

Serviço Baseado em Localização Geográfica para melhoria do atendimento de táxis

Felipe A. L. Reis¹ Marconi A. Pereira² Paulo E. M. Almeida¹

¹CEFET-MG - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil

²UFSJ - Universidade Federal de São João Del-Rei, Ouro Branco, MG, Brazil

Abstract

Uma solução para aumento da eficiência operacional dos sistemas de táxi é o uso de serviços baseados em localização (LBS), a fim de escolher o melhor taxista disponível para atendimento a uma requisição. Nesse trabalho são avaliados diferentes algoritmos de escolha do melhor táxi, quando se conhece a posição geográfica de taxistas e passageiros. Nos testes realizados, em um sistema estacionário, observou-se, por meio de simulação, a diminuição do tempo de espera e da distância percorrida de táxis escolhidos por algoritmos LBS, em relação ao uso do método broadcasting, usado atualmente para escolha do taxi responsável por um atendimento.

(99 palavras (max 100) - lembrar ao traduzir)

Keywords: Serviços baseados em localização (LBS), transporte de táxi urbano, roteamento em tempo real, problemas de atribuição.

1. Introduction

Táxi é um meio de transporte em áreas urbanas que oferece agilidade e conforto no atendimento ao público. Esse tipo de transporte é uma das alternativas ao sistema de transporte coletivo

em diversas cidades. O transporte por táxis sofre influência de diferentes fatores, que alteram a disponibilidade de serviços. Entre eles podemos citar:

- Eventos tais como shows, festas e congressos geram uma forte procura em um ponto específico, geralmente concentrada num horário (encerramento do evento);
- Dias chuvosos motivam as pessoas, que geralmente andam a pé ou ônibus, a usar o táxi, o que gera uma grande demanda pulverizada, isto é, não há uma concentração de usuários num ponto específico.
- Determinados horários onde há pico de tráfego, tais como no início e fim de expediente.
- Proximidade de feriados, no qual os usuários optam por deslocar-se até as rodoviárias ou aeroportos

Além dos problemas citados, o funcionamento do serviço de táxi, em geral, é pouco satisfatório quanto à sua eficiência operacional. As razões para isso estão relacionadas ao modo como os táxis são organizados - agendamento de serviço por ligações telefônicas, atendimento a usuários que estão nas ruas e pontos de táxi [1].

A ineficiência é justificada pela falta de metodologia no atendimento às requisições, sua demanda pulverizada e ao

fato da maioria das solicitações seguir o modelo de busca aleatório, onde taxistas e usuários procuram-se mutuamente, sem um método em especial.

Em busca da melhoria efetiva nos serviços prestados, é necessário que haja um balanço entre a disponibilidade, o número de requisições por regiões e informações detalhadas sobre tráfegos e rotas de acesso. Para isso, seria necessária a criação de modelos que descrevessem o comportamento dos serviços de táxi. Entretanto, devido a suas próprias características, como a quantidade de taxistas autônomos e a demanda estocástica em diferentes localizações, a criação desses modelos de funcionamento é inviável, até mesmo para representações de tamanho médio [1].

Uma solução alternativa para o cenário apresentado é o uso de rastreadores nos veículos, permitindo a utilização de serviços baseados em localização (LBS - Location Based Services) para aumento da eficiência operacional: o conhecimento da localização geográfica de taxistas e passageiros permite atendimentos mais eficientes.

A aplicação de tecnologias de posicionamento global para requisição de táxis já foi oferecido e estudado em [2] e [3]. Nesses sistemas, a solicitação de serviço de táxi é realizada por meio de centrais telefônicas de atendimento ao cliente. Nelas, o cliente informa a sua localização e o operador identifica, na frota de táxis, aqueles veículos mais próximos, solicitando que algum deles possa atender ao passageiro. Após o retorno, com a confirmação de um taxista, o usuário é informado sobre o táxi que realizará o atendimento.

O trabalho aqui descrito busca avaliar o ganho dos algoritmos baseados em GPS em relação ao método broadcasting - utilizado, hoje, no

despacho de veículos. Nesse trabalho, busca-se também analisar como a distância do taxista influencia no tempo de espera de um cliente e os tempos de execução dos algoritmos propostos. Um outro objetivo do trabalho é medir a alteração do tempo de espera por táxis quando há diminuição da oferta de serviços, de acordo com cada um dos algoritmos estudados.

