

TÉCNICAS GEODÉSICAS PARA RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA NO POSICIONAMENTO PRECISO DE EDIFICAÇÕES PREDIAIS

Fernando José de Lima Botelho¹

Verônica Maria Costa Romão²

Tarcísio Ferreira da Silva³

Andréa de Seixas⁴

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE – Departamento de Tecnologia Rural -DTR –
fbotelho@unicap.br

² Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Departamento de Engenharia Cartográfica –
DECart – vcosta@ufpe.br

³ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE – Departamento de Engenharia Cartográfica –
DECart –tarcisiofs@yahoo.de

⁴ Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE – Departamento de Tecnologia Rural -DTR –
aseixas@gmx.net

RESUMO

No mundo inteiro, tem-se observado, que é dedicado muito mais atenção a projetar do que a executar obras. O que existe é uma enorme lacuna na formação profissional de engenheiros e arquitetos, de modo que estes compreendam que a melhoria desta execução constitui excelente atalho, na busca da qualidade tecnológica. Uma das estratégias utilizadas para a busca desta melhoria na execução de obras é o controle dimensional de edificações (CGE), fazendo uso de técnicas de mensuração ou metrologia dimensional. O objetivo do presente trabalho é apresentar uma metodologia desenvolvida com base em princípios e técnicas geodésicas para emprego nas obras urbanas, de pequeno e médio portes, de construção de edifícios. O método contribui decisivamente para a melhoria da qualidade em seus processos de racionalização construtiva sob o enfoque do controle dimensional de locação nas obras de engenharia, além de encontrar emprego na atualização das plantas cadastrais.

Palavras-chave: Racionalização Construtiva, Controle Geométrico, Plantas Topográficas cadastrais.

GEODESIC TECHNIQUES CONTROL OF CONSTRUCTIVE RATIONALIZATION IN THE PRECISE POSITIONING OF BUILDING

ABSTRACT

In the entire world, it has been observed, that attention not to project is dedicated of that to execute building. That it exists is an enormous gap in the professional formation of engineers and architects, in way that these understand that the improvement of this execution constitutes excellent shortcut, in the search of the technology quality. One of the strategies used for the search of this improvement in the execution

of workmanships are the dimensional control of constructions (CGE), making use of mensuration techniques or dimensional metrology. The main objective of this work is to show a developed methodology that allows using the geodesic techniques for using in the urban works of small and medium capacity of buildings construction. The methodology contributes in this form to the quality improvement in the processes of constructive rationalization; and for using in the works in the accomplishment of the dimensional control; and still for contributing in the updating of the cadastral plants.

Keywords: Constructive rationalization, Geometric control, Cadastral Topographical plants.

0. INTRODUÇÃO

Na engenharia de construções, muitas grandes obras são realizadas, com o controle dimensional permanente, como acontece, por exemplo, nas adutoras, rodovias, ferrovias, metrovias entre outras. O ramo da ciência requerido para este controle dimensional é, em sentido abrangente a Geodésia. Ou seja, as técnicas geodésicas de medição vêm sendo aplicadas em diversos campos da engenharia civil para a melhoria deste importante controle de qualidade tecnológica. Os profissionais atuantes na arquitetura e engenharia de edificações necessitam, assim como os engenheiros cartógrafos, receber as competências e conteúdos de mensuração geodésica, para melhor entender a sua aplicação na melhoria do controle dimensional de edificações, com vistas à racionalização construtiva.

Nas décadas de 1970/80 permitia-se no Brasil, ao engenheiro civil, uma maior tolerância nos erros na geometria da edificação, ou seja, “tirar as diferenças na massa”, i.e, era quase inexistente o controle dimensional das edificações. Os procedimentos para a racionalização construtiva constituem hoje excelente caminho em busca da qualidade do produto, em edificações prediais.

Na presente metodologia considera-se que a necessidade do controle dimensional em edificações extrapola as etapas de execução da estrutura do edifício, com suas diretrizes incorporadas desde o projeto até o final da obra, devendo, portanto, iniciar-se no levantamento do terreno, com seu posicionamento geodésico e amarração às redes de referência oficiais, como subsídio do sistema de referência de medições atuante em toda a fase de elaboração e compatibilização de projetos (arquitetônico, estrutural, etc), e finalmente nas fases de locação do edifício e de suas partes ou etapas. Ao término das obras, deve ser elaborado o projeto “*as built*” ou “projeto como construído”. A utilização dos métodos geodésicos para a racionalização construtiva contribui também para a atualização das plantas cadastrais (cadastro fiscal e técnico), as quais devem ser georreferenciadas pelas respectivas prefeituras, à Rede de Referência Cadastral Municipal, em atendimento à norma NBR14. 166 (ABNT 1998).

A partir da década passada (1990), os setores produtivos da construção civil têm se envolvido na qualidade de processos e produtos. Nesta direção da qualidade, este segmento da construção civil busca a certificação pelas normas da série ISO9000. Outra alternativa que tem sido utilizada nas empresas consiste da implantação de programas de racionalização construtiva que aplica a tática de racionalização parcial, a qual é realizada “por etapas” no processo construtivo. O Controle Geométrico de Edificações (CGE) constitui uma dessas táticas, e os recentes trabalhos técnicos e científicos publicados comprovam este fato. Por outro lado, a implantação de programas de gestão de qualidade total, com a posterior certificação de controle fundamentadas nas normas ISO 9001/2000, exige novas metodologias de trabalho que permitem a garantia da qualidade tecnológica. O emprego das modernas técnicas geodésicas contribui para realização no CGE nas diversas fases do processo produtivo.

Outra exigência que deve ser considerado na construção civil e que faz parte da presente proposta metodológica é o atendimento s normas técnicas brasileiras NBR 13133 (ABNT-1994), NBR 14645 (ABNT-2001) e a NBR14166 (ABNT-1998), tendo em vista que a Metrologia Dimensional, em obras de engenharia civil, assume de fato a sua importância no Brasil.

O objetivo principal deste trabalho é, portanto apresentar uma metodologia, desenvolvida em BOTELHO (2003), que permite o posicionamento preciso em edificações prediais, através de métodos geodésicos, como um procedimento viável para a racionalização construtiva na busca da qualidade no sentido geométrico e/ou tecnológico.

Para o conhecimento do contexto atual dos trabalhos de CGE usados na construção de edifícios, foi realizada uma pesquisa de campo na área de abrangência do estudo na RMR (Região Metropolitana do Recife) BOTELHO (2003).

Neste trabalho são apresentados no item 2 diversos conceitos e métodos relativos ao tema, tais como conceito ligado à qualidade do produto de construção civil e, à racionalização construtiva (RC). Em seguida, apresenta-se resumidamente o levantamento do estado da arte através de pesquisa de campo, assim como nos itens 3 a 5 a proposição da presente metodologia e a descrição dos experimentos de

campo necessários para sua validação. O método desenvolvido buscou o ordenamento cartesiano, com rigor geodésico, nos trabalhos de posicionamento preciso de edificações prediais.

2. RACIONALIZAÇÃO CONSTRUTIVA E QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

2.1– CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O PRODUTO E QUALIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

De um modo geral para os setores produtivos, qualidade do produto vem a ser o atendimento às necessidades do cliente e a ausência de deficiências no produto; porém, dentro de um processo construtivo, como a produção das edificações, este atendimento configura-se nos resultados obtidos para características da resistência e características geométricas relevantes do produto (OBATA 2001).

Para o estudo desta qualidade dos produtos no decorrer deste trabalho será considerado o sentido tecnológico desta qualidade, ou conforme OBATA (2001) como um parâmetro quantificável, não sob um enfoque determinista e sim sob o enfoque probabilista. No presente trabalho o enfoque da qualidade do produto está, portanto, relacionada às características geométricas ou ainda ao atendimento às dimensões e tolerâncias previstas em normalização técnica.

2.1.1– Entendendo a Racionalização Construtiva e a Qualidade

No entanto, a aplicação pura e simples de “preceitos” na busca desta qualidade tem tido pouco efeito na construção de edificações prediais, a não ser o de propiciar uma sensação estéril de estar “na moda” com a “onda da qualidade”. A atividade da construção civil tem peculiaridades que obrigam uma tradução cuidadosa, das estratégias e políticas pela qualidade para as condições concretas do setor (BOTELHO 2003). Estratégias criadas para setores de produção nitidamente industrial, como o metalúrgico ou o eletroeletrônico, não podem ser diretamente aplicadas a uma atividade que possui forte componente de trabalho artesanal, como é o caso específico do setor da construção civil.

O profissional deste setor ainda necessita entender que o caminho mais imediato, na busca da qualidade, na construção civil consiste, portanto, em uma aplicação da racionalização construtiva (RC), pois neste processo se escolhe uma etapa ou sistema do edifício para implantação de uma metodologia, situação denominada de tática de racionalização parcial ou em etapas (SABBATINI 1989). Esta técnica, além de expor a necessidade de melhoria da cadeia produtiva, não provoca ruptura brusca no processo construtivo adotado. No decorrer deste trabalho deve-se entender a definição deste autor como, sendo:

“Racionalização Construtiva é um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso dos recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros, disponíveis na construção em todas as suas fases”.

Dessa forma, a Racionalização Construtiva (RC) tornou-se uma alternativa mais próxima à realidade da indústria da Construção Civil, sobretudo quando esta busca a certificação em programas de qualidade, tais como o PBQP-H e a série ISO 9000 (ver item 2.2.2). Segundo BARROS (2001) apud MELHADO (1994), o “conceito de racionalização construtiva apresenta-se como instrumento de redução de custos e de aumento de produtividade, bastante poderoso para permitir a transição do estágio atual para uma nova configuração mais eficiente da atividade de construir, dentro de ambientes empresariais modernos e competitivos; sendo uma das suas características mais importantes o estudo e a adoção de soluções racionalizadas ainda na etapa do projeto”.

FRANCO (1992), destaca a importância da implementação da racionalização construtiva a partir da fase inicial do empreendimento, lembrando que a etapa do projeto surge como a mais conveniente para a introdução, mesmo que parcial, de medidas voltadas para a racionalização.

Conclui-se, portanto, que a Racionalização Construtiva é necessária para o desenvolvimento tecnológico na indústria da Construção Civil, em particular no sub-setor da Construção de Edifícios, podendo promover níveis mais elevados de produtividade e qualidade. A sua aplicação tem apresentado significativas vantagens no desempenho, custo e qualidade das atividades na construção de edifícios.

Segundo OBATA (2001), comentando sobre as características geométricas relevantes em obras nas fases de projeto e execução “o grau de concordância das características e dados finais obtidos com aqueles que foram anteriormente especificados, uma vez que o projeto estrutural não pode assegurar que durante a execução da estrutura serão empregados os materiais e métodos construtivos especificados”. Percebe-se assim claramente o importante papel do controle geométrico (p.ex das estruturas de concreto) em edificações na fase de execução, ou seja, estas devem ter garantias de uma vez executadas estarem em nível, prumo e alinhadas.

2.1.2– Controle Geométrico de Edificações

A definição de Controle Geométrico (ou Dimensional) de Edificações embora simples, permite uma abrangência do significado do termo dentro da obra, que conduz a uma diversidade de entendimento. BARROS (2001) afirma que o controle pode ser entendido como: *“ato ou poder de controlar, ou a*

fiscalização exercida sobre as atividades de pessoas, órgãos, departamentos ou sobre produtos, para que tais atividades ou produtos não desviem das normas preestabelecidas”.

O termo geométrico, segundo o mesmo autor, é “relativo ou pertencente à geometria ou próprio dela”. Segundo BARROS (2001) se estabelece o conceito de controle como “o conjunto de atividades técnicas e planejadas, através das quais, se pode alcançar uma meta e assegurar um nível predeterminado de qualidade, ou seja, controla-se uma qualidade”. No contexto da construção de edifícios, o controle geométrico está relacionado com a definição da geometria projetada em lajes, vigas ou pilares nas edificações prediais, e a execução dos elementos constituintes do edifício na geometria projetada e em uma etapa seguinte, medir os desvios entre a geometria projetada, de cada elemento e aquela realmente executada.

Nos casos da construção civil industrializada, o controle dimensional voltado para a racionalização construtiva se destaca, na medida em que a precisão dimensional é uma diretriz básica para o sucesso desta modalidade construtiva. A transformação do canteiro de obras em um espaço de montagem de peças produzidas externamente requer uma perfeita definição dos alinhamentos, planos e nivelamento do edifício, de modo a permitir o encaixe das peças e módulos dentro de tolerâncias convencionadas. Uma forte característica destas obras é o uso intenso das metodologias de posicionamento locação e conferência (BARROS 2001).

Face ao exposto, este trabalho ao propor inovações para o uso das técnicas geodésicas no levantamento e posicionamento preciso de edificações constitui-se de um procedimento muito importante, na busca da qualidade através da racionalização construtiva. Este procedimento tem uma forte importância, tendo em vista que atualmente as obras prediais, conferem pouca ou nenhuma importância ao rigor nas medidas de projeto na execução de fundações, estrutura, alvenaria, revestimento e pisos. Este tipo de problema, chega a implicar em um acréscimo de 6,5% no custo total da obra (BOTELHO 2003).

2.2- PESQUISA DE CAMPO

2.2.1- Tipos de obras

Analisando os dados da pesquisa de campo realizada BOTELHO (2003), através de visitas aos canteiros, no período de 2000/2001, em cerca de 42 obras, de 32 construtoras diferentes, nos municípios de Recife, Olinda e Jaboatão dos Guararapes, integrante da Região Metropolitana do Recife (RMR) se pode ter o estado da arte dos trabalhos de racionalização construtiva na RMR. O número de edifícios em construção na RMR em Janeiro/2000, segundo informação verbal obtida do Sindicato da Indústria da Construção, SINDUSCON – PE, era de cerca de 300 (trezentos). A pesquisa permitiu obter o estado da arte, dos procedimentos de racionalização construtiva na RMR principalmente dos procedimentos para o controle dimensional da obra.

De acordo com a pesquisa a maioria dos edifícios em construção, na Região Metropolitana do Recife, tem por finalidade o uso residencial (90%), está sendo construído dentro de um contrato de incorporação (94%), possuem uma área média por pavimento tipo de 391,4m², com variação entre 150 e 1.800m² e serão construídos com uma média de 20 pavimentos, com variações entre 9 e 36. Os números apontam para a concentração dos construtores num nicho de mercado e o esgotamento do modelo de construção por condomínios, além de ressaltar a verticalização em curso nas áreas nobres das cidades pólos da RMR (BARROS 2001). A seguir são apresentados gráficos esquemáticos, mostrando a distribuição dos tipos de obras e dos contratos no universo pesquisado (ver figura 1).

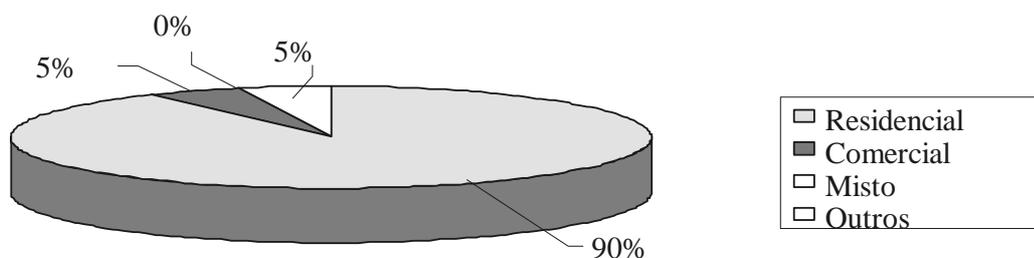


Figura 1 –Tipos de obras

Fonte: BOTELHO (2003)

2.2.2– Sistemas de Controle Geométricos utilizados

Com relação aos trabalhos de CGE empregados, constatou-se na pesquisa uma grande diversidade de métodos nas diversas fases de obra, com a convivência de equipamentos modernos e rudimentares. Ou seja, as empresas utilizam técnicas topográficas para trabalhos de CGE sem, no entanto, refletirem melhoras substanciais no desperdício. Este desperdício é o visível, e localizado dentro do canteiro de obras sob forma de entulho, e o invisível que se encontra incorporado à edificação, seja em recobrimentos desnecessários, nas vigas e pilares e também o capeamento em lajes, com enorme espessura deste recobrimento na camada de concreto.

Com relação aos valores dos desvios, nas lajes, foram apurados espessuras adicionais ou desperdício da ordem de 4,5 cm na média. Classificando os valores de espessuras médias de acordo com os equipamentos empregados, tem-se a seguinte situação:

- a) Nível de mangueira 5,9 cm
- b) Nível laser 4,3 cm
- c) Nível alemão 3,3 cm

Nas fachadas, os desvios de verticalidade, apurados em todas as obras apresentaram uma grande dispersão de valores, com variações entre 3 e 14 cm, sem influência da altura dos edifícios. A média apurada foi de 6,7 cm, muito acima de qualquer tolerância especificada na norma ISO 7976-1, cujo maior valor especificado é de 15mm.

Como este desvio, normalmente, só é medido após a conclusão da alvenaria de fechamento externo, ele é altamente influenciado pelos outros controles, exercidos ao longo da execução das etapas anteriores. A grande dispersão encontrada retrata fielmente a grande diversidade de métodos adotados nos canteiros de obras. E também, a falta de percepção que apenas o controle dimensional realizado de forma global na obra, permite minimizar o desperdício nestes canteiros de obras.

Um outro aspecto constatado na pesquisa é a falta de uma visão global do CGE, ao longo do desenvolvimento da obra. Não há uma clara percepção, de que a definição geométrica de um elemento pode depender de outro elemento construtivo, e que os desvios constatados numa etapa, não foram necessariamente provocados quando da execução desta etapa executada.

Ainda tem-se que existe adoção de tolerâncias resultantes da “experiência” para os diversos desvios constatados em planos verticais e horizontais utilizados na definição geométrica da obra. As normas brasileiras sobre o assunto são inexistentes, e os poucos trabalhos na literatura utilizam-se das especificações estrangeiras sobre o tema, como a ISO 7976-1 que consta na bibliografia consultada em BOTELHO (2003).

A grande dispersão encontrada retrata fielmente a diversidade de métodos e, sobretudo, como falta a integração de métodos geodésicos para uma efetiva racionalização construtiva nas obras pesquisadas. Na seqüência são mostrados gráficos com os indicadores (%) apurados na pesquisa para as diversas etapas do CGE empregadas nas obras. Os gráficos (ver figura 2) evidenciam, nestas obras pesquisadas, que existe o uso do sistema de eixos com transferência ou deslocamento vertical, sendo ainda o nivelamento de lajes normalmente com nível a laser, e realizado durante a forma e concretagem destas lajes.

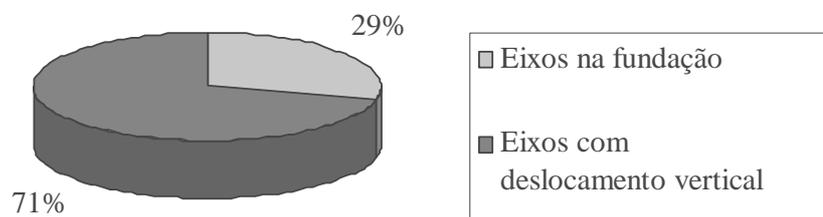


Figura 2 –Sistemas de locação de obras

Fonte: BOTELHO (2003)

2.2.3– Situação Atual dos Trabalhos para CGE na RMR

Um dos pontos mais relevantes, constatado na pesquisa de campo realizada em BOTELHO (2003), diz respeito à pequena percepção, no meio técnico da engenharia de edificações, de que somente a

observância de procedimentos topográficos e/ou geodésicos, possibilita um preciso posicionamento da obra para a racionalização construtiva. Na pesquisa de campo ainda se constata que existem desvios no nivelamento de lajes da ordem de 4,5cm e no prumo de fachadas de 3cm a 14cm, que tem valores muito altos.

Evidencia-se assim, que a obtenção de um melhor resultado na qualidade geométrica das obras é decorrente da aplicação destes importantes procedimentos para a racionalização construtiva.

Segundo BARROS (2001) o que se vê, nos dias atuais é uma convivência de praticas empíricas baseadas em instrumentos rudimentares (ver figura3) e a subtilização de equipamentos modernos pelo desconhecimento de uso ou manuseio nos canteiros de obras na RMR. Falta portanto, nestes canteiros, um conjunto ordenado de procedimentos que se traduza em efetivo processo de CGE, sendo decorrente o sucesso neste processo ou estratégia para a racionalização construtiva.



Figura 3 – Uso de equipamentos rudimentares em obras

3.METODOLOGIA PROPOSTA PARA A RC

3.1– CONSIDERAÇÕES SOBRE A NECESSIDADE DE UMA METODOLOGIA PARA A RC

Na vivência diária com engenheiros de obra e projetistas, nota-se que estes desconhecem a aplicação das normas NBR14645: 2001 e da NBR13133: 1994, e dos procedimentos, com uso de métodos geodésicos, a uma perfeita realização de todas as etapas para a racionalização construtiva.

O que existe é uma falta de entendimento destes procedimentos, dentro da obra, como um processo sistemático e estratégico para a qualidade, que abrange assim todas as atividades de medição implementadas. Estas atividades de medição devem ser integradas, e não realizadas de maneira estanque, ou seja, entre si independentes. Sobre este assunto afirma BARROS (2001): *“a falta deste entendimento, se deve em parte, à distribuição temporal do controle dimensional ao longo do ciclo de edificação d obra e também a variedade de métodos, pessoal e instrumentos utilizados em cada etapa”*.

Assim este *entendimento* é fundamental, ou seja, apenas a realização dos trabalhos topográficos e geodésicos em fases progressivas integradas, desde o levantamento do terreno e locação da obra, com métodos geodésicos é que possibilita um correto posicionamento e ereção da edificação e suas partes. Evidencia-se assim que a obtenção de um melhor resultado na qualidade geométrica das obras é decorrente da aplicação destes importantes procedimentos para a racionalização construtiva.

Conforme proposto, o controle geométrico para racionalização construtiva, deve iniciar-se na fase do projeto, desde o levantamento topográfico planialtimétrico e cadastral no terreno urbano e segue nos demais trabalhos de posicionamento da obra. O produto deste levantamento topográfico, sendo assim “base geométrica comum”, aos diversos projetos executivos relacionados à edificação possibilita em todas as demais etapas um adequado posicionamento das suas partes componentes.

Ao estabelecer uma seqüência de campos de pontos para referência possibilita a integração das etapas de levantamento e posicionamento.No entanto convém acrescentar, que embora não seja objeto deste trabalho, o controle dimensional deve prosseguir em todas as demais etapas do processo construtivo na edificação, indo até à execução da estrutura da obra e seus subsistemas, sobretudo na definição de planos, esquadros e nivelamento dos componentes construtivos (lajes, vigas e pilares).

A aplicação de métodos topográficos e geodésicos se torna, portanto um eficiente caminho para implantação da estratégia de racionalização construtiva, sendo feito de maneira parcial ou por etapas, e contribui com o “*fazer em conformidade*” segundo solicitado nas normas certificadoras ISO 9000

3.2– ETAPAS DA METODOLOGIA PARA A RC

A proposta de uma metodologia para o posicionamento preciso da obra, desenvolvida em BOTELHO (2003) nas fases de levantamento e locação, está exposta de forma seqüenciada a seguir:

a) utilização de equipamentos geodésicos e topográficos calibrados, segundo as normas técnicas (NBR13133: 1994) e especificações de metrologia vigentes;

b) estabelecimento de um campo de pontos de referência primário, com posterior georreferenciamento (ao Sistema Geodésico Brasileiro - SGB), utilizando o posicionamento GPS (figura fechada) em no mínimo dois pontos deste campo (base de apoio –figura 4);

c) execução de levantamento planialtimétrico e cadastral do terreno e de detalhes existentes no imóvel, a partir de um campo de pontos de referência, utilizando um sistema de coordenadas topográficas locais;

d) estabelecimento de um campo de pontos de referência secundário (se necessário) para os trabalhos de posicionamento da obra; e medição de pontos-objeto ou de posição (pontos-limites do terreno);

e) realização dos cálculos das poligonais fechadas e apoiadas nos pontos da base de apoio (obtida por GPS), compatibilizando-se os sistemas de referência e projeção;

f) uso das tolerâncias segundo as normas técnicas nacionais, e utilização de ajustamento das observações, conforme a NBR13133: 1994, com análise de propagação dos erros nos campos de pontos levantados;

g) utilização do método de nivelamento geométrico, segundo o prescrito na NBR13133: 1994 durante a implantação do campo de pontos altimétrico;

h) utilização de transformação de coordenadas (por similaridade) a partir da base de apoio, georreferenciado ao SGB, para converter as coordenadas topográficas locais em coordenadas UTM nestes campos de pontos, para uso nas plantas cadastrais;

i) uso no método, para implantação dos dois pontos da base de uma figura fechada, sendo evitado o tradicional irradiamento GPS a partir da base (p.ex RBMC).

O georreferenciamento ao SGB, com tecnologia GPS, deve atender ainda as especificações do Federal Geodetic Control Comitê (FGCC), que trata dos padrões de exatidão geométrica mínima, pois de acordo com BOTELHO (2003), “*as especificações brasileiras (IBGE) ainda são preliminares*”.

Em resumo, podemos dizer que a metodologia proposta tem duas destinações, a primeira direcionada exclusivamente para os trabalhos de levantamento e locação na obra, adotando-se assim o sistema topográfico local; e a segunda, direcionada ao georreferenciamento (ao SGB) de pontos limites do terreno.

3.2.1 –Conceito de Campo de Pontos

O posicionamento preciso de edificações prediais exige a concepção de campos de pontos que materializem as estruturas goniométricas e de distâncias que podem ser uni, bi ou tridimensionais de natureza topográfica (para pequenas áreas) e geodésicas para áreas maiores. Deve-se entender o conceito de campo de pontos-empregado neste trabalho, como um espaço cartesiano, agregado aos aspectos físicos de sua materialização e aos aspectos estocásticos das realizações das variáveis aleatórias, envolvidas no processo de sua definição (BOTELHO 2003).

Na prática existe assim necessidade de uso de campos de pontos com característica local e que podem ser agrupados em dois tipos, a saber: o campo de pontos de referência e o campo de pontos-objeto.

➤ **Conceito de Campo de Pontos de Referência**

O campo de pontos de referência detem uma configuração geométrica otimizada segundo os conceitos modernos da Teoria das Redes (WOLF et GHILANI 1997), encerra posições de baixa dispersão e podem ter natureza dimensional planimétrica, altimétrica ou tridimensional. É utilizado normalmente para “amarrar” os pontos de natureza não-referencial, como pontos objeto de levantamento e/ou locação. Um campo de pontos de referência, muitas vezes concatena-se com outro de ordem superior de modo que se pode qualifica-lo como primário, secundário, etc. A modelagem numérica de amarração de campo de pontos é modernamente tratada com técnicas de transformação de sistemas (WOLF et GHILANI 1997) e (KAHMEN et FAIG 1988).



Figura 4 – Base de apoio no campo de referência primário

Fonte: BOTELHO (2003)

Para o caso do CGE, este campo de pontos de referência (figura 4) se encontra previsto na NBR14645-1:2001 item 5.3.1.1, onde se afirma que, em um levantamento, deverá haver “...vértices materializados em locais previamente selecionados..”. E que “... servirá de apoio à futura locação e controles de obras a serem edificadas”.

Nas normas citadas recomenda-se, para o caso planimétrico que no mínimo, dois vértices consecutivos sejam implantados fora do imóvel de interesse, em locais julgados seguros, e com isso fica evidenciada a necessidade de um campo de pontos de referência, no local da obra.

Para a altimetria 3(três) RRNN no mínimo são recomendados .A condição do mínimo de pontos colocada na norma NBR 14645:2001 deve ser majorada sempre que necessário para efeito de controle das possíveis transformações necessárias.

➤ **Conceito de Campo de Pontos-Objeto ou de Posição**

O campo de pontos-objeto para efeito da presente metodologia será estruturado em: campo-objeto de levantamento e campo objeto de locação. Um campo de pontos-objeto de levantamento é, portanto, um conjunto de pontos que são levantados no terreno, e utilizados para a representação de todos os detalhes necessários especificamente a serem representados. Na fase de locação da obra, os pontos do campo-objeto de locação são posicionados com maior redundância e precisão que os pontos objeto de levantamento, diminuindo-se a dispersão.

3.2.2– Georeferenciamento dos Pontos Limite para uso na Atualização Cadastral

Neste trabalho, o campo de pontos-objeto de levantamento é constituído quase sempre pelos pontos que compreendem os vértices que definem os limites do terreno e demais pontos de posição da edificação, e que, uma vez georeferenciado, podem contribuir para o cadastro imobiliário. Para georeferenciamento ao SGB deve-se proceder a um posicionamento relativo estático (tecnologia GPS), para o transporte das coordenadas aos marcos da base de apoio (figura 4), a partir de um ponto da rede geodésica (por ex. da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo RBMC). O cálculo e ajustamento pelo MMQ da figura fechada GPS, composta por estes três pontos rastreados (A,B e RBMC), permitem um melhor controle dos erros decorrentes deste tipo de posicionamento, pois considera que apenas dois destes vetores são independentes.

Nos dias atuais, esta vinculação dos levantamentos topográficos ao SGB é facilitada pelo posicionamento com GPS, em especial com a implantação das estações da RBMC.

A partir dos dois pontos da base, deve ser realizado o georeferenciamento dos demais pontos do campo primário de referência, secundário e objeto. Neste trabalho foram propostas as suas realizações de duas maneiras:

- a) Uso de transporte de coordenadas planas UTM, a partir dos pontos da base de apoio aos pontos do campo primário e/ou secundário. A partir das coordenadas planas UTM desses pontos, procedendo-se as irradiações polares aos demais vértices limites do terreno.
- b) O emprego da transformação de similaridade (única) entre as coordenadas planas UTM e planas topográficas dos pontos do campo de referência (base de apoio e os demais pontos primários e/ou secundários), e os pontos-objeto (limites do terreno).

O método empregado compreende a transformação conforme bidimensional, entre as coordenadas de dois pontos idênticos em dois sistemas. Para o presente trabalho foi desenvolvido pelo autor um programa, em planilha Excel, para as expressões matemáticas encontradas em BOTELHO (2003). E para comprovação do programa desenvolvido em planilha, foi também utilizado o programa ADJUST, programa didático livre desenvolvido por WOLF et GHILANI (1997).

3.2.3–Estabelecimento do Campo de Pontos de Referência

➤ Campo de Pontos Planimétrico

Conforme exposto anteriormente (item 3.1), será estabelecido um campo de pontos planimétrico para o levantamento do terreno e posicionamento preciso da obra. No campo de pontos de referência primário, deve-se sempre fazer uso dos marcos referenciais da obra, os quais devem ser os mais permanentes e estáveis possíveis.

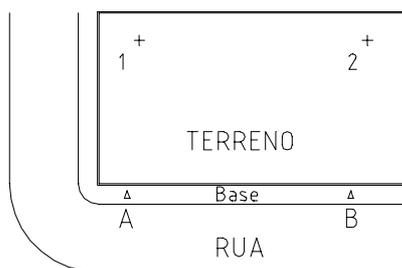


Figura 5 – Sistema e Base de apoio no campo de referência primário

Fonte: BOTELHO (2003)

Os trabalhos geodésicos, no estabelecimento deste campo referencial de pontos compreendem, portanto:

- a) posicionamento polar, através de uma estrutura de rede ou poligonal fechada, com n lados ($n \geq 3$), a partir de A e B, formando a rede primária implantada no terreno (por ex. pontos da figura 5);
- b) O cálculo das tolerâncias, compensação e ajustamento desta poligonal, apoiada e fechada em uma direção e em um só ponto, segundo a NBR13133: 1994 e/ou NBR14645: 2001.

A partir das coordenadas topográficas locais ajustadas dos pontos deste campo de referência, os pontos do campo de referência secundário (quando necessário) e pontos do campo-objeto (limites do terreno) serão obtidos por posicionamento polar.

As observações devem se constituir em, pelo menos, uma série de leituras conjugadas para as medidas dos ângulos e distâncias. Com os valores das coordenadas ajustadas, nas duas estações (A e B) da base, a rede ou poligonal implantada no terreno (p.ex A, B, e demais pontos mostrados na figura 5) poderá ser calculada e ajustada pelo MMQ, conforme prescrito na NBR13133: 1994 p.18, item 6.5 (que diz respeito ao cálculo e ajustamento dessa poligonal) que as considera apenas como: *Poligonal Tipo 1, apoiada e fechada numa só direção e em um só ponto.*

➤ Campo de Pontos Altimétrico

Conforme a NBR14645: 2001, neste campo altimétrico, devem ser implantados pelo menos três RN's para a execução do trabalho, transportado para dentro do terreno da obra, e fazendo uso de níveis de precisão compatível com as tolerâncias fixadas naquela norma específica para elaboração do "como construído". Ao se considerar neste método que o levantamento planialtimétrico realizado é da classe IPAC ou IIPAC, a tolerância obtida no nivelamento corresponde, portanto à classe II N.

O uso de níveis eletrônicos digitais (ver figura 6) no nivelamento geométrico, os quais permitem armazenamento e processamento de dados no próprio equipamento, permitiu um enorme diferencial de prazo e qualidade na definição do campo altimétrico. E de modo análogo ao campo de pontos planimétrico, devem ser procedidos os trabalhos de compensações e ajustamento das cotas dos pontos destes campos (BOTELHO 2003).



Figura 6 – Campo de Referência Altimétrico
Fonte: BOTELHO (2003)

De acordo ainda com a norma NBR 14645:2001, as operações realizadas devem usar o nivelamento e contranivelamento geométrico e estas operações devem, preferencialmente, ter origem em RN de altitude oficial. A referência arbitrária (meio fio), podendo ser adotada apenas no caso de inexistência deste sistema de referência, sendo, no entanto implantados três RRNN em locais julgados seguros, podendo haver coincidência com o campo planimétrico. O procedimento adotado nesta proposta metodológica assume enorme importância, ao transformar as normas usuais para referências altimétrica adotadas pelas prefeituras em normas da ABNT com procedimentos geodésicos.

3.2.4– A Propagação de Erro no Campo de Pontos de Referência

Este trabalho ao propor métodos geodésicos para a racionalização construtiva torna necessário o conhecimento dos inevitáveis erros de propagação, na execução dos trabalhos de levantamento e locação. A propagação de erros no levantamento polar, a partir dos pontos da poligonal (anel) ajustada é definida a partir de um modelo matemático apresentado em BOTELHO (2003). Como um estudo de caso, como proposto neste trabalho, realiza-se a análise da propagação de erros nas distâncias nos trabalhos de posicionamento (até 500m). O estudo considera o imóvel urbanizado até 25000m², prescrito na norma NBR-14645-1:2000, sendo contemplada a maioria das distâncias entre os pontos levantados no terreno da obra com posicionamento de pontos através do método polar.

Aplicando-se no modelo matemático citado acima e os valores adotados no quadro 1 obteve-se o erro de posição de $\sigma_p = 0,07m$, valor adequado à precisão posicional em pontos limites de terrenos urbanos para fins cadastrais.

Quadro 1 – Propagação de Erros e desvio-padrão adotados

item	Desvio-padrão
coordenadas	$\sigma_c = 0,05 \text{ m}$
distâncias	$\sigma_d = 0,01 \text{ m}$
Medidas angulares	$\sigma_a = 5''$
Erro total propagado	$\sigma_p = 0,07 \text{ m}$

Fonte: BOTELHO (2003)

4. EXPERIMENTOS REALIZADOS COM A METODOLOGIA PROPOSTA PARA A RC

Os estudos de caso realizados em BOTELHO (2003) validaram o método proposto em duas situações denominado experimentos nas obras A e B, realizados nos bairros Várzea e Pina, respectivamente. Nos experimentos das obras A e B, os vetores formados entre os pontos da base de apoio do sistema primário até a estação RBMC-RECF, têm valores menores que 1Km, na obra A, e em torno de 10Km, na obra B. Esta distância entre a estação de referência da RBMC e os pontos implantados nas duas obras (A e B), é representativa para a maioria das edificações ocorridas na RMR. Os processamentos dos dados GPS foram conduzidos tomando-se a estação RECF-RBMC como fixa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994. 35p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166: rede de referência cadastral: procedimento**. Rio de Janeiro, 1998. 35p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14645: elaboração do “como construído” (as built) para edificações**. Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25000m², para fins de estudos, projetos e edificação: procedimento. Rio de Janeiro, 2000. 9p.

BARROS, E. O. **Controle geométrico da estrutura de concreto de edifícios como ferramenta da racionalização construtiva**. 136p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da USP, São Paulo. 2001.

BOTELHO, F.J.L. **Métodos geodésicos para a racionalização construtiva no posicionamento preciso de edificações prediais**. 100p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2003.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Importância do setor de construção civil na economia brasileira**. Belo Horizonte, 2002. Disponível em: <<http://www.cbic.org.br>> Acesso em: 15 de out. 2002.

FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. 1992. Tese (Doutorado)- Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1992.

KAHMEN, H.; FAIG, Wolfgang. **Surveying**. Berlim: De Gruyter, 1988. 577p. ISBN 3-11-008303-5

OBATA, S. H. ; SOUZA, U. E. L. **Características geométricas relevantes para controle da qualidade dos produtos moldados de concreto armado**. São Paulo: EPUSP, 2001.

SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. 321p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

WOLF, P.GHILLANI G. **Adjustement Computations: Statistics and Least Squares in Surveying and GIS**. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 1997.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE e de Engenharia Civil da UNICAP, pela cessão dos equipamentos utilizados para a realização dos experimentos. E a Pós - Graduação em Ciências Geodésicas UFPE pelo apoio, sendo este trabalho uma parte da dissertação de mestrado do primeiro autor.