

MEDIDAS DE EFICIÊNCIA E NÍVEIS DE SERVIÇO PARA PRAÇAS DE PEDÁGIO NA PERCEPÇÃO DE SEUS OPERADORES

Marcelo Leismann de Oliveira

Laboratório de Sistemas de Transportes, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Praça Argentina, 9 – sala 404, 90040-020, Porto Alegre, RS, Brasil
Tel.: +55 (51) 3316-3596, Fax: +55 (51) 3316-4007
leismann@producao.ufrgs.br

e

Helena Beatriz Bettella Cybis

Laboratório de Sistemas de Transportes, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Praça Argentina, 9 – sala 408, 90040-020, Porto Alegre, RS, Brasil
Tel.: +55 (51) 3316-4004, Fax: +55 (51) 3316-4007
helenabc@producao.ufrgs.br

RESUMO

O presente estudo possui o objetivo de levantar o estado da arte com relação a medidas de desempenho para praças de pedágio, além de proporcionar uma visão a respeito de medidas de eficiência e parâmetros operacionais mínimos aceitáveis quando da operação de praças de pedágio no Brasil. Ainda, o estudo busca fornecer subsídios para trabalhos futuros de elaboração de contratos de concessão, assim como auxiliar na escolha das medidas de eficiência mais adequadas para serem inseridas em trabalhos de simulação de praças de pedágio. O artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o tema, seguida da realização de pesquisas. A revisão bibliográfica objetivou agrupar diversas medidas de eficiência, além de identificar estudos que realizaram descrições de níveis de serviço para praças de pedágio. A etapa qualitativa da pesquisa foi realizada através de entrevistas, na forma de questionário aberto, com gerentes operacionais de duas concessões rodoviárias brasileiras. O questionário fechado, elaborado através do questionário aberto e de informações obtidas na bibliografia, foi enviado a todos os gerentes operacionais das concessionárias filiadas à ABCR (Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias). As respostas obtidas conseguiram englobar um terço do total de concessionárias pesquisadas. As concessionárias que responderam ao questionário são responsáveis por 2667 quilômetros de rodovias concedidas, 46 praças de pedágio em 5 estados e os maiores VDMs observados em trechos sob concessão. De posse dos questionários respondidos foram tecidas observações sobre o estado da prática brasileira. Análises de níveis de serviços ofertados foram realizadas baseadas nas percepções de gerentes operacionais das concessionárias, e estas comparadas aos valores apresentados na bibliografia. Ainda, se pôde avaliar o grau de preocupação das concessionárias quanto a manter níveis de serviço aceitáveis aos usuários, quando da utilização de medidas de desempenho mais rígidas do que àquelas previstas em contrato.

PALAVRAS-CHAVE: Medidas de Eficiência, Praças de Pedágio, Nível de Serviço

1. INTRODUÇÃO

Com a expansão do programa de concessões rodoviárias no Brasil ocorreu um aumento no número de praças de pedágio implantadas nas rodovias brasileiras. Atualmente encontram-se em funcionamento 168 praças de pedágio em rodovias federais, estaduais e municipais neste país (ABCR, 2006).

Praças de pedágio são estruturas freqüentemente responsáveis por atrasos, principalmente em períodos de pico de tráfego, ocasionando congestionamentos. Congestionamentos são um dos principais problemas da relação entre oferta e demanda de serviço nas praças de pedágio, aparecendo quando a demanda atinge a capacidade de processamento da praça, de modo que os tempos de viagem são significativamente aumentados devido aos atrasos provocados por paradas.

A ineficiência do sistema de pedagiamento é fonte de preocupação para operadores das praças e órgãos reguladores. Filas nas cabines podem ocasionar aumento nos (i) tempos de viagem, (ii) consumo de combustível, (iii) ruído, devido ao constante movimento de acelerações e desacelerações nas filas, (iv) emissão de poluentes, (v) risco de acidentes, dentre outros.

Os operadores utilizam medidas de eficiência (atrasos totais, atrasos individuais, tamanho de fila máxima, etc) para a aferição dos níveis de serviço nas praças. Medidas de eficiência são medidas de desempenho quantitativas que caracterizam o funcionamento de uma infraestrutura de transportes (interseções, rodovias, praças de pedágios, etc) de forma a avaliar seu funcionamento. Nível de serviço é uma medida de desempenho qualitativa, que normalmente associa várias medidas de eficiência. A definição da escala de avaliação do nível de serviço tem a finalidade de capturar os níveis de desconforto e inconveniência percebidos pelos usuários.

Para aquelas infra-estruturas que possuem uma metodologia definida para avaliação de sua capacidade e nível de serviço, as medidas de eficiência atuam como informação primordial (Al-Deek, 2001). No estudo de praças de pedágio, as medidas de eficiência constituem uma importante ferramenta para avaliação técnica e otimização da operação. Algumas destas medidas fazem parte dos contratos de concessão rodoviária no Brasil.

A avaliação do nível de serviço para praças de pedágio, por sua vez, ainda não foi formalmente definida no *Highway Capacity Manual 2000* (Kittelson e Roess, 2001). Devido a este fato, estudos sobre o tema divergem com relação às medidas de desempenho que melhor caracterizam o funcionamento destas infra-estruturas.

O presente estudo possui o objetivo de levantar o estado da arte com relação a medidas de desempenho para praças de pedágio, além de proporcionar uma visão a respeito de medidas de eficiência e parâmetros operacionais mínimos aceitáveis quando da operação de praças de pedágio no Brasil. Ainda, o estudo busca fornecer subsídios para trabalhos futuros de elaboração de contratos de concessão, assim como auxiliar na escolha das medidas de eficiência mais adequadas para serem inseridas em trabalhos de simulação de praças de pedágio.

2. METODOLOGIA

Para alcançar o objetivo proposto, o artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o tema, seguida da realização de uma pesquisa. A pesquisa possuiu duas etapas: (i) etapa qualitativa e (ii) etapa quantitativa.

A revisão bibliográfica objetivou agrupar diversas medidas de eficiência observadas em estudos específicos sobre o tema desde 1954, além de identificar estudos que realizaram descrições de níveis de serviço para praças de pedágio.

A etapa qualitativa da pesquisa foi realizada através de entrevistas, na forma de questionário aberto, com gerentes operacionais de duas concessões rodoviárias brasileiras. Um representando concessões estaduais, e outro representando concessões federais, cujos órgãos reguladores são distintos.

