

Estudo prévio para abordagem de uml visando a eficiência operacional em uma indústria de injeção plástica

Preliminary study for approaching uml with a view to operational efficiency in a plastic injection industry

Estudio previo para el abordage de uml con el objetivo de la eficiencia operativa en una industria de inyección de plásticos

João Pedro Ribeiro Braz¹

Edson de Almeida Rego Barros²

Resumo: Este estudo apresenta a análise detalhada da linha de produção de uma empresa hipotética do setor de injeção plástica, utilizando as metodologias da UML (Unified Modeling Language) como recurso de modelagem. O propósito central é estruturar e compreender os processos produtivos de forma sistemática, possibilitando a automação de cálculos estratégicos voltados ao planejamento funcional. A pesquisa desenvolve um sistema computacional em C++ capaz de representar a ocupação das máquinas injetoras, avaliar sua capacidade produtiva e fornecer subsídios para decisões relacionadas à distribuição das ordens de produção. Ao adotar um estudo de caso simulado, o trabalho contribui para a integração entre ferramentas de modelagem computacional e práticas de gestão da produção, favorecendo ganhos de eficiência, redução de gargalos e fortalecimento da competitividade industrial.

Palavras-chave: Disponibilidade operacional. Planejamento da produção. C++. Eficiência industrial. Injeção plástica.

Abstract: This study presents a detailed analysis of the production line of a hypothetical company in the plastic injection sector, using UML (Unified Modeling Language) methodologies as a modeling tool. The main purpose is to structure and understand the production processes systematically, enabling the automation of strategic calculations aimed at functional planning. The research develops a computational system in C++ capable of representing the occupancy of injection machines, evaluating their production capacity, and providing support for decisions related to the distribution of production orders. By adopting a simulated case study, the work contributes to the integration between computational modeling tools and production management practices, promoting efficiency gains, reduction of bottlenecks, and strengthening of industrial competitiveness.

Keywords: Operational availability. Production planning. C++. Industrial efficiency. Plastic injection.

Resumen: Este estudio presenta un análisis detallado de la línea de producción de una empresa hipotética del sector de inyección plástica, utilizando las metodologías UML (Lenguaje Unificado de Modelado) como herramienta de modelado. El propósito principal es estructurar y comprender los procesos productivos de manera sistemática, posibilitando la automatización de cálculos estratégicos orientados a la planificación funcional. La investigación desarrolla un sistema computacional en C++ capaz de representar la ocupación de las máquinas inyectoras, evaluar su capacidad productiva y ofrecer apoyo para la toma de decisiones relacionadas con la distribución de las órdenes de producción. Al adoptar un estudio de caso simulado, el trabajo contribuye a la integración entre herramientas de modelado computacional y prácticas de gestión de la producción, favoreciendo mejoras en la eficiencia, reducción de cuellos de botella y fortalecimiento de la competitividad industrial.

Palabras-clave: Disponibilidad operativa. Planificación de la producción. C++. Eficiencia industrial. Inyección de plástico.

Submetido 13/03/2026

Aceito 21/07/2026

Publicado 04/08/2026

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Itapetininga. ORCID: E-mail: joao.braz@aluno.ifsp.edu.br.

² Doutorado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Itapetininga. ORCID: E-mail: edson.barros@ifsp.edu.br.

Introdução

A competitividade que caracteriza a indústria atual é influenciada pela globalização, pela rápida evolução tecnológica e por uma crescente exigência em custos, qualidade e prazos. Nesse ambiente, a eficiência produtiva deixou de ser apenas um objetivo operacional para se tornar um diferencial estratégico das organizações (Slack et al., 2018). A eficiência, entretanto, não está somente relacionada à produção em alta escala, mas também ao uso adequado dos recursos, à estabilidade dos processos e à agilidade em responder às flutuações do mercado (Tubino, 2017).

Nesse contexto, o Planejamento e Controle da Produção (PCP) assume papel central ao promover o alinhamento entre a demanda do cliente e a capacidade disponível. Indicadores como a disponibilidade operacional e a Eficiência Global dos Equipamentos (OEE – Overall Equipment Effectiveness) destacam-se como ferramentas essenciais para o acompanhamento do desempenho fabril, pois permitem identificar o tempo realmente produtivo das máquinas, as perdas por paradas e o rendimento efetivo do processo (Nakajima, 1988; Muchiri & Pintelon, 2008). Dessa forma, a análise desses indicadores possibilita uma visão clara dos principais pontos que afetam a competitividade industrial.

A confiabilidade dos equipamentos torna-se, então, um elemento indispensável. Estratégias como a Manutenção Produtiva Total (TPM) evidenciam que a gestão sistemática do desempenho das máquinas reduz falhas, aumenta a disponibilidade operacional e prolonga a vida útil dos ativos (Tsarouhas, 2019). Em muitos cenários industriais, perdas significativas de eficiência estão relacionadas a paradas inesperadas e setups demorados, reforçando a necessidade de mecanismos que integrem essas variáveis ao PCP (Carvalho & Lima, 2020).

A utilização de sistemas computacionais para apoiar decisões operacionais tornou-se uma prática cada vez mais comum. A linguagem C++, por exemplo, oferece recursos eficientes para estruturação de algoritmos que simulam, processam e analisam dados industriais em tempo real, auxiliando gestores na otimização da produção e na avaliação da utilização das máquinas (Moura et al., 2022).

Dentro desse panorama, a indústria de injeção plástica destaca-se por apresentar grandes volumes de fabricação, alto nível de automação e repetitividade dos ciclos de operação, características que favorecem a coleta e o tratamento de dados operacionais (Oliveira & Mendes, 2019). Eventuais interrupções ou desvios de processo podem impactar diretamente a cadeia produtiva e o cumprimento dos prazos de entrega.

Considerando essa realidade, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema em C++ voltado ao acompanhamento da disponibilidade operacional de máquinas injetoras, tendo como base o estudo aplicado à empresa fictícia Plasticado S.A. A solução busca apoiar o processo de planejamento e controle da produção, permitindo identificar gargalos, monitorar a ocupação das máquinas e subsidiar decisões estratégicas relacionadas à capacidade e aos investimentos. Com isso, espera-se reforçar práticas de gestão orientadas a dados, ampliando a competitividade, a confiabilidade e a sustentabilidade do ambiente industrial.

