

# Projeto de automatização do processo de produção de comidas em rede de fast-food a partir de um sistema a eventos discretos

Danilo Patah Dacca, Pedro Bianco de Aquino, Vítor Aun Kassab

**Resumo** – O projeto de automação proposto visa aprimorar a eficiência da produção em um ambiente de fast-food, especificamente na fabricação de hambúrgueres, batatas fritas e nuggets. Utilizando a metodologia de Sistemas a Eventos Discretos (SED), a abordagem emprega uma arquitetura física que incorpora dispositivos de detecção, monitoramento, comando e atuação, todos conectados a um Controlador Lógico Programável (CLP). A norma IEC 61131-3 guia a programação dos CLPs, empregando a linguagem Ladder Diagram (LD) para traduzir os modelos de Rede de Petri para a lógica de controle do sistema. A modelagem do comportamento do sistema é realizada por meio da metodologia Production Flow Schema (PFS) e Redes de Petri, proporcionando uma representação visual clara dos subprocessos, incluindo a produção de cada item e os intertravamentos necessários. A validação do controle é executada por simulações utilizando o software PIPE 4.3, permitindo ajustes antes da conversão para LD. Os resultados esperados abrangem uma melhoria substancial na eficiência operacional. A automação busca garantir consistência na qualidade do produto, redução de erros e aumento da capacidade produtiva. Ao minimizar a intervenção humana, o sistema também pretende otimizar a produção, proporcionando benefícios tanto para a empresa quanto para a experiência do cliente. O desenvolvimento do projeto segue uma metodologia de cinco etapas, que englobam desde a definição da arquitetura física até o comissionamento das Entradas/Saídas no sistema real. A transcrição da Rede de Petri para a linguagem de programação é realizada por meio do isomorfismo, facilitando a implementação prática do controle. Em síntese, a integração de SED, metodologia PFS, modelagem de redes de Petri e programação conforme a norma IEC 61131-3 oferece uma abordagem robusta para o desenvolvimento de sistemas de automação complexos, proporcionando melhorias significativas na eficiência e na qualidade da produção em um ambiente de fast-food.

**Palavras-chave** – Automação; Automatização; Sistema de controle; Rede de Petri; Fast-food.

## 1 Introdução

A crescente demanda por eficiência operacional e consistência na qualidade do produto impulsiona o setor de fast-food a buscar constantemente inovações e otimizações em seus processos de produção. Nesse contexto, o presente relatório apresenta um projeto abrangente de automação para a linha de produção de um fast-food, visando aprimorar a eficiência na fabricação de hambúrgueres, batatas fritas e nuggets.

A automação industrial tem desempenhado um papel fundamental na transformação de processos tradicionais, promovendo ganhos expressivos em termos de velocidade, precisão e consistência na produção. Este projeto utiliza a metodologia de Sistemas a Eventos Discretos (SED) como base para sua abordagem, integrando uma arquitetura física inovadora composta por dispositivos de detecção, monitoramento, comando e atuação.

A modelagem do comportamento do sistema será realizada por meio da metodologia PFS e redes de Petri, proporcionando uma representação visual clara dos subprocessos envolvidos na produção de cada item. Essa abordagem permite uma compreensão detalhada das interações entre os

diferentes componentes do sistema, otimizando a eficiência operacional e reduzindo potenciais erros.

O presente relatório detalha cada etapa do projeto, destacando os resultados alcançados, com o objetivo de esclarecer de maneira prática as metodologias utilizadas para a modelagem da automação de um sistema a eventos discretos.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 O conceito de Sistema a Eventos Discretos

Sistema a Eventos Discretos (SED) é um conceito utilizado em engenharia de controle e automação para modelar e analisar sistemas dinâmicos nos quais as mudanças ocorrem em instantes específicos e não de forma contínua ao longo do tempo. Em vez de lidar com variáveis contínuas, como em sistemas dinâmicos contínuos, os SEDs tratam de eventos discretos, ou seja, mudanças que ocorrem em momentos distintos e bem definidos.

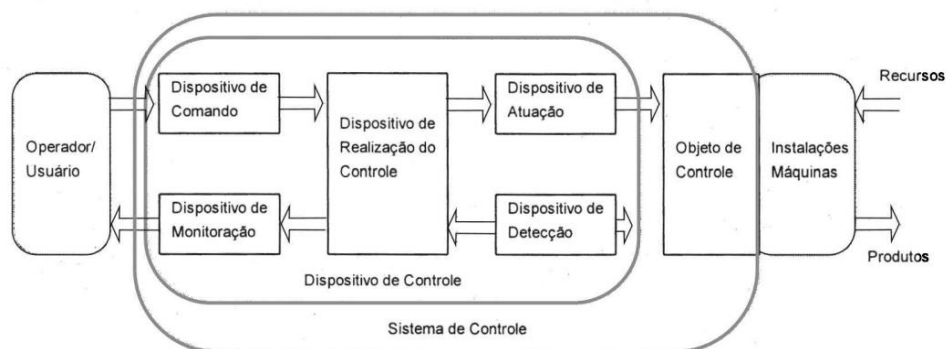
A abordagem de SED é comumente empregada para modelar sistemas que envolvem processos de produção, comunicação, transporte, sistemas de computadores, e muitos outros. Esses sistemas são caracterizados por eventos que disparam mudanças no estado do sistema, e essas mudanças são significativas apenas no momento do evento.

### 2.2 Modelo estrutural adotado

O sistema integral consiste na interação entre o objeto de controle e o dispositivo de controle, que estão interligados pelo atuador. Este último recebe instruções do dispositivo de controle e efetua ações no objeto de controle. Além disso, há o detector, que realiza medições do estado do objeto de controle e fornece dados de entrada para o controlador.

Na figura abaixo, é mostrado o sistema de controle para um sistema a eventos discretos, com uma estruturação padrão que será utilizada no presente projeto.

Figura 1 - Diagrama conceitual básico do sistema de controle de SED.



Fonte: MIYAGI, 1996

Observa-se a divisão em diversos dispositivos dentro do sistema de controle, que juntos compõem o dispositivo geral de controle.

Os dispositivos de detecção são utilizados para detectar alguma interferência ou apenas detectar partes do processo da automação, como por exemplo detectar que o freio de mão está puxado em um carro. Já os dispositivos de monitoração referem-se aos elementos que fornecem informações sobre o estado e o desempenho do sistema controlado (como luzes e sinais sonoros). Por sua vez, os dispositivos de comando são responsáveis por emitir instruções ou comandos para os atuadores (como botoeiras e chaves). Por fim, temos os dispositivos de atuação que realizam algum movimento mecânico (intuitivamente, dispositivos que atuam diretamente no sistema).

