

PROCEDIMENTO PARA IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DOS MICROSSIMULADORES PARA O PROCESSO DE CALIBRAÇÃO

Rosemary Janneth Llanque Ayala

Maria Alice Prudêncio Jacques

Universidade de Brasília – UnB

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental

Programa de Pós-Graduação em Transportes

RESUMO

A utilização de microssimuladores para as atividades de planejamento e gerenciamento do tráfego depende diretamente da capacidade dos programas em bem representar as diferentes situações em análise, que é vinculada à qualidade da calibração dos seus parâmetros. Os microssimuladores de tráfego disponíveis no mercado apresentam muitos parâmetros, cuja calibração total torna o processo bastante complexo e dificulta sua realização. O presente trabalho visa contribuir para a superação desta dificuldade, mediante o desenvolvimento de um procedimento para a identificação dos parâmetros mais importantes para a calibração de um dado microssimulador de tráfego. A eficácia do procedimento foi testada no Aimsun, considerando a simulação de doze cenários urbanos. Foi verificado que o parâmetro variação do tempo de reação do condutor na seção é o mais importante para todos os cenários estudados, seguido da aceleração máxima, fator de sensibilidade e tempo de reação na rede, aplicáveis a mais de 75% dos cenários testados.

ABSTRACT

The use of microsimulators in traffic planning and management activities is directly dependent on how well the programs are able to represent the different situations under analysis and, consequently, they depend on the quality of parameter calibration. Traffic microsimulators currently available in the market work with a very large number of parameters making their total calibration a highly complex process that is difficult to achieve. This work sets out to address that challenge by developing a procedure for identifying the most important parameters to ensure the adequate calibration of a given microsimulator. Procedure efficacy was tested using Aimsun microsimulator, simulating twelve urban scenarios. The results show that the variation of driver reaction time in the section is important to all scenarios studied. Also, they indicate that maximum acceleration, the sensitivity factor and reaction time in the network are applicable to over 75% of the chosen scenarios.

1. INTRODUÇÃO

As ferramentas de simulação microscópicas comerciais, durante as últimas décadas, foram sendo aperfeiçoadas permitindo a representação de situações de operação do tráfego em vias urbanas e rodovias com crescente nível de complexidade e gerando diferentes resultados para possibilitar vários tipos de estudos.

Os parâmetros básicos dos microssimuladores apresentam valores derivados das características de tráfego próprias do local onde esses programas foram desenvolvidos ou que representam condições genéricas definidas pelos programadores (são os chamados valores *defaults*). Esses valores dificilmente representam cada uma das realidades a ser estudada com os programas. Isto é, os modelos computacionais oferecem valores *default* para seus parâmetros, e aos analistas compete identificar quais os parâmetros que devem ser calibrados para produzir resultados apropriados à realidade. Esta calibração implica um determinado ajuste dos valores dos diferentes parâmetros que influenciam diretamente nos resultados da simulação. No entanto, dado ao grande número de parâmetros presentes na maioria dos microssimuladores de tráfego e ao esforço requerido no processo de coleta de dados para permitir sua calibração, é extremamente difícil realizar um trabalho de calibração que contemple todos os parâmetros.

Diferentes pesquisadores desenvolveram procedimentos de calibração para distintos cenários e tipos de microssimuladores de tráfego, sendo que a questão da escolha dos parâmetros a

calibrar está presente em todos os trabalhos, implícita ou explicitamente. A análise de alguns desses trabalhos revela a importância de se dispor de um procedimento geral, aplicável a qualquer microssimulador, que permita identificar quais os parâmetros relacionados aos modelos e elementos de comportamento dos motoristas que afetam de forma destacada os resultados de uma simulação. Ou seja, que leve à seleção de um conjunto de parâmetros cuja calibração permita a adequada representação da realidade, mesmo sendo mantidos os valores *default* para os demais parâmetros.

Neste contexto, o objetivo principal do presente trabalho é definir um procedimento para identificar os parâmetros de um microssimulador que têm um impacto maior nos resultados da simulação. Como objetivos específicos tem-se: (i) a identificação dos parâmetros relacionados aos modelos de tráfego do microssimulador Aimsun (modelos *car-following* e *lane-changing*) que afetam nos resultados de uma simulação de forma destacada; e (ii) verificar se características diferenciadas do elemento viário e do tráfego a ser modelado afetam a composição do conjunto de parâmetros relevantes para o processo de calibração.

Este documento está organizado em seis seções, incluindo essa seção introdutória. Na Seção 2 são apresentadas as características gerais do processo de calibração de microssimuladores e na Seção 3 as características específicas do microssimulador Aimsun, que foi o escolhido para testar o procedimento proposto. As diferentes etapas do referido procedimento, juntamente com as atividades envolvidas na sua aplicação a doze cenários distintos são apresentadas na Seção 4. A Seção 5 apresenta os resultados obtidos e a Seção 6 as principais conclusões do trabalho e recomendações para a continuidade da pesquisa.

2. PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DE MICROSSIMULADORES

O processo de calibração consiste em um ajuste de valores dos parâmetros dos modelos básicos integrantes da estrutura dos microssimuladores, neste caso, os modelos *car-following* e *lane-changing*. Esse último inclui o modelo de aceitação de *gap*. Seu propósito é permitir que o microssimulador reproduza adequadamente a situação do tráfego a ser estudada, de acordo com medidas de desempenho escolhidas pelo usuário para medir as diferenças entre a corrente de tráfego observada e a simulada (Kim e Rillet, 2003).