Materiais e Métodos

Fundamentação Conceitual e Histórica

O Planejamento e Controle da Produção (PCP) constitui um dos pilares da engenharia de produção moderna, fundamentando-se na organização sistemática de recursos e processos para atender à demanda de forma eficiente. Suas origens remontam à Administração Científica, proposta por Frederick Taylor (1911), que buscava racionalizar o trabalho por meio da padronização de tarefas, mensuração de tempos e movimentos e eliminação do imprevisto, com o objetivo de aumentar a produtividade individual sem comprometer a qualidade.

Posteriormente, Henry Ford (1920) aplicou esses princípios em larga escala, consolidando o conceito de produção em massa. A implementação de linhas de montagem contínuas, em que o fluxo de materiais e a sequência de operações eram planejados de forma minuciosa, permitiu a sincronização produtiva e estabeleceu a base para o desenvolvimento de metodologias mais estruturadas de PCP.

Na década de 1950, o Sistema Toyota de Produção (STP), desenvolvido por Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, trouxe uma revolução conceitual à engenharia de produção. O STP introduziu os princípios do Just in Time (JIT), Jidoka (automação inteligente) e Kaizen (melhoria contínua), priorizando o fluxo de valor, a redução de desperdícios e a participação ativa dos colaboradores na resolução de problemas (Ohno, 1988). Esses conceitos originaram o Lean Manufacturing, metodologia que transformou a gestão industrial de forma comparável ao impacto da Revolução Industrial.

Com a chegada da informática industrial, na década de 1960, surgiram as metodologias MRP I (Material Requirements Planning), focadas no planejamento das necessidades de

materiais. Nos anos 1980, esse conceito evoluiu para o MRP II (Manufacturing Resources Planning), que passou a contemplar também o planejamento de outros recursos produtivos, ampliando a visão de toda a cadeia produtiva. Essa evolução conceitual resultou nos modernos sistemas ERP (Enterprise Resource Planning), capazes de integrar setores como produção, suprimentos, finanças e gestão de estoques em um único ambiente digital (Orlicky, 1975; Mabert & Sauers, 2007).

Na década de 1990, com a consolidação da Manutenção Produtiva Total, foi introduzido o indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness), desenvolvido por Nakajima (1988), que avalia a eficiência global dos equipamentos a partir de três componentes: disponibilidade, desempenho e qualidade. O OEE tornou-se uma ferramenta essencial para mensurar perdas, identificar gargalos e apoiar a tomada de decisões estratégicas sobre manutenção e operação das máquinas.

Mais recentemente, a Indústria 4.0 trouxe a integração de sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial aos processos de PCP, promovendo automação, conectividade e análise em tempo real de dados de produção (Kagermann et al., 2013). Nesse contexto, ferramentas de modelagem, como a UML, surgem como instrumentos indispensáveis para descrever, planejar e otimizar sistemas industriais complexos, permitindo uma visão estruturada das operações e facilitando a comunicação entre desenvolvedores e gestores inteligentes.

Tecnologias Aplicadas ao PCP

O avanço da tecnologia da informação transformou profundamente a forma como as empresas planejam e controlam sua produção. Hoje, o PCP depende de uma infraestrutura digital capaz de integrar diversos subsistemas e de garantir que informações fluam de maneira rápida, precisa e bidirecional.

Entre as ferramentas tecnológicas mais relevantes estão:

- Sistemas ERP: permitem o controle centralizado de informações sobre matérias-primas, pedidos, capacidade produtiva e custos. Exemplos: SAP ERP, Oracle NetSuite, TOTVS Protheus e Microsoft Dynamics 365.

- Sistemas MES (Manufacturing Execution Systems): responsáveis pela coleta de dados de chão de fábrica em tempo real, possibilitando o acompanhamento da eficiência, produtividade e disponibilidade dos equipamentos. Exemplos: Siemens Opcenter, GE Digital iFIX e Rockwell FactoryTalk.
- Soluções de Lean Manufacturing e TPM: metodologias como 5S, SMED, Kanban, Kaizen e Manutenção Autônoma otimizam a utilização dos recursos produtivos e minimizam perdas por setup ou paradas não programadas (Shingo, 1985; Imai, 1997).
- Sistemas de Simulação e Modelagem: plataformas como Arena Simulation, FlexSim e AnyLogic possibilitam simular cenários produtivos complexos, permitindo identificar gargalos e testar soluções antes da implementação física.
- Controle Estatístico de Processo (CEP): ferramentas como Minitab e InfinityQS são utilizadas para analisar variações de processo e assegurar conformidade com especificações.
- Soluções de Indústria 4.0 e IoT Industrial: plataformas como PTC ThingWorx, IBM Watson IoT e Schneider EcoStruxure permitem conectar sensores e máquinas em rede, viabilizando manutenção preditiva e análise de dados em tempo real.
- Aplicações específicas para injeção plástica: softwares como RJG eDART e ENGEL e-factory monitoram o ciclo de injeção, consumo de energia e eficiência de molde, fornecendo dados precisos para o PCP.

Essas tecnologias convergem para um modelo de gestão data-driven, no qual decisões operacionais e estratégicas são fundamentadas em análises quantitativas. O uso combinado de ERP, MES e ferramentas de modelagem (como UML) cria uma infraestrutura inteligente, essencial para sustentar práticas de manufatura enxuta e operações orientadas por indicadores de desempenho (KPIs).

Definição do Estudo de Caso

Na empresa fictícia Plasticado S.A., observou-se que os planejadores registravam manualmente informações sobre a programação das máquinas injetoras e os tempos de ciclo, o que ocasionava atrasos significativos nas análises e na tomada de decisão. Essa prática também

prejudicava a prospecção de novos clientes, devido à falta de visibilidade da capacidade produtiva real.

Além disso, a utilização de diferentes materiais nas mesmas máquinas gerava setups frequentes, impactando negativamente a eficiência operacional, elevando custos e diminuindo a competitividade da empresa.

