

Desenvolvimento do plugin Topography para cálculo de poligonais planialtimétricas fechadas por taqueometria para utilização no software QGIS

RESUMO

Keyla Sa Teles Rocha Alves
keyla.alves@arquitetura.ufjf.br
orcid.org/0000-0003-0306-8302
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IFSEMG), Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

Sandro Henrique de Faria
sandro.faria@ifsudestemg.edu.br
orcid.org/0000-0002-1046-6467
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais (IFSEMG), Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

Kaike Sa Teles Rocha Alves
kaike.alves@engenharia.ufjf.br
orcid.org/0000-0002-3258-0025
Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

Este trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento do plugin Topography para o cálculo de poligonais planialtimétricas fechadas por taqueometria, aplicável e executável em ambiente acadêmico, utilizando um software de Sistema de Informação Geográfica (SIG). O software QGIS foi escolhido por ser um Sistema de Informação Geográfica livre e aberto, sendo amplamente utilizado. Foi desenvolvida uma interface gráfica do usuário possibilitando a inserção de dados no formato de arquivo CSV, bem como campos para a apresentação dos resultados obtidos. O *plugin* dispõe nesta primeira versão da funcionalidade de cálculo de poligonais planialtimétricas fechadas utilizando o método de *Bowditch* para a compensação do erro linear planimétrico. Os erros angular e altimétrico foram ajustados com base na média, isto é, por parcelas iguais. Contudo, futuros estudos visam dar continuidade ao seu desenvolvimento, aprimorando-o e acrescentando outras funcionalidades de maneira a expandir suas possibilidades de uso. Após a conclusão do *plugin Topography* foram realizados testes de validação com dados “reais” presentes em cadernetas topográficas. Estas foram calculadas pelo *plugin* e por planilhas eletrônicas que serviram como base de comparação. Os resultados obtidos mostraram que o *plugin* realiza o cálculo das coordenadas X, Y e Z (sistema topográfico local) com mais agilidade, permitindo sua visualização em uma camada do tipo *shapefile*.

PALAVRAS-CHAVE: Topografia. Sistema de Informação Geográfica (SIG). Linguagem Python. Regra de *Compass*.

INTRODUÇÃO

A informação adquirida pelo levantamento topográfico é também um modo de aquisição de dados para Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Nesse cenário, a demanda por software de SIG livre e aberto que possua ferramenta específica para o processamento destes dados, pode ser alcançada através da criação de plugins (complementos).

De acordo com a NBR 13133 (ABNT, 2021, p. 5) um levantamento topográfico é o:

emprego de métodos para determinar as coordenadas topográficas de pontos, relacionando-os com os detalhes, visando à sua representação planimétrica em escala predeterminada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ou com pontos cotados.

Para a realização de um levantamento topográfico é necessário um apoio topográfico que servirá como base ao levantamento. Estes são pontos referenciados, e podem ser do tipo altimétrico, planimétrico ou planialtimétrico. À figura geométrica determinada com os pontos materializados do apoio topográfico dá-se o nome de Poligonal, divididas em classes como poligonal principal (PP) e poligonal secundária (PS), esta última recebe este nome por apoiar-se na poligonal principal (ABNT, 2021). Quanto ao desenvolvimento das poligonais elas ainda podem ser classificadas como abertas, fechadas e enquadradas (MCCORMAC; SARASUA; DAVIS, 2016).

Em um levantamento topográfico, as observações de campo: ângulos e distâncias, inevitavelmente contém erros de medida que podem ser de natureza grosseira, sistemática e aleatória (COMASTRI, 1992). Tais erros não permitem que haja um “fechamento” geométrico correto da poligonal, sendo necessário a realização de uma distribuição dos erros nas observações (CARVALHO *et al.*, 2011).

Dentre os diversos métodos analíticos disponíveis para a distribuição destes erros, utilizou-se o método “tradicional de compensação”. Este método é frequentemente apresentado nas literaturas (PASCINI; MENZORI, 2013; MCCORMAC; SARASUA; DAVIS, 2016; GHILANI, 2017; ABNT, 2021). Ele consiste na correção dos ângulos horizontais e desníveis baseando-se na média, isto é, uma distribuição uniforme destes erros. Enquanto a correção do erro linear é realizada seguindo o método de *Bowditch* ou regra de *compass*.

Dentre os métodos de levantamento planialtimétrico disponíveis estão os que fazem uso da taqueometria, método ainda hoje amplamente ensinado nas disciplinas de topografia e, por este motivo, escolhido para este trabalho. Ele permite determinar as coordenadas do objeto através de um sistema de medição taqueométrico (SEIXAS, 2009). Basicamente, esse sistema obtém indiretamente a distância horizontal e a diferença de nível entre dois pontos, utilizando os equipamentos de medida, teodolito ou nível (DIAS *et al.*, 2017).

Outro aspecto importante é a representação desses dados em alguma ferramenta computacional. Assim, surge no âmbito da automatização das

operações de cálculos e representações gráficas, o SIG. Em síntese, é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) ou *Geographic Information System* (GIS) que realiza o tratamento computacional de dados geográficos (MIRANDA, 2010). Também são capazes de capturar, armazenar, consultar, manipular, analisar, exibir e imprimir dados referenciados espacialmente sobre a superfície da Terra (BAISCH, 2018).

Atualmente, dentre os programas e ferramentas SIG disponíveis, o *QGIS* é um dos mais utilizados em virtude de suas características, *software* livre e de código aberto, que serve para processar dados geoespaciais. Ele funciona em diferentes sistemas operacionais, como o *Windows*, *Linux* e *macOS* (MENKE *et al.*, 2016).

Por definição, na informática, um *plugin* é um programa de computador usado para adicionar funções a outros programas maiores, provendo alguma funcionalidade especial ou muito específica (*PLUG-IN*, 2023). Ainda, em *QGIS*, qualquer usuário que tenha conhecimento em programação, pode implementar um *plugin* utilizando principalmente as linguagens *Python* e *C++* para seu desenvolvimento.

Neste contexto, entre os motivos para a crescente utilização desse *software* de geoprocessamento, encontra-se o fato de o *QGIS* ser um programa totalmente *open source*. Ou seja, um código projetado para ser acessado abertamente pelo público. Além disso, o *QGIS* é um *software* de SIG, que permite a análise, manipulação e geração de dados georreferenciados, como também permite a criação de complementos (*plugins*) por desenvolvedores independentes (MENKE *et al.*, 2016).

Posto isto, neste projeto foi introduzida uma proposta metodológica usual para *plugins* do *QGIS*, utilizando a linguagem de programação *Python*, a qual é considerada, se comparada à linguagem em *C++*, mais fácil de escrever, entender, manter e distribuir devido à natureza dinâmica da linguagem *Python*.

Destarte, o *QGIS* fornece em sua instalação a ferramenta *Qt Designer*, sendo *Qt* uma biblioteca de programação em *C++* que utiliza um código-fonte para o desenvolvimento de aplicações multiplataforma. Portanto, o *Qt Designer* é uma *Qt* que fornece uma interface de usuário para criar componentes gráficos, denominados *widgets*. Com isso é possível gerenciar diferentes *layouts* de interface.

O *Qt Designer* também permite traduzir o conteúdo de um arquivo *.ui* em código *Python* gerando o *PyQt*. Assim, os arquivos *.ui* são criados pelo *Qt Designer*, visto que essa ferramenta não produz código em nenhuma linguagem de programação específica, porque possui linguagem e plataforma independentes. Desta forma, é possível usar o código *Python* gerado para construir aplicações em virtude da interface gráfica.

Tendo em vista que a execução de cálculos topográficos e suas representações demandam um tempo considerável. A busca por processos de automatização, de modo a tornar menos árdua diversos tipos de tarefas, têm se tornado cada vez mais acessíveis e utilizados.

Garré e Weymar (2016), sugerem o uso combinado de programas de computador (*AutoCAD Map 3D*, *ArcGIS* e *Excel*), para realização de trabalhos no âmbito da topografia.

Rison *et al.* (2020), apresenta uma demonstração do uso do *software Topograph 98*, que executa diferentes tarefas, dentre elas o processamento de dados topográficos.

Agora, em *QGIS*, Ferreira, Amorim e Batistela (2020), elucidam a criação de um *plugin* para o *QGIS*, com o objetivo de automatizar o processamento de mapas e fornecer as representações das variáveis topográficas pré-definidas.

Amorim *et al.* (2021), também descreve o desenvolvimento de um *plugin* para o *QGIS* com destino a aquisição de *MDE Topodata* e processamento de mapas a partir de variáveis morfométricas.

Assim sendo, realizou-se pesquisas no repositório de *plugins* do *QGIS Python*, em 02/06/2022, à procura por *plugins* que tenham como funcionalidades o cálculo de poligonais a partir de uma caderneta taqueométrica e foi constatada a inexistência do mesmo até o momento presente.

Em comum, esses trabalhos apontam a necessidade de uma ferramenta específica para os cálculos topográficos de levantamentos planialtimétricos com ganho de produtividade e livre acesso. Logo, esta pesquisa buscou realizar um estudo para aprimoramento de um *software* de SIG, com o desenvolvimento de um *plugin* específico para cálculo de poligonais planialtimétricas fechadas por taqueometria.

A razão de desenvolver um *plugin* para um Sistema de Informação Geográfica livre e aberto, é poder adicionar funcionalidades que ainda não existem, com o propósito de realizar a aplicação de cálculos de cadernetas taqueométricas.

O objeto de estudo origina-se da necessidade de otimização de tempo/custo para realizar atividades que demandam a utilização de *softwares* topográficos. Dessa maneira, a dificuldade para cumprimento dessas tarefas pode ser solucionada mediante desenvolvimento desse *plugin*, a fim de executá-las de forma simples.

O *plugin Topography*, para o *software QGIS*, mostra-se muito útil na execução dos cálculos de poligonais planialtimétricas fechadas por taqueometria, visando auxiliar no aprendizado das disciplinas de topografia, com a finalidade de obtenção dos valores das coordenadas absolutas X, Y e Z dos pontos de interesse. Portanto, os cálculos efetuados pelo *plugin* permitem criar uma camada de pontos, do tipo *shapefile*, a partir das coordenadas obtidas.

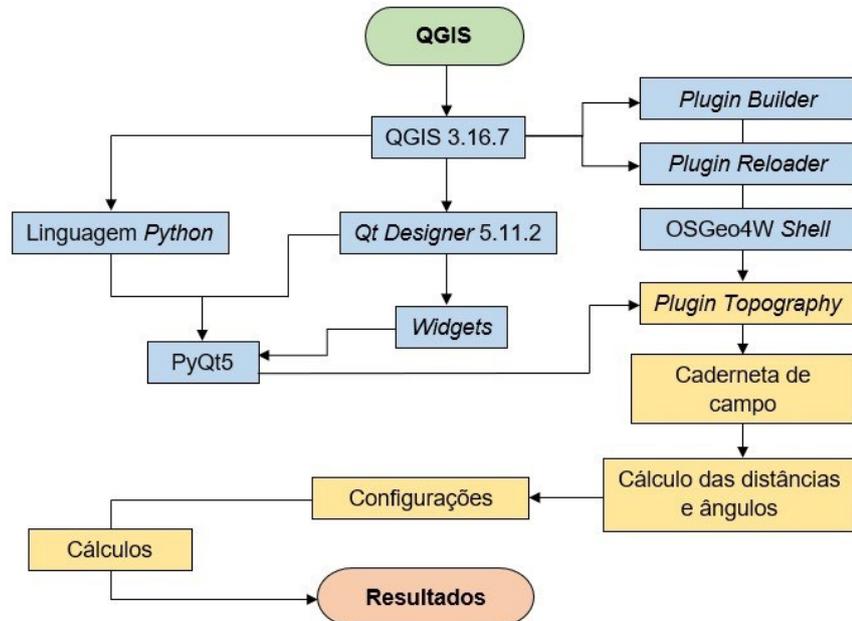
O *plugin* conta, nesta primeira versão, com as funcionalidades de cálculo de poligonais planialtimétricas fechadas por taqueometria, aceitando levantamentos realizados por meio de leituras angulares simples, pares conjugados com a luneta na posição direta e luneta na posição inversa (LPD e LPI) e por repetições.

MATERIAL E MÉTODOS

O processo de construção do *plugin Topography* é apresentado por meio de um fluxograma (Figura 1) que contém, em síntese, os passos que foram utilizados nesta metodologia. Basicamente, pode-se observar a partir do fluxograma elaborado, que o *plugin Topography* se dá a partir do *software QGIS*.

Por conseguinte, o processo foi dividido em duas etapas, sendo a primeira delas ilustrada em azul, onde contém todas as ferramentas que foram aplicadas para gerar o executável do *plugin*. E a segunda ilustrada em amarelo, no qual apresenta a sequência utilizada para programação do *plugin Topography*, assim, gerando os resultados.

Figura 1 – Processo de construção do *plugin Topography*

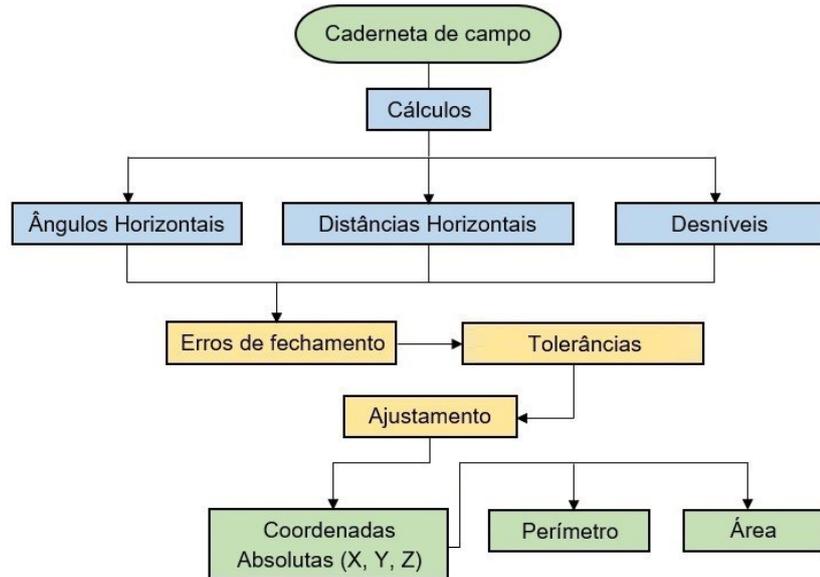


Fonte: Autoria própria (2023).

Na segunda etapa, foi inserida uma caderneta taqueométrica em formato CSV exigido pelo *plugin*, calculada e conferida com auxílio de planilhas eletrônicas, utilizada para efetuar a programação do *plugin* em estudo. Após o cálculo das distâncias e ângulos, é possível configurar, na aba “Configurações” do *plugin*, as informações da poligonal planialtimétrica fechada a ser calculada. Essas informações serão preenchidas pelo usuário de acordo com suas especificidades, previstas na NBR 13133/2021, conforme apresentado com mais detalhes nas seções subsequentes: erro horizontal angular e sua compensação; precisão relativa; e cálculo do erro altimétrico e sua compensação (ABNT, 2021). Esta é base para gerar os resultados e os cálculos produzidos por esse processo, as equações serão apresentadas nas seguintes seções: cálculo de poligonal - planimetria; cálculo de poligonal - altimetria; cálculo da área e perímetro; e cálculo dos azimutes de referência.

As etapas utilizadas na construção do *plugin Topography* são apresentadas no fluxograma da Figura 2.

Figura 2 – Cálculos utilizados na construção do *plugin Topography*



Fonte: Autoria própria (2023).

CÁLCULO DE POLIGONAL - PLANIMETRIA

Para o cálculo da poligonal fechada planimétrica utilizou-se o método de *Bowditch* para compensação do erro linear planimétrico, isto é, as correções são realizadas nas coordenadas relativas (ΔX e ΔY) proporcionalmente aos comprimentos dos lados da poligonal (GHILANI, 2017). A distribuição do erro horizontal angular foi realizada utilizando o conceito de média, isto é, todos os vértices recebem a mesma correção. A partir de futuros estudos, pretende-se também implementar o ajustamento da poligonal pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) por ser mais rigoroso.

CÁLCULO DOS ÂNGULOS HORIZONTAIS

Os ângulos horizontais compreendidos entre os alinhamentos da poligonal foram determinados subtraindo a observação horizontal angular à vante da observação horizontal angular à ré. Nos casos de leituras por repetição e pares conjugados, o ângulo horizontal médio é determinado pela média dos ângulos calculados. O *plugin* está apto para os cálculos que envolvem as técnicas de medições de direções horizontais: simples, por repetições e pares conjugados.

ERRO HORIZONTAL ANGULAR E SUA COMPENSAÇÃO

Segundo Carvalho *et al.* (2011) o erro angular cometido em uma poligonal, pode ser calculado pela Eq. (1) considerando os ângulos internos, percorrida no sentido anti-horário indicado pelo usuário na aba “Configurações” do *plugin* ou pela Eq. (2) considerando os ângulos externos, percorrida no sentido horário também informado pelo usuário.

$$e_a = \sum_{i=1}^n \alpha_i - 180(n - 2) \quad (1)$$

$$e_a = \sum_{i=1}^n \alpha_i - 180(n + 2) \quad (2)$$

onde:

e_a = erro angular cometido;

α_i = ângulo horizontal médio;

n = número de vértices da poligonal.

A parcela de correção (C_{α_i}) a ser aplicada em cada ângulo da poligonal pode ser obtida pela Eq. (3).

$$C_{\alpha_i} = -\frac{e_a}{n} \quad (3)$$

O ângulo corrigido ($\alpha_{cor.i}$) em cada vértice pode ser determinado pela Eq. (4).

$$\alpha_{cor.i} = \alpha_{obs.i} + C_{\alpha_i} \quad (4)$$

Deve-se verificar se o erro horizontal angular de fechamento satisfaz o critério de tolerância pré-estabelecido. De acordo com a NBR 13133/2021 a tolerância angular pode ser determinada conforme a Eq. (5).

$$T\alpha = (3 \times p \times \sqrt{n}) + 10'' \quad (5)$$

onde:

n = é o número de estações;

p = é a precisão nominal para a finalidade do trabalho, sendo adotada para PP $\leq 5''$ e para PS $\leq 10''$;

$10''$ = é uma constante adotada por medida de segurança.

CÁLCULO DOS AZIMUTES DOS ALINHAMENTOS

O azimute do alinhamento que se deseja calcular (Az_n) é igual ao azimute do alinhamento anterior (Az_{n-1}), mais o ângulo horário da estação ocupada (α),

acrescido da análise (F) descrita a seguir e podendo ser calculado conforme Eq. (6).

$$Az_n = Az_{n-1} + \alpha_{cor} + F \quad (6)$$

Devendo ainda realizar as seguintes análises:

$$\text{Se } Az_{n-1} + \alpha < 180^\circ \rightarrow F = +180^\circ;$$

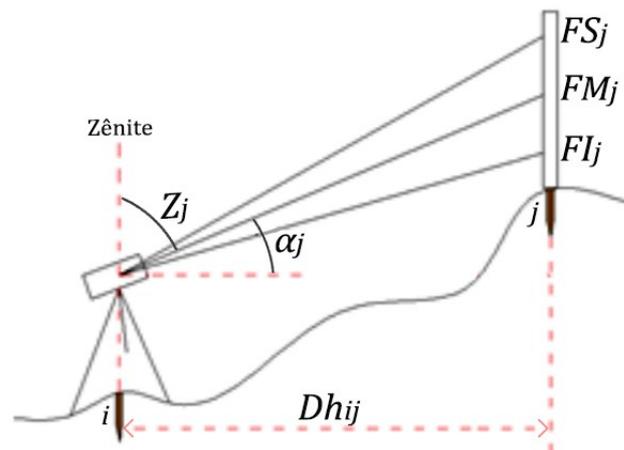
$$\text{Se } 180^\circ \leq Az_{n-1} + \alpha \leq 540^\circ \rightarrow F = -180^\circ;$$

$$\text{Se } Az_{n-1} + \alpha > 540^\circ \rightarrow F = -540^\circ.$$

CÁLCULO DAS DISTÂNCIAS HORIZONTAIS DOS ALINHAMENTOS

As distâncias horizontais médias dos alinhamentos foram calculadas de acordo com a Eq. (7), tendo como base a Figura 3 (VEIGA *et al.*, 2012).

Figura 3 – Determinação da distância horizontal do alinhamento ij



Fonte: Autoria própria (2023).

De acordo com Ghilani (2017) os ângulos verticais podem ser observados como ângulos de altitude (α) ou zenital (z), enquanto a NBR 13133/2021 os denomina, respectivamente, de ângulos de inclinação (α) ou zenital (z). Um ângulo de altitude ou inclinação é o ângulo acima ou abaixo de um plano horizontal através do ponto de observação, variando entre -90° a $+90^\circ$. Já os ângulos zenitais são medidos com zero no círculo vertical orientado em direção ao zênite do instrumento e assim podem assumir valores de 0° a 360° em um círculo no sentido horário sobre o eixo horizontal do instrumento (GHILANI, 2017) (Figura 3).

A dedução da Eq. (7) pode ser observada na Eq. (7.1), Eq. (7.2), Eq. (7.3), Eq. (7.4), Eq. (7.5), Eq. (7.6), Eq. (7.7) e Eq. (7.8).

O *plugin* lê o ângulo vertical zenital informado pelo usuário (obrigatório) e o converte em ângulo vertical de inclinação para os cálculos, conforme Eq. (8) e (9).

$$Dh_{ij} = k \times (FS_j - FI_j) \times \cos^2 \alpha_j \quad (7)$$

$$\cos(\alpha_j) = \left(\frac{g'}{2}\right) / \left(\frac{g}{2}\right) \quad (7.1)$$

$$g' = g \times \cos(\alpha_j) \quad (7.2)$$

$$\cos(\alpha_j) = Dh_{ij} / Di_{ij} \quad (7.3)$$

$$Dh_{ij} = Di_{ij} \times \cos(\alpha_j) \quad (7.4)$$

$$Di_{ij} = g' \times k \quad (7.5)$$

$$Di_{ij} = g \times \cos(\alpha_j) \times k \quad (7.6)$$

$$Dh_{ij} = g \times \cos(\alpha_j) \times k \times \cos(\alpha_j) \quad (7.7)$$

$$Dh_{ij} = g \times k \times \cos^2 \alpha_j \quad (7.8)$$

onde:

Dh_{ij} = distância horizontal entre a estação i e vértice j;

k = constante estadimétrica do instrumento (em geral, igual a 100*);

FS_j = leitura do fio superior no vértice j;

FI_j = leitura do fio inferior no vértice j;

α_j = ângulo vertical observado ao visar o vértice j;

Z_j = ângulo zenital observado no vértice j;

Di_{ij} = distância inclinada entre a estação i e vértice j;

g' = número gerador da mira fictícia;

g = número gerador da mira real ($FS_j - FI_j$);

* Valor adotado para este trabalho.

Observando as seguintes relações entre os ângulos verticais (α) e zenitais (z), conforme a Eq. (8) e Eq. (9).

$$\text{Luneta na Posição Direta (LPD): } \alpha = 90^\circ - Z \quad (8)$$

$$\text{Luneta na Posição Inversa (LPI): } \alpha = Z - 270^\circ \quad (9)$$

CÁLCULO DAS COORDENADAS RELATIVAS

As coordenadas relativas de um alinhamento de vértices ij são dadas pelas suas projeções ΔX_{ij} e ΔY_{ij} sobre os eixos cartesianos X e Y respectivamente, podendo ser calculadas conforme a Eq. (10) e Eq. (11).

$$\Delta X_{ij} = Dh_{ij} \cdot \text{sen}Az_{ij} \quad (10)$$

$$\Delta Y_{ij} = Dh_{ij} \cdot \text{cos}Az_{ij} \quad (11)$$

onde:

$$i = 1, \dots, n;$$

$$j = i + 1;$$

Dh_{ij} = distâncias horizontais entre os vértices ij ;

ΔX_{ij} = abscissas relativas do alinhamento ij ;

ΔY_{ij} = ordenadas relativas do alinhamento ij .

CÁLCULO DO ERRO LINEAR

Segundo Carvalho *et al.* (2011) pode-se considerar o erro linear de fechamento como sendo a distância que faltou ou sobrou para o fechamento geométrico (linear) da poligonal. Para determinar o erro linear de fechamento nos eixos X e Y, devem-se somar todas as projeções dos alinhamentos do eixo X e Y, respectivamente. Assim, os erros lineares nos eixos X e Y podem ser calculados de acordo com a Eq. (12) e Eq. (13), respectivamente.

$$e_x = \sum_{i=1}^n \Delta X_{ij} \quad (\text{com } j = i + 1) \quad (12)$$

$$e_y = \sum_{i=1}^n \Delta Y_{ij} \quad (\text{com } j = i + 1) \quad (13)$$

se $i = n$ faça $j = 1$.

O erro linear de fechamento é dado pela Eq. (14).

$$e_L = \sqrt{e_x^2 + e_y^2} \quad (14)$$

onde:

$$i = 1, \dots, n \text{ (vértice } i\text{);}$$

$$j = i + 1 \text{ (vértice } j\text{);}$$

e_x = erro linear de fechamento no eixo X;

e_y = erro linear de fechamento no eixo Y;

e_L = erro linear de fechamento.

PRECISÃO RELATIVA

Segundo Carvalho *et al.* (2011) o erro linear de fechamento (e_L) é absoluto. Para verificar se esse erro é aceitável se faz necessário compará-lo com um determinado valor de tolerância, o qual pode ser adotado a partir de valores estabelecidos em normas específicas, como na NBR 13133/2021 (ABNT, 2021). A precisão relativa (p_r) ou erro relativo da poligonal (e_r) pode ser obtido pela Eq. (15).

$$p_r = e_r = \frac{e_L}{P} \tag{15}$$

onde:

P = perímetro da poligonal.

A apresentação da precisão também pode ser na forma 1:M, onde M é a razão entre o perímetro da poligonal e o erro linear de fechamento, conforme Eq. (16).

$$M = \frac{P}{e_L} \tag{16}$$

Em termos métricos pode-se entender que, na relação 1:M, para cada M metros aceita-se que se cometa 1 metro de erro.

MÉTODO DE BOWDITCH

O método de *Bowditch* ajusta as abscissas e ordenadas proporcionalmente aos comprimentos dos lados da poligonal (GHILANI, 2017). Fazendo com que haja uma distribuição lógica dos erros de fechamentos, pois quanto maior o lado da poligonal, maior será a correção a ser aplicada. Ou seja, segue uma divisão proporcional às distâncias. As correções $C_{\Delta X_{ij}}$ e $C_{\Delta Y_{ij}}$, a serem aplicadas,

respectivamente, às coordenadas relativas ΔX_{ij} e ΔY_{ij} , podem ser calculadas pela Eq. (17) e Eq. (18).

$$C_{\Delta X_{ij}} = -\frac{e_L}{P} \times d_{ij} \quad (17)$$

$$C_{\Delta Y_{ij}} = -\frac{e_L}{P} \times d_{ij} \quad (18)$$

onde:

d_{ij} = distância parcial entre os vértices ij .

Por sua vez, as coordenadas relativas corrigidas, aplicadas às projeções nos eixos X e Y, podem ser calculadas pela Eq. (19) e Eq. (20), respectivamente (CARVALHO *et al.*, 2011).

$$\Delta X_{ij \text{ corrigido}} = \Delta X_{ij} + C_{\Delta X_{ij}} \quad (19)$$

$$\Delta Y_{ij \text{ corrigido}} = \Delta Y_{ij} + C_{\Delta Y_{ij}} \quad (20)$$

onde:

$\Delta X_{ij \text{ corrigido}}$ = coordenadas relativas corrigidas (eixo X);

$\Delta Y_{ij \text{ corrigido}}$ = coordenadas relativas corrigidas (eixo Y).

CÁLCULO DAS COORDENADAS ABSOLUTAS X E Y

As coordenadas do vértice que se deseja determinar são iguais à coordenada do vértice anterior mais as projeções corrigidas (ΔX_{ij} , ΔY_{ij}) do alinhamento formado entre estes vértices (i e j), conforme a Eq. (21) e Eq. (22).

$$X_j = X_i + \Delta X_{ij \text{ corrigido}} \quad (21)$$

$$Y_j = Y_i + \Delta Y_{ij \text{ corrigido}} \quad (22)$$

onde:

- X_j = coordenada absoluta X do vértice a ser determinado;
- Y_j = coordenada absoluta Y do vértice a ser determinado;
- X_i = coordenada absoluta X do vértice anterior a ser determinado;
- Y_i = coordenada absoluta Y do vértice anterior a ser determinado;
- ΔX_{ij} = coordenada relativa entre os vértices i e j;
- ΔY_{ij} = coordenada relativa entre os vértices i e j.

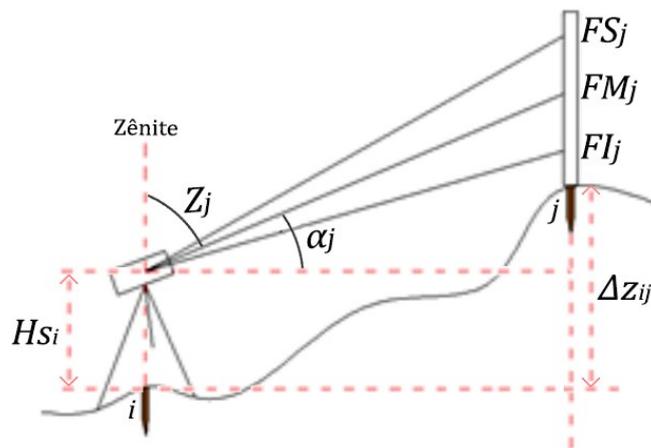
CÁLCULO DE POLIGONAL – ALTIMETRIA

Os cálculos altimétricos foram conduzidos a partir do nivelamento taqueométrico, onde a altura do sinal visado é obtida pela visada do fio médio do retículo da luneta do teodolito sobre uma mira colocada verticalmente no ponto cuja diferença de nível em relação à estação do teodolito é objeto de determinação (ABNT, 2021).

DETERMINAÇÃO DOS DESNÍVEIS

Os desníveis dos alinhamentos foram calculados de acordo com a Eq. (23) e Figura 4. A dedução da fórmula apresentada por Cordini (2014) pode ser observada na Eq. (23.1), Eq. (23.2), Eq. (23.3), Eq. (23.4), Eq. (23.5), Eq. (23.6) e Eq. (23.7).

Figura 4 – Determinação do desnível do alinhamento ij



Fonte: Autoria própria (2023).

$$\Delta z_{ij} = 50 \times (FS_j - FI_j) \times \text{sen}(2\alpha_j) + Hs_i - FM_j \quad (23)$$

$$\Delta z_{ij} = Dh_{ij} \times \tan(\alpha_j) + Hs_i - FM_j \quad (23.1)$$

$$Di_{ij} = k \times g \times \cos(\alpha_j) \quad (23.2)$$

$$Dh_{ij} = Di_{ij} \times \cos(\alpha_j) = k \times g \times \cos^2(\alpha_j) \quad (23.3)$$

$$\Delta z_{ij} = k \times g \times \cos^2(\alpha_j) \times \tan(\alpha_j) + Hs_i - FM_j \quad (23.4)$$

$$\Delta z_{ij} = k \times g \times \cos^2(\alpha_j) \times \frac{\sin(\alpha_j)}{\cos(\alpha_j)} + Hs_i - FM_j \quad (23.5)$$

Multiplicando e dividindo a expressão por 2, para que não se altere, e considerando que $\sin(2\alpha_j) = 2 \times \sin(\alpha_j) \times \cos(\alpha_j)$, resulta:

$$\Delta z_{ij} = \frac{1}{2} \times k \times g \times \sin(2\alpha_j) + Hs_i - FM_j \quad (23.6)$$

$$\Delta z_{ij} = 50 \times g \times \sin(2\alpha_j) + Hs_i - FM_j \quad (23.7)$$

onde:

Δz_{ij} = desníveis entre a estação i e o vértice j;

FS_j = leitura do fio superior em j;

FI_j = leitura do fio inferior em j;

Hs_i = altura do instrumento;

FM_j = leitura do fio médio (fio nivelador) ao visar o vértice j.

CÁLCULO DO ERRO ALTIMÉTRICO E SUA COMPENSAÇÃO

Pode-se considerar o erro altimétrico de fechamento como sendo a distância vertical que faltou ou sobrou para o fechamento altimétrico da poligonal. Para determinar o erro altimétrico de fechamento devem-se somar todos os desníveis dos alinhamentos. O erro altimétrico ficaria na forma da Eq. (24).

$$e_z = \sum_{i=1}^n \Delta z_{ij} \quad (\text{com } j = i + 1) \quad (24)$$

se $i = n$ faça $j = 1$.

onde:

$i = 1, \dots, n$ (vértice i);

$j = i + 1$ (vértice j);

e_z = erro altimétrico de fechamento;

Δz_{ij} = desnível entre os vértices i e j.

Deve-se verificar se o erro altimétrico de fechamento satisfaz o critério de tolerância pré-estabelecido. De acordo com a NBR 13133/2021 a tolerância altimétrica pode ser determinada conforme a Eq. (25).

$$T = C \text{ (mm)} * \sqrt{K} \quad (25)$$

onde:

K = é a extensão nivelada em km ;

C = constante a ser determinada de acordo com o instrumento e finalidade do levantamento.

As correções a serem aplicadas às projeções no eixo Z foram baseadas na média onde todas recebem a mesma parcela de correção, conforme Eq. (26).

$$C_{\Delta z_{ij}} = -\frac{e_z}{n} \quad (26)$$

onde:

e_z = erro altimétrico cometido;

n = número de vértices da poligonal;

$C_{\Delta z_{ij}}$ = correção a ser aplicada em cada desnível da poligonal.

CÁLCULO DOS DESNÍVEIS COMPENSADOS

Os desníveis corrigidos podem ser calculados somando ao desnível calculado sua respectiva correção, de acordo com a Eq. (27).

$$\Delta z_{ij \text{ corrigido}} = \Delta z_{ij} + C_{\Delta h_{ij}} \quad (27)$$

onde:

$\Delta z_{ij \text{ corrigido}}$ = desnível corrigido formado entre os vértices i e j .

CÁLCULO DA COORDENADA ABSOLUTA Z

A coordenada Z do vértice que se deseja determinar (Z_j) é igual à coordenada Z do vértice anterior (Z_i) mais o desnível corrigido entre os vértices i e j ($\Delta z_{ij \text{ corrigido}}$), conforme Eq. (28).

$$Z_j = Z_i + \Delta Z_{ij} \text{ corrigido} \quad (28)$$

CÁLCULO DA ÁREA E PERÍMETRO

O cálculo da área delimitada pelos vértices da poligonal foi realizado utilizando o método de *Gauss*, apresentado pela Eq. (29).

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \times Y_{i+1} - \sum_{i=1}^n Y_i \times X_{i+1}}{2} \quad (29)$$

se $i = n$ faça $i + 1 = 1$.

Onde:

A = área;

$i = 1, \dots, n$;

n = número de vértices da poligonal.

A Eq. (30) foi utilizada no cálculo das distâncias horizontais (Dh_{ij}) compreendidas entre os vértices i e j da poligonal.

$$Dh_{ij} = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2} \quad (30)$$

onde:

X_j = coordenada absoluta X do vértice j ;

Y_j = coordenada absoluta Y do vértice j ;

X_i = coordenada absoluta X do vértice i ;

Y_i = coordenada absoluta Y do vértice i .

O cálculo do perímetro, delimitado pelos vértices da poligonal, apresentado na aba "Resultado" do *plugin*, foi realizado utilizando a Eq. (31).

$$P = \sum_{i=1}^n Dh_{ij} \text{ (com } j = i + 1) \quad (31)$$

se $i = n$ faça $j = 1$.

onde:

$i = 1, \dots, n$ (n = número de alinhamentos da poligonal);

P = perímetro.

CÁLCULO DOS AZIMUTES DE REFERÊNCIA

Os azimutes calculados após o processo de compensação, foi determinado por meio das coordenadas absolutas X e Y dos vértices da poligonal empregando a Eq. (32) e são apresentados na aba “Resultado” do *plugin*.

$$\theta = \operatorname{atan} \frac{(X_j - X_i)}{(Y_j - Y_i)} \quad (32)$$

Ainda deve-se realizar as seguintes análises de quadrante:

$$\left\{ \begin{array}{l} (X_j - X_i) \rightarrow + e (Y_j - Y_i) \rightarrow + \therefore Az_{ij} = \theta \\ (X_j - X_i) \rightarrow + e (Y_j - Y_i) \rightarrow - \therefore Az_{ij} = \theta + 180^\circ \\ (X_j - X_i) \rightarrow - e (Y_j - Y_i) \rightarrow - \therefore Az_{ij} = \theta + 180^\circ \\ (X_j - X_i) \rightarrow - e (Y_j - Y_i) \rightarrow + \therefore Az_{ij} = \theta + 360^\circ \end{array} \right.$$

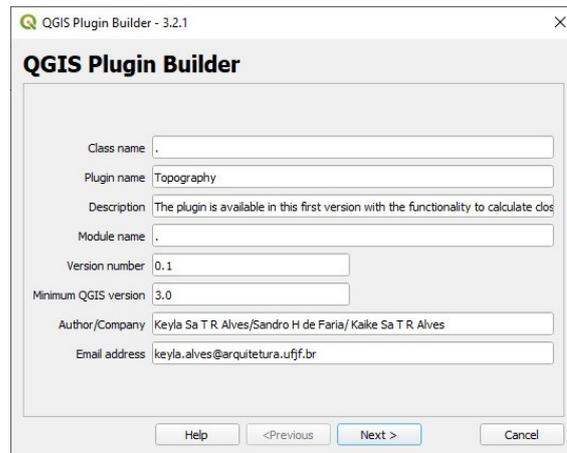
QGIS 3.16.7

A fim de auxiliar na construção do novo *plugin*, foram instalados os seguintes complementos:

- *Plugin Builder*: cria todos os arquivos necessários para o desenvolvimento de novos *plugins*.
- *Plugin Reloader*: facilita na atualização das alterações do novo *plugin*. Este permite o (*reload*) enquanto o *plugin* é codificado, sem necessidade de reiniciar o QGIS.

A partir de então, com o QGIS aberto, foi possível começar a inserir na interface do *Plugin Builder* (Figura 5) algumas informações relacionadas ao *plugin Topography* como: nome; versão mínima do QGIS; descrição; versão do *plugin*; *email*; e autores.

Figura 5 – Informações inseridas no *Plugin Builder*



Class name	.
Plugin name	Topography
Description	The plugin is available in this first version with the functionality to calculate dos
Module name	.
Version number	0.1
Minimum QGIS version	3.0
Author/Company	Keyla Sa T R Alves/Sandro H de Faria/ Kaike Sa T R Alves
Email address	keyla.alves@arquitetura.uuff.br

Fonte: *Software QGIS* (2023).

Após preenchidas essas informações, foi preciso informar que se tratava de um *plugin* experimental. Na última etapa, foi necessário definir a pasta contendo os arquivos criados referentes ao novo *plugin*, devendo este ser colocado na pasta padrão de *plugins* do *QGIS* (C:\Usuários\Nome do usuário\QGIS3\python\plugins).

Ao finalizar essas aplicações, foi efetuada a compilação dos arquivos criados utilizando o *software OSGeo4W Shell*, que faz parte do pacote de instalação do *QGIS*. Portanto, esse procedimento converte o arquivo *resources.qrc* para o formato *python (.py)*. Assim, ao reiniciar o *QGIS* o *plugin* foi iniciado, podendo então começar o trabalho na interface do *plugin Topography* no *Qt Designer*, e em seguida, no próprio *QGIS* construir o código do *plugin* em linguagem *Python*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para validar o *plugin Topography*, foram inseridos dados extraídos de uma caderneta de campo em formato de arquivo do tipo CSV, desta forma o *plugin* consegue calcular as coordenadas absolutas X, Y e Z dos vértices da poligonal. Na Figura 6, é possível observar os dados de entrada da poligonal de três vértices realizada apenas com leitura da luneta na posição direta (LPD) a partir de 2 séries de leituras por repetição e denominada “caderneta teste 1”.

Figura 6 – Dados de entrada da caderneta teste 1

Topography Caderneta de Campo

Novo Observação

Tipo: [] Nome: [] Descrição: [] FS: [] FM: [] FI: []
 AHD: [] [] [] [] AVZ: [] [] [] [] Incluir Observação

Import CSV file ESTAÇÃO: D2 ALTURA: 1.41
 Excluir Observação Selecionada

Tipo	Nome	Descrição	AHD	AVZ	FS	FM	FI
1 Re	F2	Direta	0°00'00"	91°40'05"	1.000	0.845	0.689
2 Vante	E2	Direta	34°10'35"	92°59'53"	0.999	0.956	0.916
3 Re	F2	Direta	0°00'00"	91°40'05"	1.000	0.845	0.689
4 Vante	E2	Direta	34°10'33"	92°59'53"	0.999	0.956	0.916

Import CSV file ESTAÇÃO: E2 ALTURA: 1.43
 Excluir Observação Selecionada

Tipo	Nome	Descrição	AHD	AVZ	FS	FM	FI
1 Re	D2	Direta	313°30'39"	93°24'04"	1.000	0.957	0.917
2 Vante	F2	Direta	88°25'29"	92°07'57"	1.000	0.878	0.753
3 Re	D2	Direta	313°30'39"	93°24'04"	1.000	0.957	0.917
4 Vante	F2	Direta	88°25'27"	92°07'57"	1.000	0.878	0.753

Import CSV file ESTAÇÃO: F2 ALTURA: 1.44
 Excluir Observação Selecionada

Tipo	Nome	Descrição	AHD	AVZ	FS	FM	FI
1 Re	E2	Direta	342°31'18"	90°26'12"	1.000	0.876	0.753
2 Vante	D2	Direta	353°25'55"	90°26'30"	1.000	0.845	0.690
3 Re	E2	Direta	342°31'18"	90°26'12"	1.000	0.876	0.753
4 Vante	D2	Direta	353°25'53"	90°26'30"	1.000	0.845	0.690

Fonte: Autoria própria (2023).

Após os cálculos realizados pelo *plugin*, foram analisados os resultados alcançados de modo a definir a sua eficácia. Os testes foram efetuados com os valores contidos na “caderneta teste 1”. Os resultados preliminares dos cálculos estão apresentados na Figura 7.

Figura 7 – Cálculo das distâncias e ângulos no *plugin Topography*

Topography Caderneta de Campo

Verificar Dados

Distâncias

Estação	Pt. Visado	DH (m)	Média (m)	Diferença (m)	Desnivel (m)	Média (m)	Diferença (m)
1 D2	F2	31.074	31.036	+0.038	-0.340	-0.348	+0.008
2 D2	F2	31.074	31.036	+0.038	-0.340	-0.348	+0.008
3 F2	D2	30.998	31.036	-0.038	+0.356	+0.348	+0.008
4 F2	D2	30.998	31.036	-0.038	+0.356	+0.348	+0.008
5 D2	E2	8.277	8.274	+0.003	+0.020	+0.019	+0.001
6 D2	E2	8.277	8.274	+0.003	+0.020	+0.019	+0.001
7 E2	D2	8.271	8.274	-0.003	-0.019	-0.019	0.000
8 E2	D2	8.271	8.274	-0.003	-0.019	-0.019	0.000
9 E2	F2	24.666	24.683	-0.017	-0.366	-0.371	+0.005
10 E2	F2	24.666	24.683	-0.017	-0.366	-0.371	+0.005
11 F2	E2	24.699	24.683	+0.016	+0.376	+0.371	+0.005
12 F2	E2	24.699	24.683	+0.016	+0.376	+0.371	+0.005

Ângulos

Ré	Estação	Vante	Ang. Hor. Cal.	Ang. Hor. Med.	Diferença
1 F2	D2	E2	34°10'35"	34°10'34"	+0°00'01"
2 F2	D2	E2	34°10'33"	34°10'34"	-0°00'01"
3 D2	E2	F2	134°54'50"	134°54'49"	+0°00'01"
4 D2	E2	F2	134°54'48"	134°54'49"	-0°00'01"
5 E2	F2	D2	10°54'37"	10°54'36"	+0°00'01"
6 E2	F2	D2	10°54'35"	10°54'36"	-0°00'01"

OK Cancel

Fonte: Autoria própria (2023).

Essas distâncias e ângulos apresentados na Figura 7 são provenientes das leituras de cada estação, e suas respectivas ré e vante, inseridas anteriormente.

Neste caso a poligonal foi percorrida no sentido anti-horário, portanto, os ângulos internos foram calculados subtraindo a observação à direita (vante) da observação à esquerda (ré), e por fim, adotada a média desses ângulos.

As tabelas 1 e 2 apresentam os resultados dos cálculos obtidos com auxílio de planilhas eletrônicas provenientes da “caderneta teste 1” e que será utilizada como referência para a comparação dos dados obtidos pelo *plugin*.

Tabela 1 – Dados de referência das distâncias

Estação	Pt. Visado	DH (m)	Média (m)	Diferença (m)	Desnível (m)	Média (m)	Diferença (m)
D2	F2	31,074	31,036	0,038	-0,340	-0,348	0,008
D2	F2	31,074	31,036	0,038	-0,340	-0,348	0,008
F2	D2	30,998	31,036	-0,038	0,356	0,348	0,008
F2	D2	30,998	31,036	-0,038	0,356	0,348	0,008
D2	E2	8,277	8,274	0,003	0,020	0,019	0,001
D2	E2	8,277	8,274	0,003	0,020	0,019	0,001
E2	D2	8,271	8,274	-0,003	-0,019	-0,019	0,000
E2	D2	8,271	8,274	-0,003	-0,019	-0,019	0,000
E2	F2	24,666	24,683	-0,017	-0,366	-0,371	0,005
E2	F2	24,666	24,683	-0,017	-0,366	-0,371	0,005
F2	E2	24,699	24,683	0,016	0,376	0,371	0,005
F2	E2	24,699	24,683	0,016	0,376	0,371	0,005

Fonte: Autoria própria (2023).

Tabela 2 – Dados de referência dos ângulos

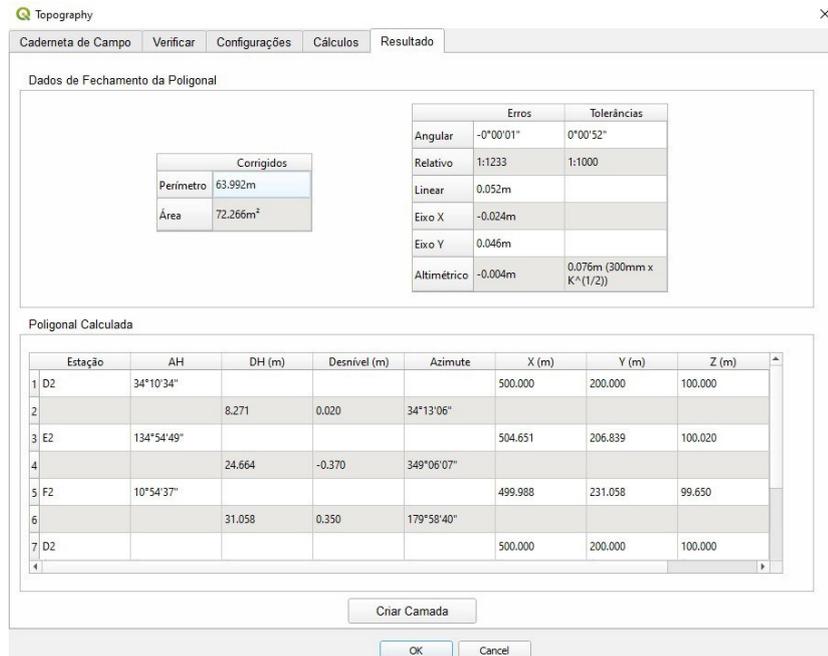
Ré	Estação	Vante	Ang.Hor.Cal.	Ang.Hor.Med.	Diferença
F2	D2	E2	34°10'35"	34°10'34"	0°00'01"
F2	D2	E2	34°10'33"	34°10'34"	0°00'01"
D2	E2	F2	134°54'50"	134°54'49"	0°00'01"
D2	E2	F2	134°54'48"	134°54'49"	0°00'01"
E2	F2	D2	10°54'37"	10°54'36"	0°00'01"
E2	F2	D2	10°54'35"	10°54'36"	0°00'01"

Fonte: Autoria própria (2023).

Percebe-se ao comparar as tabelas geradas, que o *plugin Topography* executa os cálculos corretamente, imprimindo valores semelhantes.

A Figura 8 apresenta as coordenadas absolutas (X, Y, Z) dos vértices da poligonal calculada, Eq. (21), Eq. (22), e Eq. (28), respectivamente, bem como os erros planimétricos e altimétricos cometidos. Também é apresentado os resultados finais após o ajuste da poligonal, como: o ângulo horizontal horário médio em cada vértice, as distâncias horizontais calculadas pela Eq. (30), perímetro pela Eq. (31), área pela Eq. (29), desníveis Eq. (27) e azimutes definitivos calculados pela Eq. (32).

Figura 8 – Resultados do teste 1 no *plugin Topography*



Fonte: Autoria própria (2023).

A partir da determinação das distâncias e ângulos dos alinhamentos, foram delimitados os erros de fechamento e calculados os resultados corrigidos. A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos por meio de planilhas eletrônicas tomadas como referência para validação dos resultados.

Tabela 3 – Dados de referência da caderneta teste 1

Corrigidos		Erros		Tolerâncias	
Perímetro	63,998 m	Angular	-0°00'01"	0°00'52"	
Área	72,366 m ²	Relativo	1:1244	1:1000	
		Linear	0,051 m	-	
		Eixo X	-0,024 m	-	
		Eixo Y	0,045 m	-	
		Altimétrico	0,002 m	0,076 m	

Estação	AH	DH (m)	Desnível (m)	Azimute	X (m)	Y (m)	Z (m)
D2	34°10'34"				500,000	200,000	100,000
		8,277	0,022	34°13'06"			
E2	134°54'49"				504,651	206,840	100,020
		24,663	-0,371	349°06'07"			
F2	10°54'37"				499,988	231,058	99,651
		31,059	0,349	179°58'40"			
D2					500,000	200,000	100,000

Fonte: Autoria própria (2023).

Depois da análise dos resultados da poligonal planialtimétrica fechada resultante do cálculo da "caderneta teste 1", ambos os métodos apresentaram

resultados semelhantes. Não houve diferença na coordenada X, apenas na coordenada Y da estação E2 (1 mm) e na coordenada Z (cota) da estação F2 (1 mm), conforme apresentado na Tabela 4. Essa diferença, é proveniente dos arredondamentos dos valores. Ademais, as fórmulas matemáticas utilizadas na execução dos cálculos são um método prático e confiável para resolver uma equação.

Tabela 4 – Diferenças apresentadas nas coordenadas absolutas do teste 1

Estação	Y (m)		Estação	Z (m)	
	Plugin	Planilha		Plugin	Planilha
E2	206,839	206,840	F2	99,650	99,651

Fonte: Autoria própria (2023).

Em seguida, foi executada uma nova validação com a “caderneta teste 2” (Figura 9). Na Figura 9, é possível observar os dados de entrada da poligonal de cinco vértices realizada com leitura da luneta na posição direta (LPD) e posição inversa (LPI), denominada “caderneta teste 2”.

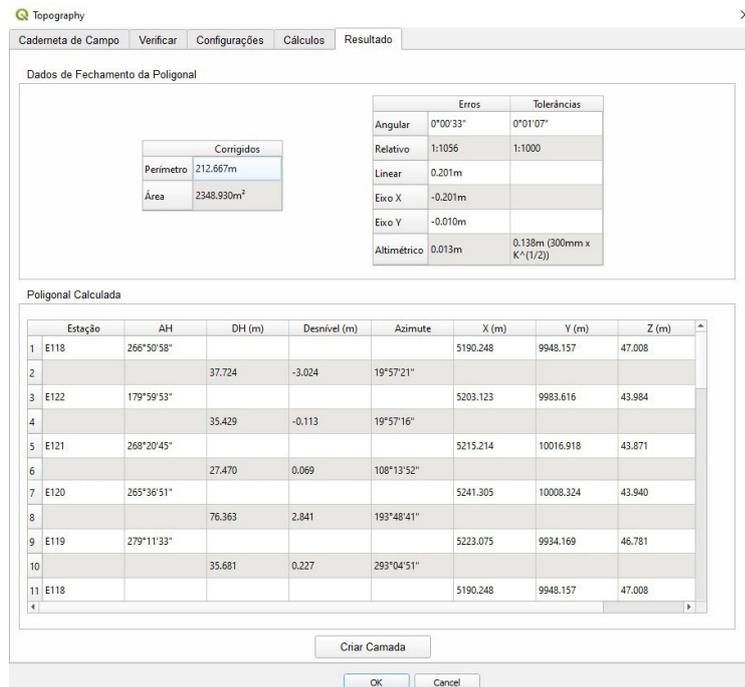
Figura 9 – Dados de entrada da caderneta teste 2

The screenshot shows the 'Topography' software interface. At the top, there are tabs for 'Verificar', 'Configurações', 'Cálculos', and 'Resultado'. Below this is the 'Nova Observação' form with fields for 'Tipo', 'Nome', 'Descrição', 'FS', 'FM', 'FI', 'AHD', and 'AVZ'. There are buttons for 'Import CSV file' and 'Excluir Observação Selecionada'. The main area contains several data tables, each corresponding to a different station (E122, E121, E120, E119, E118). Each table has columns for 'Tipo', 'Nome', 'Descrição', 'AHD', 'AVZ', 'FS', 'FM', and 'FI'. The data is organized into groups for each station, with a 'ALTURA' value indicated for each group.

Fonte: Autoria própria (2023).

Na Figura 10, apresenta os resultados obtidos após o ajustamento da poligonal oriunda da “caderneta teste 2”.

Figura 10 – Resultados do teste 2 no *plugin Topography*



Fonte: Autoria própria (2023).

Os resultados obtidos por meio de planilhas eletrônicas, tomadas como referência para a validação dos resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados de referência da caderneta teste 2

Corrigidos		Erros		Tolerâncias	
Perímetro	212,667 m	Angular	0°00'31"	Angular	0°01'07"
Área	2348,828 m ²	Relativo	1:1050	Relativo	1:1000
		Linear	0,202 m		-
		Eixo X	0,201 m		-
		Eixo Y	0,011 m		-
		Altimétrico	-0,012 m	Altimétrico	0,138 m

Estação	AH	DH (m)	Desnível (m)	Azimute	X (m)	Y (m)	Z (m)
E118	266°50'59"				5190,248	9948,157	47,008
		37,724	-3,024	19°57'21"			
E122	179°59'53"				5203,123	9983,616	43,984
		35,429	-0,113	19°57'16"			
E121	268°20'46"				5215,214	10016,918	43,871
		27,470	0,070	108°13'54"			
E120	265°36'51"				5241,304	10008,324	43,941
		76,363	2,842	193°48'44"			
E119	279°11'31"				5223,073	9934,169	46,783
		35,681	0,225	293°04'51"			
E118					5190,248	9948,157	47,008

Fonte: Autoria própria (2023).

Depois da análise dos resultados da poligonal planialtimétrica fechada resultante do cálculo da “caderneta teste 2”, foi possível observar que não houve diferença na coordenada Y, apenas na coordenada X das estações E120, E119 e na coordenada Z (cota) das estações E120 e E119 (Tabela 6).

Tabela 6 – Diferenças apresentadas nas coordenadas absolutas do teste 2

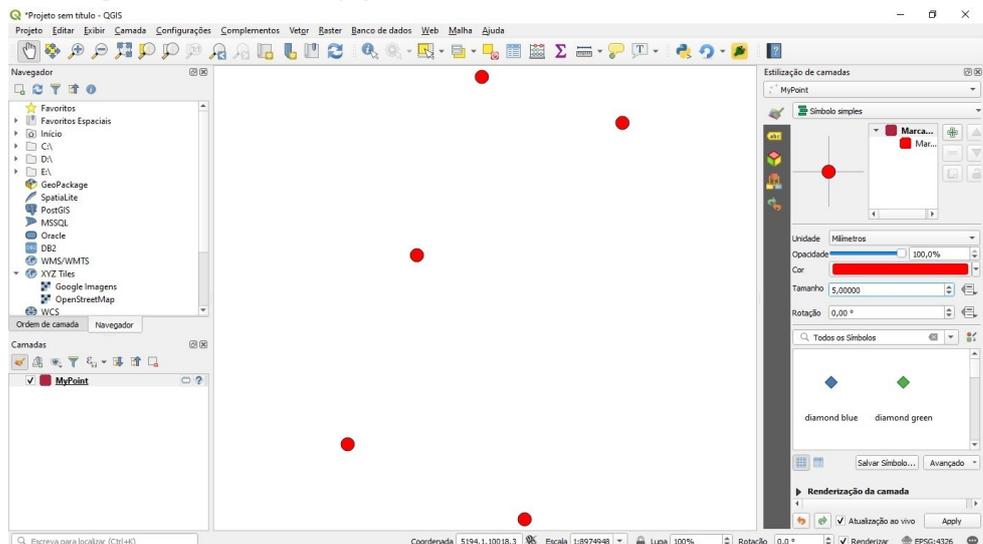
Estação	X (m)		Estação	Z (m)	
	Plugin	Planilha		Plugin	Planilha
E120	5241,305	5241,304	E120	43,940	43,941
E119	5223,075	5223,073	E119	46,781	46,783

Fonte: Autoria própria (2023).

Após os testes realizados para os cálculos de poligonais planialtimétricas fechadas por taqueometria, foi possível validar os resultados obtidos inicialmente, comparando os dados dos cálculos com os alcançados na planilha de referência elaborada no Excel.

E, por fim, o *plugin Topography* permite criar uma camada do tipo *shapefile* (Figura 11), podendo ser convertido para outro formato disponível no *software QGIS*, após a obtenção dos valores das coordenadas absolutas X, Y e Z. Para este trabalho foi utilizado como sistema de coordenadas o Plano Topográfico Local.

Figura 11 – Camada *shapefile* das coordenadas absolutas do teste 2 no QGIS



Fonte: Autoria própria (2023).

CONCLUSÕES

O objetivo do projeto em realizar os cálculos de poligonais planialtimétricas fechadas por taqueometria foi alcançado e a validação dos dados foram verificadas a partir de outras cadernetas taqueométricas previamente calculadas e conferidas para esta finalidade.

O *plugin Topography* mostrou capacidade de calcular poligonais planialtimétricas fechadas por taqueometria mediante à inserção de cadernetas topográficas devidamente extraídas do levantamento de campo.

A interface gráfica foi desenvolvida baseada em abas, facilitando a comunicação com o usuário e permitindo a navegação por todas as tabelas disponíveis em uma única janela. O *plugin Topography* foi disponibilizado para *download* no repositório de *plugins QGIS Python* na página <https://plugins.qgis.org/plugins/tags/topography//>.

A validação dos resultados do *plugin Topography* mostra que os cálculos foram realizados em menor tempo em relação aos cálculos tradicionais feitos manualmente, além de não oferecer nenhum custo.

Dessa forma, a criação do *plugin Topography* possibilita seu uso em muitas universidades de forma gratuita, contrapondo às ferramentas hoje disponíveis, adquiridas a um elevado custo. Além de contribuir para o desempenho de trabalhos de Topografia, pois vários profissionais são auxiliados pela automatização de tarefas.

Sugere-se, para trabalhos futuros, a implementação do ajustamento da poligonal pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ); implementação de ferramenta para conversão de coordenadas no sistema topográfico local para o sistema de coordenadas UTM, permitindo a migração entre diferentes sistemas dentro do próprio *QGIS*; implementação do cálculo de irradiações; e implementação da função de cálculo para poligonais abertas e enquadradas.

Development the Topography plugin for the closed traverses planialtimetric calculation by tacheometry using QGIS software

ABSTRACT

This paper aims to present the develop of Topography plugin for the closed traverses planialtimetric calculation by tacheometry, applicable and executable in the academic environment, using a Geographic Information Systems (GIS) software. The QGIS software was chosen because it is a free and open Geographic Information System, being widely used. A graphical user interface was developed allowing the data insertion by CSV file format, as well as fields for presenting the results obtained. The plugin has in this first version the functionality of closed traverses planialtimetric calculation by the Bowditch method, utilized for the planimetric linear error compensation. The angular and altimetric errors were adjusted based on the mean, that is, by equal parts. However, future studies aim to continue its development, improving it and adding other functionalities in order to expand possibilities of use. Upon completion of the Topography plugin, validation tests were carried out with “real” data present in topographic booklets. These were calculated by the plugin and by spreadsheets that served as a basis for comparison. The results showed that the plugin performs the calculation of the X, Y and Z coordinates (local topographic system) with more agility, allowing its visualization in a shapefile type layer.

KEYWORDS: Topography. Geographic Information System - GIS. Python Language. Compass Rule.

REFERÊNCIAS

AMORIM, F. R.; SCHMIDT, M. A. R.; CAMBOIM, S. P.; ARAÚJO, N. S. de; DELAZARI, L. S. Desenvolvimento de complemento *QGIS* para processamento de mapas morfométricos. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 81, p. 30–41, 2021. Disponível em <<https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/55683>>. acessos em 25 jun. 2023. <https://doi.org/10.14393/RCG228155683>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 57 p.

BAISCH, L. F. Simplifica extension project: Salvador georeferenced database. *In*: 22º Congresso Internacional da Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital. Blucher Design Proceedings, v. 5, n. 1, p. 512-516. **Anais do SIGRADI**. São Paulo: Blucher, 2018. Disponível em <<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/simplifica-extension-project-salvador-georeferenced-database-29789>>. acessos em 26 jun. 2023. <https://doi.org/10.5151/sigradi2018-1352>.

CARVALHO, A. S.; RODRIGUES, D. D.; COSTA, M. F.; ARAUJO NETO, J. O. de. Utilização da regra de *compass* ou método de *bowditch* e do MMQ no ajuste de poligonal topográfica. **Revista Agrogeoambiental**, v. 3, n. 1, p. 41-51, 2011. Disponível em <<https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/300>>. acessos em 02 ago. 2022. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v3n12011300>.

COMASTRI, J. A. **Topografia: planimetria**. Viçosa: Imprensa universitária UFV, 1992. 335 p.

CORDINI, J. **Altimetria: teoria e métodos visando a representação do relevo**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2014. Disponível em <<https://topografia.paginas.ufsc.br/files/2015/09/Altimetria-Apostila.pdf>>. acessos em 29 jun. 2023.

DIAS, F. S. M.; COBO, D. T.; AGUIAR, C. R. de; GODOI, M. de S. Automatização dos cálculos de irradiação topográfica por meio de programação em linguagem C. **Synergismus scyentifica UTFPR**, v. 12, n. 1, p. 247-253, 2017. Disponível em <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/2252>>. acessos em 24 jun. 2023.

FERREIRA, E. R. dos S.; AMORIM, F. R.; BATISTELA, D. Geoprocessamento semiautomático de modelos digitais de altitudes (MDE) no *software QGIS*. *In*: 14º Congresso Nacional de Engenharia de Agrimensura, 2020. **Anais do CONEA**. Disponível em <<https://www.doity.com.br/anais/14-conea/trabalho/171108>>. acessos em 25 jun. 2023.

GARRÉ, S. de O.; WEYMAR, G. J. Automatização do sistema de cálculo de áreas topográficas através do uso combinado de programas de computador. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v. 2, n. 2, p. 83-95, 2016. Disponível em <<https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/RBES/article/view/9635>>. acessos em 25 jun. 2023. <https://doi.org/10.15210/rbes.v2i2.9635>.

GHILANI, C. D. **Elementary surveying**: an introduction to geomatics. 15th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson, 2017. 960 p.

MCCORMAC, J.; SARASUA, W.; DAVIS, W. **Topografia**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 428 p.

MENKE, K.; SMITH JR, R.; PIRELLI, L.; HOESEN, J. V. **Mastering QGIS**. 2th ed. Birmingham, England: Packt Publishing, 2016. 486 p.

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de sistemas de informações geográficas**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 425 p.

PASCINI, A. P. G.; MENZORI, M. **Topografia**. Juiz de Fora: Editora UFJF, 2013. v. 1. 216 p.

PLUG-IN. In: DICIO, Cambridge Dictionaries Online. Cambridge: Cambridge University Press and Assessment, 2023. Disponível em <<https://dictionary.cambridge.org/pt/dicionario/ingles/plug-in?q=plugin>>. acessos em 21 jun. 2023.

QGIS PYTHON PLUGINS REPOSITORY. *Plugins* marcados com: topografia. Disponível em <<https://plugins.qgis.org/plugins/tags/topography/>>. acessos em 21 jun. 2022.

RISON, T.; BRANDOLFF, A.; COSTA, E. C. da; SALBEGO, A. G. Aplicabilidades do *software Topograph* 98. In: 7º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, da UNIPAMPA: Salão de Ensino, v. 7, n. 1. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, 2020. