

Mapeamento das Pesquisas de Origem e Destino com Viagens Segmentadas Realizadas com o Uso de GPS

Marcelle Dorneles Ribeiro (PPGEP/UFRGS)

Ana Margarita Larrañaga (PPGEP/UFRGS)

Helena Beatriz Bettella Cybis (PPGEP/UFRGS)

Resumo

As geotecnologias atuais permitem a coleta, armazenamento e mapeamento de dados georreferenciados de forma precisa. Por esse motivo, nas últimas décadas, o sistema GPS está sendo utilizado em larga escala em diversas áreas científicas, inclusive em engenharia de transportes. Nesse contexto, está sendo desenvolvida, principalmente nos Estados Unidos, uma série de metodologias da utilização do sistema GPS em pesquisas de origem e destino. As primeiras pesquisas realizadas focavam na obtenção de dados de automóveis e transporte coletivo, uma vez que estes são geralmente o modo principal de uma viagem. No entanto, há cerca de 5 anos, foram realizadas pesquisas, com o auxílio do dispositivo GPS, que obtinham dados de todas as partes da viagem, principalmente daquelas realizadas a pé de acesso ao modo principal. Essas pesquisas apontam que o dispositivo apresentou resultados satisfatórios, uma vez que foi possível obter a rota e informações precisas quanto a duração e o comprimento da viagem, muitas vezes relatadas equivocadamente pelos entrevistados. No entanto, elas também apontam a necessidade da realização de entrevista com os participantes no final da coleta, para se obter dados exatos quanto ao motivo e o modo de cada viagem, presumidos pelos GPS. Assim, com o cruzamento das informações armazenadas pelo GPS e das relatadas pelos entrevistados é possível se obter dados seguros quanto às viagens realizadas, podendo ter um banco de dados confiável, com o qual se é possível elaborar um planejamento de transportes coerente com a demanda e podem ser elaboradas medidas necessárias que visam na melhor utilização do espaço viário disponível.

Palavras chave: Pesquisas de origem e destino, GPS, planejamento de transportes.

1 Introdução

O uso de técnicas matemáticas e computacionais para a obtenção e o tratamento de informação geográfica vem aumentando gradualmente, principalmente nas áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional. Nessas áreas, o geoprocessamento de dados é amplamente utilizado, uma vez que faz parte da tendência de obtenção de uma infraestrutura voltada para a análise de informações sobre o espaço geográfico. Com a utilização das geotecnologias (Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global – GPS, Sistema de Informações Geográficas – SIG) é possível realizar levantamentos, cadastramentos, monitoramentos e mapeamentos de forma cada vez mais precisa.

A utilização do sistema GPS (conforme denominado na literatura) foi consagrada nos anos 80 e, em crescimento acelerado, foi consolidada nos anos 90. A utilização desse sistema como ferramenta de localização e navegação tornou-se uma tecnologia conhecida popularmente. Assim, seu uso se tornou acessível a uma série de pessoas, não só especialistas em geotecnologias. Por causa disso, as áreas de aplicação do sistema GPS são diversas e elas englobam desde o mapeamento de regiões da superfície terrestre, cadastro georreferenciado, monitoramento de deformação dinâmico de grandes estruturas ao monitoramento de linhas de transporte coletivo e elaboração do planejamento de transportes de uma cidade, em pesquisas de origem e destino (Bernardi e Landim, 2002; Larocca, 2004).

Primeiramente, as pesquisas de origem e destino com o uso de GPS era realizada exclusivamente com automóveis, de forma a avaliar o deslocamento dos mesmos na malha viária. No entanto, nos últimos 5 anos foram realizadas pesquisas que obtiveram dados de todas as partes da viagem, inclusive dos deslocamentos de acesso ao modo principal, geralmente a pé. Entretanto, por ser um procedimento recente, até então não está consolidada uma metodologia para a utilização do GPS nesse tipo de pesquisa. Nessas condições, esse artigo tem como objetivo principal identificar os estudos já elaborados sob essa perspectiva e como objetivo secundário entender o funcionamento e a aplicabilidade do sistema GPS, especialmente em engenharia de transportes.

Para tanto, esse artigo está dividido em 5 seções. Inicialmente é apresentado o funcionamento do sistema GPS, bem como sua evolução histórica e limitações, seguido pela utilização do dispositivo em engenharia de

transportes, essencialmente em pesquisas de origem e destino. Por fim, é apresentada uma síntese das pesquisas de origem e destino com a utilização de GPS já realizadas, nas quais foram avaliadas todas as etapas de viagem, e a conclusão quanto à utilização dessa tecnologia em pesquisas de origem e destino.

2 O Sistema GPS

O Global Positioning System (GPS) é caracterizado como um sistema espacial. O princípio básico do funcionamento desse sistema consiste na transmissão e na recepção de sinais pelos satélites, por meio de ondas eletromagnéticas, de modo que o intervalo de tempo decorrido no percurso pode ser determinado. Uma vez que a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas é a velocidade da luz, podem ser calculadas as distâncias entre os satélites e o receptor que as rastreia. Com isso, é possível determinar as coordenadas da posição onde está estacionado o receptor, quando este está conectado com no mínimo 3 transmissores, formando uma triangulação. Para a obtenção da altitude é necessário um quarto transmissor. (Wagner, 1997; Bernardi e Landim, 2002; Coelho, 2003; Stopher, Prasad e Zhang, 2010).

