

MODELO SISTÊMICO E CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS ASSOCIADAS AOS SISTEMAS DE RECONHECIMENTO DE PLACAS PARA FISCALIZAÇÃO AUTOMÁTICA DE VEÍCULOS

Ely Bernardi

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Cláudio Luiz Marte

Leopoldo Rideki Yoshioka

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Paulo Cezar Martins Ribeiro

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Caio Fernando Fontana

Universidade Federal de São Paulo

RESUMO

Este texto apresenta os sistemas de reconhecimento de placas para fiscalização automática de veículos como um importante recurso dos Sistemas Inteligentes de Transportes e parte dos sistemas de identificação veicular. Esses sistemas de reconhecimento de placas veiculares são representados por meio de um modelo sistêmico, desenvolvido em camadas, necessário para obter uma compreensão ampla das variáveis que podem interferir em seu resultado. Associada a esse modelo sistêmico é apresentada uma proposta de classificação de fontes de falhas, tipificadas por camadas do modelo e pela facilidade de se atuar sobre elas. Finalmente, é apresentada uma pontuação que destaca o conjunto de falhas que têm sido encontradas com mais frequência durante a operação desses sistemas.

ABSTRACT

This text presents the automatic identification through recognition of the vehicle license plate as an important feature when Intelligent Transportation Systems (ITS) are the subject and as part of the automatic vehicle identification resources. It is proposed a systemic approach to describe it, that is needed to understand more broadly all variables that can interfere with the effectiveness of identification. Focusing that systemic approach it is proposed a layer model representation. Associated with that model, it is also proposed a failure type classification. Finally, it is pointed to the most significant sources of failures that occur during usage.

1. INTRODUÇÃO

Após ser lançada pela Organização das Nações Unidas, em 2011, a Década de Ação pelo Trânsito Seguro 2011-2020, a maioria dos governos têm se comprometido a adotar medidas para prevenir os acidentes no trânsito, nona causa de mortes em todo o mundo.

No Brasil, motivados pela ocorrência de grandes eventos esportivos mundiais e impulsionados pela Política Nacional de Mobilidade Urbana de 2012, os investimentos e projetos para a melhoria dos meios de transportes e maior fluência do trânsito nas grandes cidades têm ocupado grande parte da preocupação de governantes e de profissionais da área.

Nesse contexto, evoluem rapidamente os estudos envolvendo Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS), que, potencialmente, podem contribuir para a redução de acidentes e para o aumento da mobilidade.

Dentre os sistemas de ITS, destacam-se aqueles aos quais estão associados recursos para a identificação automática de veículos, utilizados não somente para a operação e o controle do fluxo de veículos e para a fiscalização do cumprimento de regras de trânsito, como também para: detecção de veículos roubados e cargas desviadas; controle de passagem em locais pedagiados; gerenciamento da logística de veículos e cargas em trânsito; gerenciamento de serviços de transporte público; e fornecimento de informações de trânsito.

Neste texto são apresentadas algumas contribuições para o melhor entendimento do comportamento desses sistemas, em especial daqueles equipamentos e sistemas dedicados ao reconhecimento automático de placas veiculares com a finalidade de fiscalização.

2. METODOLOGIA

Inicialmente, com base em uma revisão bibliográfica, os sistemas de reconhecimento automático de placas veiculares são apresentados conceitualmente, inserindo-os no universo dos Sistemas Inteligentes de Transportes e dentro do conjunto de sistemas de identificação veicular.

A seguir, a descrição desses sistemas é feita por meio de um modelo sistêmico, construído com base numa análise funcional combinada com análise de requisitos apresentados nos últimos editais públicos para contratação desses serviços lançados no estado de São Paulo. Associada a esse modelo sistêmico, é proposta uma classificação de diferentes fontes e tipos de falhas.

A partir de entrevistas realizadas com profissionais que operam esses sistemas, são identificadas as fontes e tipos de falhas mais comumente encontradas durante a operação desses sistemas.

3. SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTES

Segundo a Sociedade Internacional de ITS (*Intelligent Transportation Systems Society*), entidade ligada ao IEEE, os Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS) são aqueles que utilizam, com sinergia, diversas tecnologias (engenharia elétrica, eletrônica, tecnologia da informação e comunicação) e conceitos de engenharia de sistemas para desenvolver e implementar sistemas de transportes de quaisquer naturezas (IEEE, 2010).

Essa definição aponta com muita clareza a multidisciplinaridade de conhecimentos necessária para o desenvolvimento de um sistema de ITS e dá uma primeira indicação da necessidade de analisar seu comportamento e seu desempenho de uma maneira abrangente, por meio de um modelo que contemple todos os seus elementos.

