



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
CECAU - Colegiado do Curso de
Engenharia de Controle e Automação



Douglas Meneses Barbosa

DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB COM O OBJETIVO DE CONSTRUIR E SIMULAR REDES DE PETRI

Monografia de Graduação

Ouro Preto, 2025

Douglas Meneses Barbosa

DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO WEB COM O OBJETIVO DE CONSTRUIR E SIMULAR REDES DE PETRI

Trabalho apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Prof. Dr. Danny Augusto Vieira Tonidandel

Coorientador: Não definido

Ouro Preto

2025



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E
AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Santos Dumont

Como construir um avião?

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação

Aprovada em 26 de fevereiro de 2023

VERSÃO DE DEMONSTRAÇÃO

Membros da banca

[Doutor] - Carlos Chagas - Orientador (Universidade Federal de Ouro Preto)

[Doutora] - Nise da Silveira - Orientador (Universidade Federal da Bahia)

[Doutor] - Leopoldo Nachbin - (Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada)

[Doutora] - Ruth Sonntag Nussenzweig - (Universidade de São Paulo)

Nise da Silveira, coorientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 04/07/2023.



Documento assinado eletronicamente por Nise da Silveira, **PROFESSORA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR**, em 04/07/2023, às 10:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto no 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
[http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)
[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0),
informando o código verificador 26021982 e o código CRC X3DF4F4

Agradecimentos

Os agradecimentos [são opcionais, e] vem aqui...

*Júpiter leva 4332 dias para fazer
uma revolução.*

— Oliver Lodge.

Resumo

O resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. A ordem e a extensão destes itens dependem do tipo de resumo (informativo ou indicativo) e do tratamento que cada item recebe no documento original. O resumo deve ser precedido da referência do documento, com exceção do resumo inserido no próprio documento. (...) As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecidas da expressão Palavras-chave:, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto.

Palavras-chaves: latex. abntex. editoração de texto.

Abstract

This is the english abstract.

Key-words: latex. abntex. text editoration.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Exemplo de diagrama de fluxo	11
Figura 2 – Exemplo de diagrama de classe	12
Figura 3 – Rede de Petri Simples	14
Figura 4 – Rede de Petri Simples	15
Figura 5 – Rede de Petri Simples	15
Figura 6 – Cores dos tipos de transição	17
Figura 7 – Rede de Petri Temporizada - Estágio 1	17
Figura 8 – Rede de Petri Temporizada - Estágio 2	17
Figura 9 – Rede de Petri Temporizada - Estágio 3	18
Figura 10 – Título no topo e ao centro	21
Figura 11 – Mouse estilo default	22
Figura 12 – Mouse estilo default	23
Figura 13 – Mousemove desenhando arco	23
Figura 14 – Diagrama de fluxo para adicionar um lugar	26
Figura 15 – Clicando no botao addPlace	27
Figura 16 – Clicando no botao addTransition	29
Figura 17 – Diagrama de fluxo para adicionar uma transição	30

Sumário

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Justificativas e Relevância	9
1.2	Objetivo Geral	10
1.3	Objetivos Específicos	10
1.4	Metodologia	10
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Redes de Petri	13
2.2	Tecnologias para o desenvolvimento web	19
2.3	Simuladores Conhecidos	19
3	DESENVOLVIMENTO	20
3.1	Renderizando elementos na tela	21
3.2	Eventos do JavaScript	21
3.3	Criação dos elementos	24
3.4	Movimentando elementos na tela	36
3.5	Exclusão	36
3.6	Salvando e carregando a rede	36
3.7	Simulação da rede	36
3.8	Publicação do projeto online	36
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
	Referências	38

1 Introdução

nome da aplicação: Online Petri Net Simulator

Em 1962, Carl Adam Petri, por meio de sua dissertação, mostrou para o mundo a sua criação, as redes de Petri ([PETRI, 1962](#)). Podemos definir uma rede de Petri como sendo uma ferramenta matemática para modelagem de sistemas concorrentes. Além da modelagem matemática, as redes de Petri podem ser ilustradas graficamente por meio de seus elementos, os lugares, as transições e os arcos. Além disso, com a evolução da indústria e da tecnologia, as redes de Petri ganharam ainda mais relevância, uma vez que elas permitem a modelagem de diversos tipos de sistemas, em diferentes áreas.

A evolução da indústria e da tecnologia também culminou com a popularização da internet ([LINS, 2013](#)). O surgimento do World Wide Web, em 1990, por Tim Berners-Lee, permitiu aos primeiros usuários da internet, como conhecemos hoje, a interação com um sistema de hipertexto. Com o passar dos anos, as aplicações web se tornaram cada vez mais comuns e sofisticadas. O que antes começou com páginas estáticas evoluiu para aplicações dinâmicas, interativas e de fácil acesso para a maioria das pessoas. Atualmente, se consegue ter uma experiência muito próxima as funcionalidades de um computador pessoal, com aplicações desktop, apenas manipulando abas em um navegador.

Diante da facilidade de acesso a aplicativos web por meio dos navegadores, como Google Chrome, Firefox, Safari, Edge, entre outros, surge a seguinte ideia: desenvolver uma aplicação web que possibilite aos usuários a criação e simulação do comportamento de redes de Petri, de forma simples e intuitiva. Para tal, torna-se necessário o conhecimento de tecnologias voltadas para o desenvolvimento web, como HTML5, CSS3 e JavaScript.

Além do conhecimento em desenvolvimento, será necessário compreender os conceitos e práticas de infraestrutura, viabilizando a disponibilidade e o acesso contínuo à aplicação web. Uma vez desenvolvida, a aplicação pode ser disponibilizada para acesso por qualquer usuário que possua conexão com a internet, facilitando a modelagem de redes de Petri.

1.1 Justificativas e Relevância

As redes de Petri representam uma poderosa ferramenta gráfica e matemática para a modelagem e análise de sistemas concorrentes e distribuídos. No entanto, o seu entendimento pode ser um desafio, especialmente para aqueles sem familiaridade com os conceitos e experiência matemática.

Atualmente, existem algumas ferramentas capazes de construir e simular redes de

Petri. Entretanto, muitas delas requerem um conhecimento mínimo de computação, para que possam ser instaladas em sistemas operacionais como Linux, Windows e MacOS. Além disso, algumas delas não são multiplataforma, restringindo o acesso dessas ferramentas pelas pessoas.

Nesse contexto, uma aplicação web, simples e intuitiva, atenderia as necessidades, tanto de usuários comuns, como o de estudantes e pesquisadores interessados em entender o funcionamento das redes de Petri. Através de uma aplicação web, o acesso é simplificado e facilitado, pois elimina a necessidade de instalações complicadas e pré-conhecimento técnico avançado.

1.2 Objetivo Geral

O desenvolvimento de uma aplicação web capaz de criar e simular o comportamento de redes de Petri.

1.3 Objetivos Específicos

- Desenvolvimento de um motor de simulação, capaz de simular o comportamento das redes de Petri criadas, possibilitando a visualização, por parte do usuário, do comportamento em diferentes cenários;
- Desenvolvimento de uma interface simples e intuitiva;
- Aprendizado de tecnologias voltadas para o desenvolvimento web;
- Criação de uma alternativa simples e de fácil acesso para o aprendizado de redes de Petri;
- Alocação da aplicação em um servidor, permitindo o acesso público.