As entrevistas foram realizadas com a finalidade de obter subsídios para a elaboração de um questionário fechado, além do levantamento de diferenças entre concessões estaduais e federais brasileiras relativas à utilização de medidas de eficiência e níveis de serviço em seus

contratos. Distintos órgãos reguladores podem apresentar diferenças nas medidas de eficiência utilizadas.

O questionário fechado, elaborado através do questionário aberto e de informações obtidas na bibliografia, foi enviado a todos os gerentes operacionais das concessionárias filiadas à ABCR (Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias). As respostas obtidas conseguiram englobar um terço do total de concessionárias pesquisadas. As concessionárias que responderam ao questionário são responsáveis por 2667 quilômetros de rodovias concedidas, 46 praças de pedágio em 5 estados e os maiores VDMs observados em trechos sob concessão.

3. MEDIDAS DE EFICIÊNCIA E NÍVEIS DE SERVIÇO PARA PRAÇAS DE PEDÁGIO

Em trabalho clássico sobre atrasos em cabines de pedágio, Edie (1954) afirma que análises detalhadas do funcionamento de praças podem resultar em melhorias de planejamento e operação destas infra-estruturas. Cada praça possui características únicas com relação ao número de cabines, dimensões e formas de cobrança particulares a cada concessionária (Schaufler, 1997), e com frequência tornam-se gargalos para o fluxo de tráfego devido a estas variações de operação e geometria (Lin, 2001).

Duas medidas de eficiência comumente utilizadas para avaliar o desempenho operacional de praças de pedágio são o atraso veicular e o comprimento médio de filas nas cabines (Sahin, 2006). Existem inúmeros fatores que afetam estas medidas de eficiência, como: (i) a capacidade de processamento das cabines, (ii) o número de cabines disponíveis, (iii) geometria das praças, (iv) estratégias de operação, (v) características operacionais de veículos e (vi) características da demanda de tráfego. Cada um destes fatores pode ser analisado em termos de sua contribuição para o desempenho das praças, e pode eventualmente resultar em ganhos operacionais quando corretamente alterado, minimizando a situação de gargalo ao fluxo de tráfego (Oliveira, 2004).

Para um melhor entendimento sobre o tema foram levantadas na literatura medidas de eficiência e níveis de serviço que vêm sendo utilizadas para aferição do comportamento operacional de praças de pedágio.

3.1. Medidas de Eficiência para Praças de Pedágio

Medidas de eficiência são medidas de desempenho quantitativas que caracterizam o funcionamento de uma infra-estrutura de transportes (interseções, rodovias, praças de pedágios, etc) de forma a avaliar seu funcionamento. Cada tipo de infra-estrutura de transportes possuirá medidas únicas que poderão ser obtidas, por exemplo, através de observações práticas ou simulação. Segundo o *Highway Capacity Manual* (TRB, 2000) são necessárias medidas quantitativas para caracterizar as condições de operação e definir a qualidade de serviço de uma infra-estrutura de transportes.

Em estudo gênese sobre a operação e otimização de mão-de-obra para coleta manual de pedágios, Edie (1954) utiliza, como medidas de eficiência, atrasos médios por veículo e fila máxima nas cabines como critério para avaliação do desempenho operacional de praças de pedágio.

O atraso total gerado pelas praças foi utilizado como medida de eficiência na definição de níveis de serviço por Zarrillo (1998), Polus (1996) e Gulewicz e Danko (1995). Considera-se atraso total, neste caso, a soma dos atrasos sofridos por todos os veículos, que são obrigados a praticar velocidades inferiores, devido à presença da praça de pedágio no sistema. Burris e Hildebrand (1996) utilizaram comprimento médio de fila e tempo médio no sistema como medidas de eficiência para avaliar o desempenho de praças. Outra possível medida é o tempo de espera do usuário na fila para pagamento (Wanisubut, 1989; Nielsten, 1988 *apud* Zarrillo, 1998).

O atraso médio por veículo, gerado pelas paradas nas filas, também foi utilizado como medida de eficiência para avaliar a operação de praças por Fan e Saito (1998). Como indicado por Schaufler (1997), o tamanho das filas e os atrasos são utilizados por diversas agências de transportes americanas como medidas de eficiência para avaliar alternativas de planejamento e projeto para praças de pedágio. A forma de medição dos atrasos e o nível de agregação desejado dependem de particularidades e variam entre agências.

Al-Deek e Radwan (1995) sugerem um sistema para avaliação do nível de serviço nas praças, com cobrança eletrônica de pedágios, baseado em várias medidas de eficiência incluindo o tempo médio de espera por veículo e relação volume-capacidade (V/C). Assim como Woo e Hoel (1991), que sugerem que a relação volume-capacidade, agregada para todas as cabines da praça, pode ser utilizada para classificar o nível de serviço.

A medida de eficiência comumente utilizada para determinação do nível de serviço em rodovias e interseções é a relação volume-capacidade (TRB, 2000). Lin e Su (1994) acrescentam que, para praças de pedágio, a relação volume-capacidade (V/C) é mais fácil de ser obtida em campo do que outras medidas de eficiência.

A relação volume-capacidade (V/C) foi largamente utilizada para determinação do nível de serviço nas praças. Porém, em estudo recente, Zarrillo (2000) afirma que a relação volume-capacidade (V/C) é inadequada para avaliação de praças de pedágio, pois a capacidade é dependente de fatores humanos que influenciam no tempo de atendimento e escolha da forma de pagamento, portanto muito variável. Oliveira *et al.* (2003) também realizaram estudo sobre a influência de fatores humanos (motoristas e arrecadadores) nos tempos de atendimento e capacidades de processamento nas cabines, chegando a conclusão de que estes fatores não devem ser desprezados em análises de capacidade em praças de pedágio.

Em estudo mais recente, Klodzinski e Al-Deek (2002a) propõem uma avaliação do nível de serviço baseado na formação de grupos de veículos que sofreram o mesmo atraso acumulado individual (em segundos). De acordo com o estudo, o atraso experimentado por 85% do total de veículos que atravessam a praça pode ser tomado como medida de eficiência na determinação do nível de serviço geral da praça em estudo.

Em trabalho desenvolvido por Horn (2003), são utilizadas medidas de eficiência genéricas para praças de pedágio, correspondentes, em sua maioria, a medidas de eficiência provenientes do micro-simulador de tráfego, já que praças são simuladas em conjunto com rodovias e entornos. Para praças, as medidas de eficiência escolhidas são apresentadas por cabine de atendimento.

Estes tipos de dados (atrasos individuais, atrasos totais, fila média, etc) são geralmente obtidos através da utilização de programas computacionais de simulação específicos ou adaptados para praças de pedágio. A falta de uma metodologia conveniente e confiável para

análise de capacidades e nível de serviço estimulou algumas agências governamentais americanas a usarem simuladores para auxiliar na avaliação dos projetos e desempenho de praças de pedágio (Pietrzyk e Mierzejewski, 1993).

