

ANÁLISE DA NECESSIDADE DAS REPETIÇÕES E LEITURAS CONJUGADAS NA TOPOGRAFIA PARA A OBTENÇÃO DOS LIMITES CADASTRAIS DE UM IMÓVEL URBANO

Flávia Helena Magalhães Vasconcellos¹, Vinícius Alves de Novaes Pires², Lucas Israel Damasceno Silva³, Andersonn Magalhães de Oliveira⁴, Erison Rosa de Oliveira Barros⁵

^{1,2,3} Departamento de Cartografia, discente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

⁴ Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, discente, UFPE, Brasil

⁵ Departamento de Cartografia, docente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Gestão Territorial e cadastro Técnico Multifinalitário

RESUMO

O presente trabalho tem como propósito fazer comparação entre valores de coordenadas para um poligonal fechada e aberta, fazendo o uso e não uso de séries e leituras conjugadas. A NBR 13.133 descreve que o levantamento planimétrico de poligonais deve ser realizado a partir de séries de leituras conjugadas, com o objetivo de detectar os erros grosseiros e sistemáticos provenientes do observador, do meio ambiente e do instrumento. Neste trabalho foram obtidos valores muito próximos aos encontrados usando séries conjugadas, estando dentro da tolerância angular e linear para poligonais dita pela NBR.

Palavras chave: Topografia, NBR 13.133, Poligonização

ABSTRACT

The purpose of the present work is to compare the values of coordinates for a closed and open polygon, using and not using series and conjugated readings. NBR 13.133 describes that the planimetric survey of polygons should be carried out from series of conjugated readings, in order to detect gross and systematic errors from the observer, the environment and the instrument. In this work, values very close to those found using conjugate series were obtained, being within the angular and linear tolerance for polygonals dictated by NBR.

Keywords: Topography, NBR 13.133, Polygonization

1- INTRODUÇÃO

O Brasil, vem acompanhando os avanços das tecnologias de posicionamento global, mais conhecido pela sigla GPS (Global Positioning System) e que de uns tempos para cá, vem sendo conhecido como GNSS (Global Navigation Satellite System), além da intensificação de outras tecnologias de aquisição de dados geoespaciais. Diante disso, atuação da agrimensura na determinação dos limites de uma parcela de domínio público ou privado, consegue destaque na arquitetura, na engenharia civil, na geografia, no geral, pelos mapas digitais e rastreadores GPS. Percebe-se, a partir de tal levantamento, que essas tecnologias passaram a fazer parte do cotidiano brasileiro. A popularização destas geotecnologias, de tão fácil acesso, ameaça a qualidade do serviço de topografia. A ameaça também, a qualidade das medições realizadas dos vértices dos limites de uma parcela de um imóvel urbano.

A praticidade e o fácil acesso permite uso indevido dos Sistemas de posicionamento por Satélite, quando se deseja obter a informação posicional dos limites de um imóvel. Isso causa grandes

complicações no meio urbano e rural.

Principalmente quando se tem o interesse de determinar os limites de imóveis para fins legais, ou seja, pelo registro de imóveis. Na maioria dos países do mundo, pesquisadores discutem e desenvolvem metodologias e modelos de gerenciamento territorial, incluindo aspectos técnicos e legais, devido à sua importância econômica e social. Apenas nos últimos anos observa-se, em nosso país, um crescente interesse por pesquisas na área cadastral com resultados efetivos, entre os quais se pode citar, como resultado indireto, a legislação sobre o georreferenciamento de imóveis rurais, o cadastro ambiental rural, o cadastro mineiro e os que estão para surgir.

Para o estabelecimento do indicador da precisão posicional na determinação das coordenadas dos vértices da propriedade rurais, ficou estabelecido pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária) através da portaria nº 954, de 13 de novembro de 2002, que cada vértice deve ter precisão

posicional melhor que 0,50 m (PORTARIA nº 954, 2002). A acurácia também deve ser de +/- 0,50 m, ao nível de confiança de 1s (68,3%), conforme definido na Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais (INCRA, 2003).

No meio urbano, a legislação e as normas existentes, não estabelecem precisão para áreas urbanas, mas segundo Luz (2013) e alguns outros autores, já indicam a tolerância posicional de $\pm 0,08$ m.