2. Background

Os serviços de táxis estão presentes em diferentes localidades mundiais. Grandes centros contam, normalmente, com uma infraestrutura desses serviços, a fim de atender à demanda populacional e aos turistas, que passem ou realizam negócios nessas cidades.

Os serviços de taxi, em geral, possuem baixa eficiência operacional, com cerca de 50% do tempo disponível desperdiçado na espera por passageiros [1]. Desse modo, a concentração de estudos, normalmente, tem como objetivo melhorar a eficiência dos serviços, sem aumentar custos [1].

O uso de localizações geográficas, obtidos por meio de rastreadores, recentemente foi incorporado ao sistema de despacho [3]. A partir do conhecimento da posição geográfica de um cliente ou usuário, é possível determinar, de forma mais precisa, informações sobre produtos e opções de serviço que interessam a esse possível consumidor [4].

Existem diferentes técnicas para busca de clientes, desde métodos de busca aleatório até métodos baseados em GPS, onde se conhece a localização de taxistas e passageiros. Nesse último método, é possível escolher o melhor veículo da frota para atender a cada requisição de maneira mais efi-

ciente. Segundo [3], o modo de despacho baseado em GPS será aquele usado com maior eficiência para atender demandas de taxi, quando se conhece a posição de passageiros e taxistas.

Em geral, sistemas de localização monitoram a posição de taxistas por meio de rastreadores veiculares. Nos artigos [2] e [3] foram indicados sistemas reais que armazenam a posição absoluta de taxistas e, a partir de requisições a uma central telefônica, escolhem o melhor veículo responsável pelo atendimento.

Devido ao crescimento do uso de smartphones no mundo *verificar fonte!!*, além da possível manutenção dessa tendência pelos próximos anos *verificar fonte!!*, pode-se dizer que é possível construir sistemas que utilizam rastreadores GSP / A-GPS integrados a dispositivos móveis, a fim de localizar veículos e clientes. A partir de requisições oriundas desses dispositivos, o conhecimento da localização de taxistas e passageiros torna-se natural e pode-se de fornecer serviços de taxi com maior eficiência.

3. Algorithms

3.1. GPS-based algorithm with lower estimated time for service

Uma das soluções para escolha do melhor taxista responsável por uma requisição é o desenvolvimento de um algoritmo que sempre selecione o veículo cuja estimativa de tempo de atendimento é a menor possível.

Para isso, devemos estimar o tempo de deslocamento de cada um dos taxistas em relação ao cliente, baseado na rota real entre o táxi e o passageiro. Existe, no entanto, um problema nessa solução simplificada: o custo para

avaliação de todos os taxistas torna o processamento de uma requisição muito lento, devido a complexidade dos algoritmos de roteamento.

A fim de diminuir o tempo de resposta, uma solução simples, que diminui o tempo de resposta, sem afetar a qualidade do algoritmo é pré-processar os taxistas disponíveis para atendimento a uma requisição. O filtro considera que existe uma certa linearidade entre a distância e o tempo de atendimento.

Através desse critério, podemos classificar o taxistas de acordo com sua distância euclidiana até o cliente. O primeiro passo é selecionar taxistas em uma faixa de distância máxima. Esse taxistas são avaliados quanto ao menor tempo de atendimento possível. Caso não sejam encontrados taxistas dentro da faixa de distância mínima tomada como limite inicial para filtro, o algoritmo procede do seguinte modo:

1. Aumenta a faixa de distância mínima para encontrar taxistas;
 - (a) Caso seja encontrado ao menos um taxista nessa nova faixa, ocorre o processamento para escolha do melhor veículo;
 - (b) Caso não sejam encontrados taxistas, aumenta-se novamente a faixa de distância;
 - i. Caso seja encontrado ao menos um taxista, ocorre novo processamento sobre os táxis encontrados;
 - ii. Caso contrário, o sistema conclui que não há taxistas próximos e coloca o cliente na fila de espera;

Podemos compreender melhor essa situação com auxílio da figura 1. Em resumo, os taxistas são buscados primeiramente na região verde dos

círculos concêntricos (*substituir por hachurada 1*). Caso não sejam encontrados, busca-se na região amarela (*substituir por hachurada 2*) e, em sequência, caso seja necessário, na região vermelha (*substituir por hachurada 3*). Se nenhum taxista for encontrado, o algoritmo coloca o cliente na fila de espera. Através do

o menor tempo previsto para atendimento será definido como responsável pela requisição.