A Tabela 1 apresenta um resumo, e os respectivos níveis de agregação, de algumas medidas de eficiência encontradas na literatura quando da avaliação de praças de pedágio.

Nota-se que a relação volume-capacidade (V/C) foi medida de eficiência utilizada na verificação do funcionamento de praças em trabalhos mais antigos, revelando a tentativa de adaptação de métodos já existentes no HCM para análises de praças de pedágio. Em trabalhos subsequentes verificou-se que esta associação não poderia ser estabelecida como já explicado.

A medida de eficiência mais frequentemente encontrada nos trabalhos levantados nesta revisão bibliográfica foi o tempo de espera na fila, aparecendo em cinco trabalhos. O tempo de espera na fila possui relação direta com o desconforto experimentado pelos motoristas quando do ato de pagamento das tarifas, representado forte apelo sensitivo.

Atraso médio por veículo, fila máxima observada e comprimento médio de fila foram medidas de eficiência também encontradas com frequência, sendo sugeridas em três dos dezesseis trabalhos levantados.

Medidas de eficiência que apresentaram duas observações cada são: (i) atrasos totais; (ii) nível de utilização das cabines e (iii) a relação volume-capacidade. E, por último, com uma observação cada, estão as medidas de eficiência: (i) tempo médio no sistema e (ii) atraso individual acumulado. Destacando que autores podem apresentar, em um mesmo trabalho, várias medidas de eficiência.

Existem algumas considerações quando tratamos de medidas de eficiência relacionadas a atrasos. Em praças de pedágio existem três principais atrasos: (i) aqueles que são sofridos pelos veículos devido às filas nas cabines, (ii) aqueles que são resultados da diferença de velocidades devido à presença da praça de pedágio no sistema, ou seja, diferença entre o tempo gasto para percorrer a mesma seção de rodovia com e sem a praça de pedágio, e (iii) atrasos vivenciados pelos veículos quando executando o pagamento de tarifas.

Atrasos totais ou acumulados seriam aqueles atrasos onde estão somados todos os atrasos vivenciados pelos veículos no sistema de pedagiamento, com desacelerações, espera na fila, tempo para atendimento e reaceleração para retomada de velocidade.

3.2. Níveis de Serviço para Praças de Pedágio

A avaliação do nível de serviço para praças de pedágio ainda não foi formalmente definida no *Highway Capacity Manual 2000* (Kittelson e Roess, 2001). A determinação da hierarquia de níveis de serviço tem a finalidade de capturar os níveis de desconforto e inconveniência percebidos pelos usuários.

Autores como Mustafa e Pitsiava-Latinpoulou (1991) e Morton e Lam (1994) utilizavam a classificação encontrada no HCM, relativo a interseções semaforizadas, para o enquadramento das situações de tráfego nas praças de seus estudos. Esta prática se devia ao fato de que existe uma similaridade entre o atraso de paradas para situações de tráfego em interseções semaforizadas e o atraso ocasionado por paradas em uma praça de pedágio. A similaridade buscava a simplificação do problema.

Por outro lado, os trabalhos de Woo e Hoel (1991), Lin e Su (1994) e Klodzinski e Al-Deek (2002a) buscaram uma caracterização de problemas particulares de praças de pedágio, identificando níveis de serviço a partir da densidade de utilização das faixas e cabines, tamanho médio de filas nas cabines e tempo médio no sistema, como pode ser visto na Tabela 2. Zarrillo (1998) utilizou a relação volume-capacidade (V/C) para seções normais de rodovias (55 milhas por hora), encontradas no HCM, para caracterizar os níveis de serviço obtidos em seu simulador. Valores apresentados na Tabela 2 para o HCM são respectivos a interseções semaforizadas, e possuem a finalidade de comparação com os valores sugeridos por outros autores.

Gulewicz e Danko (1994) determinaram seus valores de medidas de eficiência, para descrever níveis de serviço, baseando-se em extensa pesquisa com agências governamentais de transportes dos Estados Unidos, consultores independentes e o HCM.

Devido à considerável interrupção do fluxo de tráfego, o segmento não pode ser avaliado como um segmento normal de rodovia, além disso, praças de pedágio não podem ser avaliadas como interseções semaforizadas devido a características únicas associadas às mesmas (Klodzinski e Al-Deek, 2002b).

Em estudos mais antigos, os níveis de serviço, distribuídos hierarquicamente de A até F (Tabela 2), correspondiam às definições encontradas no HCM relativas às condições de tráfego em interseções semaforizadas. Porém, estudos específicos sobre praças de pedágio tentam traduzir o desconforto percebido pelos usuários quando sob ação de atrasos decorrentes das filas e paradas enfrentadas nestas infra-estruturas.

3.2.1. Definições de Níveis de Serviço para Praças de Pedágio

Alguns autores buscaram definir características de tráfego e congestionamento em praças de pedágio. Woo e Hoel (1991) e Zarrillo (1998) buscam analogia com os níveis de serviço para interseções semaforizadas descritos no HCM. Klodzinski e Al-Deek (2002a) justificam suas descrições baseados nas (i) observações visuais em campo (entre os anos de 1994 e 2000 em uma praça de pedágio do estado da Flórida-EUA), (ii) experiências vivenciadas pelos motoristas, relacionando os atrasos sofridos pelos usuários com a sua influência na percepção dos mesmos e em (iii) extensa investigação das descrições de níveis de serviço para operações envolvendo mobilidade (seções de rodovias - *freeways*) e operações envolvendo atraso veicular (interseções semaforizadas).

Klodzinski e Al-Deek (2002a) completam afirmando que as descrições de níveis de serviço para operações em seções de rodovias possuem alguma relação, e podem ser aplicáveis, para as faixas de aproximação nas praças de pedágio. Descrições para atrasos em interseções semaforizadas possuem alguma aplicação para cabines de pedágio. A combinação das duas é útil, e pode contribuir para as descrições dos níveis de serviço nas praças de pedágio.