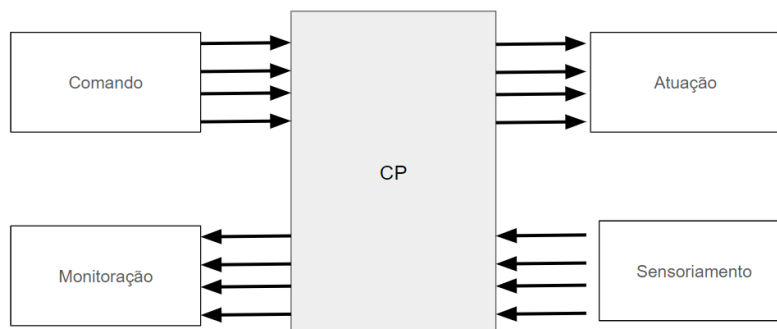
Interagindo com cada um desses dispositivos, temos o dispositivo de realização do controle (que é justamente o famoso CLP - Controlador Lógico Programável). Nesse cenário, é composto o

dispositivo de controle do sistema, mas ainda existem componentes que agregam na visão macroscópica do processo. Ao introduzir uma interação de tal dispositivo, com o objeto de controle, passa a ser composto o sistema de controle. Tal objeto seria o processo ou sistema físico que está sendo monitorado e que se deseja ser feito o controle

Além disso, também existe a interação com um operário/usuário, que recebe informações provenientes dos dispositivos de monitoração e também interage com os dispositivos de comando (por exemplo, apertando botões ou acionando chaves). Como fim e começo do processo, temos as máquinas que recebem recursos e retornam produtos.

Como documentação do modelo estrutural da arquitetura física do dispositivo de controle, teremos mais adiante, na aplicação do projeto.

Figura 2 - Documentação do modelo estrutural da arquitetura.



Seguindo o diagrama conceitual básico do sistema de controle de SED visto mais acima, serão documentadas todas as interações entre os dispositivos de controle e o controlador programável (CP), da forma exemplificada acima.

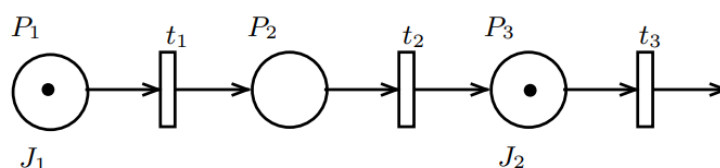
### 2.3 Modelo estrutural adotado

Nesse cenário, torna-se necessário representar o processo em questão de uma forma clara e objetiva, contemplando todos os detalhes dos dispositivos descritos acima. Diante disso, será utilizado o modelo de rede de Petri como forma de sistematizar os processos de forma minuciosa e precisa.

Resumidamente, uma rede de Petri tem alguns elementos básicos que devem ser entendidos para que uma rede se torne compreensível: os lugares (representados por círculos) correspondem a uma condição, estado e/ou procedimento de um processo; as transições (representadas por barras) referem-se a eventos, posicionadas entre lugares, que ao serem disparadas, tem como sequência a mudança de estado para o próximo lugar do sistema; e as fichas (representada por um pequeno círculo preto dentro dos lugares) que indicam a verificação de uma condição (por exemplo, indica em qual estado a peça na linha de produção se encontra, ou se um recurso compartilhado está disponível para ser utilizado).

A Figura 3 ilustra um exemplo visual de como uma rede de Petri é representada, abrangendo os elementos básicos descritos anteriormente.

Figura 3 - Exemplo de sequência de processos representado por uma rede de Petri.



A partir disso, também é preciso entender como a rede de Petri é criada, desde o processo físico até a sistematização integral. Para isso, é utilizada a metodologia PFS (Production Flow Schema), rede de alto nível que descreve graficamente e conceitualmente os processos, sequencialmente e tem como produto final a rede de Petri inteira formada e detalhada.

A metodologia é organizada em cinco etapas distintas, cada uma desempenhando um papel específico na abordagem do processo em questão.

A primeira é a representação dos processos em PFS. Nesta etapa, é necessário transformar cada processo em uma representação do modelo, como será visto mais adiante na parte de aplicação. Além disso, é necessário ser o mais abrangente possível, a depender dos requisitos e do processo em si, e ir especificando à medida que for avançando.

Por conseguinte, é necessário fazer o detalhamento dos processos em atividades, nomeado e definindo as atividades no processo. O nome dado a cada atividade é colocado já em uma rede prévia, sempre sendo antecedida e sucedida por um elemento distribuidor. Assim como na rede de Petri, na metodologia de Petri, também temos arcos (setas), representando o fluxo do processo.

Na terceira etapa, já há a conversão da primeira rede em uma de Petri. Nesse caso, há o detalhamento das atividades, introduzindo os elementos da rede de Petri. Para tanto, cada uma das atividades em PFS vira uma sequência composta por: transição, lugar, transição. Dessa maneira, a rede de Petri já começa a tomar forma.

No quarto passo, há a introdução dos elementos de controle de recurso para compartilhamento. Processos em que existem atividades ou recursos compartilhados, devem tê-los indicados em sua rede, e é neste passo que isso ocorre.

Por fim, a representação do fluxo de dados com o ambiente externo deve ser realizada. Nessa fase, é crucial definir as entradas e saídas para nomear os lugares e transições na rede final. As entradas são associadas às transições, enquanto as saídas estão vinculadas aos lugares. O propósito dessa etapa é caracterizar e especificar a função dos elementos presentes na rede.

Com isso, seguindo a metodologia do Production Flow Schema, a rede de Petri estará formada, apenas faltando inserir os intertravamentos em cada parte do processo, de acordo com as peculiaridades de cada sistema.

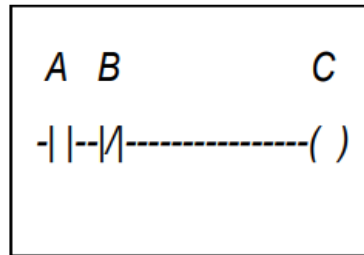
#### 2.4 A norma IEC 61131-3 para programação

A IEC 61131-3 é uma norma internacional que define um conjunto de linguagens de programação para controladores lógicos programáveis (CLPs) e sistemas de automação industrial. A norma pode ser dividida em duas partes.

A primeira, diz respeito aos elementos comuns. Dentro destes, existem: tipagem de dados, que previne erros de modo que, ao especificar o tipo do dado, a mistura entre tipos não interativos (como dividir uma data por um número inteiro) possa ser evitada; outro elemento são as variáveis, que são associadas à endereços como saídas e entradas do hardware, podendo assumir um valor inicial na partida, e que variam de acordo com o decorrer do processo; a configuração é a solução de controle específica de um sistema abrangendo a disposição do hardware, linguagens de programação; os recursos incluem aspectos como endereçamento de memória para I/O e são definidos dentro da configuração; as tarefas são quem controlam a execução do programa, e são executadas periodicamente ou como resposta de eventos específicos; unidades de organização de programas e o Sequência Gráfico de Funções, SFC, que apresenta graficamente a sequência de eventos que compõe o programa de controle.

