

## O método do alinhamento para a densificação de rede de referência cadastral municipal - RRCM

### RESUMO

O método do alinhamento, devido as suas características, foi recentemente incluído na norma técnica brasileira NBR14166/2022 que estabelece os critérios para a implantação e densificação de uma rede de referência cadastral municipal (RRCM). A implantação de RRCM surge como condição básica de todos os sistemas de informações de natureza geoespacial, considerando as exigências cada vez maiores de planejamento e gestão dos municípios de conhecerem melhor seus territórios. Para a aplicação do método do alinhamento foi realizada, em uma rede já estabelecida, a implantação de dois pontos para fins de densificação da rede, utilizando estação total e os acessórios previsto na NBR14166/2022, sendo a materialização realizada de duas formas previstas na mesma, parafuso e furo. Pouco difundida entre os agrimensores brasileiros esta técnica proporciona, pela sua simplicidade, praticidade e precisão no levantamento e no ajustamento dos pontos, a determinação das coordenadas de forma rápida e segura. Todo o procedimento descrito na NBR14166/2022 foi validado em campo comprovando sua eficácia em termos de aplicabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Método do Alinhamento. NBR14166. Rede de Referência Cadastral Municipal. Cadastro Territorial. Georreferenciamento.

#### Cesar Rogério Cabral

[ccabral@ifsc.edu.br](mailto:ccabral@ifsc.edu.br)  
<https://orcid.org/0000-0003-4170-4410>  
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

#### Francisco Henrique de Oliveira

[chico.udesc@gmail.com](mailto:chico.udesc@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0001-5884-5215>  
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

#### Markus Hasenack

[hasenack@ifsc.edu.br](mailto:hasenack@ifsc.edu.br)  
<https://orcid.org/0000-0003-4477-9143>  
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

#### Flavio Boscatto

[flavio.boscatto@ifsc.edu.br](mailto:flavio.boscatto@ifsc.edu.br)  
<https://orcid.org/0000-0002-8866-5140>  
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

#### Ivandro Klein

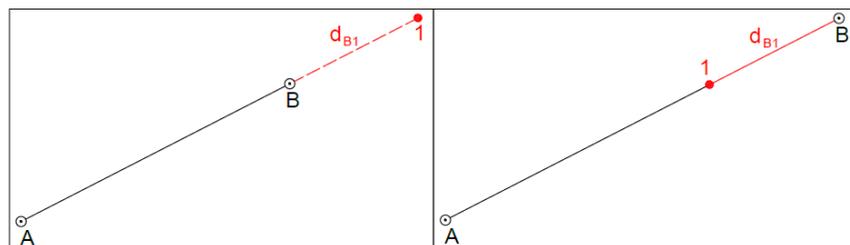
[ivandroklein@gmail.com](mailto:ivandroklein@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-4296-592X>  
Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.  
Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, Paraná, Brasil.

## INTRODUÇÃO

Recentemente, foi lançada a segunda versão da norma técnica NBR14166 (ABNT, 2022), que trata da Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM). Nesta versão atualizada, estão previstos novos métodos para a implantação e a densificação de vértices da RRCM, como o método do alinhamento.

No Brasil, o método do alinhamento é apresentado no Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) para a determinação das coordenadas de um ponto que compõe os limites de um imóvel rural. Neste caso, a única observação necessária é a distância a um dos pontos conhecidos mensurado por outra técnica (INCRA, 2022). A Figura 1 ilustra o uso do método para a medição dos vértices de limite, sendo que os pontos A e B apresentados são pontos que foram obtidos por meio de medição e não são necessariamente vértices de uma rede. Neste caso, é necessário o cálculo do azimute da direção para a definição das coordenadas. Esta definição e o próprio método de medição e de cálculo contidos em INCRA (2022) apresentam diferenças em relação aos adotados em países com forte tradição em cadastro conforme será apresentado neste trabalho.

Figura 1 – Método do alinhamento no georreferenciamento rural

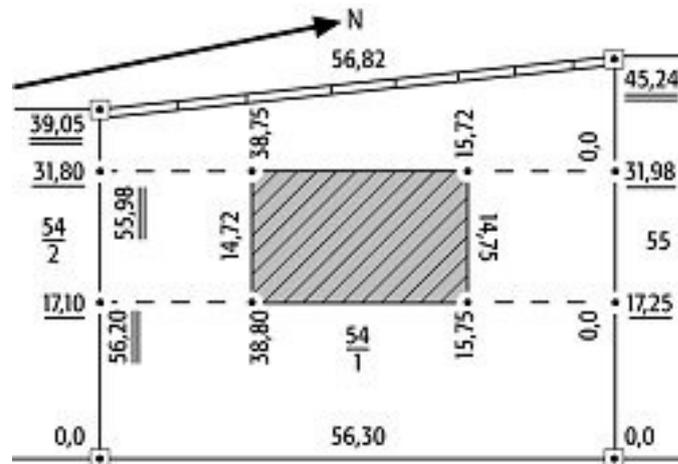


Fonte: INCRA (2022).

O método do alinhamento é definido em Lexikon der Geowissenschaften (2022) como sendo o método de levantamento da posição em que os pontos a serem registrados ou demarcados são integrados em uma rede de linhas de medição dispostas sobre a área do levantamento ou em determinados limites de propriedade. A Figura 2 mostra um croqui da aplicação do método, que é utilizado principalmente para levantamento de superfícies geométricas de formato regular, como por exemplo, edifícios retangulares alongados. Este método só pode ser utilizado com uma rede de linhas existente e em conexão com outros métodos de registro de localização, como por exemplo, métodos ortogonais.

A divulgação nacional do método do alinhamento é o principal propósito deste artigo, sendo este um método pouco difundido no Brasil, além do conceito inadequado contido em INCRA (2022). Desta forma, pretendemos tratar dos conceitos, dos procedimentos para a correta execução dos levantamentos, do método de cálculo das coordenadas dos novos pontos e da propagação dos erros conforme a NBR14166/2022 (ABNT, 2022), apresentando assim mais uma técnica eficiente para ser utilizada pelos agrimensores na densificação de uma RRCM. Além disso, destaca-se que na literatura consultada, o referido método é apresentado utilizando trena e alinhamento visual de balizas, sendo a sua aplicação com estação total, como descrita neste artigo, algo inédito no conhecimento dos autores deste trabalho. Outra contribuição inédita deste trabalho é a aplicação e validação do método do alinhamento conforme os critérios técnicos previstos na NBR14166/2022.

Figura 2 – Croqui do método do alinhamento no cadastro alemão



Fonte: Lexikon der Geowissenschaften (2022).

Ressalta-se que mesmo na literatura internacional em inglês o método do alinhamento não é abordado em livros clássicos como Vaníček e Krakiwsky (1986), Ghilani (2010) ou Torge e Müller (2012). Em nosso conhecimento, se quer existe um termo ou nomenclatura consolidada para o mesmo no idioma inglês. Em pouquíssimas referências como Blachut et al. (1979), o mesmo é apresentado como “*extension method*”. Portanto, o presente artigo busca ser uma fonte de referência para o referido método a todos os profissionais do Brasil não familiarizados com idiomas como o alemão.

Para atingir este objetivo, primeiramente discutimos a importância da RRCM para o cadastro territorial e multifinalitário, depois apresentamos o método do alinhamento conforme as especificações da NBR14166/2022 (ABNT, 2022), incluindo uma dedução matemática inédita para a obtenção dos desvios-padrões dos novos vértices determinados. Na sequência, é apresentada a aplicação prática do mesmo com estação total, ressaltando diversos aspectos que devem ser adotados para qualquer método de medição, mas que ainda são pouco difundidos no Brasil, como a importância da confecção do croqui do levantamento. Comparações com o método polar ou de irradiação são realizadas tanto em diferença de coordenadas quanto em diferença de desvios-padrões. Por fim, trazemos as considerações finais e principais recomendações deste trabalho.

