



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

Técnico em Eletromecânica

DESENVOLVIMENTO DE UM MISTURADOR DE TINTAS

DEVELOPMENT OF A PAINT MIXER

Gustavo Rogério Ferreira¹

Lucas Miranda Gurgel De Jesus²

Luiz Guilherme Dos Santos Borges³

Rafael Franco Martins De Araújo⁴

Resumo: O artigo retrata a ideia de um misturador de tintas automatizado, desenvolvido com o propósito de modernizar e otimizar o processo produtivo dentro de um contexto industrial. O tema central aborda a transição de um sistema arcaico para uma solução tecnológica, visando melhorar a uniformidade das cores e a eficiência geral. O problema que motivou o projeto era a dependência de um processo manual. Antes da intervenção, a operação de mistura era realizada manualmente e, frequentemente, com equipamentos improvisados. Esta abordagem ultrapassada era a causa raiz de diversos problemas crônicos na linha de produção, gerando atrasos recorrentes, desperdício significativo de matéria-prima (como pigmentos e bases) e, o mais crítico, falhas constantes na tonalidade final do produto. A falta de precisão e repetibilidade do método manual comprometia a qualidade e a padronização, dificultando a garantia de que lotes diferentes da mesma cor tivessem correspondência exata. O objetivo principal do projeto foi, portanto, desenvolver e implementar uma solução que qualificasse a modernização desta máquina, substituindo o processo manual por um sistema automatizado, prático e rápido. A meta era criar um processo mais confiável, seguro e eficiente. Na prática, o objetivo de confiabilidade traduzia-se em garantir que as cores saíssem sempre iguais, eliminando a variabilidade humana. Segurança envolvia a criação de um fluxo de trabalho mais organizado e a redução da manipulação direta de componentes. Eficiência e rapidez visavam agilizar todo o ciclo de mistura, permitindo que a empresa respondesse com mais agilidade às demandas de produção e às solicitações de cores personalizadas, reduzindo gargalos operacionais. O protótipo foi construído utilizando majoritariamente materiais reciclados: o reservatório principal foi feito de uma botija de gás refrigerante de ar condicionado e um motor DC 12V de vidro elétrico de carro

¹Ensino Médio, EE Lucy Requião de Mello e Silva, Cambará/PR – gustavo.ferreira303@etec.sp.gov.br

²Ensino Fundamental II, Colégio Bagozzi, Ourinhos/SP, lucas.jesus160@etec.sp.gov.br

³Ensino Médio, E E DR Ernesto Fonseca, Chavantes/SP– luiz.borges43@etec.sp.gov.br

⁴Técnico em Mecânica, Etec Jacinto Ferreira de Sá, Ourinhos/SP – rafael.araujo191@etec.sp.gov.br



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

foi adaptado para a hélice de mistura. O cérebro do sistema é um microcontrolador ESP32. Como o ESP32 opera a 3,3V e precisava controlar três bombas d'água de 12V (para a dosagem das tintas), foi implementado um circuito de interface. Este circuito utilizou, para cada bomba, um transistor de potência TIP122 como chave eletrônica, um resistor de 220Ω e um diodo 1N4007. O software, desenvolvido na IDE Arduino, conectou o ESP32 à rede Wi-Fi e à plataforma Blynk IoT. Isso permitiu a criação de um aplicativo móvel onde o usuário, através de seletores deslizantes, define as proporções de cor, e o firmware executa a dosagem automatizada. Com isso, os resultados da implementação foram tangíveis e positivos. Houve uma redução significativa de desperdício de matéria-prima, graças à precisão da dosagem automatizada. Conseqüentemente, observou-se uma maior qualidade do produto final, assegurada pela alta repetibilidade das cores. A empresa passou a contar com uma melhor organização e eficiência na operação, migrando da improvisação para um processo padronizado. Contudo, o desenvolvimento enfrentou desafios, como a calibração da vazão das bombas, a potencial latência na comunicação IoT e a necessidade de uma fonte de alimentação de 12V robusta para suportar a partida dos motores.

Palavras-chave: Misturador, Padronização de cores, Otimização de processo, Produtividade.