A segunda parte refere-se às linguagens de programação. Existem quatro principais linguagens definidas pela norma: Lista de Instruções (IL), Texto Estruturado (ST) - linguagens textuais - e Diagrama Ladder (LD) e Diagrama de Blocos Funcionais (FBD) - linguagens gráficas.

Figura 4 - Exemplificação da linguagem LD.

**Ladder Diagram (LD)**

Fonte: IEC 61131-3.

No caso deste trabalho, será aprofundada o Ladder, como forma de converter a rede de Petri em uma linguagem entendida pelos Controladores Lógico Programáveis. É baseada na Lógica de Relés, utilizando símbolos como contatos e bobinas (atribuídas variáveis lógicas) para representar a lógica de controle. Além disso, o processamento ocorre de cima para baixo e flui da esquerda para a direita.

### 2.5 Transcrição RdP para linguagem de programação

Nesse cenário, é necessário converter o modelo RdP (Rede de Petri) para LD (Ladder) utilizando um método específico e sistemático, de modo a minimizar erros. Tal conversão é feita com base em uma série de etapas que serão descritas a seguir. Entretanto, vale ressaltar que a conversão oposta (de LD para RdP) é impossível.

O método utilizado neste trabalho será o Isomorfismo. O primeiro passo é atribuir variáveis internas para as transições, nomeando-as. Em seguida, é necessário fazer o passo análogo para os lugares. O terceiro passo é associar os eventos internos às variáveis de saída de monitoramento e atuação e em quarto lugar associar os eventos externos às variáveis de entrada de comando e sensoriamento.

Até então, como foi possível ver, apenas houve a criação do nome das variáveis e associação com os eventos. Agora, é necessário começar a criar o código LD. Para tanto, cada uma das transições deve ter seu LD gerado, utilizando um rung para cada transição, em que cada um deles deve haver uma operação AND entre as pré-condições de tal transição e as condições de restrição adicionais.

Na sequência, é necessário fazer o mesmo para cada mudança de estado local dos lugares. Para realizá-la, é necessário seguir duas etapas distintas. Inicialmente, é essencial configurar a marcação inicial, garantindo que nenhum lugar esteja marcado. Depois, procede-se à aplicação de comandos de set/reset para efetuar a atualização da marcação de cada lugar conforme as condições e requisitos específicos do sistema em questão.

Por fim, concluímos com a geração do LD correspondente aos eventos externos. Isso inclui a ativação das saídas, sendo crucial utilizar bobinas normais sem memória. Essa escolha se justifica pelo fato de que os estados locais permanecem setados até que ocorra alguma transição de estado.

### 2.6 Metodologia de Projeto

Dessa maneira, foi possível ver com os últimos tópicos, que existem muitas etapas desde a definição do objeto de controle e processo a ser estudado, até obter a estruturação em RdP e conversão para o Ladder Diagram.

Por conta disso, foi definida uma metodologia de projeto para ser adotada e seguida sistematicamente, utilizando toda a teoria abordada anteriormente. Neste projeto, será utilizado um procedimento composto por cinco etapas.

A primeira, se baseia na seção 2.2 e necessita de uma definição da arquitetura física, seguindo o modelo estrutural já apresentado.

Em segundo lugar, é necessário fazer a modelagem do comportamento do sistema, utilizando

a metodologia PFS, introduzindo os intertravamentos de processo (que é exatamente o que se obtém quando a RdP é feita), partida (setup do estado inicial do sistema) e funcionamento (identificação de situações que podem colocar o sistema em risco. Todos esses intertravamentos se classificam como sistêmicos, correspondentes à natureza do processo em questão e que são especificados ao utilizar os primitivos (aplicados como regras básicas e já apresentados na rede).

Na sequência, há o comissionamento do modelo de controle por meio da simulação no software PIPE 4.3. Para isso, basta fazer a rede obtida no passo anterior no programa e validá-lo por meio de sua simulação.

Já, na quarta etapa, há a aplicação do isomorfismo explicado anteriormente, passando para LD, utilizando a conversão sistemática. Por fim, é necessário fazer o comissionamento das I/Os, verificando a ativação das entradas e saídas físicas no sistema real, assim testando todas as saídas e todos os sensores.

### 3 Aplicação de Automação Mecatrônica

#### 3.1 O conceito de Sistema a Eventos Discretos

O projeto em questão tem como objetivo a modelagem de um sistema para a automatização da linha de produção de um fast-food. Para isso, foram montados sistemas para a produção de três diferentes produtos para o restaurante: hambúrgueres, batatas fritas e nuggets.

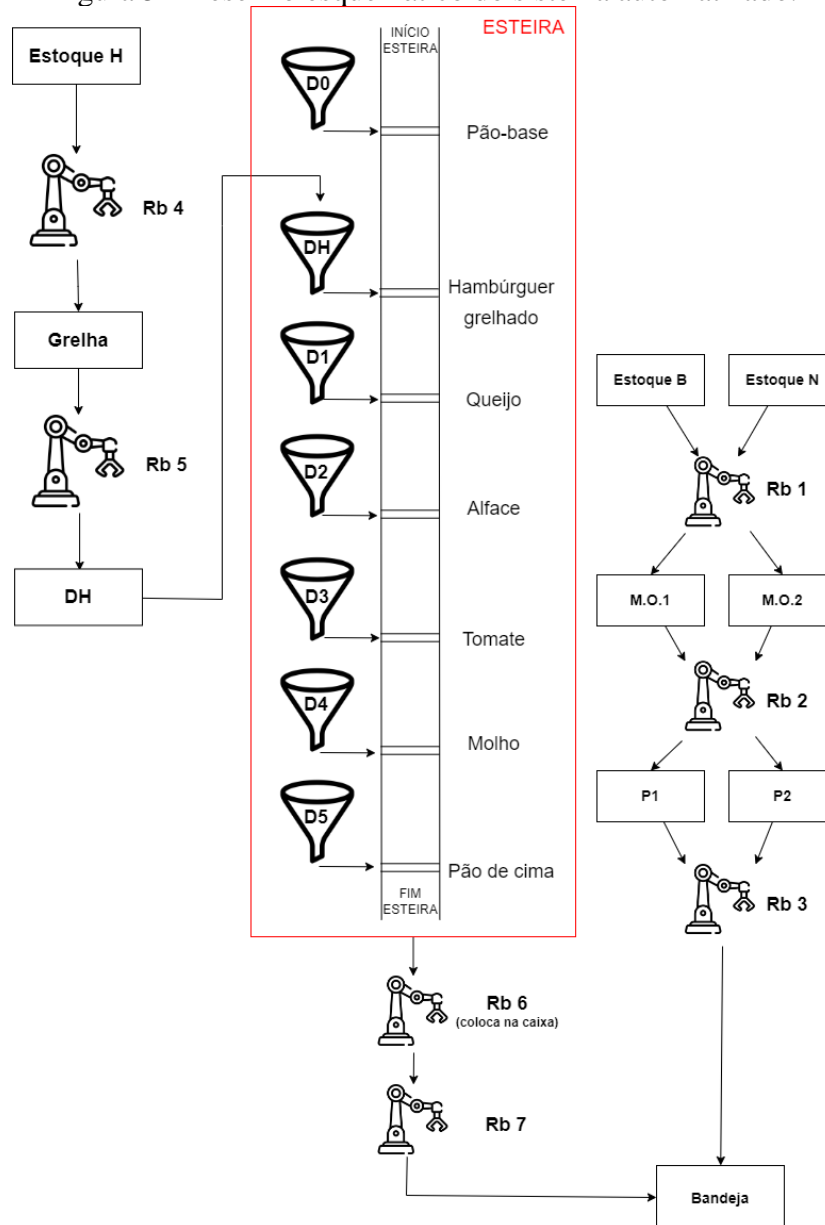
A produção de hambúrgueres foi dividida em dois principais processos, sendo eles a grelhagem das carnes e a montagem dos lanches. Para a grelhagem, haverá um estoque com as carnes cruas (Estoque H), que serão transportadas para a grelha por meio da atuação de um robô (Rb4). Após grelhadas, as carnes irão, também de maneira automatizada (Rb5), para um buffer que será utilizado na montagem dos lanches (DH).

