

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

ALEXANDRE LIMA SANTANA

**BRAKEALERT: UM MODELO DE SISTEMA DE ASSISTÊNCIA AO
CONDUTOR COM A UTILIZAÇÃO DE SMARTPHONE PARA
EVITAR COLISÕES TRASEIRAS NO TRÂNSITO**

**SÃO LEOPOLDO
2018**

Alexandre Lima Santana

**BRAKEALERT: Um modelo de Sistema de Assistência ao
Condutor com a Utilização de Smartphone para Evitar
Colisões Traseiras no Trânsito**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel em Sistemas de informação, pelo
Curso de Sistemas de Informação da Univer-
sidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo da Rosa Righi

São Leopoldo
2018

BRAKEALERT: Um modelo de Sistema de Assistência ao Condutor com a Utilização de Smartphone para Evitar Colisões Traseiras no Trânsito

Alexandre L. Santana¹

Rodrigo R. Righi²

Resumo: A quantidade de acidentes de trânsito no Brasil é preocupante e suas principais causas estão relacionadas a falta de atenção e não-observância da distância de segurança, sendo a colisão traseira o principal tipo de acidente. Desta forma mostra-se viável a aplicação de tecnologias inteligentes integradas aos veículos para reduzir este quadro, entretanto as soluções existentes ou são muito dispendiosas, ou são de implementação a longo prazo, dependendo de instalação de sistemas padronizados em todos os veículos com comunicação DSRC. Neste sentido há pesquisas que tratam de soluções alternativas para segurança veicular, mas não foram identificadas soluções completas com custo reduzido e de aplicação imediata. Sendo assim, o presente projeto visa apresentar o modelo BrakeAlert para implementação de um sistema de Assistência ao Condutor a fim de evitar colisões traseiras oriundas da não-observância da distância de segurança com o veículo imediatamente à frente, sinalizando sempre que a distância de segurança for desrespeitada, assim como quando o segundo veículo a frente realizar uma desaceleração. O modelo prevê a utilização somente de *smartphones* para que se tenha custo reduzido e aplicabilidade a curto prazo. A partir de testes com protótipo, foi possível analisar resultados satisfatórios para a comunicação entre os dispositivos, obtendo um tempo médio de 1,13 segundos de resposta, o qual, considerando os tempos médios de percepção e reação de condutores para frenagens, pode auxiliar a reduzir a quantidade de colisões no trânsito.

Palavras-chave: Internet das Coisas (IoT). Sistema de Assistência ao Condutor (SAC). Vehicle to Vehicle (V2V). Segurança veicular. Veículo Autônomo.

1 INTRODUÇÃO

No ano de 2017, foi registrado pela Polícia Rodoviária Federal 89.518 acidentes de trânsito no Brasil, sendo que 5.182 ocasionaram pelo menos uma morte. Nas principais causas está a falta de atenção do condutor e a não-observância da distância de segurança, correspondendo a 45% destes acidentes. Considerando os tipos de acidentes, o mais comum é a colisão traseira, com 18%. (Polícia Rodoviária Federal, 2017).

Uma forma de reduzir este cenário, seria a adoção de veículos autônomos pela grande massa da população, pois conseguem mapear outros veículos e evitar colisões através de sensores e atuadores. (HABERMANN, 2010). Entretanto as tecnologias autônomas possuem um custo muito elevado e são aplicadas a automóveis de alto padrão, não sendo uma solução de rápida implementação nem acessível à grande parte da população, ou seja, não se trata de uma alternativa para a redução de colisões no trânsito à curto prazo. (MURUGESH et al., 2016)

¹ A. L. Santana é acadêmico do curso de Sistemas de Informação da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. E-mail: alexandre.lasantana@outlook.com.

² R. R. Righi é professor Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Computação Aplicada da Universidade do Vale do Rios dos Sinos. E-mail: rrrighi@unisin.br.

Tendo em vista tais fatores, considera-se a tecnologia *Vehicle to Vehicle* (V2V) como uma forte aliada para a segurança veicular, pois possui um custo reduzido por ser somente um Sistema de Assistência ao Condutor (SAC) e não um veículo autônomo.

Conforme Arruda et al. (2008), o SAC é um sistema V2V que proporciona sinalizações ao condutor através de comunicação com outros veículos, proporcionando que o condutor possa realizar manobras com antecedência, evitando colisões. Ainda salienta que se o condutor fosse sinalizado em meio segundo antes, 60% das colisões traseiras poderiam ser evitadas. O V2V utiliza a tecnologia *Dedicated Short-range Communications* (DSRC), a qual é baseada em comunicação de rádio-frequência de curto alcance, possibilitando troca de informações entre veículos através de uma rede *ad-hoc*. Sendo assim é necessária a instalação de dispositivo específico em todos os veículos em que se pretende comunicar, pois cada um é considerado um nó e troca informações em tempo real, possibilitando um SAC para sinalizações pertinentes, como avisos de redução de velocidade dos veículos a frente ou, até mesmo, sinalização de ultrapassagens perigosas, conforme afirma o U.S Department of Transportation (2017).

Apesar de o sistema DSRC ter custo reduzido, exige um hardware dedicado instalado a todos os veículos, com um protocolo de comunicação padronizado, para que se possa utilizar uma rede *ad-hoc*. Sendo assim, a implementação do DSRC deve ser padronizada e aceita por todas as grandes montadoras de veículos para que tenha eficácia e traga resultados satisfatórios. (U.S Department of Transportation, 2014)

A comunicação entre dispositivos pessoais hoje é uma realidade, podendo ser utilizada para diversos fins, proporcionando conforto e comunicação ágil entre os usuários. Ao passar dos anos, foram incorporados a estes dispositivos tecnologias robustas como GPS (Global Position System) e comunicação móvel pela internet com boa performance. Com esta capacidade robusta de hardware nos dispositivos móveis e com as tecnologias disponíveis para desenvolvimento de aplicações, pode-se implementar um campo muito amplo de soluções para problemas cotidianos, conforme afirmam Kanarachos, Christopoulos e Chroneos (2018), principalmente se associado ao conceito de internet das coisas. Através de pesquisas e trabalhos relacionados, identificou-se que diversos autores tratam sobre o assunto e propõem formas para a redução de acidentes utilizando V2V com redes *ad-hoc*, mas poucos estudos focam no desenvolvimento de sistemas de rápida implementação e com baixo custo, principalmente utilizando *smartphones*. Sendo que o único estudo que utiliza *smartphone* para comunicação V2V, não propõe uma solução prática nem um algoritmo eficaz para a solução proposta.

Sendo assim, este trabalho propõe o modelo BrakeAlert para implementação de um SAC a fim de evitar colisões traseiras oriundas da não-observância da distância de segurança com o veículo imediatamente à frente, sinalizando sempre que esta for desrespeitada, assim como quando o segundo veículo à frente realizar uma desaceleração. Sendo que para a aplicação deste modelo é utilizado um *smartphone* através da comunicação pela internet móvel e o uso de dados GPS, desta forma podendo ser implementada uma solução

para redução de acidentes a curto prazo com custo reduzido.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na Fundamentação Teórica do presente trabalho são abordadas bibliografias referentes à Internet das Coisas e algumas de suas tecnologias com foco no desenvolvimento de um modelo para segurança veicular através de um *smartphone*.

2.1 Internet das Coisas

Internet das coisas (IoT - Internet of Things) é o nome dado para um novo paradigma que possibilita a conexão em rede entre dispositivos (coisas ou objetos) em formato de nós através das mais variadas tecnologias, tais como etiquetas de identificação de rádio frequência (RFI - Radio Frequency Identification), sensores atuadores e smartphones, possibilitando que estes objetos interajam entre si para alcançar objetivos comuns (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). Sendo assim, pode-se conectar, por exemplo, electrodomésticos a uma rede e automatizá-los de qualquer lugar do mundo através da internet, até mesmo com um simples aplicativo no *smartphone*.

Atzori, Iera e Morabito (2010) também afirmam que IoT terá grande impacto na vida cotidiana e no comportamento dos usuários em potencial, sendo visível sua aplicação nos campos do trabalho doméstico, como vida assistida, automatização de eletroeletrônicos, aprendizagem avançada. Também sendo possível verificar sua aplicação no ponto de vista dos usuários de negócio, na automação, manufatura industrial, logística, transporte inteligente de pessoas e mercadorias, desempenhando papel de liderança num futuro próximo.

Apesar de "Internet of Things" semanticamente significar uma rede mundial de objetos interconectados exclusivamente endereçáveis, baseada em protocolos de comunicação padrão (ATZORI; IERA; MORABITO, 2010), não se trata somente disso. Conforme Oliveira (2017, p. 211), Internet das Coisas

é muito mais que apenas ligar lâmpadas pelo smartphone. Não é somente ligar as coisas pela internet, mas também torná-las inteligentes, capazes de coletar e processar informações do ambiente ou das redes às quais estão conectadas.

Desta forma, surge uma grande quantidade de possibilidades de interações que podem ser realizadas com as mais diversas tecnologias existentes no mercado de acordo com a inteligência aplicada aos objetos, conforme também sugerem Kanarachos, Christopoulos e Chronos (2018)

2.2 Veículos Autônomos e V2V (Vehicle for Vehicle)

Todo veículo com capacidade de se locomover sozinho através de sensores pode ser considerado autônomo, segundo Habermann (2010), Veículo Autônomo

é aquele que pode se locomover de um ponto para o outro em qualquer tipo de terreno sem auxílio de motorista ou de controle remoto. Os principais sistemas desse veículo são o Sensoriamento, Percepção, Planejamento e Controle, Interface com o Usuário e Interface com o Veículo.