1.4 Metodologia

Inicialmente, para o desenvolvimento da aplicação web, capaz de construir e simular o comportamento de redes de Petri, será necessário entender os requisitos e características mínimas para o funcionamento da aplicação. Analisando softwares já existentes que cumprem essa função, serão desenvolvidas as seguintes funcionalidades básicas:

- Área da tela em que a rede de Petri será renderizada;
- Botões para inserção de lugares, arcos, tokens e transições;

- Botão de simulação em que, ao ser acionado, irá permitir a análise do comportamento da rede de Petri criada;
- Opção de definir labels para os lugares, arcos e posições;
- Alteração de cor da transição quando houver os requisitos mínimos satisfeitos;
- Opção de importação e exportação de projetos.

Com as características básicas da aplicação definidas, será desenvolvido um diagrama de fluxo, ilustrado na figura 1, evidenciando o passo a passo de funcionamento da aplicação.



Figura 1 – Diagrama de fluxo. Fonte: Boyle (1772).

Paralelamente ao desenvolvimento do diagrama de fluxo, será criado um diagrama de classe 2, definindo as diferentes classes de objetos que serão utilizados.



Figura 2 – Diagrama de classe. Fonte: Boyle (1772).

Após a definição do design, com a criação do diagrama de fluxo e do diagrama de classe, inicia-se o processo de programação. A linguagem de programação JavaScript será utilizada, juntamente com HTML e CSS. O desenvolvimento acompanhará o design pré-estabelecido. Com isso, espera-se a criação de um MVP (Minimum Viable Product).

Com a criação do MVP, em um ambiente local, a aplicação será hospedada em um servidor on-premise da Universidade Federal de Ouro Preto. Após a hospedagem, espera-se que a aplicação esteja disponível para acesso público por meio da internet.

2 Fundamentação teórica

2.1 Redes de Petri

As redes de Petri surgiram por volta da década de 1960 pela mente de Carl Adam Petri. Em 1962, Petri apresentou sua tese intitulada “Kommunikation mit Automaten”, em que descreveu pela primeira vez a estrutura e funcionamento das redes de Petri. Esse nova ideia de representar sistemas permitiu a análise de sistemas concorrentes e paralelos.

Com o passar dos anos, a evolução tecnológica durante a terceira revolução industrial (COUTINHO, 1992) evidenciou os benefícios das redes de Petri, e sua aplicabilidade foi ampliada para além da modelagem de processos industriais, sendo adotada também para descrever processos dentro das áreas de Ciência da Computação e Engenharia de Software. Sendo assim, a partir dos anos de 1980, com o crescimento da automação industrial, as redes de Petri começaram a ser adaptadas para atender as necessidades de diferentes áreas. Com isso, surgiram as redes de Petri coloridas, as redes de Petri temporizadas e as redes de Petri estocásticas, como principais exemplos.

O básico de redes de Petri

Segundo (CASSANDRAS; LAFORTUNE, 2008), uma rede de Petri clássica é representada graficamente por lugares, transições e arcos. Os lugares representam os estados do sistema, as transições indicam os eventos ou ações que podem ocorrer durante o funcionamento do sistema. Os arcos direcionados conectam os lugares as transições e as transições aos lugares. Essa estrutura permite a análise de propriedades importantes dos sistemas, como alcançabilidade, vivacidade, deadlock, reversibilidade, entre outras propriedades fundamentais para análise do comportamento de sistemas complexos.

As redes de Petri seguem uma lógica matemática. Sendo assim, seus elementos são definidos como sendo:

$$(P, T, A, w) ,$$

em que

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ é o conjunto de lugares;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ é o conjunto de transições;

$A \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ representa os arcos de lugares para transições, e transições para lugares;

$w : A \rightarrow \{1, 2, 3, \dots\}$ é a função de peso dos arcos.

Com tais elementos torna-se possível a criação e modelagem de redes de Petri para a representação de sistemas concorrentes. Conforme o exemplo 1 é possível evidenciar uma rede de Petri simples, permitindo a compreensão de sua estrutura e funcionamento das redes de Petri em um âmbito geral.

Exemplo 1 (Uma rede de Petri simples) /

Inicialmente, define-se os conjuntos P, T, A, w .

$$P = \{p_1, p_2\}$$

$$T = \{t_1\}$$

$$A = \{(p_1, t_1), (t_1, p_2)\}$$

$$w(p_1, t_1) = 2$$

$$w(t_1, p_2) = 1$$

Para esse exemplo, tem-se os lugares p_1 e p_2 . O arco (p_1, t_1) conecta o lugar p_1 a transição t_1 , e seu peso $w(p_1, t_1)$ é igual a 2. O arco (t_1, p_2) conecta a transição t_1 ao lugar p_2 , e seu peso $w(t_1, p_2)$ é igual a 1.

Tendo a lógica matemática definida, pode-se ilustrar graficamente a mesma rede de Petri, conforme a figura 3.

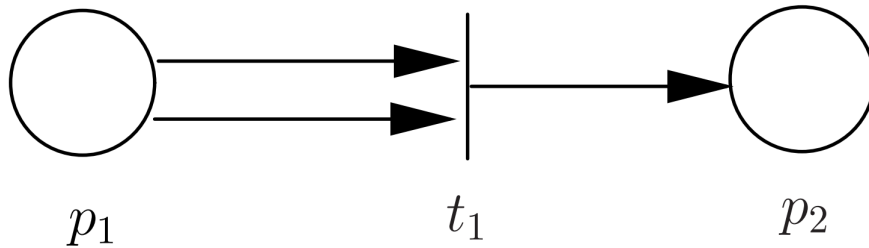


Figura 3 – Rede de Petri Simples. Fonte: [Cassandras e Lafortune \(2008\)](#).

Para a mudança de estado dessa representação é necessário, no mínimo, duas marcações no lugar p_1 . Com essa condição satisfeita, a transição t_1 passa a estar habilitada, tornando possível a mudança de estado, como ilustrado na figura 4.

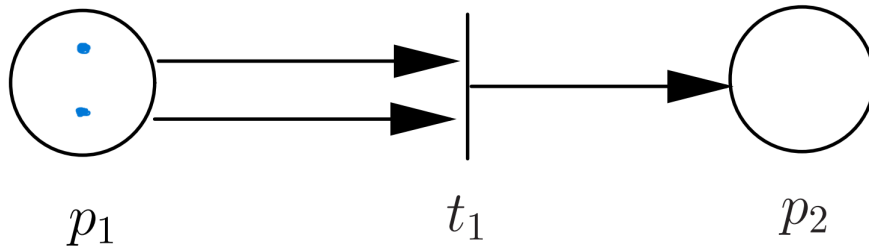


Figura 4 – Transição t_1 habilitada. Fonte: [Cassandras e Lafortune \(2008\)](#).

Após a execução da transição t_1 , as duas marcações em p_1 somem, e uma marcação em p_2 surge. Essa lógica se dá por meio do peso dos arcos. O arco (p_1, t_1) , anterior a transição t_1 possui peso 2, logo o lugar p_1 cede duas marcações para a transição t_1 ocorrer. De forma análoga, o lugar p_2 ganha uma marcação, pois o arco (t_1, p_2) , posterior a transição t_1 , tem peso igual a 1. Essa lógica é ilustrada pela figura 5.

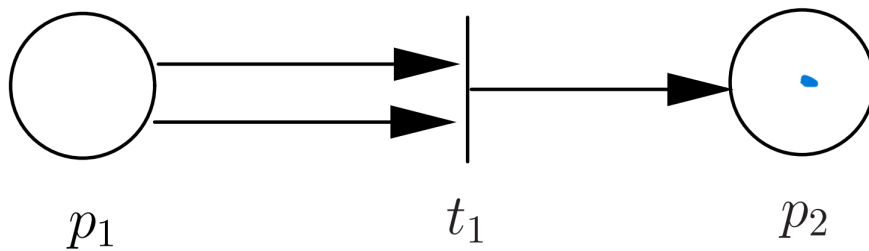


Figura 5 – Rede de Petri após a transição t_1 ter sido executada. Fonte: [Cassandras e Lafortune \(2008\)](#).