As descrições de níveis de serviço em praças de pedágio para Woo e Hoel (1991), com acréscimo de informações de Zarrillo (1998) e Klodzinski e Al-Deek (2002a) estão apresentadas nos itens a seguir:

Nível de Serviço A: existe uma baixa densidade de tráfego e pouco atraso. O comportamento dos veículos não é afetado pela presença dos demais, apesar de desacelerações serem necessárias. Não há formação de filas nas cabines e o nível geral de conforto é excelente

(Woo e Hoel, 1991). Zarrillo (1998) completa afirmando que a velocidade dos veículos somente é afetada pela geometria da praça. Klodzinski e Al-Deek (2002a) seguem descrevendo que a maioria dos veículos que entram no sistema não encontra outros veículos parados nas cabines, resultando em atendimentos imediatos. Os tempos de atendimento dos veículos somente são afetados por suas preferências, ou seja, forma de pagamento e cabine escolhida. A oportunidade de troca de faixas é ótima, e a presença de veículos pesados não afeta o fluxo.

Nível de Serviço B: os veículos começam a desacelerar mais cedo, mas o nível de conforto ainda é alto, porém menor que no nível de serviço “A”. A presença de outros veículos no fluxo de tráfego começa a ser notada, entretanto, há boa oportunidade de mudança de faixa. Zarrillo (1998) acrescenta ainda que, para este nível de serviço, motoristas podem vir a encontrar veículos formando filas nas cabines, há a possibilidade de trocas de faixas em busca de uma cabine desocupada sem maiores riscos. Klodzinski e Al-Deek (2002a) seguem descrevendo que há um aumento no número de veículos percebendo pouco, mas algum atraso.

Nível de Serviço C: o número de veículos parados é perceptível, há antecipação nas desacelerações, e filas começam a se formar. Há uma queda considerável de conforto. Zarrillo (1998) afirma ainda que, para este nível de serviço, manobras ainda são possíveis, mas com algum grau de restrição, representando riscos. Há veículos sendo atendidos, e filas pequenas, em todas as cabines. Klodzinski e Al-Deek (2002a) acrescentam ainda que veículos, no final das filas, podem vir a interromper o fluxo em faixas adjacente.

Nível de Serviço D: veículos possuem pouca liberdade de manobra para escolha da cabine. O comprimento da fila se torna significativo e as condições de fluxo interrompido (*stop-and-go*) se tornam inevitáveis. Zarrillo (1998) acrescenta ainda que manobras são praticamente impossíveis, a densidade de tráfego começa a aumentar e o conforto de motoristas se apresenta pobre. Klodzinski e Al-Deek (2002a) contribuem afirmando que os longos atrasos são uma influência combinada do aumento das taxas de chegadas, tempos de processamentos altos e ocupação das cabines de cobrança. Qualquer menor interrupção no atendimento nas cabines pode causar extensas filas.

Nível de Serviço E: todos os veículos enfrentam filas antes de chegar às cabines. O tráfego de fluxo interrompido (*stop-and-go*) é um fenômeno típico. Zarrillo (1998) afirma que, para este nível de serviço, não existem espaços para manobras nas aproximações das cabines, sendo necessário auxílio de outro veículo para a realização de trocas de pista. A praça opera quase em sua capacidade. Klodzinski e Al-Deek (2002a) acrescentam ainda que praças irão apresentar serviço pobre, altas taxas de chegadas e altas taxas de ocupação das cabines. Filas demoram a se dissipar.

Nível de Serviço F: há uma relação V/C maior que 1, condição que geralmente ocorre quando a taxa de chegada excede a taxa de atendimento. As filas continuam a crescer, avançando até alcançarem a rodovia. Zarrillo (1998) acrescenta ainda que filas continuam longas mesmo após o volume de tráfego na hora de pico ter diminuído. Klodzinski e Al-Deek (2002a) afirmam que este nível de serviço é inaceitável para a maioria dos motoristas, já que enfrentam grandes atrasos.

4. ETAPA QUALITATIVA DA PESQUISA

A etapa qualitativa da pesquisa foi realizada através de duas entrevistas individuais com gerentes operacionais de concessionárias sob distintas jurisdições. A primeira entrevista buscou informações sobre uma concessão sob a tutela estadual, a segunda entrevista buscou focar-se em concessão sob jurisdição federal. O objetivo desta etapa foi investigar, do ponto de vista de seus operadores, quais são as principais medidas de eficiência previstas nos seus contratos de concessão, e quais são efetivamente utilizadas por suas concessionárias.

De acordo com Miranda (2004), o desenvolvimento de uma pesquisa qualitativa pode ter os seguintes objetivos: (i) descrever uma situação, um fenômeno ou um grupo de itens (pessoas ou coisas); (ii) gerar hipóteses de trabalho cuja verificação depende, no âmbito da pesquisa qualitativa, de tratamento específico ou, no âmbito da pesquisa quantitativa, de indicadores preliminares para estudos posteriores de caráter mais aprofundado, e; (iii) contribuir para a geração de teorias a respeito da questão sob exame.

A pesquisa qualitativa, neste caso, teve o objetivo de gerar hipóteses de trabalho, fornecendo indicadores preliminares para a pesquisa quantitativa subsequente, além de contribuir para o desenvolvimento de teorias a respeito da questão sob exame.

As entrevistas foram realizadas a partir de questões abertas, que buscaram obter a visão dos entrevistados com relação às medidas de eficiência e parâmetros operacionais mínimos aceitáveis de suas concessões nas respectivas praças de pedágio.

O roteiro utilizado foi composto por quatro perguntas. A primeira pergunta buscou identificar quais medidas de eficiência estão previstas originalmente nos contratos de concessão, e quais parâmetros operacionais mínimos aceitáveis estão previstos. A segunda questão buscou identificar alterações contratuais, e, se possível, os motivos dessas alterações. A terceira questão objetivou levantar peculiaridades em cada tipo concessão, como a existência de sistemas de qualidade implantados. A quarta questão foi realizada com o objetivo de levantar a existência de medidas de eficiência utilizadas pelas concessionárias diferentes daquelas previstas em contratos, e a justificativa pelos gerentes operacionais sobre suas utilizações.

Através das entrevistas, pôde-se notar diferença no tratamento do assunto entre os dois órgãos reguladores.

Na concessão estadual verificou-se que a medida de eficiência prevista em contrato é o tempo de espera máximo na fila. Este tempo de espera estava limitado a 40 segundos para qualquer tipo de veículo. No caso de extrapolação deste tempo, o contrato previa que as cancelas deveriam ser abertas, e o fluxo liberado até que se restabelecesse um fluxo normal, compatível com as capacidades de processamento das praças.

Alteração contratual realizada posteriormente ao início da concessão modificou parâmetros operacionais mínimos aceitáveis para esta concessão em particular. Um adendo ao contrato estipulou limites mais flexíveis para o tempo máximo de espera na fila para pagamento, e acrescentou uma nova medida de eficiência: o tempo máximo de atendimento. A partir da alteração contratual, os limites para tempo de espera na fila passaram a ser, nos casos de: (i) fluxo de tráfego normal: 1 minuto; (ii) fluxo de tráfego intermediário: 3 minutos, e; (iii) fluxo de tráfego alto: 7 minutos. O tempo máximo para atendimento de um veículo na cabine ficou estipulado em 15 segundos.