Desta forma, para que possa se locomover de forma autônoma, necessita-se de dispositivos, os quais, segundo Luettel, Himmelsbach e Wuensche (2012), possuem três elementos comuns: sensores para perceber os próprios movimentos, computadores de bordo e atuadores para controle do veículo. Entretanto, nem todo veículo que possui sensores é autônomo, pois existem os Sistemas de Assistência ao Condutor (SAC), que possibilitam gerar informações em tempo real ao condutor, o qual poderá antever situações e realizar as manobras necessárias. Conforme Arruda et al. (2008, p. 19)

para um sistema autônomo o resultado da análise sensorial gera comandos de movimentos aos atuadores do veículo, enquanto que para um SAC são gerados alertas ao condutor, que por sua vez, interage com os atuadores do veículo.

Mesmo que o SAC não proporcione o total controle dos veículos, ele é capaz de aumentar a segurança no trânsito, visto que 60% das colisões traseiras e quase um terço das colisões frontais poderiam ser evitadas se o condutor tivesse reagido em meio segundo de antecedência. (ARRUDA et al., 2008)

Comunicação *Vehicle for Vehicle* (V2V) é o nome dado a uma forma de comunicação entre veículos através de protocolo específico. Essa comunicação se dá de forma independente entre eles através de hardware dedicado, podendo ser utilizada comunicação direta entre os dispositivos e/ou através de rede de dados. (MURUGESH et al., 2016) Basicamente os veículos compartilham dados de posição e velocidade, a fim de que sejam implementadas soluções para evitar colisões e aliviar congestionamentos no trânsito. Entretanto os maiores benefícios da tecnologia V2V somente serão percebidos quando todos os veículos estiverem com a tecnologia embarcada. (U.S Department of Transportation, 2017)

Conforme U.S Department of Transportation (2017), V2V é uma tecnologia de prevenção de acidentes, a qual, através de comunicação com veículos próximos, é capaz de sinalizar aos condutores situações de risco, como a aproximação de veículos ainda não avistados pelo condutor, ou frenagens subtas por veículos posicionados à frente.

2.3 Application Programming Interface (API - Interface de Programação de Aplicações)

Segundo Wittern (2018), API (Application Programming Interface) trata-se de uma interface para implementar funcionalidades remotas a uma aplicação, desta forma é possível solicitar serviços e incluí-los a uma aplicação, por exemplo pagar contas ou requisitar serviços de mapas ao *google maps*.

2.3.1 *Firestore Realtime Database*

Firestore Realtime Database é uma solução de banco de dados em tempo real NoSQL para aplicações Android da empresa Google. A forma de armazenamento dos dados é através da *JavaScript Object Notation* (JSON - Notação de Objetos JavaScript), sincronizando as informações em tempo real. Conforme Google (2018a)

quando você cria apps em plataformas cruzadas com nossos SDKs para iOS, Android e JavaScript, todos os clientes compartilham uma instância do Realtime Database e recebem automaticamente atualizações com os dados mais recentes.

Sendo assim, é possível armazenar dados em tempo real no banco de dados do *Firestore Realtime Database* e disponibilizá-los para todas as aplicações conectadas de forma muito rápida.

2.3.2 *Google GeoFire*

O *GeoFire* é uma biblioteca de código aberto distribuída pela empresa Google, que trabalha juntamente ao *Firestore Realtime Database* para armazenar e consultar dados georreferenciados. (Google, 2018c)

Para facilitar a sua utilização, o *GeoFire* possui uma própria forma de armazenamento de dados no Banco de Dados, sendo o principal benefício, possibilitar consultas no banco de dados baseado em um raio geográfico, carregando somente informações dos dados selecionados. Assim, pode-se ter uma aplicação leve e responsiva, mesmo com um grande número de dados armazenados.

Com o objeto *GeoQuery* instanciado, pode-se utilizar o método *GeoQueryEventListener*, o qual possui cinco eventos que são automaticamente acionados de acordo com o comportamento dos objetos encontrados dentro do raio geográfico, retornando a chave do objeto de banco de dados. São eles:

- **Key Entered:** Retorna o valor chave sempre que um objeto novo entra na raio geográfico.
- **Key Exited:** Retorna o valor chave sempre que um objeto sai do raio geográfico.
- **Key Moved:** Retorna o valor chave sempre que um objeto se desloca, mas se mantém dentro do raio geográfico.
- **Query Ready:** Executa após todos os dados do raio geográfico terem sido processados.
- **Query Error:** Executa quando é identificado algum erro ao realizar a consulta no banco de dados, por exemplo, uma violação das regras de segurança.

2.4 Location API

A API de geolocalização *Location* possui a capacidade de retornar um local geográfico conforme a posição do dispositivo, sendo que sua precisão está atribuída a informações coletadas de torres de celular e nós de sinais Wi-Fi. (Google, 2018d) Dentro da API de localização do sistema Android, há a classe *Geocoder*, responsável por lidar com geocodificação e geocodificação reversa. Geocodificação é o processo de atribuir uma coordenada geográfica a partir de um endereço, ou descrição da localidade, enquanto geolocalização reversa é responsável por atribuir um endereço a partir de uma coordenada geográfica. (Google, 2018b).

2.5 Tempo de reação em frenagens

Após avistada a necessidade de uma frenagem, o condutor passa por um processo antes de efetivamente realizá-la, dividido basicamente em dois momentos: percepção e reação. A reação é um processo dependente da percepção, a qual está diretamente associada ao ambiente envolvido e ao julgamento de risco do condutor. Desta forma, transcorrido o tempo de percepção, resta o tempo de reação, o qual está relacionado a efetivamente colocar o pé ao freio para realizar a manobra, resultando num tempo total de aproximadamente 2,5 segundos. (KHISTY; LAL, 2002) Corroborando com esse entendimento, Homburger (2003) *apud* Sousa (2011) afirma que também há um tempo de percepção antes da reação, categorizando em quatro as etapas para a avaliação e reação do condutor: percepção, identificação, emoção e reação.

Segundo Thielen (2011), o tempo adotado, para fins de cálculos, para que uma pessoa perceba e efetue a frenagem é de um segundo. Neste mesmo sentido, Bosch (2005) *apud* Silveira (2011) afirma que este tempo médio de um segundo é subdividido entre tempo de reação do condutor, tempo de transferência do pé ao pedal de freio e o tempo de resposta e de pressurização do freio para acionamento do sistema de frenagem do veículo.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo será apresentada uma análise bibliográfica sobre o conteúdo de trabalhos relacionados ao tema do presente artigo. As pesquisas foram realizadas através de bases de dados de artigos científicos, como o portal da *ACM Library*, *IEE Digital Explorer Library*, sendo utilizado as seguintes palavras-chaves para a realização das buscas: *security car application*, *brake alert application*, *automotive application security*, *v2v application* e *smartphone v2v application*.

3.1 Revisão dos Trabalhos Relacionados

Murugesh et al. (2016), apresenta em seu trabalho que um décimo dos acidentes de trânsito são relacionados a mudanças de faixas por veículos, desta forma é de grande

valia a utilização de dispositivos V2V capazes de sinalizar ao motorista se as condições são seguras antes de realizar a manobra. Desta forma sugere que *smartphones* possam ser utilizados para comunicação através uma rede *ad-hoc* colaborativa com a tecnologia *Wi-fi direct*, pois possuem custo mais baixo e não necessitam de padronização de protocolos como o DSRC.

Zulkafi et al. (2016) introduz em seu trabalho que a quantidade de acidentes pode ser reduzida se o condutor puder ser informado com antecedência sobre curvas acentuadas, desta forma, é proposto um aplicativo para *Android* capaz de realizar uma sinalização sonora 700m antes deste tipo de curva. Além disso, o aplicativo também possui a funcionalidade de apresentar locais de emergência próximos, como hospital e polícia.

Xue Yang et al. (2004) propõe em seu trabalho um protocolo eficaz, compreendendo políticas de controle de congestionamento, mecanismos de diferenciação de serviços e métodos para disseminação de alerta de emergência com baixa latência. Para implementação, foi utilizado DSRC para utilização de redes *ad-hoc* com utilização de dispositivos de posicionamento geográfico (GPS) e de comunicação dedicada, instalados diretamente ao veículo.

Da mesma forma, U.S Department of Transportation (2017) também propõe a utilização de hardware específico (com GPS e comunicação dedicada) instalado aos veículos a fim de, em um futuro, virem implantados de fábrica aos veículos, ou instalados separadamente, sugerida a possibilidade eventual da utilização de *smartphones*.

Singh e Singh (2016) apresentam que há um grande número de acidentes que podem ser evitados através de comunicação e aviso de acidentes que ocorreram. Desta forma sugerem um modelo baseado comunicação V2V através de internet e utilização de tecnologia *smart-eye*. Esta tecnologia é capaz de identificar a colisão e sinalizar aos veículos atrás sobre o risco estabelecido em virtude do acidente. Além disso, o *smart-eye* registra a localização e os vídeos para que possam ser direcionadas através da internet às autoridades competentes.

Kenney (2011) traz um estudo sobre a aplicabilidade e importância do sistema v2v apresentado pelo Departamento de Transportes dos Estados Unidos e aborda as dificuldades de implementação deste sistema, entre elas: desenvolvimento de uma estrutura de segurança através de certificados digitais para cada veículo; controle de congestionamento de canal, mantendo eficiência do tráfego de informações; padronização do canal a ser utilizado para garantir a comunicação entre outros veículos.

Guarise et al. (2008) desenvolvem um sistema baseado em um acelerômetro instalado ao veículo, o qual avalia a intensidade da desaceleração e a exibe em um painel complementar ao *brake light* do veículo, o qual, ao contrário deste, não é binário, exibindo a intensidade da luminosidade proporcional à desaceleração. Desta forma, o condutor do veículo atrás possui informações adicionais para poder evitar colisões.

