



**Análise da Estabilidade da Rede Geodésica
Altimétrica Local Densificada no Campus Recife da UFPE**
Analysis of the Stability of the Local Altimetric
Geodetic Network Densified on the Campus Recife UFPE

Emmerson de Vasconcelos Silva & Andréa de Seixas

*Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Cartográfica,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação,
Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária, 50670-901, Recife, Pernambuco, Brasil*
E-mails: *emmerson.geof@gmail.com; aseixas@ufpe.br*
Recebido em 19/03/2019 Aprovado em 10/05/2019
DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_350_365

Resumo

Este trabalho tem o objetivo de analisar a estabilidade das estruturas geodésicas altimétricas implantadas no Campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) em um período de um ano (2015 a 2016). Neste sentido, foram materializadas catorze Referências de Nível (RRNN), distribuídas entre os Centros da Cidade Universitária, sendo sete pinos de superfícies semiesféricas incrustados nas bases e sete pinos engastados nos pilares da Rede de Referência Cadastral (RRC) da UFPE, compondo uma Rede Geodésica Altimétrica Local. Além destas, a Rede Altimétrica contemplou cinco RRNN auxiliares, materializadas entre os meios fios, sendo duas RRNN engastadas na estrutura do Prédio do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) e três RRNN da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e uma Referência de Nível (RN) da base de verificação e retificação de níveis. Para o levantamento das estruturas geodésicas altimétricas foi empregado um nível digital de altíssima precisão (ISO 17123-2, 2001), mira de invar de código de barras e o método de nivelamento geométrico, tendo como base as normas vigentes no Brasil. As medições ocorreram em seis ocasiões (uma em novembro de 2015, uma em fevereiro de 2016, duas em maio de 2016 e duas em dezembro de 2016). Para o controle e análise de qualidades, considerou-se o Método dos Mínimos Quadrados - modelo paramétrico. Uma análise de variâncias foi realizada, utilizando os testes Tukey e Sheffé. A análise da estabilidade considerou a rede levantada e ajustada em novembro de 2015 como padrão de referência altimétrica e metroológica. Com respeito as estruturas que compõem a RRC em relação aos pinos de superfícies semiesféricas e parafusos, verificou-se que houve, uma menor variação de discrepância em módulo na RN EPS04 de 0,59 mm e P-EPS04 de 0,38 mm e uma maior variação de discrepância em módulo na RNEPS01 de 5,35 mm e P-EPS05 de 5,50 mm. As discrepâncias foram constatadas a partir das respectivas altitudes ajustadas e da análise de variâncias.

Palavras Chaves: Análise de variâncias, rede geodésica altimétrica, método dos mínimos quadrados, nível digital

Abstract

This work has the objective to analyze the stability of the unplanted altimetric geodesic structures in the Recife Campus of the Federal University of Pernambuco (UFPE) in a period of one year (2015 to 2016). In this sense, fourteen references levels (RRNN) were materialized and distributed among the Centers of the University City. The local altimetric geodetic network is composed of seven pins of semispherical surfaces encrusted in the bases and seven pins embedded in the pillars of the cadastral reference network. Besides these, the altimetric network have five auxiliary references levels, materialized between the wires means, two references levels embedded in the structure of two pillars of the Center of Technology and Geosciences (CTG) building and three references levels from the High Precision Altimetric Network (RAAP) of the IBGE and one reference level of the verification and rectification base of optics levels. For the survey of the altimetric geodesic structures, a very high precision digital level was used (ISO 17123-2, 2001), bar code scan and the method of geometric levelling, having as base the current norms in Brazil. Measurements occurred in six occasions (one in November 2015, one in February 2016, two in May 2016 and two in December 2016). For the control and analysis of the qualities, the least squares method (MMQ)-parametric model was considered. An analysis of variances (ANOVA) was performed using the Tukey and Sheffé tests. The stability analysis considered the network raised and adjusted in November 2015 as an altimetric and metrological reference standard. With respect to the structures that make up the cadastral reference network in relation to the pins of semispherical surfaces and pins embedded in the pillars, it was verified that there was, obtaining a lower variation of discrepancies in modulus in RNEPS04 of 0.59 mm and P-EPS04 of 0.38 mm and a greater variation of discrepancy in modulus in RNEPS01 of 5.35 mm and P-EPS05 of 5.50 mm. The discrepancies were verified from the respective adjusted altitudes and the analysis of variances.

Keywords: Variances analysis, Altimetric Geodetic Network, Least Squares method, digital level



1 Introdução

Apesar da existência de várias técnicas de medição aplicáveis para o estabelecimento de estruturas geodésicas altimétricas de referência, estas são realizadas principalmente em sentido relativo, ou seja, é medida inicialmente a diferença na elevação (desnível) entre pontos da estrutura, e em seguida, são ligadas as medições de desnível entre um ou mais pontos de referência, cujas altitudes são precisamente conhecidas, determinando-se as altitudes de novos pontos recém medidos em conformidade, com os pré-existentes (Silva & Seixas, 2017a).

Conforme Filipiak-kowszyk et al. (2015), espera-se que os pontos de referência sejam estáveis, entretanto, ocorre que, por vezes, não é possível realizar as medidas com referência a pontos estáveis. Quando isso ocorre, o problema de determinar o deslocamento é apresentado na situação em que não existem pontos de referência invariável, e, assim, as medições são efetuadas em um Sistema de Referência (SR) instável.

A análise sobre deformação ou deslocamento nas estruturas é um problema complexo para o processo de levantamento, embora existam diversos métodos e equipamentos que possibilitam a análise com maior frequência e precisão. Certos pontos podem ser determinados e analisados com base em resultados de medição obtidos pelo menos em duas épocas diferentes, assumidos como isentos de valores afetados com erros grosseiros. No entanto, o problema está em como identificar e lidar com outliers, ou seja, distinguir entre essas mudanças esperadas e erros grosseiros inesperados (Duchnowski, 2011).

O processo de medição requer uma combinação de habilidade humana e equipamentos mecânicos precisos. Entretanto, não importa quão cuidadosamente é feita a medição, os dados levantados não são exatos e sempre irão conter erros. Na perspectiva de alcançar os melhores resultados é importante entender completamente os diferentes tipos de erros, as suas fontes e magnitudes. Estes esperados sob condições variáveis, assim como a sua forma de propagação.

As observações possuem repetitividade, uma propriedade inerente a elas, conhecidas como flu-

tuações probabilísticas, ou seja, quando se repetem inúmeras vezes a medida de uma grandeza (observação) os n valores não são idênticos, mas estão dispersos em uma região ou intervalo. Estas flutuações de acordo com Gemael et al. (2015) são classificadas como erros aleatórios, sendo inevitáveis no processo de medição.

Desse contexto, de acordo com Gemael (1994), surge o ajustamento das observações, que através da pluralidade de dados extraem um resultado, que seja único e que possa representar com maior confiança a grandeza medida. Em qualquer caso, o que se busca, em última análise, é isentar as observações das inconsistências, que as acompanham.

Em consonância a essa realidade, este trabalho faz uma análise sobre a estabilidade de uma Rede Geodésica Altimétrica Local (estruturas geodésicas altimétricas), a fim de responder a questões relacionadas ao estabelecimento e critério de confiança dado a uma Rede Geodésica Altimétrica Local. Esta análise é feita a partir de seis (6) campanhas de medições realizadas com um nível digital, utilizando o método de nivelamento geométrico de alta precisão.

Nesse contexto, no Campus Recife da Universidade Federal de Pernambuco, foi materializada uma Rede Geodésica Altimétrica Local. Desta forma, esta foi medida em intervalos de tempo pré-estabelecidos e analisou-se o seu comportamento ao longo do tempo em um intervalo de um ano, ou seja, 2015 a 2016 (Silva, 2017).

Conforme Cavalcanti (2012), o Campus da UFPE, está situado na região geomorfológica denominada Planalto Rebaixado Litorâneo, que é formado sobre rochas cristalinas. Nestes domínios, encontram-se as unidades de relevo com diferentes graus de susceptibilidade a escorregamentos, sendo também influenciados pelas ações antrópicas.

De maneira, que um controle e uma análise da qualidade das estruturas geodésicas altimétricas pre-existentes e implantadas pelo IBGE e das estruturas geodésicas altimétricas densificadas no Campus Recife da UFPE, proporcionará avaliar a qualidade das referidas estruturas (Silva & Seixas, 2017a, 2017b). A proposta levantada por este trabalho, fundamenta-

-se na confiabilidade do emprego das estruturas de referências geodésicas altimétricas, em contrapartida a sua importância para estudos no campo da engenharia e em estudos geodésicos.

2 Rede Geodésica Altimétrica Local Densificada no Campus Recife da UFPE

As redes de referências de primeira ordem, exemplo a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP), não cobrem todas as localidades do território brasileiro homogeneamente, devido a isso, torna-se necessário, a definição de estruturas geodésicas altimétricas locais, para suprir as necessidades regionais pelos dados geodésicos. A partir dessa necessidade, no Campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), foram definidas novas estruturas geodésicas de referências altimétricas.

2.1 Concepção da Rede

Na Rede Geodésica Altimétrica Local, implantada no Campus Recife da UFPE foram densificadas 14 RRNN, sendo 7 implantadas nas bases dos pilares da Rede Referência Cadastral (RRC), onde foram incrustados pinos de superfícies semiesféricas denominados de RNEPS01, RNEPS02, RNEPS03,

RNEPS04, RNEPS05, RNEPS06 e RNEPS07 utilizados como Referências de Nível e nos pilares da RRC foram engastados parafusos denominados de: P-EPS01, P-EPS02, P-EPS03, P-EPS04, P-EPS05, P-EPS06 e P-EPS07.

No prédio do Centro de Tecnologia e Geociências (CTG) foram fixadas as RRNN CTG01 e CTG02 na estrutura de dois pilares do Prédio. Estas são utilizadas para o controle e monitoramento de recalques do novo Prédio em construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustível – LITPEG/CTG e próximo ao prédio LITPEG em construção foram implantadas as RRNN A, B, C e D da Base de Verificação e Retificação de Níveis (Seixas & Seixas, 2015).

