

## IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO PARA GESTÃO DE *WORK-IN-PROCESS* E MONITORAMENTO DE ORDENS DE PRODUÇÃO EM UMA EMPRESA DO RAMO AUTOMOTIVO

Caio Tertuliano Ribeiro<sup>\*abc</sup>, Fábio Favaretto<sup>a</sup>, Matheus Costa Pereira<sup>ab</sup>, Pedro José Papandrea<sup>d</sup>, Anderson Paulo de Paiva<sup>ab</sup>

<sup>a</sup> Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá – MG

<sup>b</sup> Núcleo de Otimização da Manufatura e Tecnologia da Inovação, NOMATI, Itajubá – MG

<sup>c</sup> Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ITA, São José dos Campos – SP

<sup>d</sup> Universidade Federal de Alfenas, UNIFAL, Varginha – MG

### RESUMO

O processo de planejamento e controle da produção é responsável pelo planejamento das atividades necessárias na produção, garantindo o alinhamento entre as partes de toda a cadeia produtiva envolvida na manufatura do produto final. A assertividade e a confiabilidade do fluxo das informações processadas no planejamento e controle impactam o resultado da produção de forma direta, contribuindo também para a redução de desperdícios no chão de fábrica gerados pela divergência de informações ou pelo direcionamento de mão de obra para obtenção e conferência dessas informações de forma manual. O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de informação de monitoramento em tempo real da localização das ordens de produção em processamento no chão de fábrica. O desenvolvimento do trabalho foi estruturado conforme o projeto de desenvolvimento e implantação do sistema de informação, dividido nas etapas de concepção, viabilização, desenvolvimento, prototipagem e estabilização. O sistema de informação foi desenvolvido com ferramentas de baixo custo, implantado em 18 pontos do chão de fábrica e contribuiu para uma redução de 44,78% no *Work-in-Process* na empresa em estudo.

### PALAVRAS-CHAVE:

*Work-in-Process*,  
Apontamento de Produção,  
Controle de Produção,  
Sistemas de Informação.

### INTRODUÇÃO

O planejamento e controle da produção (PCP), definido como setor de apoio nas indústrias de manufatura de bens ou serviços, é encarregado de planejar, programar e controlar a produção. Conforme Tubino (1997), como departamento de apoio, o PCP é responsável pela coordenação e aplicação de recursos produtivos de forma a atender da melhor maneira possível aos planos estabelecidos nos níveis estratégico, tático e operacional.

Favaretto (2002) define controle da produção como atividades corretivas dos cálculos e cronogramas gerados no planejamento da produção, ou seja, traduzindo uma ação de *feedback* sobre o planejamento inicialmente concebido, permitindo correções de desvios e fornecendo uma base histórica, contribuindo para uma maior assertividade de planejamentos futuros. Para que as informações de controle da produção atendam às necessidades do planejamento, Oliver *et al.* (2005) apontam que é indiscutível que a assertividade e a agilidade das informações trocadas entre as áreas componham fator decisivo para o sucesso das atividades. Uma das principais

informações do controle da produção é sobre o material em processo. Conway *et al.* (1987) definem o indicador de WIP (*Work-in-Process*) como o estoque intermediário de itens gerados após a primeira operação, atividade ou passo e antes da última. Ou seja, é destinado a contabilização dos itens em processamento nas operações intermediárias, descontado os itens encontrados nas operações cabeça de linha e nas operações de expedição para o estoque de itens acabados. É um indicador utilizado para monitorar a quantidade de itens em estoque intermediário, o que por sua vez também contribui para uma maior assertividade na disponibilização de recursos produtivos, sejam eles de mão-de-obra ou insumos de produção.

A maneira como tais informações são coletadas no chão de fábrica e posteriormente processadas constituem um importante processo para as empresas no geral. Muitas empresas não possuem de sistemas de informação dedicados a gestão de informações e indicadores do controle da produção. Nestes casos, os sistemas ERPs (*Enterprise Resource Planning*), são alimentados por dados de controle obtidos de forma manual, na maior parte das vezes através de apontamentos que precisam ser posteriormente digitados. O apontamento de produção é a forma de coletar dados referentes a aplicação do planejamento de produção e levantar possíveis causas e planos de ação corretivos para atuar nos desvios de planejamento. O apontamento de produção com uso de leitores de códigos de barras permite criar um fluxo de dados consistente e minimiza os erros humanos de preenchimento das informações. Assis *et al.* (2017) analisam o impacto da automação, um dos pilares do *Lean Manufacturing*, na redução de WIP. Tsouveloudis *et al.* (2000) discorrem sobre ferramentas digitais de controle de produção nas indústrias. Não é tão explorado na literatura o impacto da utilização de sistemas de auxílio à tomada de decisão no controle da produção, como no caso do presente estudo com o sistema de gestão de WIP. McKay e Buzacott (2000) afirmam que a utilização de sistemas digitais para controle de produção deve servir como auxílio à tomada de decisão, uma vez que ferramentas com viés estritamente quantitativo entram em obsolescência devido às divergências comumente encontradas.

O processamento dos dados brutos em informações úteis caracteriza uma grande problemática em sistemas complexos e dinâmicos como a programação e o sequenciamento de produção em uma indústria inserida em um contexto mercadológico de competição acirrada. Muitas são as tentativas observadas no que tange aos esforços em dispor de uma sistemática de fácil manuseio para que informações estejam de pronto acesso para auxiliar na tomada de decisão gerencial acerca do controle da produção, gestão de mão de obra, re-sequenciamento da produção, priorização de itens críticos, contabilização de *headcount*, ajustes em produtividade e hora extras. Porém, de maneira geral, observa-se uma dificuldade na obtenção de dados confiáveis e na agilidade de extração e tratamento dos dados brutos gerados no controle da produção. Na empresa onde este trabalho foi realizado, as informações acerca do controle da produção eram anteriormente coletadas manualmente. Os colaboradores realizavam o apontamento de produção em cadernos, formulários impressos ou planilhas eletrônicas, não havendo um padrão de preenchimento nem de armazenamentos de tais informações. Para realizar o levantamento do indicador de WIP geralmente era destinado a mão de obra dedicada de um colaborador (6 horas/dia) para transcrever as informações provindas das várias operações, com um atraso de dois dias em relação ao dia corrente devido a quantidade de informações a serem tratadas manualmente.

Devido à inexistência de um controle detalhado sobre as ordens de produção após o início da produção, nas ocasiões em que foi necessário executar o re-sequenciamento de ordens já em processamento ou a priorização de itens críticos de entrega, o programador logístico (encarregado pela programação da produção) precisava realizar um processo manual. Era necessário verificar manualmente em cada uma das operações do fluxo produtivo até encontrar a ficha impressa correspondente à OPA (Ordem de Produção) requerida. Este processo em particular poderia durar de 15 até 75 minutos, a depender do volume de ordens de produção em processamento, da falta de informações sobre a posição do item na fábrica e do mix de produção. Neste contexto foi feita a concepção, desenvolvimento e aplicação de um sistema com ferramentas de baixo custo relativo, quando comparadas a aquisição de grandes sistemas ERP. A fábrica em questão é disposta em arranjo celular (*Job Shop*), onde cada posto de trabalho possui acesso a um computador de uso exclusivo, todos interconectados pelo acesso em rede da empresa. Foram utilizados leitores de código de barras pelos operadores para fazer o apontamento de produção em cada uma das células do fluxo produtivo. Ordens de produção, produtos, máquinas e colaboradores receberam a identificação via código de barras para realização do apontamento digital.

O sistema de monitoramento de WIP e das ordens de produção foi feito com o desenvolvimento de um banco de dados relacional com interface de usuário para a realização do apontamento. É utilizado pelos colaboradores no chão de fábrica e pelo programador

logístico. O sistema foi desenvolvido no software MS Access™ utilizando programação VBA (*Visual Basic for Applications*) e comandos SQL (*Structured Query Language*) para manipulação de consultas e bancos de dados.

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de informação de monitoramento em tempo real da localização das ordens de produção em processamento no chão de fábrica. Dessa maneira, também trará informações e indicadores complementares como:

- Quantidade de peças em processamento na fábrica em tempo real;
- Quantidade de peças em processamento por operação (célula) em tempo real;
- Histórico de produção;
- WIP em tempo real.

Como consequência da aplicação do sistema e na confiabilidade dos dados gerados, espera-se obter os seguintes objetivos específicos:

- Redução do indicador de WIP;
- Eliminação da movimentação requerida no processo de obtenção dos dados manualmente;
- Eliminação das horas de trabalho dedicadas dos colaboradores para tratamento de dados e convergência de informações;
- Elaboração de relatórios automáticos de WIP estratificados por operação, por agrupamento e por OPA.

Este artigo segue a estrutura: Introdução, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão, e Conclusão. Na introdução, encontra-se uma breve contextualização teórica sobre os temas que serão aprofundados posteriormente na revisão de literatura, uma justificativa abrangendo os aspectos práticos do objeto de estudo e um sumário dos objetivos esperados. O referencial teórico contempla uma revisão de literatura sobre os três principais tópicos discorridos neste trabalho, evidenciando seus pontos em comum. O planejamento do trabalho apresenta a divisão das seis etapas envolvidas na aplicação da parte prática do trabalho. A aplicação relata sobre a execução do projeto e seus resultados. Por fim, a conclusão traz de maneira detalhada as principais constatações obtidas com a aplicação prática do trabalho frente aos resultados esperados e as cabíveis discussões quanto ao estado atual da literatura dos temas envolvidos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Fundamentação Teórica

Hemalatha *et al.* (2020) definem WIP como o estoque de peças que já adentraram no processo de manufatura, ou seja, peças as quais não fazem mais parte do inventário de matéria prima e, também, ainda não fazem parte do estoque de produtos acabados. Hemalatha *et al.* (2020) também indicam que o controle de WIP resulta em melhores níveis de liquidez financeira, melhores fluxos de caixa e, por consequência, melhores níveis de serviço ao consumidor e menores riscos ao negócio. Com previsões assertivas de demanda, a base para a programação da produção será sólida e o controle da produção terá menos trabalho com re-sequenciamento de ordens e, com resultado, obtém-se a redução de WIP e de estoques intermediários de produtos inacabados. Como isso impacta diretamente o resultado financeiro da empresa, os esforços para o controle e redução de WIP são justificados.

De maneira geral, entende-se que a dificuldade do controle e gestão do WIP são os grandes tamanhos das linhas de produção dos sistemas de produção reais, em conjunto dos efeitos das falhas operacionais encontradas nesses sistemas (Gershwin, 1994). Entende-se por “falhas” todos os tipos de problemas que podem ocasionar na divergência da informação trazida com o indicador e a situação real do chão de fábrica, como por exemplo: falta de padronização, agilidade e boas práticas na gestão de informações, quebras e paradas de produção (geradas por manutenção corretiva, ajustes de parâmetros, verificação de processos, quebras de *set-ups*, entre outros).

Desta maneira, como afirmam Tsourveloudis *et al.* (2000) soluções estritamente analíticas são de grande dificuldade de aplicação e de traduzir informações confiáveis, uma vez que é praticamente impossível prever por meio de algoritmos as paradas de produção, justamente pela natureza aleatória de muitas das causas-raiz dessas paradas. Dito isso, a aplicação de heurísticas sobre a problemática em questão faz-se necessária, para que o controle da produção seja exercido de forma a atender os problemas reais no dinamismo

dos sistemas produtivos e traduzindo em informações confiáveis sobre estoques intermediários de produtos inacabados e WIP; sendo possível observar nos modelos quantitativos existentes mais apurados de controle desse indicador (Ma, 2004).

Nesse contexto, a adoção de abordagens heurísticas e modelos mais flexíveis conecta-se diretamente ao papel desempenhado pelas atividades de controle da produção, as quais são de caráter corretivo, buscando corrigir desvios e incoerências do planejamento de produção realizado. Conforme Tubino (1997) o objetivo do acompanhamento e controle da produção é fornecer uma ligação entre o planejamento e a execução das atividades operacionais, identificando os desvios, sua magnitude e fornecendo subsídios para que os responsáveis pelas ações corretivas possam agir.

Em um cenário utópico, não haveria desvios do planejamento da produção e a atividade de controle de produção seria uma atividade obsoleta. Porém, em um sistema altamente dinâmico como as indústrias de manufatura de bens, entende-se que o controle de produção é uma atividade estritamente necessária, devido ao alto grau de complexidade das atividades envolvidas e ao grande número de fatores, stakeholders e variáveis de processos necessários para a garantia e cumprimento dos prazos do planejamento de produção incialmente gerado. Ainda, conforme Tubino (1997) apesar de teoricamente os recursos necessários para a execução dos planos de produção terem sido planejados e programados pelo PCP, na prática, infelizmente, a ocorrência de desvios entre o programa de produção liberado e o executado é a situação mais comum.

Sistemas de produção são controlados de maneiras diferentes, de acordo com o seu sistema de coordenação de ordens de produção, sendo os principais o KANBAN (Ohno, 1997; Shingo, 1996) que utilizam cartões como sinalizadores para limitarem o WIP e o estoque intermediário; e o *Constant Work in Process* (CONWIP) (Spearman *et al.*, 1990) que por sua vez utiliza de um único modelo de cartão para controlar o WIP, sendo o foco de controle de WIP exercido majoritariamente nas extremidades da linha (operações cabeça-de-linha e operações finais).

Sereno *et al.* (2011) afirmam que o KANBAN não responde de maneira rápida às flutuações de demanda, já o CONWIP parece ter uma resposta mais rápida e eficaz para mudanças abruptas nos níveis de demanda. Como são métodos complementares, Bonvik *et al.* (1997) deram a denominação de modelo híbrido a combinação de ambas as práticas quando utilizadas de forma sinérgica no controle da produção.

Segundo Framian *et al.* (2003), o modelo de controle de ordens CONWIP apresenta também ligeiras vantagens comparado ao modelo KANBAN estrito quando existe variabilidade nos tempos de processamento das ordens.

Independente do modelo de controle de ordens utilizado, o controle da produção deverá se adequar a realidade da empresa em questão, considerando fatores como imprevisibilidade das demandas, tamanho de lote, arranjo (*layout*) das máquinas, e também aspectos culturais da empresa antes de sua implementação (Sereno *et al.*, 2011).

Sobre a utilização de sistemas e aplicações para o auxílio do controle de produção em ambientes industriais com *layout* celular (*Job Shop*), McKay e Buzacott (2000) afirmam que as ferramentas estritamente quantitativas e analíticas, como algoritmos para resequenciamento de ordens de produção ou ajustes de calendários de programação de produção, são sistemas que costumam a entrar em obsolescência ao decorrer do tempo em detrimento das falhas operacionais e divergências causadas devido ao grau de extremo dinamismo e complexidade dos sistemas produtivos em arranjos deste tipo. Em contrapartida, afirmam que o uso apropriado de tecnologias e aplicações no controle da produção nesse cenário possuem maior efetividade quando utilizadas para evitar a sobrecarga humana no processamento manual de informações, no auxílio a tomada de decisão, na agilidade de tratamento de dados brutos em informações, caracterizando assim como principal auxílio ao responsável pela programação da produção.

Nesse sentido, considerando que o uso de sistemas deve priorizar a geração ágil e confiável de informações, torna-se evidente a centralidade das ferramentas que registram e estruturam os dados produtivos. Entende-se o termo “apontamento de produção” como uma ferramenta indispensável para o controle da produção, sendo a principal fonte de informações e dados dessa atividade. Favaretto e Neto (2004) definem o apontamento de produção como uma forma de exercer o controle da produção, ou seja, como meio de obtenção e levantamento de informações acerca da aplicação do planejamento de produção, identificando e atuando sobre os desvios, fornecendo o embasamento para planos de ação corretivos das ações mapeadas.

Como forma de otimizar as atividades de planejamento e controle da produção, tem-se a utilização de sistemas de apontamentos (Favaretto, 2001). Para o controle efetivo da produção, a assertividade das informações e a confiabilidade dos dados gerados deve

ser garantido no processo de coleta. O processo então definido como apontamento, ou coleta de dados, pode ser caracterizado como manual ou automático (Marçola e Andrade, 2009).

O apontamento manual caracteriza o registro das informações em formulários, planilhas ou documentos similares. O apontamento automático, por sua vez, é utilizado via algum sistema digital de rastreamento, como por exemplo com o uso de coletores de dados, que por intermédio do código de barras operacionalizam o correto preenchimento das informações, antes passíveis dos mais diversos erros de digitação e de processamento, quando realizados manualmente (Marçola e Andrade, 2009).

A utilização do código de barras no apontamento digital caracteriza como um anexo para o preenchimento de dados, os quais podem ser utilizados em conjunto de leitores fixos, leitores com fio ou leitores móveis sem fio. A disponibilização dessa tecnologia em sistema de apontamentos de produção na coleta de dados (*Data Entry*) minimiza os erros humanos de preenchimento no processo de coleta de dados. Albareda *et al.* (2007) afirma que a captura de dados via apontamento digital com a utilização de leitores de código de barras é uma das principais opções de mercado, devido sua fácil utilização, manuseio e instalação, bem como o baixo custo de aquisição dessa tecnologia.

Considerando, portanto, que a adoção dessas tecnologias impacta diretamente a qualidade e confiabilidade das informações coletadas, torna-se pertinente situar o presente estudo dentro de uma abordagem metodológica que descreva como o sistema em questão foi concebido e desenvolvido. Este trabalho é de caráter descritivo, pois apresenta o contexto e fases do desenvolvimento do sistema de informação referido (Gil, 2002). Para isso, seguiu um procedimento de seis etapas, de acordo com as necessidades do projeto. A primeira etapa foi a delimitação do problema, com base nos desperdícios apresentados no atual processo de coleta manual de dados e no processamento de informações sobre o controle de produção e monitoramento de WIP.

A segunda etapa foi a concepção e delimitação da abrangência do sistema de informação, objetivando a solução dos problemas levantados no controle de produção e monitoramento de WIP. Ainda nesta etapa foram definidas as principais funcionalidades que o sistema de informação deveria possuir para resolver os problemas mapeados. Também foram listados os recursos necessários e avaliada a viabilidade do projeto.

Com o cronograma de projeto já definido e os recursos necessários para sua realização já listados e garantidos, seguiu-se para o desenvolvimento e prototipagem do programa, constituindo assim a terceira etapa.

Na quarta etapa foi feita a validação do sistema de informação. Foram realizados testes no chão de fábrica, com a finalidade de validar a sua operacionalização, corrigir eventuais erros e coletar *feedbacks* dos operadores que utilizariam o sistema de informação para lançamento de dados.

Como quinta etapa foi realizada a implantação e estabilização do sistema de informação: após validado e corrigidos os problemas críticos, o sistema de informação foi instalado em todas as operações no chão de fábrica e foi realizado o treinamento para os colaboradores que o utilizariam. Também foram mapeados potenciais pontos de melhoria.

Na sexta e última etapa foram mensurados os ganhos obtidos através do acompanhamento mensal do indicador de WIP.

## **Objeto de estudo**

A primeira etapa foi feita através de uma série de conversas informais e uma reunião final de *brainstorming*. Nesta coleta inicial foram compilados os principais pontos de discussão acerca da realização do projeto, sendo eles o mapeamento do estado atual, listagem dos desperdícios e ineficiências encontradas no processo de coleta de dados manual, levantamento dos potenciais ganhos obtidos ao dispor de um sistema de monitoramento em tempo real de WIP, quais os impactos do sistema na sistemática de controle de produção, desafios encontrados, disponibilidade de recursos e viabilidade do projeto.

Os principais envolvidos no projeto como fonte de informações e disponibilização de recursos foram, respectivamente, o programador logístico, responsável pela programação e controle da produção na fábrica em que o projeto foi desenvolvido, e o supervisor de produção, gestor da equipe e responsável da fábrica, atuando como principal *sponsor* do projeto, disponibilizando recursos financeiros e de mão de obra.

A justificativa do projeto foi respaldada nas melhorias encontradas com a otimização do processo de monitoramento de WIP e controle de produção, antes realizados de forma manual com vários desperdícios e ineficiências, como já discutido. Estimava-se

que para realizar o levantamento da quantidade de peças em estoque intermediário antes da estabilização do projeto eram destinados aproximadamente dois dias de trabalho do encarregado de produção, mensalmente. O processamento de dados de apontamento de produção exigia a destinação de outra mão de obra fixa para tratativa, cálculo e processamento para a geração de indicadores, que eram disponibilizados e divulgados com um atraso de dois dias correntes, devido à grande quantidade de cálculos e à falta de padronização de informações.

Outro ponto que contribuiu com a justificativa do projeto foi seu baixo custo de execução e implementação, frente à alternativa de melhoria que seria a implementação de terminais do sistema ERP em todas as dezoito operações no chão de fábrica para realização do apontamento automático de produção.

Os principais custos com a execução do projeto foram a aquisição de dezoito unidades de leitores de código de barras do modelo universal com fio e a atualização das licenças do pacote Office Enterprise™ de dois computadores para a versão que contém o software MS Access, no qual o sistema de informação foi desenvolvido. Os demais computadores utilizados para apontamento de produção utilizaram a versão gratuita de compatibilidade *Microsoft Access Runtime™*.

O cronograma do projeto foi estruturado em três principais fases: diagnóstico, implementação e estabilização. Na fase de diagnóstico, seria mapeado o estado atual do problema e levantados os objetivos de melhoria. Na fase de implementação, seria realizado o desenvolvimento e a prototipagem do projeto, bem como realizada a fase de testes iniciais e, por fim, a implantação do programa. Na fase final de estabilização, seriam realizados os testes finais, o treinamento e capacitação de todos os usuários do sistema de informação e estabelecido um cronograma para validar o funcionamento e o correto apontamento digital.

### **Metodologia de pesquisa**

Na etapa de concepção do sistema, o principal envolvido nas discussões acerca das funcionalidades do programa foi o programador logístico, já que este era o principal cliente das informações geradas pelo sistema. O objetivo era desenvolver uma ferramenta de apoio à tomada de decisão nas ações de controle de produção, monitorando a localização das ordens de produção e de quantidade de peças em tempo real.

O principal fator limitante da execução do projeto era o fator tempo, e por isso algumas funcionalidades tiveram de ser priorizadas em detrimento de outras, para que o projeto fosse entregue dentro do prazo estimado.

Sendo assim, depois de várias conversas e reuniões diárias com o programador logístico, definiu-se que o principal elemento do programa deveria ser: 1) a função de monitorar a quantidade de peças por operação e 2) a posição em tempo real das ordens de produção no chão de fábrica. Essas duas funcionalidades constituem a base do funcionamento do sistema de informação desenvolvido e as demais funções foram classificadas de importância secundária na escala de priorização. Com a ampliação das discussões sobre a operacionalização do sistema, foram recebidas muitas sugestões de funcionalidades que o programa poderia ter, de forma que, para fins de elaboração do protótipo, quase que a totalidade dessas sugestões foram anotadas como pontos de melhorias futuras, e o foco do desenvolvimento manteve-se nessas duas funcionalidades base.

Um ponto de atenção demonstrado por grande parte da equipe era a preocupação quanto a integridade dos dados registrados nos bancos de dados de apontamentos devido ao lançamento de informações incorretas. Por esse motivo, foram previstas várias funcionalidades que impediam o lançamento de informações incorretas, dados em campos errados ou de tipos de dados incompatíveis para o campo preenchido.

Tendo em vista que um dos principais objetivos de melhoria do processo de apontamento manual de produção era a diminuição dos erros de lançamento dos dados através da facilitação do preenchimento dos campos, optou-se pela utilização do identificador de código de barras nos campos críticos de apontamento. Foram confeccionados cartões plastificados contendo a identificação numérica e o correspondente código de barras, utilizando a fonte Code128 para criação dos códigos de barras, conforme demonstrado na Figura 1. Os campos codificados no apontamento foram: código numérico indexado da OPA, código alfanumérico do produto, código numérico de identificação pessoal e código numérico de identificação da máquina. Os campos identificadores das ordens de produção e do código do produto já eram encontrados nas fichas impressas das ordens de produção. Para os campos de máquina e identificação pessoal foram utilizados os cartões plastificados contendo os códigos de barras.



Figura 1 – Cartão plastificado fixado no totêm de apontamento com código de barras identificador de máquinas (Autores, 2023)

#### Aplicação do método de pesquisa

O funcionamento do sistema de informação consiste na alimentação de um banco de dados principal com os registros correspondentes à última posição de cada OPA. Isso passou a ser a principal fonte geradora de informações para emissão de relatórios *on demand* e na busca instantânea de ordens de produção. Bancos de dados adjacentes com histórico de produção e histórico de ordens encerradas também foram utilizados. As informações são lançadas pelos operadores de produção via formulários de apontamento de produção digital conectados ao banco de dados principal, conforme apresentado na Figura 2. Os dados eram lançados com o auxílio do leitor de código de barras universal para os quatro principais campos mencionados, e os últimos seis campos eram de digitação manual com a utilização do teclado. O apontamento de produção só era permitido quando todos os campos eram corretamente preenchidos.

Figura 2 – Tela da interface de apontamento (Autores, 2023)

Cada formulário corresponde a um ponto de apontamento, sendo assim dispostos dezoito formulários de apontamento, todos estes conectados ao banco de dados principal, salvo no arquivo principal em conjunto com o formulário de visualização de dados e emissão de relatórios de uso exclusivo do programador logístico, do supervisor de produção e do desenvolvedor do sistema, moderado com uso de login e senha. Um resumo das informações de cada um dos campos do formulário de apontamento de produção pode ser encontrado no Quadro 1.

O principal campo no apontamento de produção para identificação da posição da OPA na fábrica é o identificador numérico da OPA. Como já idealizado pelo setor de logística da empresa para fins de rastreabilidade, o número referente a OPA consiste em um código de 8 dígitos que não se repete. Sendo assim, este campo foi utilizado no desenvolvimento do sistema para ser o campo indexado (chave) no banco de dados principal. Um campo indexado é um campo numérico utilizado como identificador de registros em um banco de dados, uma vez que o seu valor não pode se repetir.

Utilizando esta regra, foi definido o procedimento de salvamento do banco de dados principal, denominado “Fluxo”. Este banco de dados mantém gravado apenas o último apontamento de cada OPA presente fisicamente no interior da fábrica, pois quando fosse feita a busca de uma OPA no sistema, o resultado seria o último apontamento daquela ordem na fábrica. Entretanto, o fato de a pesquisa do banco de dados obter êxito em retornar o último apontamento de uma OPA, isso não representa a posição daquela ordem e da sua respectiva quantidade de peças, uma vez que o apontamento de produção seria realizado apenas no final do processamento da ordem. Para resolver esse problema, foi estruturado um banco de dados auxiliar ao programa, contendo a sequência ordenada de operações para todos os tipos de produtos manufaturados na fábrica.

Quando um apontamento era realizado, a sub-rotina de salvamento buscava no banco de dados auxiliar pelo valor do campo do nome do produto “AN”. Cada produto recebia uma combinação de dois valores: o fluxo e a tecnologia correspondente aquele produto. Existiam 25 diferentes combinações possíveis entre os fluxos e as tecnologias processadas na fábrica, que por sua vez geravam a sequência das operações daquele produto, e por fim retornavam a próxima operação na qual receberia a OPA processada no apontamento e sua respectiva quantidade de peças boas totais apontadas, representando a posição real da OPA no ambiente físico da fábrica.

Como auxílio na tomada de decisão e a fim de manter rastreabilidade das ordens processadas na fábrica, foram dimensionados mais dois bancos de dados auxiliares que também participavam da sub-rotina de salvamento do sistema, denominados “Histórico” e “Encerradas”. O banco de dados “Histórico” registrava todos os apontamentos realizados, e o banco de dados “Encerradas” registrava as ordens de produção expedidas para o estoque de lotes acabados. Ambos bancos de dados auxiliares eram um espelho do banco de dados principal, ou seja, continham os mesmos campos com os mesmos tipos de dados do banco de dados principal, já listados no Quadro 1.

A sub-rotina de salvamento processava os apontamentos de acordo com a posição da operação na sequência de operações da fábrica para aquela combinação de tecnologia e fluxo. Quando o apontamento era realizado em uma operação cabeça-de-linha, o sistema salvava o registro no banco de dados principal “Fluxo” e salvava uma cópia desse registro no banco de dados auxiliar “Histórico”. Quando o apontamento era realizado em qualquer operação intermediária, a sub-rotina pesquisava pelo apontamento anterior daquela OPA no banco de dados principal “Fluxo”, apagava esse registro, salvava o apontamento atual e realizava uma cópia desse apontamento no banco de dados auxiliar “Histórico”. Por fim, quando o apontamento era realizado na última operação de expedição ao estoque, a sub-rotina pesquisava pelo último apontamento daquela OPA no banco de dados principal “Fluxo” e apenas apagava este registro, sem criar um novo. Esse apontamento também era salvo no banco de dados auxiliar “Histórico” e no banco de dados auxiliar “Encerradas”.

Com essa sistemática de salvamento criada era possível realizar consultas em tempo real ao banco de dados por meio da interface de gestão denominada “Painel do Gestor”, apresentado na Figura 3. Ordens expedidas ao estoque de produtos acabados eram excluídas do banco de dados principal “Fluxo” e eram mantidas salvas apenas no banco de dados “Encerradas”. Gráficos eram gerados em tempo real informando a quantidade de peças por operação, a quantidade de peças totais em processamento na fábrica, bem como as quantidades de peças em processamento por agrupamento de produtos.

Quadro 1 – Detalhamento dos campos do formulário de apontamento de produção do sistema (Autores, 2023).

Nome do campo	Tipo de dado	Lançamento de dado	Descrição do campo	Indexedado
OPA	Inteiro longo	Código de barras	Campo numérico contendo identificador da ordem de produção	Sim
AN	Texto curto	Código de barras	Campo alfanumérico identificador do produto	Não
Colaborador	Texto curto	Campo Vinculado	Campo de texto com o nome completo do colaborador	Não
NP	Inteiro longo	Código de barras	Campo numérico contendo identificador do colaborador	Não
Data	Data	Campo automático	Campo de data contendo a data do instante do apontamento	Não
Hora	Hora	Campo automático	Campo de hora contendo a hora do instante do apontamento	Não
Operação	Texto curto	Campo Vinculado	Campo de texto referente à operação situada no fluxo	Não
Máquina	Inteiro longo	Campo Vinculado	Campo de texto referente à máquina da operação do apontamento	Não
BP	Inteiro longo	Código de barras	Campo numérico contendo identificador da máquina	Não
Produzido	Inteiro longo	Digitado manualmente	Campo numérico referente a quantidade em peças boas produzidas	Não
Refugado	Inteiro longo	Digitado manualmente	Campo numérico referente a quantidade de peças com defeito	Não
Total	Inteiro longo	Campo automático	Campo numérico referente a quantidade de peças totais produzidas na operação. É o resultado do valor do campo 'produzido' descontado do valor do campo 'refugado'.	Não
Pirâmide	Inteiro longo	Digitado manualmente	Campo numérico contendo identificador do objeto de transporte utilizado na movimentação física de peças pela fábrica	Não
Parcial	Booleano	Digitado manualmente	Caixa de seleção para indicar se a ordem de produção processada no apontamento foi transferida parcialmente	Não
CC	Inteiro longo	Campo automático	Campo numérico contendo identificador do centro de custo correspondente à operação e ao colaborador registrados no apontamento	Não
Programa	Texto curto	Digitado manualmente	Caixa de seleção para indicar tipo especial de retrabalho de uma das operações monitoradas	Não
Repassa	Booleano	Digitado manualmente	Caixa de combinação contendo tipos de setup de processo do apontamento	Não
Próxima Operação	Texto curto	Campo Vinculado	Campo de texto vinculado a um banco de dados externo contendo a operação destino do total de peças boas apontadas	Não
Agrupamento	Inteiro longo	Campo Vinculado	Campo numérico vinculado ao banco de dados externo contendo informações de classe de produtos	Não

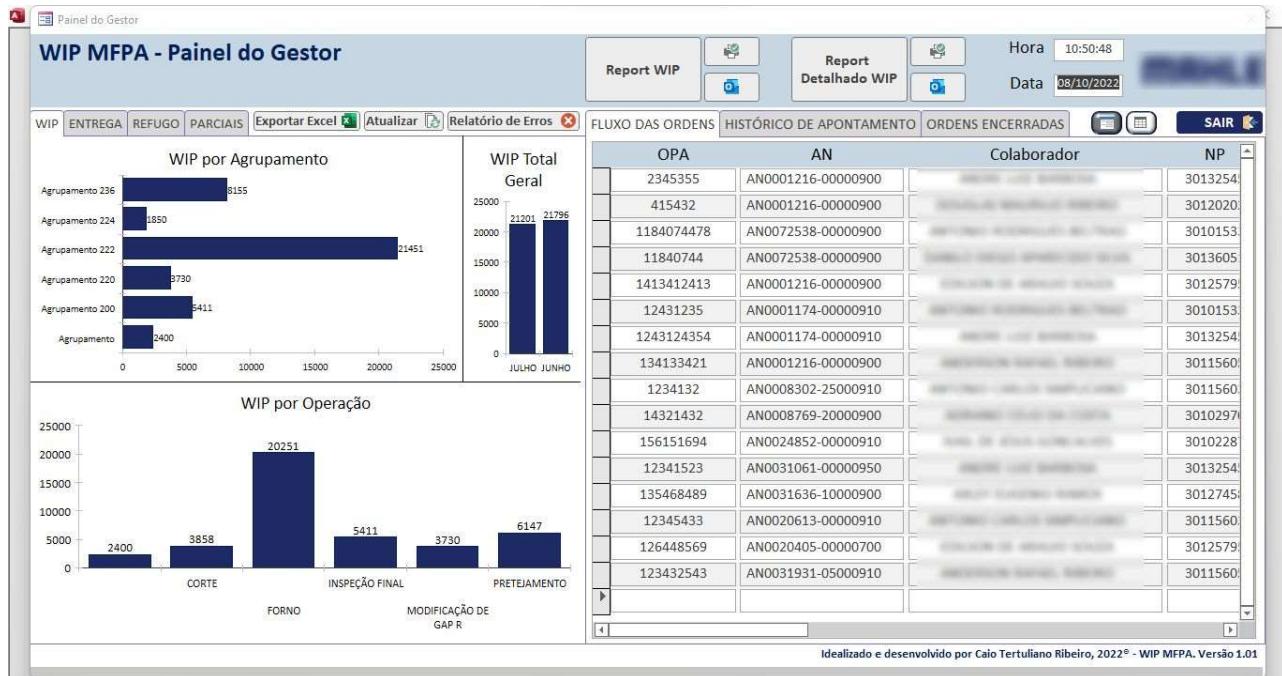


Figura 3 – Tela da interface de gestão do Painel do Gestor utilizada no processamento do apontamento (Autores, 2023)

O cruzamento dessas informações também possibilitou a criação de vários gráficos e relatórios, como por exemplo a quantidade de peças refugadas por operação e por máquina, a quantidade de peças expedidas ao estoque por dia e por mês, histórico de produção das operações, top 10 máquinas com maior quantidade de peças refugadas, top 10 produtos com maior incidência percentual de refugo, entre outras diversas possibilidades. Com a gestão dessas informações também foi possível realizar estimativas do *lead time* médio por produtos e do *lead time* produtivo geral da fábrica; informações as quais antes eram praticamente impossíveis de serem obtidas pelo cruzamento de dados de apontamentos manuais não-sistematizados.

Nos bancos de “Fluxo” e “Encerradas” era possível destrinchar a visualização do apontamento de produção agrupando com todos os seus apontamentos anteriores daquela ordem, conforme apresentado na Figura 4. Dada a relação de “um-para-muitos” estabelecida pelo campo indexado “OPA” desses dois bancos com os respectivos campos não-indexados “OPA” dos bancos de dados auxiliares.

Figura 4 – Tela do banco de dados “Encerradas” com foco nos apontamentos agrupados por OPA (Autores, 2023)

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Teste do programa

Nesta etapa foi realizado o teste do protótipo, a elucidação de pontos de falhas não-críticos, a correção dessas falhas e a listagem de pontos de melhoria futuros.

Como forma de agilizar a operacionalização do teste do protótipo, foi escolhido uma operação com um mix de produção característico, onde o fluxo consistia em apenas 3 operações: conformação mecânica, inspeção visual e expedição ao estoque.

O protótipo do programa foi disponibilizado durante três dias, com a finalidade de coletar *feedbacks* do operador de produção quanto a utilização do sistema e a coleta de possíveis falhas.

Neste período o principal ponto levantado foi a quantidade excessiva de apontamento para ordens de produção de *lead time* baixo, que após serem processadas na primeira operação, o tempo decorrido nas duas próximas operações correspondia a menos de um décimo do tempo gasto na primeira operação, onde o operador alegou que o apontamento nesses casos não seria tão prático. Quanto a essa questão foi possível decidir que, para esses casos específicos, o colaborador poderia fazer o apontamento apenas da primeira e da última operação, descontado a operação intermediária. Como já explicado anteriormente sobre a lógica de salvamento desenvolvida, comprehende-se que não era possível economizar o tempo de apontamento nem da primeira operação nem da última, uma vez que eram necessárias para o correto processamento no banco de dados.

Um ponto de melhoria levantado foi quanto a tratativa de retrabalhos e ordens parciais, uma vez que nesses casos a OPA se dividiria em duas partes diferentes, faturando apenas uma quantidade parcial de peças enquanto a outra poderia seguir um fluxo diferente ao cadastrado no banco de dados auxiliar de sequência de operações. Esse caso foi abordado com um ponto de melhoria futuro, uma vez que necessitaria de um grande esforço, já que mexeria com a sub-rotina de salvamento e necessitaria de um dimensionamento de outro banco de dados auxiliar; e o ganho esperado era baixo, uma vez que o volume de ordens de produção que se enquadravam nestes eventos correspondiam a 8% em média do total circulante pela fábrica.

### Implantação e estabilização do programa

Corrigido o principal ponto quanto ao padrão de apontamento para ordens de fluxo pequenos com três operações, o resto dos *feedbacks* foram classificados como pontos de melhoria e documentados para serem incluídos em versões futuras do sistema.

Dessa forma, foi realizado o treinamento de todos os colaboradores nos três turnos, e criado uma rotina de confirmação de processo para conferir se o apontamento estivesse sendo realizado da maneira correta. Os treinamentos terminaram em dois dias e, durante 3 semanas, as rotinas de confirmação de processo eram diárias e aleatórias entre as operações para verificar a adequação dos colaboradores ao uso do sistema. Após a terceira semana, as operações chave foram divididas sistematicamente em uma rotina de confirmação de processo com a frequência de 3 vezes por semana.

Após implantado e estabilizado, foram coletados dados acerca das melhorias encontradas no indicador de WIP monitorado. Nessa empresa que serviu como objeto de estudo, o indicador de WIP é representado em dias, sendo o quociente entre a quantidade de peças em processamento dividido pela capacidade diária de entrega da mão de obra em peças, tal como a Equação (1).

$$WIP = \frac{\text{Quantidade de peças em processamento [peças]}}{\text{Capacidade de produtividade diária [peças/dia]}} \quad (1)$$

### Acompanhamento de Resultados

O indicador de WIP monitorado nos quatro meses e meio após a implementação do projeto reduziu em 44,78%, e pelo relato do programador logístico foi possível corroborar que o sistema de gestão implementado foi o principal fator contribuinte neste resultado. Obviamente, existem variáveis externas que impactam diretamente nos resultados quantitativos deste indicador, como o mix de produção, paradas não programadas de produção, quantidade de dias úteis dos meses analisados, entre outros fatores.

Previsões mais assertivas puderam ser geradas de fechamento de mês com a elucidação de operações-gargalo em tempo real, uma vez que a pesquisa de ordens produção do sistema viabiliza a localização de itens críticos também facilitando a tomada de decisão antes enviesada pela ineficiência de localização de ordens através da verificação visual.

De maneira geral, entende-se que a implantação do sistema impactou de forma positiva a tomada de decisão de controle da produção na fábrica analisada, atuando na redução dos desperdícios levantados na fase inicial de mapeamento do projeto e contribuindo para uma tomada de decisão mais assertiva e ágil.

Quanto às melhorias para a tomada de decisão, o processo de priorização de itens críticos após a estabilização do programa tornou-se praticamente instantâneo, eliminando o tempo de procura pela OPA pela fábrica. Toda informação requisitada relacionada a posição de itens em processamento na fábrica e quantidade de peças por operação eram processados em questão de segundos. Como consequência, a tomada de decisão se tornou mais assertiva e ágil, diminuindo o atraso no fechamento mensal e tornando mais eficiente a comunicação entre o setor de logística e o de administração da produção, através de um melhor controle da produção devido ao fornecimento de informações confiáveis em tempo real. A Figura 5 apresenta os resultados reais da diminuição de WIP após a implantação do sistema de informação.

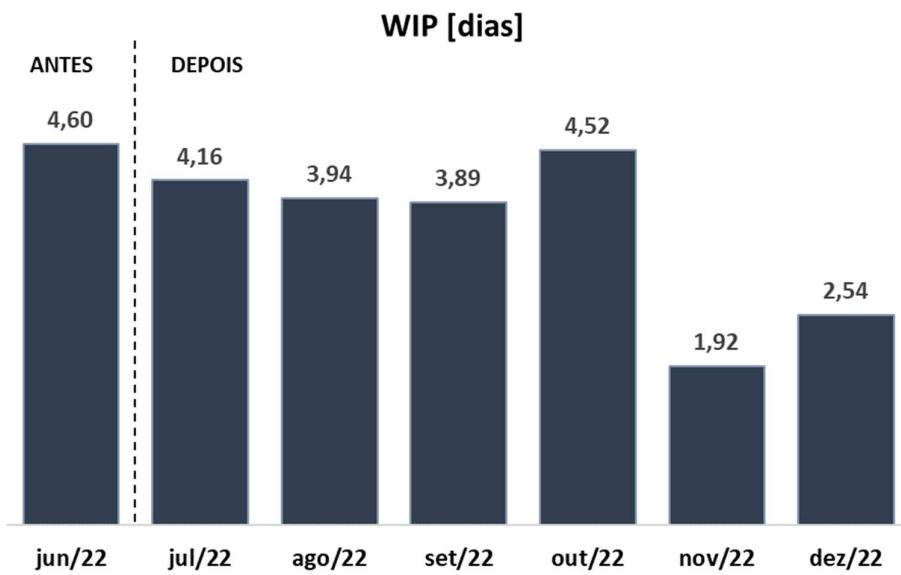


Figura 5 – Gráfico comparativo de evolução do indicador de WIP após implementação do projeto (Autores, 2023)

## CONCLUSÕES

Com a implementação do sistema desenvolvido e a observação do seu impacto no controle da produção da fábrica utilizada como objeto de estudo, foi possível observar os resultados acima mencionados na implantação do sistema de monitoramento de ordens de produção e gestão de WIP.

De imediato, o principal benefício evidente foi a sistematização da *pipeline* dos dados de monitoramento de WIP, uma vez que o sistema padronizou desde a coleta de dados facilitada com o apontamento digital de produção, até o salvamento e processamento de dados em tempo real e também a emissão de relatórios com apenas um clique de botão, liberando a mão-de obra antes dedicada para a coleta e processamento de dados. Como resultado mensurável, apresentou-se o ganho na redução de 44,78% no WIP da fábrica.

É possível observar também a diminuição de desperdícios no objeto de estudo. O primeiro deles, a superprodução: havendo um *feedback* praticamente instantâneo da movimentação de WIP e de faturamento de ordens de produção por intermédio das informações disponibilizadas pelo sistema, o programador logístico consegue estimar a capacidade de entrega dos gargalos de maneira mais assertiva e ágil, ainda com menor margem de erro comparado com as estimativas antes realizadas. Outro desperdício inerente à redução de WIP é a redução de estoques intermediários, o que porventura pode levar a elucidação de problemas antes não evidenciados, como o desbalanceamento de linhas, por exemplo. Por fim, de maneira indireta, também pode-se afirmar a redução do desperdício de movimentação excessiva, relacionado aos procedimentos antes utilizados para levantamento de informações agora monitoradas pelo sistema.

Reforçando o que foi encontrado na literatura, observou-se que sistemas de controle de produção voltados ao monitoramento de WIP, utilizados na heurística de compor uma ferramenta de viés estrito ao auxílio à tomada de decisão em ambientes que utilizam o modelo híbrido CONWIP/KANBAN, são mais suscetíveis a apresentar resultados reais de aumento de performance em indicadores de controle de estoque frente às ferramentas quantitativas de controle de produção, confirmado a aderência do sistema quanto ao modelo híbrido.

Foi também possível observar o comportamento do objeto de estudo de maneira holística: a implantação de uma melhoria em um conjunto de métodos e procedimentos dentro do setor de planejamento e controle da produção, em específico, no controle da produção, gerou efeitos positivos em outros setores e procedimentos, fato esse que corrobora a declaração de que o ambiente fabril compõe um objeto de estudo de grande dinamicidade, o qual, ao passo da ocorrência de alterações em sua dinâmica de funcionamento, é esperado que grande parte da totalidade dos agentes sejam afetados de maneira sistêmica, como podemos observar no presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Assis, C. F., Silva, E., Sabino, S. S., & Junior, W. R. G. (2017). O impacto da automação na redução do estoque em processo (WIP). *Revista Espacios*, 38(11), 15. <https://w.revistaespacios.com/a17v38n11/17381115.html>
- Bonvik, A. M., Couch, C. E., & Gershwin, S. B. (1997). A comparison of production-line control mechanisms. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/002075497195713>
- Favaretto, F. (2002). Considerações sobre o apontamento da produção. In *Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGET)*. ABEPROM. <https://www.researchgate.net/publication/239931039> CONSIDERACOES SOBRE O APONTAMENTO DA PRODUCAO
- Favaretto, F. (2001). *Uma contribuição ao processo de gestão da produção pelo uso da coleta automática de dados de chão de fábrica* [Tese de doutorado, Universidade de São Paulo]. [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-09102001-133342/publico/Fabio\\_Favaretto](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-09102001-133342/publico/Fabio_Favaretto)
- Favaretto, F., & Neto, A. I. (2004). Controle da produção baseado em código de barras. In *Anais do XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGET)*. ABEPROM.
- Framian, J. M., González, P. L., & Usano, R. R. (2003). The CONWIP production control system: Review and research issues. *Production Planning & Control*, 14(3), 255–265. <https://doi.org/10.1080/0953728031000102595>
- Gershwin, S. B. (1994). *Manufacturing systems engineering* (1<sup>a</sup> ed.). Prentice-Hall.
- GIL, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas, 2002.
- Hemalatha, C., Sankaranarayanasamy, K., & Durairaj, N. (2020). Lean and agile manufacturing for work-in-process (WIP) control. *Materials Today: Proceedings*, 27, 2102–2108. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320401907>
- Marçola, A. M., & Andrade, J. H. (2009). Melhorias no processo de apontamento manual de mão-de-obra em ambientes de produção engineer-to-order – Um estudo de caso. In *Anais do XVI Simpósio de Engenharia de Produção*. UNESP.
- McKay, K. N., & Buzacott, J. A. (2000). The application of computerized production control systems in job shop environments. *Computers in Industry*, 43(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0166-3615\(99\)00063-9](https://doi.org/10.1016/S0166-3615(99)00063-9)
- Ohno, T. (1997). *O sistema Toyota de produção: Além da produção em larga escala*. Bookman.
- Oliver, N., Delbridge, R., Jones, D., & Lowe, J. (2005). World class manufacturing: Further evidence in the lean production debate. *British Journal of Management*, 16(1), 73–87. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8551.2005.00426.x>
- Sereno, B., Silva, D. S. A., Leonardo, D. G., & Sampaio, M. (2011). Método híbrido CONWIP/KANBAN: Um estudo de caso. *Gestão & Produção*, 18(3), 577–590. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2011000300015>
- Shingo, S. (1996). *O sistema Toyota de produção: Do ponto de vista da engenharia de produção*. Bookman.
- Tsouveloudis, N. C., Dretoulakis, E., & Ioannidis, S. (2000). Fuzzy work-in-process inventory control of unreliable manufacturing systems. *Information Sciences*, 127(1–2), 69–83. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S002002550000030X>
- Tubino, D. F. (1997). *Planejamento e controle da produção: Teoria e prática* (2<sup>a</sup> ed.). Atlas.