

SIMULADOR PARA INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS ATUADAS POR LAÇO INDUTIVO – SISAL: UM PROJETO INTEGRADO DE ENSINO E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Heloisa Maria Barbosa

Danilo Augusto Ferreira Dourado

Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais

RESUMO

Este documento apresenta o programa para simulação de tráfego – SISAL, um dos produtos do Programa de Aprimoramento Discente – PAD da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, que contempla a interface existente na atuação entre as áreas de Transportes e de Controle e Automação. O SISAL foi desenvolvido em linguagem Delphi para simular o fluxo de veículos em uma interseção semaforizada operando em duas situações distintas: com tempo fixo, e de forma adaptativa de acordo com a detecção do fluxo, efetuada por um laço indutivo. Testes de simulação demonstram o potencial do SISAL para a pesquisa e fins práticos. Todavia, mais importante que a aplicação em si, é a sua inserção no projeto pedagógico dos cursos de graduação envolvidos.

ABSTRACT

This document presents the traffic simulation program – SISAL, one of the products of the Undergraduate Improvement Programme placed at the Engineering School of Federal University of Minas Gerais, which comprises the existing interaction between transportation and control and automation areas. SISAL has been developed using Delphi language in order to compare a signalised junction working under two distinct situations: pre-timed and actuated signals, according to flow detection by an inductive loop. Simulation tests have demonstrated SISAL's potential for research and practical applications. However, more important than the application itself, is its insertion on the pedagogical project of the involved undergraduate courses.

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista a necessidade crescente de novas técnicas para gerenciamento e controle de tráfego em áreas urbanas, torna-se imprescindível a adoção de dispositivos denominados Sistemas Inteligentes de Transportes (Intelligent Transport Systems, ITS), os quais aplicam tecnologias de informática, eletrônica, controle e automação para melhoria da eficiência e produtividade do transporte. Uma das tecnologias mais utilizadas para esse fim é o de laço de indução, que consiste no uso de efeitos eletromagnéticos para a detecção de veículos.

Este trabalho tem por objetivo apresentar o Simulador para Interseções Semaforizadas Atuadas por Laço de indução – SISAL, um dos produtos desenvolvidos no âmbito do Programa de Aprimoramento Discente – PAD para estudo de Sistemas de Controle e Automação para Engenharia de Transportes. O Programa abrange a interface existente na atuação dessas duas áreas, sendo constituído por alunos dos cursos de graduação em Engenharia Civil e em Engenharia de Controle e Automação da Escola de Engenharia da UFMG.

Os projetos pedagógicos desses cursos de graduação representam avanços significativos na busca por tratar, de forma adequada e motivadora para os estudantes e professores, um conjunto de carências típicas de estruturas curriculares mais tradicionais. Neste contexto, este PAD insere-se muito adequadamente no projeto pedagógico dos cursos na medida em que propicia uma visão multidisciplinar complementando os conteúdos teóricos de sala de aula.

2. ESTRUTURA DO SIMULADOR – SISAL

O SISAL é um programa para a comparação da operação de uma interseção semaforizada, em duas condições distintas: (i) operação com tempo fixo e (ii) operação de forma adaptativa de acordo com a detecção do fluxo, efetuada por um laço de indução. Desta forma o simulador

de tráfego foi elaborado para dois cruzamentos semaforizados idênticos operando com o mesmo fluxo e tipo de veículos, mas com controles operacionais distintos. A vantagem dessa abordagem é a facilidade de realização da simulação e de modificação de parâmetros do sistema, assim como das facilidades de apresentação gráfica dos resultados. O programa está escrito em linguagem Delphi devido à sua interface que privilegia a parte gráfica, semelhante ao Windows, necessária para este tipo de aplicação. Este programa foi iniciado juntamente com a criação do Grupo PAD, junho/2002, e está sendo aprimorado para incorporar novas funções, atingindo assim, seu objetivo pedagógico. O SISAL tem por objetivo ajudar na tomada de decisão quanto à escolha do uso do laço de indução, pela análise do volume de tráfego a partir do qual sua utilização deve ser considerada, isto é, quando o laço torna-se um elemento imprescindível no controle da prioridade de tráfego.