A arquitetura de ITS brasileira (ABNT, 2011) procura refletir a evolução das práticas e das aplicações de transportes, definindo serviços primários, áreas de aplicação e identificando domínios de serviço com finalidade comum. Um desses domínios descreve serviços relativos às operações e ao gerenciamento de trânsito, que tratam da manutenção da circulação de pessoas, mercadorias e veículos em toda a rede urbana de transportes.

Dentre os recursos de ITS utilizados para o apoio de serviços e atividades de gerenciamento e controle, alguns são apresentados a seguir.

Um dos mais importantes são os radares com sensores para controle e detecção de velocidade que, quando associados a um painel informando o usuário sobre a velocidade trafegada, são chamados de barreira eletrônica (Ming, 2006). Dentre os sensores de presença utilizados, o mais comum são os laços indutivos (Teixeira et al., 2009), mas outros tipos são descritos e analisados no *Traffic Detector Handbook* (FHWA, 2006) ou em Gibson (2007).

Para captura de imagem dos veículos são utilizadas câmeras de vídeo e iluminadores para

operação em período noturno que, trabalhando na banda superior do infravermelho, geram iluminação não visível a olho nu, evitando ofuscamento. Associados a câmeras, softwares de OCR (reconhecimento automático de caracteres) e sistemas de consulta a bases de dados, os radares fazem a identificação imediata do veículo e podem exercer múltiplas funções, tais como, analisar irregularidades administrativas ou verificar o atendimento à proibição de circulação de determinados veículos (Ming, 2006).

Os sistemas semaforicos instalados nas intersecções, um dos mais antigos recursos de ITS, quando com controle em tempo real, otimizam as reduções nos tempos de espera e de travessia, e por meio de sistemas de detecção do tráfego, associados a técnicas avançadas de modelagem, podem priorizar veículos de emergência ou transporte público.

Os circuitos fechados de televisão (CFTV), câmeras de vídeo instaladas em pontos estratégicos, monitoram em tempo real a fluidez de tráfego e identificam incidentes. Interligados a centrais de operação, painéis de mensagens variáveis (PMVs) e sensores instalados na via, fornecem informação de tráfego, indicam rotas alternativas e gerenciam ocorrência incidentes, como ocorre em Kansas e Missouri, nos E.U.A. (Roadtraffic, 2010).

Os controladores de fluxo utilizam *gate* (virtual ou real) ativado por etiqueta eletrônica identificadora para proteger áreas históricas ou residenciais próximas de grandes geradores de demanda, como estádios ou complexos de entretenimento. Exemplos conhecidos são as proteções de áreas históricas existentes em Barcelona e Roma.

Os controladores de acesso, utilizados em alças de acesso, dosam o fluxo para otimizar as condições de segurança e o nível de serviço em partes congestionadas de rodovias ou vias de grande fluxo. Para não causar muito desequilíbrio no fluxo local, atuam cooperativamente com agentes que controlam o tráfego local e o das rodovias, como é feito na Holanda.

Em estacionamentos, controladores informam, por meio de PMVs ou dispositivos móveis, vagas e áreas disponíveis. Utilizam sensores nas entradas e saídas e, até mesmo, em cada vaga. Em Colônia, Alemanha, um sistema de monitoramento e orientação sobre vagas disponíveis em 29 estacionamentos do centro da cidade, reduziu o tráfego causado pela procura de um local para estacionar em 30% (ITS City Pioneers, 200?).

Os sensores para detecção de altura de veículos, localizados em pontos próximos a passagem sob obras-de-arte (pontes e viadutos), detectam, identificam e discriminam veículos, acionando alerta aos condutores e a centrais de operação, quando a altura em movimento excede a máxima permitida, evitando acidentes e desgastes da estrutura da obra-de-arte.

Finalmente, existem os sistemas de gerenciamento supervisores, ferramentas que integram todos os recursos de ITS. O projeto denominado 5T (*Telematic Technologies for Transport and Traffic in Turin*), desenvolvido desde 1992 (Itália), gerou um dos mais completos sistemas de controle de tráfego e auxílio aos cidadãos com recursos de ITS (5T, 2013). São integradas funções, tais como: supervisionamento, controle de tráfego e de acessos, transporte público, informação aos cidadãos, painéis de mensagens variáveis, informações sobre estacionamentos, monitoramento da poluição, e recursos de segurança, acessíveis tanto pela Internet como por dispositivos móveis.

Observa-se que esforços – em nível mundial - têm sido feitos no sentido do desenvolvimento de soluções para a nova geração de ITS, que integrará cooperativamente sistemas embarcados em veículos, comunicando-se entre si e com os sistemas instalados na infraestrutura da via.

4. SISTEMAS DE IDENTIFICAÇÃO VEICULAR

A identificação automática de veículos é, talvez, um dos principais desafios enfrentados pelos Sistemas Inteligentes de Transportes atualmente utilizados em rodovias ou vias urbanas.