E em meios fios pré-selecionados do Campus Recife foram fixadas as RRNN auxiliares denominadas RN04, RN05, RN06, RN07 e RN10. Para vincular as novas RRNN ao ponto origem da materialização do Sistema Geodésico Brasileiro (SGR) foram inicialmente analisadas 3 RRNN do IBGE, RN 3641A, RN 3641B e RN 3640X (Silva & Seixas, 2017a, 2017b). Totalizando uma Rede Geodésica Altimétrica Local com 28 RRNN espalhadas em todo Campus Recife da UFPE. A Figura 1 apresenta a espacialização das estruturas de referências altimétricas densificadas neste trabalho.

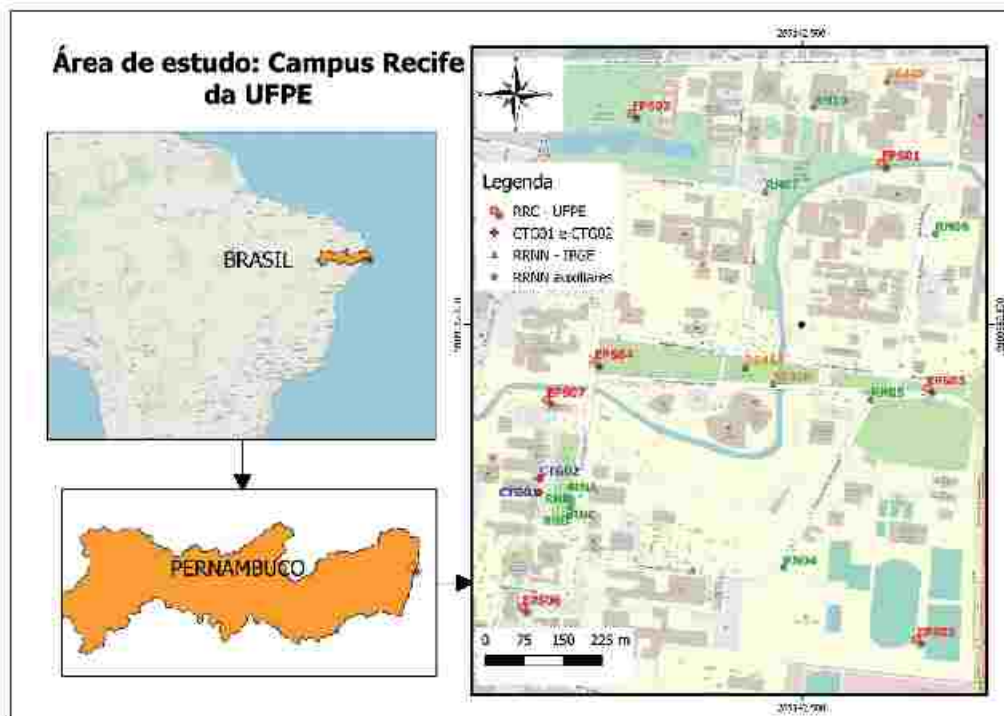


Figura 1 Universidade Federal de Pernambuco, Campus Recife da UFPE – Rede Geodésica Altimétrica Local
Fonte: OSM Standard (QGIS 3.4.2-Madeira), Coordenadas UTM em SIRGAS2000 / UTM zone 25S - Projetado Unidade em m

2.1.1 Medição e Processamento

O levantamento de campo foi realizado a partir do método do nivelamento geométrico – visadas iguais. Utilizando o nível digital DNA 03 (precisão 0,3mm/km) e uma mira de invar de 2 m, assim como sapatas para materialização dos pontos auxiliares. A operacionalização em campo foi feita por circuitos fechados de nivelamento, ou seja, partiu-se de uma Referência de Nivel conhecida e retornou-se a mesma.

O nível digital DNA 03 foi configurado para realizar para cada medição (de ré e vante) 4 leituras sucessivas, sendo verificado os respectivos desvios padrão para cada grupo de 4 leituras e respectivas médias e amplitudes das 4 observações. Adotando-se uma amplitude menor ou igual a 0,06mm para as 4 leituras sucessivamente realizadas. Na Figura 2, têm-se o sentido da elevação do terreno indicado pelas setas, assim como as respectivas linhas niveladas.

Realizado o levantamento, os valores do erro de fechamento, perímetro e tolerância dos circuitos nivelados foram calculados a partir dos desníveis e distâncias medidas em campo. Sempre foram visadas duas vezes os lances (a visada de ré, assim como de vante) para cada estação do equipamento de nível. Em seguida, foi realizada uma análise de acordo com os melhores resultados encontrados entre a primeira leitura, a segunda ou a leitura média.

A Equação 1 representa o cálculo da tolerância aplicada para os circuitos da Rede Geodésica Altimétrica Local, com intuito de verificar possíveis erros grosseiros nas observações (IBGE, 2017). Acrescentando-se neste trabalho o fator 3

$$T_a = 3p_f \times \sqrt{K} \quad (1)$$

Sendo: p_f = precisão do equipamento ou uma precisão definida para o trabalho.

K = Distância nivelada em quilômetros.

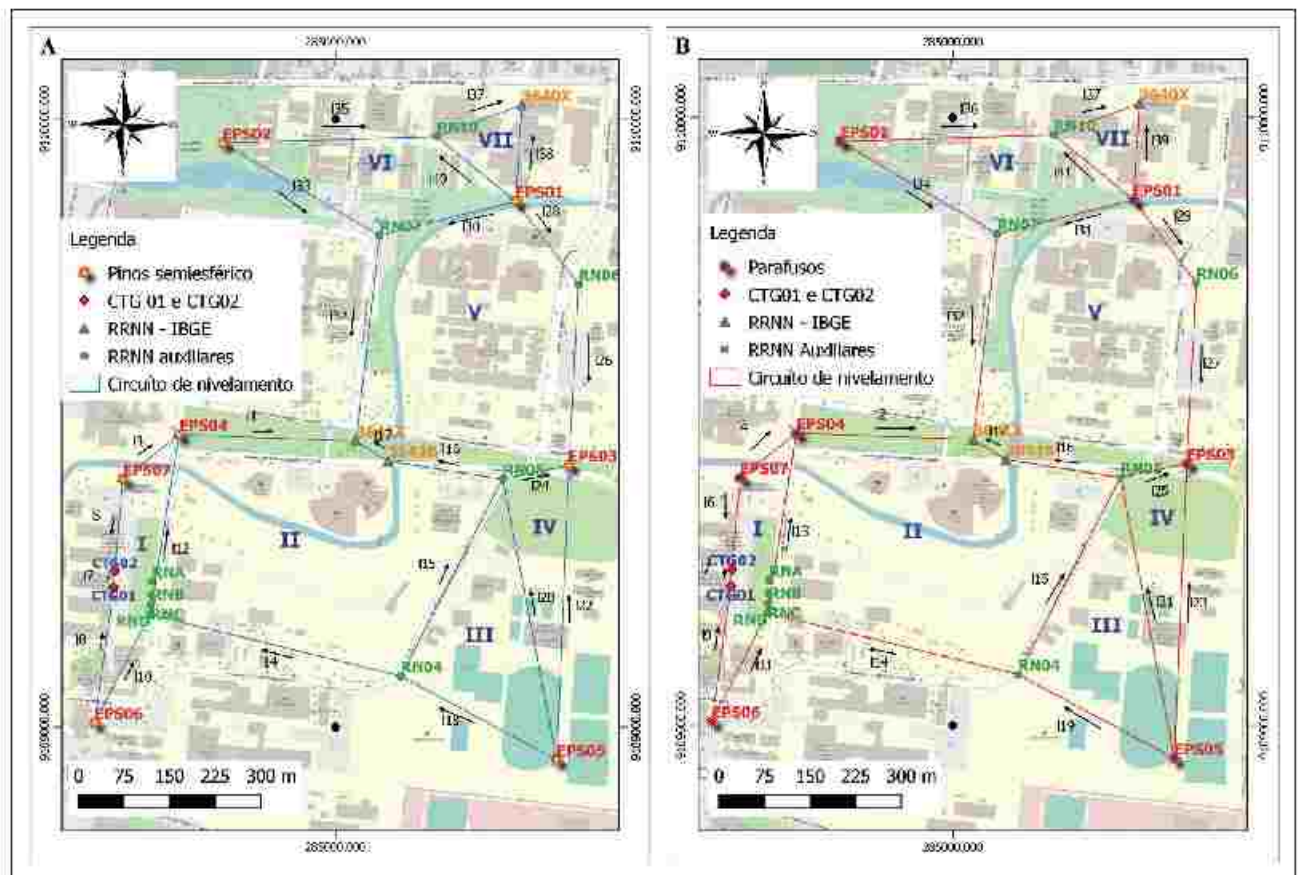


Figura 2 Ilustração da Rede Geodésica Altimétrica Local, circuitos (I, II, III, IV, V, VI, VII), linhas de nivelamento geométrico (L1, L2, L3, ..., L41) e as setas indicam o sentido da elevação do terreno da medição e/ou active entre os pinos monitorados. Fonte: Silva & Seixas (2017b), coordenadas UTM em SIRGAS2000 / UTM zone 25S - Projetado. Unidade em m.

Portanto, para este trabalho, foi adotada uma precisão para o fechamento dos circuitos de 0,3 mm/km duplo nivelado. Este valor relacionado à precisão do equipamento utilizado.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores respectivos do erro de fechamento, distância percorrida da linha de nivelamento e tolerâncias dos dados medidos. Para a análise dos dados de campo foram definidas duas redes geodésicas altimétricas locais, uma referente aos pinos de superfícies semiesféricas e outra referente aos parafusos. Na Figura 2 está ilustrada ambas as redes, em que as linhas em azul se referem aos pinos de superfícies semiesféricas e as linhas em vermelho se referem aos parafusos.