Com o exemplo 1, é possível entender o princípio básico de funcionamento das redes de Petri. Dessa forma, tem-se que:

- (a) **habilitação de uma transição:** para a habilitação de uma transição t_i é necessário que o número de marcações associados ao lugar p_i , anterior a transição, seja igual, ou superior, ao peso do arco que conecta o lugar p_i a transição t_i ;
- (b) **peso dos arcos:** ...;
- (c) **movimentação das marcações:**

Exemplo 2 *Uma rede de Petri mais desenvolvida*

A lógica utilizada nas redes de Petri podem facilmente ser traduzidas para os modelos utilizados na lógica de programação Ladder, uma vez que as redes de Petri também se utilizam da álgebra booleana.

Variantes das redes de Petri clássica

Além da rede de Petri clássica, com o passar dos anos, e com o avanço da tecnologia, houve a necessidade de se adaptar as redes de Petri para atender cenários mais realistas e completos. A partir dessas variações, três delas se destacam, sendo elas as redes de Petri Temporizadas 3, Coloridas 4 e Estocásticas 5. Cada uma delas, permite uma representação mais abrangente dos sistemas do mundo real, pois permitem o desenvolvimento de aspectos como tempo, características distintas e incertezas que compõem os diversos tipos de sistemas.

Temporizada

[referenciar o artigo dcece.ibilce.unesp.br/~aleardo/cursos/str/cap3.pdf](http://dcece.ibilce.unesp.br/~aleardo/cursos/str/cap3.pdf)

As redes de Petri Temporizadas surgiram a partir da necessidade de se atribuir uma propriedade temporal a certos atributos de um sistema. Ao contrário das redes de Petri clássicas, que consideram as transições como instantâneas, as redes de Petri Temporizadas reconhecem que uma vasta quantidade de sistemas do mundo real estão intrinsecamente ligados a variáveis de tempo. Tal fato é extremamente relevante, já que a maiorias dos eventos nesses sistemas demanda certo período de tempo para sua execução completa.

Nas redes de Petri Temporizadas, pode-se considerar dois cenários para a associação de variáveis de tempo. No primeiro cenário, se tem a associação de tempo C_i a duração de uma certa transição t_i . Ou seja, o evento representado pela transição terá um intervalo de tempo para ser executado. No segundo cenário, associa-se a variável de tempo C_i aos lugares p_i . Dessa forma, as marcações tornam-se disponíveis apenas após o intervalo de tempo. Define-se assim:

- Tempo C_i associado a transição t_i ;
- Tempo C_i associado ao lugar p_i .

As transições temporizadas, nos modelos gráficos, para se diferenciar das transições instantâneas, possuem uma cor associada diferente, e isso pode ser evidenciado na maioria dos softwares já disponíveis. Enquanto as transições instantâneas possuem fundo preto, as transições temporárias possuem fundo branco. Além disso, quando uma transição estiver disponível para o disparo, ela possuirá fundo vermelho, conforme a figura 6.

No exemplo 3 há uma transição fonte t_0 , que está sempre habilitada, ligada a posição p_0 . O lugar p_0 está ligado a uma transição temporizada t_1 , por meio de um arco $w(p_0, t_1)$ de peso 2. Além disso, a transição t_1 possui um tempo C_1 associado. Ou seja, após o disparo da transição t_1 , haverá um tempo C_1 de espera, indicando o tempo de execução do evento associado a transição. Após a decorrência desse tempo, duas marcações, associadas ao lugar p_0 , se transformarão em apenas uma marcação no lugar p_1 .



Figura 6 – Cores dos tipos de transição. Fonte: Pipe.

Exemplo 3 Temporizada

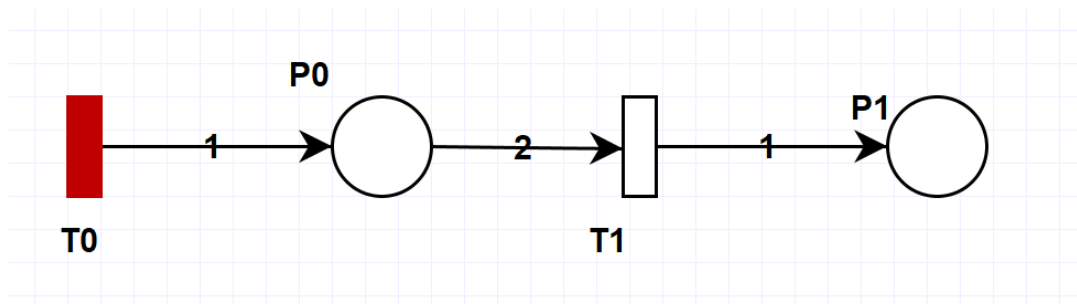


Figura 7 – Rede de Petri Temporizada - Estágio 1. Fonte: Pipe.

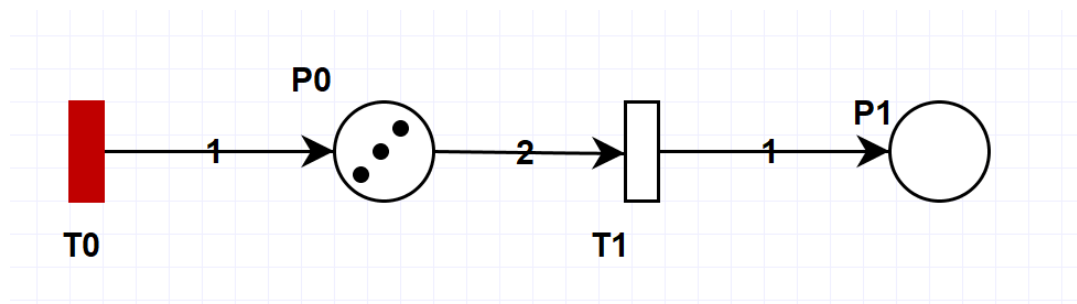


Figura 8 – Rede de Petri Temporizada - Estágio 2. Fonte: Pipe.

Colorida

As redes de Petri Coloridas surgiram com a ideia de diminuir o tamanho das representações (FRANCÊS, 2003), uma vez que muitas representações contam com ideias semelhantes. Através da individualização das marcações, os processos e recursos de um sistema podem agora representar diferentes ideias em uma mesma rede, ou parte dela. O termo "colorida" surge da ideia de termos marcações, com diferentes cores, representando diferentes recursos. Essa forma de representação tem como principal benefício reduzir

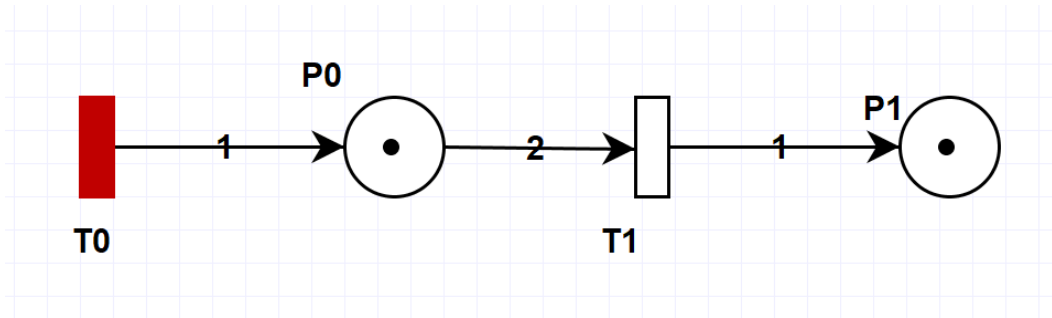


Figura 9 – Rede de Petri Temporizada - Estágio 3. Fonte: Pipe.

o tamanho e, consequentemente, a complexidade da representação em uma rede de Petri. Comparando os exemplos, consegue-se analisar tal propriedade. Ambas as redes representam a mesma ideia, porém na segunda representação temos uma quantidade menor de elementos, o que facilita o entendimento.