Nos exemplos citados na seção anterior, é fácil verificar que grande parte deles utiliza a identificação automática associada a sistemas inteligentes para coleta, armazenamento, transmissão e análise de dados para possibilitar agir, em tempo real, sobre as informações coletadas, tomar decisões e aplicar as medidas necessárias a fim de melhorar o fluxo do trânsito, auxiliar usuários com informações e garantir que a legislação seja cumprida.

A identificação automática de veículos pode ser encontrada em diversas atividades e serviços:

- fiscalizar infrações de trânsito: excesso de velocidade, circulação proibida em determinados locais, dias ou horários, invasão de faixas de tráfego exclusivas etc.;
- fiscalizar irregularidades administrativas: IPVA atrasado, licenciamento vencido, não realização de inspeção veicular etc. ;
- melhorar a segurança, pública ou privada, detectando veículos roubados e cargas desviadas;
- controlar a passagem em locais pedagiados, tais como, rodovias, áreas de circulação restrita nas cidades e estacionamentos;
- gerenciar a logística de veículos e cargas em trânsito;
- gerenciar operação do transporte público; e
- fornecer informações de tráfego.

Considerando sistema um conjunto de entes ou elementos inter-relacionados que interagem no desempenho de uma função (Rodrigues, 1987), pode-se dizer que os sistemas automáticos de identificação veicular se constituem num conjunto de equipamentos e softwares que interagem para realizar a função de detectar e identificar um veículo. São compostos por elementos de detecção, registro e identificação do veículo, associados a recursos de telecomunicações e softwares, e tratam as informações para atingir o objetivo desejado.

Existem três tipos de sistemas de identificação veicular:

- sistemas de reconhecimento automático de placas de identificação veicular;
- sistemas que usam etiquetas eletrônicas (*tags*/RFID), para fins de pedagiamento, localização geográfica e rastreamento de veículos (Rodrigues, 2009), como o Sem Parar e seus similares e o sistema em implantação Siniav (Denatran, 2014); e
- sistemas embarcados em fábrica, como o Simrav em implantação (Denatran, 2014).

Nas próximas seções serão tratados apenas os primeiros, os sistemas de reconhecimento automático de placas de identificação veicular.

5. OS SISTEMAS DE RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE PLACAS

Os sistemas que fazem o reconhecimento automático de placas são um subconjunto dos sistemas de identificação veicular, formados por recursos de software e hardware capazes de realizar as seguintes funções:

- identificar a passagem do veículo;
- registrar uma imagem do veículo contendo a placa veicular;
- reconhecer o conteúdo da placa, transformando-o em caracteres que possam ser processados e transmitidos remotamente com a imagem captada do veículo;
- analisar dados e tomar decisões em tempo real;
- transmitir dados e imagens;
- tratar adequadamente as informações obtidas.

Para seu correto funcionamento, dependem não somente das tecnologias utilizadas para identificar e processar imagens, mas, principalmente, da qualidade e funcionalidade do conjunto da solução adotada.

Para melhor representar todos os elementos que compõem um sistema desse tipo, propõe-se um modelo sistêmico, definido em camadas que representam, cada uma delas, um grupo de elementos (Bernardi, 2015). Esse modelo foi concebido em quatro camadas, em uma interpretação livre do modelo de camadas OSI, *Open Systems Interconnection* (Tanenbaum, 2011), partindo dos elementos físicos e chegando aos elementos lógicos, mais próximos do usuário final. Encontra-se descrito a seguir.

CAMADA 1 – Infraestrutura

Envolve a infraestrutura e as redes necessárias, cuja disponibilidade é condição para implantar um sistema automático de reconhecimento na via. Por exemplo, para um radar fixo com detecção de veículo por laço magnético, deve ser feito um rasgo no leito da via e, para isso, o trânsito precisa ser interrompido – ocorrendo o mesmo sempre que necessário fazer manutenção nesse laço. As redes de energia e de telecomunicação, se não existentes no local, devem ser providenciadas; quando falham, o sistema falha, pelo menos no que diz respeito à coleta e transmissão de dados em tempo real.

CAMADA 2 – Elementos Físicos

São os equipamentos que precisam ser instalados no ponto de detecção para que o sistema funcione. São compostos por sensor de detecção; câmera(s) fotográfica(s) ou de vídeo; iluminadores; gabinete contendo CPU, HD, fontes, no-break, régua de alimentação; e equipamentos de telecomunicações.

CAMADA 3 – Elementos Lógicos Locais

Nesta camada consideram-se os elementos lógicos, ou seja, softwares e demais rotinas computacionais para gerenciar, armazenar e tomar decisões em nível local, ou seja, em campo, onde o equipamento for instalado. Compõem-se de software de OCR (Optical Character Recognition); sistema gerenciador de banco de dados; sistema supervisor e de decisão; sistema de comunicação; dados de configuração local; base de dados de cadastro de veículos nos órgãos competentes; banco de dados sobre os veículos circulantes (dados de tráfego); e analisador de perfil magnético.