Lucchetti et al. (2016) sugerem a utilização de *smartphones* para detectar, através do acelerômetro, quedas de veículos de duas rodas e emitir chamada de primeiros socorros

com coordenadas geográficas para a localização do acidentado. O trabalho possui um desenvolvimento prático com aplicação contendo um algoritmo dedicado, utilizando dois veículos bastante diferentes para avaliações.

Zhu et al. (2018) afirma que a distância de segurança é um dos principais causadores de acidentes nos Estados Unidos da América, desta forma apresenta um modelo capaz de avaliar com precisão a distância entre veículos baseado em DSRC e *smartphone* e algoritmos de sobreposição de trajetórias. Este modelo é testado através de dois protótipos instalados em veículos, os quais foram submetidos a testes e se mostraram eficientes e estáveis, inclusive em cenários urbanos.

Tabela 1 – Comparativo dos Trabalhos Relacionados

Trabalho	Tecnologia	Propósito	Smartphone	Internet móvel	Implementação
Murugesh et al. (2016)	Wifi-direct	Evitar colisão ao trocar de pista	Sim	Não	Teórica
Xue Yang et al. (2004)	DSRC	Evitar colisão	Não	Não	Teórica
U.S Department of Transportation (2017)	DSRC	Evitar colisão	Não	Não	Prática
Singh e Singh (2016)	Internet e Smart-eye	Evitar colisão obter informações do acidente	Não	Sim	Teórica
Kenney (2011)	DSRC	Importância do sistema V2V e sua aplicabilidade	Não	Não	Teórica
Zulkafi et al. (2016)	GPS	Evitar colisão e sinalização de locais de emergência	Sim	Sim	Prática
Guarise et al. (2008)	Acelerômetro	Evitar colisões traseiras	Não	Não	Prática
Lucchetti et al. (2016)	Acelerômetro e GPS	Sinalizar socorro em queda	Sim	Sim	Prática
Zhu et al. (2018)	DSRC, GSM, Acelerômetro e GPS	Sinalizar distância entre veículos	Sim	Não	Prática

Fonte: Elaborado pelo autor.

Avaliando os trabalhos supramencionados na tabela 1, é possível identificar que todos apresentam a importância e relevância de se implementar um sistema para reduzir acidentes de trânsito, sendo que quatro destes abordam a utilização de *hardware* dedicado com rede *ad-hoc*, o que exige padronização de protocolo e investimento em dispositivo específico a ser instalado ao veículo.

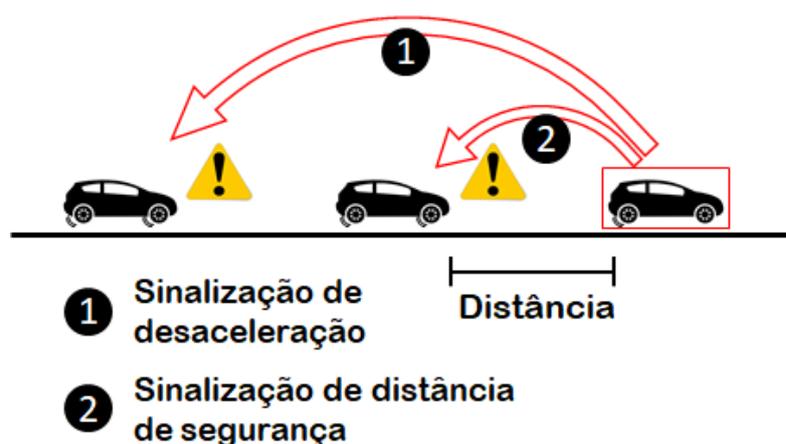
Apenas dois dos autores apresentam a possibilidade da utilização de *smartphone* para evitar o custo e a instalação de hardware dedicado ao veículo. Murugesh et al. (2016) propõe utilização de *Wi-fi Direct*, evitando assim a necessidade de utilização de internet

móvel, entretanto não há uma abordagem prática sobre a implementação nem a constatação de sua eficácia, desta forma não se propõem um modelo e um algoritmo para possibilitar as sinalizações ao condutor. Enquanto Zulkafi et al. (2016) em seu trabalho utilizam mapas para identificação das curvas acentuadas, porém não propõem uma solução que avalie as condições dos veículos à frente para estas sinalizações. Desta forma, não há constatação de um modelo capaz de realizar sinalizações ao condutor sobre condições dos veículos à frente referentes à distância de segurança e a desacelerações que não necessite de hardware dedicado a ser instalado ao veículo.

4 MODELO

Visando contribuir para a redução de acidentes no trânsito nas principais causas identificadas (falta de atenção e não-observância da distância de segurança pelo condutor) é apresentado neste capítulo o modelo BrakeAlert, o qual propõe um sistema para emitir sinalizações de segurança ao condutor na tela de um *smartphone* referentes à redução da distância de segurança do veículo imediatamente à frente, assim como referentes a desacelerações do segundo veículo à frente, conforme exemplificado na figura 1. Diversos autores estudados propõem soluções para a segurança veicular, entretanto não foram identificadas nestas bibliografias soluções que possam ser implementadas à curto prazo, pois, ou exigem instalação de dispositivo V2V nos veículos, ou não apresentam uma solução prática para a solução do problema, deixando a cargo de autores futuros.

Figura 1 – Sinalizações de segurança do modelo proposto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura 1 é apresentado um diagrama exemplificativo de que o veículo é sinalizado quando ocorre uma desaceleração ao segundo veículo à frente, assim como quando ocorre uma diminuição da distância de segurança. Para que o modelo seja aplicável, neste capítulo, é apresentado também o algoritmo necessário para que os veículos sejam posicionados e possam se comunicar, formando uma rede V2V utilizando *smartphones* e internet móvel.

Desta forma a aplicabilidade do modelo será através de aplicação em *smartphone*, que poderá estar fixado ao painel do veículo desde que haja acesso ao sinal GPS. Na figura 2 é apresentado como seria sua utilização em um veículo real.

Figura 2 – Dispositivo com o sistema BrakeAlert



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Decisões de projeto

Considerando que, conforme Arruda et al. (2008), ao sinalizar o condutor em meio segundo de antecedência, podemos evitar 60% das colisões traseiras e que a implementação dos sistema V2V é de longo prazo, sugere-se neste projeto desenvolver um modelo a fim de proporcionar segurança veicular apenas com *smartphones* sem necessidade de intervenção humana. Para que isso seja possível, foram tomadas as seguintes decisões conforme as pesquisas realizadas:

- Posicionamento geográfico através GPS nativo do *smartphone*: para a identificação da localização de todos os veículos, foi optado por utilizar o sistema GPS do próprio dispositivo, pois apresenta precisão eficiente. Diversos autores o utilizam para predições e avaliações de trânsito obtendo informações consistentes.
- Identificação de desaceleração através de sistema GPS nativo do *smartphone*: para que seja possível a identificação de desaceleração do veículo, optou-se por utilizar amostragens de dados GPS, ao invés da utilização do acelerômetro, pois este somente seria eficaz se o *smartphone* fosse posicionado de maneira exata no veículo. Isso se deve pelo fato de que a aceleração só pode ser medida em um ângulo, o qual seria parametrizado para ser apontando para frente, de modo que se o dispositivo fosse utilizado ao contrário, identificaria acelerações como frenagens.

- Utilização de internet móvel: Conforme diversos autores estudados sugerem, a comunicação através de rede dedicada por rádio-frequência, seria a mais adequada para aplicação do modelo V2V, entretanto esta comunicação é muito onerosa para sua aplicabilidade, seja pela necessidade de instalar *hardware* dedicado, seja por padronização de protocolo. Desta forma foi escolhida a utilização de internet móvel para comunicação e que a aplicabilidade do modelo seja rápida e o custo reduzido. Entretanto para viabilizar a utilização de internet móvel, escolheu-se a utilização de banco de dados *realtime*.

Sendo assim, somente foram adotadas tecnologias existentes em dispositivos móveis (GPS e internet) e tecnologia de serviço de banco de dados em tempo real, para possibilitar a comunicação e armazenamento dos dados de todos os dispositivos. Embora aplicar somente estas tecnologias possa trazer limitações ao projeto, optou-se por usá-las para a rápida aplicação, focando em reduzir a quantidade de acidentes em colisões traseiras no trânsito a curto prazo.

