

# Modelagem de produção de lentes MODE para satélites como Sistema a Eventos Discretos

Fabio Baptista, João Ritton, Lucas Donaire

**Resumo** – Este trabalho aborda o sistema de produção de lentes MODE (Multiple-order Diffractive Engineered Surface), lentes de alta tecnologia usadas em satélites (DUPUIS, 2022). O principal desafio é a automação do processo de fabricação, que apresenta alta complexidade, custos elevados e demanda cuidados rigorosos. Essa produção pode ser considerada como um sistema a eventos discretos, onde cada etapa representaria um evento. Nesse artigo, vamos propor uma modelagem do controle do processo de produção das lentes via Redes de Petri, usando a metodologia PFS/RdP (MIYAGI, 1996). Com a Rede de Petri em mãos, aplica-se uma metodologia de isomorfismo para programar o sistema de controle em um controlador programável com a linguagem Ladder. O que motivou essa escolha foi o interesse por tecnologias de alto padrão e as nuances que podem surgir em sua produção. Esse projeto pode assumir o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável número 9 da ONU, referente à Indústria, Inovação e Infraestrutura. Particularmente, se encaixa no tópico 9.5: fortalecer a pesquisa científica, melhorar as capacidades tecnológicas de setores industriais, incentivando a inovação.

**Palavras-chave** – Sistemas a Eventos Discretos; Rede de Petri; Lentes MODE; Automação; IEC 61131-3.

## 1 Introdução

As lentes MODE (Multiple-order Diffractive Engineered Surface) representam uma tecnologia óptica inovadora com características que as tornam ideais para diversas aplicações, especialmente em telescópios espaciais de grande diâmetro, que seriam inviáveis com tecnologias tradicionais (DUPUIS, 2022). Contudo, seu processo de fabricação é caro e complexo, e necessita de cuidados especiais para ser pensado e modelado.

A fabricação é organizada em três etapas principais: a produção do molde, a moldagem dos segmentos e a montagem da lente completa. Para modelar o sistema de produção, adota-se a metodologia PFS/RdP (Production Flow Schema/Rede de Petri), que segmenta o sistema em processos e atividades. A Rede de Petri (CARDOSO, 1997) permite representar graficamente o fluxo de controle e a interação entre as diferentes etapas, facilitando a compreensão e a validação do sistema.

A validação do modelo de controle ocorre por meio de simulações realizadas no software PIPE. Essa etapa permite testar o comportamento do sistema em diferentes condições e cenários operacionais, garantindo que a lógica de controle funcione adequadamente. Após a validação, a lógica modelada na Rede de Petri é traduzida para a linguagem de programação Ladder, seguindo a norma IEC 61131-3.

Esta norma é utilizada para padronizar controladores lógicos programáveis (CLPs), assegurando que a lógica projetada seja implementada fielmente no controlador final. O processo de isomorfismo, que converte a Rede de Petri para Ladder, segue uma metodologia que garante a adequação entre o modelo simulado e o implementado. A automação proposta não apenas racionaliza o processo de produção de lentes MODE, mas também contribui significativamente para a confiabilidade e qualidade do produto final.

Este avanço fortalece o desenvolvimento tecnológico no setor aeroespacial, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, em especial o ODS 9, que incentiva a construção de indústrias resilientes e sustentáveis. Além disso, o

projeto exemplifica a aplicação de sistemas a eventos discretos em processos de alta precisão e complexidade, trazendo inovação e eficiência à produção.

Esse projeto foi desenvolvido a partir dos conhecimentos adquiridos na disciplina PMR3305 - Sistemas a Eventos Discretos no segundo semestre de 2024.

## 2 Materiais e Métodos

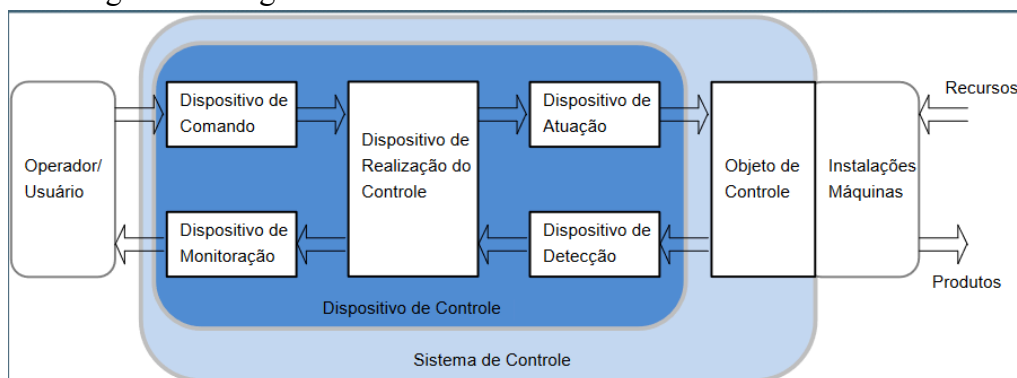
### 2.1 O conceito de SED

Um sistema a eventos discretos (SED) é independente do tempo, sendo dominado apenas por eventos discretos e pela ordem na qual eles acontecem. Em outras palavras, sua dinâmica depende apenas da ocorrência de eventos, como, por exemplo, um silo ter atingido um nível especificado ou uma peça chegar no sistema.

### 2.2 Modelo estrutural

Dado um sistema a ser modelado como um SED, um primeiro passo é a definição de suas características físicas e a construção de um modelo estrutural. Isso não passa de descrever todos os elementos do sistema e a forma como eles interagem com o operador, dispositivo de realização de controle e o objeto de controle. Um diagrama explicando esse conceito pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Diagrama de características físicas e modelo estrutural.



Fonte: Miyagi, 1996.

Neste diagrama vê-se primeiramente 3 entidades principais:

- O operador/usuário é referente ao ser humano que irá interagir com o sistema.
- O dispositivo de realização do controle é o sistema de controle que será usado para controlar o sistema.
- O objeto de controle são os elementos reais que buscamos controlar para a realização de uma atividade específica.

Conectando esses 3 temos o que chamamos de dispositivos, que são todas instâncias relacionadas ao nosso dispositivo de controle, seja ora mandando ora recebendo informações para atuação sobre alguma das entidades. Eles são divididos em 4 grupos:

- Dispositivos de comando: são botões, alavancas ou qualquer ferramenta que permita ao operador interagir com nosso dispositivo de realização do controle, seja sentando uma receita que quer fazer, parando o sistema, etc.;
- Dispositivos de monitoração: são leds, alertas, painéis, etc. que servem para informar o operador sobre a situação do sistema;
- Dispositivos de atuação: podem ser robôs, motores, válvulas, etc que recebem sinais do controlador para atuar sobre o objeto de controle a fim de mudar seu estado, seja construindo uma peça, colocando um material, etc
- Dispositivos de detecção: são sensores pertencentes ao nosso objeto de controle que servem para informar o dispositivo de realização do controle sobre a situação no objeto de controle.