CAMADA 4 – Elementos Lógicos Centralizados

Aqui também são referidos os elementos lógicos (softwares), aqueles não instalados localmente, em campo, e sim remotamente, onde será tratada a informação recebida diretamente do campo. Constituem-se em sistemas para configuração, monitoramento, visualização e análise; emissão de relatórios; auditoria; e comunicação com outro local,

remoto, onde será feito o controle centralizado e integrado das informações recebidas pelos diversos sistemas de ITS instalados e que não será objeto desta análise.

Na Figura 1, a seguir, pode ser vista uma representação desse modelo.

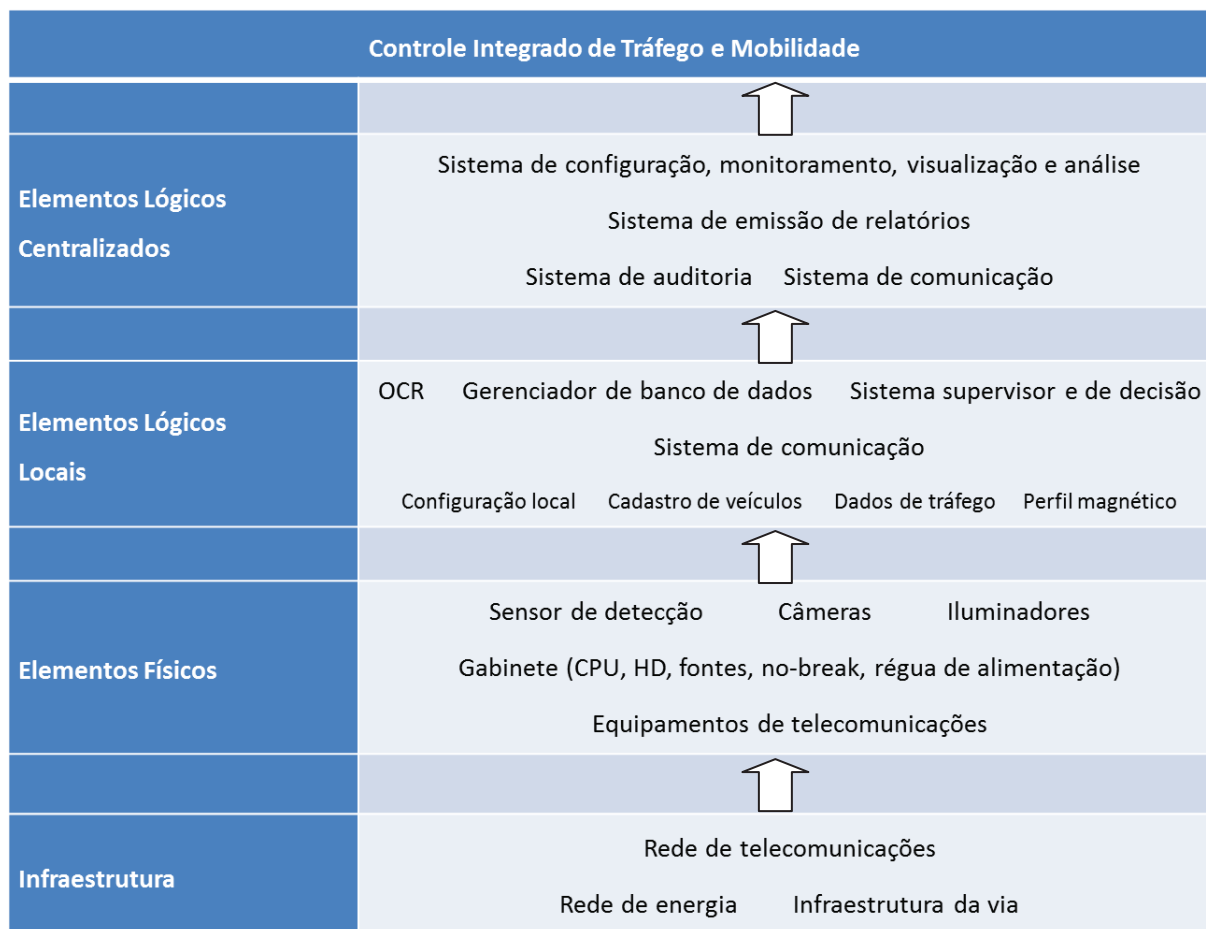


Figura 1: Sistema de reconhecimento automático de placas veiculares (representação em modelo de camadas)

6. AS TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Os sistemas de reconhecimento automático de placas têm sido amplamente estudados quanto às tecnologias utilizadas para atender a três de suas funcionalidades básicas: detectar veículos; registrar e processar imagens; e reconhecer padrões e analisar os dados.