Uma vez que se consegue representar as marcações com diferentes cores, torna-se mais simples a representação de sistemas complexos, diminuindo a complexidade das análises. Nas redes de Petri tradicionais, cada lugar representa um único estado do sistema representado. As redes de Petri coloridas deixam de forma mais intuitiva e clara a representação de múltiplos estados ou recursos.

Exemplo 4 *Colorida*

Estocásticas

Uma rede de Petri estocástica é mais uma variação das redes de Petri clássicas. Enquanto as redes de Petri clássicas são frequentemente usadas para representar sistemas discretos e determinísticos, as redes de Petri estocásticas permitem incorporar a aleatoriedade e a incerteza na representação.

Nas redes de Petri estocásticas, os elementos básicos, como lugares, transições e arcos, são semelhantes aos das redes de Petri convencionais. No entanto, a principal diferença é que as transições não são ativadas de forma determinística, mas sim com base em probabilidades. Isso significa que a ocorrência de uma transição é governada por um processo estocástico, como um processo de Poisson, e a escolha de qual transição ocorre em um determinado momento é determinada por probabilidades.

Essa abordagem estocástica é especialmente útil para modelar sistemas onde eventos ocorrem de maneira aleatória, como sistemas de comunicação, sistemas biológicos e sistemas de manufatura com variações de tempo e recursos. As redes de Petri estocásticas permitem a análise de propriedades estatísticas do sistema, como a probabilidade de estados específicos serem alcançados ou a distribuição de tempo entre eventos.

Conforme o exemplo 5 é possível analisar o funcionamento de uma rede de Petri estocástica.

Criar exemplo de Rede de Petri estocástica

Exemplo 5 *Estocásticas*

2.2 Tecnologias para o desenvolvimento web

HTML

CSS

JavaScript

2.3 Simuladores Conhecidos

Pipe

Online Petri-net simulator - OPN

TryRdP

3 Desenvolvimento

O desenvolvimento deste projeto iniciou-se com uma análise geral das funcionalidades centrais que a aplicação web deveria atender para alcançar seus objetivos. Desde o princípio, buscou-se criar uma ferramenta funcional e intuitiva que permitisse aos usuários construir, visualizar e simular redes de Petri. Essas funcionalidades formam a espinha dorsal da aplicação, garantindo não apenas o cumprimento do objetivo principal, mas também estabelecendo uma base sólida para futuras expansões e melhorias. Dessa forma, o sistema foi pensado para ser escalável, possibilitando a adição de novas funcionalidades e o aprimoramento contínuo da interface e da experiência do usuário. Essas funcionalidades buscam cumprir os seguintes requisitos:

1. Definição de um espaço na tela para a criação de uma rede Petri;
2. Capacidade de adição dos elementos que compõem uma rede de Petri;
3. Capacidade de renderização dos elementos na tela;
4. Capacidade de movimentação dos elementos adicionados a área destinada ao desenvolvimento da rede de Petri;
5. Uma vez criado um elemento, ser possível modificar suas propriedades;
6. Possibilidade de exclusão dos elementos, tanto de forma individual, quanto de modo geral;
7. Possibilidade de salvar e carregar as redes de Petri criadas;
8. Possibilidade de simular a rede de Petri desenvolvida;
9. Forma de hospedar a aplicação de modo online para acesso via navegador de internet.

Com os requisitos em mente, criou-se a base de arquivos que seriam utilizados para o desenvolvimento da aplicação web, sendo eles:

1. index.html;
2. style.css;
3. script.js.

Através do arquivo **index.html** estruturou-se toda a interface da aplicação. É nele em que se define todos os elementos que vão fazer parte da interface apresentada ao usuário final. O arquivo **style.css** define as principais propriedades visuais que foram estabelecidas anteriormente no arquivo **index.html**. Por fim, no arquivo **script.js** se define toda a lógica da aplicação. Através da linguagem de programação JavaScript se desenvolveu todas as funcionalidades que foram estabelecidas anteriormente.

No arquivo **index.html** inicialmente foi criado o título da página denominado **Online Petri Net Simulator** e seu posicionamento foi definido no topo e ao centro da tela, conforme imagem abaixo:

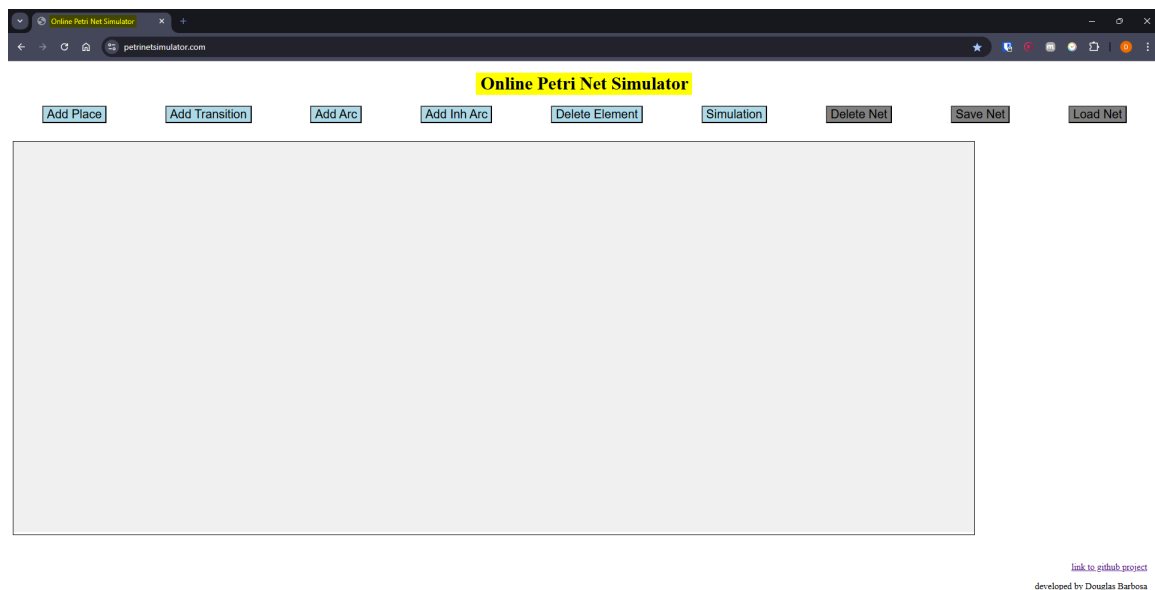


Figura 10 – Rede de Petri Temporizada - Estágio 3. Fonte: Pipe.

Para a aplicação das funcionalidades foram definidos no arquivo **index.html** botões que ao serem apertados executariam uma determinada ação.

Ao longo do desenvolvimento, verificou-se que seria mais simples fazer o desacoplamento das funcionalidades em scripts separados. Desse modo, diferentes arquivos **.js** foram criados, para que cada funcionalidade fosse desenvolvida separadamente. Sendo assim, no arquivo **index.html** esses arquivos foram declarados, tornando possível a junção de todas as funcionalidades que compõem a aplicação.

3.1 Renderizando elementos na tela

3.2 Eventos do JavaScript

No desenvolvimento de aplicações web, é essencial que as páginas sejam responsivas e interativas. A linguagem JavaScript nos fornece uma série de funcionalidades que permitem

o desenvolvimento de eventos para a interatividade do usuário com a página que ele acessa. Os eventos representam ações e recorrências que ocorrem dentro do navegador do usuário, como cliques e movimentação do mouse, teclas pressionadas no teclado, dentre outras ações que um usuário, normalmente, pode executar dentro de uma página na web.