Para superar essas limitações, foi desenvolvido um sistema em C++, com lógica de operação representada por diagramas UML, permitindo que gestores acompanhem em tempo real a ocupação das máquinas, os produtos em produção e a capacidade efetivamente disponível. O sistema oferece suporte à análise de gargalos, planejamento de manutenção e decisões estratégicas sobre investimentos em novos equipamentos, consolidando práticas de gestão mais eficientes, confiáveis e orientadas por dados.

Modelagem do Sistema em UML

A modelagem do sistema foi desenvolvida com base nos princípios da UML (Unified Modeling Language), um padrão visual reconhecido internacionalmente pelo Object Management Group (OMG) para descrever e compreender sistemas de software. Essa linguagem fornece um conjunto estruturado de elementos gráficos que facilita a representação de aspectos essenciais do projeto, desde sua organização interna até o comportamento e as interações entre suas partes. Ao adotar a UML, torna-se possível alinhar a comunicação entre todos os envolvidos no desenvolvimento, garantindo clareza na definição de requisitos, funcionalidades e fluxos operacionais, além de auxiliar na tomada de decisões ao longo do ciclo de vida do sistema. Nesse contexto, a modelagem do software foi organizada por meio de quatro diagramas principais, que, de maneira complementar, permitem visualizar de forma integrada o funcionamento do sistema de planejamento da produção, conforme apontado a seguir.

Diagrama de Estados (Figura 1) representa o ciclo de vida do sistema, descrevendo a sequência das fases desde a inicialização e o cadastro dos dados até o processamento das informações, geração de relatórios e encerramento das operações. Esse diagrama evidencia a lógica interna que sustenta o fluxo computacional.

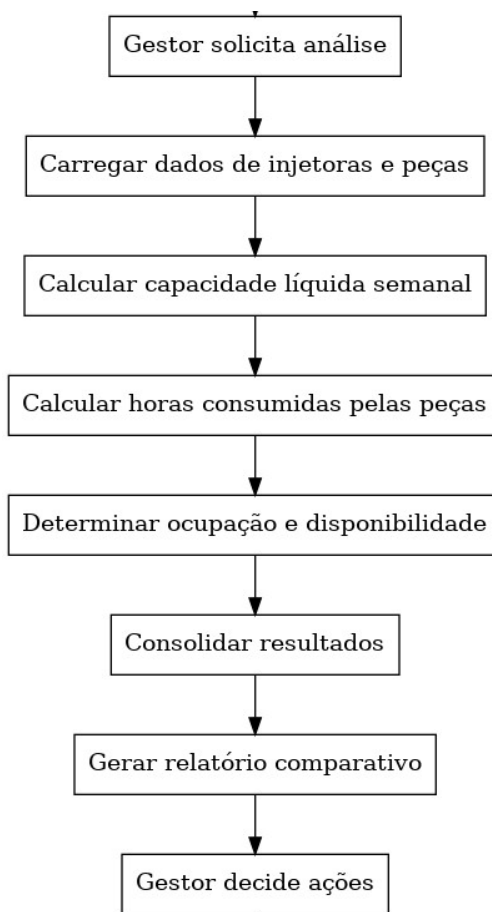
Figura 1 – Diagrama de Estados do Sistema de Planejamento.



Fonte: Próprio Autor.

Diagrama de Atividades (Figura 2) traduz o fluxo prático das ações executadas pelo usuário, iniciando na solicitação do gestor e passando pelo carregamento de dados, cálculo da capacidade líquida, determinação da ocupação das injetoras e emissão dos relatórios. Ele demonstra de forma visual a experiência operacional dentro do sistema.

Figura 2 – Diagrama de Atividades do Processo de Análise de Produção.



Fonte: Próprio Autor.

Antes da apresentação dos Diagramas de Casos de Uso ilustrados nas Figuras 3 e 4, faz-se necessário contextualizar as funcionalidades e interações que estruturam o sistema de planejamento desenvolvido. A Tabela 1, apresentada a seguir, descreve de forma sistemática os

casos de uso identificados durante o processo de modelagem, destacando seus propósitos, atores envolvidos, entradas e saídas de informações e as principais restrições operacionais observadas.

Tabela 1 - Descrição dos Casos de Uso do Sistema de Planejamento da Produção.