4.2 Arquitetura

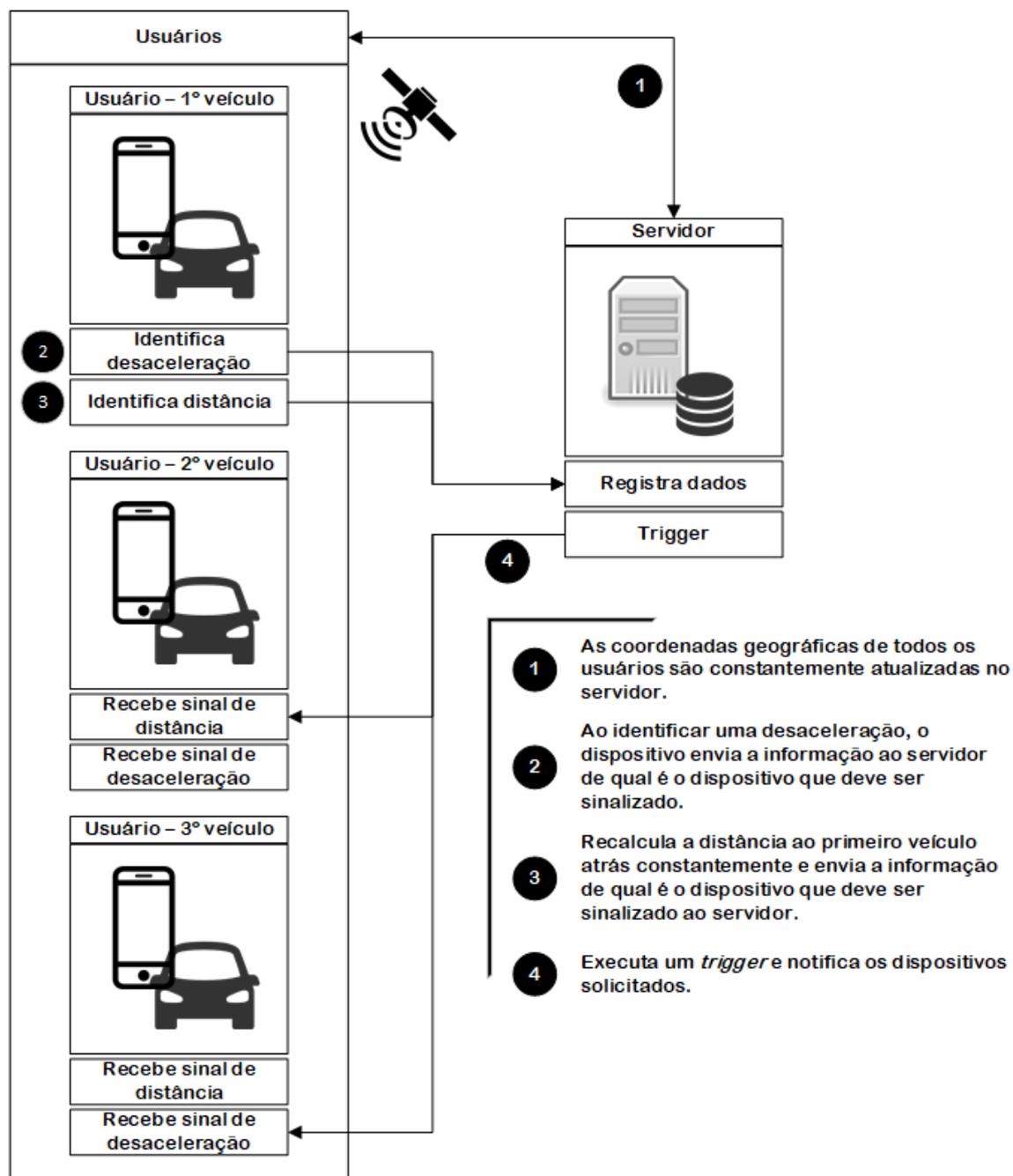
Para que seja possível o desenvolvimento do modelo, necessita-se utilizar as tecnologias disponíveis nos *smartphones*: GPS e internet móvel. Assim, o projeto propõe que os dispositivos recebam o sinal GPS continuamente e estejam conectados à internet apontando para um servidor de banco de dados único. Neste servidor, serão armazenados os dados de geolocalização de todos os dispositivos conectados, possibilitando que o algoritmo instalado em cada dispositivo móvel possa localizá-los e organizá-los em ordem crescente de forma que se saiba quais são os veículos posicionados atrás. A partir desta organização, torna-se possível a sinalização ao *smartphone* do veículo correspondente, o qual executará um sinal sonoro e uma indicação na tela do *smartphone*. A arquitetura é formada por objetos que se relacionam constantemente, os quais estão definidos abaixo:

- **Smartphone**: o único dispositivo utilizado pelo usuário, o qual possuem toda a inteligência do algoritmo embarcada. Estes dispositivos são responsáveis por coletar os dados GPS, realizar as comparações necessárias e devolver informação ao servidor de banco de dados.
- **GPS**: Constantemente é requisitado pelo *smartphone*, fornecendo o posicionamento geográfico atualizado.
- **Servidor de banco de dados**: responsável pelo armazenamento e notificações (*trigger*) sempre que *smartphone* a solicitar.

Na figura 3 é representada a arquitetura do modelo proposto, a qual possui 2 camadas: a de usuário e a de servidor. A primeira camada possui os usuários que estejam

com o dispositivo com acesso à internet móvel e com sinal GPS e a segunda é o servidor de banco de dados único conectado a todos os dispositivos.

Figura 3 – Arquitetura do modelo BrakeAlert



Fonte: Elaborado pelo autor.

A camada de usuário é composta por *smartphones* conectados que estejam sendo utilizados em veículos em movimento, que enviam constantemente informações de posicionamento geográfico ao servidor de banco de dados, assim como o banco de dados também atualiza constantemente os usuários com informações georreferenciadas dos veículos próximos. O *smartphone* possui um algoritmo dividido em duas principais funcionalidades: a primeira é o cálculo de aceleração sempre que os dados GPS são atualizados e a segunda

refere-se à identificar, de todos os veículos informados pelo banco de dados, quais são os dois mais próximos atrás, registrando em uma lista suas posições.

Este algoritmo é capaz de calcular a distância entre as coordenadas geográficas fornecidas pelo banco de dados, desta forma é identificada, a cada atualização, a distância em que o primeiro veículo está em relação ao segundo e, sempre que esta distância é considerada insegura, o primeiro veículo registra no servidor de banco de dados um alerta ao segundo veículo. Da mesma forma o algoritmo também monitora as desacelerações do primeiro veículo e registra no banco de dados um alerta ao terceiro veículo sempre que considerá-la abrupta. O servidor por sua vez realiza um *trigger* para notificar ao dispositivo correspondente, seja ao segundo veículo pela distância de segurança desrespeitada, seja ao terceiro veículo pela desaceleração identificada e, neste momento, os dispositivos exibem mensagem na tela e alerta sonoro para que o condutor possa realizar a manobra necessária.

4.3 Algoritmo de Identificação e Alerta ao Condutor

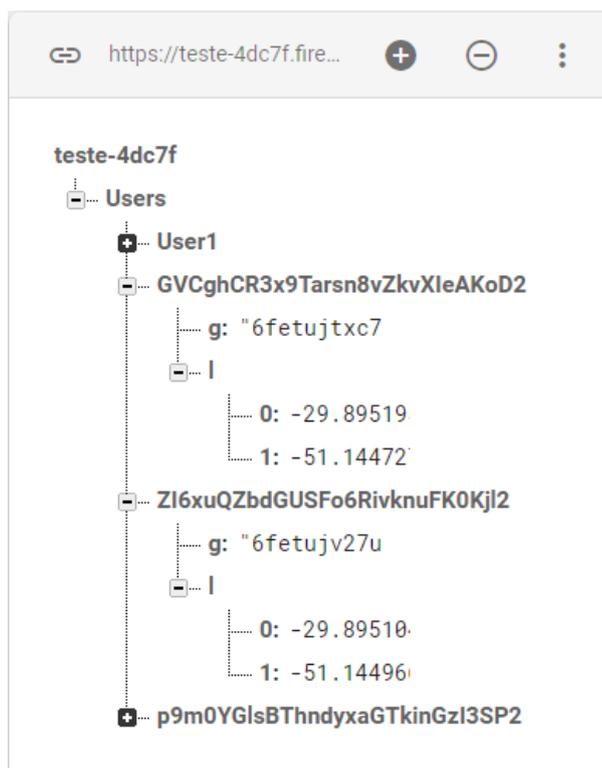
Para a implementação do modelo, faz-se necessária a execução de um algoritmo em cada dispositivo móvel capaz de mapear os veículos no servidor de banco de dados que estejam na mesma via de circulação, mesmo sentido e posicionados atrás, sendo assim cada dispositivo conterá uma lista destes veículos ordenada pela distância em relação ao veículo atual. sempre que houver uma desaceleração do veículo atual, será sinalizado ao banco de dados ao segundo veículo atrás, assim como sinalizado ao banco de dados quando houver a violação da distância de segurança ao primeiro veículo atrás. O banco de dados por sua vez irá executar um *trigger* sinalizando os respectivos veículos.

Os *smartphones* atuais possuem nativamente um sistema de georreferenciamento integrado, possibilitando que sejam capturadas as coordenadas de latitude e longitude, as quais, segundo Oliveira e Saraiva (2016), possibilitam identificar qualquer ponto no planeta Terra, desta forma, pode-se armazenar no banco de dados a geolocalização de cada dispositivo. Para que seja possível este envio cíclico do posicionamento dos dispositivos ao banco de dados, é utilizado o *Firebase Realtime Database*, o qual, segundo Google (2018a), possui atualização de dados em tempo real entre o servidor e a aplicação. Sendo assim pode-se garantir que o banco de dados possua e disponibilize de forma atualizada a posição de cada dispositivo.

Existem diversas formas de enviar os dados do *smartphone* ao banco de dados, entretanto há uma biblioteca desenvolvida especificamente para envio e recebimento de informações georreferenciadas, denominada *GeoFire*. Um objeto *GeoFire* possibilita o armazenamento dos dados de forma estruturada no banco de dados *Firebase Realtime Database* para que seja possível uma posterior varredura eficiente dos registros. Entretanto para que estes dados sejam enviados de forma atualizada ao servidor, necessita-se implementar o objeto *GeoFire* dentro de um método nativo do Android, o *onLocationChanged*, o qual é auto-executado sempre que a localização do dispositivo é alterada. Desta forma, é implementada

uma atualização estruturada no banco de dados em tempo real das coordenadas de latitude e longitude de cada dispositivo conectado. Abaixo uma representação na figura 4 de como o banco de dados armazena as coordenadas de dois dispositivos com a utilização do objeto *Geofire*.