A Figura 1 mostra a tela principal do SISAL com a configuração das duas interseções semaforizadas e os respectivos parâmetros. O cruzamento superior é dotado de sensor por meio de laço indutivo para a conversão à esquerda, e opera de forma adaptativa, portanto os tempos de verde e vermelho são dinâmicos, alterando o ciclo de acordo com o fluxo de tráfego; o cruzamento inferior opera com tempos fixos.

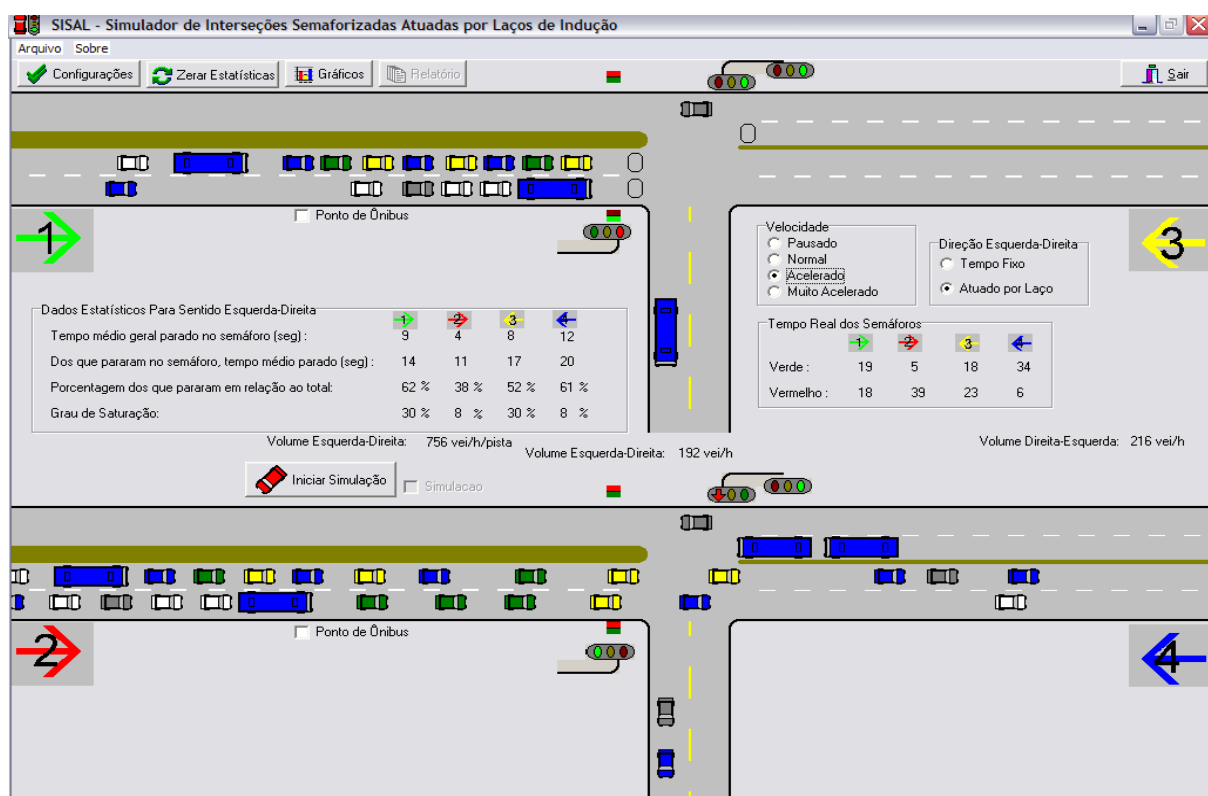


Figura 1: Tela principal do SISAL configurada para duas interseções semaforizadas

