar a eficiência e o desempenho de seus produtos eletrônicos, bem como se adaptar às mudanças e às demandas do mercado. A SMT também está em constante evolução, acompanhando as tendências e as inovações do setor eletrônico.

5 CONCLUSÃO

No desfecho deste trabalho, é evidente que a tecnologia de montagem em superfície (SMT) desempenha um papel fundamental na evolução da indústria eletrônica, oferecendo inovações significativas no processo de fabricação de placas de circuito impresso (PCBs). A análise aprofundada dos aspectos-chave do processo de SMT revela não apenas sua complexidade, mas também suas inúmeras vantagens em termos de eficiência, desempenho e economia de custos.

Ao explorar os desafios associados à tecnologia SMT, a análise abrangente das melhorias implementadas nos parâmetros do software *Fuji Flexa* para a máquina *Pick and Place* evidencia um impacto substancial na eficiência operacional e na performance da produção. Ao longo deste estudo, foram abordados ajustes estratégicos nos parâmetros, desde a otimização da estação de *nozzles*, alterações na identificação fiducial até a adaptação da velocidade de colocação de componentes.

Além disso, os resultados destacam a importância de uma abordagem estratégica na otimização de parâmetros para atender às necessidades específicas de cada componente e do processo como um todo. As melhorias não apenas aceleraram o tempo de ciclo, mas também trouxeram benefícios diretos à eficiência operacional, reduzindo os tempos de inatividade, aumentando a produção e minimizando defeitos. Essa abordagem pode servir como um exemplo prático para outras indústrias que buscam aprimorar seus processos por meio da otimização de parâmetros em suas máquinas automatizadas.

Como próximo passo, propõe-se a análise de novos parâmetros passíveis de otimização para aprimorar ainda mais a eficiência do processo SMT. Adicionalmente, sugere-se a introdução de melhorias na linha de produção, explorando possíveis inovações na integração de tecnologias emergentes que possam amplificar tanto a eficiência quanto a qualidade do produto final. Essas iniciativas são direcionadas a manter a competitividade e promover a inovação constante no dinâmico cenário da fabricação eletrônica.

REFERÊNCIAS

BENTZEN, B. S. **SMD placement**. 2004.

BROCHOSKI, P.; CANDIDO, M. A. B. **Sistema para programação da produção com capacidade finita em máquinas SMT**. Dissertação (Mestrado em Informática). Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 1999. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp001617.pdf>>. Acesso em: 20 Dez. 2023.

ELBEST, R. **Componentes SMD - Tecnologia de montagem de componentes em superfície**. 2004.

SMT e SMD: Entendendo as Tecnologias de Montagem de Circuitos. FENIX INDÚSTRIA, 2023. Disponível em: <<https://www.fenixindustria.net.br/smt-smd-entendendo-as-tecnologias-de-montagem-de-circuitos/>>. Acesso em: 10 Nov. 2023.

Fuji Flexa. FUJI SMT Site, 2023. Disponível em: <<https://smt.fuji.co.jp/en/>>. Acesso em: 19 Nov. 2023.

FUJI SMT Site. FUJI CORPORATION, 2023. Disponível em: <<https://smt.fuji.co.jp/en/>>. Acesso em: 19 Nov. 2023.

Job Builder. ASMPT SMT Solutions, 2023. Disponível em: <<https://www.smt.asmpt.com/en/products/software-solutions/works/works-process-expert/>>. Acesso em: 19 Nov. 2023.

LIMA, T. **Placas de Circuito Impresso Multicamadas**. 2017.

MARCANTE, L. E. **Sistema integrado de apoio ao controle de qualidade em processos de manufatura de placas eletrônicas**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MEHL, E. L. M. **Conceitos fundamentais sobre placas de circuito impresso**. 2014.

MELLO, C. H. P. **ISO 9001:2000: Sistema de Gestão da Qualidade para Operações de Produção e Serviços**. São Paulo: Atlas, 2002.

O Impacto da Miniaturização na Soldagem SMT: Novas Tendências. RAISA, 2023. Disponível em: <<https://blog.raisa.com.br/o-impacto-da-miniaturizacao-na-soldagem-smt-novas-tendencias-e-tecnicas-emergentes/>>. Acesso em: 19 Nov. 2023.