### 2.3 Modelo comportamental e modelagem

PFS (Production Flow Schema) é uma rede de alto nível que descreve graficamente e conceitualmente os processos relacionados com a produção na forma de sequência de etapas de atividades e de distribuição. Representa a relação de causalidade entre os fatos. É usada para iniciar a modelagem do sistema, e em seguida transformada numa Rede de Petri segundo a metodologia descrita em MIYAGI (1996):

Metodologia PFS/RdP:

1. Representação dos processos em PFS.
2. Detalhamento dos processos em atividades (funções) do PFS.
3. Detalhamento das atividades introduzindo elementos RdP (operações).
4. Introdução dos elementos de controle de recursos para compartilhamento.
5. Representação do fluxo de dados com o ambiente externo.

### 2.4 Norma IEC 61131-3 para programação

A norma IEC 61131 foi criada pela International Electrotechnical Commission com o objetivo de padronizar mundialmente o desenvolvimento de sistemas de controle, visando a redução de custos e prazos de desenvolvimento. A norma busca maior rapidez de programação, redução de erros, maior facilidade de programação e melhor documentação.

Especificamente, a parte 3 da norma, IEC 61131-3, define as linguagens de programação para controladores programáveis (CPs).

### 2.5 Transcrição RdP para linguagem de programação

O isomorfismo, no contexto de Redes de Petri (RdP) e linguagens de controladores programáveis (CPs), refere-se à capacidade de converter um modelo de RdP em um programa equivalente em uma linguagem de CP, como o Diagrama Ladder (LD). A conversão é possível porque os elementos da RdP, como lugares, transições e marcas, podem ser mapeados diretamente para elementos das linguagens de programação. O procedimento é descrito na Tabela 1 e as definições abaixo são utilizadas para a construção do modelo.

- Lugares: podem ser representados por variáveis booleanas no LD, indicando se a condição associada ao lugar é verdadeira ou falsa.
- Transições: podem ser representadas por instruções condicionais no LD, que verificam se as condições de disparo da transição são satisfeitas.
- Marcas: podem ser representadas pelos valores das variáveis booleanas, indicando a presença ou ausência de fichas nos lugares.

Tabela 1 - Descrição do métodos utilizado para Transcrição RdP para linguagem de programação.

Número do Passo	Descrição
Passo 1: Atribuir Variáveis Internas	Criar variáveis internas no programa do CP para representar cada lugar e cada transição da RdP. Essas variáveis internas servirão para armazenar o estado da RdP no programa do CP.
Passo 2: Implementar a Habilitação das Transições	Utilizar a lógica da linguagem de programação escolhida para implementar as condições de disparo de cada transição da RdP. As condições de disparo são representadas pelas marcas nos lugares de entrada da transição. No LD, isso pode ser feito usando contatos que representam as variáveis booleanas associadas aos lugares de entrada da transição.
Passo 3: Implementar a Mudança de Estado dos Lugares	Utilizar a lógica da linguagem de programação para implementar a mudança de estado dos lugares da RdP, que ocorre quando uma transição é disparada. A mudança de estado envolve consumir marcas dos lugares de entrada da transição e produzir marcas nos lugares de saída. No LD, isso pode ser feito usando bobinas que atuam sobre as variáveis booleanas associadas aos lugares.

Fonte: Autores.

## 2.6 Metodologia de Projeto

O projeto vai seguir a metodologia PFS\RdP para descrever os processos do sistema a ser modelado e transformá-los em uma Rede de Petri que encapsula toda a lógica de controle, entradas e saídas do objeto. Para isso, inicialmente descreve-se o sistema de produção, e faz-se um modelo estrutural dele. Após isso, aplicam-se os 5 passos da metodologia para obter a Rede de Petri. Por fim, faz-se o isomorfismo da rede para uma linguagem de controlador programável.

## 3 Aplicação de Automação Mecatrônica

### 3.1 Descrição do sistema que será automatizado (modelo esquemático)

Neste trabalho, será automatizado um sistema de produção de lentes, mais especificamente as lentes MODE utilizadas para a construção de satélites especiais, o qual pode ser dividido em três processos: a fabricação do molde, a moldagem dos segmentos e a montagem da lente.

O processo de fabricação do molde incorpora quatro atividades. Primeiramente, um substrato de Cobre-Níquel (Cu-Ni) é usinado para cumprir especificações de nivelamento, permitindo usarmos em seguida uma máquina CNC para realizarmos um processo de fresagem, dando ao molde o formato necessário para a lente. Com a peça em seu formato ajustado, passamos um revestimento de Níquel-Fósforo (Ni-P), a fim de minimizar a aderência com o vidro durante o processo de moldagem, e finalmente, o molde é finalizado com o torneamento de diamante para dar à superfície de nossas lentes as características especificadas em seu projeto.

Com os moldes preparados, passa-se para o processo de moldagem de segmentos, começando pela junção de moldes e vidro, encapsulando-o por dois moldes, cada um especialmente feito para um lado da lente, em seguida aplica-se calor a esse grupo até chegar à temperatura de moldagem do vidro, quando se passa a colocar pressão nos moldes para forçá-los na posição desejada. Com a pressão necessária atingida, retira-se o calor e se espera seu resfriamento, quando se remove a pressão e retira-se o segmento.

Com o segmento preparado, uma serra de precisão com ponta de diamante é utilizada para retirar qualquer excesso de vidro. Então, realiza-se a metrologia do segmento para testar se as especificações foram atendidas. Caso o segmento não passe na metrologia, ele é jogado fora e os mesmos moldes são utilizados para outra tentativa. Os segmentos que passam na metrologia são finalizados com um revestimento antirreflexo.

Por último, uma vez que todos os 9 segmentos foram moldados, inicia-se o processo de montagem da lente MODE, no qual os segmentos são fundidos utilizando uma solução de ligação óptica aplicada aos seus perímetros. Terminado o processo, realiza-se uma segunda metrologia para testar se o produto final satisfaz todas as especificações necessárias.