O SISAL gera aleatoriamente o fluxo dentro da faixa selecionada para cada aproximação, bem como as variáveis relativas a cada veículo: velocidade, aceleração, tempo de reação e espaçamento. Cada veículo possui uma velocidade máxima e aceleração própria e aleatória dentro de certa faixa, sendo que os ônibus possuem velocidade e aceleração menores que as dos automóveis. Também são aleatórios o tempo de reação e o espaçamento entre veículos consecutivos na corrente de tráfego. Cada veículo trafega prioritariamente na sua velocidade máxima, mas quando se aproxima de um outro veículo reduz sua velocidade suavemente até equiparar sua velocidade ao veículo da frente. Ao sinal verde cada veículo leva um tempo

para começar a se movimentar (tempo de percepção mais tempo de reação), e acelera até atingir sua velocidade característica.

O Simulador trabalha com dados de entrada específicos determinados pelo usuário conforme a situação a ser simulada. Portanto, é possível especificar o fluxo em classes para cada sentido, possibilitando, assim, a simulação de um cruzamento sob condições variáveis de demanda. Devem também ser especificados os tempos fixos do semáforo sem sensor e os tempos máximos do semáforo com sensor. O programa permite alterar os tempos de ciclo e o tempo sem veículos sobre o sensor, se nenhum veículo acionar o sensor e houver veículo à espera no outro sentido. Na produção de veículos foram utilizadas funções geradoras de números aleatórios, disponíveis no próprio Delphi. O ajuste dos volumes gerados com a classe selecionada foi feito a partir de tentativa e erro.

A configuração viária apresenta duas faixas de rolamento no sentido esquerda-direita para: (i) proporcionar maior fluxo veicular para a via principal; e (ii) possibilitar a implantação de faixa exclusiva para ônibus. Neste contexto, foi criado um ponto de ônibus e a opção “Faixa exclusiva para ônibus”. O ponto de ônibus pode ser acionado manual ou automaticamente, sendo que na opção automática é possível escolher o movimento de pessoas no ponto (pouco, médio, muito). Para a faixa exclusiva também pode ser escolhida a quantidade de ônibus.

3. PROCESSO DE SIMULAÇÃO

Para iniciar a simulação é necessário que o usuário determine os parâmetros de operação das duas interseções que constituem os dados de entrada, bem como escolha as opções de configuração do programa. O processo de simulação fornece diversos parâmetros – dados de saída – úteis para avaliar as condições simuladas. O processo está descrito a seguir por meio dos dados de entrada e de saída.

3.1 Dados de entrada e opções de configuração

Os dados de entrada são os parâmetros que definem o padrão de operação da interseção e estão relacionados basicamente ao volume de tráfego, temporização do semáforo, existência de faixa exclusiva para ônibus e intensidade de uso do ponto de parada de ônibus.

- Volumes – O usuário pode escolher entre cinco opções de fluxo, que variam diferentemente entre as aproximações. Além disso, tem-se a opção de ajuste fino em cada faixa, para melhor aproximação dos volumes, resultando em 15 faixas de fluxo de veículos.
- Temporização semafórica – Podem ser alterados os tempos máximos de verde, amarelo e vermelho do semáforo com o laço de indução, assim como o tempo fixo, para se comparar melhor a variação da porcentagem de veículos retidos, quando são efetuadas alterações na programação semafórica.
- Operação de ônibus – O usuário escolhe a quantidade de pessoas no ponto de ônibus que influencia o número de paradas no ponto; o número de ônibus nas vias; e a operação em faixa exclusiva para ônibus, nesta opção somente ocorre a circulação de ônibus na faixa junto à calçada.
- Zerar Configurações: Esta opção faz o *reset* dos resultados de saída do simulador, tais como o tempo médio parado no semáforo, a porcentagem dos veículos que pararam em relação ao total e os tempos dos semáforos.

A velocidade da simulação pode ser escolhida entre as opções: pausado, normal, acelerada e muito acelerada. Esta última produz uma simulação rápida. A opção “Simulação Automática” permite simular um período de tempo pré-definido, variando automaticamente, de hora em

hora, as configurações de fluxo, pessoas no ponto de ônibus e quantidade de ônibus. Após esta escolha deve-se selecionar o número de horas a serem simuladas, entre 1 e 12 horas, a partir de quatro alternativas pré-definidas, como pode ser visto na Figura 2. Para cada hora de simulação é então escolhido o volume de veículos desejado, também a partir de alternativas pré-programadas apresentadas na Figura 3.

Determinados os parâmetros, o software gera o fluxo de veículos de acordo com a faixa escolhida pelo usuário. Esta geração é feita de maneira semi-aleatória, ou seja, não é possível prever a chegada de um automóvel, mas é possível saber com alguma precisão a quantidade de veículos depois de transcorrido determinado período de tempo.

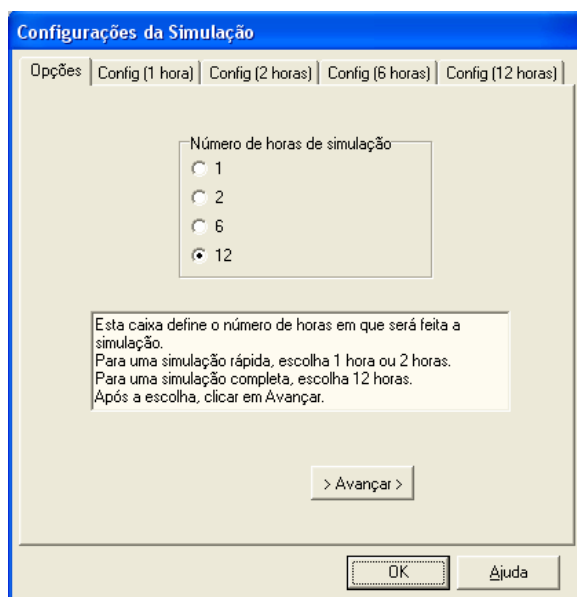


Figura 2: Opções das configurações de simulação

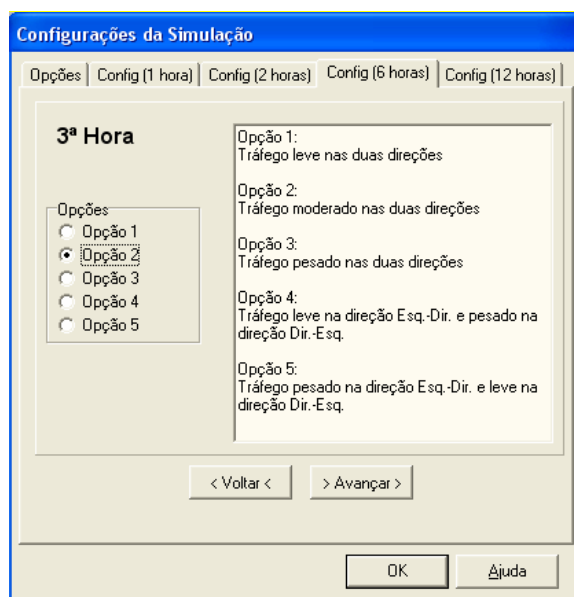


Figura 3: Opções de cada hora de simulação

3.2 Dados de saída

Feitas as escolhas de parâmetros e de configuração pelo usuário, o programa está pronto para iniciar a simulação. Atualmente o SISAL apresenta como dados de saída diversas estatísticas em tempo real, calculadas para cada aproximação para efeito de comparação. São gerados os seguintes indicadores: atraso global no semáforo: soma do tempo parado de cada veículo dividido pelo total de veículos observados; atraso médio: idem item anterior considerando apenas os veículos retidos por algum tempo; porcentagem dos veículos retidos em relação ao total: relação do número de veículos com velocidade zero em algum momento pelo número total de veículos; comprimento médio da fila: média do comprimento da fila para cada ciclo; atraso total por hora: somatório do tempo parado, em uma hora; e grau de saturação.

Além desses indicadores, ao final do processo de simulação é gerado um relatório contendo: gráficos de volume x hora em cada direção para cada interseção e da porcentagem de veículos retidos no semáforo, em cada interseção; volumes máximos durante a simulação; contagem volumétrica em cada direção, por hora; média de veículos em cada direção, por hora; média das porcentagens de veículos retidos no semáforo.

Para verificar graficamente a evolução do fluxo durante 60 minutos e durante 12 horas são gerados gráficos representando o volume de veículos nas duas direções da via principal, um com a escala de tempo fixada em cinco minutos (máximo de 60 minutos) e outro em uma

hora (máximo de 12 horas). Assim, os gráficos de volume em função do tempo de simulação permitem visualizar, em intervalos de cinco minutos (opção Gráfico de Hora), a evolução do fluxo em cada hora, além de, a cada hora, visualizar a evolução do fluxo durante todo o período, exemplificado na Figura 4 pelo gráfico correspondente a 12 horas – opção Gráfico de Dia para 12 horas. A Figura 5 apresenta um gráfico de porcentagem de veículos que param no semáforo, em cada interseção.

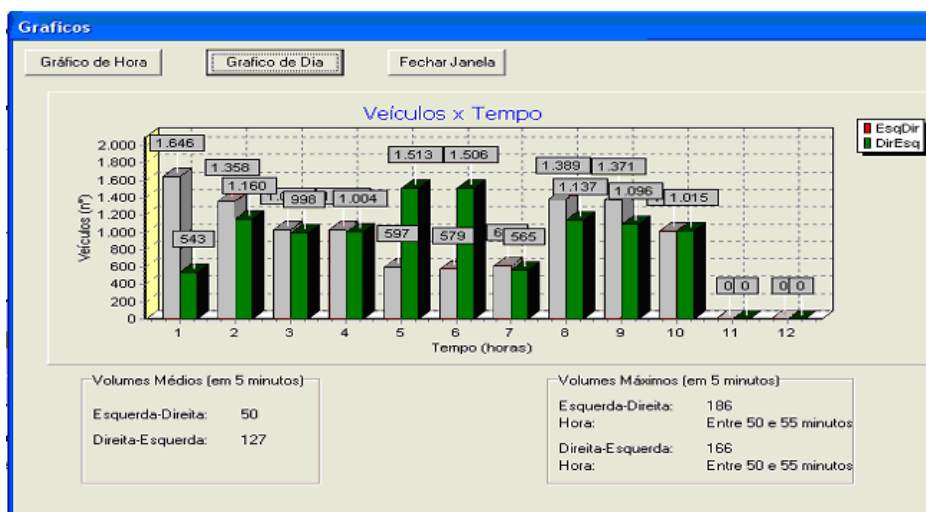


Figura 4: Evolução do fluxo em 12 horas

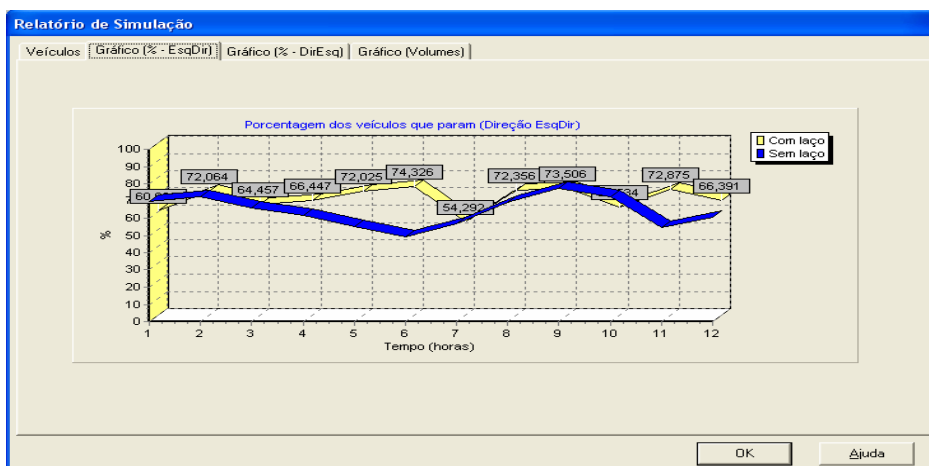


Figura 5: Gráfico da porcentagem de veículos retidos no semáforo

4. DESEMPENHO DO SISAL

Para a calibração do modelo, em novembro de 2004 foi realizada uma pesquisa de contagem volumétrica classificada em uma interseção semaforizada atuada por laço, cuja configuração assemelha-se à situação retratada no programa. A escolha da interseção foi feita a partir de uma lista de locais com a configuração pretendida, fornecida pelo órgão gestor de trânsito da cidade de Belo Horizonte. A contagem foi conduzida por dois bolsistas em um dia útil – quinta-feira – durante 2 horas e 30 minutos (6:45h às 19:15h) englobando o pico da tarde, na interseção da Avenida Professor Mário Werneck e Rua Alessandra Salum Cadar, na região Oeste da cidade. Os resultados estão na Tabela 1.

O volume de veículos adotado para o teste de simulação foi escolhido a partir da pesquisa, considerando que, apesar desta ter sido feita no horário de pico, é possível que o fluxo seja ainda maior que o observado, pois, o grau de saturação da via é muito baixo.

Tabela 1 – Contagem volumétrica

Horário	Centro-bairro	Conversão	Bairro-centro
16:45 – 17:45	696	93	361
17:00 – 18:00	670	105	401
17:15 – 18:15	705	123	461
17:30 – 18:30	703	123	485
17:45 – 18:45	683	131	526
18:00 – 19:00	700	136	547
18:15 – 19:15	658	137	551

A análise da pesquisa apontou o intervalo de 0 a 1500 veículos/hora no sentido principal e 0 a 500 veículos/hora na conversão de fluxo para ser aplicado na simulação. Os valores foram escolhidos para permitir a simulação de cenários distintos, com valores acima e abaixo daqueles observados na pesquisa, para melhor comparar a configuração de atuação dos semáforos. A variação do volume de ônibus em cada período de 15 minutos, durante a pesquisa, foi muito grande, e por esta razão o volume pesquisado não foi utilizado na definição da opção “número de ônibus na via”.

4.1 Resultados Obtidos

Para demonstrar a aplicação do SISAL foram simulados quatro cenários: (i) semáforo da direção esquerda-direita atuado por laço; (ii) semáforo da direção esquerda-direita atuando em tempo fixo; (iii) volume da direção esquerda-direita maior que o volume de veículos da conversão; e (iv) volumes iguais nas duas direções.

Com a opção de escolha entre semáforo com Tempo Fixo ou Atuado por Laço no sentido esquerda-direita, é possível comparar duas opções de controle de tráfego, com apenas a conversão atuada ou todas as aproximações atuadas por laço. A simulação indica que há um menor percentual de veículos retidos em relação ao total na primeira opção, uma vez que o tempo de verde na direção esquerda-direita – direção principal e por isso normalmente mais carregada – não depende do número de veículos na conversão no sentido contrário, ou seja, a aproximação principal possui um tempo de verde fixo, não influenciado pelo número de veículos aguardando para fazer a conversão, o que dá maior fluidez na direção esquerda-direita. Isto pode ser visto na Figura 6 que compara o percentual de veículos retidos no semáforo em relação ao total.

A comparação das figuras 6 (a) e (b) indica uma sensível redução do número de veículos retidos no semáforo com laço de indução. O percentual de veículos que param em relação ao total é aproximadamente 60% atuado por laço (figura 6-a) e 35% Tempo fixo (figura 6-b), resultando em uma expressiva queda de 25%. Percebe-se também que não houve grande variação no número de veículos parados na direção contrária.

Em relação ao volume aproximando cada lado da interseção, percebe-se que, a partir de determinada faixa de volume, o controle de tráfego em tempo real deixa de ser satisfatório, gerando paradas desnecessárias nos semáforos, como pode ser visto nas Figuras 7 e 8. Para a simulação da Figura 7 foi considerado volume de 1000 veículos/hora e fluxo contrário de 400

veículos/hora e para a situação representada na Figura 8 foram adotados volumes de 400 veículos/hora para a aproximação esquerda-direita e direita-esquerda.

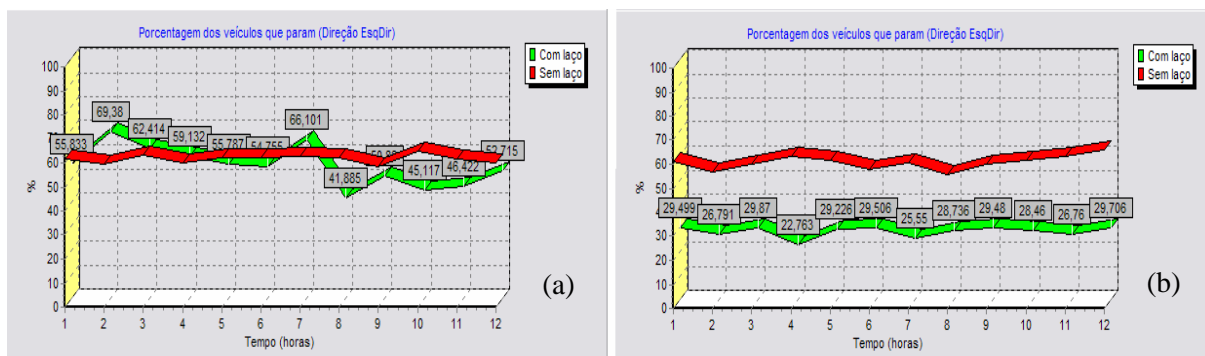


Figura 6: Percentual dos veículos retidos em relação ao total, com o semáforo da via principal (a) Atuado por Laço e (b) Tempo Fixo

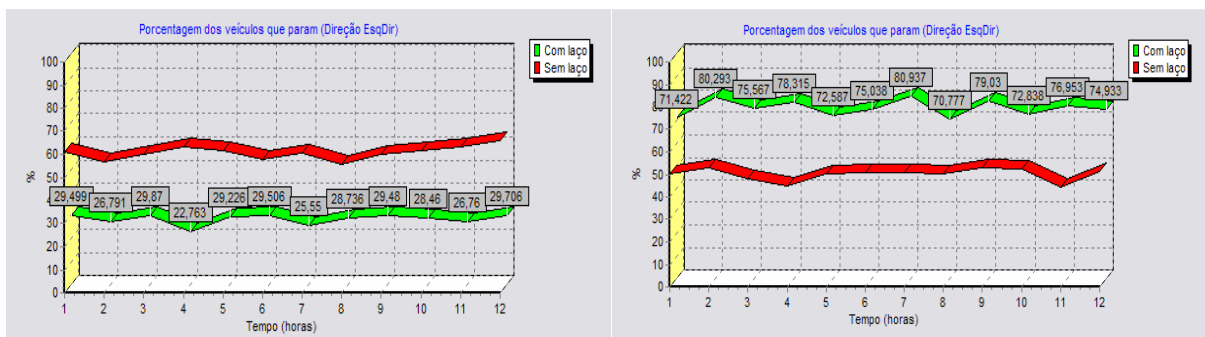


Figura 7: Percentagem de veículos retidos em relação ao total – volumes diferentes

Figura 8: Percentagem de veículos retidos em relação ao total – volumes iguais

Quando é expressiva a diferença entre os volumes de cada aproximação, o controle de tráfego torna-se mais efetivo, em comparação com a interseção com semáforos a tempo fixo. No caso da Figura 7, 28% dos veículos param no semáforo atuado, contra 60% no semáforo com tempo fixo. Para o caso de volumes iguais em cada aproximação, conforme Figura 8, 75% dos veículos param no semáforo atuado, contra 50% no semáforo com tempo fixo.

O teste de simulação com variações nos volumes de tráfego para a mesma programação semafórica demonstrou, como se esperava, que à medida que os volumes aproximam-se da capacidade da via, os benefícios do uso do laço indutivo são reduzidos, indicando que em condições de operação próximas da capacidade o laço deixa de exercer o controle efetivo dos fluxos de tráfego. Em condições de melhores níveis de serviço o laço apresenta um ganho ao controlar efetivamente a temporização do semáforo. Isto pode ser feito a partir do estudo dos gráficos da porcentagem dos veículos que trafegam pela interseção. Assim, a aplicação do SISAL para comparar duas interseções em questão indica que quanto maior for a diferença de volumes entre as aproximações da interseção, mais vantajoso torna-se o emprego do laço indutivo.

4.2 Pontos fracos observados

O SISAL não permite fazer um plano temporal com uma base de tempo menor que uma hora, ou seja, depois de escolhido o tempo de simulação, a mudança do volume só pode ser feita de forma automática de hora em hora. É possível alterá-la antes desse período, mas apenas de forma manual, clicando no botão Configurações. Toda mudança na configuração inicial da

simulação, com exceção da mudança automática do fluxo de hora em hora deve ser feita clicando nesse botão, seja para mudança manual no volume de tráfego, número de pessoas no ponto ou faixa exclusiva para ônibus.

No modo Simulação, o relatório final não possui detalhes da variação do volume de tráfego com resolução de minutos, apenas de horas. No modo Normal (sem Simulação), não é possível ver os gráficos de porcentagem de veículos que param no semáforo em relação ao total.

4.3 Aprimoramentos sugeridos

A calibração com os dados de campo e os testes de simulação apontam melhorias que podem ser implementadas no programa, tais como: inclusão da opção de mudança automática na quantidade de ônibus e de passageiros no ponto de ônibus de acordo com o volume de veículos, considerando que maiores fluxos de veículos significam maior quantidade de pessoas no ponto; construção do gráfico de porcentagem dos veículos retidos para o modo Normal; mudanças nas configurações do modo Simulação para incluir mais opções além das cinco disponíveis para volumes e a mudança de quantidade de ônibus e passageiros; e implementação da lógica para preferência da faixa exclusiva para ônibus que permitirá otimizar o tempo do semáforo para que a fila de ônibus em espera seja a menor possível, e verificar o impacto dessa operação sobre os demais veículos. Este tópico requer dados de tempo médio de parada de ônibus e quantidade de pessoas embarcando em função do horário.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresentado é resultado do envolvimento de alunos de graduação no âmbito de um projeto de ensino que visa o aprimoramento discente pela possibilidade de otimizar o potencial acadêmico do aluno e prepará-lo para o ingresso em programas de pós-graduação, funcionando, assim, como programa de incentivo à carreira acadêmica. Tratando-se de um projeto de desenvolvimento tecnológico aliado aos objetivos de um programa de aprimoramento discente, cabe esclarecer que a maior pretensão do Grupo é fazer deste projeto um forte instrumento de ensino e não necessariamente construir um simulador para o mercado. Neste aspecto cria-se a possibilidade do aluno desenvolver seu potencial para a pesquisa, aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso, formar uma visão crítica e ser capaz de perceber novos caminhos para melhor equilibrar erros e acertos.

Além do exemplo da metodologia interdepartamental de cooperação e da adequação das atividades ao projeto pedagógico dos cursos envolvidos no PAD, é importante enfatizar o resultado já obtido, ora apresentado: o SISAL que tem demonstrado potencial para ser usado na pesquisa e com fins práticos para simular interseções reais que tenham configuração semelhante à implementada no programa. Mais importante que a aplicação em si, é a geração de conhecimento, que no presente caso, muitas vezes, tem ficado a mercê de empresas privadas e estrangeiras.