No artigo aqui descrito, a fim de encapsular o processo de estimativa de tempo de requisição, foi utilizado a API do Google Maps para obtenção da menor rota real.

3.2. GPS-based algorithm with Euclidean distance

Um algoritmo alternativo ao descrito na seção anterior é a utilização apenas da distância euclidiana como critério de escolha do melhor taxista.

Analisando esse método, no entanto, em uma situação real, a distância euclidiana pode se mostrar ineficiente, uma vez que um táxi mais próximo, segundo esse critério, poderá demorar mais para deslocar-se até o cliente do que um táxi ligeiramente mais distante, mas que apresente uma rota diferente. Podemos verificar um exemplo dessa situação na figura 2. Nessa imagem,

Fig. 1: Método para filtro de taxistas avaliados pelo sistema, de acordo a distância até o cliente.

conceito de círculos definidos acima, podemos limitar a distância máxima que um taxi será avaliado para atendimento a um cliente. A limitação de distância máxima têm como objetivo impedir que taxistas a uma distância considerável do cliente sejam definidos como responsáveis por um atendimento, uma vez tanto a distância percorrida pelo taxista quanto o tempo de espera do cliente serão longos.

Caso o filtro, ainda assim, encontre um número grande de taxistas aptos para atendimento, o sistema filtra os N taxistas mais próximos, reduzindo ainda mais o processamento. Dentre esses taxistas restantes, aquele com

Fig. 2: Exemplo de rotas entre taxistas e um cliente.

podemos ver que apesar do Taxista 1 estar mais próximo ao Cliente 1 que o Taxista 2, utilizando o critério de distância Euclidiana, o Taxista 2 deverá

percorrer uma distância menor que a do Taxista 1 para atender a solicitação.

Apesar dos problemas discutidos na acima, a solução possui gasto computacional consideravelmente inferior e pode apresentar bons resultados, em um caso médio.

No algoritmo construído nesse trabalho, de modo semelhante ao método com menor tempo estimado de atendimento, foi definida uma distância máxima, por meio de distância euclidiana, para que um taxista seja avaliado pelo sistema - taxistas muito longe do cliente são descartados.

3.3. Broadcasting method

O método broadcasting é aquele utilizado atualmente para escolha do taxista responsável por atender um cliente após o telefonema à central. Nele, o atendente comunica, por rádio, aos taxistas, a localização do passageiro. Um dos taxistas próximos ao cliente confirma que está disponível e é tomado como responsável pelo atendimento.

No método broadcasting não há garantias que o taxista mais próximo será o responsável pela requisição, tampouco que o sistema é otimizado para atendimento às solicitações: o taxista que primeiro responde a demanda é aquele que realizará o atendimento. Podemos concluir que a escolha do taxista é realizada, de certa forma, de modo aleatório, uma vez que o primeiro taxista, em uma região próxima ao cliente, que responda ao rádio será designado para atendê-lo.

Para simular essa característica, foi criado um algoritmo que simula esse comportamento. Nele, após a solicitação de um cliente, o algoritmo seleciona um conjunto de taxistas próximos (limitando a distância do mesmo

modo que nos algoritmos baseados em GPS) e sorteia um taxista responsável. Através do sorteio, pode-se representar a seleção do taxista que se candidatou para atendimento.

4. Tests and Results

O mecanismo de simulação desenvolvido para teste dos algoritmos aqui descritos é classificado como Simulação a Eventos Discretos.

Os testes foram executados para todos os algoritmos sob as mesmas condições. Cada método definiu o melhor taxista para atendimento, segundo seus próprios critérios. O tempo de deslocamento de cada taxista foi computado em cada um dos algoritmos.

Para calcular o tempo médio de atendimento, foi utilizado o Google Maps API, a fim de estimar o tempo de deslocamento entre taxista e cliente, uma vez que a simulação real do procedimento é considerada, hoje, inviável. Essa estimativa foi definida como tempo para atendimento. O simulador não considerou nos testes informações de tráfego.

4.1. Taxi distribution

Para definir a distribuição de demandas de atendimento na área utilizada como representação de uma cidade, foi construído um gerador de posicionamento de taxistas e passageiros.

