



**Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática (CEEI)  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)**

**Disciplina: Sistemas a Eventos Discretos**

# **Sistema de Controle de Tráfego para um Cruzamento de Quatro Vias Utilizando a Ferramenta Supremica**

**Equipe:**

Julia Ramalho Costa Souza  
Samara Lima Cardoso  
William Henrique Azevedo Martins

**Abril de 2024**

---

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	3
2. Semáforos: Veículos.....	4
2.1. Planta.....	4
2.2. Especificações.....	5
2.2.1. Especificação para Semáforos de Veículos.....	5
2.2.2. Especificação para Emergência.....	6
3. Semáforos: Pedestres.....	8
3.1. Planta.....	8
3.2. Especificação.....	10
4. Supervisor.....	11

## 1. Introdução

O controle eficiente do tráfego é importante para garantir a segurança e a fluidez nas vias públicas, especialmente em cruzamentos movimentados. Sistemas de controle de tráfego automatizados desempenham um papel fundamental na otimização do fluxo de veículos e pedestres, minimizando os congestionamentos e reduzindo o risco de acidentes. Uma abordagem eficaz para essa gestão é a utilização de técnicas de modelagem e controle.

O *Water Supremica* é uma ferramenta de modelagem e síntese de sistemas de controle baseados em autômatos finitos. Ao implementar um sistema de controle de tráfego neste ambiente, começamos pela modelagem do comportamento dos semáforos utilizando autômatos finitos. Cada estado representa uma configuração específica dos semáforos.

Em seguida, definimos as especificações de controle, que incluem regras para evitar colisões de veículos, garantir a segurança dos pedestres, reduzir o tempo de espera e permitir a passagem de veículos de emergência. Essas especificações são formalizadas como requisitos que o sistema deve atender, sendo elas:

- Evitar colisão dos veículos permitindo a travessia deles em 3 direções (direita, reto e esquerda), garantindo que apenas um dos sinais abra por vez.
- Evitar a colisão com pedestres, garantindo que S1, S2, S3 e S4 estejam simultaneamente fechados durante o tráfego dos pedestres.
- Reduzir o tempo de espera dos pedestres dando prioridade para a sua circulação quando necessário.
- Se detectados veículos de emergência, o sistema precisa conceder-lhes passagem na via em que eles se encontram, interrompendo o ciclo regular de funcionamento dos semáforos caso necessário.

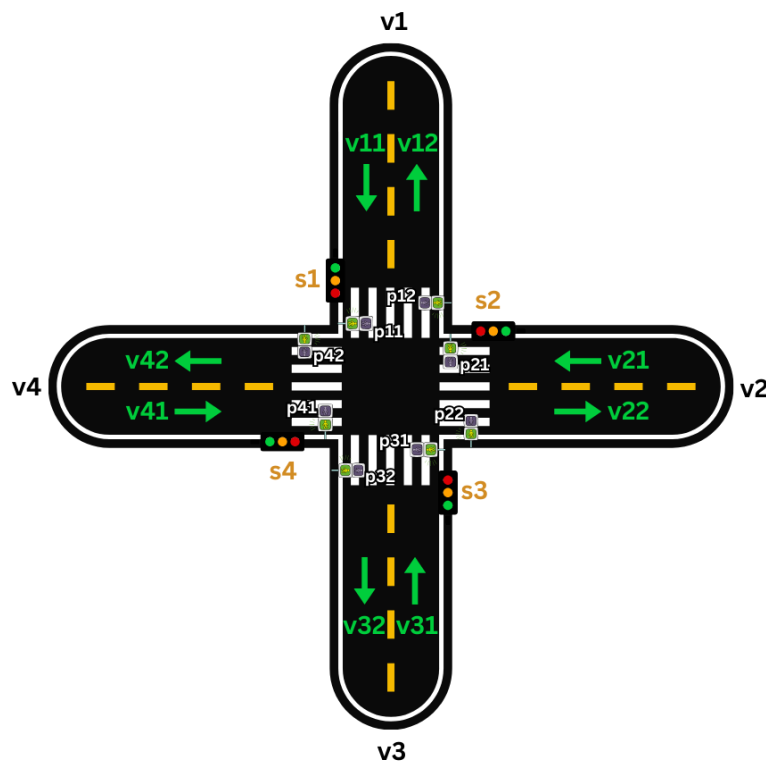


Figura 1. Visão Geral do Cruzamento

Com essas especificações, o *Water Supremica* foi utilizado para construir duas plantas distintas: uma para o comportamento dos semáforos dos carros e outra para o comportamento dos semáforos dos pedestres. Além disso, foram criadas especificações detalhadas para definir as regras de controle que as plantas devem seguir. Em seguida, sintetizamos um supervisor, que é um modelo combinado com a planta, garantindo que o comportamento resultante satisfaça todas as especificações de controle.