### 3.2 Modelo estrutural do sistema (pré PFS)

O modelo estrutural do sistema de fabricação das lentes MODE que utilizaremos neste trabalho tem os seguintes dispositivos para o funcionamento do sistema:

- Dispositivos de atuação:
- Achatamento do material do molde - **ACH**
- Corte do molde CNC - **CNC**
- Revestir molde com NiP - **NIP**

- Torneamento do molde - **TOR**
- Junta moldes - **JUN**
- Aquece junção - **AQ**
- Pressiona junção - **PRES**
- Serrar segmento - **SER**
- Metrologia do segmento - **METS**
- Revestir segmento AR - **AR**
- Fundir segmentos - **FUNS**
- Metrologia lente - **METL**
- Molde pronto - **MP**
- Segmento pronto - **SP**
- Dispositivos de sensoriamento:
- Temperatura de moldagem atingida - **TEMP**
- Resfriamento completo - **RESF**
- Pressão máxima atingida - **PRMAX**
- Metrologia de segmento bem sucedida - **MS**
- Metrologia de lente bem sucedida - **ML**
- Molde disponível - **MD**
- Segmento disponível - **SD**
- Dispositivos de comando:
- Ativar fabricação de molde - **INITM**
- Ativar fabricação dos segmento - **INITS**
- Ativar fabricação da lente - **INITL**
- Dispositivos de monitoração:
- Falha molde - **FM**
- Falha segmento - **FS**
- Falha lente - **FL**

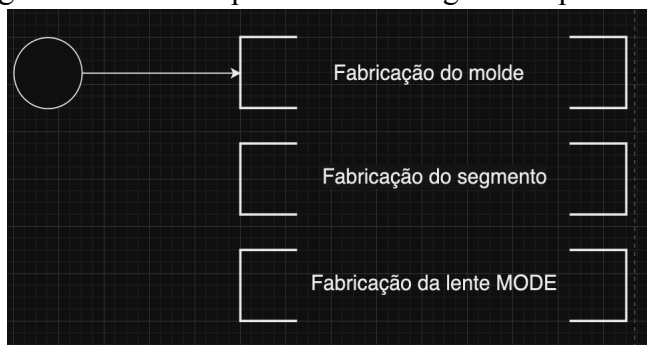
### 3.3 Aplicação da metodologia de modelagem (PFS / RdP)

Com nosso sistema bem descrito e o modelo estrutural especificado, somos capazes de utilizar a metodologia PFS para modelá-lo como uma RdP. Faremos esse processo em 5 passos:

#### *A Processos*

A produção das lentes MODE é separada em três processos independentes. Primeiro, fabrica-se o molde que será usado para fabricar os segmentos da forma adequada, requisitada pelo cliente. Com ela em mãos, há a fabricação dos segmentos da lente. Por fim, juntam-se os segmentos na lente MODE final. Como esses três processos ocorrem de forma independente, modelou-se separadamente, de acordo com a metodologia, como mostra a figura 2.

Figura 2 – Primeiro passo da modelagem dos processos.



Fonte: Autores.

### B Atividades

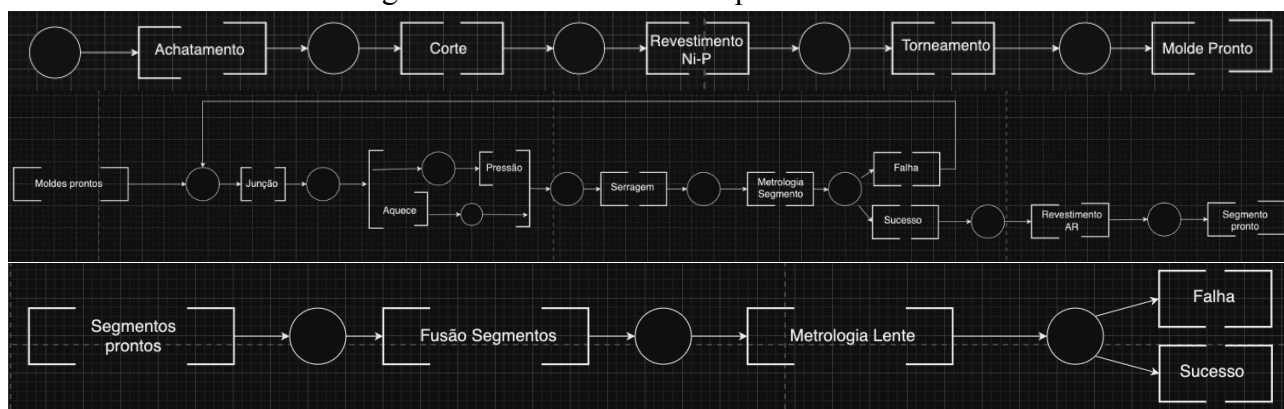
Detalhando as atividades de cada processo, obtém-se os diagramas, vistos na figura 3. O primeiro processo, a fabricação dos moldes, é só uma sequência de atividades que resulta no molde.

O segundo processo, a fabricação dos segmentos, tem algumas nuances a mais. Na etapa de moldar os segmentos por aquecimento e pressão, é preciso aquecer até atingir uma determinada temperatura, para começar a pressionar. Então, com determinada pressão atingida, cessa o aquecimento e se espera o resfriamento natural. Isso foi modelado como atividades em paralelo, mas que o início e final de cada atividade dependem da outra segundo a lógica mencionada.

Outro ponto do segundo processo é que, se a metrologia indicar que o segmento está inadequado, temos que fazer outro. E quando a metrologia indica adequação, somente aí fazemos o revestimento de Níquel-Fósforo.

O terceiro processo, fabricação da lente, é simples. Porém, se a lente final não passar na metrologia, nada há a fazer. Não é possível reaproveitar os segmentos.

Figura 3 – Detalhamento dos processos.



Fonte: Autores.

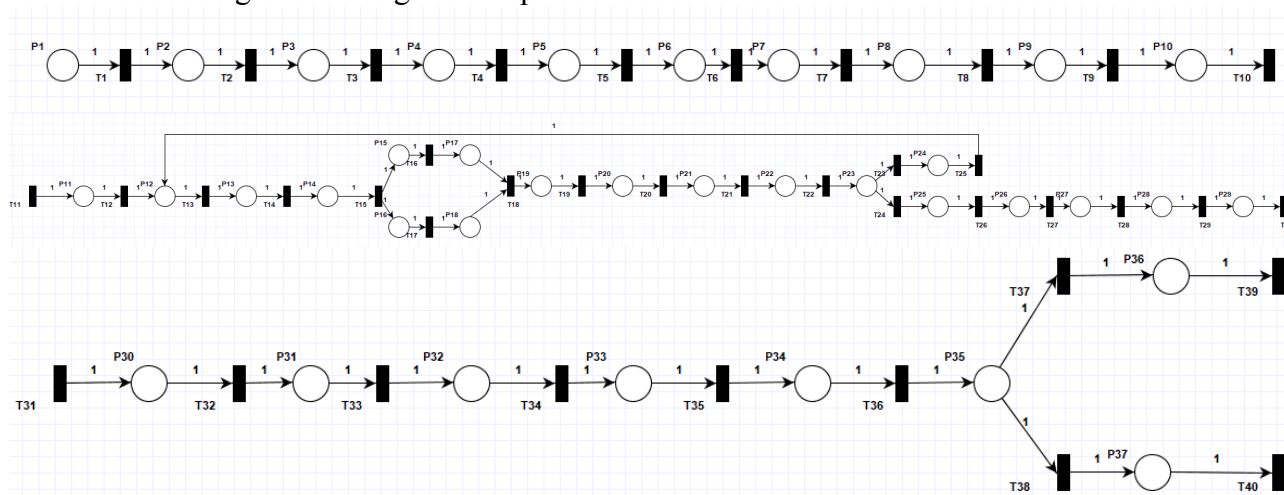
Em especial, tem-se 4 atividades que não diretamente fazem parte do processo físico, mas são essenciais para o bom funcionamento do controle dos processos. As atividades “Molde Pronto”, “Moldes Prontos”, “Segmento Pronto” e “Segmentos Prontos” servem para relacionar os processos entre si. Primeiramente, as atividades “Molde Pronto” e “Segmento Pronto” marcam o final de seus respectivos processos, enviando sinais para o controlador sobre esse acontecimento, sinais os quais são então utilizados para início das atividades “Moldes Prontos” e “Segmentos Prontos” que marcam a disponibilização dos respectivos elementos para o processo acontecer.