2.1. Estrutura geral do processo de calibração

Um processo de calibração geralmente é realizado em três passos, conforme mostra a Figura 1. No terceiro passo os resultados produzidos pelo simulador são comparados aos dados disponíveis e se a comparação não for satisfatória, segundo critérios estabelecidos pelos usuários, os valores atribuídos aos parâmetros do simulador devem ser modificados até que a comparação entre cenário real e cenário simulado seja considerada aceitável.

2.2. Parâmetros importantes para calibração identificados em estudos anteriores

Existem na literatura diferentes estudos visando a calibração de microssimuladores de tráfego que incluem a identificação de parâmetros importantes para essa calibração levando em conta um cenário de interesse específico. Em geral, os trabalhos contemplam: (i) identificação do cenário a ser simulado; (ii) aplicação de técnica para seleção de parâmetros importantes; (iii) aplicação de uma metodologia de calibração. Nesses trabalhos foram utilizados diferentes *softwares* de simulação microscópica, com lógica dos modelos de comportamento muitas vezes distintas, tais como: Aimsun, CORSIM, INTEGRATION, MITSIMlab, PARAMICS, SimTraffic, TranSin e VISSIM (Ayala, 2013).

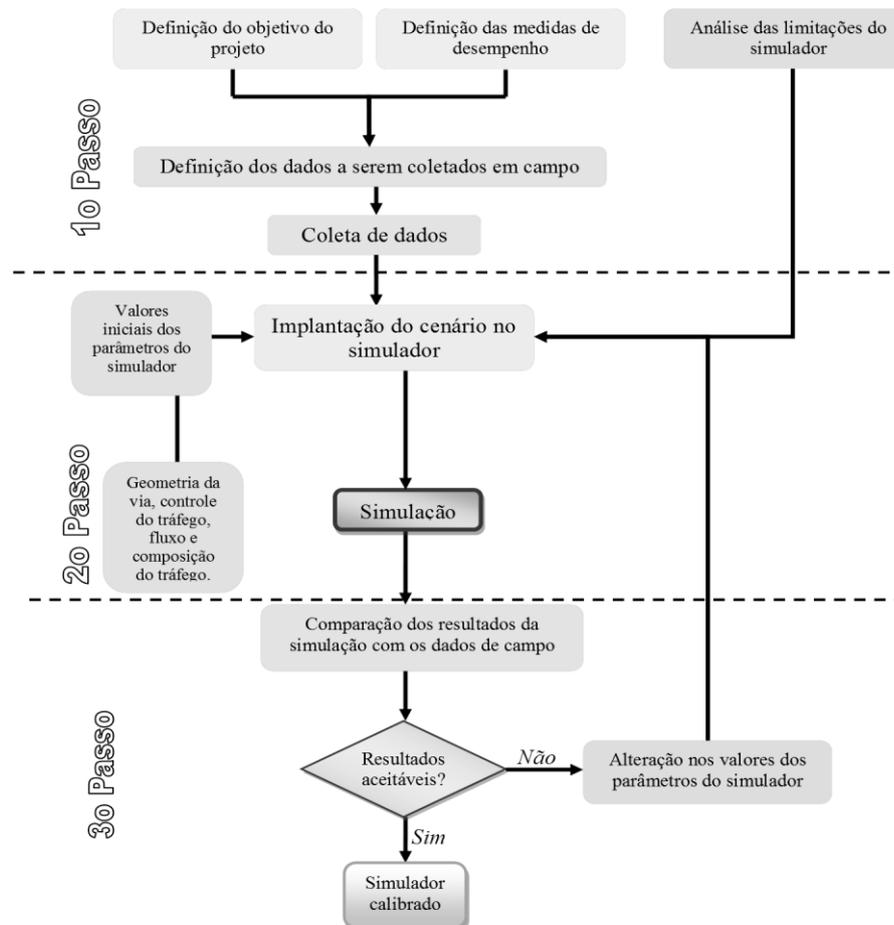


Figura 1: Processo de calibração de um simulador

2.2.1. Cenário a ser simulado

A identificação do cenário é um importante passo em um processo de calibração devido, principalmente, à definição das características de comportamento dos motoristas e das características físicas do ambiente a simular. Na literatura foram identificados dois grandes grupos de cenários: cenários em área urbana e cenários em rodovias. Nos cenários em área urbana, por exemplo, os estudos incluem desde uma interseção simples (Park e Qi, 2005) até redes arteriais semaforizadas (Park e Scheneberger, 2003; Mathew e Radhakrishman, 2010; entre outros). No caso dos cenários em rodovias, o ambiente a simular contempla segmentos de rodovias (Turley, 2007; Kim e Rilett, 2003; entre outros), e interseções de duas rodovias (Lownes e Machemehl, 2006). A metodologia adotada em cada estudo visa, portanto, permitir a calibração do microssimulador considerado para um determinado cenário.