## 2. Semáforos: Veículos

### 2.1. Planta

O autômato que descreve o comportamento dos semáforos pode ser inicialmente definido de acordo com a cor de sinalização, sendo elas: verde (G), vermelho (R) e amarelo (Y). Um autômato com essa definição é capaz de controlar a sinalização individual de cada semáforo, de tal modo que os eventos de transições as levam indefinidamente de um estado para o outro. É considerado que cada semáforo (S1, S2, S3, S4) são construtivamente independentes entre si, e seus estados são modelados do seguinte modo:

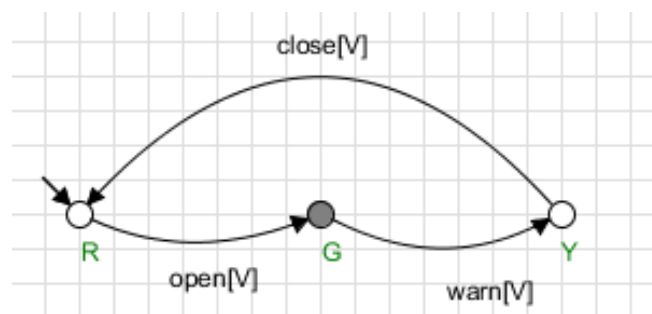


Figura 2. Visão Geral do Cruzamento

Nesse sentido, o evento *open* leva o sinal do estado **R** para o estado **G**, e após um certo intervalo de tempo o evento **warn** ativa o estado **Y**, e por fim o evento **close** faz a transição para o estado **R**. Os autômatos de sinalização das quatro vias são idênticos, e seus eventos são indexados conforme ilustrado na figura em que **V** assume os valores respectivos a via em que a sinalização encontra-se.

Um dos comportamentos fundamentais do sistema é assegurar que apenas uma sinalização seja acionada por vez, com o objetivo de garantir a circulação segura de veículos na via. Isso significa que quando uma via estiver liberada, todas as outras devem estar bloqueadas, como demonstrado na figura 3. Assim, enquanto o semáforo V1 estiver aberto o controle não deve permitir que os outros semáforos abram (vias V2, V3 e V4), do mesmo modo para quando os das vias V2, V3 e V4 estiverem abertos.

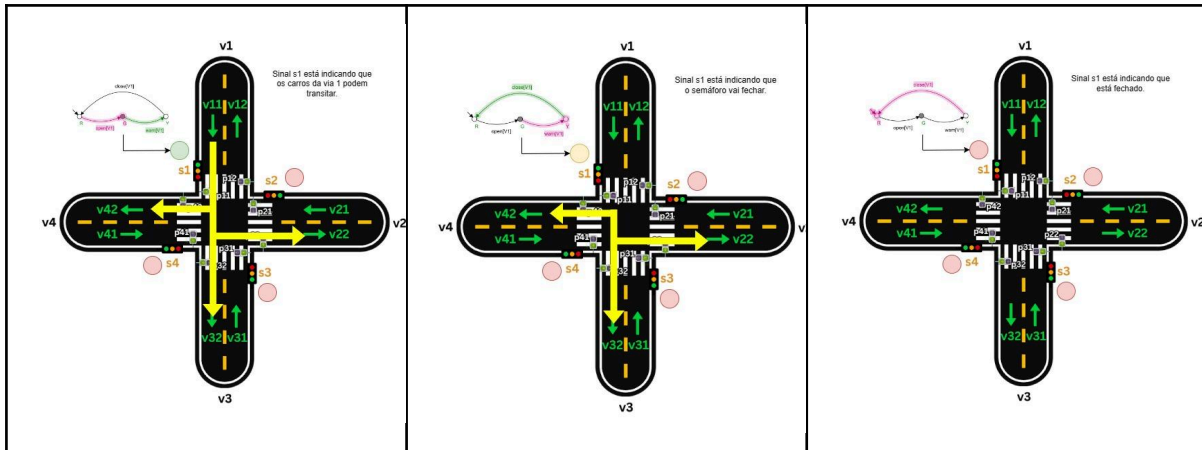


Figura 3. Esquema de circulação de veículos na Via 1 (V1).