Essa lógica nos permite realizar cada procedimento de forma autônoma como planejado, mas sempre guardando o número de moldes e segmentos já preparados.

### C Tradução

Segundo a metodologia, transformamos o diagrama do passo 2 em rede de petri, como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Diagrama de processos traduzido em rede de Petri.



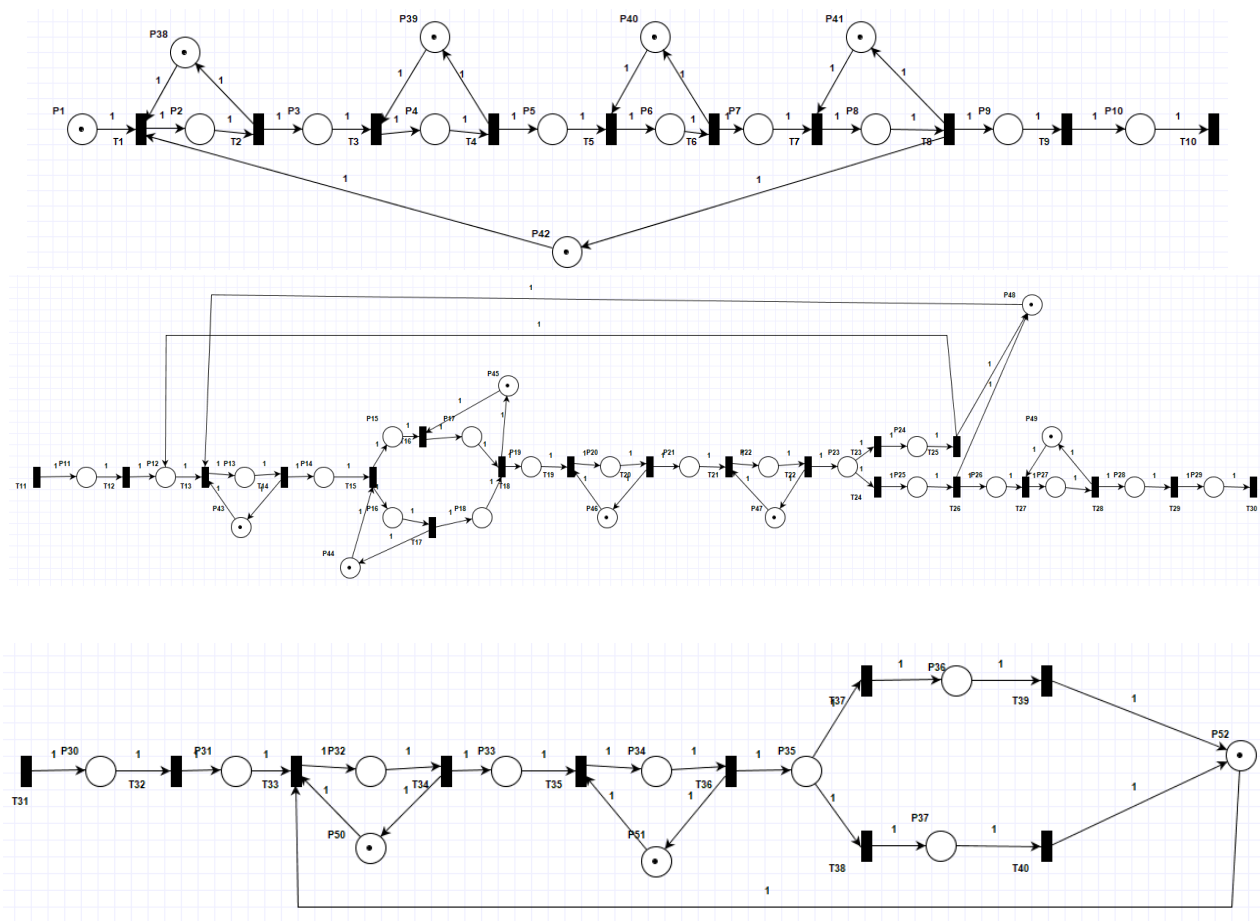
Fonte: Autoria própria.

### D Recursos

Considerando que cada atividade tem seu próprio recurso (máquina de achatamento, máquina de corte, etc.). optou-se por modelar cada processo como um recurso, ou seja, só se faz um lote de moldes, segmentos e lentes de cada vez, como mostra a figura 5. Essa escolha se deve ao caráter altamente caro e especializado da produção. É necessário confirmar o pleno funcionamento das máquinas antes e depois de todos os processos, e esta não é uma produção industrial que precisa ser feita em grandes quantidades e no mínimo de tempo, mas que precisa ser feita e acertada detalhadamente e sem pressa.



Figura 5 – Adição dos recursos na rede de Petri.