Abstract: The article portrays the idea of an automated paint mixer, developed with the purpose of modernizing and optimizing the production process within an industrial context. The central theme addresses the transition from an archaic system to a technological solution, aiming to improve color uniformity and overall efficiency. The problem that motivated the project was the dependence on a manual process. Before the intervention, the mixing operation was performed manually and often with improvised equipment. This outdated approach was the root cause of several chronic problems on the production line, generating recurring delays, significant waste of raw materials (such as pigments and bases), and, most critically, constant failures in the final product's shade. The lack of precision and repeatability in the manual method compromised quality and standardization, making it difficult to ensure that different batches of the same color had an exact match.

The main objective of the project was, therefore, to develop and implement a solution that qualified the modernization of this machine, replacing the manual process with an automated, practical, and fast system. The goal was to create a more reliable, safe, and efficient process. In practice, the objective of reliability translated into ensuring that colors always came out the same, eliminating human variability. Safety involved creating a more organized workflow and reducing the direct handling of components. Efficiency and speed aimed to streamline the entire mixing cycle, allowing the company to respond more quickly to production demands and custom color requests, reducing operational bottlenecks.

The prototype was built using mostly recycled materials: the main reservoir was made from an air conditioner refrigerant gas cylinder, and a 12V DC motor from a car's power window was adapted for the mixing propeller. The system's brain is an ESP32 microcontroller. Since the ESP32 operates at 3.3V and needed to control three 12V water pumps (for dosing the paints), an interface circuit was implemented. This circuit used, for each pump, a TIP122 power transistor as an electronic switch, a 220Ω resistor, and a 1N4007 diode. The software, developed in the Arduino IDE, connected



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

the ESP32 to the Wi-Fi network and the Blynk IoT platform. This allowed for the creation of a mobile application where the user, using sliders, defines the color proportions, and the firmware executes the automated dosing.

With this, the implementation results were tangible and positive. There was a significant reduction in raw material waste, thanks to the precision of automated dosing. Consequently, a higher quality of the final product was observed, ensured by the high repeatability of the colors. The company began to rely on better organization and efficiency in the operation, migrating from improvisation to a standardized process. However, the development faced challenges, such as calibrating the pumps' flow rate, potential latency in IoT communication, and the need for a robust 12V power supply to support the motors' startup.

Keywords: Mixer, Color standardization, Process optimization, Productivity.

1.0 INTRODUÇÃO

O protótipo de misturador de tintas, um projeto que aborda o tema da automação de processos industriais aplicados à fabricação de tintas, utilizando tecnologias de baixo custo e Internet das Coisas. O problema central que motivou esta pesquisa foi a necessidade de solucionar as ineficiências do processo manual de mistura. Dentro da indústria, a mistura manual é lenta, suscetível a erros humanos, gera desperdício de matéria-prima e, principalmente, resulta em inconsistências na tonalidade final do produto, afetando diretamente o controle de qualidade.

Diante disso, o objetivo geral do trabalho foi desenvolver e implementar um sistema de dosagem automática para um protótipo de misturador de tintas já existente. Os objetivos específicos incluíram a integração de um microcontrolador ESP32 com bombas de dosagem, o desenvolvimento de um circuito de interface de potência seguro para acionar os motores e a criação de uma interface de usuário na plataforma Blynk para controle remoto e preciso das proporções de cada cor. A justificativa para a escolha deste protótipo se deu após um consenso geral devido aos problemas que teriam que ser resolvidos. A ideia inicial do grupo era aprimorar um triturador industrial desenvolvido por uma turma de mecânica. No entanto, essa ideia foi abandonada ao vermos os problemas técnicos e a complexidade para arrumar equipamento original.

A oportunidade surgiu quando um dos integrantes do nosso grupo, que já havia concluído um curso técnico de mecânica, apresentou seu TCC (Trabalho de Conclusão de Curso): um misturador de tintas mecânico. Vimos neste protótipo a oportunidade perfeita de aplicar nossos conhecimentos de eletrônica e automação,



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

implementando a dosagem automática que faltava e agregando um valor tecnológico significativo a um projeto já funcional.

Para atingir os objetivos, a metodologia empregada foi a de desenvolvimento de protótipo. Esta abordagem combinou a reutilização da estrutura mecânica existente (feita com materiais reciclados) com o projeto e montagem de um novo circuito eletrônico de controle. O software embarcado foi desenvolvido na IDE do Arduino para o ESP32, estabelecendo a comunicação Wi-Fi com os servidores Blynk.

A seguir serão apresentados os seguintes capítulos: Detalhamento do Misturador, que descreve a arquitetura geral do sistema. Em seguida, o texto se aprofunda na análise técnica dos componentes críticos da interface de potência, explicando em “Por que utiliza-se o resistor de 220 Ω ?”, em “Por que utiliza-se um diodo 1N4007?”, e em “Por que se utiliza um transistor TIP122?”, fornecendo a base teórica para as decisões de engenharia que garantem a segurança e a eficiência do protótipo.

Comentado [1]: Preciso que organizem os parágrafos de acordo com a ordem: 1º apresentar o tema e problema, 2º apresentar os objetivos do trabalho, 3º justificar o trabalho, 4º metodologia e 5º breve síntese dos capítulos.

2 PROTÓTIPO DE UM MISTURADOR DE TINTAS

O projeto do misturador de tinta foi uma ideia desenvolvida para ajudar os produtores industriais a facilitar o desempenho da máquina na indústria, por essa razão foi adquirida, para desenvolver um projeto que se qualifica a modernização da máquina e atualização de alguns componentes. Na teoria o projeto já foi desenvolvido, mas precisava ser atualizado podendo deixar a máquina automatizada deixando mais prática e rápida no processo de misturar tinta.

Dentro da empresa o misturador de tinta começou ter a necessidade prática, como por exemplo agilizar o processo e garantir que as cores saíssem sempre iguais. Antes, a mistura era feita de forma manual e com equipamentos improvisados, o que gerava atrasos, desperdícios de matéria prima e até diferenças na tonalidade final da tinta.

Depois que foi desenvolvida a máquina foi implantada na linha de produção a empresa passou a contar com um processo mais confiável, seguro e produtivo. Hoje em dia os benefícios são claros: menos desperdícios, mais qualidade no produto final e um trabalho mais organizado e eficiente.

O trabalho de misturador de tintas tem um papel muito importante dentro de muitas empresas, especialmente na indústria de produção e acabamento. Um



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

misturador de tintas dentro de uma empresa, geralmente, é responsável por preparar as cores e as tintas conforme a demanda, misturando os componentes certos para criar as cores e as texturas necessárias para diferentes tipos de produtos, sejam eles para indústria automotiva, construção, ou até mesmo para uso em produtos como móveis, tintas artísticas, entre outros.

2.1 Detalhamento do Misturador

O desenvolvimento do protótipo foi criado a partir de um projeto já pronto, onde os materiais utilizados foram todos reciclados, a parte principal onde é despejada a tinta foi feita com uma botija de gás refrigerante de ar condicionado, o motor da hélice que mistura a tinta foi utilizado um motor DC 12V de vidro elétrico de carro o restante das peças são pedaços de metalon, chapas e barras roscadas, capaz de permitir que o microcontrolador ESP32, operando com sinais de 3,3V, controlasse com segurança as três bombas d'água de 12V. Para cada bomba, foi implementado um circuito de interface utilizando um transistor de potência TIP122 como chave eletrônica, um resistor de 220Ω para limitar a corrente na base do transistor e um diodo 1N4007 em paralelo com a bomba para suprimir a força contra eletromotriz gerada pelo motor. Em paralelo, o software foi desenvolvido na IDE do Arduino, estabelecendo a comunicação do ESP32 com a rede Wi-Fi e com a plataforma Blynk IoT. Através de um aplicativo móvel personalizado com seletores deslizantes, o usuário define as proporções de cada cor primária. Ao receber o comando de mistura, o firmware ativa os tempos de acionamento específicos para cada bomba, executando a dosagem precisa das tintas para formar a cor desejada de maneira automatizada. Este sistema automatizado oferece vantagens significativas, como a alta precisão e repetibilidade na mistura de cores, algo difícil de alcançar manualmente, o que reduz o desperdício de material e possibilita a criação rápida de cores personalizadas em pequenas quantidades. Contudo, o projeto enfrentou desafios, principalmente relacionados à calibração precisa da vazão das bombas, que pode ser afetada pela viscosidade das diferentes tintas, e a potencial latência na comunicação via plataforma Blynk, que poderia impactar a resposta imediata do sistema. Garantir uma fonte de alimentação de 12V estável, capaz de suportar a corrente de partida das bombas, também se mostrou um ponto crítico de atenção durante a implementação.



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

2.1.1 Por que utiliza-se o resistor de 220 Ω?

A escolha do resistor de base em um circuito de acionamento com transistor é uma das etapas mais críticas do projeto, pois impacta diretamente tanto a segurança do microcontrolador quanto a eficiência da carga que está sendo controlada (neste caso, as bombas de 12V). A utilização de um resistor de 220Ω, em vez de um valor mais alto como 1kΩ, é uma decisão tecnicamente superior por duas razões fundamentais: a proteção rigorosa do ESP32 e a garantia da operação eficiente do transistor. O pino de saída digital de um microcontrolador como o ESP32 é uma fonte de tensão (3,3V), mas ele possui uma capacidade muito limitada de fornecer corrente elétrica. A especificação técnica do ESP32 recomenda que a corrente máxima drenada de um pino de I/O (Entrada/Saída) não ultrapasse 12 mili ampères (mA) para garantir sua integridade e longevidade. Quando conectado, esse pino à base de um transistor BJT (Transistor de Junção Bipolar) como o TIP122, a junção base-emissor do transistor se comporta de maneira similar a um diodo. Se conectássemos o pino diretamente à base, sem um resistor, o transistor tentaria puxar uma quantidade de corrente muito superior à que o ESP32 pode fornecer, resultando em um dano permanente e imediato ao pino do microcontrolador. O resistor de 220Ω atua como um "limitador de corrente". Podemos calcular exatamente quanta corrente passará usando a Lei de Ohm ($I = V / R$). A tensão que o ESP32 fornece é de 3,3V. O transistor TIP122, por ser um par Darlington, possui uma queda de tensão característica entre sua base e emissor de aproximadamente 1,4V. Depois de cálculos o valor atingido foi de 8,6 mA, que está confortavelmente abaixo do limite máximo de 12 mA do ESP32. Isso significa que o resistor de 220Ω protege o microcontrolador com uma excelente margem de segurança, permitindo uma operação confiável e livre de riscos. Para que a bomba de 12V funcione com sua máxima potência, o transistor precisa atuar como uma chave eletrônica perfeitamente fechada. Este estado de operação é chamado de "saturação". Quando um transistor está saturado, a resistência entre seus terminais coletor e emissor é a menor possível. Consequentemente, quase toda a tensão da fonte de alimentação (12V) é entregue à bomba, e muito pouca energia é perdida na forma de calor no próprio transistor. Se o transistor não estiver completamente saturado (uma condição chamada de "região ativa"), ele apresentará uma resistência



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

maior. Isso causa dois problemas, a perda de potência na bomba: Uma parte da tensão de 12V será "perdida" no transistor, e a bomba receberá menos tensão, operando com menos força ou velocidade, e o superaquecimento do transistor: A energia que não vai para a bomba é dissipada como calor no transistor (Potência = Tensão x Corrente). Se ele aquecer demais, pode ser danificado. Para garantir a saturação, a base do transistor precisa receber uma corrente mínima. O resistor de 220Ω, ao fornecer 8,6 mA, garante uma corrente robusta e mais do que suficiente para levar o TIP122 a um estado de saturação profunda. Isso assegura que o circuito opere da maneira mais eficiente possível, com máxima performance da bomba e mínima geração de calor no componente de acionamento. Em comparação, um resistor de 1kΩ forneceria apenas 1,9 mA (1.9V / 1000Ω). Embora essa corrente possa ser suficiente para ligar a bomba, ela poderia não ser o bastante para garantir a saturação completa, especialmente durante a partida do motor, quando a corrente exigida é maior. Portanto, a escolha do resistor de 220Ω é uma prática mais robusta e confiável para este projeto.

2.1.2 Por que utiliza-se um diodo 1N4007?

O diodo 1N4007 é o padrão da indústria para esta aplicação por uma razão simples: ele oferece a combinação perfeita de alta capacidade de tensão, corrente suficiente, baixo custo e enorme disponibilidade. É uma solução superdimensionada de forma inteligente, que garante a máxima proteção e fiabilidade ao seu circuito com um componente que custa centavos. Ele é conectado em paralelo com cada bomba d'água, tem uma única e vital missão: proteger o transistor TIP122 de picos de tensão destrutivos que são gerados pelo próprio motor da bomba no exato momento em que ele é desligado. Esse diodo é comumente chamado de "diodo flyback", "diodo de rodalivre" ou "diodo de supressão". Para entender por que o diodo é necessário entender como um motor DC funciona. Um motor é fundamentalmente uma carga indutiva. Isso significa que ele é composto por bobinas de fio que, ao receberem corrente elétrica, criam um campo magnético que faz o eixo girar. Enquanto a bomba está ligada (o transistor está permitindo a passagem de corrente), uma quantidade significativa de energia fica armazenada nesse campo magnético dentro das bobinas do motor. O problema ocorre no instante em que o ESP32 manda o transistor cortar a energia da



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

bomba. O fluxo de corrente é interrompido abruptamente. No entanto, a energia que estava armazenada no campo magnético não pode desaparecer instantaneamente. De acordo com as leis do eletromagnetismo (Lei de Lenz), o campo magnético, ao colapsar rapidamente, induz uma nova tensão nos terminais do motor. A característica mais perigosa dessa tensão é que sua polaridade é invertida em relação à tensão original de 12V e sua magnitude pode ser altíssima, atingindo centenas de volts por uma fração de segundo. Esse fenômeno é conhecido como "pico de tensão indutiva" ou Força Contra-Eletromotriz (FCEM). Esse pico de alta tensão com polaridade invertida viaja de volta pelo circuito, procurando um caminho para se dissipar, e o primeiro componente em seu caminho é o transistor TIP122. O transistor não foi projetado para suportar uma tensão tão alta e seria instantaneamente danificado ou destruído. O diodo é instalado de forma estratégica para neutralizar esse pico de tensão. Ele é conectado em "antiparalelo" ou com "polarização reversa" em relação à fonte de alimentação. Durante a Operação Normal (Bomba Ligada): Quando o transistor está conduzindo e a bomba está funcionando, a corrente flui do positivo de 12V para o negativo (através do motor e do transistor). Nessa condição, a tensão positiva está no catodo (lado com a faixa) do diodo e a negativa no anodo. O diodo está reversamente polarizado, agindo como uma chave aberta. Ele não interfere em nada no funcionamento do circuito. No instante em que o transistor corta a corrente, o pico de tensão com polaridade invertida é gerado. O terminal do motor que antes era positivo (ligado aos 12V) agora se torna momentaneamente negativo, e o terminal que era negativo (ligado ao transistor) se torna momentaneamente positivo. Essa inversão de polaridade coloca o diodo em polarização direta. Instantaneamente, ele se torna um caminho de baixíssima resistência. A corrente gerada pela energia do campo magnético, em vez de criar um pico de alta tensão, agora tem um caminho fácil para circular: ela flui do terminal positivo momentâneo do motor, passa pelo diodo e retorna ao terminal negativo do motor, criando um pequeno loop. Nesse loop, a energia é dissipada de forma segura e rápida na forma de calor na própria resistência da bobina do motor e no diodo, sem jamais atingir o transistor.

2.1.3 Por que se utiliza um transistor TIP122?

A escolha do transistor TIP122 como componente central do circuito foi uma decisão técnica fundamental para solucionar a incompatibilidade entre o

Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

microcontrolador de comando e a carga de potência. Neste projeto, o ESP32 opera como a unidade de controle, gerando sinais lógicos de baixa tensão e corrente para ditar o funcionamento do sistema. Contudo, as bombas de 12V representam a carga, exigindo um nível de energia muito superior para serem acionadas. O transistor TIP122 serve como a interface ideal, atuando como um interruptor eletrônico que utiliza o sinal de baixa energia do ESP32 para gerir o fluxo de alta energia para as bombas. Ele funciona como o amplificador perfeito entre os dois. Ele escuta o sinal de 3,3V do ESP32 e, com base nesse comando, abre ou fecha um portão que libera o fluxo de energia de 12V para a bomba. O que torna o TIP122 especial é que ele é extremamente sensível; um sinal muito pequeno do ESP32 é mais do que suficiente para fazê-lo acionar a bomba com força total. Além disso, ele é um "transistor de potência", o que significa que foi construído para ser robusto e aguentar o trabalho pesado, conseguindo lidar com a corrente exigida pela bomba sem sobreaquecer ou se danificar. Em resumo, o TIP122 foi escolhido por ser a solução mais simples, fiável e robusta para traduzir os comandos inteligentes e de baixa energia do microcontrolador na força bruta necessária para operar os motores das bombas

Figura 1-confeção da proteção



Figura 2-confeção da proteção





figura 3-confeção da proteção



figura 4-confeção da proteção

3.0 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos de modernizar e automatizar o misturador de tintas, este trabalho foi conduzido como uma pesquisa aplicada, utilizando a metodologia de desenvolvimento e aprimoramento de protótipo. O processo foi dividido em quatro fases principais: (1) Análise e reaproveitamento da estrutura mecânica existente, (2) Projeto e montagem do circuito eletrônico de potência e controle, (3) Desenvolvimento do software embarcado e da interface de usuário, e (4) Testes e validação funcional. Como ponto de partida, adotou-se a estrutura mecânica de um misturador de tintas desenvolvido anteriormente como TCC de um curso técnico de mecânica. Este equipamento, construído com materiais reciclados, forneceu a base estrutural. Os principais componentes de hardware e software selecionados para a automação foram: Estrutura Mecânica: Reservatório (botija de gás refrigerante) e sistema de mistura (motor DC 12V de vidro elétrico de carro e hélice). Microcontrolador: Um ESP32, escolhido por sua capacidade de processamento, pinos de I/O (Entrada/Saída) e conectividade Wi-Fi integrada. Atuadores de Dosagem: Três bombas d'água de 12V, utilizadas para a dosagem dos pigmentos ou bases. Interface de Potência: Componentes discretos (Transistores TIP122, Resistores de 220Ω e Diodos 1N4007) para permitir que o ESP32 (operando a 3,3V) controlasse com segurança as bombas (operando a 12V). Software e Plataforma: IDE Arduino para o desenvolvimento do firmware do ESP32 e a plataforma Blynk IoT para a criação da interface de controle (aplicativo móvel). Para solucionar a



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

incompatibilidade de tensão entre o ESP32 (3,3V) e as bombas (12V), foi projetado um circuito de acionamento (driver). Para cada uma das três bombas, foi montado um circuito idêntico, conforme detalhado nas seções subsequentes, onde: Um pino digital do ESP32 foi conectado a um resistor de 220Ω. O resistor foi conectado à base de um transistor de potência TIP122. O TIP122 atuou como uma chave eletrônica, controlando o fluxo de corrente de 12V para a bomba. Um diodo 1N4007 foi instalado em paralelo com os terminais da bomba (em polarização reversa) para suprimir a força contra eletromotriz (pico de tensão) gerada pelo motor da bomba no desligamento, protegendo o transistor.

O firmware do ESP32 foi desenvolvido na linguagem C/C++ (padrão IDE Arduino). O software foi programado para: Conectar-se à rede Wi-Fi local, Estabelecer comunicação segura com os servidores da plataforma Blynk IoT, Receber dados (inputs) dos seletores deslizantes ("sliders") configurados no aplicativo Blynk, Traduzir os valores percentuais dos seletores em tempos de acionamento específicos para cada bomba, controlando assim a proporção de cada cor na mistura final, Acionar os pinos de saída correspondentes para ativar os circuitos de interface (transistores) durante o tempo calculado.

A validação do protótipo foi realizada através de testes funcionais para verificar se os objetivos de automação, precisão e repetibilidade foram alcançados. Os principais desafios metodológicos abordados nesta fase foram: Calibração da Vazão: Realização de testes empíricos para determinar a relação entre o tempo de acionamento de cada bomba (em segundos/milissegundos) e o volume de líquido (tinta/água) dispensado. Este passo foi crítico para garantir a precisão das proporções. Teste de Repetibilidade: Execução de múltiplas misturas utilizando as mesmas configurações no aplicativo Blynk, a fim de avaliar visualmente e comparar a consistência e a padronização da cor final resultante. Teste de Carga: Verificação da robustez da fonte de alimentação de 12V, garantindo que ela seria capaz de fornecer a corrente de partida necessária para as bombas e o motor do misturador sem causar quedas de tensão que reiniciassem o ESP32. Avaliação de Eficiência: Comparação do tempo total do ciclo de mistura automatizado, do desperdício de material e da qualidade do produto final com o processo manual anteriormente utilizado, conforme descrito no problema de pesquisa.

4.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou o desenvolvimento e a implementação de um sistema de automação para um protótipo de misturador de tintas, abordando um problema industrial crítico: a ineficiência, o desperdício e a inconsistência de tonalidade resultantes de processos manuais.

O objetivo geral desenvolver uma solução automatizada, prática e rápida que qualificasse a modernização da máquina foi plenamente alcançado. O protótipo funcional demonstrou com sucesso a transição de um sistema manual e improvisado para um processo controlado, padronizado e eficiente. As hipóteses e objetivos específicos definidos na introdução foram validados pelos resultados obtidos: Automação da Dosagem: A integração do microcontrolador ESP32 com as três bombas de dosagem foi implementada com sucesso. O firmware desenvolvido permitiu o controle preciso do tempo de acionamento de cada bomba, automatizando a definição das proporções de cor. Interface de Potência Segura: O desenvolvimento



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos

do circuito de interface, utilizando o transistor TIP122, o resistor de 220Ω e o diodo 1N4007, provou ser uma solução robusta e essencial. Este circuito garantiu a proteção do ESP32 (3,3V) ao mesmo tempo em que permitiu o controle eficiente das cargas de potência (bombas de 12V), sendo um pilar para a viabilidade do projeto. Controle Prático (Interface de Usuário): A utilização da plataforma Blynk IoT permitiu a criação de uma interface de usuário intuitiva (aplicativo móvel com seletores deslizantes), tornando o processo de seleção de proporções ágil e acessível. Os resultados práticos confirmaram os benefícios da automação. O sistema levou a uma redução considerável no desperdício de matéria-prima (pigmentos e bases) e, o mais importante, garantiu uma alta repetibilidade na padronização das cores. Isso responde diretamente ao problema central da variabilidade humana e da falta de qualidade do método manual. A decisão de aprimorar um projeto mecânico existente mostrou-se estratégica, permitindo ao grupo focar na aplicação de conhecimentos específicos de eletrônica, controle e IoT, agregando valor tecnológico significativo a um equipamento funcional. Embora o protótipo tenha sido bem-sucedido, o desenvolvimento revelou desafios que abrem caminho para aprimoramentos. A calibração da vazão das bombas é um ponto crítico, pois é diretamente afetada pela viscosidade variável das tintas. Além disso, a dependência de uma plataforma em nuvem (Blynk) introduz uma potencial latência de comunicação, e a corrente de partida dos motores exige uma fonte de alimentação robusta.

Diante disso, foi pensado como melhorias para trabalhos futuros:

Sistema de Malha Fechada: A integração de sensores de fluxo ou uma célula de carga (balança) para medir o volume ou massa de tinta dispensada em tempo real, em vez de depender apenas do tempo de acionamento. Isso compensaria automaticamente as variações de viscosidade. **Validação de Cor:** Implementação de um sensor de cor no reservatório para fornecer feedback ao sistema, permitindo ajustes automáticos até que a tonalidade exata seja atingida. **Interface de Rede Local:** Para um ambiente industrial, substituir a dependência da internet por uma web server local hospedado no próprio ESP32, eliminando a latência e aumentando a confiabilidade da operação. **Robustez do Hardware:** O desenvolvimento de uma Placa de Circuito Impresso (PCI) dedicada para o circuito de interface, substituindo a montagem de prototipagem e aumentando a durabilidade do sistema. Conclui-se que este projeto não apenas validou a aplicação de tecnologias de baixo custo (IoT e eletrônica discreta) para a modernização de processos industriais, mas também forneceu uma solução prática e eficaz para os problemas de padronização e eficiência na mistura de tintas.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

BANZI, Massimo. Primeiros Passos com o Arduino. 1. ed. São Paulo: Novatec, 2011.
 GROOVER, Mikell P. Automação Industrial e Sistemas de Manufatura. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.
 THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro Urbano B. Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações. 8. ed. São Paulo: Érica, 2011.
 VOLPATO, Neri (Org.). Manufatura Aditiva: Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D. São Paulo: Blucher, 2017.



Etec Jacinto Ferreira de Sá - 066 – Ourinhos