Para a parte da montagem, haverá uma esteira com passo temporizado. Essa esteira será responsável pelo posicionamento do lanche para que se adicione, por meio de dispensers, cada ingrediente desejado pelo cliente. Assim, começando pela adição do pão-base do lanche na esteira (D0), após seu primeiro passo, um dispenser posiciona uma carne (DH), então armazenada no buffer, sobre o pão base. Em seguida, após o próximo passo da esteira, outro dispenser será responsável pela adição do queijo (D1), por exemplo, e assim seguirá a montagem do lanche para quantos ingredientes forem necessários (D2, D3, D4, D5). Após a adição de todos os ingredientes pedidos pelo cliente, o lanche já montado é levado para uma estação de embalagem automatizada (Rb6). Depois de embalado, um robô será responsável por transportar o lanche para a bandeja que será servida ao consumidor (Rb7).

Já para a produção de batatas fritas, haverá um estoque com batatas congeladas (Estoque B), que de modo automatizado, serão transportadas (Rb1) para a uma máquina responsável por fritá-las de maneira temporizada (MO1). Em seguida, essas batatas, por meio da atuação de outro robô (Rb2) serão depositadas em um porcionador, que também servirá como um buffer para batatas já fritas (POR1). Esse porcionador será acionado cada vez que for realizado um novo pedido por um cliente, fazendo com que seja acionada uma válvula que permite a passagem de uma quantidade pré-determinada de batatas para a embalagem. Por último, um robô será responsável por transportar a embalagem para a bandeja que será servida ao consumidor (Rb3).

A produção de nuggets ocorrerá de maneira análoga à batata. Os robôs serão compartilhados para os dois processos. No entanto, os nuggets possuirão um estoque próprio (Estoque N), bem como uma máquina para fritura (MO2) e um porcionador (POR2).

Figura 5 - Desenho esquemático do sistema automatizado.



Fonte: Autor.

### 3.2 Modelo estrutural do sistema

O modelo estrutural do sistema segue a metodologia apresentada no tópico 2 do presente trabalho. Primeiramente, são definidos todos os dispositivos, correspondentes a cada uma das partes do processo (dispositivos de sensoriamento, monitoramento, de comando e de atuação).

#### A Dispositivos de sensoriamento

Primeiramente, para os de sensoriamento, foi levado em consideração todos os sensores a serem utilizados em posições estratégicas do processo, visando identificar a presença ou não de componentes, como é possível ver nas seguintes tabelas.

Tabela 1 - Sensores para os processos de produção de hambúrgueres.

Nome sensor	Função	Nome sensor	Função
EH	Estoque H tem hambúrguer	SDH	DH cheio
SEH	Estoque de embalagens não-vazias no Rb6	SD0	D0 vazio
SD1	D1 vazio	SD2	D2 vazio
SD3	D3 vazio	SD4	D4 vazio
SD5	D5 vazio		

Tabela 2 - Sensores para o processo de produção de batatas.

Nome sensor	Função	Nome sensor	Função
SEB	Estoque B tem batata	SP1	POR1 vazio
SEP1	estoque de embalagens não-vazio no POR1	SPEDB	Pedido com batata

Tabela 3 - Sensores para o processo de produção de nuggets.

Nome sensor	Função	Nome sensor	Função
SEN	Estoque B tem nuggets	SEP2	Estoque de embalagens não-vazio no POR2
SP2	POR2 vazio		



Depois, definem-se os dispositivos de monitoramento, visando sinalizar partes do processo que merecem uma atenção especial, como o status dos dispenser, ou do pedido pronto.

Tabela 4 - Dispositivos de monitoração do processo de produção do hambúrguer.

Nome monitor	Função	Nome monitor	Função
EHV	Estoque H vazio	DHV	DH cheio
SD0	D0 vazio	SD1	D1 vazio
SD2	D2 vazio	SD3	D3 vazio
SD4	D4 vazio	SD5	D5 vazio
HP	No fim de D5: hambúrguer pronto		

Tabela 5 - Dispositivos de monitoração para os processos de produção de batatas.

Nome comando	Função
EHB	Estoque B vazio
EEBV	Estoque de embalagem para batatas no POR1 vazio

Tabela 6 - Dispositivos de monitoração para os processos de produção de nuggets

Nome comando	Função
EHN	Estoque N vazio
EENV	Estoque de embalagem para nuggets no POR2 vazio

### C Dispositivos de atuação

Em seguida, privilegiou-se pensar antes nos dispositivos de atuação. Nesse caso, foram aglomeradas em tabelas as funções que dizem respeito a movimentos mecânicos e intervenções diretas e físicas no sistema.

Tabela 7 - Dispositivos de atuação para os processos de produção de hambúrgueres.

Nome atuador	Função	Nome atuador	Função
Rb4	Leva de estoque H à grelha	G	Grelha Hambúrguer

Rb5	Leva hambúrguer grelhado ao DH	D0	Dispensa pão-base na esteira
DH	Dispensa H grelhado	D1	Dispensa queijo
D2	Dispensa alface	D3	Dispensa tomate
D4	Dispensa molho	D5	Dispensa pão-cima
Rb6	Coloca hambúrguer pronto na caixa	Rb7	Leva caixa com o lanche hambúrguer pronto para a bandeja

Tabela 8 - Dispositivos de atuação para os processos de produção de batatas e nuggets.

Nome atuador	Função	Nome atuador	Função
Rb1	Leva batata/nuggets para MO1/MO2	MO1	Frita batatas
Rb2	Leva batata/nuggets fritos para respectivos porcionadores POR1/POR2	MO2	Frita nuggets
Rb3	Leva pacote de batata/nuggets porcionado para bandeja		

#### D Dispositivos de comando

Por fim, para os dispositivos de comando, foram pensadas todas as funções que entram no sistema emitindo informações de como agir.