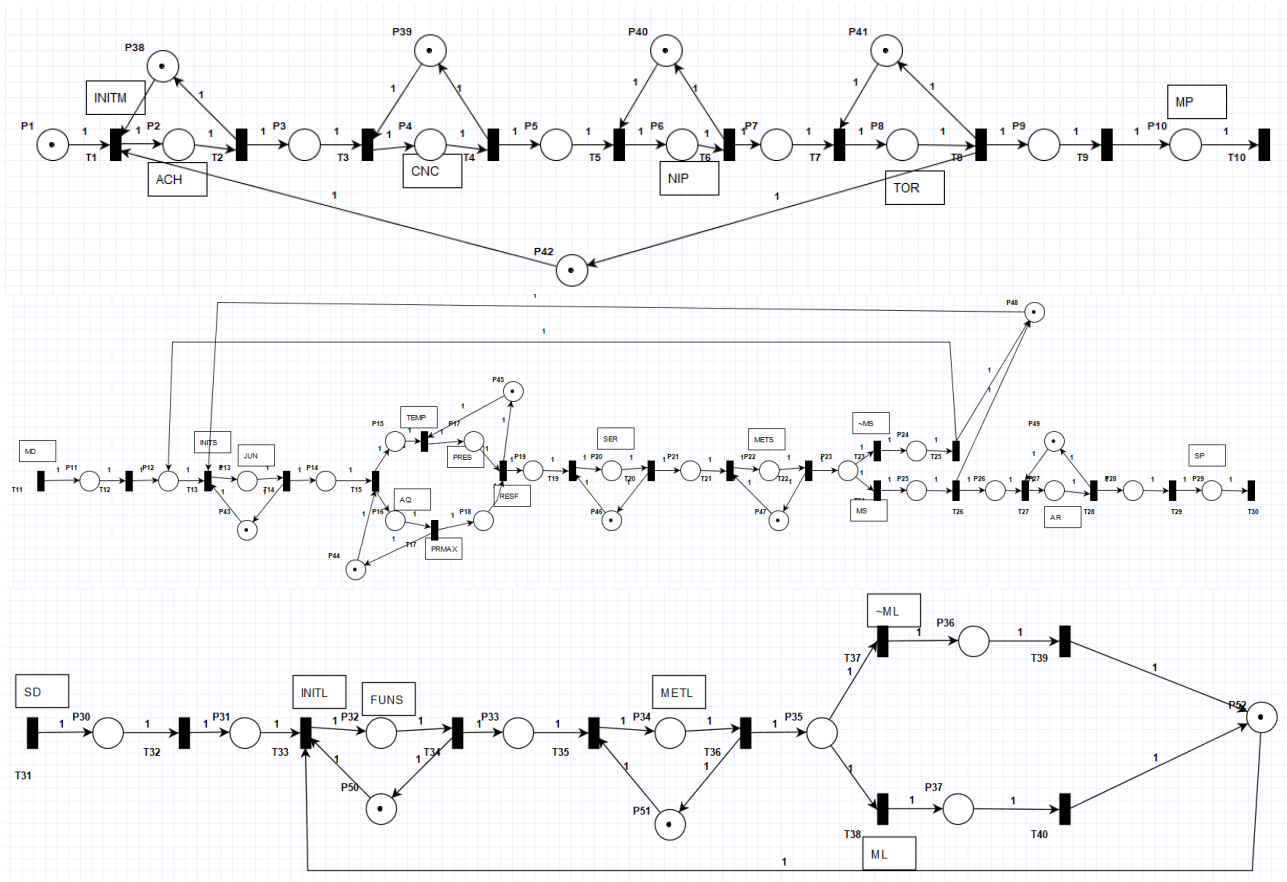


Fonte: Autoria própria.

## E Sinais

Nesse passo, foram adicionados os sinais da seção 3.2 deste capítulo nos locais e transições das redes de Petri (Figura 6). Os sinais de entrada vinculados às transições representam eventos ou condições externas que, ao serem satisfeitos, disparam a transição correspondente. Por outro lado, os sinais de saída associados aos lugares permitem que o sistema comunique estados ao ambiente externo, isso facilita a integração com outros componentes do sistema.

Figura 6 – Adição dos sinais na rede de Petri.



Fonte: Autores.

### 3.4 Intertravamentos

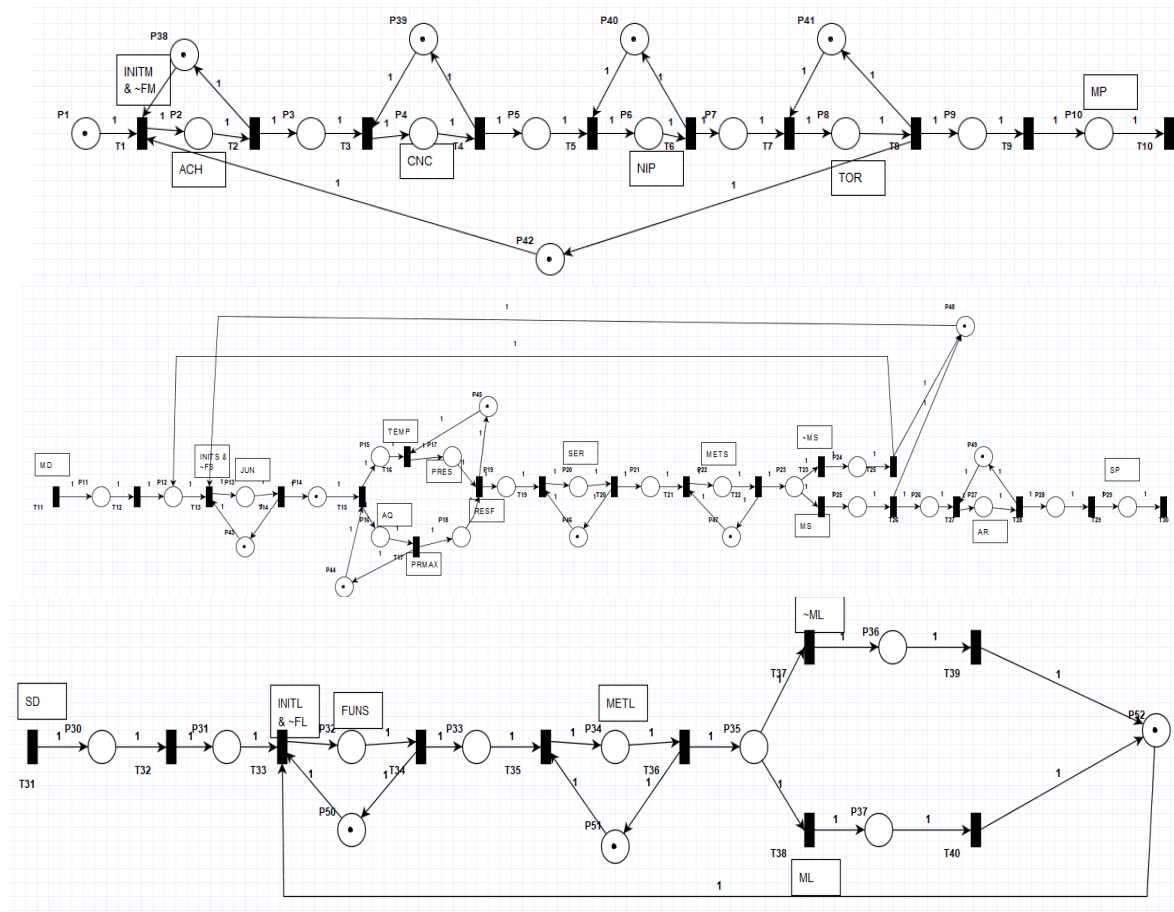
Os intertravamentos são condições restritivas que fazem parte da modelagem da lógica de controle, definindo um comportamento específico para o sistema. O Intertravamento de Processo é definido pela estrutura da Rede de Petri, descrevendo a sequência de tarefas e o alocamento de recursos. Nessa etapa final da modelagem, temos que adicionar outros dois intertravamentos.

O Intertravamento de Partida verifica as condições que o sistema deve cumprir para iniciar o processo. O Intertravamento de Funcionamento garante o funcionamento seguro do sistema durante sua operação, monitorando as variáveis internas. Nesses intertravamentos, usamos os sinais de falha de cada processo, FM, FS, FL.

#### A Intertravamento de Partida

Para cada processo começar, é necessário que não haja sinais de falha, e que o botão de iniciar seja apertado, logo a rede de Petri fica como na Figura 7.

Figura 7 – Adição dos intertravamentos de partida na rede de Petri.