## 2.2. Especificações

### 2.2.1. Especificação para Semáforos de Veículos

Para a especificação de controle dos semáforos, e visando o acionamento exclusivo de uma das vias, foram estabelecidos quatro estados distintos. O primeiro estado, denominado **closedForAll**, representa o momento em que todos os semáforos estão fechados, impedindo o fluxo de veículos em todas as vias. Os demais estados, **openV1** para a via 1, **openV2** para a via 2, **openV3** para a via 3 e **openV4** para a via 4, indicam que o sinal específico para aquela via está aberto, permitindo o tráfego de veículos.

Para garantir que cada sinal só possa ser aberto quando o outro estiver fechado, foram estabelecidos os eventos **open[V]** e **close[V]**, responsáveis pelo acionamento e desligamento dos semáforos. O evento **open[V]** só pode ocorrer se todos os sinais estiverem fechados, garantindo uma transição segura entre os estados e evitando conflitos no tráfego. O autômato correspondente a essa especificação pode ser visualizado na Figura 4.

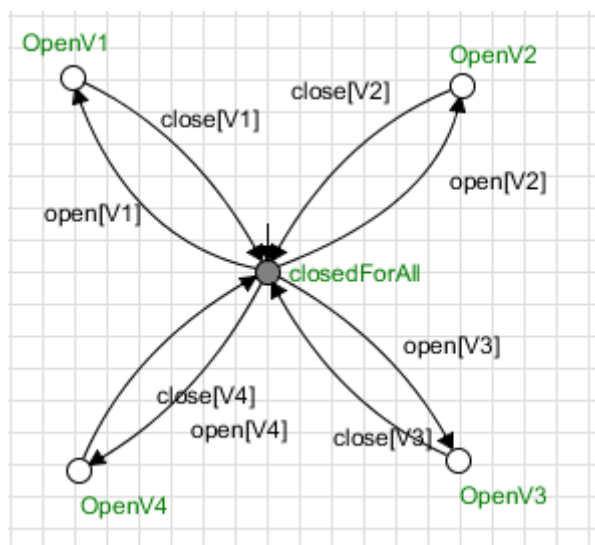


Figura 4. Especificação de controle dos semáforos para acionamento único de uma das vias.

### 2.2.2. Especificação para Emergência

A detecção de veículos de emergência como viaturas e ambulâncias introduz um comportamento dinâmico e inteligente capaz de adaptar-se em tempo real a situações adversas de urgência onde vidas humanas podem estar em jogo. Isto pode ser alcançável por meio do uso de câmeras posicionadas com campo de visão ao longo da via nas proximidades do cruzamento.

A abordagem por câmeras permite que o sistema opere apenas com informações locais, e baixa latência de resposta, reduzindo ou eliminando dependências de conectividade, consumo de banda e/ou a necessidade de acessar sistemas externos. Assim, o sistema consegue responder mesmo durante falhas de conexão com servidores centralizados.

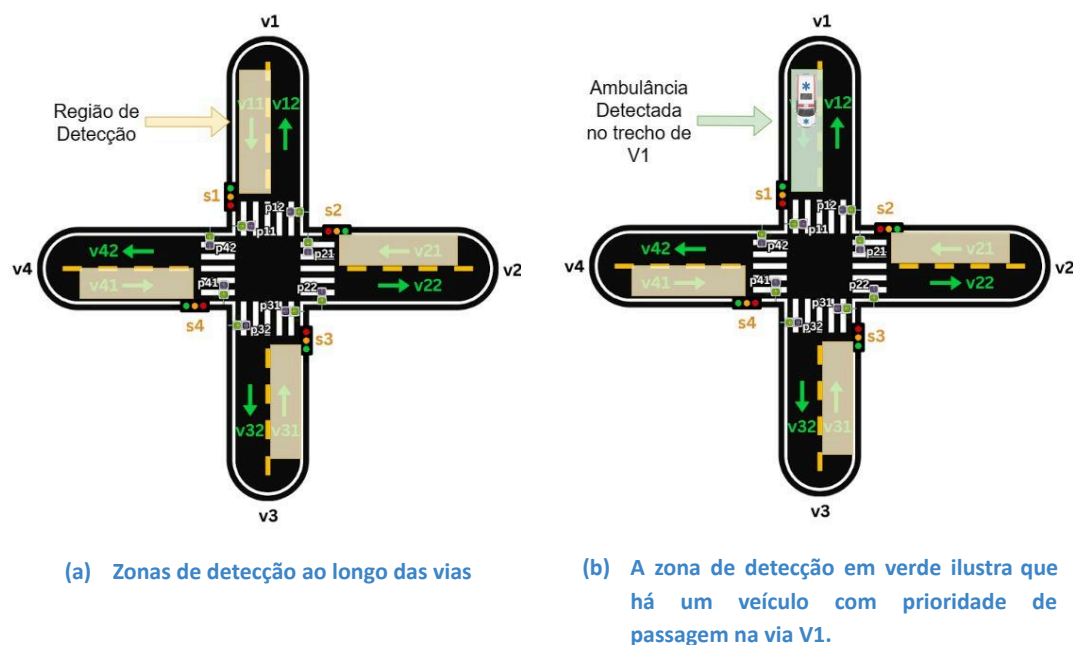


Figura 5. Esquema de detecção de veículo emergencial na via 1(V1).

O fluxograma de execução do sistema de detecção pode ser feito conforme a **Figura 6**. Inicialmente, o sistema deve inicializar as câmeras e qualquer outro recurso que seja necessário para o funcionamento do sistema, como a alocação de memória. Em seguida, o sistema entra um *loop* de aquisição de imagens das câmeras instaladas, em que as imagens são pré-processadas para que seja possível delimitar as regiões de detecção desejáveis e corrigir problemas de captura. Posteriormente, o algoritmo de detecção irá interpretar as informações coletadas de modo a inferir se há ou não a presença de veículos de emergência atuando. Se houver, o sistema irá registrar a presença desse veículo de tal modo que informe ao autônomo a presença do veículo como a emissão do evento **emergency**, o sistema irá verificar se o veículo conseguiu concluir o trajeto e por fim liberar o fluxo normal de veículos nas vias.

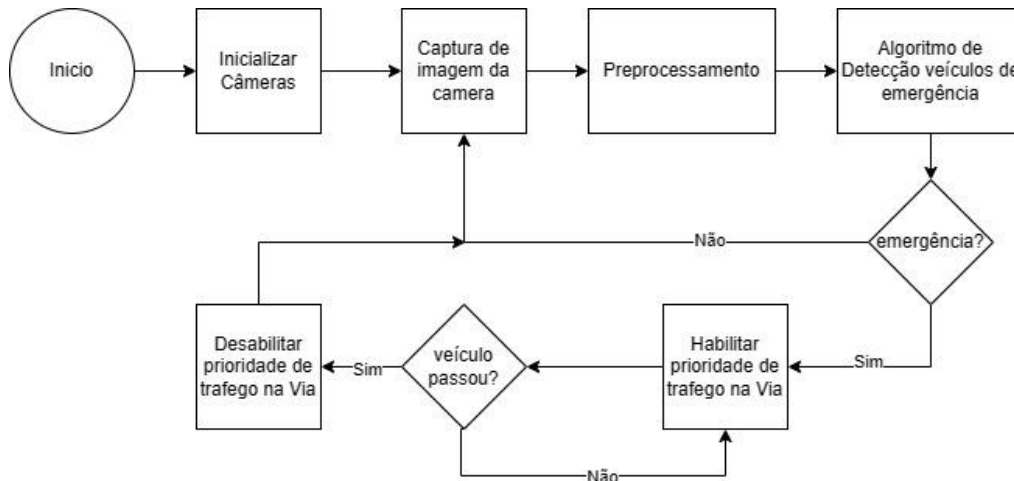


Figura 6. Fluxograma de execução do sistema de detecção

Para a construção do autômato, apresentado na Figura 7, de especificação de controle dos semáforos em caso de emergência, foram definidos nove estados. O estado inicial, denominado **closedForAll**, representa o momento em que todos os semáforos estão fechados, indicando condição normal de tráfego.

Dos nove estados, quatro deles, nomeados como **EmActivatedV1**, **EmActivatedV2**, **EmActivatedV3** e **EmActivatedV4**, representam a situação em que uma via específica está com um veículo de emergência e precisa ser priorizada. Estes estados são acionados pelos seus respectivos eventos **emergency[V]** e sinalizam que o semáforo da via correspondente deve ser ativado imediatamente para permitir a passagem do veículo de emergência com segurança. Os últimos 4 estados, nomeados como **OpenV1**, **OpenV2**, **OpenV3** e **OpenV4**, representam que o sinal específico para aquela via está aberto, permitindo o tráfego prioritário de veículo emergencial. O autômato correspondente a essa especificação pode ser visualizado na Figura 7.

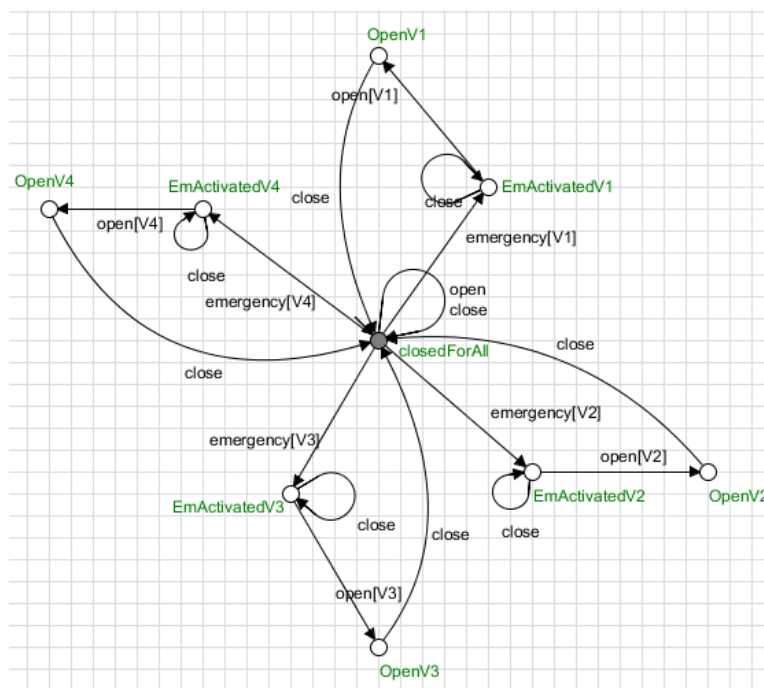


Figura 7. Autômato de especificação de controle dos semáforos em caso de emergência.

### 3. Semáforos: Pedestres

#### 3.1. Planta

Os sinais de trânsito que liberam a passagem dos pedestres possuem um funcionamento próprio, uma vez que eles são comandados por um evento não-controlável: o pressionamento do botão de passagem. Uma vez que o botão é pressionado, os semáforos S1, S2, S3 e S4 devem estar simultaneamente fechados para que os semáforos de pedestre p11, p12, p21, p22, p31, p33, p41 e p42 sejam habilitados. Assim, o sistema precisa recordar que o botão foi pressionado, desse modo pode-se considerar que o autômato da Figura 8.

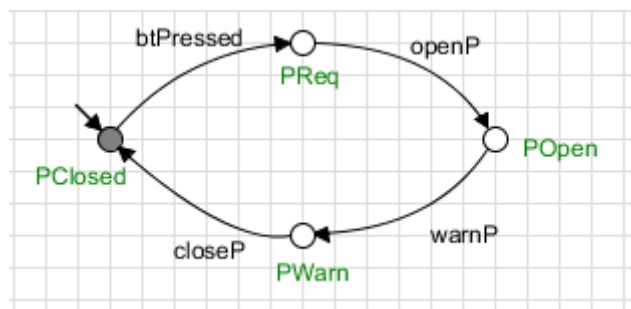
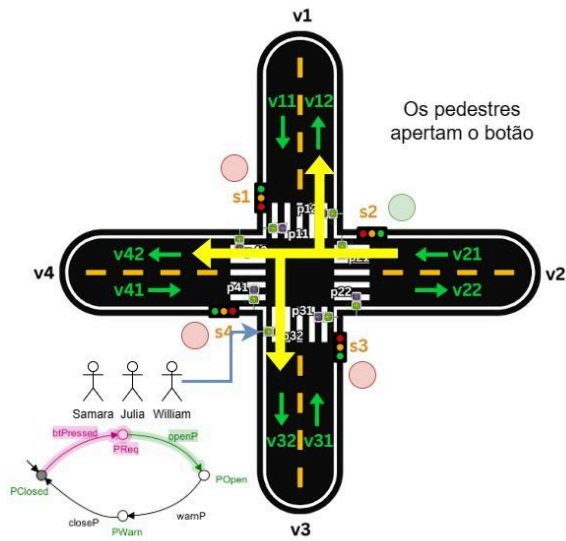