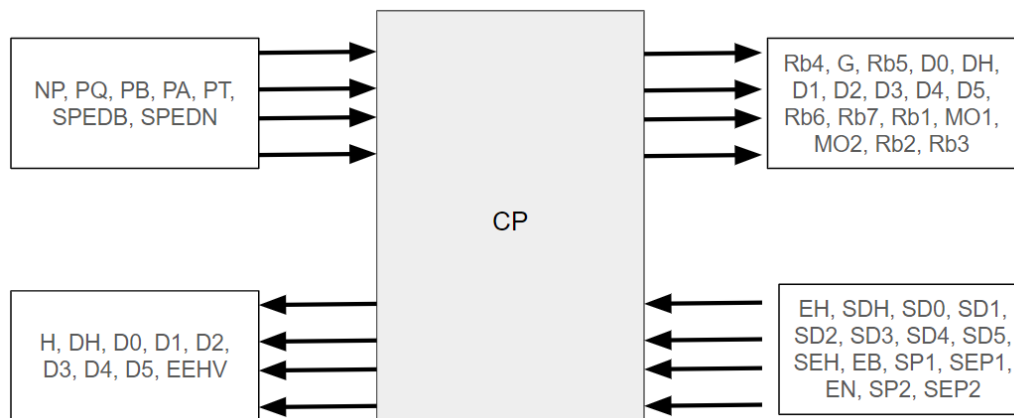
Tabela 9 - Dispositivos de comando para os processos de produção de hambúrguer.

Nome comando	Função	Nome comando	Função
NP	Novo pedido de hambúrguer	PQ	Pedido de hambúrguer com queijo
PB	Pedido de hambúrguer com bacon	PA	Pedido de hambúrguer com alface
PT	Pedido de hambúrguer com tomate		

Tabela 10 - Dispositivos de comando para os processos de produção de batatas e nuggets.

Nome comando	Função
SPEDB	Pedido com batata
SPEDN	Pedido com nuggets

Figura 6 - Modelo estrutural da arquitetura do sistema



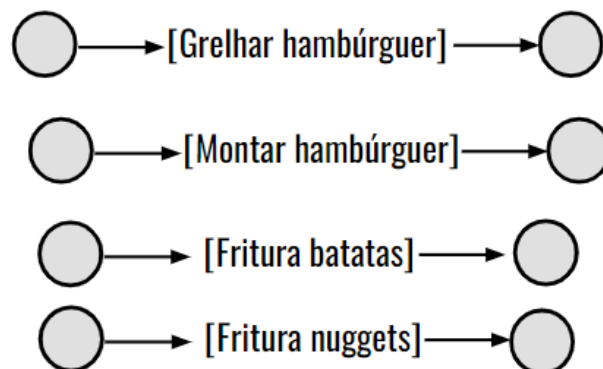
Fonte: Autor.

### 3.3 Aplicação da metodologia de modelagem

Nessa etapa, será transformada todo o processo em uma rede de Petri, utilizando a metodologia PFS, já explicada anteriormente.

O primeiro passo, que consiste na representação dos processos foi feito da seguinte forma:

Figura 7 - Representação dos processos.



Fonte: Autor.

Como é visto acima, o processo que primordialmente seria o de preparar frituras e o lanche de uma rede de fast-food, pôde ser dividido em outros 4 subprocessos. Isso foi feito, uma vez que,

desmembrando o sistema em setores de produção, a conversão para RdP e consequentemente para LD, se torna muito mais dinâmica, também podendo diminuir a complexidade geral do processo.

Dada a divisão feita, a continuidade da metodologia se dividiu em 4: um para cada subprocesso.

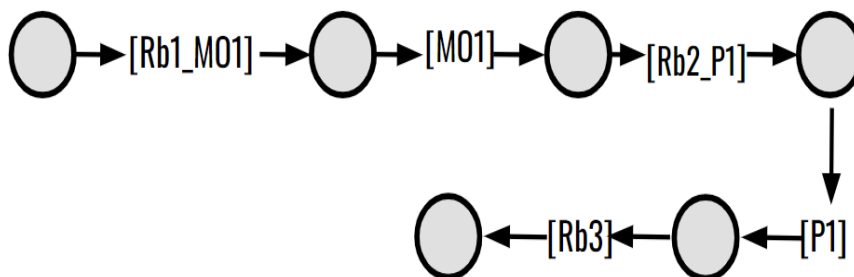
#### A Metodologia PFS para a produção de batata

No detalhamento de processos para tal subprocesso, foi possível obter:

1. Robô 1 realiza movimento batata estoque-óleo [Rb1\_MO1];
2. Fritura da batata na máquina 1 [MO1];
3. Robô 2 realiza movimento batata óleo-porcionador 1 [Rb2\_P1];
4. Porcionador 1, mede a quantidade de batata e posiciona na embalagem [POR1];
5. Robô 3 pega embalagens dos porcionadores e coloca nas bandejas [Rb3\_B].

Além disso, depois de nomear os processos, foi necessário colocá-los em sequência cronológica.

Figura 8 - Detalhamento de processos em atividades da produção de batata.



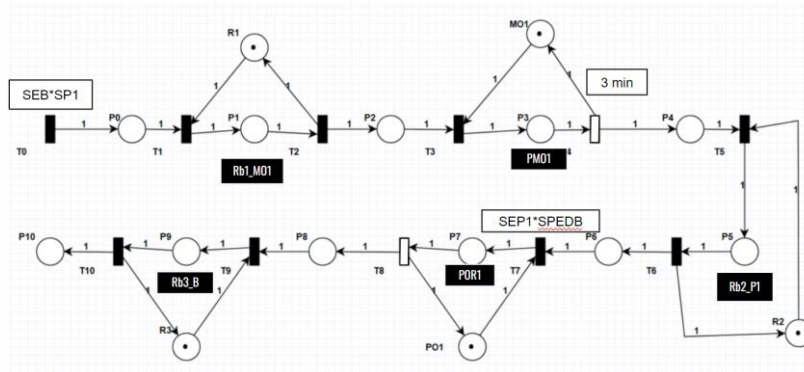
Fonte: Autor.

No terceiro passo, foram introduzidos os elementos RdP, transformando cada texto em colchetes do PFS (chamados de elemento atividade), em uma sequência de transição, lugar e transição novamente. Após isso, foi obtida a seguinte tabela com a nomeação das entradas e saídas, além da Rede de Petri final.

Tabela 11 - Entradas e saídas da produção de batata

Entradas		Saídas	
Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
SEB	Estoque de batata congelada não-vazio	Rb1_MO1	Robô 1 realiza movimento batata estoque-óleo
SP1	Porção de batata acabando	PMO1	Fritura da batata na máquina 1
SPEDB	Pedido com batata	Rb2_P1	Robô 2 realiza movimento batata óleo-porcionador 1
SEP1	Estoque de embalagens não-vazio no POR1	POR1	Porcionador 1, mede a quantidade de batata e posiciona na embalagem
		Rb3_B	Robô 3 pega embalagens dos

Figura 9 - Rede de Petri para a produção de batata.