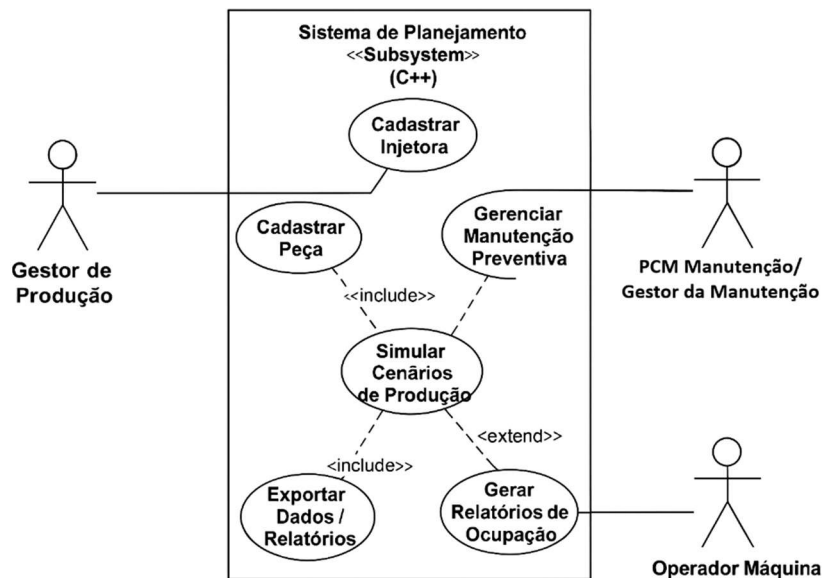
CASO DE USO	FINALIDADE/DESCRIÇÃO	ATOR PRINCIPAL	ENTRADA (INPUT)	SAÍDA (OUTPUT)
Cadastrar Injetora	Inserir ou editar os dados básicos das máquinas injetoras. É a base para o cálculo de capacidade.	Gestor de Produção, PCM Manutenção/Gestor da Manutenção, Técnico de Manutenção.	Nome da injetora, dias de trabalho por semana (1-7), horas por dia (0-24), e horas de manutenção preventiva semanal.	Injetora registrada no sistema (Estrutura Injetora preenchida).
Cadastrar Peça	Inserir ou editar os parâmetros de produção de uma peça especificada em uma injetora.	Gestor de Produção, Operador de Máquinas.	Número/ID da peça, tempo de ciclo em segundos, e volume diário (peças/dia).	Peça estará associada a uma injetora.
Calcular Capacidade Líquida	Determinar o tempo produtivo disponível de cada injetora para o planejamento semanal.	Gestor de Produção/Gestor de Produção, PCM Manutenção	Dias e horas de trabalho por semana e horas de manutenção preventiva semanal.	Capacidade líquida semanal em horas.
Cenários de Produção	Avaliar diferentes distribuições de ordens de produção ou investimentos em novos equipamentos.	Gestor de Produção.	Dados de capacidade e consumo de horas por peça (com diferentes parâmetros de entrada).	Percentuais de ocupação e disponibilidade das injetoras sob diferentes cenários.
Gerar Relatórios de Ocupação/Produção	Exibir métricas e indicadores de desempenho para análise gerencial.	Gestor de Produção.	Capacidade líquida semanal e consumo total de horas por peça.	Relatório textual/tabular com Capacidade Líquida semanal, Consumo Total, Percentual de Ocupação e Disponibilidade (em horas).
Gerenciar Manutenção Preventiva	Tratar os tempos dedicados à manutenção, que são descontados da capacidade total.	PCM Manutenção/Gestor da Manutenção.	Horas de manutenção semanal planejada.	Capacidade líquida ajustada de acordo com as manutenções.
Exportar Dados / Relatórios	Permitir a saída dos resultados gerados pelo sistema para uso do setor.	Gestor de Produção.	Relatórios Gerenciais (taxa de ocupação, eficiência, disponibilidade).	Arquivo de dados ou relatório (em formato textual/tabular) para análise e arquivamento.
Editar/Remover Peça	Ajustar ou excluir registros de peças devido a variações de produção ou desativação de moldes.	Operador de Máquinas, Técnico de Manutenção.	ID da Peça a ser modificada ou removida.	Base de dados de peças atualizada e alinhada à realidade operacional.

Fonte: Próprio Autor.

Essa organização permite compreender o papel de cada módulo dentro da arquitetura do sistema, facilitando a correlação entre os requisitos funcionais e as atividades práticas do PCP. Além disso, a tabela serve como um referencial conceitual para a leitura dos diagramas UML subsequentes, pois evidencia a lógica de interação entre os usuários e o software, demonstrando como os fluxos de informação e decisão foram estruturados para representar com fidelidade o ambiente produtivo modelado.

Diagrama de Casos de Uso (Figura 3) apresenta as interações entre os principais atores e o sistema, incluindo o gestor de produção, o operador de máquinas e o técnico de manutenção. Esse diagrama evidencia a integração entre os setores produtivos e administrativos, reforçando o papel colaborativo do sistema no processo de planejamento.

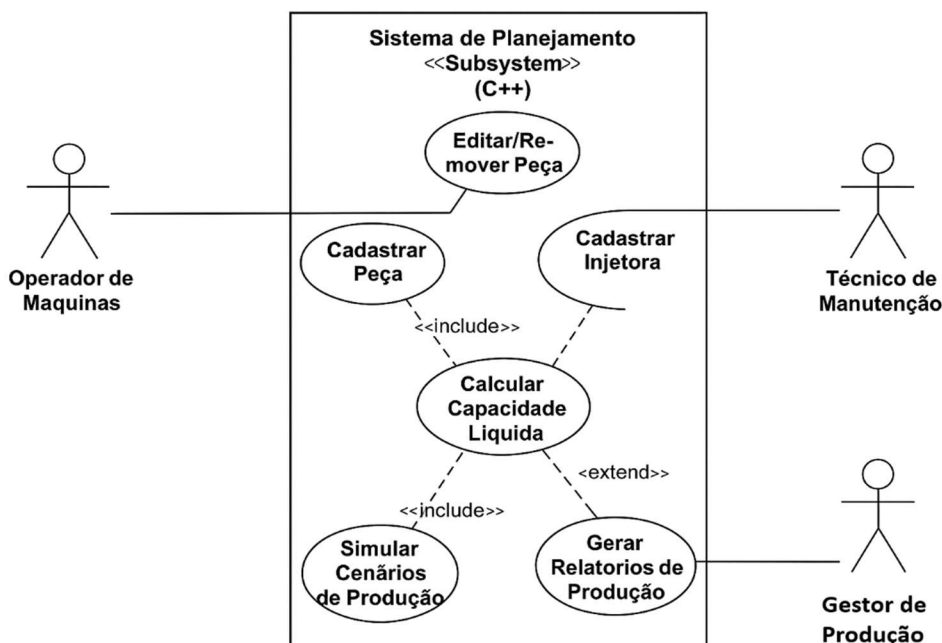
Figura 3 – Diagrama de Casos de Uso (Visão Geral do Sistema).



Fonte: Próprio Autor.

Diagrama de Casos de Uso Detalhado (Figura 4) expande as funcionalidades do sistema, abordando operações como cadastro de máquinas, cálculo da capacidade líquida, avaliação da ocupação das injetoras, simulação de cenários produtivos e geração de relatórios de desempenho. Esse detalhamento assegura a padronização dos dados de entrada e a confiabilidade dos resultados.

Figura 4 – Diagrama de Casos de Uso Detalhado (Funcionalidades do Sistema).



Fonte: Próprio Autor.

A aplicação coordenada desses diagramas permitiu estruturar o raciocínio lógico e funcional do software, garantindo modularidade, escalabilidade e clareza de comunicação. Além disso, a padronização promovida pela UML facilita a futura integração do sistema com plataformas corporativas como ERP e MES, alinhando-se aos conceitos da Indústria 4.0 e ampliando o potencial de automação e conectividade.