Nele, considera-se que a probabilidade de ocorrência de um evento em uma área periférica da cidade é inferior à probabilidade na região central. Essa distribuição considera que um único ponto atrai maior quantidade de requisições de serviço. Em cidades de grande porte, vários locais possuem concentração de requisições, não havendo um ponto único de maior

concentração de serviços. No entanto, essas características comuns a centros urbanos são complexas de serem modeladas, principalmente quando relacionadas a demanda estocástica por serviços de táxi [1].

Os taxistas, do mesmo modo que as demandas, não foram distribuídos uniformemente. Utilizando o mesmo algoritmo das demandas, os taxistas ocupam majoritariamente a região central do sistema. As regiões periféricas têm menos táxis disponíveis, e de acordo com o algoritmo de requisição, menos chamados para atendimento. A distribuição dos taxis pela cidade, em relação ao ponto central da cidade pode ser visto na figura 3.

Fig. 3: Histograma contendo a distribuição dos taxistas em relação ao ponto central.

4.2. Service flow

A fim de representar de forma mais plausível a dinâmica nos sistemas reais, construiu-se um simulador para representar a movimentação de taxistas pela cidade. Como o sistema é construído sobre eventos discretos, esses movimentos ocorrem apenas após o processamento de uma requisição.

O simulador tem como característica a manutenção da razão aproximada entre a quantidade de táxis ocupados e o número total de veículos. Com isso, os testes mantêm-se em um estado estacionário, sem tendência ao crescimento ou decrescimento da oferta em relação ao número de passageiros.

A manutenção de táxis em um estado estacionário garante que o tempo de espera mantenha-se uniforme. Essa analogia deriva da relação proposta por [5], onde o tempo de espera por táxi é diretamente relacionado à quantidade de horas vagas dos taxistas.

Outra característica do simulador é quanto à alteração dos estados dos taxistas. Em uma situação real, em um pequeno intervalo de tempo, é possível que sejam iniciados e finalizados atendimentos em pontos distintos da cidade. Isso ocorre devido ao número de requisições realizadas diariamente e devido à quantidade de taxistas e passageiros existentes. O simulador, após o evento de processamento de uma requisição, representa esse comportamento modificando a disponibilidade alguns taxistas.

Devemos informar que a elasticidade da demanda de serviços foi ignorada pelo simulador. Na prática, há variação da quantidade de solicitações devido a dias da semana, condições climáticas, vésperas de feriados, entre outros. Porém, durante a simulação, os testes foram realizados sob condições homogêneas, de modo que não há variação na oferta de serviços. Supõe-se, então, que o algoritmo foi executado fora de um horário de pico e que a quantidade de solicitações nesse horário manteve-se inalterada.

Como resumo do procedimento utilizado para realização dos testes, é possível descrever todo o procedimento na seguinte sequência:

1. O sistema define um número N de táxis e os coloca de modo aleatório na cidade;
2. Cerca de metade dos táxis são marcados como ocupados;
3. Os taxistas movem-se aleatoriamente pela cidade, em eventos discretos sem alterar consideravelmente sua posição atual;
4. Alguns taxistas têm seu status alterado de "Ocupado" para "Livre" e vice-versa, simulando o início/final de atendimentos;
5. O algoritmo de teste simula uma requisição de um passageiro;
6. O sistema de despacho de veículos escolhe o melhor taxista, de acordo com o algoritmo utilizado;
7. O sistema marca o taxista como ocupado, evitando que ele seja responsável por outros atendimentos;
8. Se o número de requisições propostas no teste ainda não tiver sido atingido, o sistema volta ao passo 3. Caso contrário, o sistema contabiliza os tempos médios para atendimento e o tempo de processamento de cada um dos algoritmos.

4.3. Tests conditions

O município de Belo Horizonte (Brasil) foi definido como local onde os testes seriam executados, simulando uma condição real. Devido à existência de maior área urbanizada no centro da cidade, com baixo número de grandes áreas verdes e com ampla malha viária, optou-se pela distribuição dos taxistas e das requisições na área central e adjacências.