Fonte: Autor.

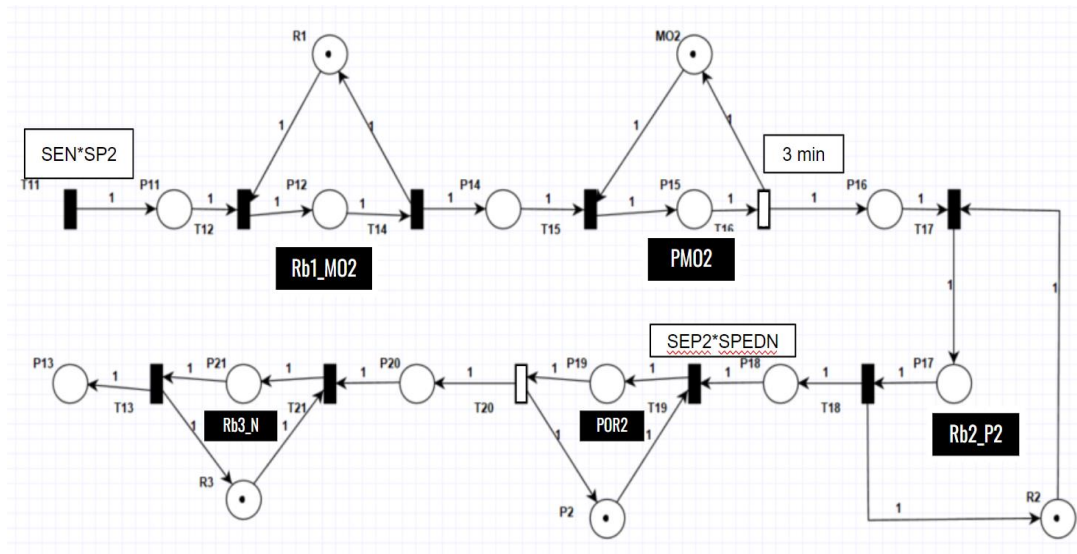
*B Metodologia PFS para a produção de nuggets*

Analogamente ao processo das batatas, chegamos na seguinte rede de petri com as seguintes entradas e saídas:

Tabela 12 - Entradas e saídas para a produção de nuggets.

Entradas		Saídas	
Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
SEN	Estoque de nuggets congelado não-vazio	Rb1_MO2	Robô 1 realiza movimento nuggets estoque-óleo
SP2	Porção de nuggets acabando	PMO2	Fritura da batata na máquina 2
SPEDN	Pedido com nuggets	Rb2_P2	Robô 2 realiza movimento nuggets óleo-porcionador 2
SEP2	Estoque de embalagens não-vazio no POR2	POR2	Porcionador 2, mede a quantidade de nuggets e posiciona na embalagem
		Rb3_N	Robô 3 pega embalagens dos porcionadores e coloca nas bandejas

Figura 10 - Rede de Petri para a produção de nuggets.



Fonte: Autor.

C Metodologia PFS para a grelha dos hambúrgueres

No detalhamento dos processos para tal subprocesso, foi possível obter:

1. Robô 4 realiza o movimento estoque-grelha [Rb4];
2. Hambúrguer é grelhado na grelha [G];
3. Robô 5 realiza o movimento grelha-buffer [Rb5].

Além disso, depois de nomear os processos, foi necessário colocá-los em sequência cronológica.

Figura 11 - Detalhamento de processos em atividades da grelhagem dos hambúrgueres.



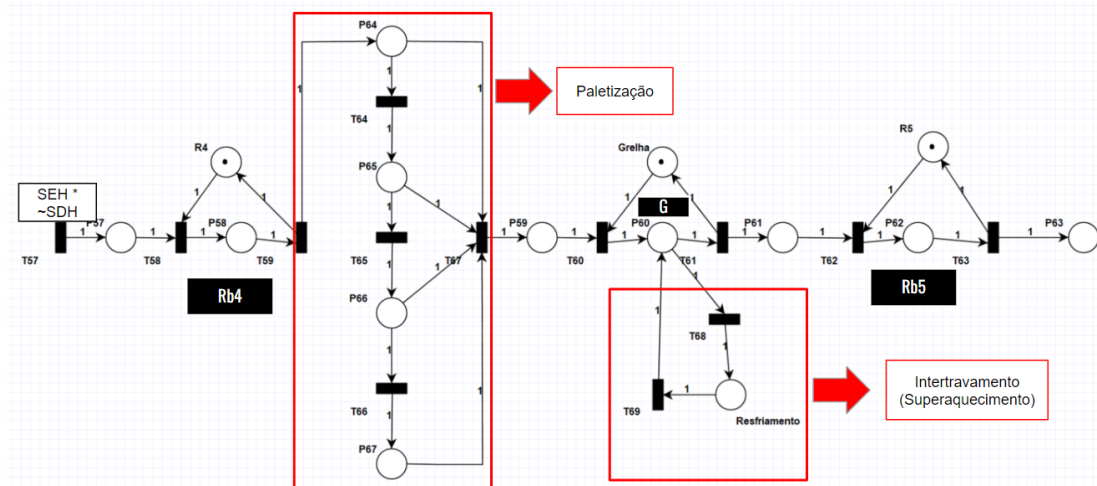
Fonte: Autor.

Após conclusão do PFS, foi obtida a seguinte rede de petri com as seguintes entradas e saídas:

Tabela 13 - Entradas e saídas da grelhagem de hambúrgueres

Entradas		Saídas	
Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
SEH	Estoque de hambúrguer não-vazio	Rb4	Robô 4 realiza movimento estoque-grelha
SDH	Dispenser/buffer de hambúrguer cheio	G	Hambúrguer é grelhado

Figura 12 - Rede de Petri para a grelha de hambúrgueres.



Fonte: Autor.

Vê-se acima todo o processo da grelha de hambúrgueres. Vale destacar dois pontos importantes: o primeiro é a paletização (primeiro bloco vermelho) e o segundo é o intertravamento de funcionamento para superaquecimento da grelha (que será explicado mais a frente). Para as grelhas, foi considerada uma paletização, de modo que comece a ser grelhado simultaneamente quatro hambúrgueres.