Brandão (2004) afirmar que a caracterização geodésica de uma parcela territorial não se restringe somente às precisões posicionais, sendo necessário também a determinação da qualidade métrica dos demais elementos que caracterizam geometricamente a parcela - distâncias dos alinhamentos limites, azimutes de alinhamentos limites, ângulos entre alinhamentos limites, área da parcela.

A NBR 13.133 descreve que o levantamento planimétrico de poligonais, deve ser realizado a partir de séries de leituras conjugadas, com o objetivo de detectar os erros grosseiros e sistemáticos provenientes do observador, do meio ambiente e do instrumento. A realidade dos levantamentos topográficos realizados por estações totais, mostra uma metodologia completamente simplificada, onde o operador realiza apenas uma observação e acredita inteiramente nos parâmetros de precisão nominal do instrumento desconsiderando as fontes e toda a análise que se deve ser feita para os tipos de erro. Diante dessa problemática, este estudo tem por objetivo avaliar se a observação de leituras únicas de direção e distância na posição direta, consegue atingir satisfazer os parâmetros de processamento de uma poligonal, segundo a NBR 13.133. Verificando com isso, se é possível atingir a precisão afirmada pelos autores para uma parcela territorial urbana. A pesquisa não entrou nas minúcias do ajustamento de poligonais pelo MMQ. Apenas verificou a possibilidade de leituras únicas para processamento de poligonais segundo a NBR 13.133. Para isso, realizou-se uma simulação em uma parcela urbana situada no Campus da UFPE Recife, Pernambuco usando dos métodos.

2- AS PARTICULARIDADES DOS LIMITES CADASTRAIS DOS IMÓVEIS.

Com o surgimento da Lei 10.267/2001, que trata do georreferenciamento de imóveis rurais, e que consiste num marco da organização territorial brasileira no meio rural. Desde 2004, já se criaram três norma para orienta aos profissionais, algumas mudanças foram implementadas, mas, nada referente quanto a precisão e acurácia. Segundo Portaria nº 954/2002, a precisão do georreferenciamento dos imóveis rurais deve ser de 50 cm a um nível de confiança de 1 sigma (68,3%).

O Brasil não apresenta nenhuma lei que estabeleça como exigência o georreferenciamento de área urbanas para fins cadastrais com precisão estabelecida, essas leis fariam com que fossem estabelecidos padrões de precisão e acurácia para a execução de levantamentos topográficos voltados para o georreferenciamento e cadastro dos limites dos imóveis urbanos, trazendo uma homogeneidade a precisão posicional e garantindo ao proprietário uma

confiabilidade na geometria descritiva do imóvel.

A necessidade de uma definição para precisão dos limites cadastrais de um imóvel, parte do pressuposto da necessidade de uma Rede de Referência Cadastral Municipal, com precisão e distribuição espacial de seus vértices compatível com a precisão que se deseja chegar aos limites dos imóveis.

Esta pesquisa possibilitará estudar a coerência da 1º norma de georreferenciamento de imóveis rurais a um levantamento cadastral dos limites de um imóvel urbano. Visto que a primeira edição da norma continha uma série de requisitos técnicos para o georreferenciamento de imóveis rurais por métodos mistos, ou seja, métodos que se utilizem da combinação do posicionamento geodésicos com a topografia clássica. Alguns destes requisitos, para alguns profissionais parece ser preciosismos, ou seja, possam não ser necessárias para os equipamentos atuais. Uma vez que, os instrumentos de medição presentes no mercado têm incerteza inferior às especificações da norma em relação a determinação dos limites. Diante disso, este trabalho verificou a necessidade das repetições e leituras conjugadas na determinação dos limites legais dos imóveis urbanos usando os parâmetros da NBR.

Segundo Brandão (2004) a caracterização geodésica de uma parcela territorial não se restringe somente às precisões posicionais, sendo necessário também a determinação da qualidade métrica dos demais elementos que caracterizam geometricamente a parcela - distâncias dos alinhamentos limites, azimutes de alinhamentos limites, ângulos entre alinhamentos limites, área da parcela. Que não serão discutidos neste artigo e que são pontos relevantes a discussão mais abrangente. Isso por que a qualidade métrica da área depende não somente da precisão posicional dos pontos de limites, mas também da extensão do imóvel e de sua forma geométrica.