Além da localização geográfica real onde os testes foram executados, foram realizadas adequações ao modelo, de modo a simular condições próximas à

média existente na cidade. Como valores de configuração do do modelo, temos:

- Taxa de ocupação média dos taxis: 50%;
- Probabilidade de taxis a leste do ponto inicial: 50%;
- Probabilidade de taxis a norte do ponto inicial: 50%;
- Numeros de taxis avaliados nos círculos próximos ao cliente: 7;
- Raios de busca dos círculos: 0,7km, 1,2km e 1,5km;
- Probabilidade de movimentação de um taxista: 90%;
- Probabilidade máxima da alteração do status de um taxista ("Livre" para "Ocupado" ou vice-versa): 10%.

No primeiro teste, utilizando condições médias encontradas na cidade, definiu-se uma representação na qual 300 táxis foram distribuídos em uma área de aproximadamente 34,84 km². A com uma taxa média de 8,61 táxis por km², ou seja, um táxi a cada 0,12 km².

Em um segundo teste, optou-se por restringir o número de táxis, de modo a analisar a influência da disponibilidade de serviços. Para isso, colocou-se na mesma área apenas 200 taxistas, com uma taxa de ocupação média de 5,74 táxis por km².

4.4. Results

Os resultados dos testes descritos nessa seção foram submetidos à análise de variância (One-way ANOVA) seguida do teste de Tukey, para comparação múltipla das médias. Foi adotado intervalo de confiança de 95%, sendo as diferenças consideradas significativas quando o valor $P < 0,05$. Para análise estatística foi utilizado o software Graph Pad Prism (versão 5.01).

	Tempo	Distancia	Process.
(1)	GPS-T	GPS-D	GPS-P
(2)	EUC-T	EUC-D	EUC-P
(3)	BRC-T	BRC-D	BRC-P

Table 1: Padrão de nomenclatura dos algoritmos para os testes.

A fim de reduzir o nome dos algoritmos nos gráficos dessa seção, utilizou-se o padrão de nomenclatura descrito na tabela 1. *Corrigir tabela (os valores estavam ficando por cima da coluna do lado)*

1. *GPS-based algorithm with lower estimated time for service*
2. *GPS-based algorithm with Euclidean distance*
3. *Broadcasting method*

4.5. Test I

O primeiro resultado obtido pelas execuções é o tempo médio de espera dos clientes até o atendimento. O gráfico correspondente aos tempos para atendimento pode ser visto na figura 4. O algoritmo baseado em GPS com Menor Estimativa do Tempo para Atendimento obteve valores mais baixos, quando comparado aos algoritmos GPS com Distância Euclidiana e Broadcasting. Portanto pode-se inferir, de acordo com os testes realizados, que este o algoritmo apresenta menor tempo de espera médio para os clientes. Esses resultados foram obtidos com 95% de confiança e mostram que existe uma diferença estatisticamente significativa, que favorece o algoritmo GPS com Menor Estimativa do Tempo para Atendimento.

As informações correspondentes a distância média percorrida pelos taxis-

Fig. 4: Tempo médio de espera dos clientes nas amostras, por tipo de requisição.

tas nas amostras pode ser vista na figura 5. Pode-se observar, que a dis-

Fig. 5: Distância média de espera dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição.

tância média percorrida pelos taxistas no algoritmo GPS é menor que as distâncias encontradas nos algoritmos EUC e BRC.

De acordo com os resultados obtidos, é possível correlacionar o tempo médio de espera e a distância percorrida pelos taxistas. Como já discutido, o tempo médio para atendimento está relacionado à distância que o taxista deve percorrer até o cliente: quanto mais longe o taxista, maior o tempo que o cliente deverá esperar até ser atendido. Como os testes propostos não consideram trânsito, o que poderia causar variação na distância em relação ao tempo de espera, é possível correlacionar essas duas métricas, conforme a figura 6. Por fim, deve-se avaliar

Fig. 6: Correlação entre o tempo de atendimento e a distância percorrida.

o tempo de execução dos algoritmos, para que seja possível medir sua eficiência na busca pelo melhor taxista disponível para atender as requisições. A figura 7 indica o tempo médio de processamento dos algoritmos. A análise dos dados da figura 7 mostra que os algoritmos GPS com Distância Euclidiana e Broadcasting possuem tempo de processamento significativamente inferior aos obtidos na execução do algoritmo baseado em GPS com Menor Estimativa do Tempo para Atendimento.

Fig. 7: Tempo médio de execução dos algoritmos.

