

OTIMIZAÇÃO INTELIGENTE DE TEMPOS SEMAFÓRICOS EM REDE URBANA POR ALGORITMO GENÉTICO E SIMULAÇÃO DE FLUXO VEICULAR

Emanoel Spanhol^{1*}

¹Centro Universitário UniSENAI - Blumenau

1. Introdução

O controle semafórico ineficiente em vias urbanas resulta em congestionamentos significativos e degradação da mobilidade [1, 4]. Em locais de tráfego assimétrico, como o entorno do SENAI Blumenau, a utilização de tempos semafóricos estáticos e sem otimização agrava a formação de filas e gera gargalos contínuos de trânsito [1]. O presente problema analisa uma rede de seis semáforos (S1 a S6) estruturados em sequência, onde todos operam com tempos de verde iguais (60 segundos) e vermelho idêntico (90 segundos), a despeito de receberem volumes veiculares amplamente divergentes. O resultado direto desta configuração é a retenção ociosa de fluxo nas vias, penalizando interseções críticas. Para superar tal ineficiência, este artigo propõe a modelagem e otimização automatizada desta rede empregando um Algoritmo Genético (AG) acoplado a uma simulação de fluxo veicular de eventos discretos [2, 3]. O objetivo central é redistribuir o tempo de sinal verde de forma heurística, minimizando a área total de fila de veículos e elevando o escoamento.

2. Experimento e teoria

A rede foi modelada contemplando três cruzamentos principais e mutuamente dependentes (Pares A: S1/S2; Par B: S3/S6; Par C: S4/S5), localizados nas vias Av. Martin Luther, R. Antônio da Veiga e Oscar Leitão.



Fig. 1. Lista de semáforos e divisão em cada cruzamento.

Estrutura da rede de semáforos

| Semáforo | Papel na rede | Veículos/hora |
|----------|-------------------------------------|---------------|
| S1 | Entrada — alimenta S3 e S4 | 720 |
| S2 | Entrada — alimenta S3 e S4 | 600 |
| S3 | Gargalo principal (recebe S1 + S2) | ~822 |
| S4 | Gargalo secundário (recebe S1 + S2) | ~498 |
| S5 | Entrada independente | 300 |
| S6 | Entrada independente | 240 |

Fig. 2. Estrutura e fluxo da rede de semáforos.

Desenvolveu-se um simulador de eventos discretos em Python (duração de 3600s, taxa de serviço de 1 veíc/s) com chegadas externas regidas pela distribuição de Poisson (taxas de 720, 600, 300 e 240 veíc/h) [3]. A topologia direciona 60% do fluxo de S1 e 65% de S2 para S3 (gargalo principal, ~822 carros/h), fluindo o restante para S4 (~498 carros/h).

Para otimizar essa rede, aplicou-se um Algoritmo Genético (150 gerações, população 60, *crossover* 80%, mutação 25%, elitismo 5) [2], com a seguinte formulação matemática:

- **Função Objetivo:** Minimizar a área total de fila da rede, $Z = \sum t = 13600 \sum i = 16Q_i(t)$, onde $Q_i(t)$ é a quantidade de veículos retidos no semáforo i no tempo t .
- **Variáveis e Restrições de Ciclo:** O cromossomo define o verde dos semáforos principais ($g1, g3, g4$). Os conflitantes ($g2, g6, g5$) recebem o tempo

complementar da fase útil de 120s ($g_1+g_2=120$, $g_3+g_6=120$, $g_4+g_5=120$), restando 30s de vermelho total para pedestres (ciclo de 150s). Limites operacionais: $15s \leq g_i \leq 105s$.

- **Restrições de Conservação:** A dinâmica da fila respeita $Q_i(t) \geq 0$, atualizada por $Q_i(t) = Q_i(t-1) + C_i(t) - S_i(t)$, onde a chegada C_i é estocástica e a saída S_i só ocorre durante o estado verde.

3. Resultados e Discussão

A análise base (cenário preexistente sem otimização) submeteu a rede simulada à regra rígida de 60 segundos de verde para cada semáforo [1]. Constatou-se uma incompatibilidade entre a oferta de tempo e a demanda veicular, sobretudo em S3 e S4. A consequência medida foi um represamento crônico que culminou em uma área total de fila de 107.790 e uma média constante de 29,9 veículos em espera, limitando a vazão a 3.147 automóveis ao longo da hora.