Pinos de Superfícies Semiesféricas																			
Medição 01				Medição 02				Medição 03				Medição 04							
Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)	Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)	Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)	Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)
I	2°	0,13	1,09960	0,94	I	2°	0,27	1,12929	0,96	I	2°	-0,17	1,10164	0,94	I	2°	0,23	1,11296	0,95
II	2°	0,37	1,75099	1,19	II	2°	0,21	1,76121	1,19	II	2°	0,06	1,75937	1,19	II	2°	0,09	1,75391	1,19
III	2°	0,12	1,28908	1,02	III	2°	-0,08	1,27876	1,02	III	2°	0,04	1,24948	1,01	III	2°	-0,08	1,21708	0,99
IV	2°	0,00	1,41712	1,07	IV	2°	0,05	1,39630	1,06	IV	2°	0,00	1,40914	1,07	IV	2°	0,00	1,34506	1,04
V	2°	0,38	1,65256	1,16	V	2°	0,34	1,78908	1,20	V	2°	-0,38	1,84249	1,22	V	2°	-0,40	1,83066	1,22
VI	2°	0,02	1,19531	0,98	VI	2°	-0,33	1,32449	1,04	VI	2°	-0,32	1,37631	1,06	VI	2°	-0,27	1,35967	1,05
VII	2°	-0,05	0,69642	0,75	VII	2°	-0,15	0,70959	0,76	VII	2°	-0,36	0,71809	0,76	VII	2°	-0,36	0,71958	0,76
Medição 05				Medição 06				Medição 05				Medição 06							
Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)	Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)	Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)	Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)
I	2°	0,02	1,09625	0,94	I	2°	0,40	1,08208	0,94	I	2°	0,02	1,09625	0,94	I	2°	0,55	1,08170	0,94
II	2°	0,43	1,73577	1,19	II	2°	-0,13	1,73713	1,19	II	2°	0,43	1,73577	1,19	II	2°	-0,16	1,73682	1,19
III	2°	3,34	1,16635	0,97	III	2°	0,42	1,17470	0,98	III	2°	-15,69	1,21481	0,99	III	2°	0,35	1,17471	0,98
IV	2°	-0,04	1,27827	1,02	IV	2°	0,07	1,30649	1,03	IV	2°	-0,04	1,27827	1,02	IV	2°	0,07	1,30649	1,03
V	2°	-0,74	1,82015	1,21	V	2°	0,50	1,84200	1,22	V	2°	-0,85	1,82011	1,21	V	2°	0,85	1,84198	1,22
VI	2°	0,58	1,35043	1,05	VI	2°	0,38	1,39934	1,05	VI	2°	0,46	1,35027	1,05	VI	2°	0,57	1,39916	1,05
VII	2°	-0,45	0,72016	0,76	VII	2°	-0,50	0,71396	0,76	VII	2°	-0,33	0,72011	0,76	VII	2°	-0,49	0,71391	0,76

Tabela 1 Erros de fechamento, distâncias e tolerâncias dos circuitos nivelados (pinos de superfícies semiesféricas incrustados nas bases dos pilares da RRC)

Nas Tabelas 1 e 2, pode-se verificar que na quinta campanha de medição, o terceiro (III) circuito, destacado em vermelho, em ambas as redes, não passou na análise de tolerância realizada, em relação ao erro de fechamento determinado. Tendo em vista o processo metodológico adotado neste trabalho e após uma análise mais criteriosa dos dados, verificou-se um possível erro grosseiro, este relacionado à planilha de campo, ou seja, a anotação realizada em campo dos dados levantados.

Utilizando-se o MMQ - modelo paramétrico, foram definidas as matrizes e vetores envolvidos no ajustamento, ou seja, foi elaborada uma sequência de cálculos e realizada uma análise dos resultados

Parafusos																			
Medição 01				Medição 02				Medição 03				Medição 04							
Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)	Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)	Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)	Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)
I	2°	-0,01	1,09915	0,94	I	2°	-0,16	1,12890	0,96	I	2°	-0,04	1,10125	0,94	I	2°	0,17	1,11260	0,95
II	2°	0,34	1,75080	1,19	II	2°	0,23	1,76106	1,19	II	2°	0,18	1,75924	1,19	II	2°	0,20	1,75382	1,19
III	2°	-0,02	1,28908	1,02	III	2°	-0,08	1,27876	1,02	III	2°	-0,03	1,24948	1,01	III	2°	0,10	1,21708	0,99
IV	2°	0,02	1,41712	1,07	IV	2°	0,07	1,39633	1,06	IV	2°	0,00	1,40908	1,07	IV	2°	0,00	1,34504	1,04
V	2°	0,63	1,65250	1,16	V	2°	0,34	1,78503	1,20	V	2°	-0,58	1,84244	1,22	V	2°	-0,22	1,83062	1,22
VI	2°	-0,11	1,19514	0,98	VI	2°	-0,31	1,32431	1,04	VI	2°	-0,39	1,37617	1,06	VI	2°	-0,24	1,35962	1,05
VII	2°	0,09	0,69638	0,75	VII	2°	-0,16	0,70953	0,76	VII	2°	-0,08	0,71808	0,76	VII	2°	-0,40	0,71352	0,76
Medição 05				Medição 06				Medição 05				Medição 06							
Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)	Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)	Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)	Circuito	Leitura	Erros de Fechamento (mm)	Distância Nivelada (km)	Tolerância (mm)
I	2°	-0,19	1,09485	0,94	I	2°	0,40	1,08208	0,94	I	2°	0,55	1,08170	0,94	I	2°	0,55	1,08170	0,94
II	2°	0,43	1,73558	1,19	II	2°	-0,13	1,73713	1,19	II	2°	0,43	1,73558	1,19	II	2°	-0,16	1,73682	1,19
III	2°	-15,69	1,21481	0,99	III	2°	0,42	1,17470	0,98	III	2°	0,35	1,17471	0,98	III	2°	0,35	1,17471	0,98
IV	2°	-0,04	1,27611	1,02	IV	2°	0,07	1,30649	1,03	IV	2°	-0,04	1,27611	1,02	IV	2°	0,07	1,30649	1,03
V	2°	-0,85	1,82011	1,21	V	2°	0,50	1,84200	1,22	V	2°	-0,85	1,82011	1,21	V	2°	0,85	1,84198	1,22
VI	2°	0,46	1,35027	1,05	VI	2°	0,38	1,39934	1,05	VI	2°	0,46	1,35027	1,05	VI	2°	0,57	1,39916	1,05
VII	2°	-0,33	0,72011	0,76	VII	2°	-0,50	0,71396	0,76	VII	2°	-0,33	0,72011	0,76	VII	2°	-0,49	0,71391	0,76

Tabela 2 Erros de fechamento, distâncias e tolerâncias dos circuitos nivelados (parafusos engastados nos pilares da RRC)

através do estudo da Matriz Variância – Covariância das observações ajustadas, dos resíduos e das altitudes ajustadas para todas as campanhas de medição.

As altitudes ajustadas e apresentadas neste trabalho são denominadas altitudes normais, segundo a atualização da RAAP disponibilizada pelo IBGE a partir de julho de 2018. Para análise de qualidade das redes, também foi realizado o teste Qui-Quadrado aplicado aos resultados encontrados nas variâncias das unidades de peso a priori e a posteriori, conforme descrito em Gemael et al. (2015). Os resultados do teste Qui-Quadrado podem ser vistos em Silva (2017).

Em seguida, foi realizada uma análise de variâncias das altitudes ajustadas e aplicado dois testes: o teste de Turkey e o teste de Sheffé (Gomes, 1990; Silva, 2017; Silva & Seixas 2017a, 2017b).

O posicionamento vertical tem como referência as estações da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), denominadas Referências de Nível (RRNN). Estas são estabelecidas desde 1945 com o método de nivelamento geométrico de alta precisão referidas aos referenciais altimétricos atualmente vigentes no Brasil, Imbituba e Santana, ambos definidos, em cada caso, a partir de um único valor do Nível Médio do Mar (NMM) calculado com dados coletados em uma única estação maregráfica. Em 2015, o IBGE deu início a um novo ajustamento da RAAP, a fim de adequar os dados do SGB altimétrico as recomendações científicas pertinentes, notadamente a resolução da Associação Internacional de Geodésia (IAG) sobre o Sistema Internacional de Referência para Altitudes (do inglês IHRs/IHRF) devido ao aprimoramento da cobertura gravimétrica do Território Brasileiro, conduzido pelo IBGE e por outras instituições.

Com isso, pela primeira vez, os usuários do SGB terão à sua disposição altitudes com significado físico rigoroso, ou seja, conforme relatório do atual reajustamento, nos cálculos das altitudes da RAAP foram considerados os valores da gravidade nas RRNN para conversão dos desníveis observados em diferenças de Geopotencial e conversão dos valores finais ajustados em altitudes normais (IBGE, 2018).

As estações da RAAP constituem a estrutura fundamental a partir da qual a comunidade técnico-científica usuária do SGB estabelece suas próprias redes de altitudes para os mais variados objetivos, tais como: obras de saneamento, irrigação, estradas, telecomunicações, usinas hidrelétricas, mapeamento e estudos científicos (IBGE, 2018).

Diante dessas mudanças dos referenciais altimétricos, neste trabalho, os dados analisados em Silva (2017), Silva & Seixas (2017a, 2017b) foram atualizados, para atender a nova realidade da RAAP.

2.2 Controle e Análise de Qualidade da Rede

A realização das seis campanhas de medição permitiu analisar os dados observados, pelo MMQ - modelo paramétrico, conforme Gemael et al. (2015). Considerando a RN 3641A a referência absoluta, com uma altitude normal de 11,3125 m \pm 0,089m (IBGE, 2018), esta foi fixada como referência para a primeira campanha de medição, logo a altitude da RN CTG01, escolhida de acordo com o projeto Seixas & Seixas (2015) para a referência altimétrica de toda a rede, após a primeira campanha de medição, obteve um valor de altitude normal igual a (9,9847 m \pm 0,0001 m), sendo esta considerada fixa para o ajustamento pelo MMQ das outras campanhas realizadas (campanha 02 a 06). Com isso, foram obtidos os resíduos, observações e altitudes respectivamente ajustadas da rede geodésica altimétrica local, densificada no Campus Recife, conforme os testes estatísticos realizados, a variância da unidade de peso a priori, para todas as campanhas de medição, foi de $\sigma_0^{-2} = 9 \times 10^{-9}$, esta determinada pela precisão de 0,3 mm do equipamento utilizado e considerou o intervalo de confiança entre $\alpha=5\%$ e $1 - \alpha=95\%$ ($0,5 \times \frac{\alpha}{\gamma} = 0,025$; $1 - 0,5 \times \frac{\alpha}{\gamma} = 0,975$). Maiores detalhes podem ser verificados em (Silva 2017; Silva & Seixas 2017a). Na Tabela 3, é possível observar os resultados da análise do teste Qui-Quadrado e na Tabela 4 observa-se um resumo dos resultados, encontrados pelas campanhas.