Figura 4 – Banco de dados *Firebase Realtime Database*

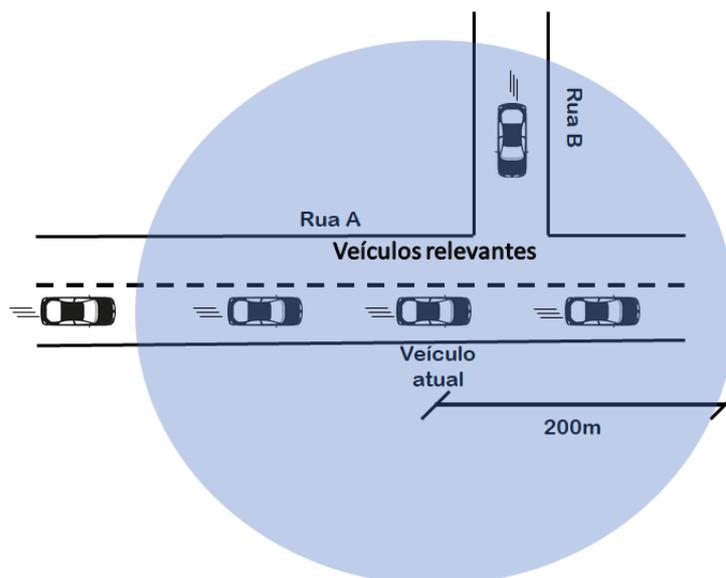


Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme figura 4, as coordenadas de latitude são armazenadas no campo "0" e as de longitude são armazenadas no campo "1", cada qual posicionada em uma chave criada para identificar cada dispositivo. Neste momento obtém-se uma aplicação capaz de atualizações em tempo real da localização georreferenciada dos dispositivos no banco de dados.

Apesar de ter-se implementado uma forma de que a localização seja atualizada em tempo real no banco de dados, não se pode considerar todo o universo de dados armazenados, pois isso inviabilizaria com um tempo de resposta muito longo na aplicação. Sendo assim para reduzir a quantidade de dados a ser considerada, utiliza-se a classe *GeoQuery*, a qual trabalha juntamente com o *Firebase Realtime Database* de forma eficiente no armazenamento e consulta de coordenadas geográficas. (Google, 2018c) Com esta classe é possível instanciar um objeto com uma coordenada geográfica, apontar para o banco de dados *Firebase* e informar um raio geográfico a ser considerado. Assim, o objeto *GeoQuery* somente retorna objetos que estejam no raio especificado, reduzindo a quantidade de dados a serem consultados. Na figura 5, é demonstrado um exemplo em que somente objetos localizadas a 200 metros são retornados.

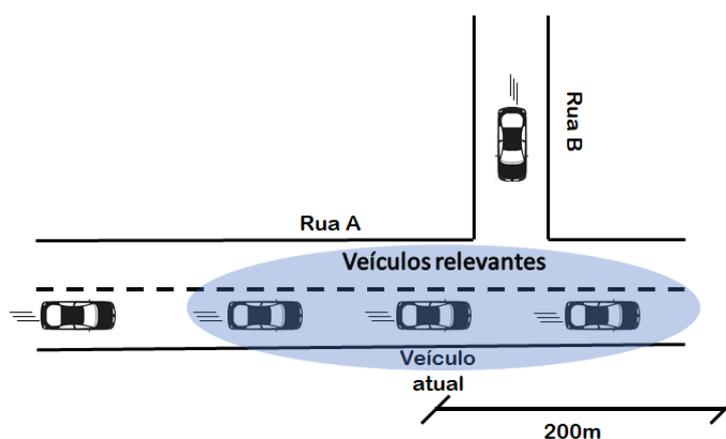
Figura 5 – Identificação de veículos próximos



Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se na figura 5 que qualquer objeto a 200 metros do veículo atual é considerado relevante, independentemente da posição ou rua em que está situado, sendo assim, ainda deve ser implementado ao algoritmo que somente sejam considerados objetos no mesmo sentido e na mesma via de circulação. Para que isso seja possível, utiliza-se a classe *Geocoder*, a qual, segundo Google (2018b), possui a geocodificação reversa, capaz de atribuir um endereço a uma coordenada geográfica. Desta forma, o algoritmo varre as informações constantes no banco de dados, carrega as coordenadas geográficas, realiza a geocodificação reversa e compara se o veículo atual está na mesma via dos demais objetos. Na figura 6 é exemplificada esta situação.

Figura 6 – Identificação de veículos na mesma via



Fonte: Elaborado pelo autor

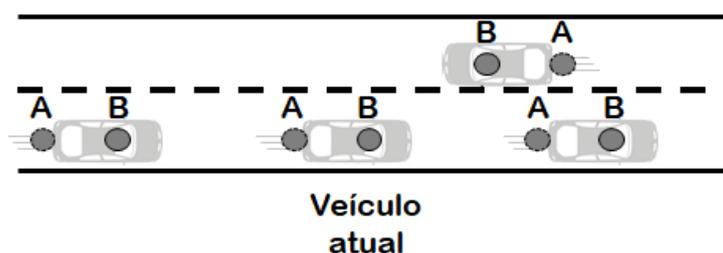
Na figura 6, apesar de o objeto situado à rua B estar dentro do raio de 200 metros definido na pesquisa realizada pelo *Geocoder*, este é desconsiderado, através de uma

geocodificação reversa e de uma comparação simples de endereços, pois não está situado na mesma rua do veículo atual.

É de crucial importância que o posicionamento e o sentido de cada veículo armazenado no banco de dados seja identificado pelo algoritmo em relação ao veículo atual para que se possa considerar somente veículos no mesmo sentido e que sejam os dois mais próximos. Assim, a forma para realizar estas medições entre posições geográficas é utilizando comparações de distância através de cálculo de trigonometria esférica, pois conforme Oliveira e Saraiva (2016), deve-se considerar a curvatura do globo terrestre para o cálculo.

Considerando que somente veículos no mesmo sentido devem ser considerados com potencial risco de colisão, necessita-se identificar o sentido de cada um deles. A forma para esta identificação é através do registro no banco de dados de duas posições geográficas, ou seja, uma posição atual, registrada em tempo em real e outra posição em um ciclo defasada. Na figura 7 pode-se identificar como são registradas tais informações para cada veículo.

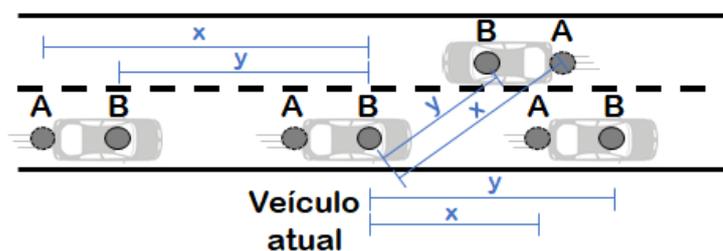
Figura 7 – Registro de duas coordenadas geográficas para cada veículo



Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 7, dois pares de coordenadas registram a posição anterior (A) e a posição atual (B) de cada veículo. Desta forma é possível, através de cálculo de distância entre coordenadas, definir quais veículos estão no mesmo sentido do veículo atual. O algoritmo realiza uma comparação entre a posição B do veículo atual com as duas posições de cada veículo, de forma que, se a distância entre o ponto B do veículo atual até o ponto B do outro veículo seja maior do que a distância até o ponto A, o outro veículo está no mesmo sentido que o veículo atual. Na figura 8, podemos observar a representação destas comparações.

Figura 8 – Sentido em relação ao veículo atual

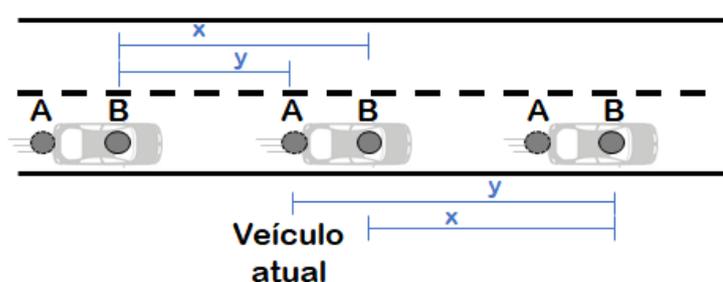


Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 8 para que seja identificado o sentido dos veículos em relação ao veículo atual, é realizada a seguinte comparação: se a distância de x for menor que a de y , o sentido é o mesmo em relação ao veículo atual.

Ainda que se tenha o sentido de cada veículo definido, necessita-se identificar a posição para que as informações de desaceleração e distância de segurança sejam direcionadas aos veículos anteriores. Desta forma, também são realizadas comparações entre a posição atual (B) e a posição anterior (A), mas, desta vez, em relação ao veículo atual. Na figura 9 o algoritmo identifica a distância entre A e B do veículo atual até o ponto B dos demais veículos, de forma que se a distância a partir do ponto B for maior em relação a distância a partir do ponto A, o veículo está posicionado atrás do veículo atual.

Figura 9 – Posição em relação ao veículo atual

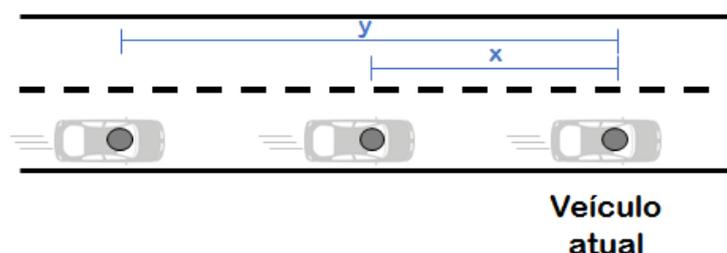


Fonte: Elaborado pelo autor

Na figura 9, para que seja identificada a posição entre os veículos, é realizada a seguinte comparação: se a distância de x for maior que a de y , o veículo está posicionado atrás do veículo atual.

Desta forma, obtêm-se todos os veículos que estão próximos, na mesma via de circulação, mesmo sentido e que estejam atrás. Entretanto para direcionar a sinalização para o veículo correto, o algoritmo gera uma lista ordenada por proximidade com os dois veículos mais próximos, conforme exemplificado na figura 10. A partir desta lista, sempre que ocorrer uma desaceleração do veículo atual, é sinalizado o segundo item (B) e, sinaliza ao primeiro item (A) quando a distância for considerada inferior à distância parametrizada como segura. Sendo ambas as sinalizações enviadas ao servidor de banco de dados, o qual por sua vez executa um *trigger* ao dispositivo do veículo correspondente.