2.2.2. Seleção de parâmetros importantes

As técnicas que foram identificadas na literatura para a seleção de parâmetros importantes em um processo de calibração seguem diferentes abordagens. Em geral, os pesquisadores começam um processo de calibração com base na sua experiência e na revisão de outros trabalhos relacionados ao tipo de cenário que é estudado, buscando identificar os parâmetros com maior potencial de afetar os resultados produzidos pelo simulador. Depois, em alguns trabalhos, é realizada uma seleção dos parâmetros que são efetivamente importantes utilizando procedimentos estatísticos, como é o caso de Lowes e Machemehl (2006) e Dalprá

(2011). Em outros trabalhos, entretanto, após a fase de identificação dos parâmetros potencialmente importantes, esses parâmetros são diretamente utilizados no processo de calibração, como é o caso de Araújo et al. (2003), Kim e Rilett (2003), Hourdakis et al. (2003), Brockfeld et al. (2004), Santhanam e Park (2008) e Gao e Rakha (2008).

Como os trabalhos revisados visam a calibração de um simulador específico para uma determinada situação sob análise, os parâmetros relevantes obtidos variam entre os diferentes estudos. A título de ilustração, a Tabela 1 apresenta os parâmetros importantes para calibração obtidos em alguns dos estudos revisados.

Tabela 1: Exemplos de parâmetros identificados como importantes para o processo de calibração de microssimuladores

Cenário	Simulador	Parâmetros importantes	Autor
Urbano: interseção simples semaforizada	VISSIM	(1) Regras de prioridade para mínimo <i>gap</i> ; (2) Distribuição da velocidade desejada.	Park e Qi (2005)
Urbano: rede arterial com 12 interseções semaforizadas	VISSIM	(1) Distância de parada; (2) Distância de mudança de faixa; (3) Número observado de veículos precedentes; (4) Distância média de parada; (5) Tempo de espera antes da dispersão; (6) Tempo mínimo de headway.	Park e Scheneberger (2003)
Urbano: rede arterial com 4 interseções semaforizadas	TranSim	(1) Tempo máximo de espera; (2) Variância máxima de tempo de chegada; (3) Variância máxima de tempo de partida.	Park e Kwak (2010)
Rodoviário: segmento viário	CORSIM	(1) Tempo para completar a manobra de mudança de faixa; (2) Separação mínima para a geração de veículos; (3) Limite de vantagem para mudança discricionária de faixa; (4) Fator de sensibilidade <i>car-following</i> .	Turley (2007)
Rodoviário: segmento viário	CORSIM	(1) Fator de sensibilidade <i>car-following</i> ; (2) Distância mínima <i>car-following</i> ; (3) Atraso em aceleração; (4) Atraso em desaceleração; (5) Tempo para completar a manobra de troca de faixa; (6) Mínima separação para a geração de veículos; (7) Tempo para evitar a colisão; (8) Percentagem de motoristas que desejam entrar no fluxo maior de veículos em uma via principal; (9) Multiplicador desejado para realizar uma troca discricionária de faixa; (10) Limite de vantagem para mudança discricionária de faixa.	Kim e Rilett (2003)

2.2.3. Metodologia de calibração

Para qualquer técnica utilizada para a calibração dos microssimuladores, sempre se deve ter em conta a importância da definição do cenário e de um critério de julgamento para a seleção dos parâmetros, como especificam alguns trabalhos (Hourdakis et al, 2003).

As principais técnicas usadas para essa calibração nos trabalhos revisados, a partir dos parâmetros selecionados, foram os algoritmos genéticos e o LHD (*Latin Hypercube Design*), como é o caso, por exemplo, de Park e Scheneberger (2003), Park e Qi (2005), Turley (2007), Park e Kwak (2010), e Mathew e Radhakrishnan (2010).

3. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO MICROSSIMULADOR AIMSUN

O processo de simulação no Aimsun é considerado como um processo de simulação híbrida. Para cada intervalo de tempo (passo de simulação), o ciclo de simulação atualiza a lista de programa de eventos não condicionados (eventos assim como mudanças em semáforos que não dependem da terminação de outras atividades). Depois dessa atualização, o programa atualiza o estado das entidades (seções viárias e interseções) e dos veículos no modelo.

3.1. Elementos da simulação microscópica no programa

As categorias de dados gerais a serem fornecidos pelo usuário para o começo de uma simulação com o Aimsun referem-se a: as seções da rede viária, os veículos e a rede viária global (TSS, 2012). Cada uma dessas categorias contém parâmetros que foram verificados no cenário de desenvolvimento do *software* e são apresentados no programa, conhecidos como parâmetros *default*.

3.1.1. A seção

O Aimsun trabalha com dez tipos de seções que, segundo o tipo de cenário a simular, são utilizados na rede de trabalho. Os tipos de seções considerados no programa são: arterial, auto-estrada, estrada, área de pedestres, anel viário, rotatória, rampas de entrada/saída, rua, rua semaforizada, e estrada urbana. Geralmente, se não for definida a seção para uma simulação, o programa define como seção *default* a seção do tipo arterial. Para cada seção a ser trabalhada, o programa apresenta 19 parâmetros característicos, que são considerados em uma simulação microscópica.

3.1.2. O veículo

O veículo no programa Aimsun é classificado como público, para ônibus e taxi, pesado, para caminhões, e como privado o resto dos veículos, independentemente do tipo de simulação. O veículo também é classificado de acordo com um dos cinco tipos de veículos padrão (motorizados e não motorizados) considerado pelo programa, sendo eles: carro, taxi, caminhão, ônibus e pedestre. O pedestre é considerado no sistema como um veículo não motorizado. O programa considera um total de 26 características para cada tipo de veículo, cada uma delas representada por um parâmetro do simulador.

3.1.3. O cenário

O conjunto de dados de entrada do Aimsun é composto por um grupo de parâmetros relacionados aos modelos de comportamento dos veículos, que é válido para toda a rede de trabalho e que não está ligado a nenhum tipo de veículo e seção. São identificados dois grandes grupos de parâmetros, a saber: parâmetros ligados ao comportamento geral dos veículos; e parâmetros referentes aos tempos de reação. São, no total, um conjunto de 15 parâmetros apresentados como *default* no programa na versão v7.0.

3.2. Parâmetros que podem ser calibrados

Com base na lista de parâmetros identificados na análise conceitual dos modelos do programa, verifica-se que na v7.0 do Aimsun, que foi utilizada na presente pesquisa, existem um total de 60 parâmetros que podem ser calibrados pelo usuário do programa. A partir do estudo teórico da importância de cada parâmetro para os modelos inseridos no Aimsun, foram selecionados inicialmente um total de 37 parâmetros como sendo potencialmente importantes para o propósito da presente pesquisa. Posteriormente, estes parâmetros foram analisados em conjunto com o resultado da revisão dos trabalhos de calibração de microssimuladores referidos na Seção 2, resultando no conjunto de 24 parâmetros apresentados na Tabela 2. Esses parâmetros foram considerados como potencialmente relevantes para o processo de calibração do Aimsun e, por isso, selecionados para ter sua importância nesse processo investigada em profundidade mediante o procedimento proposto na Seção 4.

4. PROCEDIMENTO PROPOSTO E CORRESPONDENTE TESTE

O procedimento proposto visa auxiliar na identificação de um conjunto de parâmetros importantes em diferentes processos de simulação microscópica, e de outros conjuntos complementares relacionados aos tipos de cenários comuns em áreas urbanas. Ou seja, visa contribuir com o processo de calibração de microssimuladores para representar as condições de operação do tráfego em diferentes cenários.

O procedimento está estruturado em oito etapas, que são: (i) a definição da situação a ser estudada; (ii) condições gerais dos cenários; (iii) caracterização dos cenários; (iv) estabelecimento das medidas de desempenho; (v) definição do conjunto de parâmetros e dos respectivos valores; (vi) simulação dos cenários; (vii) análise estatística da significância de cada parâmetro sobre o resultado de cada simulação; (viii) e identificação dos principais parâmetros. Cada uma dessas etapas é apresentada a seguir em conjunto com a aplicação realizada para testar a eficácia do procedimento.

4.1. Definição da situação a ser estudada

Esta etapa consiste na identificação do propósito da simulação e das características gerais do cenário a ser estudado. Para efeito do teste do procedimento, foram simulados 12 cenários em área urbana, visando a avaliação do desempenho do tráfego veicular em interseções isoladas (4 cenários) e em redes arteriais formadas por 4 interseções (8 cenários).

4.2. Condições gerais dos cenários

Nesta etapa são definidas as características principais dos cenários a serem simulados, tanto em termos dos seus elementos constituintes quanto da organização espacial dos mesmos na definição da rede. Com relação aos cenários para o teste do procedimento, tem-se que: as interseções são de uma via principal com uma secundária, com faixas trânsito de 3,30 m para as duas vias; todas as vias possuem circulação nos dois sentidos, sendo que a via principal possui duas faixas por sentido e a via secundária somente uma faixa por sentido. As redes arteriais são formadas por quatro interseções de vias secundárias com uma via principal, com larguras e número de faixas idênticos aos adotadas para as interseções isoladas. Para uma das interseções internas das redes foi prevista uma faixa adicional de conversão à esquerda nas duas aproximações da via principal. Em uma das aproximações a faixa adicional possui extensão de 50 m e 20 m de teiper, e na outra sua extensão é de 30 m com um teiper também de 20 m. Foram adotados dois conjuntos de distâncias para os trechos entre interseções, configurando-se, assim, duas redes diferentes de análise. Para a primeira rede, referida neste trabalho como Rede 121, os trechos entre as quatro interseções possuem comprimentos iguais a 100 m, 200 m e 100 m, respectivamente. No caso da segunda rede, que será doravante referida como Rede 131, os mesmos trechos possuem comprimentos iguais a 150 m, 300 m e 150 m.

4.3. Caracterização dos cenários

A caracterização específica de cada elemento do cenário a ser simulado é apresentada nessa etapa, incluindo: tipo do controle do tráfego nas interseções; fluxo de veículos e as características próprias dos veículos (inclusive itinerário para veículos de transporte público). Nos cenários estudados para o teste do procedimento, foram consideradas duas variações de volume (admitindo-se somente a presença de carros de passeio) para dois tipos distintos de controle (controle semafórico e controle com placas de sinal PARE), perfazendo quatro cenários para interseção isolada e quatro cenários para cada uma das redes arteriais. Assim, o

total de cenários estudados foi igual a 12, e suas principais características são apresentadas na Tabela 2. Os níveis de volume 1 e 2 representam diferenças em torno de 50% (V1 maior do que V2) para os volumes dos Cenários 1 e 3 (controle sem semáforo), e de 40% entre os volumes dos Cenários 2 e 4 (controle semafórico), onde V2 é maior do que V1. No caso dos cenários relacionados às redes, a diferença entre os níveis de volumes estudados foi em torno de 38% (V2 é maior do que V1) para o controle semafórico e de 32% (V1 é maior do que V2) para o controle com a sinalização de PARE. A apresentação detalhada dos dois níveis de volume para cada geometria considerada encontra-se em Ayala (2013).

Tabela 2: Resumo das características e do número do cenário

Cenário	Geometria	Volume	Controle
Cenário 1	Interseção Isolada	Tráfego com volume 1	Sem semáforo
Cenário 2			Com semáforo
Cenário 3		Tráfego com volume 2	Sem semáforo
Cenário 4			Com semáforo
Cenário 5	Rede 121	Tráfego com volume 1	Sem semáforo
Cenário 6			Com semáforo
Cenário 7		Tráfego com volume 2	Sem semáforo
Cenário 8			Com semáforo
Cenário 9	Rede 131	Tráfego com volume 1	Sem semáforo
Cenário 10			Com semáforo
Cenário 11		Tráfego com volume 2	Sem semáforo
Cenário 12			Com semáforo

4.4. Estabelecimento das medidas de desempenho

Em função da sua frequente utilização em estudos voltados à avaliação de cenários alternativos de geometria viária e controle do tráfego em rede, o procedimento adota as seguintes medidas de desempenho: tempo médio de atraso e comprimento médio de filas. Embora essas medidas em diferentes microssimuladores possam ser obtidas por faixa, para a seção viária e para a rede, para o propósito deste procedimento foram considerados os resultados médios da rede.

4.5. Definição do conjunto de parâmetros e dos respectivos valores

A partir da análise da documentação referente ao funcionamento do simulador em estudo, complementada com os resultados apresentados em trabalhos publicados referentes à calibração do programa, é definido o conjunto de parâmetros com potencial de afetar significativamente os resultados da simulação. Para cada parâmetro do conjunto devem então ser definidos os valores que serão considerados no processo de avaliação: um valor mínimo, o valor *default* e um valor máximo. Para alguns parâmetros esses valores são claramente estabelecidos na documentação do programa, e os respectivos percentuais de variação dos valores mínimo e máximo com relação ao *default* podem ser considerados na definição dos valores a serem testados para os outros parâmetros. No caso do microssimulador considerado no teste do procedimento, o Aimsun, foi obtido um total de 24 parâmetros qualificados como potencialmente importantes para a calibração do programa. Com base nas variações das propriedades das características próprias dos veículos foram definidas as variações dos 24 parâmetros potencialmente importantes, formando-se assim um conjunto de três valores para cada parâmetro a ser analisado (ver Tabela 3).

4.6. Simulação dos cenários

Nesta etapa é realizada a simulação dos valores definidos para cada parâmetro selecionado, resultantes da etapa anterior. As atividades de simulação devem ser realizadas como segue: (i)

é feita uma primeira simulação com todos os parâmetros nos seus valores *default*; (ii) em seguida, para cada parâmetro a ser testado, é feita uma simulação com o valor mínimo estabelecido para o parâmetro considerado, sendo mantidos os valores *default* para o restante dos parâmetros; e (iii) finalmente, é realizada outra simulação para cada parâmetro a ser testado, onde o valor desse parâmetro é igual ao valor máximo estabelecido, sendo mantidos os demais parâmetros com os respectivos valores *default*. Essa etapa foi aplicada para todos os parâmetros do Aimsun selecionados, para cada um dos 12 cenários referidos na Subseção 4.3.

Tabela 3: Valores dos parâmetros a serem analisados mediante o processo de simulação

No.	Descrição do parâmetro	Unidade	Valores		
			<i>Default</i>	Mínimo	Máximo
<i>Seção</i>					
1	Máxima variabilidade do tempo de "Dê a preferência"	s	0,00	-2	2
2	Distância Zona 1	m	300,00	250	350
3	Distância Zona 2	m	40,00	30	50
4	Distância faixa de aceleração (<i>on ramp</i>)	m	<i>whole ramp</i>	15	30
5	Distância de visibilidade	m	30,00	20	40
6	Variação do tempo de reação	-	0,00	-1	1
<i>Veículo</i>					
7	Velocidade máxima desejada	km/h	110	80	140
8	Aceleração máxima	m/s ²	3,00	2,6	3,4
9	Desaceleração normal	m/s ²	4,00	3,5	4,5
10	Desaceleração máxima	m/s ²	6,00	5	7
11	Distância mínima entre veículos	m	1,00	0,5	1,5
12	Tempo máximo de cessão de preferência	s	10,00	5	15
13	Fator de sensibilidade	adim	1,00	0	2
14	Mínimo <i>headway</i>	s	0,00	0,3	0,5
15	Ultrapassagem pela direita	%	0	5	10
16	Mudança de faixa imprudente	%	0	5	10
17	Sensibilidade para mudança de faixa imprudente	adim	1	0	2
<i>Experimento</i>					
18	Número de veículos	veíc	4	2	6
19	Máxima diferença de velocidade	km/h	50	40	60
20	Máxima diferença de velocidade em faixa de aceleração (<i>on ramp</i>)	km/h	70	60	80
21	Porcentagem de ultrapassagem	%	90	85	95
22	Porcentagem de retomada	%	95	91	99
23	Tempo de reação (rede)	s	1,35	1	1,7
24	Tempo de reação (veículo)	s	0,75	1	1,25

4.7. Análise estatística da significância de cada parâmetro sobre o resultado da simulação

Nesta etapa é realizado o teste estatístico para identificar a significância de cada parâmetro sobre os resultados da simulação. Para cada cenário considerado, representando uma determinada situação física da via sob condições de tráfego específicas, é realizada a análise estatística indicada no fluxograma da Figura 2. Definindo-se como um grupo os resultados de 30 repetições independentes da simulação com um conjunto particular de parâmetros, para os parâmetros que produziram grupos de medidas de desempenho que não passaram nos testes de normalidade e/ou de igualdade de variância, é utilizado o teste não paramétrico Kruskal-Wallis. Para os parâmetros cujos grupos de resultados apresentaram distribuição normal e igualdade de variâncias, a igualdade das médias é testada por meio da ANOVA. No teste do procedimento a análise estatística foi aplicada para as duas medidas de desempenho associadas a cada parâmetro, considerando cada um dos 12 cenários definidos para esse teste.

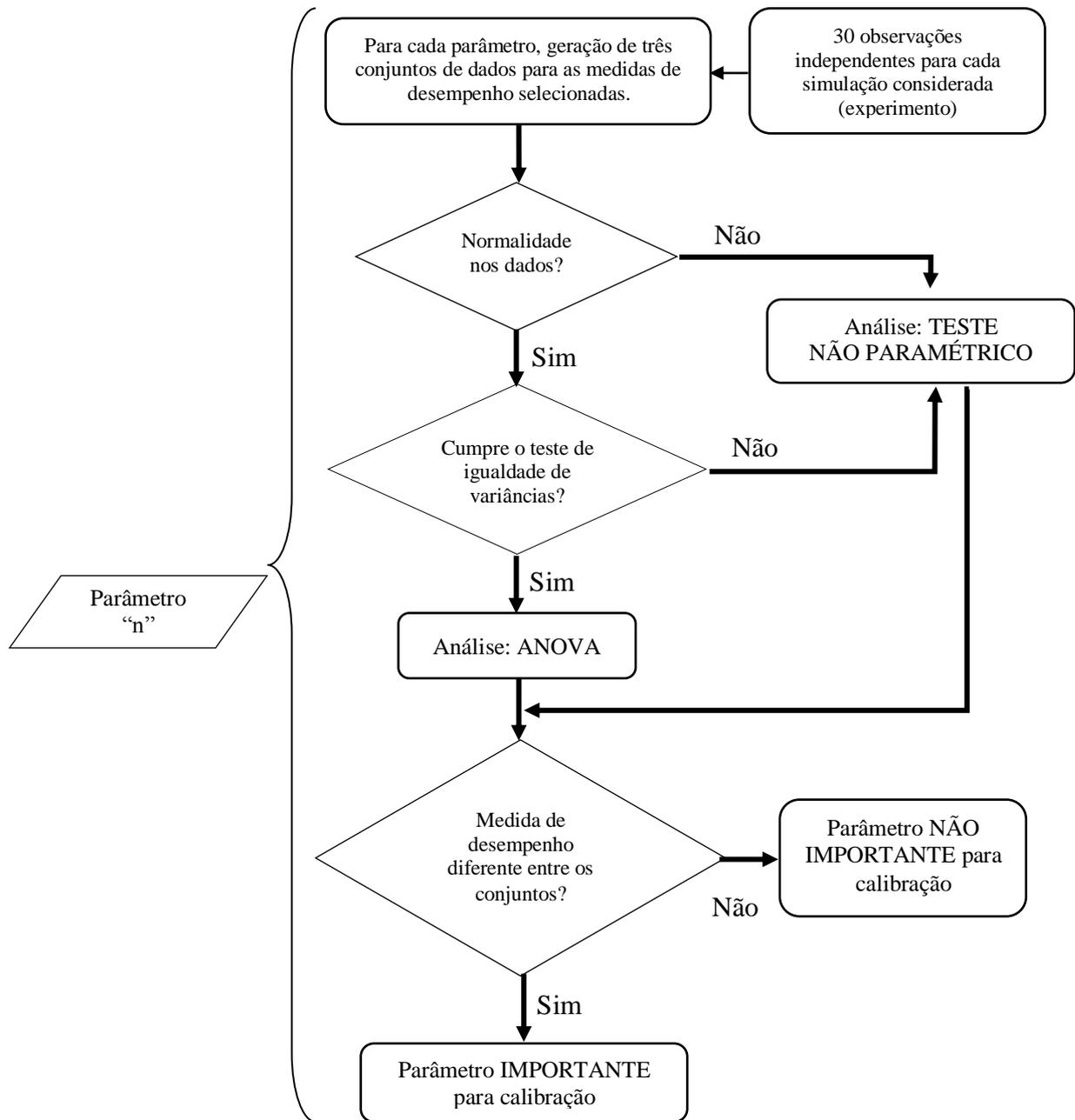


Figura 2: Fluxograma da etapa de análise estatística do procedimento proposto

4.8. Identificação dos principais parâmetros

Com base nos resultados da análise estatística, nesta etapa são selecionados os parâmetros influentes nas simulações, e agrupados segundo dois critérios. O primeiro critério refere-se à identificação do parâmetro como influente em todos os cenários estudados. O segundo critério diz respeito à identificação de parâmetros que somente são significativos para alguns cenários. Os resultados obtidos para os cenários estudados com o microssimulador Aimsun são apresentados na próxima seção.

5. RESULTADOS OBTIDOS COM O TESTE DO PROCEDIMENTO

Com base na aplicação do procedimento proposto, descrita em linhas gerais na Seção 4, foram realizadas três tipos de análise sobre os resultados das simulações: análise geral, análise por

tipo de controle e análise por nível de volume. Neste documento somente são apresentados de modo mais detalhado os resultados da análise geral. As demais análises estão disponíveis em Ayala (2013), e seus principais resultados são aqui apenas citados.

5.1. Análise geral

Foram identificados quatro grupos de parâmetros, relacionados ao nível geral de importância para todos os cenários simulados, tomando por base as duas medidas de desempenho consideradas. Os três primeiros grupos referem-se aos parâmetros mais importantes para 100%, 75% e 50% dos cenários estudados, respectivamente, enquanto o Grupo 4 reúne os parâmetros que menos influência apresentaram nos resultados das simulações. Como são levadas em conta duas medidas de desempenho, para cada cenário têm-se duas situações estudadas para cada parâmetro. Ou seja, na análise geral, cada parâmetro foi analisado em 12 cenários, perfazendo um total de 24 situações estudadas.

Com base nos resultados mostrados na Tabela 4, verifica-se que o Parâmetro 6 (Variação do tempo de reação), único incluído no Grupo 1, e os Parâmetros 8 (Aceleração máxima), e 13 (Fator de sensibilidade) foram os que mais afetaram os resultados das simulações, seguido do Parâmetro 23 (Tempo de reação (da rede)) que foi importante em 10 cenários e em 88% das situações consideradas. O caso do Parâmetro 23 mostra que situações com mesma geometria podem apresentar diferença entre os parâmetros importantes para o processo de calibração em função do volume de tráfego simulado e do tipo de controle de tráfego. Por exemplo, para a interseção isolada controlada por semáforo, o Parâmetro 23 foi significativo para a medida de desempenho “Tempo médio de atraso” somente no caso do menor volume simulado. Já no caso da medida do controle com placas PARE, ele foi significativo para os dois níveis de volume estudados. Os Parâmetros 11 (Distância mínima entre veículos) e 12 (Tempo máximo de cessão de preferência) pertencem ao Grupo 3, e os Parâmetros 2 (Distância Zona 1), 4 (Distância faixa de aceleração (*on-ramp*)) e 7 (Velocidade máxima desejada) foram os que menos afetaram os resultados das simulações.

Tabela 4: Resumo da importância global dos parâmetros analisados

Grupo	Parâmetro	Nº de cenários em que o parâmetro é importante por medida de desempenho				% global das situações
		Tempo médio de atraso	% cenários	Comprimento médio de filas	% cenários	
1	6	12	100	12	100	100
2	8	12	100	11	92	96
	13	12	100	11	92	96
	23	10	83	11	92	88
	23	10	83	11	92	88
3	11	6	50	8	67	58
	12	7	58	8	67	63
4	2	0	0	1	8	4
	4	0	0	1	8	4
	7	0	0	1	8	4

5.2. Demais resultados

Na análise por tipo de controle, o mesmo procedimento de agrupamento dos parâmetros estudados em quatro grupos foi adotado, conforme descrito na Subseção 5.1. A Tabela 5 apresenta uma síntese dos resultados obtidos, incluindo os referentes à análise global. Já a análise por nível de volume revelou que, efetivamente, para uma mesma geometria e tipo de controle, a variação dos volumes afeta a identificação dos parâmetros importantes para a calibração. Este impacto foi muito mais elevado para a interseção isolada e para a rede com

interseções mais próximas entre si (Rede 121), e esteve presente nas duas formas de controle analisadas (com semáforo e com a sinalização de PARE).

Tabela 5: Grupos de parâmetros por grau de importância para o processo de calibração

Grupo	Parâmetros (*)		
	Análise Global	Controle com o sinal PARE	Controle com semáforo
1	6	6	6, 8, 13
2	8, 13, 23	8, 12, 13, 23	10, 23
3	11, 12	1, 11	11
4	2, 4, 7	2, 4, 7, 10, 15, 21, 22	2, 4, 7

(*) 1- Máxima variabilidade do tempo de “Dê a Preferência”; 2-Distância Zona 1; 4-Distância faixa de aceleração (*on-ramp*); 6-Varição do tempo de reação; 7-Velocidade máxima desejada; 8-Aceleração máxima; 10-Desaceleração máxima; 11-Distância máxima entre veículos; 12-Tempo máximo de cessão de preferência; 13-Fator de sensibilidade; 15-Ultrapassagem pela direita; 21-Percentagem de ultrapassagem; 22-Percentagem de retomada; 23-Tempo de reação (rede)

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O procedimento proposto, ao ser testado para o microssimulador Aimsun, revelou-se adequado para a consecução dos objetivos da presente pesquisa. Permitiu a seleção de parâmetros com importância destacada para a atividade de calibração do programa, e de outros parâmetros que efetivamente dispensam qualquer esforço de calibração para os cenários estudados.

Os resultados obtidos mostram que é possível identificar para um determinado simulador um conjunto de parâmetros que são importantes para sua calibração, independentemente da situação de geometria, controle e volume de tráfego. No caso do Aimsun foram identificados os Parâmetros 6, 8, 11, 13 e 23, que pertencem aos Grupos 1 a 3 tanto na análise global quanto na análise específica por tipo de controle. A esses parâmetros, dependendo da geometria, do tipo de controle e do volume de tráfego, outros devem ser adicionados para efeito do processo de calibração. O estudo mostrou que a calibração do Aimsun para representar cenários com controle do tráfego nas interseções por meio de sinais de PARE dispensa a calibração de um número bem maior de parâmetros do que quando o controle é realizado com semáforos. Já os Parâmetros 2 (Distância Zona 1), 4 (Distância faixa de aceleração (*on-ramp*)) e 7 (Velocidade máxima desejada) mostraram-se sem contribuição significativa para a calibração do programa visando os cenários estudados e, portanto, seus valores *default* podem ser adotados.