Quanto à concessão federal, verificou-se que não existem explicitamente medidas de eficiência para praças de pedágio previstas no seu contrato de concessão, mas sim a previsão de implantação de um sistema de qualidade, com certificação de processos de acordo com procedimentos de manuais da qualidade (exemplo: ISO 9001).

Este sistema de qualidade deve englobar qualquer serviço relacionado ao usuário da concessão, e deve incluir mecanismos que busquem diminuir os tempos perdidos em consequência das paradas nas praças de pedágio.

A medida de eficiência adotada, após reunião entre a concessionária da rodovia federal e o órgão competente fiscalizador (ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres), foi o tempo médio de atendimento entre veículos. Esta medida de eficiência corresponde ao tempo médio decorrido entre atendimentos consecutivos de veículos em situação de fila, e foi chamada pelo entrevistado de indicador, devido à nomenclatura utilizada em manuais da qualidade (ISO 9001). Os tempos médios de atendimento entre veículos estipulados devem apresentar valores de 12 segundos, neste caso.

Tanto no âmbito federal como no estadual existem medidas de eficiência e parâmetros operacionais mínimos aceitáveis a serem seguidos pelas concessionárias. Em contrato federal percebeu-se que não há referência explícita a medidas de eficiência, mas a necessidade de desenvolvimento de um plano de qualidade para toda a concessão, incluindo as praças. As medidas de eficiência foram implantadas e definidas posteriormente.

Já no âmbito estadual, este assunto é tratado com relativa importância, visto que adendos em contratos prevêm alterações em suas formas, visando adequar níveis de serviço à realidade.

Possivelmente, a criação do órgão regulador estadual, praticamente ao mesmo tempo em que as concessões estaduais tinham seu formato definidos, fez com que medidas de eficiência para praças fossem incluídos nos contratos de concessão.

O fato da concessão federal não apresentar medidas de eficiência específicas para praças de pedágio previstas originalmente em seu contrato merece algumas ponderações: (i) deve ser levado em conta que o setor de transportes no Brasil passou por profundas modificações no âmbito federal, pois no começo do processo licitatório de rodovias não estava estruturada uma agência reguladora; (ii) a responsabilidade de confecção dos contratos era do Ministério dos Transportes, e da fiscalização das concessões federais, dentre outras responsabilidades, pertencia ao antigo DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. O Ministério, por sua vez, não abordou profundamente o tema nas cláusulas contratuais. A criação de um órgão exclusivo para regulação e fiscalização só ocorreu em 2001, quando surgiu a ANTT.

Comparando a busca pela certificação da qualidade das duas concessões, cujos gerentes operacionais foram entrevistados, nota-se que há uma preocupação quanto à qualidade dos serviços ofertados. As duas concessões apresentam sistemas de qualidade implantados, e utilizam os tempos de atendimento como medida de eficiência para suas cabines de pedágio.

De modo geral, segundo as entrevistas, verificou-se que os parâmetros considerados aceitáveis pelos entrevistados, e utilizados na prática, eram mais rígidos que aqueles definidos em contrato.

5. ETAPA QUANTITATIVA DA PESQUISA

A etapa quantitativa da pesquisa foi desenvolvida a partir da experiência obtida na etapa qualitativa e de informações retiradas da bibliografia. Esta etapa foi realizada através da aplicação de um questionário fechado, enviado a todos os gerentes operacionais das concessionárias filiadas à ABCR (Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias). As respostas obtidas conseguiram englobar um terço do total de concessionárias pesquisadas. As concessionárias que responderam ao questionário são responsáveis por 2667 quilômetros de rodovias concedidas, 46 praças de pedágio em 5 estados e os maiores VDMs observados em trechos sob concessão.

A primeira parte do questionário buscou levantar informações sobre (i) medidas de eficiência previstas em contrato, (ii) alterações contratuais relativas às medidas de eficiência e parâmetros operacionais mínimos aceitáveis, (iii) certificações e controles de qualidade implantados no âmbito da concessão e (iv) utilização de outras medidas de eficiência diferentes daquelas previstas em contrato.

A segunda parte do questionário fechado objetivou determinar a percepção dos gerentes operacionais com relação aos níveis de serviço ofertados nas praças de pedágio de suas concessões. Para tanto, foi requisitada a informação de VDM na praça de maior fluxo de tráfego no âmbito da respectiva concessão. Após, foram apresentadas alternativas hipotéticas de tamanhos de fila e tempos de espera para diferentes tipos de veículos. Os respondentes necessitaram escolher quais das situações são aceitáveis na prática dentro de suas realidades.

As medidas de eficiência que mais aparecem em contratos daquelas concessões pesquisadas, de acordo com seus gerentes operacionais, são o “tempo máximo de espera na fila” e o “tempo de atendimento de veículos”, com seis observações cada. Estas medidas de eficiência foram informadas pertencerem a contratos de concessão nos estados do Espírito Santo, Rio Grande do Sul e São Paulo. A medida de eficiência “tempos de atendimento de veículos” apresenta uma de suas observações para o Estado do Paraná.

A bibliografia apresenta o “tempo máximo de espera na fila” como sendo a medida de eficiência mais utilizada dentre os trabalhos levantados sobre praças de pedágio. O “tempo de atendimento de veículos” nas cabines não foi observado na literatura.

O “tamanho de fila máxima nas cabines” apresentou quatro observações, e foi informado pertencer aos contratos das concessões federais pesquisadas e das concessões rodoviárias do Estado do Paraná. O “tempo médio de espera na fila” foi informado pertencer a um contrato do Estado de São Paulo.

Todos os gerentes operacionais pesquisados informaram que não ocorreram modificações em seus contratos de concessão, no que diz respeito a alterações ou adoção de medidas de eficiência para praças de pedágio. Exceção foi verificada em concessões do Estado do Rio Grande do Sul, onde ocorreram mudanças nos limites originalmente estabelecidos para tempos máximos de espera na fila, além de incorporação de medida de eficiência nova: tempos de atendimento nas cabines.

A adoção de certificações de qualidade foi verificada em todas as concessionárias pesquisadas. Foram citadas, como exemplo, as normas ISO 9001:2000 e ISO 14001:1996.