Figura 10 – Identificação dos veículos a serem sinalizados



Fonte: Elaborado pelo autor

Para que seja possível a identificação de desaceleração do veículo, é calculada com base em duas amostras de tempo e velocidade obtidas pela classe *Location*, podendo ser parametrizado um valor em m/s^2 para esta identificação. No exemplo da figura 11 abaixo, sempre que resultar em uma aceleração menor que $-0,4m/s^2$, irá sinalizar no banco de dados a desaceleração ao segundo veículo posicionado atrás.

Figura 11 – Identificação de desaceleração

```

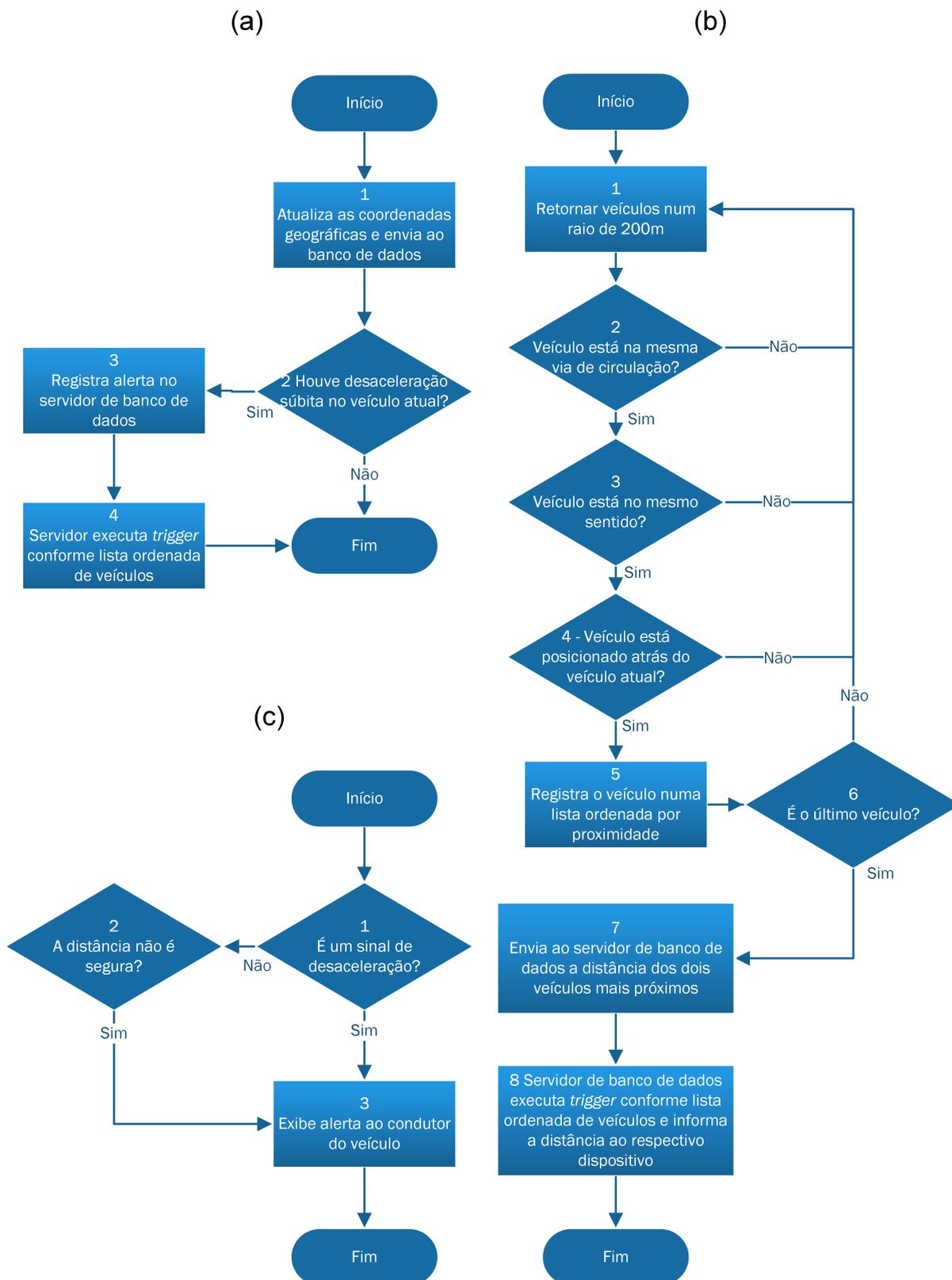
1: function DESACELERACAO(location)
2:   velocidadeAnterior ← velocidadeAtual
3:   velocidadeAtual ← location.getSpeed
4:   tempoAnterior ← tempoAtual
5:   tempoAtual ← location.getTime
6:    $v \leftarrow \text{velocidadeAtual} - \text{velocidadeAnterior}$ 
7:    $t \leftarrow \text{tempoAtual} - \text{tempoAnterior}$ 
8:    $\text{aceleracao} \leftarrow (v/t)$ 
9:   if  $\text{aceleracao} < -0,4$  then
10:    return true
11:  else
12:    return false
13:  end if
14: end function

```

Fonte: Elaborado pelo autor

Abaixo na figura 12, é apresentado o fluxograma com o algoritmo completo para a implementação do modelo, sendo elaborado com base nas tecnologias e estruturas de dados apresentadas neste capítulo. Tratam-se de três algoritmos executados ao mesmo tempo em *threads* diferentes, ou seja, o algoritmo (a) é executado sempre que a localização geográfica do dispositivo é alterada, o (b) sempre que encontrar um veículo no raio geográfico de, exemplificadamente, 200 metros e o (c) sempre que o *smartphone* receber um *trigger* de banco de dados, seja por desaceleração, seja por distância de segurança.

Figura 12 – Algoritmo do modelo em três *threads*: identificação de desaceleração e registro de posição geográfica (a), identificação de veículos atrás (b) e recebimento de notificação (c).



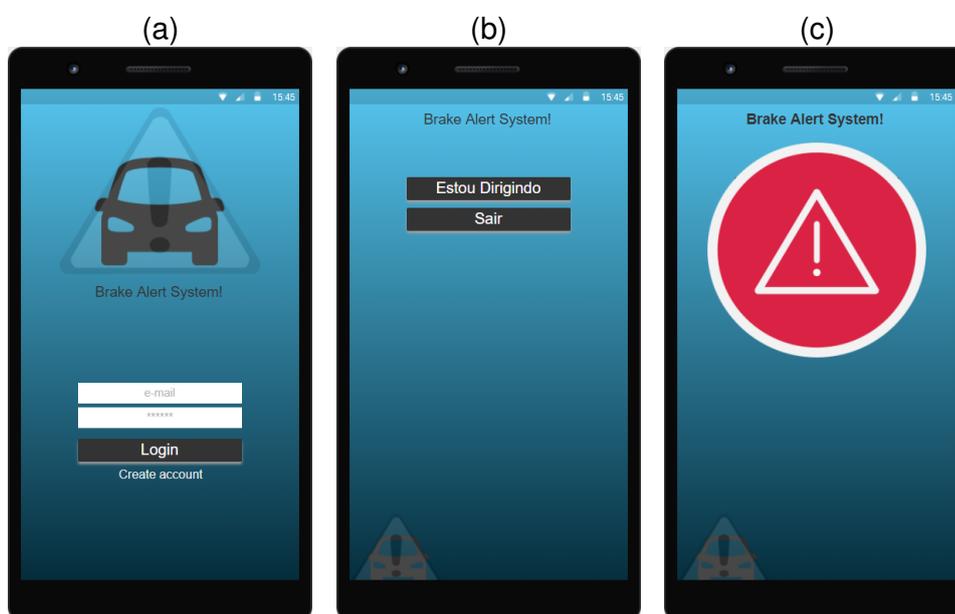
Fonte: Elaborado pelo autor

5 PROTÓTIPO BRAKEALERT

Para avaliar a aplicabilidade do modelo, foi desenvolvido um protótipo que consiste numa aplicação para *smartphone* com Sistema Operacional Android 6.0, equipado com internet 3G e GPS. Também sendo aplicadas tecnologias fornecidas através de APIs pela empresa *google*, tanto para comunicação com o servidor de banco de dados, quanto para obter localização do sistema GPS. Neste capítulo será apresentado o protótipo, bem como sua interface e os testes aos quais ele foi submetido.

O sistema necessita que se tenha cada usuário devidamente identificado e correspondendo a uma chave primária, dessa forma possui um processo de autenticação de usuário e atribuição de um UID (*User Identification Number*) através de cadastro de e-mail e senha na tela inicial de *login* (a). Após a autenticação do usuário, é exibida tela com apenas dois botões (b): "Estou dirigindo" e "Sair". O botão "estou dirigindo" ativa os algoritmos de percepção de veículos e distância de segurança e o botão "sair" os desativa e sai do sistema. Com o sistema em execução, ele identifica o comportamento dos veículos à frente e notifica o usuário com um aviso sonoro e uma tela de alerta (c) sempre que a distância de segurança for violada, ou o quando o segundo veículo à frente realizar uma desaceleração. Na figura 13 é apresentado o protótipo desenvolvido.

Figura 13 – Telas da implementação do modelo em aplicativo: tela inicial do sistema (a), tela de início da aplicação (b) e tela de notificação e advertência (c)



Fonte: Elaborado pelo autor

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo são apresentadas análises referentes ao protótipo desenvolvido, as quais se dividem em duas: de autonomia de energia e de tempos de respostas em veículo

em movimento. As análises foram realizadas com aplicação desenvolvida para sistema *Android* instalado em uma *smartphone* da marca LG modelo G3.