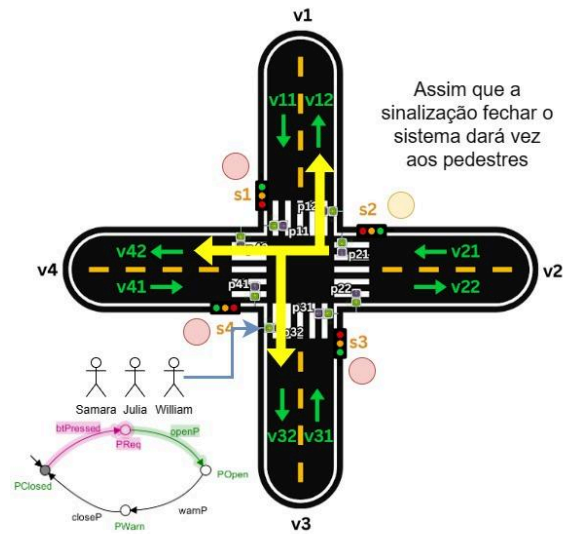
Figura 8. Planta do semáforo dos pedestres.

O estado inicial é o estado em que o semáforo se encontra fechado, representado por **PClosed**. uma vez que o botão é pressionado, o evento **btPressed** faz a transição para o estado de requisição **PReq**, e quando as condições estabelecidas forem atendidas, o evento **openP** leva o sistema o até o estado **POpen**, o qual simboliza a abertura dos semáforos dos pedestres. Em seguida, após o tempo que for estabelecido, o estado **PWarn** é acionado, fazendo com que o sinal pisque intermitentemente, sinalizando que seu fechamento está próximo. Após isso, finalmente retorna para o estado fechado.

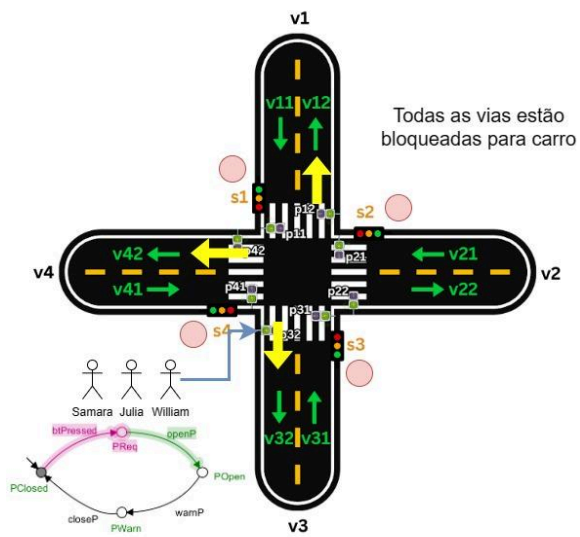




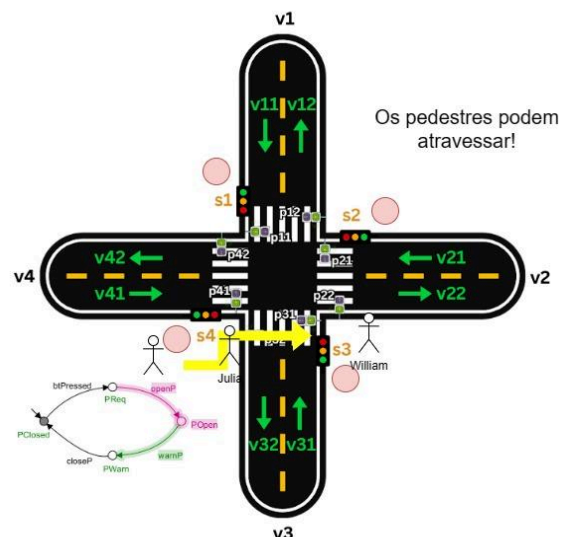
(a) Acionamento do botão, evento não controlável.