A Tabela 3 apresenta os resultados da análise estatística realizada nos dados obtidos nas 6 campanhas de medição, mediante a comparação entre as variâncias da unidade de peso a priori e a posteriori, com o teste Qui-Quadrado as hipóteses básicas não são rejeitadas ao nível de significância de 5% (Silva, 2017).

Campanhas	σ_0^2 (Sigma a Priori)	σ_0^2 (Rede de Pinos de Superfícies Semiesféricas)	σ_0^2 (Rede de Parafusos)	gl (Grau de Liberdade)	(Qui-Quadrado)
1ª	9×10^{-6}	1×10^{-6}	$6,784 \times 10^{-6}$	7	3,4268 e 5,2764
2ª	9×10^{-6}	$4,333 \times 10^{-6}$	$3,248 \times 10^{-6}$	7	3,3701 e 2,5262
3ª	9×10^{-6}	$7,356 \times 10^{-6}$	$6,538 \times 10^{-6}$	7	5,7213 e 5,0851
4ª	9×10^{-6}	1×10^{-7}	$9,216 \times 10^{-6}$	7	7,7777 e 7,1680
5ª	9×10^{-6}	1×10^{-7}	$9,213 \times 10^{-6}$	7	7,7777 e 7,1656
6ª	9×10^{-6}	1×10^{-7}	2×10^{-7}	7	15,5555 e 15,5555

Tabela 3
Análise do teste
Qui-Quadrada

Na Tabela 4 verificam-se os maiores e menores resultados determinados pelo processo de ajustamento MMQ, realizados nos dados mensurados pelas campanhas de medição dos pinos de superfícies semiesféricas e parafusos da Rede Geodésica Altimétrica Local do Campus da UFPE. Portanto, os maiores e menores resultados, respectivamente, foram: resíduos (Medição 6, com $\pm 0,26$ mm e Medição 5, com $\pm 0,00$ mm), observações ajustadas (Medição 1, com $\pm 0,02$ mm e Medição 6, com $\pm 0,28$ mm) e altitudes ajustadas (Medição 2, com $\pm 0,02$ mm e Medição 6, com $\pm 0,46$ mm). Na Tabela 5 verificam-se as altitudes normais ajustadas, refe-

rentes a primeira campanha de medição, considerada como referência nesse trabalho.

3 Análise de Estabilidade da Rede

A análise de estabilidade de um trecho compreendido por três (3) RRNN, consiste na medição do nivelamento e contranivelamento adjacentes, cujos valores de diferença de nível dessa nova medição sejam comparados com os valores da(s) medição(ões) anterior(es). Onde os valores não podem ser maiores que a tolerância, ou seja, de 3 mm multiplicado pela raiz quadrada da distância em km, conforme IBGE (2017).

	Medição 1		Medição 2		Medição 3	
	Pinos de superfícies semiesféricas	Parafusos	Pinos de superfícies semiesféricas	Parafusos	Pinos de superfícies semiesféricas	Parafusos
Resíduos (mm)	$\pm 0,00 \leq \pm 0,17$	$\pm 0,00 \leq \pm 0,18$	$\pm 0,00 \leq \pm 0,16$	$\pm 0,00 \leq \pm 0,16$	$\pm 0,00 \leq \pm 0,18$	$\pm 0,00 \leq \pm 0,19$
$\sigma(la)$ (mm)	$\pm 0,02 \leq \pm 0,12$	$\pm 0,03 \leq \pm 0,15$	$\pm 0,03 \leq \pm 0,12$	$\pm 0,02 \leq \pm 0,10$	$\pm 0,03 \leq \pm 0,16$	$\pm 0,03 \leq \pm 0,15$
$\sigma(Ha)$ (mm)	$\pm 0,05 \leq \pm 0,15$	$\pm 0,07 \leq \pm 0,18$	$\pm 0,03 \leq \pm 0,20$	$\pm 0,02 \leq \pm 0,17$	$\pm 0,03 \leq \pm 0,26$	$\pm 0,03 \leq \pm 0,24$
	Medição 4		Medição 5		Medição 6	
	Pinos de superfícies semiesféricas	Parafusos	Pinos de superfícies semiesféricas	Parafusos	Pinos de superfícies semiesféricas	Parafusos
Resíduos (mm)	$\pm 0,00 \leq \pm 0,22$	$\pm 0,00 \leq \pm 0,20$	$\pm 0,00 \leq \pm 0,00$	$\pm 0,00 \leq \pm 0,00$	$\pm 0,00 \leq \pm 0,23$	$\pm 0,00 \leq \pm 0,26$
$\sigma(la)$ (mm)	$\pm 0,05 \leq \pm 0,18$	$\pm 0,05 \leq \pm 0,17$	$\pm 0,04 \leq \pm 0,18$	$\pm 0,05 \leq \pm 0,21$	$\pm 0,05 \leq \pm 0,24$	$\pm 0,06 \leq \pm 0,28$
$\sigma(Ha)$ (mm)	$\pm 0,05 \leq \pm 0,30$	$\pm 0,05 \leq \pm 0,29$	$\pm 0,04 \leq \pm 0,30$	$\pm 0,05 \leq \pm 0,34$	$\pm 0,05 \leq \pm 0,39$	$\pm 0,06 \leq \pm 0,46$

Tabela 4 Análises dos resíduos ajustados, desvios padrão das observações ajustadas e desvios padrão das altitudes ajustadas das campanhas de medição 1 a 6

Referências de Níveis	Pinos de Superfície Semiesférica		Referências de Níveis	Parafusos	
	H^p (m)	σ (m)		H^p (m)	σ (m)
RNEPS04	9,38356	±0,00011	P-EPS04	9,53115	±0,00013
RNEPS07	9,07542	±0,00013	P-EPS07	9,19932	±0,00016
CTG02	10,01933	±0,00014	CTG02	10,01933	±0,00017
CTG01	9,98474	±0,00014	CTG01	9,98474	±0,00017
RNEPS06	9,05117	±0,00014	P-EPS06	9,16914	±0,00017
RN-D	9,33592	±0,00012	RN-D	9,33591	±0,00015
RN04	8,31989	±0,00012	RN04	8,31989	±0,00015
RN05	9,02158	±0,00009	RN05	9,02151	±0,00011
RN3641-B	9,15356	±0,00006	RN3641-B	9,15355	±0,00007
RNEPS05	7,55494	±0,00013	P-EPS05	7,65587	±0,00016
RNEPS03	9,66952	±0,00011	P-EPS03	9,79214	±0,00013
RN06	8,60982	±0,00013	RN06	8,60982	±0,00016
RNEPS01	7,21914	±0,00013	P-EPS01	7,34817	±0,00016
RN07	9,12185	±0,00011	RN07	9,12191	±0,00014
RNEPS02	8,78549	±0,00014	P-EPS02	8,88985	±0,00018
RN10	9,29995	±0,00014	RN10	9,29994	±0,00017
RN3640-X	10,03355	±0,00015	RN3640-X	10,03358	±0,00018

Tabela 5 – Altitudes normais ajustadas e respectivos desvios padrão da primeira campanha de medição (novembro de 2015)

Em Silva & Seixas (2017a) foram realizadas análises sobre 3 RRNN da RAAP e neste trabalho apresenta-se a análise da estabilidade da Rede Geodésica Altimétrica Local do Campus Recife, considerando-se todas as RRNN medidas entre 2015 a 2016.

3.1 Generalidades

O estudo sobre a estabilidade em estruturas geodésicas altimétricas é de extrema importância na análise de deslocamentos que possam estar ocorrendo em uma obra de engenharia (Seixas et al., 2012). Pois nenhum ponto de referência deve ser considerado estável, antes dessa condição ser verificada. Nesse contexto, informações geradas em estudos de deslocamentos em estruturas de engenharia podem estar envolvidas de erros devido a uma possível instabilidade do ponto usado como referência (Suci & Faggion, 2012).

Além disso, de acordo com Kahmen (2006), em levantamento e locação de estruturas de edificações prediais, construção e pavimentação de rodovias e estradas, traçados de ferrovias, oleodutos e gasodutos, medição de túneis, posicionamento e controle de máquinas, geração de um modelo geoidal acurado, estudo de recalque em estruturas, in-

vestigação de subsidência em áreas de extração de águas, gás, petróleo ou minério, obras de drenagem, entre outras, a confiança das referências geodésicas são importantes.

A definição e realização de uma rede geodésica altimétrica local para as altitudes tem sido sempre uma temática de grande interesse, desde aplicações locais da engenharia até aplicações globais como o monitoramento dos processos dinâmicos envolvidos na Terra (Plag & Pearlman, 2009).

3.2 Análise Temporal das Discrepâncias entre os Desníveis Ajustados

A confirmação da estabilidade de uma estrutura de referência é relevante para o processo de medição que necessita de dados precisos e acurados. Portanto, confirmar a permanência, na posição original, das RRNN da RAAP e respectivas RRNN das redes locais, que são utilizadas como partida e chegada de um novo levantamento, faz-se necessária para aplicações de projetos na engenharia e estudos diversos da Geodésia.

A seguir serão apresentadas as diferenças encontradas a partir da análise das observações ajustadas pelo MMQ - modelo paramétrico das seis campanhas de medição com relação aos pinos de superfícies semiesféricas e parafusos. Portanto, fixadas as observações ajustadas da primeira campanha de medição foram determinadas as discrepâncias entre as demais campanhas. As Tabelas 6 e 7 apresentam as respectivas discrepâncias entre as observações ajustadas (desníveis ajustados), considerando as duas redes geodésicas altimétricas locais ajustadas.