6.1 Custo

O sistema baseia-se na utilização de um *smartphone* que não seja dedicado ao sistema, ou seja, não há necessidade de que seja adquirido um dispositivo exclusivo. Para solução de serviço de banco de dados, foi aplicado o *Firestore Realtime Database* pelo plano *Spark*, o qual é gratuito, todavia, para a utilização de larga escala do sistema, faz-se necessária a implantação de um plano mais amplo e ilimitado, que seja pago baseado no tráfego de dados utilizado. Desta forma, o desenvolvimento do protótipo somente possuiu custos referentes ao desenvolvimento do *software*, que foi realizado pelo próprio autor.

6.2 Autonomia de Energia

Para a avaliação do consumo de energia no dispositivo, foi utilizado o aplicativo *GSam Battery Monitor*³, o qual é capaz de avaliar a utilização dos sensores do dispositivo e apresentar o consumo estimado pela aplicação. Assim, foi realizada uma comparação do uso do protótipo com aplicativos consagrados e utilizados em larga escala que também utilizam sensores GPS e internet móvel: *Here WeGo*⁴ e *Google Maps*⁵

O método de avaliação foi a inicialização de todos os aplicativos ao mesmo tempo em local com acesso à internet 3G e sinal GPS em veículo em movimento por um período de mais de uma hora. Desta forma o aplicativo *GSam Battery Monitor* registra o consumo de energia de todas as aplicações e exibe o percentual de consumo de cada uma. Como resultado, obteve-se, em uma hora e quarenta e três minutos, o consumo de 0,6% da bateria pelo *BrakeAlert*, enquanto que o *Here WeGo* e *Google Maps*, obtiveram, respectivamente, o resultado de 4,5% e 3,9%. Desta forma, conclui-se que o consumo é satisfatório, visto utilizar os mesmos recursos destes outros aplicativos e consumir, aproximadamente, sete vezes menos.

6.3 Tempos de Resposta

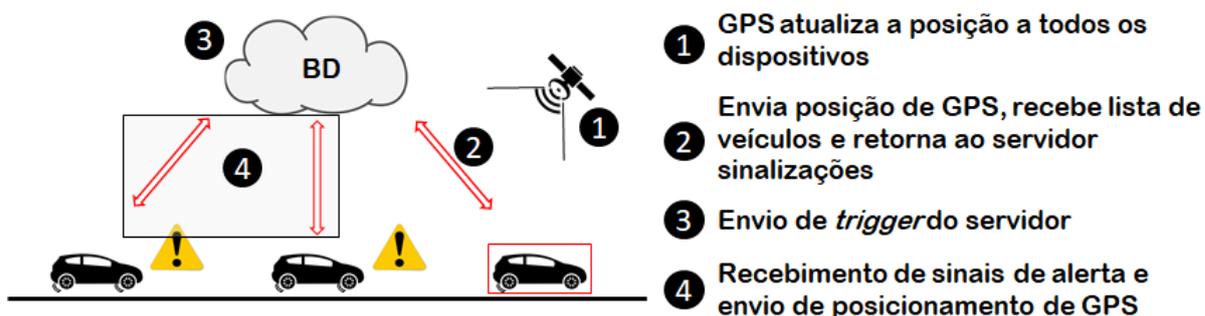
O modelo proposto é baseado em comunicações, seja com o servidor de banco de dados para envio da posição geográfica e sinalizações de alerta, seja com o satélite para que se obtenha o posicionamento geográfico. Desta forma, grande parte da eficiência do modelo está relacionada ao tempo necessário para estas comunicações. Na figura figura 14 são apresentadas as comunicações em que o objetos se relacionam com o satélite e com o servidor de banco de dados.

³ https://play.google.com/store/apps/details?id=com.gsamlabs.bbm&hl=pt_BR

⁴ https://play.google.com/store/apps/details?id=com.here.app.maps&hl=pt_BR

⁵ https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.android.apps.maps&hl=pt_BR

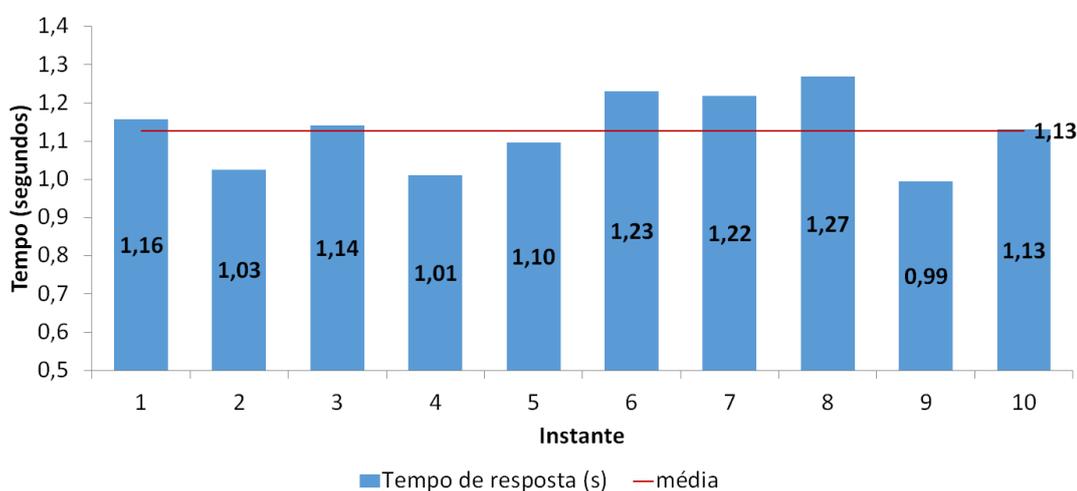
Figura 14 – Comunicações do modelo



Fonte: Elaborado pelo autor

Inicialmente, foi avaliado o tempo necessário que o sistema é capaz de enviar informações entre os dispositivos móveis, ou seja, o tempo total em que o sistema realiza a verificação de posicionamento GPS de todos os veículos no raio geográfico, define quais são os dois veículos atrás e os notifica com o sinal de frenagem ou desaceleração ao servidor de banco de dados, o qual, por sua vez, notifica os veículos atrás. Resultando em um tempo médio de 1,13 segundos para que o sinal seja enviado ao banco de dados e por sua vez notifique o outro dispositivo. Na figura 15 são apresentados 10 testes realizados e o respectivo tempo obtido.

Figura 15 – Tempo de resposta do modelo

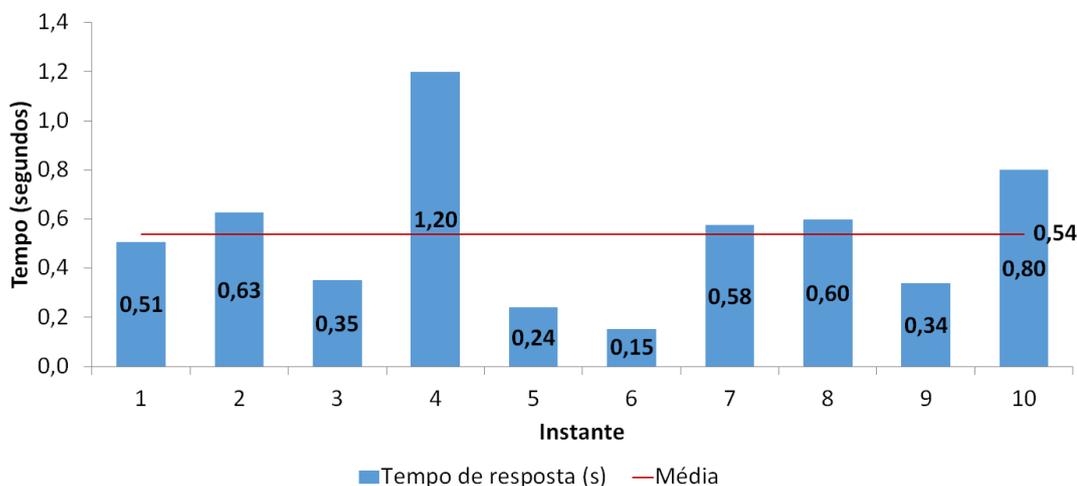


Fonte: Elaborado pelo autor

Também foi avaliado o tempo necessário para que o algoritmo realizasse a varredura de todos os veículos no raio de 200 metros e organizasse suas posições e sentidos em uma lista, conforme o algoritmo elaborado. Em média são necessários 0,54 segundos para essa varredura total para envio ao servidor, sendo obtido o valor máximo de 1,2 segundos. Este algoritmo refere-se à atualização do posicionamento dos veículos, assim que atualizados no servidor de banco de dados, por exemplo, quando ocorre uma ultrapassagem, necessitando

que a posição dos veículos seja reordenada. Na figura 16 são apresentados os resultados em 10 testes realizados e os tempos de resposta obtidos.

Figura 16 – Tempo para varredura dos veículos



Fonte: Elaborado pelo autor

Em todos os testes realizados, observou-se que o tempo de atualização do GPS é constantemente de 1hz, ou seja, atualiza as coordenadas geográficas a cada 1 segundo. Este tempo mostra-se constante, somente não o respeitando quando o sinal eventualmente é perdido. Sendo assim tanto a identificação de desaceleração quanto o cálculo de distância limitam-se a este tempo, pois dependem da atualização do sinal GPS para serem calculados conforme o algoritmo proposto.

7 CONCLUSÃO

No ano de 2017, 45% dos acidentes de trânsito em rodovias federais no Brasil estão relacionados a falta de atenção e na distância incompatível com o veículo à frente. Com o foco na redução de acidentes, há diversas soluções tecnológicas para evitar colisões, como os veículos autônomos e os SACs em conjunto com a tecnologia V2V. Neste sentido, diversos autores propuseram estudos para viabilizar modelos que possam alertar o condutor em situações de risco e prováveis colisões.