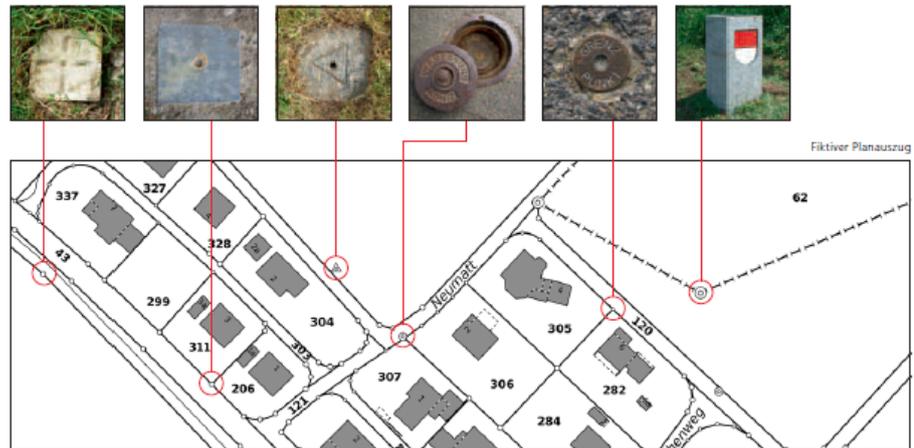
## A IMPORTÂNCIA DA REDE DE REFERÊNCIA CADASTRAL

As redes denominadas cadastrais são implantadas em nosso país para serem utilizadas somente ao apoio de voos aerofotogramétricos quando da contratação de um cadastro que na maioria ou até mesmo na totalidade das vezes é utilizado para fins fiscais em um sistema de informação geográfica (CABRAL et al., 2020; HASENACK, 2000). Com esta visão de “rede cadastral” os marcos implantados são rapidamente destruídos e raramente a rede é densificada.

Entretanto, a implantação de uma rede de referência cadastral municipal (RRCM) deve ser considerada como infraestrutura básica pelos municípios pois permite que todos os levantamentos sejam realizados no mesmo referencial (OLIVEIRA, 2010), com precisão adequada, controlando a propagação dos erros e facilitando o intercâmbio de informações entre os vários temas dos cadastros necessários a uma boa gestão municipal.

Para que a RRCM se perpetue em um município, faz-se necessária a adoção de procedimentos adequados, gestão e materialização de seus vértices. Esta questão abrange desde procedimentos de implantação e densificação, até mesmo ao uso e manutenção da rede. A Figura 3 apresenta uma carta cadastral com algumas formas de materialização dos vértices da rede. Existe uma série de possibilidades para se demarcar esses pontos em locais públicos, sobretudo na área urbana, desde simples furos até a confecção de marcos em concreto.

Figura 3 – Exemplo de Carta cadastral e demarcações dos pontos



Fonte: SWISSTOPO (2011)

Ressalta-se que a RRCM deve ser realizada dentro de normativas detalhadas para que os procedimentos a serem adotados tenham qualidade e precisões aos fins que se destinam (PHILIPS, 1996). A norma técnica recentemente revisada NBR14166/2022 (ABNT, 2022), que trata da implantação e densificação da RRCM, passou a considerar métodos já consagrados internacionalmente como o posicionamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*), estação livre, poligonização e o método do alinhamento utilizando estação total, uma alternativa até então inédita de aplicação deste método, tradicionalmente realizado por meio de trena e alinhamento visual de balizas.

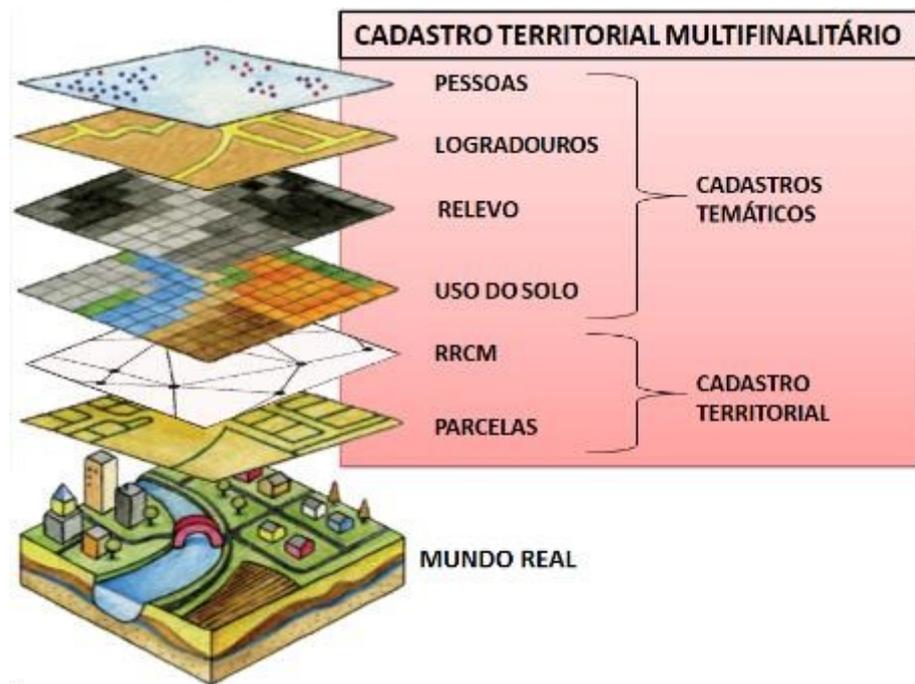
Neste contexto, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) mantém o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), composto de cinco redes (IBGE, 2022): 1) a gravimétrica, composta por estações gravimétricas; 2) a altimétrica, composta pelas referências de nível; 3) a planialtimétrica, composta pelas estações SAT cujas coordenadas geodésicas foram determinadas por GNSS; 4) a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPPG), composta por marégrafos e; 5) a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), composta por estações SAT (GNSS) ativas.

Com a popularização e uso contínuo das técnicas GNSS, propiciando melhores precisões e produtividade, as clássicas redes planimétricas de triangulação do SGB não são mais utilizadas. Neste sentido, destaca-se que os primeiros vértices a serem implantados em uma RRCM, denominados vértices superiores na NBR14166/2022, devem ser levantados com tecnologia GNSS a partir de estações SAT (ativas ou passivas) do SGB. No entanto, a densificação da RRCM ao nível do levantamento deve ser efetuada de forma gradual à medida que os profissionais necessitem de vértices mais próximos aos pontos a serem levantados. Ressalta-se ainda que no ambiente urbano nem sempre há condições para o rastreamento adequado de sinais GNSS, devendo-se então utilizar métodos de levantamento com estação total (KLEIN et al., 2017).

Além disso, os cadastros territoriais, devido ao seu caráter legal, devem ser executados de forma que a qualquer tempo o ponto levantado possa ser restituído e ter sua posição verificada quando necessário, não gerando dúvidas quanto a sua posição e suas coordenadas. Portanto, as medições devem ser executadas a partir de uma rede densa ao nível do levantamento (KLEIN et al., 2017; SILVA; ANTUNES, 2020), com as respectivas técnicas definidas em normativas técnicas.

É importante destacar que outros cadastros temáticos que venham a compor um sistema multifinalitário também devem, a espelho do territorial, estar associados a uma mesma RRCM (FIG, 1995), facilitando a tão desejada intercambialidade dos dados e a fácil locação de obras de infraestrutura. A Figura 4 apresenta uma ilustração das camadas dos cadastros temáticos, onde cada nível representa um tema da infraestrutura do município. A rede de referência é a base de amarração para todos os temas. Detalhes sobre o cadastro territorial multifinalitário fogem do escopo deste trabalho, mas podem ser obtidos nas referências indicadas.