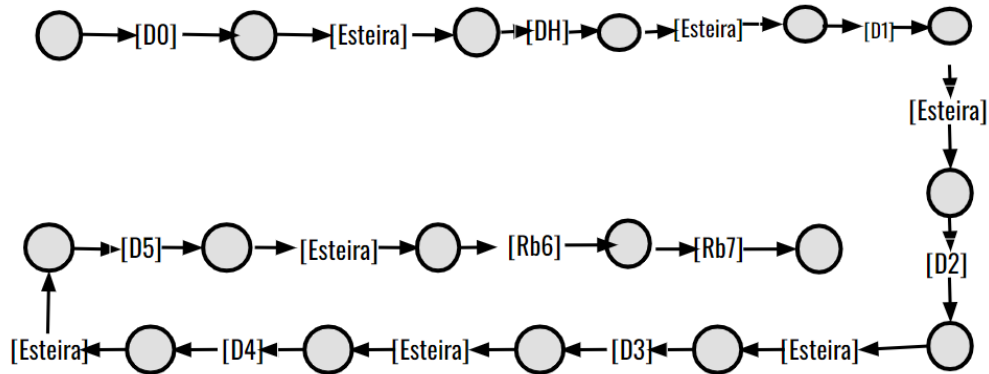
#### D Metodologia PFS para a montagem dos hambúrgueres

No detalhamento dos processos para tal subprocesso, foi possível obter:

1. D0 deposita pão base [D0];
2. Esteira avança [Esteira];
3. DH deposita carne [DH];
4. D1 deposita queijo [D1];
5. D2 deposita alface [D2];
6. D3 deposita tomate [D3];
7. D4 deposita molho [D4];
8. D5 deposita pão de cima [D5];
9. Robô 6 coloca o hambúrguer na caixa [Rb6];
10. Robô 7 pega a caixa do lanche e leva até a bandeja [Rb7].

Além disso, depois de nomear os processos, foi necessário colocá-los em sequência cronológica.

Figura 13 - Detalhamento de processos em atividades da montagem dos hambúrgueres



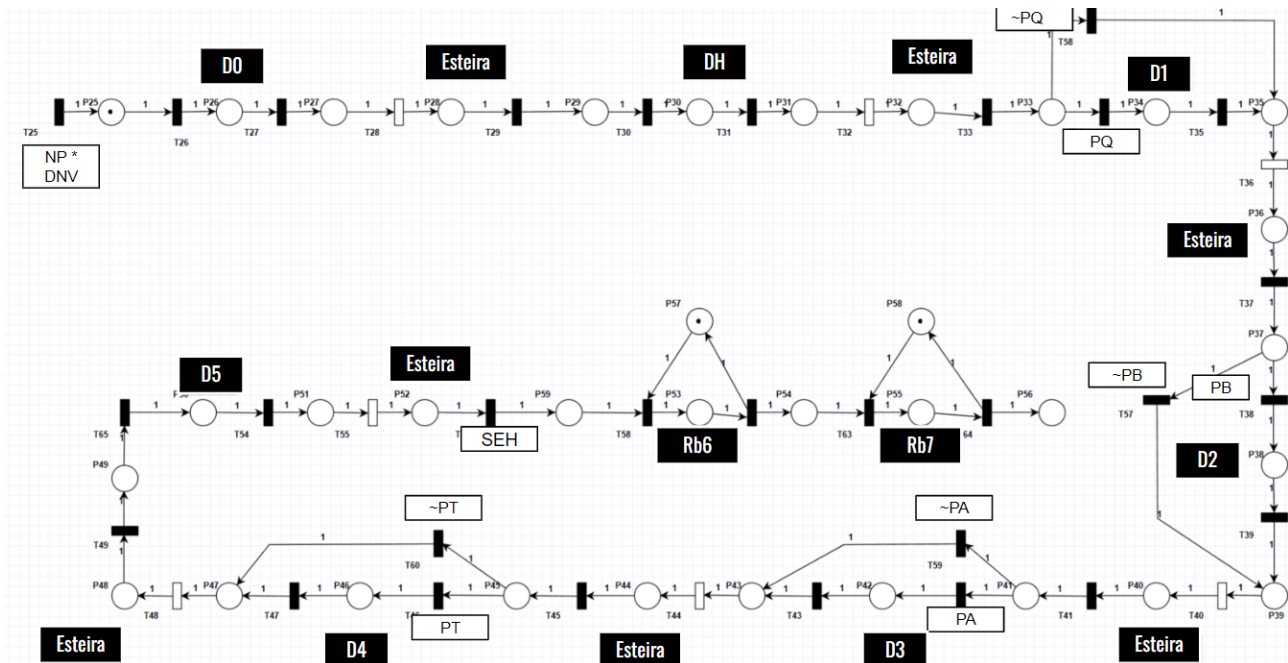
Após conclusão do PFS, foi obtida a seguinte rede de petri com as seguintes entradas e saídas:

Tabela 14 - Entradas e saídas para a montagem de hambúrgueres

Entradas		Saídas	
Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
DNV	Dispensers não vazios	D0	Dispensa pão-base na esteira
SDH	Estoque de embalagens não-vazias no Rb6	DH	Coloca hambúrguer no pão
NP	Novo pedido	D1	Coloca queijo
SD1	Pedido com queijo	D2	Coloca bacon
SD2	Pedido com bacon	D3	Coloca alface
SD3	Pedido com alface	D4	Coloca tomate
SD4	Pedido com tomate	D5	Coloca pão de cima
Rb7	Embala	Esteira	Esteira anda
		Rb6	Movimento esteira-embalamento



Figura 14 - Rede de Petri para a montagem de hambúrgueres



### E Intertravamentos do sistema

Nesse sentido, como forma de criar condições que limitam e asseguram o funcionamento correto do processo, foram criados intertravamentos para o sistema. Os intertravamentos sistêmicos dependem da essência de cada processo a ser controlado e utilizam intertravamentos primitivos. Estes, por sua vez, são incluídos como regras para o funcionamento da RdP.

A seguir, estão descritos e listados os intertravamentos propostos para este sistema:

1. Intertravamentos temporizados: uso de timers para assegurar que uma função seja desempenhada de acordo com os requisitos de projeto
  - I. Tempo para grelhar deve ser respeitado;
  - II. Tempo para esteira andar, que é do pior caso, deve ser respeitado para todos os dispensers;
  - III. Tempo de fritar batata deve ser respeitado;
  - IV. Tempo de fritar nuggets deve ser respeitado;
  - V. Tempo de porcionar batata deve ser respeitado;
  - VI. Tempo de porcionar nuggets deve ser respeitado.
2. Intertravamentos de não simultaneidade: casos em que uma decisão exclui a outra
  - I. Robô 1: se estiver ocupado levando batata do estoque B para MO1, não pode levar nuggets de estoque N para MO2 e vice-versa;
  - II. Robô 2: se estiver ocupado levando batata de MO1 para POR1 não pode levar nuggets de MO2 para POR2 e vice-versa;
  - III. Robô 3: se estiver ocupado levando pacote de batatas porcionado de POR1 para bandeja, não pode levar nuggets de POR2 para bandeja e vice-versa.
3. Intertravamentos de partida: requisitos que devem ser cumpridos antes que a máquina seja ligada
  - I. Possui uma chave de alimentação CH que energiza todo o sistema e liga grelha e máquinas de óleo
  - II. Porcionadores de batata e nuggets vazios

- III. Robôs devem estar livres e operantes, com posições iniciais e trajetórias a serem executadas todas prontas e setadas no sistema;
  - IV. Robô 3 só funciona se tiverem embalagens disponíveis para nuggets e batata
  - V. Robô 6 só funciona se tiverem embalagens disponíveis para hambúrguer
  - VI. Estoques de batatas, nuggets e hambúrgueres não vazios
4. Intertravamentos de funcionamento: Detecta-se uma circunstância que representa uma ameaça ao sistema, resultando na sua desconfiguração (impedindo-o de operar conforme o esperado devido à ocorrência de um erro).
- I. Superaquecimento: Temperatura da grelha não pode exceder  $T_h$  graus
  - II. Dispensers de ingredientes(D0,D1,D2,D3,D4,D5) não-vazios
  - III. Dispenser não podem exceder quantidade máxima de ingredientes suportadas
  - IV. Se algum dispenser der algum defeito, tudo que acontece antes dele para, porém o que está depois pode continuar a produção;
  - V. MO1 não pode exceder 200°C;
  - VI. MO2 não pode exceder 200°C;
  - VII. Caso algo esteja impedindo o movimento dos robôs, eles não executam o movimento;

### 3.4 Validação do modelo

Por meio da simulação da rede de Petri obtida, foi possível simulá-la no software PIPE 4.3. A partir disso, foi possível verificar que dada as demandas do projeto e o princípio de funcionamento descrito anteriormente, o modelo é executado de acordo com o esperado. Por conta disso, é possível dar continuidade ao projeto e aplicar o isomorfismo para converter em Ladder.

### 3.5 Aplicação do método para programação do controlador

Utilizando o método do Isomorfismo, explicado anteriormente, foi feita a conversão das quatro RdPs feitas, uma para cada processo, para a linguagem de programação LD.

Abaixo, seguem os links para os LDs de cada Rede de Petri:

Batata/Nuggets : <https://www.plcfiddle.com/fiddles/4c6f2c4f-099c-4ebc-bce9-ac09a257c654>

Grelha: <https://www.plcfiddle.com/fiddles/a70da0d1-1bb8-4071-8bc3-4497e737b367>

Montagem: <https://www.plcfiddle.com/fiddles/d567729b-777c-4cfd-9c0a-7de20674aa60>

## 4 Observações Finais

O relatório abordou a automação da linha de produção de um fast-food utilizando o conceito de Sistema a Eventos Discretos (SED) e a modelagem por meio de redes de Petri. A metodologia aplicada envolveu a representação estrutural e comportamental do sistema, desde a definição do conceito de SED até a transcrição da rede de Petri para a linguagem de programação.

A modelagem estrutural adotada descreveu a interação entre os dispositivos de controle, o objeto de controle e os operários/usuários, proporcionando uma visão macroscópica do processo. A aplicação da rede de Petri foi destacada como uma ferramenta precisa para representar os processos de forma minuciosa, considerando os lugares, transições e fichas que indicam condições.

Além disso, foi visto na prática como seguir procedimentos sistemáticos para a definição de um problema, bem como a criação de Redes de Petri e a sua conversão para linguagens de programação é extremamente importante para se ter uma precisão maior na execução de projetos de automação.

Em conclusão, a abordagem adotada demonstra uma sólida base teórica e prática para a automação de processos em sistemas discretos, proporcionando uma visão abrangente desde a modelagem conceitual até a implementação prática. O uso de redes de Petri e a transcrição para linguagens de programação como LD são ferramentas poderosas para a automação eficiente e precisa de sistemas complexos.

Diante disso, vê-se que o projeto demonstrou êxito ao integrar a modelagem estrutural, a

norma IEC 61131-3 e a metodologia PFS na automação da linha de produção de hambúrgueres, batatas fritas e nuggets. A utilização eficaz da rede de Petri na representação detalhada dos processos, aliada à transcrição para a linguagem LD, resultou em uma programação precisa de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e sistemas de automação industrial. O impacto esperado inclui a otimização dos processos, eficiência operacional aprimorada, redução de custos e maior competitividade industrial, estabelecendo um avanço significativo na integração de tecnologias e metodologias para aplicações mais sofisticadas na automação industrial.

### AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer todos os professores da disciplina PMR3305 - Sistemas a Eventos Discretos da Engenharia Mecatrônica da Escola Politécnica, e principalmente ao professor Diolino Santos por ter passado conhecimentos valiosos para que esse artigo pudesse ser feito e lapidado com a sua ajuda.

### REFERÊNCIAS

CARDOSO, Janette; VALETTE, Robert. Redes de Petri. Florianópolis: [s. n.], 1997.

MIYAGI, Paulo. Controle Programável: Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos, 1996.

PLCopen. IEC 61131-3: a norma para programação. Disponível em: [https://plcopen.org/sites/default/files/downloads/intro\\_iec\\_march04\\_portuguese.pdf](https://plcopen.org/sites/default/files/downloads/intro_iec_march04_portuguese.pdf)

**Title** – Automation project for the fast-food production process using a discrete event system.

**Abstract** – The proposed automation project aims to enhance production efficiency in a fast-food environment, specifically in the manufacturing of hamburgers, french fries, and chicken nuggets. Using the Discrete Event Systems (DES) methodology, the approach employs a physical architecture that incorporates detection, monitoring, control, and actuation devices, all connected to a Programmable Logic Controller (PLC). The IEC 61131-3 standard guides the programming of PLCs, employing the Ladder Diagram (LD) language to translate Petri net models into the system's control logic. System behavior modeling is performed through the Production Flow Schema (PFS) methodology and Petri nets, providing a clear visual representation of subprocesses, including the production of each item and necessary interlocks. Control validation is conducted through simulations using PIPE 4.3 software, allowing adjustments before conversion to LD. Expected results encompass a substantial improvement in operational efficiency. Automation seeks to ensure product quality consistency, error reduction, and increased production capacity. By minimizing human intervention, the system also aims to optimize production, benefiting both the company and the customer experience. The project development follows a five-step methodology, ranging from defining the physical architecture to commissioning Inputs/Outputs in the real system. Petri Net transcription into programming language is accomplished through isomorphism, facilitating the practical implementation of control. In summary, the integration of DES, PFS methodology, Petri net modeling, and programming according to the IEC 61131-3 standard offers a robust approach to the development of complex automation systems,

bringing significant improvements in efficiency and production quality in a fast-food environment.

**Keywords** – Automation, automatization, control system, Petri net, Fast-food.

**Danilo Patah Dacca**, estudante de Engenharia Mecatrônica do 6º Semestre na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

**Pedro Bianco de Aquino**, estudante de Engenharia Mecatrônica do 6º Semestre na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e participação no núcleo de Mecânica no grupo de extensão ZIMA - Soluções Médico Hospitalares.

**Vítor Aun Kassab**, estudante de Engenharia Mecatrônica do 6º semestre na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; participação no núcleo de Mecânica no grupo de extensão ZIMA - Soluções Médico Hospitalares e participação no projeto de Modelagem Eletrodinâmica de Baterias de Lítio-Ferro-Fosfato por meio de Iniciação Científica.