Para o desenvolvimento da aplicação web, capaz de construir e simular redes de Petri, é fundamental 3 principais eventos, sendo eles o ***mousemove***, ***mousedown*** e ***mouseup***. Esses eventos permitem que o usuário consiga interagir com a área da página dedicada ao desenvolvimento das redes de Petri.

mousemove

O evento ***mousemove*** é disparado sempre que ocorre o movimento do ponteiro do mouse sobre um determinado elemento (MDN WEB DOCS, 2024b). No caso da aplicação web desenvolvida, é acionado sempre que ocorre o movimento do ponteiro do mouse dentro da área delimitada para o desenvolvimento das redes de Petri.

```
1 element.addEventListener('mousemove', function(event) {  
2     console.log(`Mouse movido em: (${event.clientX}, ${event.  
3     clientY})`);  
});
```

Código 3.1 – Exemplo da chamada do evento ***mousemove***

As propriedades ***clientX*** e ***clientY*** permitem definir a posição do ponteiro do mouse sempre que ele está se movendo. Utiliza-se desse evento, principalmente, para determinar se o cursor está sobre alguns dos elementos clicáveis na tela. Caso sim, ele altera o design do ponteiro. Quando está fora de algum elemento clicável, o ponteiro do mouse utiliza o estilo ***default***, e quando está sobre a área de algum elemento clicável, o estilo é ***pointer***.

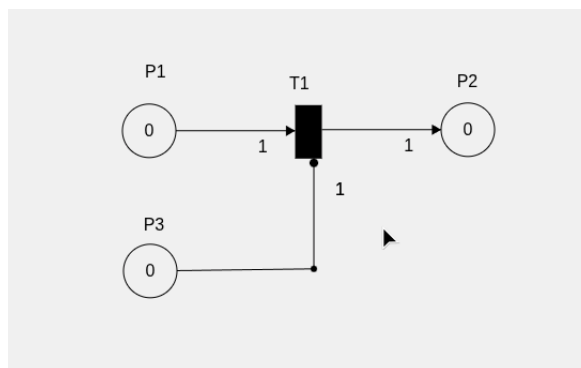
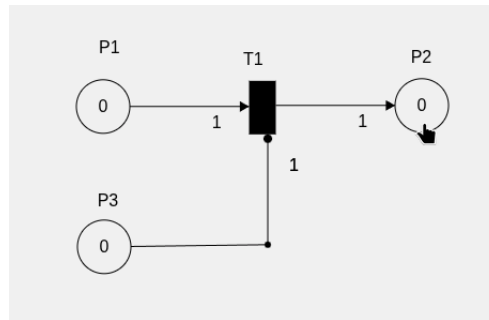
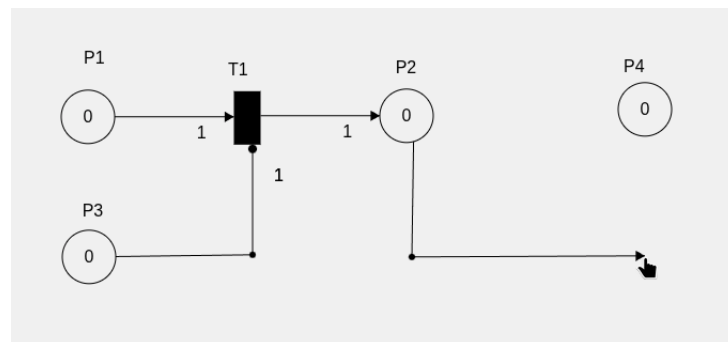


Figura 11 – Ponteiro do mouse com estilo ***default***

O evento ***mousemove*** também é utilizado no momento de criação dos arcos, para renderizar o arco enquanto ele ainda está sendo desenhado. Por exemplo, ao clicar no

Figura 12 – Ponteiro do mouse com estilo *pointer*

primeiro elemento, lugar ou transição, onde o arco iniciará, uma posição inicial é detectada. Após, espera-se que o usuário clique, ou num ponto intermediário do arco, ou no ponto final do arco. Enquanto o ponto final, no segundo elemento, não é detectado, utiliza-se da posição do ponteiro do mouse nos eixos *x* e *y* do evento *mousemove* para renderizar uma linha entre a última posição fixa detectada e a posição do ponteiro do mouse.

Figura 13 – Arco sendo renderizado antes de ser concluído com *mousemove*

mousedown

O evento *mousedown* é disparado sempre que ocorre o pressionamento de um botão do mouse sobre um determinado elemento (MDN WEB DOCS, 2024a). No caso da aplicação web desenvolvida, é acionado sempre que ocorre o clique do mouse dentro da área delimitada para o desenvolvimento das redes de Petri.

referencia: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Element/mousedown_event

mouseup

referencia: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Element/mouseup_event

Explicar aqui os eventos *mousedown*, *mousemove* e *mouseup*

3.3 Criação dos elementos

Criação dos lugares

Para a criação dos lugares foi criado um primeiro botão através do arquivo *index.html*. No momento em que se pressiona o botão **AddPlace** a função *buttonAddPlace* é chamada e seu script é executado. Nessa função, a variável global **buttonPress** sofre a alteração de seu valor, caso seu valor seja diferente de **1**, o valor **1** é atribuído, do contrário seu valor retorna para zero.

```
1 function buttonAddPlace() {  
2     cleanVariables();  
3     if (buttonPress != 1) {  
4         buttonPress = 1;  
5     }  
6     else {  
7         buttonPress = 0;  
8     }  
9 }
```

Código 3.2 – Função buttonAddPlace

Quando **buttonPress = 1** espera-se que o usuário clique na área demarcada para a construção de sua rede de Petri. No momento do clique, o evento *mousedown* é detectado e seu script é executado. No script do evento *mousedown* se faz uma verificação do valor da variável **buttonPress**. Como o valor atribuído é **1** se faz uma chamada da função *addPlace* passando-se os valores *mouseX* e *mouseY*.

```
1 if (buttonPress == 1) {  
2     addPlace(mouseX, mouseY);  
3     buttonPress = 0;  
4 }
```

Código 3.3 – Chamada da função addPlace

Na função *addPlace* se constroi um objeto (*objPlace*) com as seguintes propriedades:

1. **id**: representa a identidade única que irá identificar esse objeto ao longo de todo o código;
2. **name**: semelhante ao id, mas editável pelo usuário. Esse é o valor mostrado na tela quando se cria o objeto lugar;

3. **namePositionX**: indica o valor do eixo X em que o *name* do objeto se encontra na tela;
4. **namePositionY**: indica o valor do eixo Y em que o *name* do objeto se encontra na tela;
5. **posX**: indica o valor do eixo X em que o objeto se encontra na tela;
6. **posY**: indica o valor do eixo X em que o objeto se encontra na tela;
7. **connections**: array que identifica quais outros objetos estão ligados a ele;
8. **nTokens**: identifica quantos *tokens* o objeto lugar possui.

Após a definição desses valores no *objPlace* se faz a inserção do mesmo no *arrayPlaces*, em que se encontra todos os outros objetos de mesmas propriedades. Também se faz o acréscimo de **1** na contagem de quantos lugares existem até o momento.

```
1 function addPlace(mouseX, mouseY) {  
2     objPlace = {  
3         id: `place ${nPlaces + 1}`,  
4         name: `place ${nPlaces + 1}`,  
5         namePositionX: mouseX - 20,  
6         namePositionY: mouseY - 35,  
7         posX: mouseX,  
8         posY: mouseY,  
9         connections: [],  
10        nTokens: 0  
11    }  
12    arrayPlaces.push(objPlace);  
13    nPlaces += 1;  
14 }
```

Código 3.4 – Função addPlace

Posteriormente a execução da função *addPlace*, o valor da variável *buttonPress* é atribuído como **0**.