Na Tabela 6 a linha i_5^a , entre RN05 e RN04 (Figura 2), dos desníveis ajustados, apresenta as maiores discrepâncias, sendo a sexta campanha de medição a que apresentou a maior diferença com relação a primeira campanha de medição (-7,34 mm) e a linha i_7^a , entre a RN CTG01 e a RN CTG02 (Figura 2), dos desníveis ajustados é a que apresentou as menores discrepâncias, menores e iguais em módulo a 0,11 mm, como era de se esperar, uma vez que estas foram consideradas estáveis no processo de medição, pelas condições geotécnicas do prédio do CTG, conforme projeto em andamento em Seixas & Seixas (2015).

Observações	Pinos de Superfícies Semiesféricas				
	Med (1 e 2) (mm)	Med (1 e 3) (mm)	Med (1 e 4) (mm)	Med (1 e 5) (mm)	Med (1 e 6) (mm)
I_1^a (RN3641A - RNEPS04)	0,85	0,00	0,40	1,95	2,57
I_2^a (RNEPS04 - RNEPS07)	-0,80	-0,16	-0,39	-1,20	-1,41
I_3^a (RNEPS07 - CTG02)	-1,17	-1,06	-0,87	-1,94	-2,09
I_4^a (CTG02 - CTG01)	-0,03	0,06	-0,11	0,03	-0,06
I_5^a (CTG01 - RNEPS06)	-1,75	0,08	-0,42	-4,41	-4,91
I_{10}^a (RNEPS06 - RND)	0,51	0,72	-0,08	1,50	1,52
I_{11}^a (RND - RNEPS04)	-1,82	0,33	0,04	-5,13	-5,90
I_{12}^a (RND - RN04)	-1,43	3,83	2,55	-2,41	-3,08
I_{15}^a (RN04 - RN05)	-3,35	2,87	2,16	-6,65	-7,34
I_{16}^a (RN05 - RN3641B)	0,02	0,91	0,70	-0,81	-0,90
I_{17}^a (RN3641B - RN3641A)	0,84	0,39	0,12	1,88	1,84
I_{18}^a (RN04 - RNEPS05)	2,16	-3,21	-2,88	3,50	4,32
I_{19}^a (RNEPS05 - RN05)	-1,19	-0,34	-0,72	-	-3,02
I_{22}^a (RNEPS05 - RNEPS03)	-0,71	0,32	0,37	-	-3,35
I_{24}^a (RN05 - RNEPS03)	0,48	0,68	1,09	0,07	-0,33
I_{26}^a (RNEPS03 - RN06)	1,20	1,39	0,85	-2,10	-2,05
I_{28}^a (RN06 - RNEPS01)	-1,33	-2,33	-1,84	-0,84	-2,42
I_{30}^a (RNEPS01 - RN07)	-0,69	-2,50	-3,37	-2,62	-2,35
I_{32}^a (RN07 - RN3641A)	1,04	2,20	2,10	0,68	-0,85
I_{33}^a (RN07 - RNEPS02)	0,16	-1,64	-1,99	0,46	0,58
I_{35}^a (RNEPS02 - RN10)	0,83	1,32	1,22	2,32	1,95
I_{36}^a (RN10 - RN3640X)	0,08	1,21	1,29	2,19	2,21
I_{38}^a (RN3640X - RNEPS01)	0,07	1,67	1,14	1,42	0,92
I_{40}^a (RNEPS01 - RN10)	-0,01	0,45	-0,15	-0,77	-1,29

Tabela 6
 Discrepâncias entre as observações ajustadas (desníveis ajustados) - Pinos de superfícies semiesféricas - Medição (Med)

Observações	Parafusos				
	Med (1 e 2)(mm)	Med (1 e 3)(mm)	Med (1 e 4)(mm)	Med (1 e 5)(mm)	Med (1 e 6)(mm)
I_2^b (RN3641A - PEPS04)	0,85	-0,01	0,29	1,73	2,47
I_3^b (PEPS04 - PEPS07)	0,52	-0,93	-0,83	-1,84	-2,11
I_4^b (PEPS07 - CTG02)	-1,96	-1,84	-1,51	-2,69	-2,97
I_5^b (CTG02 - CTG01)	-0,02	0,08	-0,11	0,03	-0,08
I_6^b (CTG01 - PEPS06)	-1,30	0,61	0,18	-3,81	-4,33
I_{11}^b (PEPS06 - RND)	1,40	1,19	0,58	2,01	2,26
I_{11}^b (RND - PEPS04)	-1,87	0,40	0,19	-4,93	-5,78
I_{14}^b (RND - RN04)	-1,40	3,84	2,46	-2,39	-3,09
I_{15}^b (RN04 - RN05)	-3,41	2,85	2,08	-6,71	-7,36
I_{16}^b (RN05 - RN3641B)	0,04	0,97	0,74	-0,76	-0,88
I_{17}^b (RN3641B - RN3641A)	0,85	0,41	0,13	1,89	1,83
I_{18}^b (RN04 - PEPS05)	1,97	-3,46	-3,07	-15,79	-3,98
I_{21}^b (PEPS05 - RN05)	-1,44	-0,80	-0,99	-	-3,36
I_{22}^b (PEPS05 - PEPS03)	-0,58	0,29	0,42	-	-3,35
I_{26}^b (RN05 - PEPS03)	0,86	0,89	1,42	0,44	0,02
I_{27}^b (PEPS03 - RN06)	1,34	1,63	1,22	-1,79	-1,58
I_{29}^b (RN06 - PEPS01)	-0,85	-2,09	-1,53	-0,54	-2,15
I_{31}^b (PEPS01 - RN07)	-0,35	-2,08	-2,95	-2,22	-1,94
I_{32}^b (RN07 - RN3641A)	0,87	2,09	2,10	0,58	-0,86
I_{34}^b (RN07 - PEPS02)	0,34	-1,38	-1,83	0,76	1,03
I_{36}^b (PEPS02 - RN10)	0,85	1,45	1,29	2,48	2,08
I_{37}^b (RN10 - RN3640X)	0,12	1,16	1,34	2,20	2,24
I_{38}^b (RN3640X - PEPS01)	0,38	1,93	1,52	1,71	1,35
I_{41}^b (PEPS01 - RN10)	0,25	0,76	0,17	-0,50	-0,90

Tabela 7
 Discrepâncias entre as observações ajustadas (desníveis ajustados) - Parafusos - Medição (Med)

Na Tabela 7 a linha ¹⁹, entre RN04 e PEPS05 (Figura 2), dos desníveis ajustados, apresenta a maiores discrepâncias, sendo a quinta campanha de medição a que apresentou a maior diferença com relação a primeira campanha de medição (-15,79 mm). E a linha ⁷, entre a RN CTG01 e a RN CTG02 (Figura 2), dos desníveis ajustados é a que apresentou as menores discrepâncias, menores e iguais em módulo a 0,11 mm, conforme esperado.

3.3 Análise Temporal das Altitudes Ajustadas

As Tabelas 8 e 9 e as respectivas Figuras 3 e 4 apresentam as discrepâncias entre as altitudes ajustadas pelo MMQ – modelo paramétrico (estruturas que compõem a RRC em relação aos pinos de superfícies semiesféricas e parafusos).

Referência de Nível	Med 1 x Med 2 (mm)	Med 1 x Med 3 (mm)	Med 1 x Med 4 (mm)	Med 1 x Med 5 (mm)	Med 1 x Med 6 (mm)
RNEPS04	0,58	1,01	0,42	0,81	0,67
RNEPS07	1,18	1,16	0,81	2,01	2,07
RNEPS06	1,79	-0,04	0,46	4,45	4,95
RNEPS05	1,67	0,06	0,72	4,86	5,32
RNEPS03	0,96	0,38	1,08	1,77	1,97
RNEPS01	1,09	1,31	2,08	4,71	6,44
RNEPS02	0,24	0,46	0,71	1,63	3,20

Tabela 8 Discrepâncias entre as altitudes ajustadas da Rede Altimétrica do Campus Recife da UFPE (Pinos de superfícies semiesféricas). Medição (Med).

Na Tabela 8 e Figura 3 vê-se que a maior discrepância da variação das altitudes entre os intervalos medidos foi verificada entre as campanhas 1 e 6 em RNEPS01 (6,44 mm). A menor discrepância da variação das altitudes entre os intervalos medi-

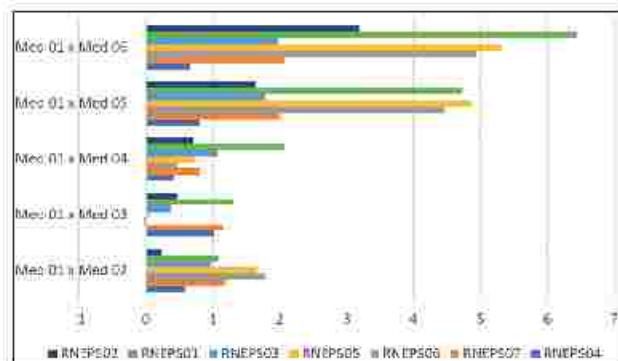


Figura 3 Discrepâncias entre as altitudes ajustadas da Rede Geodésica Altimétrica do Campus Recife da UFPE (Pinos de superfícies semiesféricas) em milímetro

dos foi verificada entre as campanhas 1 e 3 em RNEPS6 (-0,04mm). Considerando as discrepâncias de cada RN entre os intervalos medidos, de acordo com a Tabela 8 a menor variação de discrepância foi na RNEPS04 em módulo de 0,59 mm e a maior variação de discrepância foi na RNEPS01 em módulo de 5,35 mm.

Na Tabela 9 e Figura 4 ver-se que a P-EPS05 apresenta as maiores discrepâncias entre as altitudes ajustadas. Onde a campanha de medição 05 apresenta a maior discrepância quando comparada com a primeira campanha de medição (24,04 mm), entretanto como mencionado anteriormente, a quinta campanha de medição não será referência nesta análise devido a erros grosseiros verificados nos dados medidos. Portanto, desconsiderando a quinta campanha, a maior discrepância da variação das altitudes entre os intervalos medidos foi verificada entre as campanhas 1 e 6 em P-EPS01 (6,12 mm). A menor discrepância da variação das altitudes entre os intervalos medidos foi verificada entre as campanhas 1 e 4 em P-EPS6 (-0,14mm). Considerando as discrepâncias de cada RN entre os intervalos medidos, de acordo com a Tabela 9 a menor variação de discrepância foi na RN P-EPS04 em módulo de 0,38 mm e a maior variação de discrepância foi na RN P-EPS05 em módulo de 5,50mm

Referência de Nível	Med 1 x Med 2 (mm)	Med 1 x Med 3 (mm)	Med 1 x Med 4 (mm)	Med 1 x Med 5 (mm)	Med 1 x Med 6 (mm)
P-EPS04	0,87	1,01	0,63	0,93	0,84
P-EPS07	2,00	1,94	1,45	2,77	2,95
P-EPS06	1,34	-0,57	-0,14	3,85	4,36
P-EPS05	2,18	0,23	1,04	24,04	5,73
P-EPS03	1,80	0,53	1,46	1,97	2,38
P-EPS01	1,11	0,98	1,77	4,30	6,12
P-EPS02	0,42	0,29	0,65	1,32	3,14

Tabela 9 Altitudes Ajustadas das estruturas que compõem a Rede Altimétrica do Campus Recife da UFPE (Parafusos). Medição (Med).

Além disso, nas Tabelas 10 e 11 podem ser verificadas as altitudes ajustadas em relação a cada RN densificada no Campus Recife da UFPE. Essas apresentam a menor altitude ajustada, maior altitude ajustada e suas respectivas campanhas de medições e amplitudes com relação as seis (6) campanhas de medições realizadas.

A Tabela 10 apresenta que, a maior amplitude das altitudes normais ajustadas é verificada para a

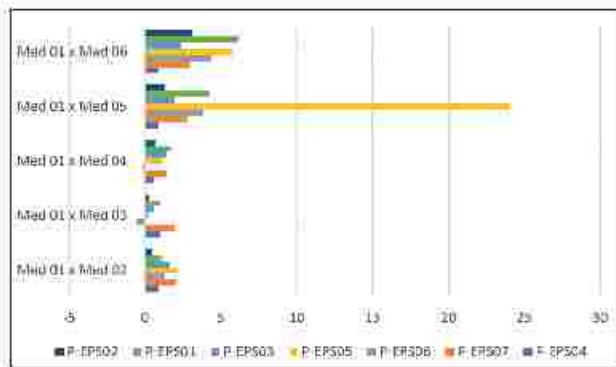


Figura 4 Altitudes Ajustadas das estruturas que compõem a Rede Geodésica Altimétrica do Campus Recife da UFPE (Parafusos). Medição (Med) em milímetro

Referência de Nível	Menor Altitude ajustada (m)	Campanhas de medições	Maior Altitude ajustada (m)	Amplitude (mm)
RNEPS04	9,38255 ± 0,00013	3 e 1	9,38356 ± 0,00010	1,01
RNEPS07	9,07334 ± 0,00016	6 e 1	9,07542 ± 0,00013	2,07
CTG02	10,01923 ± 0,00004	3 e 4	10,01940 ± 0,00005	0,17
RNEPS06	9,04622 ± 0,00018	6 e 3	9,05121 ± 0,00012	4,99
RN-D	9,32935 ± 0,00021	6 e 1	9,33592 ± 0,00012	6,56
RN04	8,31004 ± 0,00029	6 e 3	8,32284 ± 0,00019	12,80
RN05	9,01926 ± 0,00030	6 e 3	9,02184 ± 0,00019	2,59
RN3641-B	9,15216 ± 0,00029	6 e 1	9,15356 ± 0,00006	1,41
RN3641-A	11,30926 ± 0,00027	6 e 1	11,31250 ± 0,08900	3,24
RNEPS05	7,54962 ± 0,00032	6 e 1	7,55494 ± 0,00013	5,32
RNEPS03	9,66755 ± 0,00032	6 e 1	9,66952 ± 0,00011	1,97
RN06	8,60579 ± 0,00036	6 e 3	8,61083 ± 0,00023	5,04
RNEPS01	7,21270 ± 0,00036	6 e 1	7,21914 ± 0,00013	6,44
RN07	9,11776 ± 0,00035	6 e 4	9,12313 ± 0,00027	5,37
RNEPS02	8,78229 ± 0,00039	6 e 1	8,78649 ± 0,00014	3,20
RN10	9,29480 ± 0,00038	6 e 1	9,29995 ± 0,00014	5,16
RN3640-X	10,02619 ± 0,00039	6 e 1	10,03355 ± 0,00015	7,36

Tabela 10. Análise das amplitudes das Altitudes normais ajustadas das RRNN (Pinos de superfícies semiesféricas)

Referência de Nível	Menor Altitude ajustada (m)	Campanhas de medições	Maior Altitude ajustada (m)	Amplitude (mm)
P-EP504	9,53013 ± 0,00012	3 e 1	9,53115 ± 0,00013	1,01
P-EP507	9,19637 ± 0,00018	6 e 1	9,19932 ± 0,00016	2,95
CTG02	10,01923 ± 0,00004	3 e 4	10,01940 ± 0,00006	0,17
P-EP506	9,16477 ± 0,00021	6 e 3	9,16971 ± 0,00011	4,94
RN-D	9,32928 ± 0,00025	6 e 1	9,33591 ± 0,00015	6,62
RN04	8,30997 ± 0,00034	6 e 3	8,32291 ± 0,00018	12,94
RN05	9,01915 ± 0,00035	6 e 3	9,02188 ± 0,00018	2,73
RN3641B	9,15207 ± 0,00034	6 e 1	9,15355 ± 0,00007	1,47
RN3641A	11,30919 ± 0,00032	6 e 1	11,31250 ± 0,08900	3,31
P-EP505	7,63184 ± 0,00033	5 e 1	7,65587 ± 0,00016	24,04
P-EP503	9,78976 ± 0,00037	6 e 1	9,79214 ± 0,00013	2,38
RN06	8,60585 ± 0,00042	6 e 3	8,61092 ± 0,00022	5,07
P-EP501	7,34005 ± 0,00043	6 e 1	7,34617 ± 0,00016	6,12
RN07	9,11774 ± 0,00041	6 e 4	9,12309 ± 0,00025	5,35
P-EP502	8,88682 ± 0,00045	6 e 1	8,88995 ± 0,00018	3,14
RN10	9,29472 ± 0,00045	6 e 1	9,29994 ± 0,00017	5,22
RN3640X	10,02612 ± 0,00046	6 e 1	10,03358 ± 0,00018	7,46

Tabela 11. Análise das amplitudes das Altitudes ajustadas das RRNN (Parafusos)

RN04 de 12,80 mm e a menor para RN CTG02 de 0,17 mm. A Tabela 11 apresenta que, a maior amplitude das altitudes normais ajustadas é verificada para a P-EPS05 (24,04 mm), entretanto, esta amplitude está relacionada ao valor da quinta campanha de medição. Portanto, desconsiderando a quinta campanha, a RN04 apresenta a maior amplitude de 12,94 mm e a RN CTG02 apresenta a menor amplitude de 0,17 mm.

O uso de duas redes distintas na realização da análise (pinos de superfícies semiesféricas e parafusos), foi motivado, mediante a forma que foi determinada as estruturas geodésicas altimétrica no Campus da UFPE, onde foram implantados, respectivamente, dois marcos de referência, pinos de superfícies semiesféricas (incrustados) e parafusos (engastados) nos pilares da RRC. Devido a essa realidade foram consideradas, neste trabalho, duas redes distintas para a realização da análise das altitudes. O ajustamento também pode considerar todas as linhas em conjunto, como foi apresentado em Silva & Seixas (2017a).

3.4 Análise das Variâncias

De acordo com Gomes (1990), o teste básico para análise de variância é o teste Fisher (F) tendo em vista comparar variâncias das amostras ou os respectivos desvios padrão. A análise de variâncias conhecida também como ANOVA é um teste para igualdade de médias, que utilizam variâncias na tomada de decisão. Com a comparação de várias amostras, interessa-se em saber se a diferença entre elas é significativa ou se podem ser atribuídas ao acaso. Desta forma, testa-se a hipótese nula contra a hipóte-

se alternativa, de que as médias não são todas iguais.

Desta forma, com os dados das seis campanhas ajustados pelo MMQ – modelo paramétrico e as respectivas variâncias das altitudes ajustadas determinadas, foi aplicada a análise ANOVA, ou seja, foi verificada a medida de dispersão, indicando o tanto que os valores se distanciam da média (Gomes, 1990; Silva 2017). Esta análise foi realizada para ambas as redes geodésicas altimétricas (pinos de superfícies semiesféricas apresentados na Tabela 12 e parafusos na Tabela 13).

Vê-se nas Tabelas 12 e 13 que o valor de F (estatística da distribuição F (Snedecor)) é maior que o valor crítico, assim como, o valor de P. Conclui-se com isso que F é significativo, ou seja, algumas amostras testadas se diferenciam significativamente com o nível de significância de 5%. Onde F é obtido pela divisão do quadrado médio entre os grupos e dentro dos grupos (Gomes, 1990; Silva, 2017).

As Tabelas 14 e 15 apresentam os resultados da ANOVA pelo software AstGeoTop (2016), utilizando-se o módulo Estatístico - análise de grupos de amostras (Garnés, 2016).

De acordo com a análise ANOVA realizada, identificou-se que existe pelo menos um grupo, diferente dos demais ao nível de significância de 5%. Portanto, a estatística F foi rejeitada ao nível de confiança de 95%. Todavia, a análise de variâncias, testa a existência ou não de diferenças significativas. Entretanto, caso haja diferenças, não se pode identificar, quais médias diferem das demais, apenas aplicando a ANOVA. Portanto, para se determinar qual (is) o (s) par (es) de médias diferentes, após a realização da ANOVA, foi realizado o teste Sheffé e Tukey, maio-

Tabela 12 ANOVA (Pinos de superfícies semiesféricas).
Fonte: Excel, 2016

ANOVA						
Fonte da Variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre Grupos	5,36995E-14	5	1,07399E-14	13,5896637	3,69304E-10	2,303493035
Dentro dos Grupos	8,06105E-14	102	7,90299E-16			
Total	1,3431E-13	107				

Tabela 13 ANOVA (Parafusos).
Fonte: Excel, 2016

ANOVA						
Fonte da Variação	SQ	GI	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre Grupos	1,12054E-13	5	2,24107E-14	19,1229322	2,21647E-13	2,303493035
Dentro dos Grupos	1,19537E-13	102	1,17193E-15			
Total	2,31591E-13	107				

ANOVA					
Fonte da Variação	SQ	GI	Q.M	F	F crítico
Entre Grupos	0,001	5	0,000	13,590	2,304
Dentro dos Grupos	0,001	102	0,000		
Total	0,001	107			

Tabela 14 ANOVA (Pinos de superfícies semiesféricas).
Fonte: Garnés, 2016 (AstGeoTop).

ANOVA					
Fonte da Variação	SQ	GI	Q.M	F	F crítico
Entre Grupos	0,001	5	0,000	19,123	2,304
Dentro dos Grupos	0,001	102	0,000		
Total	0,002	107			

Tabela 15 ANOVA (Parafusos).
Fonte: Garnés, 2016 (AstGeoTop).

res detalhes sobre estes métodos podem ser verificados em Silva (2017) e Silva & Seixas (2017a).

3.4.1 Representação Gráfica das Variâncias das Altitudes Ajustadas

A Figura 5 ilustra as mudanças das variâncias das amostras, utilizadas na análise de variâncias realizada, considerando os pinos de superfícies semiesféricas.

A Figura 6 ilustra a mudanças das variâncias das amostras, utilizadas na análise de variâncias realizadas, considerando os parafusos.

As campanhas de medições ocorreram em intervalos de tempo distintos, conforme apresentado na Figura 7.

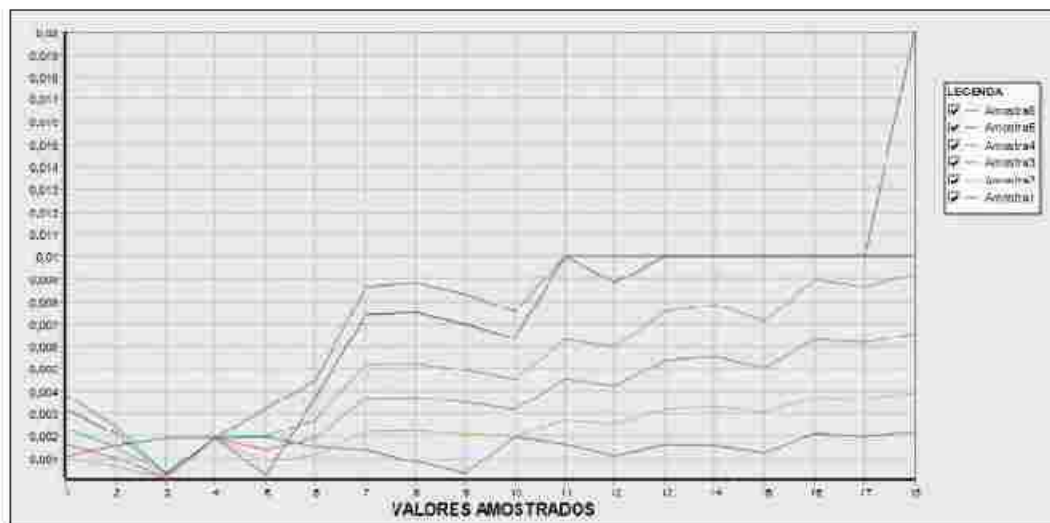


Figura 5 Representação gráfica das discrepâncias entre as Campanhas de medições (Pinos de superfícies semiesféricas).
Fonte: Garnés, 2016 (AstGeoTop).

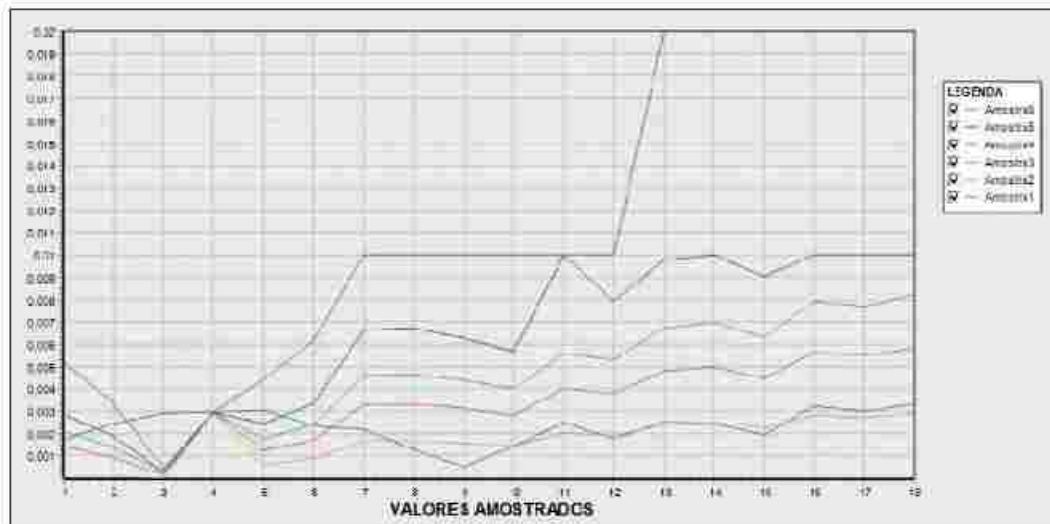


Figura 6 Representação gráfica das discrepâncias entre as Campanhas de medições (Parafusos).
Fonte: Garnés, 2016 (AstGeoTop).

Campanhas de Medição	Intervalos de tempo entre as campanhas de medição (dias)
1_2	85
2_3	105
3_4	7
4_5	197
5_6	7

Figura 7 Intervalos de tempo entre as medições

A Figura 7 apresenta o intervalo de tempo entre a realização das medições das campanhas. Conforme pode ser verificado, em 401 dias foram realizadas 6 medições da rede, onde foram adotados intervalos distintos de tempo para as respectivas medições. Este período de 401 dias teve como propósito, avaliar o comportamento da rede com relação ao período de um ano. Vê-se também que houveram épocas de medição maiores e outras bem próximas uma da outra, isso teve como propósito avaliar possíveis erros no processo de análise dos dados, haja visto que em períodos de análises curtas, subtende-se que não poderia haver mudanças significativas dos resultados obtidos.

3.4.2 Aplicação dos Testes Sheffé e Tukey

Diante disso, serão aplicados dois testes: o teste Tukey e o teste Sheffé. O primeiro está baseado na amplitude total (intervalo). Este teste pode ser utilizado para comparar toda e qualquer diferença entre a média de duas amostras, e o segundo (teste Sheffé) é utilizado quando o teste F for significativo, de acordo com Gomes (1990).

O teste Tukey é um dos testes de comparação de média mais utilizada, por ser bastante rigoroso e de fácil aplicação. Tem como base a DMS (Diferença Mínima Significativa). Calculada a partir da Equação 2, de acordo com Gomes (1990).

$$DMS = q_{\alpha}(g_l, N - g_l) \sqrt{\frac{QME}{n}} \quad (2)$$

Onde: DMS é a diferença mínima significativa; q_{α} é um valor tabelado (Tabela do Teste de Tukey); N número total de observações; g_l grau de liberdade; QME é o quadrado médio do erro; n é o número de réplicas do tratamento (amostras).

Se a diferença entre as médias das amostras for maior ou igual que a diferença mínima significativa, rejeita-se a hipótese nula, significando assim, que existe uma diferença entre as amostras.

De acordo com Gomes (1990), o teste de Sheffé é de uso bem mais geral que o de Tukey e permite julgar qualquer contraste (diferença) e é expresso pela Equação 3.

$$S = \sqrt{(n-1) \cdot QMR \cdot F} \quad (3)$$

Onde: QMR é a diferença em questão, n é o número de amostras e F é o valor tabelado ao nível de significância α de 5% ou 1%, correspondente aos números de grau de liberdade g_l . Para este trabalho foi adotado o nível de significância igual a 5%.

3.4.3 Resultado do Teste Sheffé e Análise

A Tabela 16 apresenta os resultados obtidos a partir do teste Sheffé das amostras para um nível de significância igual a 5%.

Amostras (Campanhas de Medição)		Pinos de Superfícies Semiesféricas	Parafusos
5%		5%	
1	2	Não diferenciam	Não diferenciam
1	3	Não diferenciam	Não diferenciam
1	4	Diferenciam	Não diferenciam
1	5	Diferenciam	Diferenciam
1	6	Diferenciam	Diferenciam
2	3	Não diferenciam	Não diferenciam
2	4	Não diferenciam	Não diferenciam
2	5	Diferenciam	Diferenciam
2	6	Diferenciam	Diferenciam
3	4	Não diferenciam	Não diferenciam
3	5	Não diferenciam	Não diferenciam
3	6	Diferenciam	Diferenciam
4	5	Não diferenciam	Não diferenciam
4	6	Não diferenciam	Diferenciam
5	6	Não diferenciam	Diferenciam

Tabela 16 Análise das diferenças das amostras pelo teste Sheffé

Na Tabela 16 observa-se que as amostras das variâncias das altitudes ajustadas das campanhas de medição: 1 e 4; 1 e 5; 1 e 6; 2 e 5; 2 e 6; 3 e 6 conforme o teste Sheffé se diferenciam (pinos de superfícies semiesféricas). Para a rede altimétrica em relação aos parafusos, verifica-se que as amostras das variâncias das altitudes ajustadas das campanhas de medição: 1 e 5; 1 e 6; 2 e 5; 2 e 6; 3 e 6; 4 e 5; 5 e 6, apresentam diferenças.

3.4.4 Resultado do Teste Tukey e análise

O teste Tukey é amplamente utilizado, devido a sua rigorosidade e a facilidade na sua aplicação. O teste Tukey faz uma comparação de média, tendo como referência a Diferença Mínima Significativa - DMS. Portanto, as Tabelas 17 e 18 apresentam os dados referentes ao teste Tukey, processados pelo software PAST. Observa-se com isso, que: A (Medição 01), B (Medição 02), C (Medição 03), D (Medição 04), E (Medição 05) e F (Medição 06) representam as amostras testadas em que os números em destaque em cor vermelha, indicam que as amostras testadas se diferenciam.

	A	B	C	D	E	F
A		0,9789	0,2251	0,0032	0,0001	0,0001
B	1,0210		0,6477	0,0303	0,0002	0,0001
C	3,1810	2,1800		0,6252	0,0277	0,0005
D	5,3900	4,3690	2,2090		0,8280	0,0655
E	7,5930	6,5720	4,4120	2,2030		0,8145
F	9,3510	8,3300	6,1700	3,9610	1,7580	

Tabela 17- Teste Tukey (Pinos de superfícies semiesféricas). Fonte: PAST (2013)

De acordo com a Tabela 17 observa-se diferenças significativas entre as amostras 1 e 4; 1 e 5; 1 e 6; 2 e 4; 2 e 5; 2 e 6; 3 e 5; 3 e 6.

	A	B	C	D	E	F
A		0,9943	0,9485	0,3339	0,0061	0,0001
B	0,7667		0,7083	0,1142	0,0010	0,0001
C	1,2570	2,0240		0,8637	0,0793	0,0001
D	2,8680	3,6350	1,6120		0,6071	0,0001
E	5,1170	5,8830	3,8600	2,2480		0,0008
F	11,0800	11,8500	9,8240	8,2120	5,9640	

Tabela 18- Teste Tukey (Parafusos). Fonte: PAST (2013)

Conforme a Tabela 18 houve diferenças significativas entre as amostras 1 e 5; 1 e 6; 2 e 5; 2 e 6; 3 e 6; 4 e 6; 5 e 6.

4 Conclusões

O controle e análise de qualidade de Referências de Nível para o monitoramento de estruturas geodésicas altimétricas e estabelecimento de padrões de referência metrológica, são importantes, pois diversos estudos como: o monitoramento vertical de estruturas da engenharia, densificação de Redes Geodésicas, estudos de subsidências na superfície terrestre, entre outros, são dependentes da confiabilidade destas RRNN.

Por isso, os procedimentos metodológicos para o cumprimento deste trabalho consideraram equipamentos e métodos com alta exatidão e precisão. Portanto, procurou-se isentar os dados levantados de possíveis erros grosseiros e sistemáticos, isto possível a partir de uma sequência de procedimentos, desde a coleta até a organização dos dados em softwares específicos (Excel 2016, Adjust 4.6, MATLAB R2016a, AstGeoTop 2012, PAST 3.24).

Além disso, foi aplicado métodos de análise e métodos estatísticos para verificar possíveis incorrências nos dados coletados a partir do cálculo do erro de fechamento dos circuitos nivelados, da análise de tolerância dos circuitos, verificação da precisão do equipamento, assim como a análise estatística com o teste Qui-Quadrado.

A análise da estabilidade da rede geodésica altimétrica local exigiu inicialmente o controle altimétrico das RRNN do IBGE utilizada neste trabalho. Embora os relatórios informem o estado físico atual das RRNN, há a necessidade de ir in loco para uma real confirmação. Além disso, as informações constantes no banco de dados geodésicos do IBGE, podem apresentar discrepâncias devido ao reajustamento geral da rede de RRNN, exigindo sempre um controle altimétrico, quando são considerados os casos de levantamentos e aplicações para a engenharia.

Neste trabalho foram densificadas 22 novas estruturas geodésicas altimétricas (cf.2.1). Estas foram medidas em seis campanhas de medições. O intervalo total de tempo entre as campanhas foi de 401 dias, o que favoreceu uma análise da estabilidade das estruturas em um período de um ano.

O controle e a análise da qualidade, consideraram o MMQ – modelo paramétrico e testes esta-

tísticos, resultando na determinação das observações ajustadas, dos resíduos ajustados e das altitudes ajustadas, com valores condizentes aos métodos de processamento aplicados. Neste sentido, este trabalho contribui com o fornecimento de infraestruturas geodésicas para diversas aplicações em projetos de engenharia no Campus Recife da UFPE e seu entorno.

A partir da análise temporal sobre os desníveis ajustados e altitudes ajustadas a linha l_{19}^a e l_{15}^a , (RN05 e RN04; RN05 e PEPS05) e a linha l_{15}^a , entre a RN CTG01 e a RN CTG02 (Figura 2), apresentam, respectivamente, as maiores e menores discrepâncias para os desníveis ajustados (linhas de nivelamento) em relação a rede geodésica altimétrica local.

Para as altitudes ajustadas, considerando os 14 pinos implantados nos pilares da RRC, obteve-se para a rede formada pelos pinos de superfície semiesférica: a menor variação de discrepância na RN RNEPS04 em módulo de 0,59 mm e a maior variação de discrepância na RNEPS01 em módulo de 5,35 mm. Para as altitudes ajustadas, considerando a rede formada pelos parafusos, obteve-se: a menor variação de discrepância na RN P-EPS04 em módulo de 0,38 mm e a maior variação de discrepância na RN P-EPS05 em módulo de 5,50mm.

Portanto, conclui-se que estruturas da rede demonstraram através dos dados analisados instabilidade, conforme os resultados apresentados nas Tabelas 8, 9, 10 e 11.

5 Agradecimentos

Nossos agradecimentos à PROPESQ/UFPE pela bolsa de pesquisa CAPES/PROPESQ, ao Departamento de Engenharia Cartográfica pela concessão dos Equipamentos e acessórios locados no Laboratório de Geodésia – LAGEO, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação e ao Projeto de Pesquisa nº 3076.040512/2015-15 Propesq/UFPE. Ao Projeto de Pesquisa Processo nº 454844/2012-3 PROPESQ/UFPE - Projeto Edital PQ Multiusuário 2014 e ao projeto de Pesquisa intitulado a Geodésia aplicada à discretização de edificações prediais e o estabelecimento de padrões de referência metroológica, PROPESQ/UFPE.

Referências

- Cavalcanti, R. M. S. 2012. Indicadores Geomorfológicos, Riscos e o Planejamento Urbano: uma apreciação teórica integradora para a cidade do Recife – PE. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Doutorado, 184p.
- Duchnowski, R. 2011. Robustness of Strategy for Testing Levelling Mark Stability Based on Rank Tests. *Survey Review*, 43(1), 687-699.
- Filipiak-Kowszyk, D.; Kaminski, W. & Przyborski, M. P. 2015. Accuracy Analysis of Determination the Vertical Displacements in Unstable Reference System. In: FIG working week 2015 from the wisdom of the ages to the challenges of the modern world, Full article, Sofia, Bulgaria, p. 1-12.
- Garnés, S. J. A. 2016. AstGeoTop (Software). Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Federal de Pernambuco Recife 2016.
- Gemael, C., Machado, A. M. L. & Wandresen, R. 2015. Brasil. Introdução ao Ajustamento de Observações. Aplicações Geodésicas. 2 ed. Curitiba, Paraná, 430 p.
- Gemael, C. 1994. Brasil. Introdução ao Ajustamento de Observações. Curitiba, Paraná 319p.
- Gomes, F. P. 1990. Brasil. Curso e Estatística Experimental. Escola Superior de Agricultura, Lins de Queiroz – São Paulo, p. 24-30.
- IBGE. 2017. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesta/default.shtm>. Acesso em 20 abr. 2017.
- ISO 17123, 2001. International Organization for Standardization: Optics and Optical Instruments – Field Procedures for Testing Geodetic and Surveying Instruments – Part 2. Levels. Geneva, 14p.
- Kahmen, H. 2006. Alemanha: Angewandete Geodaesie. Vermessungskunde. Alemanha 20p.
- Plag, H. P. & Pearlman, M. 2009. Alemanha. Global Geodetic Observing System. Meeting the Requirements of a Global Society on a Changing Planet in 2020. Springer-Berlin Springer Verlag, 332p.
- Seixas, A. de & Seixas, J. R. de. 2015. Controle e Monitoramento de Recalques - Edifício em Construção do Laboratório Integrado de Tecnologia em Petróleo, Gás e Biocombustíveis - LITPEG CTG/UFPE. In: Projeto de Pesquisa nº 3076.040512/2015-15.
- Seixas, A. de, Seixas, J. R. de & Seixas, J. J. de. 2012. Verification and Control of Vertical Bench Mark Applied for Settling Measurements of Large Structure Buildings. In: FIG Working Week 2012, Full article, Rome, Italy p. 1-12.
- Silva, E. V. & Seixas, A. de. 2017a. O Estabelecimento de Padrões de Referência Metroológica. Controle e Análise da Qualidade de Estruturas Geodésicas Altimétricas Implantadas no Campus Recife da UFPE. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69 (9): 1807-1832.
- Silva, E. V., Seixas, A. de. 2017b. Análise Temporal da Qualidade de Estruturas da RAAP no Campus Recife da UFPE e o Estabelecimento de uma Rede Altimétrica Local. In: IV Simpósio Brasileiro de Geomática – SBG2017 II Jornadas Lusófonas - Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica - CTIG2017 Presidente Prudente, 2017. Artigo completo, Presidente Prudente, UNESP, p. 423-429.
- Silva, E. V. 2017. Monitoramento de Estruturas Geodésicas Altimétricas e Estabelecimento de Padrões de Referência Metroológica. Campus Recife da UFPE. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 165p.
- Suci, F. M. & Faggin, P. L. 2012. Análise da Estabilidade da Rede Geodésica de Monitoramento da UHE Salto Coxias a Partir de Dados GPS, Curitiba - Brasil. *Boletim Ciências Geodésicas*, 18 (4) 564-582.