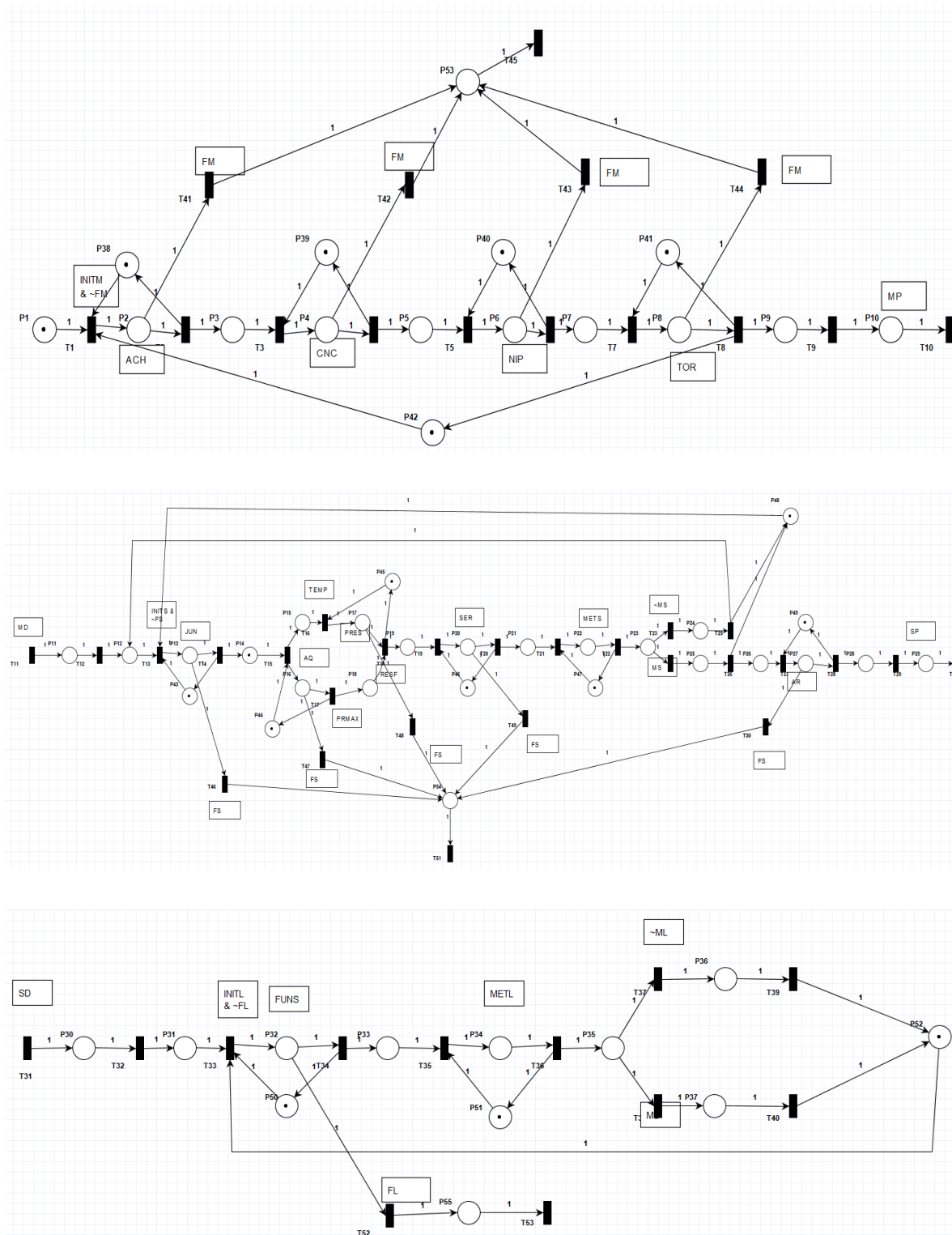


Fonte: Autoria própria.

### B Intertravamento de Funcionamento

Para se manter funcionando, o sistema não deve ter falha em nenhuma máquina. Para cada processo, colocamos a possibilidade de qualquer máquina falhar e emitir o sinal de falha, o que travaria todo aquele processo, adicionado na figura 8.

Figura 8 – Adição dos intertravamentos de funcionamento na rede de Petri



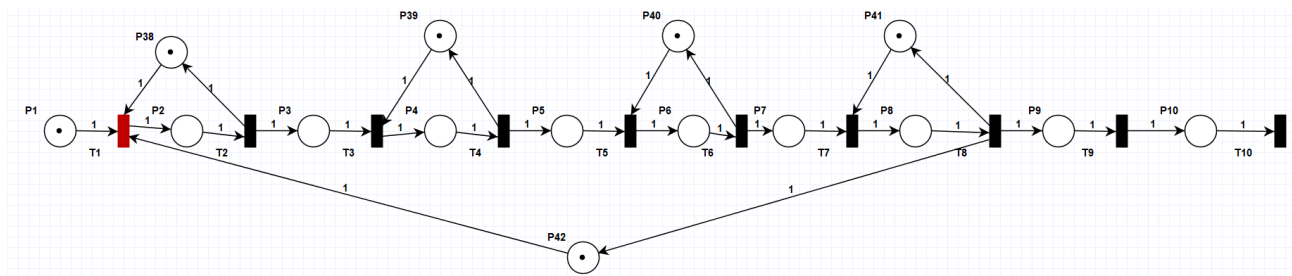
Fonte: Autoria própria.

## 4 Validação do modelo

Simulou-se cada uma das redes com as marcas iniciais em todos os recursos e no primeiro buffer de cada uma. A seguir, algumas imagens do processo com comentários:

- Estado inicial da primeira rede de Petri. Em vermelho, a transição a ser disparada. Note que existem marcas nos lugares P1, P38 e P42, tornando possível o disparo da transição T1 (figura 9).

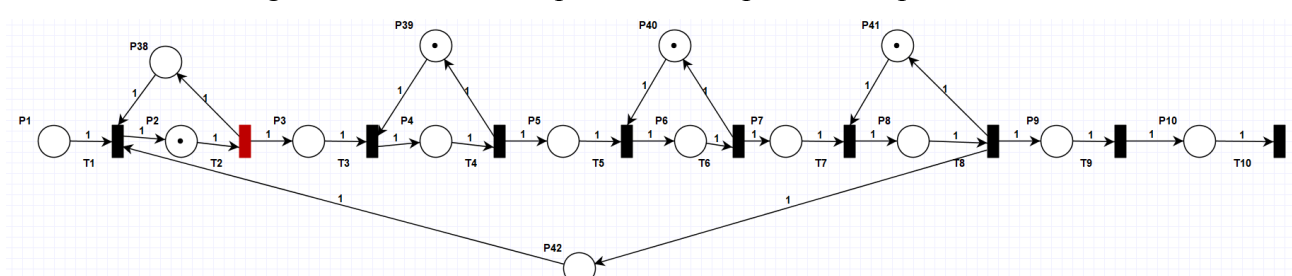
Figura 9 – Validando a primeira rede, estado inicial.



Fonte: Autores.