Figura 4 – Cartas de um cadastro multifinalitário



Fonte: Araújo et al. (2020).

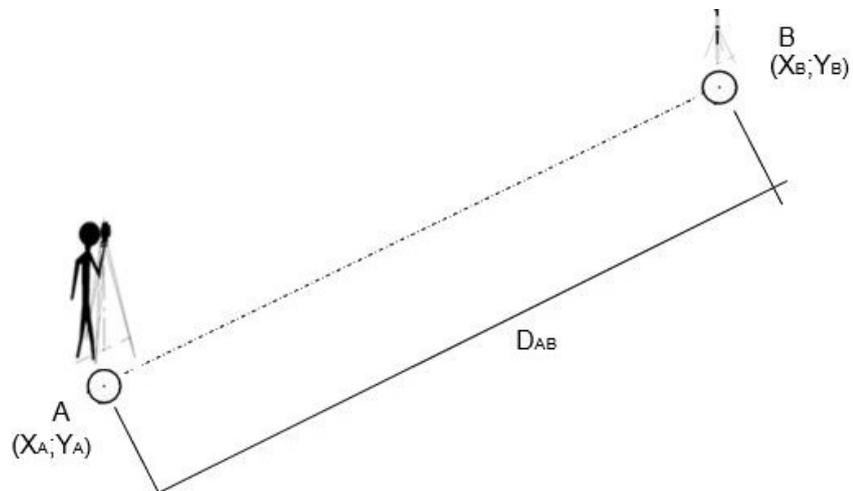
## O MÉTODO DO ALINHAMENTO

O método do alinhamento consiste em medir um ou mais pontos em um alinhamento conhecido (FUHRMANN, 2010), a partir de um dos pontos fixos com coordenadas conhecidas que definem este alinhamento. Neste caso, esses pontos conhecidos são vértices de uma rede de referência.

Para a aplicação do método do alinhamento em uma rede de referência, como descrito neste artigo, deve-se utilizar estação total em um dos vértices conhecidos visando o outro vértice da rede para a medição das distâncias. Desta forma, é possível garantir o alinhamento, pois na visada entre os dois pontos da rede o próprio equipamento auxilia nesta condição entre os vértices de referência. No segundo vértice da rede (vértice de visada), deve-se instalar um prisma apoiado em bipé ou tripé. A estação total deve ser travada na direção horizontal neste

alinhamento e então executada a medição da distância horizontal total. A Figura 5 apresenta esquematicamente o início da medição.

Figura 5 – Aplicação do método do alinhamento na medição de distância entre os vértices da rede de referência



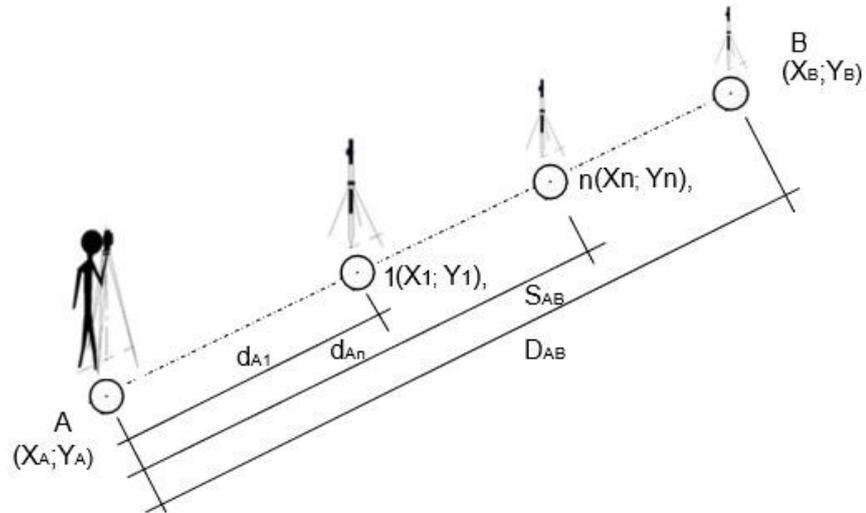
Fonte: Autoria própria (2022).

Para a correta aplicação do método, algumas condições segundo a NBR14166/2022 devem ser obedecidas, garantindo a qualidade dos novos pontos a serem estabelecidos, sendo estas (ABNT, 2022, p. 10-11):

- a) Deve-se utilizar estação total, tanto para as medições de distâncias, quanto para a garantia do alinhamento dos novos vértices da RRCM;
- b) Deve-se realizar ao menos duas medidas de distância a cada ponto visado;
- c) O prisma refletor deve estar em bastão dotado de nível de bolha, apoiado em bipé, tripé ou em dispositivo de centragem forçada;
- d) Recomenda-se o uso do mesmo prisma refletor, bastão ou dispositivo de centragem forçada em todo o alinhamento, para evitar erros resultantes do uso de diferentes instrumentos;
- e) O vértice a ser determinado pelo método do alinhamento deve, sempre que possível, ser intervisível a outro vértice da RRCM ou do SGB distante não menos do que 100 m deste;
- f) O novo vértice deve estar situado entre os dois pontos de controle ao longo do alinhamento.

A Figura 6 mostra as distâncias medidas entre os vértices da rede de referência, representados pelos pontos A e B, e aos novos pontos medidos, representados pelos pontos 1 e n.

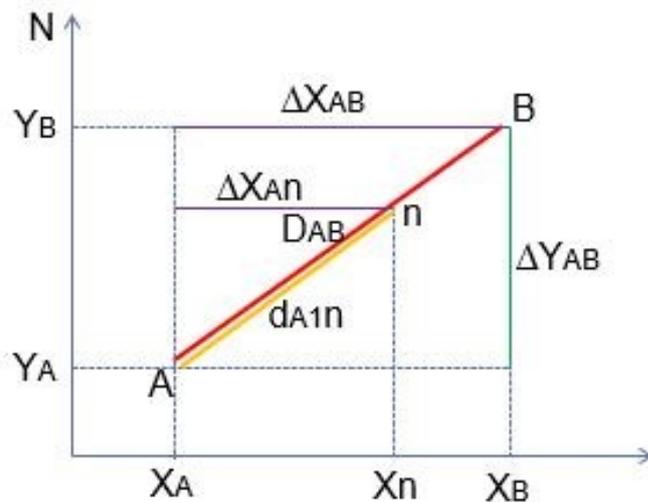
Figura 6 – Implantação de novos pontos no alinhamento AB



Fonte: Autoria própria (2022).

O modelo matemático para a determinação das coordenadas dos novos pontos no método de alinhamento é baseado nas relações métricas de um triângulo retângulo onde as distâncias horizontais são as hipotenusas, e os catetos são as projeções do sistema coordenado (WITTE; SCHMIDT, 1995; PETRAHN, 2003). Desta forma, o ajustamento das novas coordenadas ao sistema é assegurado, não havendo necessidade de transformação entre sistemas. Outro fato a destacar é que neste método apenas a medição linear é utilizada, sem a necessidade de medição ou cálculo de elementos angulares. A Figura 7 apresenta esquematicamente os elementos para o cálculo.

Figura 7 – Relação geométrica dos elementos para o cálculo



Fonte: Autoria própria (2022).