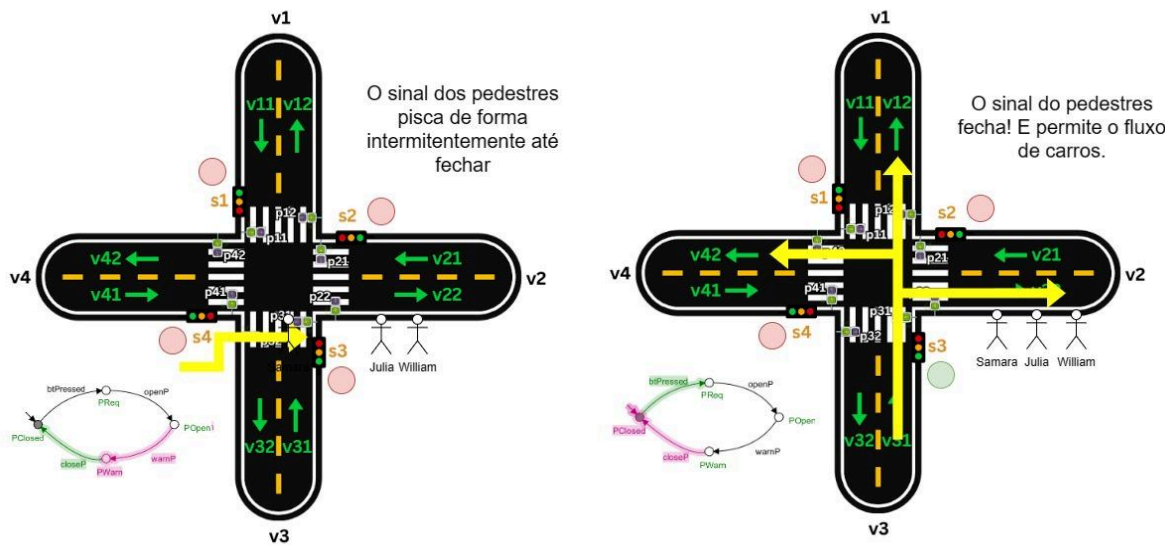
(b) Priorização dos pedestres.



(c) Fechamento das vias dos carros.



(d) Sinal é acionado como verde para os pedestres.



(e) O sinal é acionado com atenção para os pedestres.

(f) O sinal dos pedestres é bloqueado.

Figura 9. Esquema comportamental da interação entre o semáforo dos pedestres e dos veículos.

### 3.2. Especificação

Para a construção do autômato de especificação de controle do semáforo dos pedestres, pode-se definir o diagrama de estados apresentado na Figura 10. As transições admissíveis do controlador são em geral controláveis, com exceção do pressionar dos botões de pedestre, assim, o sistema deve evitar que o sinal verde habilite a qualquer momento após o pressionar do botão, seguindo as seguintes regras:

1. O controlador não deve intervir nos semáforos de tráfegos de veículos quando não houver uma requisição (pedestre pressionando o botão).
2. Caso o botão seja pressionado, e algum semáforo estiver na cor verde ou amarela, o sistema irá aguardar até que ocorra o fechamento do semáforo para então permitir que o sinal para os pedestres seja acionado (permitir o fluxo de pedestres).

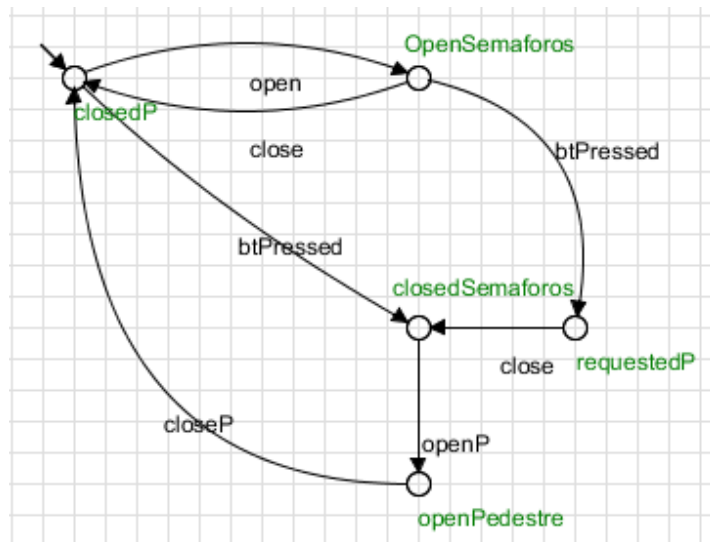


Figura 10. Especificação de controle para o semáforo dos pedestres.

As transições entre o estado inicial e **OpenSemaforos** evitam que a associação paralela resulte em transições não definidas com os demais controladores uma vez que eles compartilham transições em comum. Ainda, neste caso pode-se afirmar que o comportamento da especificação exposta na Figura 4 é incorporada a esse autômato, já que ao partir do estado **closeP** por meio da transição **open[V]** chega-se ao estado **OpenSemaforos**, que por sua vez retorna para **closeP** com a ocorrência do evento **close[V]**. Caso estes fossem substituídos por um *loop* com transição para a ocorrência dos eventos **close** e **open**, o comportamento anterior não seria visto.