- Estado seguinte ao anterior. Após a transição ser disparada, as marcas dos três lugares foram removidas e convertidas em uma marca no lugar P2 (figura 10).

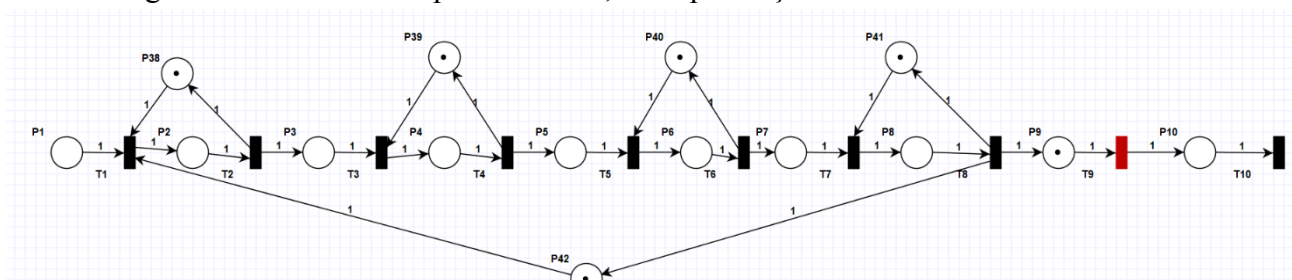
Figura 10 – Validando a primeira rede, primeiro disparo.



Fonte: Autores.

- Após vários processos acontecerem por disparos das transições T2, T3, T4, T5, T6, T7 e T8, uma marca chega em P9 e as marcas dos recursos são repostas, significando que aquele processo pode ser realizado novamente (figura 11).

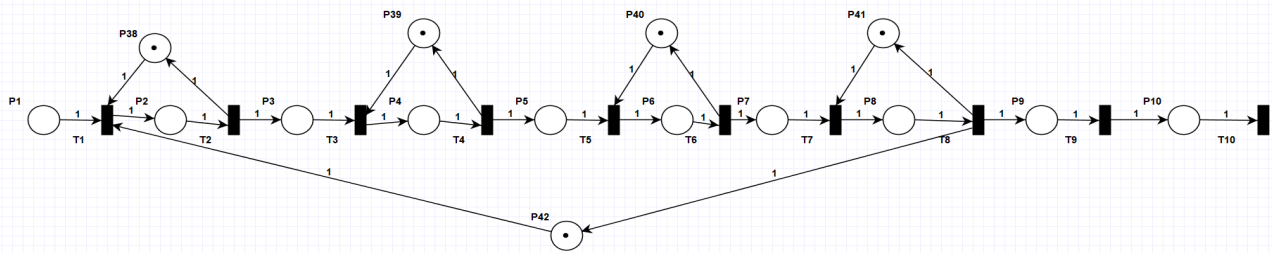
Figura 11 – Validando a primeira rede, exemplificação do uso dos recursos.



Fonte: Autores.

- Por fim, a marca avança até o lugar P10 e então é consumida pela última transição T10. Essa rede terminou a fabricação de moldes e a fabricação de futuros moldes fica condicionada à chegada de material, representada por uma marca no lugar P1 (figura 12).

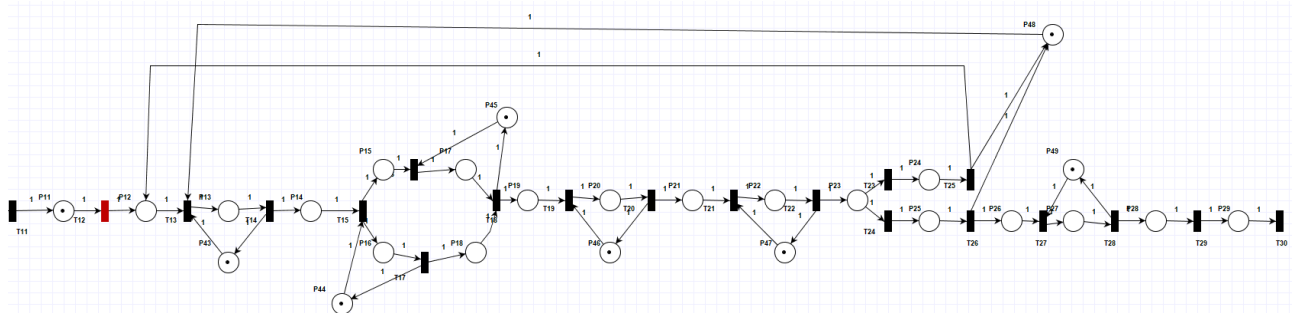
Figura 12 – Validando a primeira rede, exemplificação do fim do processo.



Fonte: Autores.

- Quando a marca atinge o lugar P10 da primeira rede, um sinal é emitido. Esse sinal dispara a transição T11, enviando uma marca para o lugar P11. Essa marca passará por T12, chegando em P12. Então, com as marcas nos recursos P43 e P48, será iniciado o processo de fabricação dos segmentos de lente (figura 13).

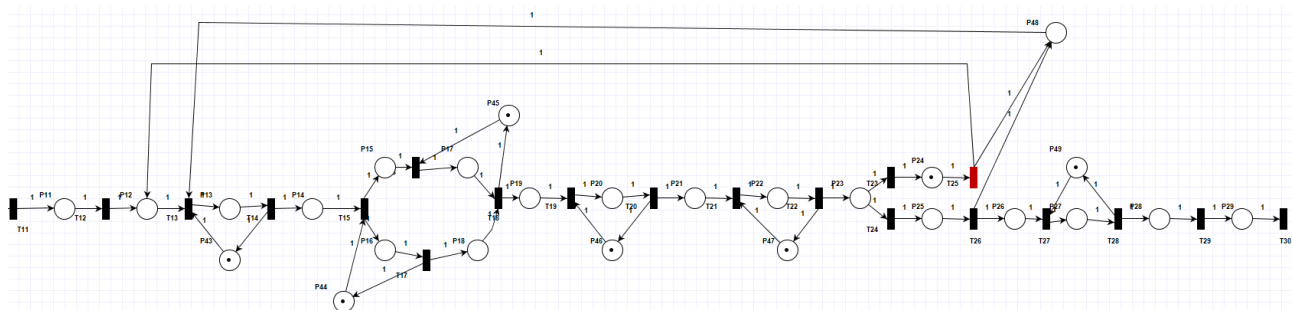
Figura 13 – Validando a segunda rede, primeiro disparo.



Fonte: Autores.

- O segmento não passou na metrologia. A marca volta para o lugar P12 para indicar que podemos iniciar uma nova tentativa de fabricação de segmento com o mesmo molde, pois pode-se reutilizar os moldes para a fabricação de segmentos (figura 14).

Figura 14 – Validando a segunda rede, exemplificando o caso de o segmento não passar na metrologia.



Fonte: Autores.