3- PARTICULARIDADES DA NBR-13133

A NBR 13133 fixa as condições exigíveis para a execução de levantamento topográfico destinado a obter: (ABNT, 1994)

- a) conhecimento geral do terreno: relevo, limites, confrontantes, área, localização, amarração e posicionamento;
- b) informações sobre o terreno destinadas a estudos preliminares de projetos;
- c) informações sobre o terreno destinadas a anteprojetos ou projetos básicos;
- d) informações sobre o terreno destinadas a projetos executivos;

A NBR 13133 (ABNT, 1994) classifica as poligonais em principal, secundária e auxiliar:

- Poligonal principal: poligonal que determina os pontos de apoio topográfico de primeira ordem;
- Poligonal secundária: aquela que, apoiada nos vértice da poligonal principal determina os pontos de apoio topográfico de segunda ordem;
- Poligonal auxiliar: poligonal que, baseada nos pontos de apoio topográfico planimétrico, tem seus

vértices distribuídos na área ou faixa a ser levantada, de tal forma que seja possível coletar, direta ou indiretamente, por irradiação, interseção ou ordenadas sobre uma linha de base, os pontos de detalhes julgados importantes, que devem ser estabelecidos pela escala ou nível de detalhamento do levantamento.

Outro ponto estabelecido pela norma é a questão da precisão das estações totais, que são medidores eletrônicos de ângulo e distância, que tem sua classificação definida de acordo com a tabela 1.

TABELA 1 – Precisão interna de acordo com a (ABNT-NBR-13.133)

Classe de Estações Totais	Desvio Padrão (Precisão Angular)	Desvio Padrão (Precisão Linear)
1-precisão baixa	$\leq 30''$	(5 mm + 10 ppm x D)
2-precisão média	$\leq 07''$	(5 mm + 5 ppm x D)
3-precisão alta	$\leq 02''$	(3 mm + 3 ppm x D)

4- CAUSAS E TIPOS DE ERROS

Os valores medidos resultantes dos processos de medição estão eivados de erros. Os erros nada têm a ver com as discrepâncias observadas num conjunto de medidas de uma grandeza. Estas discrepâncias são ocasionadas pela presença em todas as medidas dos inevitáveis erros aleatórios (estamos aqui considerando que os erros grosseiros, também conhecidos por equívocos ou enganos e também os erros sistemáticos, cujo comportamento é conhecido, tenham sido eliminados ou minimizados, caso dos erros sistemáticos). Os erros aleatórios presentes nas medidas de campo possuem comportamento probabilístico, razão pela qual devem ser estudados adequadamente (Gemael, 1994)

A exatidão de uma medida depende do tamanho da divisão de uma escala, da confiabilidade do equipamento empregado e da limitação humana em efetuar estimativas mais precisas. Atualmente, com a tecnologia dos equipamentos de medição é certo que as medidas são mais precisas e acuradas, porém nunca serão exatas.

Devido à natureza das medições efetuadas em topografia, existem três causas de erros nas medições: por fatores naturais, por fatores instrumentais, e por fatores pessoais. (Gemael, 1994)

Os erros presentes nos processos de medição são de dois tipos: grosseiros, sistemáticos e aleatórios.

5- PRECISÃO X EXATIDÃO (ACURÁCIA)

A diferença entre duas medidas de uma mesma grandeza define-se como uma discrepância. Uma discrepância pequena indica que provavelmente não existe equívoco e que os erros aleatórios são de magnitude pequena. No entanto, as discrepâncias com magnitudes pequenas não impedem a presença de erros sistemáticos.