Apesar dos valores de processamento do algoritmo GPS serem significativamente superiores aos algoritmos BRC e EUC, pode-se observar que seu valor absoluto é baixo, quando considerado seu uso em uma aplicação real. Devido a características do algoritmo, onde o número de taxistas processados é limitado de acordo com restrições do algoritmo e, levando-se em conta que o maior custo computacional é gasto nas chamadas de web service, pode-se dizer que o tempo de processamento manter-se-á estável, mesmo com o aumento do número de taxistas existentes no sistema.

4.6. Test II: Decrease of taxi availability

No segundo teste, buscou-se diminuir a oferta de taxistas em relação à primeira simulação. Para isso, reduziu-se o número de taxistas disponíveis na mesma área da cidade. Nesse segundo experimento, a disponibilidade de taxista foi de 1 veículo a cada 0,17 km².

Para avaliar a alteração do desempenho causado pela modificação dos testes, podemos novamente comparar os tempos de atendimento médio entre os algoritmos. O resultado dessa comparação pode ser visto na figura 8. No segundo experimento, pode-se

do Tempo para Atendimento demonstrou tempo de espera significativamente menor que os algoritmos GPS com Distância Euclidiana e Broadcasting, para o caso médio.

As informações correspondentes a distância média percorrida pelos taxistas em ambos os testes podem ser vista na figura 9. Observa-se, assim como

Fig. 8: Tempo médio de espera dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição.

observar que, do mesmo modo que o primeiro teste, com 95% de confiança, o algoritmo GPS com Menor Estimativa

Fig. 9: Distância média dos taxistas nas amostras, por tipo de requisição.

no primeiro teste, que a distância média percorrida pelos taxistas no algoritmo GPS com Menor Estimativa do Tempo para Atendimento é menor que as distâncias encontradas nos algoritmos GPS com Distância Euclidiana e Broadcasting.

5. Discussion

Como critério para escolha do melhor algoritmo, dentre aqueles avaliados nesse artigo, foi analisada a

contribuição de cada um deles na diminuição do tempo médio de espera para atendimento e o tempo de gasto para escolha do melhor taxista.

No critério de diminuição do tempo de espera por atendimento, podemos verificar que os algoritmos baseados em GPS tiveram diminuição do tempo de atendimento em pelo menos 20% em relação ao método broadcasting. A partir de uma avaliação mais cuidadosa, é possível constatar que a diminuição média no primeiro teste, obtida para o método GPS com Menor Tempo Estimado de Atendimento foi de 52,8%, enquanto que o método GPS com Distância Euclidiana obteve redução média de 26,1% em relação ao método broadcasting.

No segundo teste onde há menor disponibilidade de serviços, os resultados do software mostraram-se mais elevados que no primeiro experimento, sendo que a variação média para o algoritmo baseado em GPS com Menor Tempo Estimado de Atendimento foi de 51,3%, enquanto que no método com Distância Euclidiana foi de 27,1%.

De acordo com os resultados mostrados na figura 6, pode-se observar que existe uma relação direta entre a distância percorrida pelo taxista e o tempo de espera do passageiro. Deve-se lembrar que a interdependência entre a distância percorrida pelo taxista e o tempo de espera mostra-se uniforme, pois não foram consideradas informações de trânsito nos testes.

Em uma situação real, as informações de trânsito causariam modificações relevantes nos resultados encontrados, pois uma rota mais rápida poderia ser maior, quando considerada a velocidade da via no momento.

Em casos de retenção de trânsito é possível realizar duas análises distintas conforme a condição de tráfego:

1. Em retenções isoladas, a velocidade das vias congestionadas têm seu valor alterado sensivelmente e pode haver alteração na linearidade entre distância e tempo para atendimento;
2. Em retenções generalizadas, como horários de pico, há uma diminuição geral da velocidade de todas as rotas e não se pode afirmar que os ganhos de alteração de rota sejam justificados em todos os casos. Com isso, nessas situações de pico, há possibilidade de que exista manutenção da distância como fator de relação direta para o tempo de atendimento.

Quanto à avaliação do tempo de resposta dos algoritmos, com a definição do melhor veículo disponível para atendimento, pode-se verificar, de acordo com os resultados, que o tempo de execução do algoritmo de GPS com Distância Euclidiana é bastante semelhante ao algoritmo broadcasting, com valor desprezível. O tempo de execução do algoritmo GPS com Menor Estimativa do Tempo para Atendimento é, por sua vez, muito mais lento, com tempo de resposta médio em 3,8s.