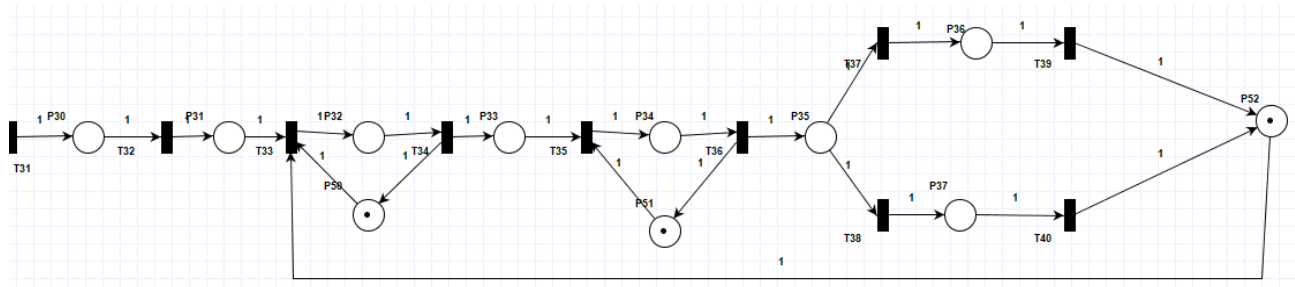
- O segmento passou na metrologia. Em seguida, ele passará pela aplicação do antirreflexo e enviado para a produção de lentes (Figura 15).

- A marca chega no lugar P30 e, em seguida, inicia o processo de fabricação da lente MODE (Figura 16).

- Novamente, a metrologia pode falhar ou ser bem-sucedida. Porém, caso a metrologia falhe, não podemos reutilizar os segmentos. Por isso, a marca apenas é reposta no recurso P52 e não no lugar P31 (Figuras 17 e 18).

Fonte: Autores.

Figura 18 – Validando a terceira rede, a metrologia falhou.



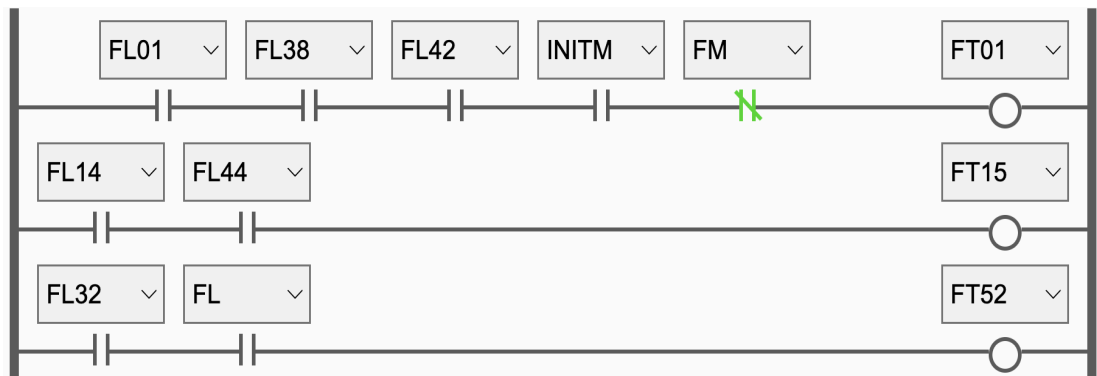
Fonte: Autores.

5 Aplicação do método para programação do controlador (isomorfismo)

Traduzindo p modelo em RdP para a linguagem de programação Ladder (LD), primeiro atribui-se variáveis internas aos lugares e transições, mais especificamente, a notação FT0N e FL0N para, respectivamente, as transições e os lugares N. Além disso, os eventos internos Q.0P são associados às saídas de nossa RdP e os eventos externos I.0P às entradas.

Com essas atribuições e associações entre a RdP e a linguagem CLP, vamos gerar o programa LD, iniciando pela habilitação das transições, como mostra a Figura 19.

Figura 19 – Habilitação das transições em Ladder.



Fonte: Autores.

Em seguida, faz-se o mesmo para a mudança de estado (marcas) em cada um dos lugares (Figura 20).



Figura 20 – Habilitação das mudanças de estado em Ladder.



Fonte: Autores.

E, por fim, relacionaram-se os lugares aos seus respectivos eventos externos (Figura 21).

Figura 21 –Relacionando os estados aos eventos em Ladder.



Fonte: Autores.

Esses foram apenas exemplos de cada passo da tradução do RdP para o LD. Integralmente, nossa RdP resultou em 176 *rungs* no Ladder final.

## 6 Conclusão

Este trabalho demonstra a simplicidade e eficácia de metodologias baseadas em sistemas a eventos discretos (SED) para a automação de processos complexos e críticos, como a produção de lentes MODE para satélites. A aplicação da metodologia PFS/RdP, associada a simulações rigorosas no software PIPE e à padronização com a norma IEC 61131-3, resulta em um fluxo de controle robusto, confiável e bem definido. A integração entre a modelagem teórica e a implementação prática, por meio do isomorfismo entre Redes de Petri e a linguagem Ladder, assegura a fidelidade da lógica de controle em controladores programáveis.

## REFERÊNCIAS

DUPUIS, Michael L. *Planning and Optimizing MODE Lens Production via Integrated Cost, Schedule, and Risk Modelling*. Dissertação (Doutorado em Filosofia), The George Washington University, Washington, D.C., 2022.

CARDOSO, Janette; VALETTE, Robert. Redes de Petri. Florianópolis, Editora da UFSC, 1997.

MIYAGI, Paulo E. Controle Programável - Fundamentos do Controle de Sistemas a Eventos Discretos. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1996.

## **Title – Modeling the production of MODE lenses for satellites as a Discrete Event System**

**Abstract** – With the aging population, the physical and emotional strain on caregivers of elderly individuals with low mobility has become an increasingly relevant issue in society. To address this challenge, this study developed a walker equipped with a mechanism for lifting patients from a seated position and a data acquisition system for monitoring walking conditions. Initially, theoretical analyses were conducted to determine the best strategies for lifting a person from a seated position, identifying the optimal placement of supports for the maneuver, the main safety risks to the patient, such as falls, and the most relevant data for walking monitoring. Based on this information and the project requirements, existing walker models with lifting mechanisms were studied, serving as a reference for the initial design. Modifications were implemented during the prototyping phase. The designed walker uses a lever operated by the caregiver's feet for the lifting mechanism. It also includes safety straps to prevent falls, arm and knee supports, lockable wheels, and a monitoring system that records data such as oxygenation, heart rate, balance disturbances, speed, and acceleration. A wooden prototype was built and tested, demonstrating that the equipment offers good ergonomics and usability. The tests revealed greater ease in lifting the patient, requiring less effort from the caregiver.

**Keywords** – Walk monitoring, Physical assistance device, Sit-to-stand aid.



**Fábio Baptista Cardoso**, graduando em Matemática Aplicada com habilitação em Controle e Automação.



**João Luis Ritton Costa**, graduando em Matemática Aplicada com habilitação em Controle e Automação.



**Lucas Panfilo Donaire**, graduando em Matemática Aplicada com Habilitação em Controle e Automação.