## 4. Supervisor

Com as plantas e as especificações de controle, o *Water Suprema* foi utilizado para a síntese de um supervisor, que é um modelo que, quando combinado com a planta, garante que o comportamento resultante satisfaça todas as especificações de controle. O *Water Suprema* automatiza esse processo, identificando os eventos que devem ser desabilitados para prevenir comportamentos indesejados e garantindo que o sistema opere de acordo com as regras estabelecidas.

Ademais, *Suprema* permite a verificação e validação do supervisor resultante, garantindo que ele atenda às especificações de controle em todas as condições possíveis. Também é possível simular o comportamento do sistema controlado pelo supervisor sintetizado para avaliar seu desempenho em diferentes cenários de tráfego e identificar possíveis melhorias.

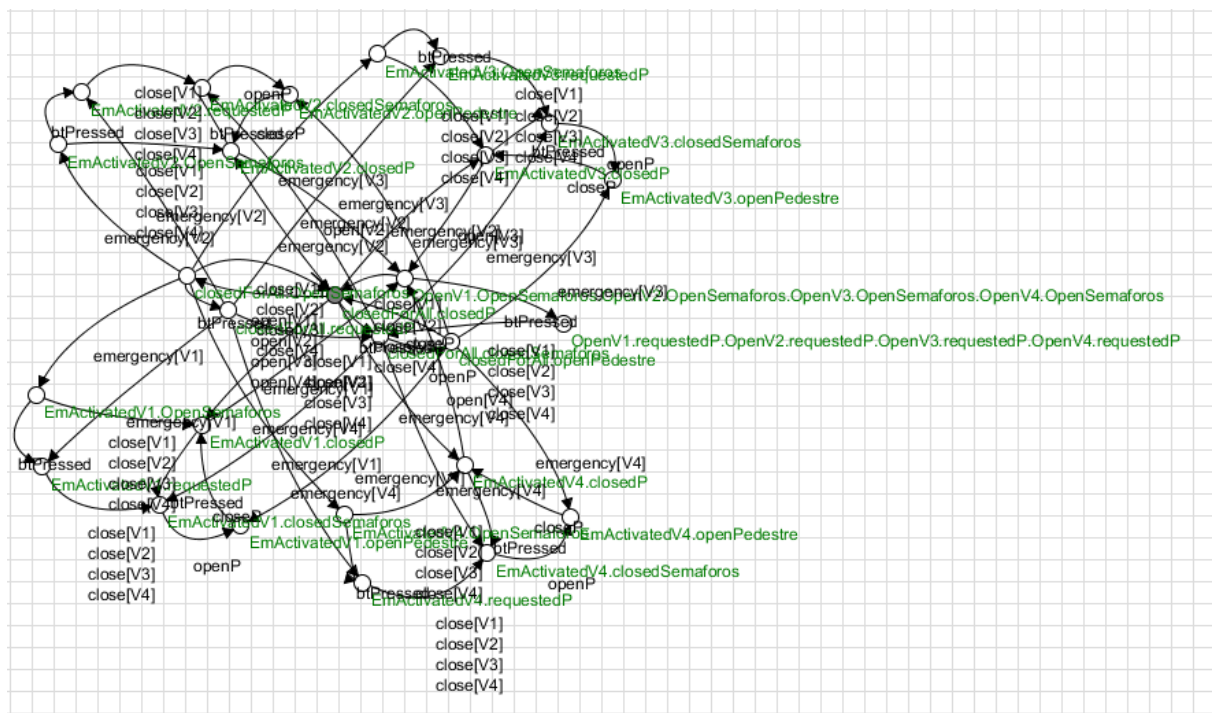


Figura 11. Supervisor do sistema.

Name	Type	Q	Σ	→
controle	Specification	5	8	8
controleEmergencia	Specification	9	12	48
controlePedestre	Specification	5	11	16
min(sup(controleEmer...	Supervisor	27	15	97
semaforo[V1]	Plant	3	3	3
semaforo[V2]	Plant	3	3	3
semaforo[V3]	Plant	3	3	3
semaforo[V4]	Plant	3	3	3
semaforoPedestre	Plant	4	4	4

Figura 12. Analyser do sistema