As respostas obtidas com a questão sobre utilização de medidas de eficiência diferentes daquelas previstas em contrato foram muito variadas. A confiabilidade das respostas, neste caso, está limitada. Porém, dois índices merecem destaque: número de reclamações, utilizada em rodovia de São Paulo, e nível de utilização das cabines, em concessão no Paraná. O número de reclamação, apesar de não ser uma medida de eficiência para praças de pedágio, pode fornecer indicativos sobre o processamento do fluxo de tráfego nas praças quando motoristas vivenciam altos atrasos com filas longas. Já o nível de utilização das cabines pode ser utilizado como medida de eficiência na formação de estratégias operacionais de aberturas de cabines. Cabines em extremidades opostas da praça podem apresentar diferentes níveis em suas taxas de ocupação, o que pode ser ocasionado muitas vezes por preferências de motoristas na escolha da cabine para pagamento ou influencia do *layout* da praça, quando filas em cabines tornam-se longas o suficiente para bloquear o acesso de veículos em cabines adjacentes (fenômeno de *SpillBack* reportado por Astarita *et al.*, 2001).

Os gerentes operacionais entrevistados pertencem a concessões com variadas intensidades de fluxo de tráfego. A concessão com menor VDM em praça, por sentido de tráfego, foi de 6215 veículos por dia, já a concessão com maior VDM foi de 53200 veículos por dia.

O questionário obteve dos entrevistados informações a respeito do que seriam filas médias admissíveis no âmbito de suas respectivas concessões, buscando levantar uma situação hipotética de operação de praças. Os valores informados foram então inseridos nas escalas de níveis de serviço retiradas da bibliografia, e apresentadas na Tabela 2, para tamanho médio de filas. Esta analogia visa ilustrar a percepção dos agentes diretamente envolvidos na operacionalidade das praças, além de apresentar diferenças quando da aplicação de níveis de serviço propostos por distintos autores. A Tabela 3 apresenta o enquadramento das repostas obtidas de acordo com os níveis de serviço propostos por Gulewicz e Danko (1995) e Lin e Su (1994).

Análise segundo escala de níveis de serviço proposta por Gulewicz e Danko (1995) indicou que seis valores informados pelos entrevistados (filas médias admissíveis entre 1 e 3 veículos) podem ser enquadrados entre os níveis de serviço “A” e “B”. Três gerentes operacionais informaram filas médias admissíveis entre 4 e 5 veículos, resultando em nível de serviço “C”, e somente um gerente operacional informou filas médias admissíveis (6 veículos) que podem resultar em nível de serviço “D”.

Já a análise segundo critérios sugeridos por Lin e Su (1994) indicou que quatro valores informados (filas médias admissíveis entre 1 e 2 veículos) podem ser enquadrados entre os níveis de serviço “A” e “B”. Dois valores informados (fila média admissível nas cabines de 3 veículos) podem resultar em nível de serviço “C”, e quatro respondentes informaram filas médias admissíveis entre 4 e 6 veículos, podendo resultar em nível de serviço “D”.

Uma comparação pode ser realizada através da aplicação das escalas de níveis de serviço propostas pelos distintos autores. Na Tabela 3 estão destacadas as linhas cujas filas médias admissíveis informadas resultaram em nível de serviço idêntico para ambos os autores. Nota-se que o nível de serviço é o mesmo para cinco casos de tamanhos de filas médias admissíveis informadas. Os outros cinco casos apresentam diferenças quando do enquadramento das repostas nas escalas de níveis de serviço.

Realizando-se uma análise crítica da adequação destas classificações para padrões brasileiros, destaca-se que as escalas de níveis de serviço propostas por Lin e Su (1994) podem ser consideradas como mais rígidas se comparadas às escalas propostas por Gulewicz e Danko

(1995). Dentre os casos observados neste estudo, nove casos podem ser enquadrados entre os níveis de serviço “A”, “B” e “C” para as escalas propostas por Gulewicz e Danko (1995). Porém, se utilizada a classificação de níveis de serviço segundo critérios propostos por Lin e Su (1994), somente seis casos podem ser classificados entre os níveis de serviço “A”, “B” e “C”. As diferenças nas escalas de classificação de níveis de serviço levantadas na bibliografia podem revelar possíveis dificuldades encontradas pelos autores quando da elaboração de seus trabalhos. A busca pela melhor definição de escalas de níveis de serviço para praças de pedágio ainda é meta a ser alcançada.

As duas últimas perguntas do questionário são relativas a tempos máximos de atendimento para automóveis e caminhões. Estas perguntas buscaram avaliar a percepção dos entrevistados quanto à influência da categoria do veículo nos tempos de atendimento, além de buscar revelar tendências para a adoção de medidas operacionais ligadas à agilização dos processos de cobrança nas praças. Foram fornecidas diversas alternativas de tempos máximos de atendimento para automóveis e caminhões, todas as alternativas foram consideradas como sendo realizadas com cobrança manual e necessidade de troco.

Todos os entrevistados declararam que tempos máximos admissíveis para que caminhões executem o processo de pagamento são maiores do que tempos máximos admissíveis de automóveis. Esta identificação, a princípio trivial, na realidade representa percepção importante para pessoas ligadas à operacionalidade das praças, na medida em que, por exemplo, pode embasar decisões sobre aberturas de cabines exclusivas para atendimento de veículos pesados quando estes representarem grande parcela do fluxo. Exceção foi verificada para um respondente, cujos tempos máximos admissíveis de atendimentos para automóveis e caminhões, na sua percepção, não apresentam diferenças.

Os valores declarados pelos entrevistados para tempos máximos admissíveis de automóveis variaram entre 10 e 30 segundos, com média de 18 segundos. Valores declarados para caminhões variaram de 15 a 60 segundos, e média de 36 segundos. Comparando-se estes valores médios com aqueles observados na literatura nacional, na Tabela 4, identificou-se que existem diferenças, mas possuem consistência e podem ser tomados como corretos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração do presente estudo permitiu obter uma visão ampla sobre o estado da arte com relação a medidas de desempenho para praças de pedágio, além estado da prática brasileiro. O estudo buscou fornecer subsídios para trabalhos futuros de elaboração de contratos de concessão, assim como auxiliar na escolha das medidas de eficiência mais adequadas para serem inseridas em trabalhos de simulação de praças de pedágio.

Medidas de eficiência para praças de pedágio podem ser segmentadas em dois tipos: aquelas que apresentam características de fácil mensuração prática e aquelas que fornecem importante informação a respeito das condições de operação, porém de difícil mensuração.

As medidas de eficiência escolhidas para serem utilizadas na elaboração de futuros contratos de concessão deveriam, idealmente, apresentar forte apelo sensitivo de usuários, além de características de fácil mensuração prática pelos operadores. Medidas de eficiência com estas características possibilitarão rápidas resposta a situações operacionais adversas. Um exemplo deste tipo de medida seria o tamanho de fila máxima, que está presente nas concessões pesquisadas no estado do Paraná e nas federais. Os tamanhos de filas nas cabines de

pagamento são fáceis de serem obtidas em campo. Os tempos de atendimento nas cabines, quando medidos isoladamente por veículo, também podem ser utilizados neste caso.

A escolha de medidas de eficiência mais adequadas para serem utilizadas em trabalhos de simulação não obedece aos mesmos critérios, já que o cômputo das medidas (atrasos, tamanhos de filas, tempos de espera, nível de ocupação das cabines, etc) é resultado do processamento dos algoritmos do modelo. Uma medida de eficiência com grande apelo sensitivo para usuários e difícil mensuração prática, possível somente de ser obtida através de simulação, é o atraso individual acumulado. O atraso individual acumulado seria a soma de todos os atrasos vivenciados por um veículo que cruzou um sistema de pedagiamento (atrasos devido às desacelerações, atrasos por espera em filas, atrasos decorrentes do ato de pagamento da tarifa e atrasos devido às retomadas).

A definição das escalas correspondentes aos diferentes níveis de serviço pode sofrer grande variação e influência de diversos fatores. Percepções regionais, peculiaridades técnicas e características de frota de cada local onde os estudos reportados na literatura foram realizados, podem ter influenciado seus valores. O enquadramento das respostas obtidas neste estudo para filas médias admissíveis nas cabines de pedágio, dentro das escalas de níveis de serviço propostas por dois diferentes autores, revela as diferenças que podem ser encontradas. Uma dada situação de tráfego pode ser aceitável para um local, enquanto para outro representa indignação de motoristas.

A aplicação de níveis de serviço observados na literatura deve ser cuidadosamente analisada, e escalas de níveis de serviço para o caso brasileiro devem ser estimadas, baseadas em características de frota e percepção de usuários e operadores.

Este trabalho buscou verificar a percepção de operadores de concessões rodoviárias brasileiras a respeito de medidas de eficiência e parâmetros operacionais mínimos aceitáveis para praças de pedágio. Trabalhos futuros poderiam aprofundar e ampliar a pesquisa para outras regiões e contextos, diferentes daqueles englobados neste estudo.

Referências Bibliográficas

ABCR (2006) Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias. *Concessionárias do Brasil*. São Paulo. Disponível em <http://www.abcr.org.br/> , acessado em 22/01/2006.

Al-Deek, H. M. e A.E. Radwan (1995) A framework for evaluation level of service at electronic toll collection plazas. *Proceedings of Transportation Congress: Civil Engineers – Key to World Infrastructure*, ASCE, v.2.

Al-Deek, H.M. (2001) Analyzing the Performance of ETC Plazas Using New Computer Software. *ASCE Journal of Computing in Civil Engineering*, Outubro 2001,p. 309-319.

Araújo, J. J. (2001) *Características Operacionais de Praças de Arrecadação de Pedágio*. Dissertação (Mestrado), 104 p, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos.

Astarita, V., M. Florian e G. Musolino (2001) A Microscopic Traffic Simulation Model for the Evaluation of Toll Station Systems. *The IEEE 4th International Conference on Intelligent Transportation Systems*. Intelligent Transportation System Council-ITSC, August 25-29, Oakland, California, EUA.

Burris, M. W. e E.D. Hildebrand (1996) Using Microsimulation to Quantify the Impact of Electronic Toll Collection. *ITE Journal*, v. 66, n. 7, p. 21–24.

- Edie, L.C. (1954) Traffic Delays at Toll Booths. *Journal of Operations Research Society of America*, v.2, no.2, p. 107-138.
- Fan, J. e M.S. Saito (1998) Application of Artificial Neural Network for Level of Service Analysis of Signalized Intersection. *Proceedings of the 77th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C., CD-ROM.
- Gulewicz, V. e J. Danko (1995) Simulation-Based Approach to Evaluation Optimal Lane Staffing Requirements for Toll Plazas. *Transportation Research Record 1484*, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Horn, M. (2003) Model Behavior. *Feature Review in: Traffic Technology International*. April-May, 2003, p.30-35.
- Kittelson, W. K. e R. P. Roes (2001) Highway Capacity Analysis after the HCM 2000. *Presentation at the 80th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Janeiro de 2001, CD-ROM.
- Klodzinski, J. e H.M. Al-Deek (2002a) New Methodology for Defining Level of Service at Toll Plazas. *Journal of Transportation Engineering*, vol. 128, n. 2, p. 173-181.
- Klodzinski, J. e H.M. Al-Deek (2002b) Proposed Level of Service Methodology for Toll Plazas. *Presentation at the 81th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Janeiro de 2002, CD-ROM.
- Lin, F.B. (2001) Delay Model for Planning Analysis of Main-Line Toll Plazas. *Transportation Research Record 1484*, p. 69-74, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Lin, F.B. e C. Su (1994) Level-of-Service Analysis of Toll Plazas on Freeway Main Lines. *Journal of Transportation Engineering*, v. 120, n. 2, p. 246-263.
- Miranda, S. (2004) *Metodologia Científica: Pesquisa e Método - Os Caminhos do Saber*. Disponível na internet via: <http://www.persocom.com.br/simao/Pesquisa%20e%20M%C3%A9todo.pdf>. Acessado em 20/07/2004.
- Morin, J-M, G. Louah e B. Daviet (1996) ANATOLL, A Software for Simulation and Prediction of Queues at Toll Plazas: Characteristics and Evaluation. *3rd World Congress on ITS*, Orlando, Florida, US.
- Nielsten, G. (1988) *Evaluation of the Traffic, Level of Service and Needs at the Hillsdale, Bergen, Essex, Union and Raritan Toll Plazas*. Memorandum Técnico, Vollmer Associates, New York, NY.
- Oliveira, M.L., J.M.R. Neto e H.B.B. Cybis (2003) A Influência do Tamanho das Filas na Capacidade de Atendimento das Praças de Pedágio. *Anais do XVII Congresso da ANPET - Rio de Janeiro*, v.2, p.1264-1275, Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes-Rio de Janeiro.
- Oliveira, M.L. (2004) *Fatores Intervenientes na Capacidade de Processamento de Praças de Pedágio*. Dissertação (Mestrado), 137 p., Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFRGS, Porto Alegre.
- Polus, A. (1996) Methodology and Simulation for Toll Plaza Analysis. *Road & Transport Research*, vol. 1, no. 5
- Sahin, I. (2006) Examining Effects of Electronic Toll Collection Market Penetration at Bosphorus Bridge Toll Plaza in Istanbul. *Presentation at the 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Janeiro de 2006, CD-ROM.
- Schaufler, A. E. (1997) *Toll Plaza Design - Synthesis of Highway Practice 240*. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- TRB (2000) *Highway Capacity Manual - Special Report 209 (4th. edition)*. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., EUA.
- Van Dijk, N.M., M.D. Hermans, M.J.G. Teunisse H. Shuurman (1999) Designing the Westerscheldetunnel Toll Plaza Using a Combination of Queueing and Simulation. *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*. Ed.: P.A.Farrington, H.B.Nembhard, D.T.Sturrock e G.W.Evans. p.1262-1279. Netherlands.