Desenvolvimento do Protótipo Computacional

O protótipo computacional foi desenvolvido em linguagem C++, selecionada por sua alta eficiência de processamento, flexibilidade na manipulação de dados e compatibilidade com bibliotecas voltadas à modelagem de sistemas industriais. Essa linguagem permite o controle preciso dos recursos de hardware e o gerenciamento otimizado da memória, fatores essenciais em aplicações que demandam cálculos de alta precisão e manipulação de grandes volumes de informações operacionais.

O processo de desenvolvimento seguiu os princípios da engenharia de software modular, que organiza o código em componentes independentes, mas integrados logicamente. Essa estruturação garante baixo acoplamento e alta coesão entre as funções, facilitando a

manutenção, a expansão de funcionalidades e a integração futura com sistemas corporativos. A abordagem modular também favorece a escalabilidade do sistema e assegura uma arquitetura sólida e sustentável a longo prazo.

O protótipo foi estruturado em cinco módulos principais, que compõem o núcleo funcional do software e correspondem às etapas de entrada, processamento e análise dos dados produtivos:

1 - Cadastro de Injetoras e Peças – Responsável pelo registro das máquinas, moldes, cavidades, tempos de ciclo e tipos de polímeros. Esse módulo forma a base de dados do sistema e permite a parametrização detalhada dos recursos produtivos, assegurando que as informações inseridas reflitam as condições reais do ambiente fabril.

2 - Planejamento de Produção – Realiza o cálculo da capacidade semanal e mensal de cada injetora, considerando tempos disponíveis, paradas planejadas e manutenções preventivas. Aplica conceitos de capacidade produtiva líquida e tempo efetivo de operação, fundamentais para o balanceamento das linhas e otimização do uso dos equipamentos.

3 - Análise de Ocupação – Determina automaticamente o percentual de utilização das máquinas com base nas ordens de produção lançadas. O sistema compara a capacidade teórica e a capacidade efetiva, permitindo a identificação de gargalos operacionais e períodos de ociosidade.

4 - Relatórios Gerenciais – Gera relatórios em formato textual e tabular, apresentando indicadores de desempenho como taxa de ocupação, eficiência produtiva e disponibilidade operacional. Esses resultados subsidiam o Planejamento e Controle da Produção (PCP), apoiando a redistribuição de ordens e a tomada de decisões estratégicas.

5 - Interface de Operação e Controle (Menu Principal) – Centraliza o acesso às funcionalidades do sistema, permitindo ao usuário navegar entre os módulos de forma intuitiva e sequencial. Essa interface representa o ponto de convergência entre o planejamento computacional e a execução prática, assegurando uma experiência operacional coerente com a lógica do PCP.

A lógica de cálculo do sistema baseia-se em equações de disponibilidade e eficiência global dos equipamentos (OEE), que consideram o tempo total disponível, o tempo efetivamente produtivo, as paradas planejadas e as falhas não programadas. Essa fundamentação garante que o software reproduza com fidelidade as condições reais do chão de fábrica, fornecendo indicadores confiáveis para o gerenciamento da capacidade produtiva.

O protótipo foi concebido com arquitetura aberta e modular, permitindo sua integração futura com sensores e dispositivos IoT (Internet das Coisas). Essa integração possibilitará a coleta automática de dados em tempo real, reduzindo a necessidade de intervenção manual e elevando o nível de confiabilidade das informações registradas. Tal abordagem está em consonância com os conceitos da Indústria 4.0, que preconiza a interconectividade entre sistemas ciberfísicos, sensores e redes de comunicação para promover a manufatura inteligente.

Integração das Partes do Programa ao Artigo

A aplicação desenvolvida em C++ reflete diretamente a modelagem definida na etapa de concepção por meio dos diagramas UML, garantindo alinhamento entre o projeto teórico e sua implementação prática. Essa coerência estrutural permite que o sistema opere de maneira sistemática, transparente e aderente às necessidades do PCP da Plasticado S.A.

Com o objetivo de tornar a arquitetura do programa mais compreensível no contexto do artigo, o código foi organizado em cinco partes principais, apresentadas a seguir com suas respectivas funções e representações gráficas. Cada imagem inserida ilustra uma seção fundamental do fluxo operacional do sistema, aproximando o leitor da lógica implementada no software.

Figura 5 – Estrutura de Dados: Representação das Injetoras e Peças.

```

11 struct Peca {
12     int numero;           // ID/Número da peça
13     double tempoCicloSeg; // tempo de ciclo em segundos
14     int volumeDiario;     // peças/dia
15 };
16
17 struct Injetora {
18     string nome;
19     int diasTrabalho;      // dias/semana
20     double horasPorDia;    // h/dia
21     double manutencaoSemanal; // h/semana
22     vector<Peca> pecas;
23 };

```

Fonte: Próprio autor.

A primeira parte corresponde à modelagem das entidades básicas, as máquinas injetoras e as peças nelas produzidas. Essa representação computacional permite armazenar, de forma estruturada, atributos como tempo de ciclo, volume diário e horas de manutenção preventiva. Em termos de UML, essa estrutura equivale ao diagrama de classes, onde cada elemento físico do processo produtivo é abstraído em um objeto com propriedades mensuráveis. Essa etapa estabelece a ponte entre o mundo físico (a fábrica) e sua versão digital (o sistema de cálculo e análise).

Figura 6 – Módulo de Cálculo da Capacidade Produtiva e Ocupação.

```

25 // ----- Cálculos -----
26 double capacidadeLiquidaSemanal(const Injetora& inj) {
27     return (inj.diasTrabalho * inj.horasPorDia) - inj.manutencaoSemanal;
28 }
29
30 double horasConsumidasSemanal(const Peca& p, int diasTrabalho) {
31     double cicloHoras = p.tempoCicloSeg / 3600.0;
32     double horasPorDia = cicloHoras * static_cast<double>(p.volumeDiario);
33     return horasPorDia * static_cast<double>(diasTrabalho);
34 }
35
36 double consumoTotalSemanal(const Injetora& inj) {
37     double total = 0.0;
38     for (const auto& p : inj.pecas) total += horasConsumidasSemanal(p, inj.diasTrabalho);
39     return total;
40 }

```

Fonte: Próprio Autor.