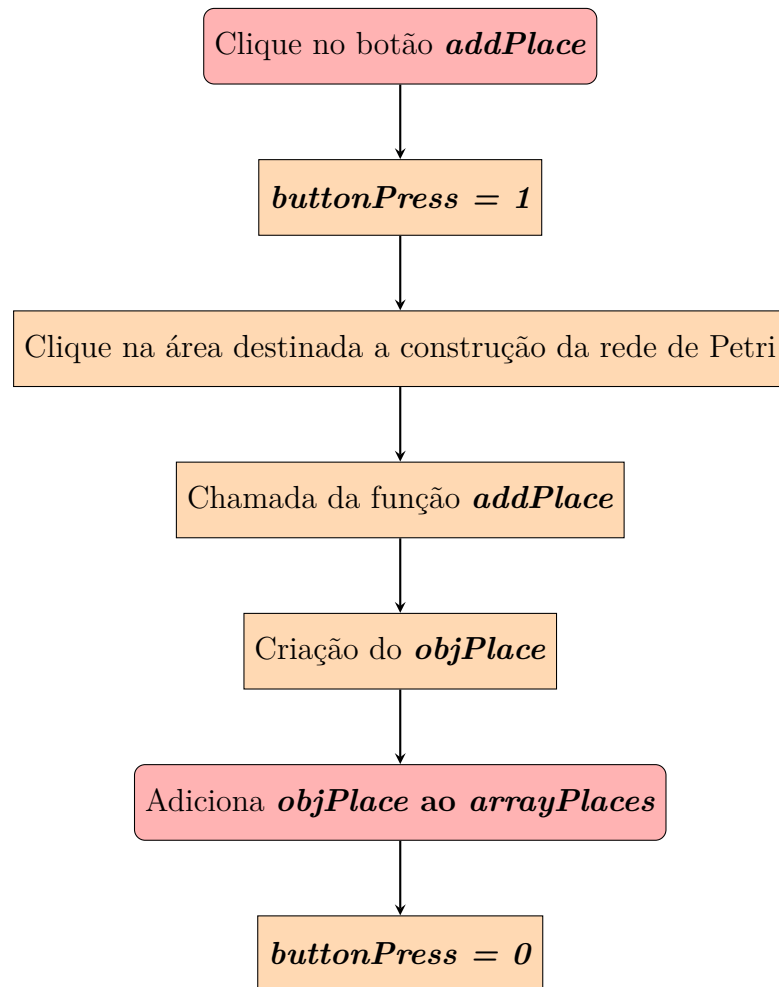


Figura 14 – Diagrama de fluxo para adicionar um lugar

Para facilitar a visualização no momento da adição do lugar, um efeito sombreado, representando o lugar, é mostrado enquanto se movimenta o mouse, antes do clique na tela, na área destinada a construção da rede de Petri, conforme a imagem abaixo:

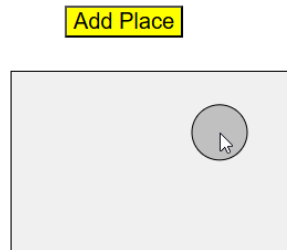


Figura 15 – Clique no botão addPlace

Criação das transições

De modo semelhante a criação de lugares, temos um segundo botão, criado através do arquivo *index.html*, denominada **Add Transition**. Seu modo de funcionamento é análogo ao botão **Add Place**. No momento de seu clique, a função **buttonAddTransition()** é chamada. Suas orientações também alteram o valor da variável global **buttonPress**. Quando seu valor é diferente de 2, o valor 2 é atribuído, caso contrário o valor retorna para zero.

```
1 function buttonAddTransition() {  
2     cleanVariables()  
3     if (buttonPress != 2) {  
4         buttonPress = 2  
5     }  
6     else {  
7         buttonPress = 0  
8     }  
9 }
```

Código 3.5 – Função buttonAddTransition

No momento do clique do botão **Add Transition** espera-se que o usuário faça um clique na área destinada a construção da rede de Petri. Dessa forma, fazendo o clique, uma transição é adicionada na mesma posição em que ocorreu o clique. Nesse momento, o evento **mousedown** é chamado e se faz uma verificação do valor da variável **buttonPress**. Como o valor é igual a 2, a função **addTransition()** é chamada, passando-se os valores **mouseX** e **mouseY**.

```
1 if (buttonPress == 2) {  
2     addTransition(mouseX, mouseY);  
3     buttonPress = 0;  
4 }
```

Código 3.6 – Chamada da função `addTransition()`

Na função `addTransition()` se constrói um objeto ***objTransition*** com as seguintes propriedades:

1. **id**: representa a identidade única da transição que irá identificar esse objeto ao longo de todo o código;
2. **name**: semelhante ao id, mas editável pelo usuário. Esse é o valor mostrado na tela quando se cria o objeto transição;
3. **namePositionX**: indica o valor do eixo X em que o ***name*** da transição se encontra na tela;
4. **namePositionY**: indica o valor do eixo Y em que o ***name*** da transição se encontra na tela;
5. **posX**: indica o valor do eixo X em que a transição se encontra na tela;
6. **posY**: indica o valor do eixo Y em que a transição se encontra na tela;
7. **connections**: array que identifica quais outros objetos estão ligados a essa transição;
8. **isEnabled**: valor booleano que indica se as exigências para ativação da transição foram cumpridas.

Após as definições desses valores no ***objTransition*** se faz a inserção do mesmo no ***arrayTransitions***, em que se encontra todas as outras transições de mesmas propriedades. Também se faz o acréscimo de **1** na contagem de quantas transições existem até o momento.

```
1 function addTransition(mouseX, mouseY) {  
2     objTransition = {  
3         id: `transition ${nTransitions + 1}`,  
4         name: `T${nTransitions + 1}`,  
5         namePositionX: mouseX - 20,  
6         namePositionY: mouseY - 35,  
7         posX: mouseX - transitionWidth / 2,  
8         posY: mouseY - transitionHeight / 2,  
9         connections: [],
```

```
10     isEnabled: false
11   }
12   arrayTransitions.push(objTransition);
13   nTransitions += 1;
14 }
```

Código 3.7 – Função addTransition()

Posteriormente a execução da função *addTransition()*, o valor da variável *buttonPress* é atribuído como *0*

Para facilitar a visualização no momento de adição da transição, o botão pressionado permanece na cor amarela enquanto o clique na tela não ocorre para adição da transição. Além disso, um efeito sombreado, em forma de uma transição acompanha o cursor do mouse enquanto não há o clique, conforme imagem abaixo:

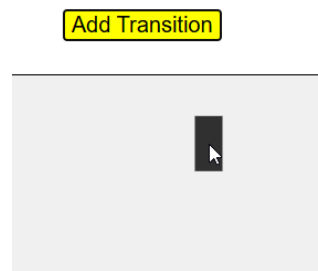


Figura 16 – Clique no botão Add Transition

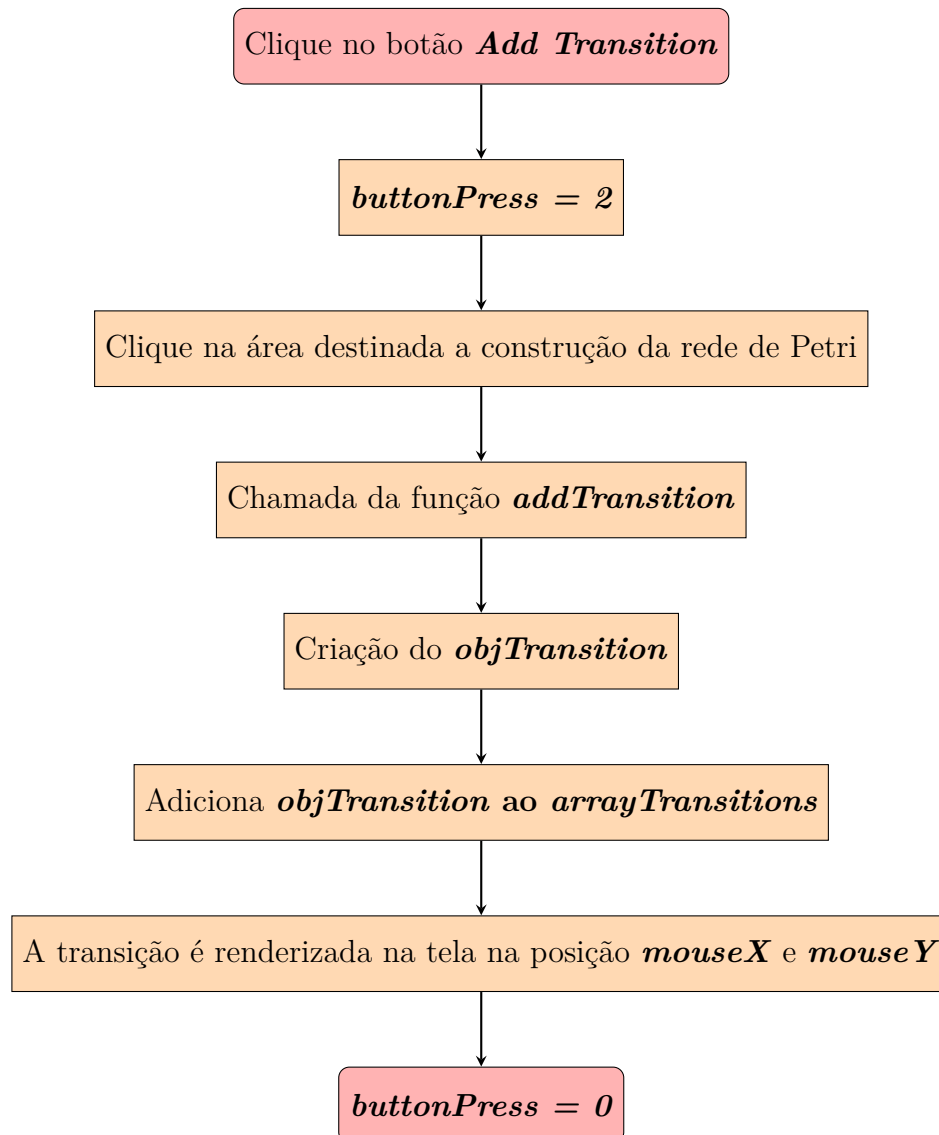


Figura 17 – Diagrama de fluxo para adicionar uma transição

Criação dos arcos

Para a criação dos arcos foram desenvolvido dois novos botões, denominados **Add Arc**, para a criação de arcos normais, e **Add Inh Arc**, para a criação de arcos inibidores. No momento do clique, eles desempenham funções semelhantes, diferenciando-se apenas pela valor da variável **buttonPress** e **arcType**. O papel dessas variáveis é indicar o botão que foi pressionado e o tipo de arco selecionado. Além disso, a variável booleana **drawArc** recebe o valor **true** indicando que um arco será desenhado na tela.

```
1 function buttonAddArc() {  
2     cleanVariables();  
3     if (buttonPress != 3) {  
4         buttonPress = 3;  
5         drawArc = true;  
6     }  
7     arcType = "normal";  
8 }
```

Código 3.8 – Botão Add Arc

```
1 function buttonAddInhArc() {  
2     cleanVariables()  
3     if (buttonPress != 4) {  
4         buttonPress = 4  
5         drawArc = true  
6     }  
7     arcType = "inhibitor"  
8 }
```

Código 3.9 – Botão Add Inh Arc

No momento de acionamento de algum desses dois botões espera-se que o usuário inicie o desenho de um arco. Para isso, inicialmente ele deve selecionar o ponto inicial do desenho desse arco. Para arcos normais, o ponto inicial pode ser tanto um lugar, quanto por uma transição. Para os arcos inibidores, o ponto inicial deve ser obrigatoriamente um lugar, não é possível iniciar o desenho de um arco inibidor a partir de uma transição. Quando o usuário faz o primeiro clique, posterior ao clique do botão, o evento **mousedown** é ativado e a verificação da variável **buttonPress** é verificado. Caso **buttonPress** seja igual a **3** ou **4** a função **addArc** é chamada. Como o valor da variável **buttonPress** não se altera ao longo do desenho do arco, sempre que há um clique na tela, há a chamada da função **addArc**.

A cada chamada da função ***addArc*** se faz uma verificação de algumas variáveis temporárias que auxiliam a construção dos arcos, são elas:

1. ***startingPositionArc***: array que indica o ponto inicial, nos eixos X e Y da tela, do arco, além de conter o id do item em que o arco se inicia;
2. ***intermediatePoints***: array que indica todos os pontos, nos eixos X e Y da tela, depois do ponto inicial e antes do ponto final;
3. ***endPositionArc***: array que indica o ponto final, nos eixos X e Y da tela, do arco, além de conter o id do item em que o arco termina.

A primeira verificação que se faz na função ***addArc*** é a existência de pontos intermediários. Para essa verificação analisamos o tamanho do array ***startingPositionArc*** e ***endPositionArc***. Se o primeiro for maior que 0, e o último igual a 0, significa que o clique foi feito para a construção de um ponto intermediário arco. Dessa forma, se faz uma inserção no array ***intermediatePoints*** da posição dos eixos X e Y, passando-se os valores das variáveis ***mouseX*** e ***mouseY***.

```

1 if (startingPositionArc.length > 0 && endPositionArc.length ==
    0) {
2     intermediatePoints.push([mouseX, mouseY]);
3 }

```

Código 3.10 – Verificação de pontos intermediários

Caso a condição anterior não seja atendida, se entende que o ponto ***X*** e ***Y*** não representa um ponto intermediário do arco. Posteriormente, se percorre os arrays ***arrayPlaces*** e ***arrayTransition***. Para cada uma das posições de ambos os arrays se faz a verificação, através das funções ***isInsidePlace*** e ***isInsideTransition***, se o clique do mouse ocorreu dentro de algum dos lugares ou transições que estão dispostas na tela. Caso o clique ocorra dentro de algum desses dois elementos, o ponto ***X*** e ***Y*** será gravado na variável ***startingPositionArc***, juntamente com o ***id*** do elemento em que o arco se iniciou.

Para lugares

Caso a chamada da função ***isInsidePlace*** retorne ***true*** e a variável ***startingPositionArc*** não contenha nenhum valor, o ponto inicial, com os eixos ***X*** e ***Y*** e o id do lugar, são gravados nas propriedades do arco. Além disso, no lugar em quem o arco se iniciou, insere-se a informação de que aquele arco se iniciou ali. A variável auxiliar ***typeElement*** também recebe o valor ***"place"***, para indicar que aquele arco se iniciou num lugar.

Caso a verificação anterior não seja atendida, se faz uma nova verificação. Se a chamada da função *isInsidePlace* retornar *true* e a variável *typeElement* contiver o valor *"transition"*, quer dizer que o arco se iniciou em uma transição, e agora está finalizando em um lugar. Com isso, se adiciona o valor *X* e *Y* do clique e o *id* do lugar em que o arco está finalizando na variável *endPositionArc* que, posteriormente, será adicionado nas propriedades do arco. O lugar recebe a informação de que esse arco finalizou nele.