As fórmulas utilizadas para a determinação das coordenadas dos novos pontos de uma RRCM utilizando o método do alinhamento são apresentadas nas Equações (1) e (2). Ressalta-se que não existem nos atuais *softwares* de automação topográfica disponíveis no Brasil, ferramentas para o cálculo das coordenadas e dos respectivos desvios-padrões deste método.

$$X_n = X_I + \frac{\bar{d}}{\bar{D}} \cdot \Delta X, \quad Y_n = Y_I + \frac{\bar{d}}{\bar{D}} \cdot \Delta Y \quad (1)$$

$$\Delta X = (X_F - X_I), \quad \Delta Y = (Y_F - Y_I) \quad (2)$$

Onde:

$X_n, Y_n$  são as coordenadas do novo ponto da RRCM;

$X_I, Y_I$  são as coordenadas do vértice da RRCM ou marco geodésico do SGB referentes ao ponto de estação;

$\bar{d}$  é a média das distâncias horizontais medidas do ponto de estação ao novo vértice a ser determinado no alinhamento;

$\bar{D}$  é a média das distâncias horizontais medidas do ponto de estação ao outro vértice conhecido da RRCM ou marco geodésico do SGB;

$X_F, Y_F$  são as coordenadas do vértice final (conhecido) do alinhamento.

Note a simplicidade das Equações (1) e (2) em relação ao formulário apresentado em INCRA (2022) para a conversão de coordenadas cartesianas geocêntricas (georreferenciadas) para um sistema cartesiano local e vice-versa. No caso, basta entrar com as coordenadas  $X_I, Y_I$  e  $X_F, Y_F$  no sistema de coordenadas desejado, sem envolver parâmetros de translação, escala e rotação.

As expressões a seguir para os desvios-padrões das coordenadas planimétricas ( $\sigma_X, \sigma_Y$ ) do vértice da RRCM foram determinadas por meio da lei de propagação de variâncias e covariâncias (GEMAEL et al., 2015, capítulo 3). No caso, aplicando as derivadas parciais nas expressões anteriores, resulta em:

$$\frac{\partial X_n}{\partial X_I} = 1 + \frac{\bar{d}}{\bar{D}} \cdot (-1) = 1 - \frac{\bar{d}}{\bar{D}}, \quad \frac{\partial X_n}{\partial X_F} = \frac{\bar{d}}{\bar{D}}, \quad \frac{\partial X_n}{\partial \bar{d}} = \frac{\Delta X}{\bar{D}}, \quad \frac{\partial X_n}{\partial \bar{D}} = -\frac{\Delta X \cdot \bar{d}}{\bar{D}^2} \quad (3)$$

$$\frac{\partial Y_n}{\partial Y_I} = 1 + \frac{\bar{d}}{\bar{D}} \cdot (-1) = 1 - \frac{\bar{d}}{\bar{D}}, \quad \frac{\partial Y_n}{\partial Y_F} = \frac{\bar{d}}{\bar{D}}, \quad \frac{\partial Y_n}{\partial \bar{d}} = \frac{\Delta Y}{\bar{D}}, \quad \frac{\partial Y_n}{\partial \bar{D}} = -\frac{\Delta Y \cdot \bar{d}}{\bar{D}^2} \quad (4)$$

Desta forma, considerando que as observações não possuem correlação e a propagação de variâncias na forma algébrica (GHILANI, 2010, capítulo 6), resulta em:

$$\sigma_X = \sqrt{\left(\frac{\partial X_n}{\partial X_I}\right)^2 \cdot \sigma_{X_I}^2 + \left(\frac{\partial X_n}{\partial X_F}\right)^2 \cdot \sigma_{X_F}^2 + \left(\frac{\partial X_n}{\partial \bar{d}}\right)^2 \cdot \sigma_{\bar{d}}^2 + \left(\frac{\partial X_n}{\partial \bar{D}}\right)^2 \cdot \sigma_{\bar{D}}^2} \quad (5)$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y_n}{\partial Y_I}\right)^2 \cdot \sigma_{Y_I}^2 + \left(\frac{\partial Y_n}{\partial Y_F}\right)^2 \cdot \sigma_{Y_F}^2 + \left(\frac{\partial Y_n}{\partial \bar{d}}\right)^2 \cdot \sigma_{\bar{d}}^2 + \left(\frac{\partial Y_n}{\partial \bar{D}}\right)^2 \cdot \sigma_{\bar{D}}^2} \quad (6)$$

Onde “ $\sigma_k$ ” é o desvio-padrão da respectiva grandeza “ $k$ ”. Por exemplo, “ $\sigma_{X_I}$ ” corresponde ao desvio-padrão da coordenada “ $X_I$ ”, “ $\sigma_{Y_I}$ ” corresponde ao desvio-padrão da coordenada “ $Y_I$ ” e assim por diante.

Substituindo as expressões obtidas para as derivadas parciais nas equações anteriores, resulta nas fórmulas apresentadas para  $\sigma_X$  e  $\sigma_Y$ , ou seja, para os desvios-padrões das coordenadas planimétricas do vértice da RRCM nas Equações (7) e (8). Ressalta-se que as expressões anteriores foram deduzidas pelos autores e não foram encontradas em nenhuma referência consultada da literatura.

$$\sigma_X = \sqrt{\left(1 - \frac{\bar{d}}{D}\right)^2 \cdot \sigma_{X_I}^2 + \left(\frac{\Delta X}{D}\right)^2 \cdot \sigma_{\bar{d}}^2 + \left(\frac{\Delta X \cdot \bar{d}}{D^2}\right)^2 \cdot \sigma_D^2 + \left(\frac{\bar{d}}{D}\right)^2 \cdot \sigma_{X_F}^2} \quad (7)$$

$$\sigma_Y = \sqrt{\left(1 - \frac{\bar{d}}{D}\right)^2 \cdot \sigma_{Y_I}^2 + \left(\frac{\Delta Y}{D}\right)^2 \cdot \sigma_{\bar{d}}^2 + \left(\frac{\Delta Y \cdot \bar{d}}{D^2}\right)^2 \cdot \sigma_D^2 + \left(\frac{\bar{d}}{D}\right)^2 \cdot \sigma_{Y_F}^2} \quad (8)$$

Finalmente, a precisão planimétrica (desvio-padrão horizontal ou 2D) para o novo vértice é dada por:

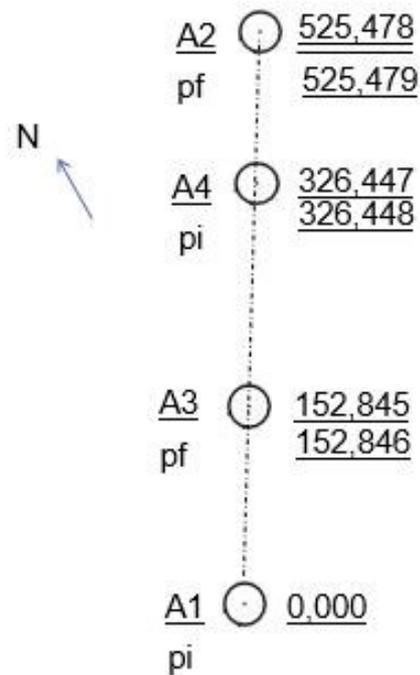
$$\sigma_{2D} = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2} \quad (9)$$

Note a melhor precisão (menor desvio-padrão) na posição do novo ponto pelo método do alinhamento em relação ao método polar, pois, todos os termos presentes na propagação de erros para as coordenadas do novo ponto nas Equações (7) e (8) são menores do que um, além de se desconsiderar observações angulares no cálculo, que podem ser as maiores fontes de erros nas determinações planimétricas (ver GHILANI, 2010, capítulo 7).