Dessa forma, o GPS fornece a posição espacial, a velocidade e o tempo decorrido num sistema de referência comum, a qualquer momento, em qualquer ponto da superfície da Terra e independente das condições meteorológicas. Os dados podem ser emitidos em intervalos de milésimos de segundo ou conforme se programar. Devido a rápida obtenção de dados, sua utilização aumenta gradualmente com o tempo, se tornando um sistema padrão para georreferenciamento (Wagner, 1997; Coelho, 2003; Stopher, Prasad e Zhang, 2010).

2.1 Evolução Histórica

O primeiro sistema de satélites implantado foi o sistema de satélites denominado TRANSIT em 1967. Na época esse sistema foi utilizado principalmente para a navegação, para a prospecção de recursos naturais e para o controle de redes geodésicas. Em busca de melhores resultados, foi desenvolvido o Sistema de Posicionamento Global (GPS) *Navigation System Using Time and Ranging* (NAVSTAR), que permitiu alcançar melhores precisões (Bernardi e Landim, 2002).

O sistema GPS utilizado atualmente foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos (*DoD/USA*) para a navegação, com propósitos militares. Contudo, o Congresso Americano constatou que o sistema teria um grande potencial para aplicações civis. Dessa forma, no início dos anos 80 o sistema foi amplamente divulgado e foram desenvolvidas diversas aplicações em levantamentos geodésicos e em sistemas de navegação. Em 1985, a rede era formada por 10 estações, das quais metade eram estações da Força Aérea dos Estados Unidos. A partir da década de 90, o GPS se tornou genuinamente popular. Esse fato foi consequência do avanço tecnológico no campo da micro-informática, que permitiu aos fabricantes de rastreadores produzirem receptores GPS que processassem, no próprio receptor, os códigos dos sinais recebidos (Bernardi e Landim, 2002; Coelho, 2003; Larocca, 2004).

O sistema atual é composto por uma constelação de 24 satélites (21 ativos e 3 reservas) distribuídos em 6 planos orbitais com uma inclinação de 55 graus em relação ao plano do Equador, conforme apresenta a Figura 1. Eles estão localizados a cerca de 20 mil km de altitude da superfície terrestre. A cada 11 horas e 58 minutos, aproximadamente, eles completam uma volta inteira em torno da Terra. Dessa forma, a constelação atual de satélites GPS garante que a todo o instante, em qualquer lugar da superfície terrestre, pelo menos 3 satélites podem ser observados por qualquer receptor. Uma vez que um receptor precisa que pelo menos 3 satélites estejam no seu campo de visão para obter o correto cálculo da latitude e longitude e um quarto satélite para obter a altitude, o sistema apresenta uma eficácia significativa. O nível de precisão atual é de 10 metros, aproximadamente (Bernardi e Landim, 2002; Coelho, 2003; Wolf, Oliveira e Thompson, 2003; Larocca, 2004; Bohte e Maat, 2009; Stopher, Prasad e Zhang, 2010).

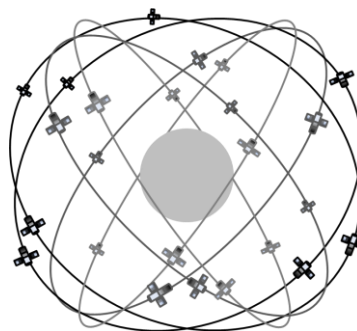


Figura 1: Sistema atual de satélites

No Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, (IBGE) juntamente com outras instituições latino-americanas e internacionais, sob o patrocínio do *International Association of Geodesy* (IAG), criou em 1993 o Projeto de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS). O principal objetivo do SIRGAS foi estabelecer um sistema de referência para a América do Sul. Assim, o Brasil tem participado ativamente para o estabelecimento de redes de GPS de alta precisão no continente associados à criação de um banco de dados e centros de processamento. O estabelecimento das Redes de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBCM) no país é de grande importância para a geodésia a nível internacional (IBGE, 1994; Bernardi e Landim, 2002).

2.2 Limitações do Uso

O GPS proporciona ao usuário uma série de dados de forma confiável, inclusive sob condições precárias de cobertura (Stopher et al., 2006). Os fatores mais importantes que determinam o sucesso de obtenção de valores posicionais com o GPS em condições adversas podem ser enquadrados em três categorias: (i) o ambiente, caracterizado essencialmente pela cobertura, que pode gerar um obstáculo entre o transmissor e o receptor; (ii) as técnicas de coleta de dados, que podem ser de modo estático ou dinâmico e (iii) o equipamento GPS, cujas características operacionais tem um papel determinante na coleta de dados (Bernardi e Landim, 2002).

Entretanto, são encontradas limitações quanto ao uso do sistema GPS. Elas são provenientes de três naturezas distintas: (i) a partir da geometria da constelação de satélites; (ii) por causa de efeitos atmosféricos; e (iii) pela reflexão indesejada do sinal, denominada como multicaminhamento. A geometria instantânea do conjunto de satélites que se encontra acima do horizonte influencia diretamente na obtenção dos dados. É preciso que o GPS receba informações de pelo menos três satélites para formar uma triangulação e fornecer dados quanto ao posicionamento georreferenciado. Caso não receba, o sistema perde significativamente a precisão. Contudo, com a constelação de satélites atual, por meio de planos orbitais, o sistema GPS apresenta uma eficácia significativa. (Coelho, 2003).

Os efeitos atmosféricos sobre o GPS são devidos principalmente às influências da ionosfera e da troposfera, camadas da atmosfera terrestre, que podem conter partículas que desviem os sinais enviados. O reflexo do efeito ionosfero pode variar de 1 metro a 100 metros e é uma função da posição, tempo e frequência utilizada. Já o efeito da troposfera não tem relação com a frequência do dispositivo nem com a distância entre estações, mas com a refração nos sinais rastreados. O primeiro efeito pode ser eliminado com a utilização de instrumentos com duas frequências e o segundo efeito pode ser corrigido a partir de modelos teóricos em relação à troposfera (Bernardi e Landim, 2002; Coelho, 2003).

Por fim, o multicaminhamento é o resultado da reflexão indesejada do sinal por obstáculos próximos, que podem afetar tanto na propagação de códigos, quanto na recepção dos mesmos. Isto é, o aparelho GPS pode, em algumas circunstâncias, receber, além do sinal proveniente dos satélites, sinais refletidos em superfícies vizinhas, tais como construções, carros, árvores e cercas. Reflexões também podem ocorrer próximas aos satélites, durante a propagação dos dados, mas essas são menos frequentes, uma vez que eles não se encontram próximo de outros objetos refletivos. Na prática, essa é a limitação mais comum do sistema nas grandes cidades. Além disso, os diferentes aparelhos GPS variam consideravelmente na resistência em aceitar os sinais de multicaminhamento (Coelho, 2003; Wolf, Oliveira e Thompson, 2003).

Entretanto, os aparelhos estão sendo aprimorados cada vez mais, visando minimizar as limitações da tecnologia. Grande parte dos aparelhos GPS lançados atualmente são capazes de gravar a posição exata mesmo dentro de edifícios altos e em infraestruturas em concreto armado (Stopher et al., 2006; Stopher, FitzGerald e Zhang, 2008). Dessa forma, Stopher, FitzGerald e Zhang (2008) destacam que apesar de haverem as limitações, a tecnologia GPS é potencialmente precisa para coleta de dados e pode ser aplicada largamente na coleta de dados de forma confiável.

3 Aplicações do Sistema GPS

O sistema GPS está sendo utilizado em larga escala em engenharia, principalmente na implantação de linhas de transmissão, construção de oleodutos e gasodutos, determinação de polígono de apoio para locação de estradas, construção de barragens de hidrelétricas e na coleta de dados para cadastro multifinalitário (Larocca, 2004). Na topografia, a precisão milimétrica desse sistema permite utilizá-lo para determinar ângulos, distâncias, áreas, coordenar pontos e efetuar levantamentos. Em Engenharia de Transportes, o GPS está sendo empregado essencialmente para monitorar, controlar e auxiliar no planejamento de uma rede de transportes específica.

O monitoramento de veículos de transporte coletivo ao longo do itinerário também pode ser realizado a partir da utilização de GPS, tal como implantado no Transmilênio, em Bogotá (Parra, 2005). Dessa forma, torna-se possível fiscalizar eletronicamente o cumprimento e a pontualidade do transporte público urbano ou rodoviário. Além disso, pode ser implantado um sistema de informação que contenha em tempo real a localização dos veículos aos usuários que estão nos pontos de parada, de forma que seja informado o tempo de espera para os próximos veículos, aumentando a capacidade de gestão e indiretamente a confiabilidade no sistema.

No controle dos sistemas de gerenciamento de tráfego, a introdução dos sistemas de rastreamento, monitoração e roteirização de veículos representa uma significativa inovação. O uso de GPS pode ser aplicado em grande escala na implantação de rastreadores em veículos que fornecem a latitude e a longitude em tempo real. Nesse contexto, o desenvolvimento de sistemas de informação trouxe perspectivas para os transportes e para a logística possibilitando o aumento da eficiência das operações de tráfego, a redução do consumo de combustível e a redução do número de acidentes e de roubos de carga (Aguilera et al., 2003).

O sistema GPS está sendo utilizado para a obtenção de dados quanto ao deslocamento de veículos em uma malha viária específica. Como por exemplo, o GPS foi utilizado na Suécia, nas cidades de Borlänge, Lund e Lidköping em um estudo de dois anos de duração que teve como objetivo principal avaliar a velocidade de automóveis no espaço urbano. Em Copenhague, na Dinamarca, 4 mil veículos foram equipados com GPS em um estudo que verificou o comportamento dos motoristas frente a mudanças do preço de estacionamento. Em Atlanta, nos Estados Unidos, foi realizado um estudo que avaliou o impacto das taxas baseado no comportamento de motoristas. Não obstante, essas três pesquisas tem uma similaridade. Nelas, foram consolidados bancos de dados, que foram utilizados posteriormente para obtenção de informações sobre o padrão de viagem e as rotas escolhidas pelos motoristas (Wolf, 2004).

Nesse sentido, o sistema GPS também está sendo utilizado na coleta de dados de viagem individual em pesquisas de origem e destino (Wolf, 2004). Tradicionalmente, o método de obtenção de dados em pesquisas dessa natureza é a partir do relato dos entrevistados, com relação às viagens já realizadas por eles, denominado como Diário de Viagens (Wolf, Oliveira e Thompson, 2003). No entanto, os Diários de Viagem agregam os enganos relatados pelos participantes, causados pela percepção equivocada das viagens realizadas (Arruda e Silva, 2004). Por conseguinte, a principal vantagem do uso de GPS em pesquisas de origem e destino é a obtenção de informação precisa das rotas, tempo e distância (Wolf, Oliveira e Thompson, 2003; Bohte e Maat, 2009). Por esse motivo, está sendo estudada uma série de metodologias em diversas partes do mundo com o objetivo de implantar efetivamente o uso de sistema GPS em pesquisas de origem e destino. As pesquisas variam entre a utilização exclusiva do GPS na coleta ou a utilização do GPS como forma de auxílio ao diário de viagem.

4 Mapeamento das Pesquisas de Origem e Destino Realizadas com a Utilização de GPS

Por causa da precisão da tecnologia GPS, em diversos lugares do mundo, principalmente nos Estados Unidos, estão sendo realizadas pesquisas com a utilização, exclusiva ou não, de aparelhos GPS. A primeira utilização de GPS em pesquisas de origem e destino ocorreu em Austin nos Estados Unidos, no ano de 1997 (Wolf, 2004). A partir dessa data surgiram várias outras pesquisas, se diferenciando basicamente no tamanho da amostra, no tipo, na quantidade de aparelhos utilizados e na abordagem aos entrevistados. As pesquisas tiveram como objetivo, além da obtenção dos dados, avaliar o comportamento do aparelho nesse tipo de aplicação.

Na literatura existe uma série de estudos com a utilização de GPS para a obtenção de dados referentes aos padrões de viagem em pesquisas de origem e destino. São exemplos: (i) *California Statewide HTS*, em 2001; (ii) *SCAG Los Angeles HTS*, de 2001 a 2002; (iii) *Pittsburgh HTS*, em 2001; (iv) *Ohio Statewide HTS*, de 2001 a 2002; (v) *Laredo Texas HTS*, em 2002; (vi) *Saint Louis HTS*, em 2002; (vii) *Tyler Longview Texas HTS*, em 2003 e; (viii) *Kansas City HTS*, em 2004. No entanto, essas pesquisas foram realizadas para obter informações do modo principal de cada viagem, sendo muitas vezes o automóvel. As pesquisas em automóveis têm como vantagem a utilização conjunta da bateria do automóvel pelo o aparelho GPS e o melhor sinal no aparelho quando a antena está localizada no para-brisa do veículo (Wolf, 2004; Stopher, FitzGerald e Zhang, 2008; Oliveira et al., 2011).

No entanto, o sistema GPS pode ser utilizado em viagens de outros modos de transporte não motorizados também. Em pesquisas de deslocamentos de automóveis ou de veículos de transporte coletivo, os modos secundários utilizados, tais como viagens a pé de acesso a paradas de ônibus ou a estacionamentos, são desprezados (Stopher et al, 2006; Du, e Aultman-Hall, 2007; Houston et al., 2011). Tradicionalmente, isso ocorreu devido à necessidade de produção de modelos de viagens motivados em grande parte pela previsão da demanda por viagens de automóvel ou no dimensionamento das linhas de transporte coletivo. No entanto, com o

aumento da capacidade de modelagem atual é possível representar os vários estágios multimodais de uma viagem. Essa modelagem é importante para acomodar de maneira confortável todos os usuários do sistema viário e dessa forma promover um planejamento integral da cidade (Stopher e Greaves, 2007). Com isso, é possível elaborar medidas para melhorar os problemas de mobilidade, sobretudo dos pedestres (Larrañaga e Cybis, 2010).

As pesquisas de origem e destino realizadas com o auxílio de GPS, obtendo informações quanto a todas as partes de viagens realizadas, vem sendo estudada a partir de 2008, principalmente nos Estados Unidos. Nessas pesquisas, os entrevistados carregam um dispositivo GPS consigo em todos os deslocamentos, na quantidade de dias determinados e, após o período de coleta, são entrevistados sobre as viagens realizadas naquele período. Durante a entrevista, eles indicam o modo utilizado, o tempo e a distância que perceberam de cada viagem. Dessa forma, é possível cruzar os dados relatados com os dados armazenados pelo aparelho e se obter dados completos quanto às viagens realizadas (Gleave e GeoStats, 2003; Stopher e Greaves, 2007).

Nesse contexto, a Tabela 1 apresenta 6 pesquisas desse tipo desenvolvidas nos últimos 5 anos. Estão discriminados: (i) autor; (ii) título; (iii) local; (iv) data de publicação; (v) objetivo; (vi) o número de entrevistados e; (vii) número de segmentos de viagens coletados. Ressalta-se que, no momento está sendo realizada uma pesquisa com o mesmo enfoque em Jerusalém, Israel (Oliveira et al., 2011). No entanto, uma vez que a pesquisa está em execução, foram divulgados apenas dados preliminares e, por esse motivo, essa pesquisa não consta na Tabela 1. O mesmo ocorre em uma pesquisa realizada no Reino Unido (Lee e Wolf, 2010). Até o momento, Lee e Wolf (2010) fizeram uma pesquisa com os aparelhos GPS existentes no mercado para verificar a eficácia dos mesmos em pesquisas de origem e destino com a avaliação das partes de viagem. No entanto, uma vez que a pesquisa envolveu uma série de aparelhos distintos e foi uma pesquisa-piloto não está contida na Tabela 1.

Tabela 1: Pesquisas de origem e destino realizadas com a utilização de GPS com levantamento de todas as etapas de viagem

Autor	Título da pesquisa	Região da aplicação da pesquisa	Data da publicação	Objetivo	Número de entrevistados	Número de partes de viagens
<i>Stopher et al.</i>	Entrevistas domiciliares com auxílio de GPS na cidade de Cincinnati, na região de Ohio.	Ohio – Estados Unidos	2012	Investigar se a tecnologia GPS é suficientemente desenvolvida para substituir os diários de viagem.	3.849	60.900
<i>Lee et al.</i>	O uso de dados obtidos de GPS em pesquisas domiciliares para avaliar a atividade física.	Massachusetts – Estados Unidos	2012	Avaliar a utilização de GPS em pesquisas, correlacionando os dados coletados de viagens a pé e de bicicleta como atividade física.	900	12.551
<i>Gong et al.</i>	Método de GPS/GIS para detectar o modo de viagens na cidade de Nova York.	Nova York - Estados Unidos	2011	A partir do cruzamento entre dados georreferenciados em GIS e registrados no GPS, identificar os modos das viagens coletadas.	49	345
<i>Bricka et al.</i>	Análise dos fatores que influenciam as diferenças entre levantamentos relatados e obtidos através de GPS.	Indiana – Estados Unidos	2011	Comparar viagens relatadas pelos participantes e registradas no aparelho GPS.	265	1.555
<i>Houston et al.</i>	Utilização avançada de GPS para monitoramento e avaliação das implicações das viagens não declaradas em diários de viagem.	Califórnia - Estados Unidos	2011	Examinar a quantidade de viagens relatadas equivocadamente e a relação entre a exposição dos participantes a poluição em um ambiente externo.	47	908
<i>Bohte e Maat</i>	Derivação e validação dos motivos e modos de transporte para múltiplos dias baseados	Utrecht e Flevoland - Holanda	2009	Elaborar uma metodologia para a obtenção do motivo e do modo da viagem a partir de dados georreferenciados.	1.104	33.868

Autor	Título da pesquisa	Região da aplicação da pesquisa	Data da publicação	Objetivo	Número de entrevistados	Número de partes de viagens
	em levantamentos com GPS.					

A pesquisa realizada na cidade de Cincinnati, na região de Ohio, foi a primeira pesquisa realizada com GPS em larga escala nos Estados Unidos. Após a realização de uma pesquisa piloto, a coleta de dados foi realizada de agosto de 2009 a agosto de 2010. Na coleta, os participantes levaram consigo o GPS em todas as viagens realizadas em um período de 3 dias. Após esse período, os dados foram armazenados e mapeados e foi enviado um mapa por e-mail para os entrevistados contendo as viagens realizadas pelos mesmos. Os entrevistados foram orientados a preencher informações no mapa quanto aos deslocamentos efetuados. Ao todo, foram levantadas informações completas de 3.849 pessoas, totalizando 60.900 viagens. No entanto, apenas 989 pessoas preencheram corretamente os dados no mapa recebido por e-mail, as demais preencheram alguma parte equivocada, ou não responderam. Por conseguinte, a principal conclusão obtida é a viável aplicação do GPS em pesquisas dessa natureza, uma vez que os dados registrados das viagens formaram um banco de dados bastante rico e confiável. No entanto, os autores indicam a utilização de outra forma para a captação de dados dos entrevistados, para se obter melhor veracidade. Ainda, indicam a utilização de outro método, uma vez que os dados obtidos a partir da internet não tiveram resultados satisfatórios (Stopher et al., 2012).

A pesquisa realizada na região de Massachusetts, nos Estados Unidos teve o objetivo de avaliar a utilização de GPS em pesquisas, de forma a obter dados quanto às viagens a pé ou de bicicleta, correlacionando-as como atividade física realizada pelos participantes. A pesquisa foi realizada no período entre junho de 2010 e junho de 2011, na qual 900 entrevistados carregaram o dispositivo GPS consigo durante 2 dias da semana. No total, foram registradas 12.551 viagens. O estudo conclui uma relação positiva entre transporte coletivo e nível de atividade física, uma vez que para cada viagem de transporte coletivo são necessárias 2 viagens a pé, de ida e de volta da parada, principalmente para as pessoas que tem sua moradia, escola e/ou trabalho próxima a uma parada e podem usufruir de transporte coletivo. Além disso, os autores concluem a viabilidade da utilização do GPS nesse tipo de análise (Lee et al., 2012).

A coleta de dados realizada em Nova York nos Estados Unidos foi realizada em duas etapas. A primeira contou com a participação de 35 pessoas, que carregaram o GPS em 1 semana inteira no outono de 2008, na qual os entrevistados responderam a um Diário de Viagem no último dia de coleta sobre todos os dias da semana. Na segunda etapa foram coletados dados do deslocamento de 28 pessoas, que carregaram o GPS em 5 dias durante a primavera de 2009, que responderam ao questionário de 1 dia das viagens coletadas, escolhido por eles. No final, foram analisados apenas os dias que foram relatados no Diário de Viagens para cruzar com os dados obtidos pelo GPS. Assim, foram analisados os dados de 49 dias, dos quais 25 foram obtidos na primeira etapa e 24 na segunda etapa. A pesquisa teve como objetivo a elaboração de um algoritmo para aferir o modo utilizado em cada viagem, a partir das velocidades e das rotas. O algoritmo foi elaborado a partir do cruzamento dos dados registrados no GPS com uma base de dados georreferenciada em GIS da cidade. O algoritmo obteve resultado satisfatório, com taxa de acerto de 82,6% (Gong et al., 2011).

A pesquisa realizada na cidade de Indianópolis, nos Estados Unidos teve como objetivo analisar a diferença entre os dados relatados com os dados registrados nos aparelhos GPS. A pesquisa contou com a participação de 272 pessoas que carregaram consigo o GPS durante 1 dia no ano de 2009. No entanto, apenas os dados de 265 pessoas foram considerados válidos. Essas pessoas relataram ter efetuado o total de 1.533 viagens, contudo o dispositivo armazenou 1.555 viagens. Após o cruzamento dos dados relatados e registrados, foi concluído que 22% das pessoas relataram que fizeram mais viagens que as detectadas no GPS, 49% reportaram o mesmo número de viagem e 29% relataram ter realizado um número menor de viagem que o número registrado no aparelho. A partir disso, os autores elaboraram uma metodologia, que continha duas opções para o motivo da viagem (a trabalho ou não) como variável dependente e elaboraram um modelo empírico. A pesquisa teve como conclusão que o aparelho GPS deve ser utilizado de forma conjunta com o Diário de Viagem para se obter dados de forma confiável (Bricka et al., 2011).

O objetivo da pesquisa realizada na região da Califórnia nos Estados Unidos foi identificar a quantidade de locais que os entrevistados estiveram e não relataram no diário e analisar a exposição dessas pessoas ao ambiente externo. Foram coletados dados de 51 pessoas, que carregaram consigo o GPS por 2 ou 3 dias. No entanto, os dados de 4 pessoas foram desconsiderados por equivocados no aparelho ou no relato. Dessa forma, foram analisados dados de 47 pessoas, que realizaram o total de 908 viagens em 131 dias de coleta. Os resultados apontam que os participantes não relataram corretamente metade das viagens registradas no dispositivo. Isso

significa que a posição exata em 3 horas por dia foi relatada equivocadamente e 0,6 horas das viagens foram ditas de forma equivocada. Além disso, os resultados apontam que as pessoas ficam expostas a poluição do ar durante cerca de 50 minutos a cada 5 horas por dia e ficam expostas a poluição de veículos cerca de 30 minutos a cada 4 horas por dia, caso se encontre próximo a rotas de caminhões (Houston et al., 2011).

Por fim, a pesquisa realizada na Holanda teve como objetivo a concepção de uma metodologia de coleta capaz de aferir modos e propósitos em cada viagem, além de obter as coordenadas de localização dos destinos e as distâncias, horários e duração de cada viagem de forma mais exata possível e com a mínima interação necessária com os participantes. Foram coletados dados de 1.104 pessoas nas cidades de Amersfoort e Veenendaal, na região de Utrecht e Zeewolde na região de Flevoland, que carregaram consigo o dispositivo por 7 dias consecutivos. Os participantes realizaram um total de 33.868 viagens nesse período. No final da coleta, os participantes receberam um e-mail com um mapa com a rota realizada e espaços para preenchimento de dados quanto aos destinos e os modos de cada viagem. Com a elaboração de um algoritmo foram comparados os dados estimados a partir de um banco de dados em GIS onde foi alocada a rota do entrevistado e inserida a velocidade registrada e os dados preenchidos pelos entrevistados. Os resultados apontam que 75% dos modos das viagens foram estimados corretamente pelo algoritmo. Assim, a conclusão obtida pelos autores é que a utilização de GPS e um banco de dados em GIS são grandes ferramentas conjuntas para o método de coleta de dados (Bohte e Maat, 2009).

5 Conclusão

O sistema GPS está disponível para a utilização em diversas áreas científicas nas últimas décadas. Ele apresenta uma tecnologia suficiente para coletar e armazenar dados em tempo real, de maneira segura. Isso ocorre porque a constelação de satélites atual permite o rastreamento em qualquer lugar da superfície terrestre. Assim, apesar das limitações do sistema, tais como a geometria da constelação de satélites, a atmosfera e o multicaminhamento, os resultados obtidos em diferentes análises comprovam que o dispositivo gera resultados confiáveis, com nível de precisão na ordem de 10 metros. Assim, a tendência da utilização desse sistema tende a aumentar cada vez mais.

A utilização do sistema GPS em pesquisas de origem e destino é recente. As primeiras pesquisas realizadas em torno do ano 2.000 eram focadas no modo principal de uma viagem, geralmente o automóvel ou veículos de transporte coletivo. No entanto, nos últimos 5 anos, foi executada uma série de pesquisas com todas as partes das viagens, inclusive àquelas de acesso aos modais principais, muitas vezes, a pé. Essas pesquisas foram realizadas principalmente nos Estados Unidos, inclusive estudos de larga escala. No entanto, estão sendo preparadas pesquisas dessa natureza em outras partes do mundo, com o auxílio do GPS.

De maneira geral, as pesquisas tiveram objetivos distintos, com diferentes propósitos e diferentes tamanhos de amostras. No entanto, todas avaliaram, diretamente ou indiretamente, o desempenho dos dispositivos GPS em viagens segmentadas a partir do modo de transporte. A avaliação dos resultados dos estudos de casos analisados mostra que as coletas a partir de dispositivos GPS tem um grande potencial. Entretanto, elas indicam que os resultados dependem diretamente da qualidade do aparelho utilizado e que o método de coleta de dados por GPS deve ser utilizado conjuntamente com entrevistas posteriores, de forma a obter resultados mais eficazes quanto ao motivo e o modo utilizado (Houston et al., 2011, Bricka et al., 2011, Gong et al., 2011, Lee et al., 2012).

As pesquisas realizadas nas 3 cidades da Holanda (Amersfoort, Veenendaal e Zeewolde) e na cidade de Cincinnati nos Estados Unidos foram aplicadas em larga escala. A primeira indica a viabilidade da utilização conjunta do GPS com uma base de dados GIS georreferenciada. Dessa forma, é possível estimar os motivos das viagens a partir dos pontos de origem e destino sobre a base GIS. Além disso, é possível obter informação se a viagem foi realizada com veículos motores ou não, a partir de dados da velocidade registrados no dispositivo GPS (Bohte e Maat, 2009). A segunda teve como principal conclusão que é viável empreender dispositivos GPS em pesquisas de origem e destino com segmentação de viagens. No entanto, esse pode ser aplicado de forma conjunta com o relato dos participantes para obter dados quanto ao modo e o motivo das viagens. Os autores ressaltam que a utilização conjunta do sistema GPS e o Diário de Viagens ultrapassa o que se pode ser alcançado a partir de qualquer outra forma de pesquisa (Stopher et al., 2012).

As demais pesquisas indicam a importância da utilização de tecnologia na coleta de dados. Os dados coletados somente a partir de relatos imprimem muitos erros, tanto de comprimento, quanto de duração das viagens. (Houston et al., 2011). Todavia, elas indicam a utilização de entrevistas posteriores para cruzamentos de dados relatados e registrados pelo GPS. Para isso, ambas citam a internet, visando minimizar o tempo despendido em encontrar os entrevistados pessoalmente (Gong et al., 2011). No entanto, concluem que as entrevistas realizadas com a utilização da internet não é recomendada para ser aplicada com pessoas idosas ou muito jovens, uma vez

que elas não possuem o domínio suficiente da tecnologia, podendo gerar erros de relatos em grande magnitude (Bohte e Maat, 2009; Bricka et al., 2011).

Uma vez que os dados coletados em pesquisas de origem e destino são utilizados frequentemente para a elaboração do planejamento de transportes de uma região, é importante que eles sejam obtidos a partir de uma fonte confiável. Assim, podem ser elaboradas medidas coerentes com a demanda, que conduzam a uma melhor ocupação do sistema viário disponível para todos os modos de transporte, inclusive a pé. Para tanto, a tecnologia GPS se mostrou adequada, principalmente quando utilizada conjuntamente com os Diários de Viagem.

Referências Bibliográficas

- AGUILERA, L. M., GIMENEZ, C., BACIC, M. J. E NETO, R. F. 2003. Sistemas de gerenciamento de transportes – Estudo de caso. Anais do X Simpósio de Engenharia de Produção- SIMPEP. Bauru: Departamento de Engenharia de Produção. Unesp, 2003. v.1. p.1 – 10
- ARRUDA, F. E SILVA, A. N. R. 2004. Diários de atividades: Uma metodologia alternativa de coleta de dados para planejamento de transportes. XVIII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Florianópolis, Santa Catarina.
- BERNARDI, J. V. E. E LANDIM, P. M. B. 2002. Aplicação do sistema de posicionamento global (GPS) na coleta de dados. Laboratório de Geomatématica, UNESP, Texto Didático 10, Rio Claro, SP.
- BOHTE, W. E MAAT, K. 2009. Deriving and validating trip purposes and travel modes for multi-day GPS-based travel surveys: A large-scale application in the Netherlands. Anais Transportation Research Part C: Emerging Technologies, v. 17, p. 285-297.
- BRICKA, S. G., SEN, S., PALETI, R. E BHAT, C. R. 2011. An analysis of the factors influencing differences in survey-reported and GPS-recorded trips. Journal of Transportation Research Part C 21, p. 67–88.
- COELHO, A. C. S. 2003. Avaliação do desempenho de receptores GPS em levantamentos altimétricos, para fim de sistematização de terras. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.
- DU, J. E AULTMAN-HALL, L. 2007. Increasing the accuracy of trip rate information from passive multi-day GPS travel datasets: Automatic trip end identification issues. Transportation Research Part A, p. 220–232.
- GLEAVE, S. D. E GEOSTATS, L. P. 2003. The use of GPS to improve travel data, study report. DTLR New Horizons Programme. London Department for Transport, 2003.
- GONG, H., CHEN, C., BIALOSTOZKY, E. E LAWSON, C. T. 2012. A GPS/GIS method for travel mode detection in New York City. Computers, Environment and Urban Systems. V. 36, p. 131–139.
- HOUSTON, D., ONG, P., JAIMES, G. E WINER, A. 2011. Traffic exposure near the Los Angeles–Long Beach port complex: using GPS-enhanced tracking to assess the implications of unreported travel and locations. Journal of Transport Geography 19, p. 1399–1409.
- IBGE. 1994. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Especificações e normas gerais para levantamentos GPS. Fator GIS. Curitiba, v. 2, n. 6, p.31-34.
- LARRAÑAGA, A. M. E CYBIS, H. B. B. 2010. Impacto da estrutura urbana na escolha modal: evidências de Porto Alegre. XXIV Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Salvador, Bahia.
- LAROCCA, A. P. C. 2004. O uso do GPS como instrumento de controle de deslocamentos dinâmicos de obras civis – Aplicação na área de transportes. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- LEE, M., FUCCI, A., LORENC, P. E BACHMAN, W. 2012. Using GPS data collected in households travel surveys to assess physical activity. Anais Annual Transportation Research Board Meeting 91th, Washington, D.C., Cd-Rom
- LEE, M.; WOLF, J. GPS. 2010. Feasibility Study: GPS equipment review/pretest. Anais Annual Transportation Research Board Meeting 89th. Washington, D.C., Cd-Rom.
- OLIVEIRA, M. G. S., VOVSHA, P., WOLF, J., BORITKER, Y., GIVON, D. E PAASCHE, J. 2011. GPS-assisted prompted recall household travel survey to support development of advanced travel model in Jerusalem, Israel. Journal of the Transportation Research Board. Washington, D.C. p.16-23.
- PARRA, F. R. 2005. Gestão do transporte público por ônibus: os casos de Bogotá, Belo Horizonte e Curitiba.

Dissertação de mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, PR.

STOPHER, P., FITZGERALD, F., GREAVES, S. E BIDDLE, T. 2006. What can we Learn from GPS Measurement of Travel? 29th Australasian Transport Research, Sydney, Austrália.

STOPHER, P. R. E GREAVES, S. P. 2007. Household travel surveys: Where are we going? Anais Annual Transportation Research Part A, p. 367–381.

STOPHER, P., FITZGERALD, C. E ZHANG, J. 2008. Search for a global positioning system device to measure person travel. Transportation Research Part C, p.350–369.

STOPHER, P.R. PRASAD, C. E ZHANG, J. 2010. Comparing GPS and prompted recall data records. World Conference on Transport Research, Lisboa.

STOPHER, P., WARGELIN, L., MINSER, J., TIERNEY, K., RHINDRESS, M. E O'CONNOR, S. 2012. GPS-based household interview survey for the Cincinnati, Ohio region. Anais Annual Transportation Research Board Meeting, 91th, Washington, D.C., Cd-Rom

WAGNER, D. P. 1997. Report: Lexington Area Travel Data Collection Test: GPS for Personal Travel Surveys. OHIM, OTA, and FHWA. Washington, DC., Cd-Rom.

WOLF, J., OLIVEIRA, M. E THOMPSON, M. 2003. Impact of underreporting on mileage and travel time estimates: results from global positioning system-enhanced household travel survey transportation research record. Journal of the Transportation Research Board 1854, p.189–198.

WOLF, J. 2004. Applications of new technologies in travel surveys. 7th International Conference on TravelSurvey Methods, Costa Rica.