Com a finalização do arco, a variável *drawArc* recebe o valor *false* e a *typeElement* recebe *null*

```

1 for (var place of arrayPlaces) {
2     isInsidePlace = insidePlace(mouseX, mouseY, place.posX,
3         place.posY);
4     posEdge = adjustedPositionArcPlace(mouseX, mouseY, place.
5         posX, place.posY);
6     posEdge.push(place.id);
7     if (isInsidePlace && startingPositionArc.length == 0) {
8         startingPositionArc.push(posEdge);
9         place.connections.push(`Start Arc ${nArcs + 1}`);
10        start = place.id;
11        typeElement = "place";
12    }
13    else if (isInsidePlace && typeElement == "transition") {
14        endPositionArc.push(posEdge);
15        place.connections.push(`Finish Arc ${nArcs + 1}`);
16        end = place.id;
17        drawArc = false;
18        typeElement = null;
19    }
20 }

```

Código 3.11 – Construção de arco verificando os lugares

Para transições

Caso a chamada da função *isInsideTransition* retorne *true* e a variável *startingPositionArc* não contenha nenhum valor, o ponto inicial, com os eixos *X* e *Y* e o id da transição, são gravados nas propriedades do arco. Além disso, na transição em quem o arco se iniciou, insere-se a informação de que aquele arco se iniciou ali. A variável auxiliar *typeElement* também recebe o valor *"transition"*, para indicar que aquele

arco se iniciou numa transição.

Caso a verificação anterior não seja atendida, se faz uma nova verificação. Se a chamada da função *isInsideTransition* retornar *true* e a variável *typeElement* contiver o valor *"place"*, quer dizer que o arco se iniciou em um lugar, e agora está finalizando em uma transição. Com isso, se adiciona o valor *X* e *Y* do clique e o *id* da transição em que o arco está finalizando na variável *endPositionArc* que, posteriormente, será adicionado nas propriedades do arco. A transição recebe a informação de que esse arco finalizou nele.

Com a finalização do arco, a variável *drawArc* recebe o valor *false* e a *typeElement* recebe *null*

```

1 for (var transition of arrayTransitions) {
2     isInsideTransition = insideTransition(mouseX, mouseY,
3         transition.posX, transition.posY);
4     mouseXY = [mouseX, mouseY, transition.id];
5     if (isInsideTransition && startingPositionArc.length == 0
6         && arcType == "normal") {
7         startingPositionArc.push(mouseXY);
8         transition.connections.push(`Start Arc ${nArcs + 1}`);
9         start = transition.id;
10        typeElement = "transition";
11    }
12    else if (isInsideTransition && typeElement == "place") {
13        endPositionArc.push(mouseXY);
14        transition.connections.push(`Finish Arc ${nArcs + 1}`);
15        end = transition.id;
16        drawArc = false;
17        typeElement = null;
18    }
19 }

```

Código 3.12 – Construção de arco verificando as transições

Criando o arco com as propriedades

Quando as variáveis temporárias *startingPositionArc* e *endPositionArc* apresentam valores atribuídos significa que todas as propriedades para se construir um arco estão satisfeitas, são elas:

1. **id**: representa a identidade única do arco que irá identificar esse objeto ao longo de todo o código;

2. **name:** identificador visual e textual do arco na tela;
3. **type:** indica o tipo do arco, se ele é do tipo normal ou inibidor;
4. **startingPositionArc:** indica o valor dos eixos X e Y em que o arco se inicia;
5. **endPositionArc:** indica o valor dos eixos X e Y em que o arco finaliza;
6. **start:** indica o id do elemento em que o arco se inicia;
7. **end:** indica o id do elemento em que o arco finaliza;
8. **intermediatePoints:** cada posição representa o valor dos eixos X e Y de um ponto intermediário do arco;
9. **isEnabled:** valor booleano que indica se as exigências para ativação daquele arco estão satisfeitas.
10. **weight:** indica o peso do arco.
11. **weightPos:** indica o valor dos eixos X e Y em que o peso do arco será mostrado na tela.

Tendo essas propriedades definidas se faz a adição do arco no *arrayArcs*. Por fim, as variáveis temporárias são atribuídas com valores nulos para que o próximo arco possa ser construído.

```
1
2 if (startingPositionArc.length > 0 && endPositionArc.length >
3     0) {
4     intermediatePoints.pop();
5     objArc = {
6         id: `Arc ${nArcs + 1}`,
7         name: `A${nArcs + 1}`,
8         type: arcType,
9         startingPositionArc: startingPositionArc,
10        endPositionArc: endPositionArc,
11        start: start,
12        end: end,
13        intermediatePoints: intermediatePoints,
14        isEnabled: false,
15        weight: 1,
16        weightPos: {x: null, y: null}
17    }
```

```
17     arrayArcs.push(objArc);
18     nArcs += 1;
19     startingPositionArc = [];
20     endPositionArc = [];
21     intermediatePoints = [];
22     start = null;
23     end = null;
24 }
```

Código 3.13 – Criando o arco com as propriedades

3.4 Movimentando elementos na tela

3.5 Exclusão

Deletando elementos

Deletando a rede por completo

3.6 Salvando e carregando a rede

3.7 Simulação da rede

3.8 Publicação do projeto online

4 Considerações Finais

Escrever aqui sobre as expectativas futuras. Pode-se colocar aquilo que ainda pode ser desenvolvido na aplicação, como: redes coloridas, estocásticas, desenvolvimento de uma interface mais agradável, dentre outras melhorias

Falar aqui sobre criação de uma tela de login, e banco de dados para armazenamento das redes de petri criadas. Melhorias de interface como adicionar um texto explicando o que o usuário deve fazer quando executa uma ação.

Referências

BOYLE, Robert. *The works of the Honourable Robert Boyle*. Edição: Thomas Birch. London: J. e F. Rivington, 1772. 6 v. 1062 p. Disponível em: <http://bit.ly/boyle-works>. Citado 0 vez nas páginas 11, 12.

CASSANDRAS, Christos G.; LAFORTUNE, Stéphane. *Introduction to Discrete Event Systems*. 2. ed. New York: Springer, 2008. ISBN 978-0-387-33332-8. DOI: [10.1007/978-0-387-68612-7](https://doi.org/10.1007/978-0-387-68612-7). Citado 1 vez nas páginas 13–15.

COUTINHO, Luciano. A terceira revolução industrial e tecnológica. As grandes tendências das mudanças. *Economia e sociedade*, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Economia, v. 1, n. 1, p. 69, 1992. Citado 1 vez na página 13.

FRANCÊS, Carlos Renato Lisboa. Introdução às redes de petri. *Laboratório de Computação Aplicada, Universidade Federal do Pará*, 2003. Citado 1 vez na página 17.

LINS, Bernardo Felipe Estellita. A evolução da Internet: uma perspectiva histórica. *Cadernos Aslegis*, v. 48, p. 11–45, 2013. Citado 1 vez na página 9.

MDN WEB DOCS. *Element: mousedown event - Web APIs / MDN*. 2024. Accessed: 2025-05-22. Disponível em: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Element/mousedown_event. Citado 1 vez na página 23.

MDN WEB DOCS. *Element: mousemove event - Web APIs / MDN*. 2024. Accessed: 2025-05-22. Disponível em: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Element/mousemove_event. Citado 1 vez na página 22.

PETRI, Carl. *Kommunikation mit Automaten*. 1962. Tese (Doutorado) – TU Darmstadt. Citado 1 vez na página 9.