Além disso, erros sistemáticos multiplicativos, como fator de escala da projeção e efeitos da refração atmosférica, são cancelados na divisão das distâncias  $\frac{\bar{d}}{D}$  nas Equações (1) e (2). Outra fonte de erro sistemático eliminada no método do alinhamento é o desvio da vertical, tanto no efeito angular quanto no efeito linear que também é multiplicativo ou proporcional as distâncias (ver FRANÇA et al., 2021, 2022).

Antes da execução da medição devemos realizar alguns procedimentos de identificação e checagem dos vértices da rede referência, verificando por meio de suas monografias a sua correta localização, coordenadas e desvios-padrões. Independentemente do método de levantamento, é importante a confecção de um croqui da medição anotando os principais dados do levantamento, conforme a Figura 8, mesmo que os dados de medição sejam gravados na memória interna da estação total.

Figura 8 – Exemplo de croqui de medição do levantamento

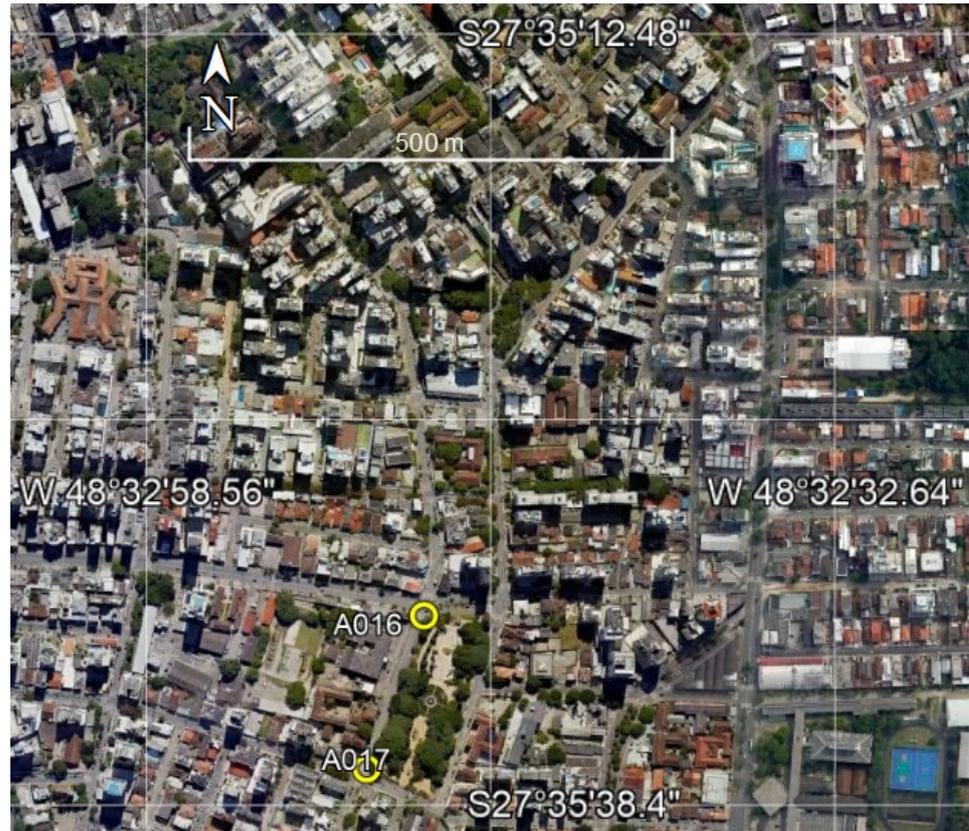


Fonte: Autoria própria (2022).

### APLICAÇÃO DO MÉTODO DO ALINHAMENTO

Um estudo de caso do método do alinhamento foi realizado em campo com a finalidade de densificar a rede existente e demonstrar os procedimentos práticos de medição, bem como os cálculos de coordenadas e propagação das precisões. Nas proximidades do local, já existem vértices de uma rede de referência implantada e densificada conforme a NBR14166/2022 (ABNT, 2022) (<http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/agrimensura/rede-ifsc/>), sendo os dois vértices utilizados como referência (A016 e A017) situados na Praça Getúlio Vargas, centro de Florianópolis/SC. A Figura 9 apresenta a disposição desses vértices na referida praça. Dois novos pontos foram implantados para a densificação da rede utilizando os procedimentos recomendados na NBR14166/2022 para o método do alinhamento.

Figura 9 – Disposição dos vértices existentes da rede de referência



Fonte: Adaptado do *Google Earth* (2022).

Ressalta-se que todo vértice da rede de referência existente possui monografia, conforme modelo da NBR14166/2022, sendo esse documento de vital importância para manutenção da rede e publicidade das informações técnicas. As informações essenciais são as coordenadas, precisões, nome do vértice, localização, fotografias e croquis. Como exemplo, a Figura 10 apresenta a monografia do vértice A016 utilizado como ponto de estação das medições.

Figura 10 – Monografia de um vértice existente da rede de referência



**NBR14166 – Monografia de vértice de Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM)**

**IDENTIFICAÇÃO DO VÉRTICE**

<b>Município / UF:</b> Florianópolis / SC
<b>Bairro:</b> Centro
<b>Endereço:</b> Esquina da Rua Dom Joaquim com Av. Rio Branco (Praça)
<b>Responsável Técnico:</b> Curso Técnico de Agrimensura
<b>Identificação do Vértice:</b> A016
<b>Tipo de Materialização:</b> Pino
<b>Método de Determinação:</b> Poligonal
<b>Vértices de Referência do Ajustamento:</b>
<b>Observações Gerais:</b> Atualizado em 09/12/2021

**COORDENADAS GEODÉSICAS, ALTIMÉTRICAS E PLANO-RETANGULARES DO VÉRTICE**

<b>Sistema Geodésico de Referência:</b> SIRGAS 2000		
<b>Datum Altimétrico:</b>		
<b>Sistema de Coordenadas Plano-Retangulares:</b> UTM (FUSO 22 S)		
<b>Coordenadas Geodésicas</b>	<b>Coordenadas Retangulares (UTM)</b>	<b>Coordenadas Locais (PTL)</b>
<b>φ:</b> -27°35'32,0568" ± 0,004 m	<b>N:</b> 6945563,9229 ± 0,004 m	<b>y:</b> 250244,031 m
<b>λ:</b> -48°32'48,1008" ± 0,004 m	<b>E:</b> 742159,6096 ± 0,004 m	<b>x:</b> 149512,732 m

<b>Altitude Elipsoidal</b>	<b>Altitude Ortométrica</b>	<b>Altitude Arbitrária</b>
<b>h:</b> ± m	<b>H:</b> ± m	<b>z:</b> m

**Descrição do Vértice (Itinerário):** ponto materializado na esquina da Praça Getúlio Vargas em frente ao Restaurante

**MAPA DE SITUAÇÃO, CROQUI DE DETALHES E REGISTROS FOTOGRÁFICOS DO VÉRTICE**




<b>Data do Levantamento:</b>	<b>Data do Processamento:</b> 09/12/2021
------------------------------	--

Fonte: Autoria própria (2022).

Para a realização das medições, o equipamento utilizado foi uma estação total do fabricante Ruide, modelo série 820 com precisão nominal angular de 2" e linear de 2 mm + 2 ppm. A Figura 11 mostra a estação total estacionada sobre o vértice de referência (A016) e travada na direção do segundo vértice (A017), pronta para a realização das medições.