Um software que demore a responder a uma requisição poderá comprometer o resultado final do algoritmo, uma vez que um taxista poderá se deslocar pela cidade, alterando aquele que seria o melhor veículo responsável por uma requisição. Além disso, apesar da situação ter sido desconsiderada nos testes, em casos onde a demora de execução é significativa, há aumento da probabilidade do taxista atender a solicitação de um cliente que está na rua, sob a condição do método *random-search* [3], onde taxistas e clientes se buscam aleatoriamente, ficando indisponível.

Ao analisar os resultados dos testes

de GPS em relação ao método broadcasting, deve-se adotar cautela na avaliação do último. Como é sabido, o método broadcasting parte da interação entre taxistas e atendentes da central telefônica, não sendo executado nenhum algoritmo. Pode-se estimar que os contatos por rádio entre taxistas e atendentes gastam um tempo maior que os 3,8 segundos necessários para o processamento do método GPS com Menor Tempo Estimado para Atendimento. Desse modo, apesar do resultado ser lento em relação ao método com Distância Euclidiana, os valores estão dentro de uma faixa aceitável de espera. Considerando que um veículo move-se em velocidade máxima de 60km/h nas ruas da cidade, a distância máxima que o veículo terá se deslocado em relação à posição original é de 63,3m, quando considerado apenas o tempo médio de resposta do sistema.

6. Conclusion

A partir do trabalho, constatou-se a melhora do tempo até o atendimento com o uso de algoritmos baseados em localização, o que indica uma tendência a resultados bem sucedidos na prática. Além disso, o trabalho indicou numericamente a existência da melhoria dos serviços, quando utilizados métodos de avaliação GPS em relação ao método broadcasting, como era previsto, de acordo com [3].

Ao melhorar o tempo de espera por serviços e indicar a correlação entre a distância percorrida e o tempo para atendimento, podemos indicar um possível aumento da eficiência nos atendimentos de táxi. Pode-se inferir também que haverá redução da quantidade de quilômetros percorridos pelos taxistas até o atendimento de uma requisição, tornando o trajeto mais

econômico para o taxista.

A análise de tempo de processamento computacional das soluções indica que os algoritmos desenvolvidos possuem baixo tempo de resposta. Devido as suas características, bem como os tempos de processamentos encontrados nas simulações, pode-se afirmar que as soluções apresentadas têm viabilidade prática, quanto ao tempo de resposta do sistema.

7. Future Work

Em trabalhos futuros é possível melhorar os modelos criados, tornando-os mais próximos a realidade e considerar diferentes condições de ambiente a fim de produzir resultados mais precisos. A avaliação de fatores externos ao fluxo de táxi, como chuvas ou eventos, de modo semelhante ao indicado em [6] para previsão de horários de chegada de ônibus, podem ser utilizados pelo algoritmo para resultados mais precisos. Além disso, é possível verificar o comportamento do tráfego em dias normais e preparar o algoritmo para considerar o horário, entre outras condições, como critério na escolha do melhor táxi, de modo a diminuir o tempo de atendimento.

References

- [1] S. Cheng and X. Qu, X. A Service Choice Model for Optimizing Taxi Service Delivery, *Research Collection School of Information Systems*, v. 209, 2009.
- [2] Z. Liao. Real-Time Taxi Dispatching Using Global Positioning Systems. *Communications of ACM*, v. 46, n. 5, may 2009.
- [3] Z. Xu, et al. Investigating the Value of Location Information in Taxi Dispatching Services: A case study

of DaZhong Taxi. *PACIS 2005 Proceedings*, v. 111, 2005.

- [4] B. Rao and L. Minakakis Evolution of Mobile Location-based Services. *Communications of the ACM - Mobile computing opportunities and challenges*, New York, NY, USA, v. 46 , n. 12, p. 61 - 65, December 2003. ISSN 0001-0782.
- [5] H. Yang and S. C. Wong. A Network Model of Urban Taxi Services. *Transport Research Board-B*, v. 32, n. 4, p. 235-246, 1998.
- [6] W.-H. Lin and J. Zeng. An experimental study on real-time bus arrival - Time prediction with GPS data. *Transportation Research Record*, n. 1666, p. 101-109, 1999. ISSN ISSN: 0361-1981, ISBN 0309070619.