A precisão refere-se ao grau de refinamento ou consistência de um grupo de medidas e se avalia com base na magnitude das discrepâncias que tais medidas apresentam entre si. Se fazemos múltiplas medições sobre uma mesma grandeza e surgem pequenas discrepâncias, isso reflete uma alta precisão. Assim, o grau de precisão de um conjunto de medidas depende

do equipamento utilizado (condições plenas de uso) e da habilidade do observador (conhecedor dos métodos adequados e dos cuidados a tomar no momento de efetuar as medidas). (SOUSA, 2010)

Sousa (2010) afirmar que a exatidão se refere à aproximação das medidas de uma grandeza ao seu verdadeiro valor. Como não conhecemos o verdadeiro valor da grandeza medida não podemos determinar a magnitude desta aproximação. Assim, é claro que a exatidão de uma medida diz respeito à presença de erros aleatórios.

Segundo Dalmolin (2002) os trabalhos topográficos, tanto na etapa de campo quanto nos cálculos em escritório, as ações devem estar norteadas pela busca constante da eliminação dos equívocos e minimização da influência dos erros sistemáticos sobre as medidas. Os equívocos somente poderão ser eliminados se descobertos, por isso a necessidade sempre de colhermos medidas superabundantes para possibilitar a comparação entre elas. O procedimento de se coletar múltiplas medidas de uma grandeza permite identificar possíveis equívocos, além de possibilitar o ajustamento das medições pelo MMQ.

6- METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

A realização de um levantamento topográfico se dá pela determinação de coordenadas, através ângulos e distâncias, onde estas medidas naturalmente contém erros, que podem ser de natureza sistemática, grosseira ou aleatória (Comastri, 1990).

Para simular uma situação real de levantamento planimétrico para atender aos objetivos deste artigo, executou-se poligonais topográficas de duas formas uma usando repetições e leituras conjugadas e outra apenas realizado uma única leitura das direções e distância. Para isso, utilizou-se em campo duas poligonais sendo uma aberta e outra fechada (ambas como apoio imediato), para delimitar a área de estudo, a qual após o processamento destas poligonais conforme os requisitos da NBR-13133, para então, realizar o levantamento topográfico planimétrico da parcela onde se localiza a biblioteca central da UFPE (Universidade Federal de Pernambuco). Para isso, realizou-se o irradiação de toda área a área da poligonal fechada. (Fig. 1)



- Legenda
- Rede de referência planimétrica
 - ▲ Estação poligonal
 - Poligonal aberta apoiada
 - poligonal fechada e apoiada

Fig. 1- Localização da área teste

Para o levantamento utilizou-se como Rede Geodésicas de Referência, os vértices EPS07 e EPSO4 como referencial de partida, e referencial de chegada

EPS03.

A poligonização é um dos principais métodos de obtenção e densificação de coordenadas, principalmente pontos de apoio planimétricos. Diante disso, procedeu-se a densificação de vértices para apoio.

Segundo a NTGIR 1ª Ed. a determinação das coordenadas dos vértices que definem os limites pode ser realizada através de métodos de posicionamento por satélite ou topografia convencional. A norma trata em detalhes do posicionamento GPS e terrestres, por exemplo, métodos topográficos convencionais, poligonais e irradiações utilizando o GPS, cada um destes isoladamente.

Na prática, no entanto, observa-se que é comum a necessidade de utilização dos dois métodos de maneira integrada. É importante, portanto, analisar a questão da precisão da determinação das coordenadas dos limites nestes casos.

No caso de poligonais levantadas por técnicas convencionais sem o uso de método das leituras conjugadas e repetidas, não se realiza o ajustamento das observações angulares e lineares, para o fornecimento da média e dos desvios-padrão da média. Visto que não se tem dados para este tipo de análise. A prática faz se usar a incerteza especificada pelo fabricante. Que muitas das vezes não representar a realidade da observação.

Na prática as medidas topográficas (direções, ângulos, leituras estadimétricas, distâncias, fases da portadora, etc) são consideradas variáveis aleatórias, sujeitas às leis da estatística, as quantidades derivadas delas (coordenadas, distâncias, áreas, volumes, etc) também o são. Diante disso, são sujeitas a uma análise estatística que possibilita a identificação dos possíveis erros grosseiros e sistemáticos. Estes erros são identificados a partir de técnicas de leituras consagradas na topografia: repetição, reiteração e leituras conjugadas, para as observações angulares.

A propagação do erro, vai expressar exatamente a incerteza posicional de uma coordenada, baseada na relação entre os erros das observações e as dos parâmetros, conhecida como fórmula de propagação das variâncias ou lei de propagação dos erros.

No caso dos levantamentos que utilizam medições de ângulos e distâncias, o estudo da propagação do erro baseado no conhecimento dos valores aproximados para ângulos e distâncias, e das variâncias provenientes de experiências anteriores ou das especificações dos instrumentos utilizados, conduz antes das operações de campo, caracterizando assim uma otimização “a priori” do processo. Principalmente quando se utiliza observações únicas de direção.

O levantamento cadastral da biblioteca central da UFPE obteve os seguintes resultados encontrados no processamento das poligonais em questão. (Tabela 2)

TABELA 2 – Comparação entre os erros lineares e angulares com e sem séries e leituras conjugadas.

Poligonal aberta	Erro angular	Erro linear	Poligonal fechada	Erro angular	Erro linear
Com séries e leituras conjugadas	2,27"	2 mm	Com séries e leituras conjugadas	7"	7 mm
Sem séries e leituras conjugadas	3,3"	41 mm	Sem séries e Leituras conjugadas	18"	27,5mm

7- RESULTADOS E CONCLUSÕES

A partir dos resultados presentes nas tabelas 3 e 4, fica evidente a pouca diferença entre os resultados.

TABELA 3 – Coordenadas com o Uso de Apenas de uma Leitura

Vértices	E (m)	N (m)
EPS07	284650,09	9109407,84
EPS04	284742,58	9109481,12
EPS03	285384,80	9109430,88
A	284863,37	9109530,86
B	284965,07	9109515,49
C	284959,44	9109459,67
D	285076,39	9109382,44
E	285022,95	9109427,07

TABELA 4 – Coordenadas o uso de séries e leituras conjugadas

Vértice	E (m)	N (m)
EPS07	284650,09	9109407,84
EPS04	284742,58	9109481,11
EPS03	285384,80	9109430,88
A	284863,36	9109530,86
B	284965,05	9109515,36
C	284959,67	9109459,19
D	285076,71	9109382,42
E	285022,91	9109427,07

Vale salientar que apesar dos resultados terem pouca diferença, os dados que tem apenas uma observação, pode não ter uma segurança a respeito à sua acurácia, uma vez que, se os dados apresentaram erros sistemáticos nas observações, fica impossível de ser constatados. Principalmente se o instrumento utilizado para realização das observações não terem certificados de calibração. (Tabela 5)

TABELA 5 – Diferença entre as coordenadas obtidas pelos dois métodos.

Diferença	Delta E (m)	Delta N (m)
A	0,01	0
B	0,02	0,13
C	-0,23	0,48
D	-0,32	0,02
E	0,04	0

Levando-se em conta o que foi observado nos dados, conclui-se que para o processamento de uma poligonal sem o uso de série e leituras conjugadas, o valor das coordenadas é bem próximo, do que se fosse feito como afirma as especificações da 1 Edição da norma de Georreferenciamento de Imóveis Rurais e a NBR 13133.

Os erros sistemáticos por serem produzidos por causas conhecidas podem ser evitados através de técnicas particulares de observação ou mesmo eliminados mediante a aplicação de fórmulas específicas. São erros que se acumulam ao longo do trabalho. E que não se consegue perceber com apenas uma observação.

Visto que um dos princípios básicos da física diz: “Não se pode medir uma grandeza física com precisão absoluta”, ou seja, “qualquer medição, por mais bem-feita que seja, é sempre aproximada”.

Algumas iniciativas de pesquisa devem ser analisadas para um estudo mais refinado da utilização de leituras únicas, principalmente quanto estes instrumentos não apresentam certificados de calibração. O estudo de Silva (2008) se destaca porque busca reparar algumas questões da instrumentação geodésica. A autora procurou atender as carências da comunidade usuária de equipamentos de medição angular horizontal e vertical, propondo desenvolver uma metodologia de baixo custo para a formação de um laboratório de classificação angular horizontal e vertical baseado na norma ISO 17123-3. Outro estudo interessante é o de Becker (2000) que desenvolveu uma pesquisa que ressaltou a importância da padronização e apresentou as áreas da agrimensura que mais sofreram modificações que, na opinião do autor, são as mais relevantes para os trabalhos de posicionamento, a saber: Normas para os aparelhos de medição; Normas para os laboratórios de calibração e testes em equipamentos de agrimensura. Outras pesquisas de relevância neste tema, temos o trabalho de Greenway (2004) que procurou esclarecer alguns questionamentos como: Quais são os padrões usados na área de agrimensura? Como os padrões podem atingir a vida profissional de um agrimensor? Os padrões são favoráveis ou contrários ao desenvolvimento do trabalho de um agrimensor? Quais são os órgãos que estão envolvidos na formulação de padrões específicos para a instrumentação usada na área de agrimensura? Quais são os órgãos que estão envolvidos na formulação de padrões específicos para a instrumentação ótica?

Além disso empresas que comercializam e fabricam instrumentos já se pronunciaram sobre a necessidade de calibração instrumental. A Leica Geosystems (2001) divulgou um boletim em que apresentava a importância da calibração instrumental. Neste mesmo artigo são apresentados os eixos da estação total e os possíveis erros instrumentais, erro de colimação, erros de eixo inclinado, erro do índice vertical, erro do eixo horizontal, erro de índice compensado e a calibração ATR (Automatic Target Recognition).

A presença de erros sistemáticos e grosseiros referentes as observações de medição necessitam ser eliminados para que os mesmos obtenham coerência com a incerteza presentes nas especificações do instrumento de medição (desvio padrão da média inferior ou igual a Precisão Nominal do Instrumento (PN)). A não eliminação destes erros pode acarretar uma observação tendenciosa, ou seja, as estimativas do valor verdadeiro da observação não tendem a média, com isso, dando a expectativa de dados precisos, mas que não são acurados.

A revisão da literatura mostra uma tendência clara da necessidade de certificados de calibração para obtenção da acurácia desejada, para um levantamento de um limite cadastral. Principalmente quando estas observações não apresentam abundância e métodos de

eliminação dos erros sistemáticos. Para maiores informações, um novo estudo na área deve ser retomado, para uma verificação estatística destes resultados, no que diz respeito a comparação da incerteza da medidas angulares e lineares em relação ao desvio padrão da média das observações abundantes e corrigidas pela leitura conjugada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 13133: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994. 35p.
- BECKER, J. M., HEITER, H., SLABOCH, V. New Technical Standards improving the Quality in Positioning and Measurement, FIG WORKING WEEK, 2000, Prague, Anais electronics..., Prague, 2000. Disponível em: <http://www.fig.net/pub/proceeding/prague-final-papers/Papers-acrobats/becke-heister-slaboch-fin.pdf>> acesso em: 09/09/2017.
- Brandão, A.C., Carneiro, A.F.T., Rocha, R., Pinto, M.M.R., Philips, J. A inconsistência métrica-cartográfica na atual legislação brasileira. In: Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC 2000, 2000, Florianópolis-SC. Publ. em CD-ROM.
- COMASTRI, J. A; Tuler, J. C. Topografia, Topografia Aplicada – medição, divisão e demarcação.
- DALMOLIN, Q. Ajustamento por mínimos quadrados. Edição Revisada. Curitiba: Imprensa da UFPR, 2002.
- LEICA GEOSYSTEMS. Disponível em: <http://www.leica-geosystems.com/en/index.htm> Acesso em 20/09/2017.
- Luz, L.A.D.S; UMA PROPOSTA PARA A PRECISÃO POSICIONAL NO CADASTRO URBANO BRASILEIRO; Dissertação de mestrado submetida a Universidade Federal de Santa Catarina como requisito exigido pela Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, para obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil. FLORIANÓPOLIS, 2013
- GEMAEL, C. Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas. Curitiba: Ed. UFPR, 1994. 319p.
- GREENWAY, I. Should surveyors care ? in: INTERGEI, 2001, P. 1-12 Cologne. Disponível: < http://www.fig.net/standards_network/intergeo_2001.pdf> Acesso em: 04/09/2017.
- SOUZA, I. A. M. A calibração de instrumentos de medição topográfica e geodésicas: A busca pela acreditação laboratorial. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes – Área de Infraestrutura de Transportes. São Carlos, 2010.