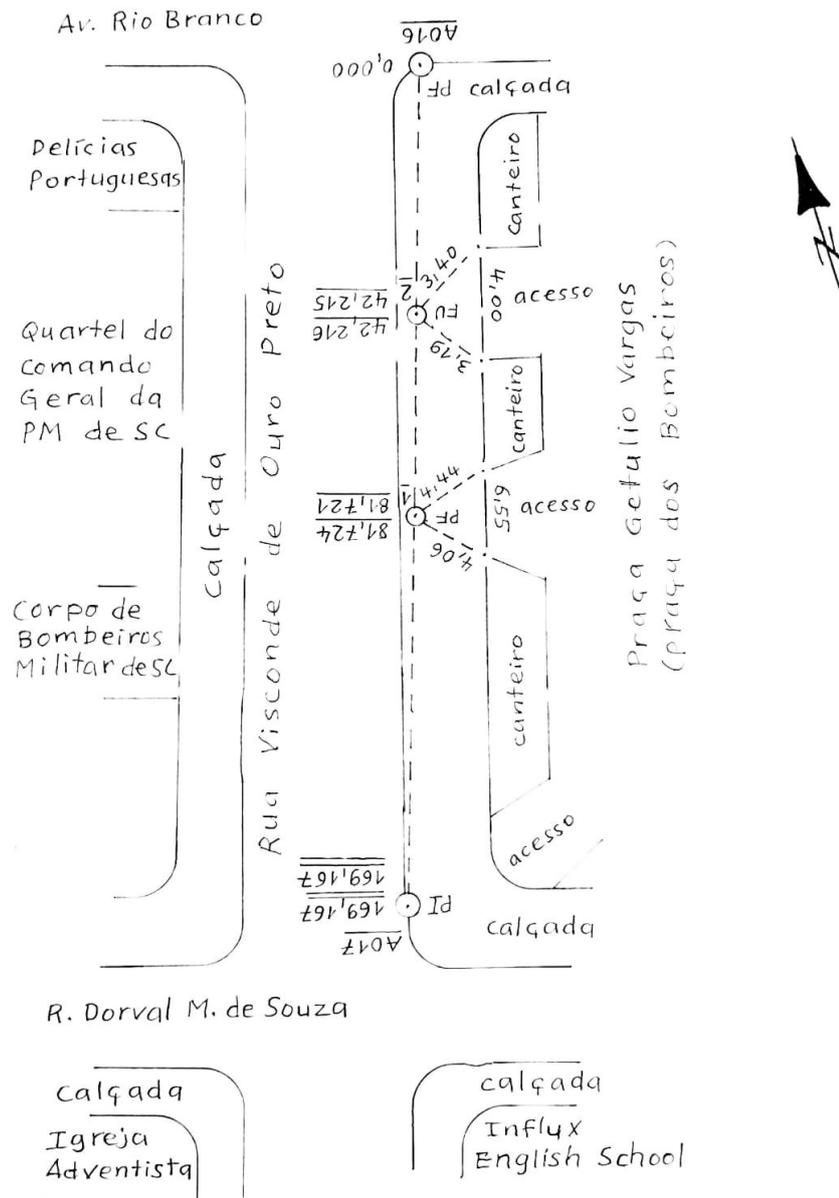
Figura 11 – Estação total instalada no vértice A016



Fonte: Autoria própria (2022).

Antes da realização das medições, foi confeccionado um croqui com as principais informações sobre o local, devendo constar obrigatoriamente no croqui os vértices de referência, a localização dos novos pontos medidos e as distâncias medidas. Outras informações podem estar representadas para melhor localizar e identificar os pontos, como feições nas proximidades e também distâncias até as mesmas. O croqui é apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Croqui do levantamento de novos vértices pelo método do alinhamento



Fonte: Autoria própria (2022).

A codificação dos novos pontos a serem incorporados na rede de referência pode ser anotada no croqui de forma provisória, pois os dados levantados em campo devem passar por uma validação no setor que gerencia as informações da rede de referência. Posteriormente, este setor atribuirá um código para o mesmo de forma definitiva e a publicação da monografia visando sua utilização no futuro.

A definição da localização dos novos vértices levou em consideração a existência de outros vértices da rede a no mínimo 100 m de distância conforme preconiza a NBR14166/2022, bem como que fossem posicionados em locais de interesse em futuros levantamentos. Desta forma, tanto o ponto 1 quanto o ponto 2 foram demarcados em entrada de acessos para a praça, com visadas para outros pontos da rede. A Figura 13 mostra alguns detalhes da medição executada: à esquerda superior o prisma instalado no vértice a ser medido e obtida a distância total. Na esquerda inferior uma fotografia da luneta da estação apontando para o

vértice A017 e a direita o novo ponto (ponto 1) materializado com parafuso e arruela.

Figura 13 – Detalhes do levantamento



Fonte: Autoria própria (2022).

Com a estação total travada na direção horizontal de visada e o croqui confeccionado, foram executadas as medições no ponto da rede e em seguida foi definido o local para a perfuração dos novos pontos, executadas as suas materializações e realizadas as medições. A materialização dos pontos 1 e 2 foi realizada conforme item 6.4 da NBR14166/2022, sendo um com parafuso de aço inox de bucha 8 mm e outro com furo na superfície de 8 mm de diâmetro e no mínimo 10 mm de profundidade.

Com o croqui e os dados de medição, utilizando-se as fórmulas apresentadas anteriormente, foi elaborada uma planilha de cálculo no programa *Excel* que apresenta como resultado as coordenadas dos novos pontos no sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e no PTL (Plano Topográfico Local), com seus respectivos desvios, conforme extrato na Figura 14.

Figura 14 – Extrato da planilha de cálculo

Coordenadas de Referência					
	N° Ponto	Coordenadas		Desvio	
		X	Y	X	Y
Ponto Partida A	A016	742159,6096	6945563,923	0,004	0,004
Ponto Chegada B	A017	742097,2415	6945406,608	0,005	0,005
Medição Distância Total					
	Distância 1	Distância 2	Controle		Controle (S-D)
	169,167	169,167	OK		OK
Novos pontos					
Coordenadas do Ponto			Desvios		Controle
N° ponto	Xn	Yn	X	Y	
1	742129,4803	6945487,9261	0,0064	0,0065	OK
2	742144,0457	6945524,6652	0,0052	0,0052	OK
Coordenadas de Referência					
	N° Ponto	Coordenadas		Desvio	
		X	Y	X	Y
Ponto Partida A	A016	149512,732	250244,031	0,004	0,004
Ponto Chegada B	A017	149453,523	250085,558	0,005	0,005
Medição Distância Total					
	Distância 1	Distância 2	Controle		Controle (S-D)
	169,167	169,167	OK		OK
Novos pontos					
Coordenadas do Ponto			Desvios		Controle
N° ponto	Xn	Yn	X	Y	
1	149484,1289	250167,4746	0,0064	0,0065	OK
2	149497,9564	250204,4842	0,0052	0,0052	OK

Fonte: Autoria própria (2022).

O resultado desta planilha foi comparado ao resultado obtido no programa de automação topográfica *Geooffice*, considerando um levantamento polar, com suas devidas transformações entre os sistemas PTL (X,Y) e UTM (E,N). A Tabela 1 apresenta o comparativo entre os dois procedimentos.

Tabela 1 – Comparativo de coordenadas PTL (X,Y) e UTM (E,N): alinhamento - polar

Ponto	Alinhamento		Polar		Diferença (mm)	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X	Y
1	149484,1289	250167,4746	149484,1296	250167,4767	0,7	2,1
2	149497,9564	250204,4842	149497,9568	250204,4850	0,4	0,8
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	E	N
1	742129,4803	6945487,9261	742129,4816	6945487,9283	1,3	2,2
2	742144,0457	6945524,6652	742144,0462	6945524,6658	0,5	0,6

Fonte: Autoria própria (2022).