Outro aspecto importante revelado pelas análises efetuadas diz respeito ao impacto da variação dos volumes sobre a identificação dos parâmetros importantes para a calibração do microssimulador para um determinado tipo de geometria e controle. Destaca-se que os parâmetros identificados como importantes para a calibração do Aimsun neste trabalho não podem ser generalizados para cenários muito distintos daqueles que foram analisados (em termos de geometria das interseções e configuração geral da rede). Ou seja, o procedimento em si é aplicável a diferentes microssimuladores e situações a serem simuladas, mas os resultados específicos do seu teste, apresentados na Seção 5 deste artigo, não o são. Além disso, é importante levar em conta as principais limitações do trabalho, cuja superação, recomenda-se, deve ser objeto de estudos futuros. São elas: os cenários simulados não levaram em conta a presença de pedestres nem de veículos de transporte público e de carga; não foram contemplados cenários referentes a redes viárias extensas, em malha fechada, com a adoção de controles diferenciados entre as interseções; e não foram investigadas as interações entre os parâmetros estudados.

Finalmente, ao identificar parâmetros importantes para todos e cenários e parâmetros cuja calibração não altera significativamente os resultados da simulação, o trabalho evidenciou a importância do processo de calibração ser iniciado por um estudo detalhado do microssimulador a ser utilizado e das características do cenário a ser simulado. A partir desse conhecimento inicial, a aplicação do procedimento proposto pode auxiliar na determinação de quais parâmetros devem ser objeto do processo de calibração, evitando assim esforços desnecessários nessa atividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araújo, D. R. C.; G.B. Jacondino e H. B. B. Cybis (2003) Procedimento de calibração de modelos de microssimulação de tráfego através de otimização multivariada. *XVII Congresso de ANPET, Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2003*, v. 1, p. 464-464.
- Ayala, R. J. L. (2013) *Procedimento para identificação dos principais parâmetros dos microssimuladores a serem considerados no processo de calibração*. Dissertação de Mestrado em Transportes. Universidade de Brasília.
- Brockfeld, E.; R. Kühne e P. Wagner (2003) Calibration and Validation of Microscopic Traffic Flow Models. *Transportation Research Board, 83rd Annual Meeting*. Washington, D.C.
- Dalprá, G. (2011) *Análise de Sensibilidade do Modelo Simtraffic aos Parâmetros de Caracterização do Perfil dos Motoristas*. Trabalho de Diplomação. Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Gao, Y. e H. Rakha (2008) *Calibration and Comparison of the VISSIM and INTEGRATION Microscopic Simulation Models*. Thesis of Master of Science. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksbourg, Virginia.
- Hourdakis, J. e P. G. Michalopoulos (2003) *A Practical Procedure for Calibrating Microscopic Traffic Simulation Models*. Transportation Research Board. Washington, D.C.
- Kim, K. e L. Rilett (2003) Simplex Based Calibration of Traffic Micro-Simulation Models Using ITS Data. *Transportation Research Board, 82nd Annual Meeting*. Washington D.C.
- Lownes, N. e R. B. Machemehl (2006) VISSIM: A Multi-Parameter Sensitivity Analysis. *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*. Monterey, California.
- Mathew, T. e P. Radhakrishnan (2010) Calibration of Microsimulation Models for Nonlane-Based Heterogeneous Traffic at Signalized Intersections. *Journal of Urban Planning and Development*, vol 136, núm 1, p. 59-66.
- Park, B. e D. Schneeberger (2003) Microscopic Simulation Model Calibration and Validation. *Transportation Research Record*, No. 1856, p. 185-192.
- Park, B. e H. Qi (2005) Development and Evaluation of a Procedure for the Calibration of Simulation Models. *Transportation Research Record*, No. 1934, p. 208-217.
- Park, B. J. e Kwak J.S (2010) Calibration Validation of TRANSIMS Microsimulator for an Urban Arterial Network. *ESCE Journal of Civil Engineering*, Vol. 15, No.6, p. 1091-1100.
- Santhanam, S. e B. Park (2008) *Development of VISSIM Base Model for Northern Virginia (NOVA) Freeway System*. A Research Project Report for the Northern Region Operations Virginia Department of Transportation (VDOT).
- TSS – TRANSPORT SIMULATION SYSTEMS (2012) *Aimsun7 Dynamic Simulators User's Manual*. Barcelona, Espanha.
- Turley, C. (2007) *Calibration Procedure for a Microscopic Traffic Simulation Model*. Thesis for degree of Master of Science. Department of Civil and Environmental Engineering, Brigham Young University. Provo, Utah. United States.

Rosemary Janneth Llanque Ayala (jannethllanque@yahoo.com.br).

Maria Alice Prudêncio Jacques (mapj@unb.br).

Programa de Pós-Graduação em Transportes – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

Campus Universitário Darcy Ribeiro – Asa Norte 70910-900 Brasília – DF Brasil.