Para detectar veículos, são utilizados diversos tipos de sensores (FHWA, 2006). Dentre esses, os laços indutivos magnéticos são a tecnologia mais amplamente utilizada e com os melhores resultados. No entanto, por serem intrusivos – ou seja, requerem a intervenção no pavimento para sua instalação e manutenção – existe uma tendência de sua substituição progressiva por sensores não intrusivos ou até mesmo pelo uso direto de câmeras.

Para realizar o registro e o processamento de imagens, utilizam-se câmeras fotográficas ou de vídeo e técnicas de processamento de imagens aplicadas sobre fotos ou sequências de fotos/frames (no caso de vídeos). Com o objetivo de evitar o efeito “borrão” produzido pelos

veículos em velocidade, as câmeras dedicadas para uso em sistemas de reconhecimento automático de placas combinam iluminação no espectro de radiação do infravermelho – flash embutido (que reflete bem as placas e não é visível ao olho humano) com controle flexível do obturador (para reduzir seu tempo). Essas câmeras são capazes de capturar imagens de veículos a até 250 km/h, tanto no período noturno quanto no período diurno (ARH, 2012).

Durante o processamento de imagens, utilizam-se técnicas de análise sobre uma imagem binária, caracterizada pelo processamento dos vários níveis de cinza ou colorido ou pelo uso de classificadores, que utilizam estatística, redes neurais ou algoritmos genéticos para interpretar a imagem obtida, identificar a região da imagem onde está a placa veicular, extrair a imagem da placa, para a seguir segmentar os caracteres e poder, depois, identificá-los.

Para realizar o reconhecimento dos caracteres segmentados, são utilizados softwares de OCR (*Optical Character Recognition*), com algoritmos que utilizam classificadores estatísticos, arquiteturas de inteligência computacional e técnicas de reconhecimento de padrões.

Após o reconhecimento da placa, o sistema se comunica com outros sistemas ou bases de dados para, enfim, realizar as funções de ITS para a qual foi projetado. Nessa fase os dados são analisados, transmitidos e processados, utilizando-se de tecnologias de TI e telecomunicações diversas.

Anagnostopoulos (2008) apresenta uma revisão dos métodos de aquisição e reconhecimento de imagens, atualizada por Shan Du et al. (2013), constituindo - ambas as publicações - excelentes referências para estudos mais detalhados. Em Shan Du et al. (2013) são encontradas tabelas, resumindo prós/contra e resultados dos diversos métodos para extração de placa, segmentação e reconhecimento de caracteres, aplicados em diversos países.

Para extração da placa, os métodos descritos por Shan Du et al. (2013) utilizam a geometria da placa, detectando eixos horizontais e verticais, texturas, cores ou presença de caracteres e os mais confiáveis utilizam duas ou mais combinações dessas características; os índices de sucesso variam de 97 a 99,3 %. Para segmentação de caracteres, além de conexões entre os pixels e projeções de perfis da imagem, são descritos métodos de contorno, com melhores resultados para os métodos combinados; os valores obtidos estão entre 84,5 e 99,2 %. Quanto ao reconhecimento óptico dos caracteres, são feitas correlações entre os caracteres extraídos com modelos previamente conhecidos, pixel a pixel ou por meio da utilização de vetores e topologias características e os resultados variam entre 89,1% e 98,6% (Shan Du et al., 2013).

Shan Du et al. (2013) sugerem, ainda, que variações nos tipos de placas veiculares, tais como, localização, fonte ou cor utilizada, oclusão e inclinação, além de questões relativas a variações ambientais, como iluminação, podem dificultar a detecção e identificação da placa.

Entretanto, embora a qualidade dos resultados de um sistema de reconhecimento automático de placas dependa de diversos fatores, em nenhuma das publicações consultadas foi encontrada uma abordagem do desempenho global desses sistemas, que precisam ser avaliados como resultante de um sistema de tecnologias que interagem para obter o resultado final. A seguir, propõe-se uma classificação de diversas fontes de falhas desses sistemas, associada ao modelo sistêmico em camadas já apresentado, conforme Bernardi (2015).

7. UMA CLASSIFICAÇÃO DE FONTES DE FALHAS

Com base na experiência adquirida na participação em diversos testes realizados em campo, como parte da avaliação técnica de editais de concorrência pública publicados em São Paulo pela Secretaria Municipal de Transportes e pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo entre os anos de 2008 e 2015 (Bernardi, 2015), foi construída uma proposta de classificação de fontes de falhas segundo a sua origem e inserção nos elementos do modelo sistêmico de camadas, apresentado no item anterior.

Como pode ser observado nas Figuras 2 e 3, a cada uma das camadas do modelo e aos elementos que compõem essa camada, associa-se um grupo de fontes de falhas, que estão subdivididas em intrínsecas ou extrínsecas.