Além da comparação entre as coordenadas, foi realizada ainda a comparação entre os desvios-padrões fornecidos por ambos os métodos. O formulário para obtenção dos desvios-padrões pelo levantamento polar é apresentado, por exemplo, em Ghilani (2010), Klein e Lima (2018) ou no Anexo E da norma técnica NBR13133/2021 (ABNT, 2021). A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 2: Desvios-padrões (em mm) das coordenadas dos novos pontos

Novo Ponto	Polar ou Irradiação			Alinhamento		
	Sigma E	Sigma N	Sigma 2D	Sigma E	Sigma N	Sigma 2D
<b>1</b>	6,3	5,8	8,6	3,0	5,3	6,1
<b>2</b>	5,7	5,7	8,0	3,5	5,1	6,2

Fonte: Autoria própria (2022).

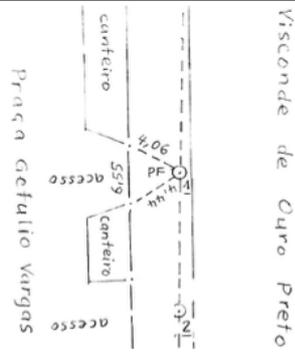
Analisando a Tabela 2, nota-se que o método do alinhamento de fato fornece melhor precisão aos novos pontos levantados do que o método polar. Além disso, analisando as Tabelas 1 e 2, nota-se que as diferenças obtidas foram inferiores as respectivas precisões em todos os casos considerados. Como a diferença de orientação dos sistemas UTM e PTL é dada pela convergência meridiana, sendo esta da ordem de apenas 1° 08' na região considerada, considerou-se em termos práticos as precisões das coordenadas este (E) e norte (N) em UTM iguais as precisões das coordenadas X e Y em PTL, respectivamente.

Por fim, foram elaboradas as monografias dos novos vértices da rede de referência, conforme modelo da NBR14166/2022. A Figura 15 apresenta a monografia do ponto 1 determinado pelo método do alinhamento.

Ressalta-se que os procedimentos descritos aqui, como confecção do croqui de levantamento e monografia do vértice bem como a execução das medições com controle e tolerâncias conforme normativas técnicas não se aplicam apenas ao método do alinhamento. Infelizmente, algumas destas questões, como a confecção adequada de um croqui de levantamento, ainda são pouco difundidas no Brasil independente do método de levantamento utilizado. Detalhes sobre o tema ao leitor interessado podem ser obtidos em Hasenack (2000) e Cabral et al. (2013).

Desta forma, este estudo de caso demonstrou e validou de forma inédita o método do alinhamento de acordo com os parametros técnicos estabelecidos na NBR14166/2022. Devido a falta de literatura em Português ou mesmo em Inglês sobre o método do alinhamento, bem como *softwares* de automação topográfica com este método devidamente implementado, profissionais que desejarem fazer uso do mesmo podem recorrer a metodologia e recomendações aqui descritas, seja para densificação de RRCM, seja para o levantamento de novos pontos.

Figura 15 – Monografia do ponto 1 determinado por alinhamento

IDENTIFICAÇÃO DO VÉRTICE			
Município/UF: Florianópolis/SC			
Bairro: Centro			
Endereço: Rua Visconde de Ouro Preto - Praça Getúlio Vargas (Praça dos Bombeiros)			
Responsável técnico: IFSC			
Identificação do vértice: Ponto 1			
Tipo de materialização: Parafuso com arruela			
Método(s) de determinação: Alinhamento			
Vértices de referência do(s) ajustamento(s):			
A016 e A017			
Observações gerais: Ponto localizado próximo ao meio fio de granito no alinhamento dos vértices de referência e em frente a um dos acessos da praça. Ponto materializado com parafuso aço inox e arruela.			
COORDENADAS GEODÉSICAS, ALTIMÉTRICAS E PLANO-RETANGULARES DO VÉRTICE			
Sistema geodésico de referência: SIRGAS2000			
Datum altimétrico: não utilizado para esse vértice			
Sistema de coordenadas plano-retangulares (TM ou PTL):			
$\varphi = 27^{\circ} 35'34,5438'' S$	N = 6945487,9261	Y = 250167,4746	Desvio-padrão = 0,005
$\lambda = 48^{\circ} 32'49,1439'' W$	E = 742129,4803	X = 149484,1289	Desvio-padrão = 0,003
h =		H =	Desvio-padrão = 0,006
Descrição do vértice e itinerário:			
Ponto localizado na Praça Getúlio Vargas, conhecida como praça dos bombeiros. O ponto fica nas proximidades de uma das entradas da praça, próximo ao corpo de bombeiros e no alinhamento dos pontos utilizados como referência. As distâncias à elementos físicos de canteiros da praça estão no croqui a seguir			
MAPA DE SITUAÇÃO, CROQUI DE DETALHES E REGISTROS FOTOGRÁFICOS DO VÉRTICE			
			
Data do levantamento: 08/06/2022		Data do processamento: 08/06/2022	

Fonte: Autoria própria (2022).

## CONCLUSÕES

O método do alinhamento é prático porque requer apenas a medição de distâncias a partir de um único ponto de estação. É simples porque seu modelo matemático permite o cálculo em qualquer sistema de coordenadas sem envolver parâmetros de translação, escala ou orientação. É preciso porque não requer ângulos horizontais, cancela erros sistemáticos lineares multiplicativos como a refração atmosférica, a deformação da projeção e o desvio da vertical e todos os termos envolvidos na propagação de erros são menores do que a unidade.

Portanto, devido a sua praticidade, simplicidade e precisão, é uma excelente solução tanto para o levantamento de pontos de interesse quanto para a densificação de redes de referência. Apesar disso, este método ainda é pouco difundido no Brasil (e mesmo na literatura internacional no idioma inglês), sendo essa a principal finalidade desta contribuição. Como desvantagem, o mesmo tem a limitação do novo ponto estar restrito ao alinhamento (linha de visada) entre dois vértices pré-existentis da rede, condição essa que pode ser problemática em alguns casos, notoriamente em ambientes urbanos.

Desta forma, ao planejarmos a localização dos vértices de uma rede de referência, devemos levar em conta a possibilidade de densificação por meio da metodologia aqui descrita dispondo de vértices de referência intersíveis o mais distante possível. Dependendo da configuração do sistema viário, é possível realizar a expansão da rede aplicando intensamente o método do alinhamento.

Ressalta-se que a implantação e densificação de uma RRCM é necessária mesmo com a evolução da tecnologia GNSS, considerando a possibilidade de utilização de vários métodos de levantamentos e das condicionantes locais que não permitam o rastreamento de satélites GNSS ou pelo tempo necessário para tal. Neste sentido, a NBR14166/2022 apresenta critérios técnicos e objetivos para avaliar se um local possui condições de rastreamento GNSS ou a densificação da RRCM deve ser realizada com métodos de levantamento com estação total.

Destaca-se ainda que o método do alinhamento é um exemplo clássico de aplicação do princípio da vizinhança definido na norma técnica NBR13133/2021 (ABNT, 2021), onde o novo ponto é ajustado em relação aos dois vizinhos pré-existentes do alinhamento, reduzindo assim erros relativos entre estes. O princípio da vizinhança é largamente aplicado em países com tradição em cadastro territorial como Alemanha, Áustria e Suíça (HASENACK, 2000; FUHRMANN, 2010).

Além disso, o método do alinhamento pode e deve ser utilizado não somente na densificação da rede de referência como também no levantamento de detalhes, neste caso podendo utilizá-lo da forma clássica com trena e alinhamento visual por balizas. Ressalta-se que o método do alinhamento com uso de estação total como descrito neste trabalho não consta em nenhuma publicação consultada pelos autores. Outras contribuições inéditas deste trabalho foram a dedução matemática da propagação de erros do referido método e a aplicação e validação do mesmo de acordo com os parâmetros técnicos da NBR14166/2022.