Com a execução do Algoritmo Genético, a solução ótima convergiu adequando agressivamente o tempo de sinal verde à assimetria real da via [2]. O cruzamento B (gargalo crítico) sofreu a intervenção mais severa: o semáforo S3 teve seu verde expandido de 60s para 96s (+36s de ganho de fase), subtraindo de forma equivalente do S6, que por demandar menor escoamento (~240 carros/h) regrediu para 24s. Raciocínio proporcional espelhou-se no cruzamento C, atribuindo 99s para o S4 e restando 21s para o S5.

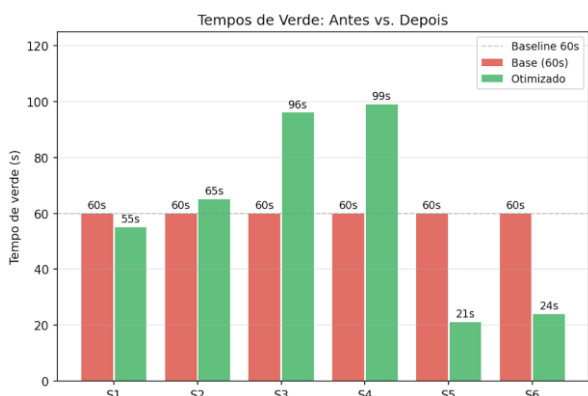


Fig. 3. Tempo de sinal verde para cada semáforo, antes e depois da otimização.

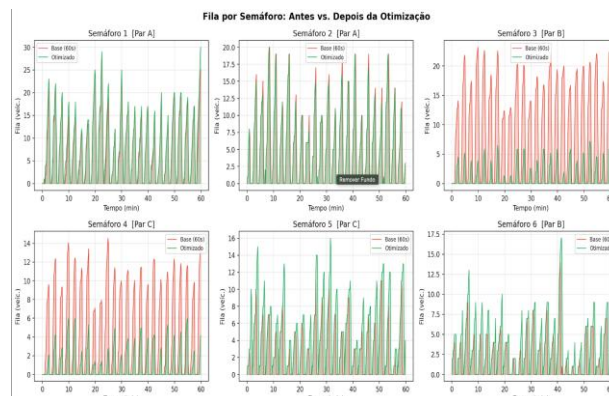


Fig. 4. Comparativo do tamanho da fila por semáforo, antes e depois da otimização.

A implantação in silico destas novas temporizações demonstrou que a inteligência evolutiva contraiu a área total de fila para 83.768 veículos e reduziu a fila média para 23,3 veículos. Estes números atestam uma mitigação contundente de 22,3% no congestionamento global da rede. De forma secundária, o sistema também injetou liquidez ao escoamento marginal, contabilizando 3.164 (+0,5%) automóveis plenamente atendidos na hora letiva. Conclui-se que o uso do AG acoplado a modelos baseados em Poisson possibilita calibrações robustas [2, 3] e com aplicabilidade notória para o alívio das retenções viárias presentes nos arranjos fixos atuais [1, 4]. Ainda não se assume aqui que essa é a solução ideal, para isso o ambiente deveria respeitar os tempos de sinal real e tráfego de veículos bem como o tempo e distância percorrida entre um cruzamento e outro, visamos apenas demonstrar como é possível otimizar gargalos em cruzamentos e filas em semáforos através de otimização e heurísticas.

4. Referências

- [1] F. V. Webster, Road Research Technical Paper, 39, 1-40, (1958).
- [2] E. Turkyilmaz, et al., Expert Syst. Appl., 38, 83-89, (2011).
- [3] A. M. Law, "Simulation Modeling and Analysis", 5th edition, McGraw-Hill, USA, (2014).

 **SIMPEX**
+
4º MOBICIT

CONEXÕES QUE MOVEM o FUTURO

Energia e Inteligência para Cidades Vivas

Realização:
UniSENAI
INSTITUTO SENAI
DE INOVAÇÃO
INSTITUTO SENAI
DE TECNOLOGIA
 **fapesc**
Fundação de Amparo à
Pesquisa e Inovação do
Estado de Santa Catarina
Apoio:
Even3

[4] M. L. Silva and R. A. Costa, Rev. Bras. Eng. Tráfego, 21, 45-60, (2023).