Um dos fatores mais considerados nestes estudos é o número de acidentes que um SAC pode reduzir. Conforme U.S Department of Transportation (2017), pode haver uma redução de 50% de mortes no trânsito, se implementado com duas funcionalidades: alerta de intersecção perigosa e assistência para converter à esquerda. No mesmo sentido Arruda et al. (2008) afirmam que 60% das colisões traseiras poderiam ser evitadas se o condutor reagisse em meio segundo de antecedência.

Desta forma, o presente artigo apresenta o modelo BrakeAlert, o qual se trata de uma solução para redução de acidentes de trânsito em colisões traseiras de fácil implementação e custo reduzido, visto utilizar *smartphones* e internet móvel para a comunicação V2V. Ao

contrário dos trabalhos relacionados, o modelo BrakeAlert apresenta uma solução não apenas teórica, mas um algoritmo completo e funcional, o qual foi testado e mostrou-se eficaz para o objetivo proposto.

O modelo BrakeAlert visa sinalizar o condutor do veículo, sem a necessidade de intervenção humana, sempre que a distância de segurança for ultrapassada ou houver uma desaceleração do segundo veículo à frente. Para isso, utiliza tecnologias GPS, internet móvel e *trigger* de banco de dados, sendo possível implementar um sistema apenas utilizando um *smartphone*, dispositivo amplamente difundido.

Para avaliar a eficiência do modelo, foi elaborado um protótipo, o qual foi submetidos a dois testes. O primeiro diz respeito ao consumo de energia em comparação a aplicativos que também utilizam GPS e internet móvel, resultando num consumo aproximadamente sete vezes menor. O segundo diz respeito ao tempo em que um dispositivo consegue processar e se comunicar com o outro, obtendo um tempo médio de 1,13 segundos para receber as informações de desacelerações do segundo veículo a frente e atualizar a distância de segurança do veículo imediatamente à frente. Sendo assim, obtém-se um resultado satisfatório para que o condutor seja sinalizado. Também foi avaliado o tempo em que o algoritmo consegue mapear os veículos ao redor e identificar suas posições e sentidos, resultando em um tempo de 0,54 segundos, o qual é um tempo muito adequado, pois neste tempo está incluindo, além do algoritmo de posição, os acessos ao servidor de banco de dados.

O tempo de resposta de 1,13 segundos se mostra adequado, considerando o tempo de reação de um condutor de 2,5 segundos sugerido por KHISTY e LAL (2002), pois, após a frenagem do primeiro veículo, o terceiro veículo somente reagiria após 5 segundos, enquanto que utilizando BrakeAlert esse tempo seria reduzido para 3,63 segundos. Ainda cabe destacar que a decisão do segundo condutor em frear não está relacionada apenas ao tempo de percepção, mas também à emoção, conforme sugere Houmburger (2003) *apud* Sousa (2011), desta forma a decisão de reagir está vinculada ao julgamento do condutor, o qual pode realizá-la tardiamente, mostrando-se mais promissor ainda a adoção do modelo BrakeAlert.

Considerando a proposta deste trabalho em desenvolver um modelo para a implementação de um SAC utilizando um *smartphone* para reduzir as principais causas de acidentes com baixo custo, conclui-se que se obteve o resultado esperado, desenvolvendo um algoritmo de implementação factível com tempo de resposta satisfatório. Além disso, mostra-se muito animador que, com a utilização de banco de dados com todos os veículos mapeados, seja possível em trabalhos futuros realizar outras análises complexas do comportamento dos veículos, como identificação de veículos em alta velocidade no sentido oposto, notificação quando o veículo imediatamente atrás está muito próximo, ou até mesmo identificação de engavetamentos a quilômetros à frente. Entretanto, é possível também identificar algumas oportunidades de melhoria neste modelo, visto que, apesar de realizar as devidas notificações ao usuário, seria de maior valia se os tempos de respostas das

notificações fossem mais rápidos e se o sistema não dependesse do sinal de internet móvel. Sendo assim, propõem-se a realização, em trabalho futuro por este autor, o estudo para utilização de *Wi-fi Direct*, conforme sugerido por Murugesh et al. (2016), assim como adicionar ao algoritmo a identificação de veículos ao lado, possibilitando assim mais aplicabilidades ao modelo.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, J. R. d. F. et al. **Rede de Pesquisa em Mobilidade Terrestre Autônoma com Ênfase em Defesa Nacional e Segurança Pública**. São Paulo: [s.n.], 2008. 209 p. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~imt/INSTITUTO%20DE%20MOBILIDADE%20TERRESTRE.pdf>>.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, p. 2787–2805, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>>.
- Google. **Google Firebase**. 2018. Disponível em: <<https://firebase.google.com/docs/database/>>.
- Google. **Google Geocoder**. 2018. Disponível em: <<https://developer.android.com/training/location/display-address>>.
- Google. **Google GeoFire**. 2018. Disponível em: <<https://opensource.google.com/projects/geofire>>.
- Google. **Google Location**. 2018. Disponível em: <<https://developers.google.com/maps/documentation/geolocation/intro?hl=pt-br>>.
- GUARISE, M. et al. **UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ SETOR DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA I 2 DV Indicador de Intensidade de Desaceleração Veicular Relatório do Projeto de Graduação**. [S.l.], 2008. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/303.pdf>>.
- HABERMANN, D. Detecção e Rastreamento de Obstáculos com Uso de Sensor Laser de Varredura. **USP**, p. 59, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3139/tde-20102010-150541/en.php>>.
- KANARACHOS, S.; CHRISTOPOULOS, S. R. G.; CHRONEOS, A. **Smartphones as an integrated platform for monitoring driver behaviour: The role of sensor fusion and connectivity**. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.03.023>>.
- KENNEY, J. B. Dedicated short-range communications (DSRC) standards in the United States. **Proceedings of the IEEE**, 2011. ISSN 00189219.
- KHISTY, C. J.; LAL, B. K. **Transportation Engineering: An Introduction**. 3. ed. New Jersey: [s.n.], 2002.
- LUCCHETTI, A. et al. Design of rapid first-aid alert systems for 2-wheeled vehicles via smartphones' inertial sensors. **IFAC-PapersOnLine**, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240589631631429X>>.

LUETTEL, T.; HIMMELSBACH, M.; WUENSCH, H.-J. Autonomous Ground Vehicles—Concepts and a Path to the Future. **Proceedings of the IEEE**, v. 100, p. 1831–1839, 2012. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/6179503/>>.

MURUGESH, R. et al. Smartphone based driver assistance system for coordinated lane change. In: **2015 International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2015 - Proceedings**. [s.n.], 2016. p. 386 – 386. ISBN 9781509002641. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7447634/>>.

OLIVEIRA, M. T.; SARAIVA, S. L. C. **Fundamentos de Geodésia e Cartografia**. 1ª. ed. Porto Alegre: [s.n.], 2016. 223 p.

OLIVEIRA, S. d. **Internet das Coisas com ESP8266, Arduino e Raspberry Pi**. 1. ed. São Paulo: [s.n.], 2017. 240 p.

Polícia Rodoviária Federal. **Acidentes - PRF**. 2017. Disponível em: <<https://www.prf.gov.br/portal/dados-abertos/acidentes>>.

SILVEIRA, F. L. D. UM INTERESSANTE E EDUCATIVO PROBLEMA DE CINEMÁTICA ELEMENTAR APLICADA AO TRÂNSITO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES-A DIFERENÇA ENTRE 60 KM/H E 65 KM/H + *. **Bras. Ens. Fís.**, v. 28, n. 2, p. 468–475, 2011. Disponível em: <<http://www.youtube.com/watch?v=OeDgcTOOYdo>>.

SINGH, D.; SINGH, M. Internet of vehicles for smart and safe driving. In: **2015 International Conference on Connected Vehicles and Expo, ICCVE 2015 - Proceedings**. [s.n.], 2016. ISBN 9781509002641. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7447621>>.

SOUSA, L. A. P. D. **TAXAS DE DESACELERAÇÃO E TEMPOS DE PERCEPÇÃO E REAÇÃO DOS MOTORISTAS EM INTERSEÇÕES SEMAFORIZADAS**. Rio de Janeiro, 2011.

THIELEN, I. P. **Perspectivas para a Psicologia do Trânsito**. [S.l.], 2011. v. 15, 77–86 p.

U.S Department of Transportation. **Readiness of V2V Technology for Application**. 2014. Disponível em: <<https://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/V2V/Readiness-of-V2V-Technology-for-Application-812014.pdf>>.

U.S Department of Transportation. Vehicle-to-Vehicle Communication Technology. 2017. Disponível em: <https://www.nhtsa.gov/sites/nhtsa.dot.gov/files/documents/v2v_fact_sheet_101414_v2a.pdf>.

WITTERN, E. Web APIs - Challenges, Design Points, and Research Opportunities: Invited Talk at the 2nd International Workshop on API Usage and Evolution (WAPI '18). **IEEE/ACM 2nd International Workshop on API Usage and Evolution**, ACM, v. 18, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3194793.3194801>>.

Xue Yang et al. A vehicle-to-vehicle communication protocol for cooperative collision warning. In: **The First Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services, 2004. MOBIQUITOUS 2004**. [s.n.], 2004. ISBN 0-7695-2208-4. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/1331717/>>.

ZHU, H. et al. Online Vehicle Front-Rear Distance Estimation with Urban Context-Aware Trajectories. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, 2018. ISSN 00189545.

ZULKAFI, A. Z. et al. Android based car alert system. In: **2016 3rd International Conference on Computer and Information Sciences, ICCOINS 2016 - Proceedings.** [s.n.], 2016. ISBN 9781509051342. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/7783266>>.