A segunda parte contempla as rotinas matemáticas que transformam os dados cadastrados em indicadores industriais. O sistema calcula o tempo produtivo disponível por

máquina, desconta horas de manutenção, estima o consumo de horas por peça e determina o índice de ocupação das injetoras.

Essa etapa representa o núcleo lógico do sistema, onde os conceitos de engenharia são traduzidos em cálculos automatizados, eliminando planilhas manuais e reduzindo erros interpretativos.

Figura 7 – Módulo de Cadastro e Atualização de Informações Operacionais.

```
156 // ----- Cadastro -----
157 void cadastrarInjetoraBasico(Injetora& inj, int idx) {
158     cout << "\n=== Cadastro/Edicao da Injetora #" << (idx + 1) << " ===\n";
159     inj.nome = lerNomeSimples("Nome (sem espacos): ");
160     inj.diasTrabalho = lerInt("Dias de trabalho/semana (1-7): ", 1, 7);
161     inj.horasPorDia = lerDouble("Horas por dia (0-24): ", 0.0, 24.0);
162     inj.manutencaoSemanal = lerDouble("Horas/semana de manutencao preventiva (>=0): ", 0.0, 1000.0);
163 }
164
165 void cadastrarPecaEm(vector<Injetora>& v) {
166     cout << "\n=== Cadastrar Peca em Injetora ===\n";
167     int idx = lerInt("Escolha a injetora (1-5): ", 1, 5) - 1;
168
169     Peca p;
170     p.numero = lerInt("Numero da peca: ", 0, 1000000000);
171     p.tempoCicloSeg = lerDouble("Tempo de ciclo (segundos, >0): ", 0.000001, 1e9);
172     p.volumeDiario = lerInt("Volume diario (pecas/dia, >=0): ", 0, 1000000000);
173
174     v[idx].pecas.push_back(p);
175
176     cout << "\nPeca cadastrada com sucesso na injetora " << v[idx].nome << ".\n";
177     cout << "Recalculando e mostrando resumo dessa injetora:\n";
178     mostrarResumoInjetora(v[idx]);
179 }
```

Fonte: Próprio Autor.

A terceira parte do programa trata do gerenciamento dinâmico das informações. O usuário pode cadastrar novas máquinas, inserir peças, editar parâmetros de produção ou remover registros desatualizados. Esse recurso é essencial, considerando a natureza mutável da produção industrial, em que tempos de ciclo e configurações de molde variam continuamente. Essa flexibilidade garante que o sistema se mantenha alinhado à realidade operacional, conforme previsto nos diagramas de casos de uso UML, nos quais o usuário atua como agente ativo do processo.

Figura 8 – Módulo de Relatórios e Análise da Ocupação.

```
42 void mostrarResumoInjetora(const Injetora& inj) {  
43     double capacidade = capacidadeLiquidaSemanal(inj);  
44     double consumo = consumoTotalSemanal(inj);  
45     double ocupacao = (capacidade > 0.0) ? (consumo / capacidade) * 100.0 : 0.0;  
46     double disponibilidade = capacidade - consumo;  
47  
48     cout << fixed << setprecision(2);  
49     cout << "\n--- Injetora: " << inj.nome << " ---\n";  
50     cout << "Capacidade liquida semanal: " << capacidade << " h\n";  
51     cout << "Consumo total (todas as pecas): " << consumo << " h\n";  
52     cout << "Ocupacao: " << ocupacao << " %\n";  
53     cout << "Disponibilidade: " << disponibilidade << " h\n";  
54 }
```

Fonte: Próprio Autor.

Nesta quarta parte, o sistema apresenta os resultados de forma clara e objetiva, exibindo métricas como horas consumidas por peça, capacidade total disponível e percentual de ocupação da injetora. O módulo de relatórios desempenha um papel estratégico ao converter dados em informação útil para a decisão, permitindo ao gestor identificar gargalos, sobrecargas ou ociosidade e ajustar a programação fabril. Em termos de modelagem UML, essa fase representa a transição entre o processamento computacional e a interpretação gerencial.

Figura 9 – Fluxo Principal de Utilização (Menu Operacional do Sistema).

```

287 int main() {
288     // Obs: removi ios::sync_with_stdio(false) e cin.tie(nullptr) para garantir
289     // que prompts sejam exibidos antes de ler entradas em todos os ambientes.
290     const string ARQ = "injetoras.db";
291     vector<Injetora> injetoras;
292     // Tenta carregar
293     if (carregar(injetoras, ARQ)) {
294         cout << "Dados carregados de " << ARQ << ".\n";
295     } else {
296         cout << "Arquivo " << ARQ << " não encontrado ou invalido.\n";
297         cout << "Vamos cadastrar as 5 injetoras inicialmente.\n";
298         injetoras.assign(5, Injetora{});
299         for (int i = 0; i < 5; ++i) cadastrarInjetoraBasico(injetoras[i], i);
300         if (salvar(injetoras, ARQ)) {
301             cout << "Dados iniciais salvos em " << ARQ << ".\n";
302         } else {
303             cout << "Aviso: não foi possível salvar " << ARQ << " agora.\n";
304         }
305     }
306     // Menu principal
307     while (true) {
308         cout << "\n===== MENU =====\n";
309         cout << "1) Cadastrar/Editar dados basicos de uma injetora\n";
310         cout << "2) Cadastrar peça em uma injetora\n";
311         cout << "3) Listar resumo das 5 injetoras\n";
312         cout << "4) Listar peças de uma injetora\n";
313         cout << "5) Editar peça\n";
314         cout << "6) Remover peça\n";
315         cout << "7) Salvar e sair\n";
316         cout << "Opcao: " << flush;
317         int op;
318         if (!(cin >> op)) { clearInput(); continue; }
319         if (op == 1) {
320             int idx = lerInt("Qual injetora (1-5)? ", 1, 5) - 1;
321             cadastrarInjetoraBasico(injetoras[idx], idx);
322         } else if (op == 2) {
323             cadastrarPecaEm(injetoras);
324         } else if (op == 3) {
325             listarResumoGeral(injetoras);
326         } else if (op == 4) {
327             int idx = lerInt("Qual injetora (1-5)? ", 1, 5) - 1;
328             listarPecasDaInjetora(injetoras[idx]);
329         } else if (op == 5) {
330             editarPeca(injetoras);
331         } else if (op == 6) {
332             removerPeca(injetoras);
333         } else if (op == 7) {
334             if (salvar(injetoras, ARQ)) {
335                 cout << "Dados salvos em " << ARQ << ". Encerrando.\n";
336             } else {
337                 cout << "Falha ao salvar " << ARQ << ". Encerrando mesmo assim.\n";
338             }
339             break;
340         } else {
341             cout << "Opcao invalida.\n";
342         }
343     }
344     return 0;
345 }