As falhas intrínsecas são aquelas associadas à tecnologia utilizada e a eventuais falhas humanas de instalação, configuração ou operação, ou seja, são objeto de atuação direta de quem fornece e/ou opera os equipamentos e sistemas. As falhas extrínsecas dependem de legislação, da atuação de terceiros ou de condições físicas que não podem ser alteradas, mas precisam ser consideradas, tais como, condições ambientais, do veículo, do tráfego e da infraestrutura existente.

Camadas		Fontes de Falhas	
		Intrínsecas	Extrínsecas
Infraestrutura	Infraestrutura de instalação	Estabilidade e adequação de estruturas de suporte. Escolha exata do local; instalação e posicionamento corretos.	Estabilidade e adequação das estruturas de suporte já existentes (leito, viadutos, pórticos, postes). Determinação do local de instalação. Vandalismo e abaloamento.
	Rede de energia		Disponibilidade no local; falhas na rede.
	Rede de comunicação		Disponibilidade, velocidade e alcance; falhas na rede.
Elementos físicos	Sensor de detecção	Adequação do tipo sensor à sua finalidade; funcionamento correto. Posicionamento e instalação corretos; funcionamento sob condições climáticas diversas.	Posição do veículo na passagem pelo sensor; velocidade do veículo; vandalismo.
	Câmeras	Posicionamento em relação ao iluminador, foco.	Posição do veículo e posição relativa entre veículos; vandalismo.
	Iluminadores	Posicionamento em relação à câmera.	Luminosidade externa. Vandalismo.
	Gabinete (CPU, HD, fontes, no-break, régua de alimentação)	Capacidade de processamento, adequação e organização interna. Especificações adequadas para ambiente externo de operação.	Vandalismo.
	Equipamentos de telecomunicações	Especificações adequadas para ambiente externo de operação	

Figura 2: Classificação de fontes de falhas (parte 1)

Camadas		Fontes de Falhas	
		Intrínsecas	Intrínsecas
Elementos lógicos locais	Sistema de extração da imagem e OCR	Adequação para o tipo de placa veicular do local ou região.	Placa do veículo: estado de conservação, posicionamento e tipo de letra; existência de mais de uma placa; poluição visual. Reflexos de iluminação externa; posição do sol, sombra. Velocidade do veículo.
	Gerenciador de banco de dados	Capacidade de armazenamento. Integridade de dados. Velocidade de acesso.	
	Sistema supervisor e de decisão	Capacidade de lidar, em tempo real, com os diversos processos concorrentes.	
	Sistema de comunicação	Velocidade e qualidade na transmissão de dados e imagens.	Disponibilidade.
	Sistema de criptografia de dados e imagens	Segurança; confiabilidade.	
	Configuração local	Correção da configuração para as funções pretendidas.	
	Cadastro de veículos		Qualidade e consistência da informação.
	Dados de tráfego	Capacidade de armazenamento.	
	Perfil magnético	Capacidade de identificação do tipo de veículo.	
Elementos lógicos centralizados	Sistema de configuração, monitoramento, visualização e análise	Facilidade de uso.	
	Sistema de emissão de relatórios	Facilidade de uso.	
	Sistema de auditoria	Facilidade de uso. Segurança.	
	Sistema de comunicação	Velocidade e qualidade na transmissão de dados e imagens.	

Figura 3: Classificação de fontes de falhas (parte 2)

8. AVALIAÇÃO QUALITATIVA DA FREQUÊNCIA DE CADA TIPO DE FALHA

Uma avaliação quantitativa da frequência com que cada tipo de falha ocorre durante os sistemas em operação foi obtida a partir de uma pesquisa realizada com técnicos de empresas fornecedoras de equipamentos e sistemas de fiscalização automática, com bastante experiência prática de instalação e de operação em mais de um tipo de equipamento/sistema, em vias urbanas e rodovias, e centenas de milhões de imagens veiculares coletadas e analisadas.

A partir de um roteiro inicial submetido a um dos entrevistados em esquema de pré-teste, conforme sugerido por Mattar apud Chagas (2000), foi elaborado um questionário contendo respostas de múltipla escolha, com possibilidade de incluir respostas abertas, complementares. Foram relacionados 26 tipos de falhas, com o objetivo de que o entrevistado classificasse essas falhas de acordo com sua percepção da frequência com que cada uma delas ocorre.

O questionário foi desenvolvido com base no modelo da escala psicométrica de Likert

(Nogueira, 2002), onde a cada item (no caso, tipo de falha) é associado um número ímpar de alternativas com diferentes graus de importância. Foram utilizadas apenas três alternativas, buscando a facilidade e rapidez de resposta por parte do entrevistado. A cada alternativa de resposta é associado um número (escala) e a soma desses números associados a cada item representa o resultado associado ao grau de importância do item.

Dos seis profissionais selecionados, foram obtidas cinco respostas. As informações foram compiladas adotando-se, para cada opção (alternativa de resposta) valores variando de um a três, sendo o maior deles atribuído à maior frequência de ocorrência de cada tipo de falha, conforme declarado pelo entrevistado.

Os resultados obtidos estão compilados resumidamente na Tabela 1.

Tabela 1: Intensidade de frequência para cada tipo de falha

Tipos de fonte de falhas	Total de pontos	Tipos de fonte de falhas	Total de pontos
Condições do veículo (condições e posicionamento da placa, existência de mais de uma placa, poluição visual)	13	Infraestrutura de instalação (posicionamento; estabilidade das estruturas de suporte)	8
Rede de comunicação (disponibilidade; velocidade; alcance; falhas)	12	Gerenciador banco de dados (capacidade de armazenamento)	8
Equipamentos de telecomunicações	12	Sistema de comunicação	8
Rede de energia (disponibilidade no local; falhas)	10	Cadastro de veículos (qualidade; consistência da informação)	8
Sensor de detecção (posicionamento; funcionamento; adequação à finalidade)	10	Dados de tráfego (capacidade de armazenamento)	8
Treinamento de pessoal técnico	10	Sistema de comunicação (capacidade; rapidez)	8
Condições ambientais	10	Procedimentos de instalação	8
Falha humana de operação	10	Perfil magnético (capacidade de identificar o veículo tipo)	7
Câmera (posicionamento; adequação à finalidade; foco)	11	Sistema de configuração, monitoramento, visualização e análise	7
Iluminadores (posicionamento; distância relativa à câmera)	11	Sistema de emissão de relatórios	7
Gabinete: CPU, HD, fontes, no-break, régua de alimentação (processamento; tamanho; organização interna)	11	Sistema de auditoria	7
Sistema de OCR	9	Sistema supervisor e de decisão (capacidade de lidar com processos concorrentes)	6
Configuração local (facilidade de configurar; correção da configuração)	9	Sistema de criptografia de dados e imagens	6

Analisando esses resultados apresentados nessa tabela, observa-se que:

- Dos 26 tipos de fontes de falhas analisados, 11 obtiveram frequência de ocorrência igual ou acima de 10 pontos (de um total de 15); nenhuma está associada às camadas dos elementos lógicos.

- b. Entre as que obtiveram 12 e 13 pontos, todas são falhas extrínsecas aos equipamentos/sistemas, ou seja, condições do veículo, rede de comunicação e equipamentos de telecomunicações.
- c. Com 11 pontos foram apontadas fontes de falhas intrínsecas associadas a elementos físicos, tais como: câmeras, iluminadores e gabinete.
- d. Com 10 pontos foram apontados tanto falhas associadas a fontes intrínsecas, como sensores de detecção, quanto extrínsecas, como rede de energia, condições ambientais e fatores humanos (treinamento e falha humana).
- e. Os demais tipos de falhas analisados totalizaram entre seis e nove pontos (cinco pontos representariam falhas que nunca ocorrem).

Nas respostas abertas, algumas contribuições dos entrevistados são, a seguir, destacadas, pois contribuem para entender a abrangência do problema.

- a. Com relação ao sistema de OCR, um deles observou que *“normalmente está associado à alguma outra falha no equipamento, pois se levarmos em conta a “falha” do programa, como por exemplo não realizar a varredura corretamente, isto nunca ocorre”*. Outro, que apontou esta falha ocorrendo com mais frequência, observou que, no entanto, os erros estão sempre *“dentro das margens aceitas”*.
- b. Com relação às condições do veículo, um deles apontou que *“de todos os fatores levantados, acredito que este seja o mais crítico, pois nos demais há sempre a possibilidade de ações corretivas visando zerar a fonte do problema. Neste caso podem ser feitas apenas ações que minimizam o foco do problema”*. Também foi lembrado o problema de motos sem placas em regiões de fronteira e aqueles relacionados aos *“caminhões quando capturados pela traseira”*.
- c. Com relação aos fatores humanos, foram feitas as seguintes observações: *“por ser um mercado bastante restrito, há uma grande dificuldade de captação de mão de obra qualificada, levando a empresa a ter altos investimentos em especialização de seus funcionários”* e *“são fornecidos conhecimentos específicos”*. Outro acrescentou que *“há dificuldade de encontrar bons técnicos no mercado e que queiram trabalhar num ambiente hostil como o das ruas”*.
- d. Com relação à rede de energia e aos equipamentos de telecomunicações, um entrevistado observou que as falhas na rede de energia concentram-se em *“áreas urbanas”* e que os equipamentos de telecomunicações apresentam falhas frequentes *“quando em altas temperaturas”*; outro acrescentou que ocorrem *“principalmente”* nos equipamentos *“das operadoras de telefonia”*.
- e. Com relação à infraestrutura foi lembrada questão relacionada à vida útil dos equipamentos em operação, considerando *“recape das vias, com danificação dos laços, vandalismos nas estradas e abaloamento nas cidades”*.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se com a abordagem sistêmica, aqui representada por um modelo de camadas, e com a classificação de fontes de falhas, proposta e analisada, contribuir para melhorar o resultado dos sistemas de reconhecimento automático de placas de identificação veicular.