Wanisubut, S. (1989) *A Toll Plaza Simulation Model and Level-of-Service Criteria*. Ph.D. Thesis, Polytechnic University, University Microfilms International, Ann Arbor, Michigan, USA.

Woo, T.H. e L. H. Hoel (1991) Toll plaza capacity and level of service. *Transportation Research Record 1320*, Transportation Research Board, Washington, D.C.

Zarrillo, M. L. (1998) *Development and Applications of TPMODEL: A Queuing model describing Traffic Operations during Electronic Toll Collection (ETC)*. Ph.D. Thesis, University of Central Florida - UFC, Florida, USA.

Zarrillo, M. L. (2000) Capacity Calculations For Two Toll Facilities: Two Experiences in ETC Implementation. *Presentation at the 79th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, D.C., Janeiro de 2000, CD-ROM.

Tabela 1: Medidas de Eficiência para praças de pedágio encontradas na literatura

Estudos	Medidas de Eficiência Utilizadas	Nível de Agregação
Edie (1954)	Atraso Médio; e Fila Máxima	Individual por veículo; e por cabine da praça
Nielsten (1988) <i>apud</i> Zarrillo (1998); Wanisubut (1989)	Tempo de Espera na Fila	Individual por veículo
Woo e Hoel (1991)	Relação Volume-Capacidade (V/C)	Agregado para toda a praça
Burris e Hildebrand (1996) e Lin e Su (1994)	Comprimento Médio de Fila; e Tempo Médio no Sistema	Por cabine; e Individual por veículo
Gulewicz e Danko (1995)	Comprimento de Fila; e Tempo de Espera Médio	Individual por cabine
Al-Deek e Radwan (1995)	Tempo Médio de Espera na Fila; e Relação Volume-Capacidade (V/C)	Tempo por veículo; e (V/C) agregado para toda a praça
Morin <i>et al.</i> (1996)	Comprimento de Filas; e Tempos de Espera	Por cabine; e para cada forma de coleta de pedágio (incluindo <i>mix</i> de formas)
Polus (1996)	Atraso Total	Agregado para toda a praça
Zarrillo (1998)	Atrasos; Tamanho de Fila Máxima	Agregado para toda a praça ou por cabine; e por cabine.
Fan e Saito (1998)	Atraso Médio de Parada	Agregado para toda a praça
Van Dijk <i>et al.</i> (1999)	Tempos de Espera; Tamanho de Fila Máxima; e Nível de Utilização das Cabines	Agregado para toda a praça; separado por intervalos; por cabine - (%) de utilização das cabines
Astarita <i>et al.</i> (2001)	Capacidade de Processamento da praça; Atraso Médio; e Nível de Utilização das Cabines	Agregado para toda a praça; atraso médio de cada veículo; por cabine - (%) de utilização das cabines
Klodzinski e Al-Deek (2002a)	Atraso Individual Acumulado	Individual por veículo
Horn (2003)	Velocidades, Volume, atraso, Contagens de Veículos, Filas, Número de troca de Pistas, Consumo de Combustível e Emissão de Poluentes	Individual por cabine para cada praça de pedágio simulada

Tabela 2: Valores encontrados na literatura para definição de Níveis de Serviço

Medidas de Eficiência	ESCALA DE NÍVEL DE SERVIÇO						Autores
	A	B	C	D	E	F	
Densidade (D Passageiros/milha/faixa)	≤ 12	$12 < D \leq 20$	$20 < D \leq 30$	$30 < D \leq 42$	$42 < D \leq 67$	> 67	WOO e HOEL (1991)
Relação Volume-Capacidade (V/C)	0,24	0,40	0,57	0,74	1,00	-	ZARRILLO (1998)
	0,24	0,39	0,59	0,78	1,00	-	
Tamanho Médio da Fila (N veículos)	≤ 1	$1 < N \leq 3$	$3 < N \leq 5$	$5 < N \leq 8$	$8 < N \leq 11$	> 11	GULEWICZ e DANKO (1994 e 1995)
	≤ 1	$1 < N \leq 2$	$2 < N \leq 3$	$3 < N \leq 6$	$6 < N \leq 10$	> 10	LIN e SU (1994)
Tempo Médio no Sistema (T seg./veículo)	≤ 5	$5 < T \leq 15$	$15 < T \leq 25$	$25 < T \leq 40$	$40 < T \leq 60$	> 60	GULEWICZ e DANKO (1994 e 1995)
	≤ 15	$15 < T \leq 30$	$30 < T \leq 45$	$45 < T \leq 60$	$60 < T \leq 80$	> 80	LIN e SU (1994)
	≤ 14	$14 < T \leq 28$	$28 < T \leq 49$	$49 < T \leq 77$	$77 < T \leq 112$	> 112	KLODZINSKI e AL-DEEK (2002a)
	≤ 10	$10 < T \leq 20$	$20 < T \leq 35$	$35 < T \leq 55$	$55 < T \leq 80$	> 80	TRB (2000)

Tabela 3: Tamanho de filas informadas e escalas de níveis de serviço da bibliografia

Concessionária	Maior VDM	Fila Média Admissível (n veículos)	Níveis de Serviço (Gulewicz e Danko, 1995)	Níveis de Serviço (Lin e Su, 1994)
1	6215	4	C	D
2	13000	3	B	C
3	13500	6	D	D
4	17800	5	C	D
5	18000	1	A	A
6	18000	1	A	A
7	18000	1	A	A
8	24000	2	B	B
9	44000	4	C	D
10	53200	3	B	C

Tabela 4: Valores de tempos médios de atendimento encontrados na literatura nacional

	Automóveis	Caminhões
Araújo (2001)	18,92 s	30,79 s
Oliveira (2004)	26,25 s	31,92 s