```

Fonte: Próprio Autor.

A quinta parte descreve o fluxo de interação do usuário com o sistema, centralizando as operações dos módulos anteriores em um menu principal. Esse fluxo reflete o Diagrama de Atividades UML, demonstrando coerência entre o planejamento e a execução. As opções são apresentadas de forma sequencial e autoexplicativa, promovendo uma experiência de uso

intuitiva e funcional, essencial em ambientes produtivos que demandam rapidez e clareza operacional.

Importância da Modularização

A divisão do programa em módulos independentes, porém interconectados, favorece a manutenção, o reaproveitamento de código e a evolução tecnológica. Essa arquitetura evidencia a aplicabilidade da modelagem UML como elo entre o raciocínio sistêmico da engenharia de produção e a implementação computacional.

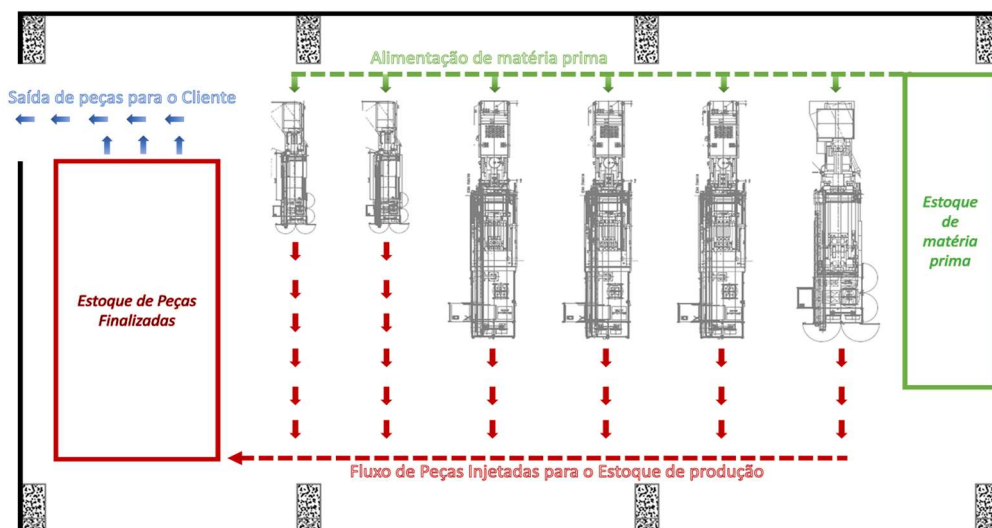
Ao automatizar cálculos e consolidar indicadores operacionais, o sistema reduz erros humanos, amplia a precisão das análises e otimiza o processo decisório do PCP. Dessa forma, os resultados obtidos confirmam que a integração entre modelagem computacional e práticas industriais representa um caminho sólido para o avanço da manufatura inteligente e para a consolidação dos princípios da Indústria 4.0 no contexto produtivo da Plasticado S.A.

Integração com o Ambiente Produtivo - Layout da Fábrica Plasticado S.A.

Para que o sistema de planejamento represente adequadamente as condições reais de produção, é indispensável considerar a organização física das máquinas no chão de fábrica. O layout fabril exerce influência direta sobre o fluxo de materiais, os tempos de setup, os deslocamentos internos e a sequência das ordens de produção.

A Figura 10 apresenta o layout da fábrica Plasticado S.A., evidenciando a localização das injetoras e sua relação com os fluxos de trabalho. Esse esquema serviu como referência para a parametrização do sistema, permitindo associar cada máquina às suas características operacionais e respectivas capacidades. Dessa forma, o software passa a refletir, de maneira mais fiel, o comportamento real do processo produtivo.

Figura 10 – Layout da Fábrica Plástico S.A



Fonte: Próprio Autor.

Em síntese, compreender a estrutura física do ambiente fabril é essencial para integrar o sistema computacional às condições reais de produção. O layout influencia diretamente o balanceamento das operações, a logística interna e a eficiência global do processo, reforçando sua importância no planejamento e controle da produção.

Resultados e Discussões

Coleta e Tratamento dos Dados

A coleta de dados revelou a importância da padronização das informações operacionais. Dados inconsistentes sobre tempo de ciclo e manutenções geram distorções significativas nas análises de capacidade. A utilização da UML na fase de modelagem foi essencial para estabelecer uma linguagem comum entre os setores, reduzindo ambiguidades e otimizando o fluxo de comunicação.

O sistema se mostrou capaz de consolidar informações de diferentes fontes e gerar relatórios de alta confiabilidade. Estima-se que a automatização pode reduzir em até 65% o tempo gasto com cálculos de disponibilidade, permitindo que o PCP dedique mais tempo à análise estratégica e menos às tarefas repetitivas.

Condições de Contorno e Limitações

O desempenho do sistema está condicionado à infraestrutura tecnológica e à maturidade dos processos internos. Ambientes produtivos altamente automatizados, com sensores e integração ERP-MES, tendem a obter resultados mais rápidos e precisos. Em contrapartida, empresas com baixo nível de informatização exigem uma etapa prévia de organização de dados e padronização de registros.