Entende-se que esse modelo poderá ser estendido com pequenos ajustes para representar quaisquer sistemas de ITS e que essa classificação poderá ser aperfeiçoada por meio de uma análise quantitativa da frequência de ocorrência de cada tipo de falha. Desde já, a classificação apresentada expõe aquelas que podem ser prevenidas e evitadas por quem

produz e opera os sistemas de reconhecimento de placas e aquelas que devem ser consideradas para que seus efeitos possam ser minimizados.

A análise de intensidade de ocorrência dos vários tipos de falhas realizada com alguns profissionais aponta que, dentre as mais críticas nenhuma se relaciona aos elementos lógicos do sistema, indicando onde devem ser focados futuros estudos, e indica outras questões que merecem atenção, como a carência de formação de pessoal técnico especializado.

Agradecimentos

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), à Companhia de Engenharia de Tráfego da Cidade de São Paulo (CET) e ao Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER), pela oportunidade de realizar os trabalhos motivadores deste estudo. Aos profissionais que contribuíram para a análise de ocorrência de falhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anagnostopoulos, C.N.E. et al. (2008) License Plate Recognition From Still Images and Video Sequences: A Survey. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol. 9, N.3, pp 377-391, Sept. 2008.
- ABNT (2011) *NBR ISO 14813-1:2011 - Sistemas Inteligentes de Transportes – Arquitetura(s) de modelo de referência para o setor de ITS – Parte 1: Domínio de serviço, grupos de serviços e serviços de ITS – elaboração*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo.
- ARH (2012). ARH Inc. *License Plate Recognition Products*. Disponível em: <<http://arhungary.hu>>. Acesso em fev.2012.
- Bernardi, E. (2015) *Os sistemas de identificação veicular, em especial o reconhecimento automático de placas*. 150 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- DENATRAN (2014). *Legislação*. Departamento Nacional de Trânsito. Legislação. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/>>. Acesso em: fev. 2014.
- FHWA (2006). *Traffic Detector Handbook: Third Edition – Volume II*. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. Disponível em: <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06139/>>. Acesso em: ago. 2010 e nov. 2013.
- Gibson, D.; Mills, M. K. e Klein, L. A. (2007). A New Look at Sensors. *Public Roads*, nov./dec.2007, v. 71, n. 3.
- IEEE (2010). *Intelligent Transportation Systems Society*. Disponível em: <<http://ewh.ieee.org/tc/its/>>. Acesso em: jul. 2010.
- ITS City Pioneers (2007). Part Two. Tool Descriptions. Traffic Management. Chapter Six.
- Ming, S. H. (2006). *Fiscalização Eletrônica do Trânsito*. Disponível em: <http://www.sinaldetransito.com.br/artigos_area.php?tipo=tecnologia>. Acesso em: maio 2010.
- Nogueira, R. (2002) *Elaboração e Análise de Questionários: Uma Revisão da Literatura Básica e a Aplicação dos Conceitos a Um Caso Real* – Rio de Janeiro – UFRJ/COPPEAD, 26 p. (Relatórios Coppead, 350).
- ROADTRAFFIC (2010) *Kansas City Scout Intelligent Transportation System*. Disponível em: <<http://www.roadtraffic-technology.com/projects/kansas/>>. Acesso em: jul. 2010.
- Rodrigues, M.(1987) *Geoprocessamento*. 347f. Tese (Livro Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rodrigues, M.; Cugnasca, C.E.; Queiroz Filho, A. P. (2009). *Rastreamento de Veículos*, Ed. Oficina de Textos.
- Shan Du; Ibrahim M.; Shebata, M. et al. (2013). Automatic License Plate Recognition (ALPR): A State-of-The-Art Review. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 23, N. 2, pp 311-324.
- Tanenbaum, A. S. e Wetherall, D. J. (2011). *Redes de Computadores*. 5ª. ed., Ed. Pearson.
- Teixeira, J. C.; Ming, S. H.; Bernardi, E. (2009). Avaliação de Sistemas para Fiscalização de Tráfego Urbano. *Anais do 3º Congresso de Infraestrutura de Transportes*, Coninfra, São Paulo, paper 03-038.
- 5T (2013). *Telematic Technologies for Transport and Traffic in Turin*. Disponível em: <<http://www.5t.torino.it/5t/en/docs/sistema5t.jspf>>. Acesso em set. 2013.

Ely Bernardi (ely@ipt.br)
Cláudio Luiz Marte (claudio.marte@usp.br)
Leopoldo Rideki Yoshioka (leopoldo.yoshioka@usp.br);
Paulo Cezar Martins Ribeiro (pribeiro@pet.coppe.ufrj.br)
Caio Fernando Fontana (caio.fernando@unifesp.br)