O que é Montagem SMT - Montagem em Superfície. UETPCB, 2020. Disponível em: <<https://uetpcb.com/pt/what-is-smt-assembly/>>. Acesso em: 19 Nov. 2023.

O que é SMT: Tecnologia de Montagem em Superfície e Dispositivos SMT. RAISA, 2023. Disponível em: <<https://blog.raisa.com.br/o-que-e-tecnologia-de-montagem-em-superficie-e-dispositivos-smt/>>. Acesso em: 19 Nov. 2023.

COUTINHO, Thiago. **O que é tempo de ciclo? Saiba calcular e otimize processos**. VOITOO, 2021. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-tempo-de-ciclo>>. Acesso em: 28 Jan. 2024.

OEE (Overall Equipment Effectiveness). VOITTO, 2021. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/blog/artigo/o-que-e-oe>>. Acesso em: 28 Jan. 2024.

Processos de Soldagem - SMT: Tendências e Benefícios. RAISA, 2023. Disponível em: <<https://blog.raisa.com.br/automatizacao-do-processo-de-soldagem-smt-tendencias-e-beneficios/>>. Acesso em: 10 Nov. 2023.

O potencial da Surface Mount Technology (SMT) em um projeto. PRODUZA S/A, 2022. Disponível em: <<https://produza.ind.br/tecnologia/surface-mount-technology-smt/>>. Acesso em: 10 Nov. 2023.

SMT vs. THT: Comparando Tecnologias de Montagem em Superfície e Through Hole. RAISA, 2023. Disponível em: <<https://blog.raisa.com.br/tecnologia-de-montagem-em-superficie-smt-vs-montagem-through-hole-tht-comparacao-e-aplicacoes/>>. Acesso em: 10 Nov. 2023.

SILVA, R. **Lean Manufacturing in Electronics: A Guide to SMT and the Electronics Assembly Process.** Boca Raton: CRC Press, 2019.

Sistema Pick and Place: o que é, funcionamento e principais aplicações. Universal Robots Brasil, 2022. Disponível em: <<https://www.universal-robots.com/br/blog/sistema-pick-and-place-o-que-%C3%A9-funcionamento-e-principais-aplicac%C3%B5es/>>. Acesso em: 19 Nov. 2023.

Mentor Graphics Corporation. **SMT Data Preparation, Load Balancing and Schedule Performance.** Circuitnet, 2023. Disponível em: <https://www.circuitnet.com/news/uploads/2/mentorpaper_68919.pdf>. Acesso em: 28 Jan. 2024.

SMT Pick and Place machines. FUJI SMT Site, 2023. Disponível em: <<https://smt.fuji.co.jp/en/product/>>. Acesso em: 19 Nov. 2023.

LI, Will. **Tecnologia de montagem em superfície (SMT): O que é? Como funciona?.** Moko Technology, 2019. Disponível em: <<https://www.mokotechnology.com/pt/the-application-of-surface-mount-technology-on-pcb/>>. Acesso em: 19 Nov. 2023.

TEMPO DE CICLO: SAIBA COMO CALCULAR PASSO A PASSO. EPR Consultoria, 2023. Disponível em: <<https://eprconsultoria.com.br/tempo-de-ciclo>>. Acesso em: 01 Fev. 2024.

Foxconn to invest up to \$1 billion in new Bengaluru plant. ETTelecom, 2023. Disponível em: <<https://telecom.economictimes.indiatimes.com/news/foxconn-to-invest-in-indias-telangana-state/98377252>>. Acesso em: 15 Nov. 2023.

WORKS Process Expert - ASMPT SMT Solutions. ASMPT SMT Solutions, 2024. Disponível em: <<https://www.smt.asmpt.com/en/products/software-solutions/works/works-process-expert/>>. Acesso em: 23 Jan. 2024.

ZHOU, Y. **Quality Management in Electronics Manufacturing: SMT and the Electronics Assembly Process.** Boca Raton: CRC Press, 2018.

SMT SOLUTIONS. NEODEN TECHNOLOGY, 2023. Disponível em: <<https://www.neodensmt.com/smt-solutions>>. Acesso em: 23 Jan. 2024.

SM482 - INSERSORA DE COMPONENTES SMD - MULTI-FUNCTIONAL PLACER. AllPoint Electronics, 2023. Disponível em: <<https://www.allpoint.com.br/insersora-smd-placer-sm482.html>>. Acesso em: 23 Jan. 2024.