Outra limitação observada é a dependência de dados históricos confiáveis. Sem registros precisos de tempos de ciclo e índices de parada, a confiabilidade dos cálculos pode ser comprometida. Contudo, uma vez implantado, o sistema passa a retroalimentar a base de dados, elevando gradualmente a qualidade das informações disponíveis.

Análise Operacional e Ganhos Identificados

A aplicação do sistema desenvolvido na Plasticado S.A. resultou em melhorias significativas na previsibilidade, eficiência operacional e confiabilidade das análises produtivas. Com o uso do protótipo, foi possível realizar uma leitura precisa da capacidade efetiva das máquinas injetoras, permitindo ao setor de Planejamento e Controle da Produção redistribuir as ordens de fabricação de forma mais equilibrada entre os equipamentos disponíveis.

Essa redistribuição resultou em redução expressiva dos tempos de setup, diminuição de trocas desnecessárias de moldes e melhor aproveitamento da capacidade instalada, o que contribuiu diretamente para o aumento da produtividade e para a uniformização do ritmo de produção.

O layout fabril (Figura 5 – Layout da Fábrica Plasticado S.A.) teve papel essencial na etapa de correlação entre dados físicos e computacionais. A disposição das injetoras no ambiente de produção foi integrada ao sistema, possibilitando o cruzamento automático de informações como posição física dos equipamentos, tempo de ciclo, volume de produção e índices de ocupação.

Do ponto de vista operacional, o sistema permitiu a detecção precoce de sobrecargas e subutilizações, fornecendo aos gestores dados concretos para o balanceamento das células de produção. Essa abordagem está em consonância com os princípios da manufatura enxuta (Lean Manufacturing), que busca eliminar desperdícios, otimizar recursos e aumentar o valor agregado ao produto final.

Além dos ganhos diretos na eficiência, observou-se uma evolução qualitativa na gestão da informação. O sistema passou a centralizar os dados de produção, reduzindo falhas de comunicação entre setores e garantindo maior transparência e rastreabilidade nas decisões do PCP. Com isso, o processo decisório tornou-se mais ágil, embasado em dados atualizados e de fácil interpretação.

Conclusão

A integração entre modelagem UML e desenvolvimento em C++ demonstrou ser uma solução eficaz e escalável para o controle e planejamento da produção industrial. O sistema desenvolvido promoveu maior visibilidade dos processos, agilidade no cálculo de disponibilidade e padronização das informações operacionais.

Ao consolidar dados de produção, manutenção e disponibilidade, a ferramenta contribui para a melhoria da gestão e a redução de gargalos. Essa abordagem demonstra que a aplicação de conceitos da engenharia de software à engenharia de produção é uma estratégia promissora para enfrentar os desafios da Indústria 4.0.

Além de reduzir o esforço manual e eliminar subjetividades, o sistema fornece uma base sólida para análises preditivas, automação e otimização contínua dos processos fabris.

Perspectivas Futuras

Para continuidade e expansão do estudo, recomenda-se:

- Integrar o sistema a sensores IoT e CLPs, viabilizando coleta automática e contínua de dados;
- Incluir indicadores complementares como custos energéticos, índices de refugo e paradas por qualidade;

- Desenvolver interfaces gráficas e dashboards para visualização interativa dos resultados;
- Incorporar inteligência artificial para previsão de falhas e otimização dinâmica do sequenciamento;
- Validar o sistema em ambiente industrial real, avaliando sua robustez sob condições de variabilidade produtiva.

A evolução deste projeto poderá resultar em uma plataforma completa de apoio à decisão, transformando o PCP em um núcleo inteligente de gestão industrial, alinhado às demandas tecnológicas e competitivas da manufatura digital contemporânea.

Referências

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. *Administração da Produção*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. *Administração da Produção*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

TUBINO, Dalvio Ferrari. *Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática*. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

NAKAJIMA, Seiichi. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Cambridge: Productivity Press, 1988.

MUCHIRI, Peter; PINTELON, Liliane. Performance measurement using Overall Equipment Effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion. *International Journal of Production Research*, v. 46, n. 13, p. 3517-3535, 2008.

TSAROUHAS, Pais. Overall Equipment Effectiveness (OEE) evaluation for an automated ice cream production line: A case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, v. 68, n. 1, p. 88-108, 2019.

CARVALHO, Marcelo A.; LIMA, Pedro R. Indicadores de desempenho na manufatura: análise da disponibilidade operacional de máquinas industriais. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 39, n. 4, p. 213-229, 2020.

MOURA, Daniel F.; SANTOS, André; PEREIRA, Gabriel. Modelagem computacional aplicada à gestão de recursos produtivos. *Produção Online*, v. 22, n. 3, p. 1047-1068, 2022.

OLIVEIRA, Carlos S.; MENDES, Luís R. Eficiência e disponibilidade em sistemas de injeção plástica: um estudo aplicado. *Revista de Gestão Industrial*, v. 15, n. 1, p. 57-74, 2019.

CARVALHO, A. L.; LIMA, E. S. Perdas de eficiência em ambientes industriais: análise de causas e impactos. *Revista Brasileira de Engenharia de Produção*, v. 40, n. 2, p. 123-135, 2020.

HERRMANN, J.-P.; TACKENBERG, S.; GAMBER, T.; PADOANO, E. Approaches of production planning and control under industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management*, v. 14, n. 2, p. 1-19, 2021.

MABERT, V. A.; SAUERS, D. A. The early road to material requirements planning. *Journal of Operations Management*, v. 25, n. 1, p. 1-18, 2007.

MUCHIRI, M. W.; PINTELON, L. Performance measurement using Overall Equipment Effectiveness (OEE): literature review and practical applications. *International Journal of Production Research*, v. 46, n. 13, p. 3517-3535, 2008.

NAKAJIMA, S. *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Cambridge: Productivity Press, 1988.

ORLICKY, J. *Material Requirements Planning: The New Way of Life in Production and Inventory Management*. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1975.

TAYLOR, F. W. *The Principles of Scientific Management*. New York: Harper & Brothers, 1911.