Desta forma, métodos como o da estação livre e do alinhamento devem ser considerados e difundidos em instituições de ensino e por profissionais que atuam em medição, pois proporcionam qualidade e agilidade na implantação de pontos de uma rede de referência ou no levantamento de pontos de interesse.

Por fim, destaca-se que a nova versão da NBR14166/2022 trouxe ferramentas para a implantação e densificação de uma RRCM única, que deve ser utilizada por todos aqueles que necessitem de levantamentos georreferenciados, podendo ser compartilhados em um único sistema cadastral.

# The extension method for the densification of reference network

## ABSTRACT

The extension method, due to its features, was recently included in the Brazilian technical standard NBR14166, which establishes the criteria for the implementation and densification of reference networks. The implementation of municipal reference networks emerges as a basic condition for all information systems, considering the increasing requirements of planning and management of the municipalities' territories. In order to apply the method in an already established network, the implantation of two points for the purpose of densification of the network was carried out using the total station and the accessories predicted in the technical standard NBR14166. The materialization of such points was conducted in two forms (also predicted in the technical standard NBR14166): screw and hole. Due to its simplicity, practicality, and precision, this method provides the determination of the coordinates of network points quickly and safely. The entire procedure described in the technical standard NBR14166 was validated in the field campaign, proving its effectiveness in terms of applicability.

**KEYWORDS:** Extension method. NBR14166. Municipal Reference Network. Land Registry. Georeferencing.

## AGRADECIMENTO

Os autores agradecem aos alunos: Anderessa Barbosa Ferreira, Anna Paula Izidoro Leão, Athur Dala Rosa, Guilherme Martins, Joel Roza, Michel Francisco Cardoso dos Santos e Leandro dos Santos Goetten do Curso Técnico em Agrimensura do IFSC, responsáveis pelo levantamento em campo utilizando o método do alinhamento sob supervisão dos Professores Flavio Boscatto e Sofia Stancke Pundek. O último autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Processo 313699/2021-6).

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. L.; BOSCATTO, F.; FRANÇA, R. M.; CABRAL, C. R.; KLEIN, I.; HASENACK, M. Por que o cadastro territorial deve se estruturar com parcelas 2D. In: Anais do XIV COBRAC. Florianópolis, 09 a 12 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR-13133: 2021: Execução de levantamento topográfico - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR-14166: 2022: Rede de Referência Cadastral Municipal – Requisitos e Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BLACHUT, T. J.; CHRZANOWSKI, A.; SASTAMOINEN, J. H. **Urban surveying and mapping**. Springer-Verlag, New York, 1979. 372 p.

CABRAL, C. R.; HASENACK, M.; PHILIPS, J. W. Originais de levantamento cadastral. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 2, 2013. DOI: 10.14393/rbcv65n2-43837.

CABRAL, C. R.; HASENACK, M.; FRANÇA, R. M.; ARAÚJO, A. L.; BOSCATTO, F. Uma proposta de Cadastro Territorial para o Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, p. 745-764, 2020. DOI: 10.14393/rbcv72nespecial50anos-56469.

FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DE GEÔMETRAS - FIG. Statement on the Cadastre. 1995. Disponível em: <[http://www.fig.net/commission7/reports/cadastre/statement\\_on\\_cadastre.html](http://www.fig.net/commission7/reports/cadastre/statement_on_cadastre.html)>. Acesso em: 02 jun. 2022.

FRANÇA, R. M.; KLEIN, I.; VEIGA L. A. K. The influence of the deflection of the vertical on geodetic surveys in Brazil. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 27(spe), 2021. DOI: 10.1590/s1982-21702021000s00020.

FRANÇA, R. M.; KLEIN, I.; VEIGA L. A. K. Quality of the deflection of the vertical obtained from global geopotential models in horizontal geodetic positioning. **Applied Geomatics**, v. 14, p. 795–810, 2022. DOI: 10.1007/s12518-022-00473-9.

FUHRMANN, N. Grenzuntersuchung im Liegenschaftskataster durch orthogonale und moderne Verfahren unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in Nordrhein-Westfalen, 2010. 434 p.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. L.; WANDRESSEN, R. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas**. 2° ed. Curitiba, Ed. UFPR, 2015. 430 p.

GHILANI, C. D. **Adjustment Computations: Spatial Data Analysis**. 3rd ed. Hoboken, John Wiley & Sons, 2010. 647 p.

HASENACK, M. **Originais de Levantamento Topográfico Cadastral – Possibilidade de Sua Utilização Para a Garantia dos Limites Geométricos dos Bens Imóveis**. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA\_ - IBGE. IBGE atualiza mapa das Redes do Sistema Geodésico Brasileiro. 2022. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/32570-ibge-atualiza-mapa-das-redes-do-sistema-geodesico-brasileiro>. Acesso em: 02 jun 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. Manual Técnico para georreferenciamento de imóveis rurais. 1° Edição, 2022. 55p.

KLEIN, I.; GUZATTO, M. P.; HASENACK, M.; CABRAL, C. R.; LIMA, A. P. B.; FRITSCH, S.; REGINA JUNIOR, L. A. M.; MOMO, G. F. Rede de referência municipal para estações livres: Uma proposta de baixo custo e grande abrangência. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, p. 519-532, 2017. DOI: 10.14393/rbcv69n3-44346.

KLEIN, I.; LIMA, A. P. B. Estudos iniciais sobre a incerteza posicional dos vértices de imóveis urbanos a luz do SINTER. In: Anais do XIII COBRAC. Florianópolis, 21 a 24 out. 2018.

LEXIKON DER GEOWISSENSCHAFTEN. Einbindeverfahren. Disponível em: <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/einbindeverfahren/3755>. Acesso em: 03 jun.2022.

OLIVEIRA, F. H. Da multifinalidade do cadastro. In: CUNHA, E. M. P.; ERBA, D. A. (Org.). Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros (Manual de apoio). 1ed. Brasília: Ministério das Cidades, v. 1, p. 87-106, 2010.

PETRAHN, G. Taschenbuch Vermessung : Grundlagen der Vermessungstechnik. Verlag: Cornelsen Verlag Gmbh, 2003. 419p.

PHILIPS, J. Os dez mandamentos para um cadastro moderno de bens imobiliários. In: Anais II Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – COBRAC. Florianópolis, 13 a 17 out 1996, p. II – 170.

SILVA, S. D. R. S.; ANTUNES, A. F. B. O Cadastro Territorial Multifinalitário no contexto dos Processos de Regularização Fundiária Urbana. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. 2, p. 233–252, 2020. DOI: 10.14393/rbcv72n2-48360.

SWISSTOPO. Die amtliche Vermessung der Schweiz. 2011. 24 p.

TORGE, W.; MÜLLER, J. **Geodesy**. 4 ed. De Gruyter, Berlim, 2012. 433 p.

VANÍČEK, P.; KRAKIWSKY, E. J. **Geodesy: the concepts**. 2 ed. Elsevier Science Publisher, Amsterdam, 1986. 697 p.

WITTE, B.; SCHMIDT, H. Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen. – 3.,neuarbeitete Auflage – Stuttgart: Wittwer, 1995. 748p.

**Recebido:** 23 jun. 2022

**Aprovado:** 09 nov. 2022

**DOI:** 10.3895/rbgeo.v11n1.15647

**Como citar:** CABRAL, C. R.; OLIVEIRA, F. H.; HASENACK, M.; BOSCATTO, F.; KLEIN, I.. O método do alinhamento para a densificação de rede de referência cadastral municipal - RRCM. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 11, n. 1, p. 393-415, jan./mar. 2023. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Cesar Rogério Cabral

Rua 14 de Julho, 150, Bairro Coqueiros, CEP 88075-010, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

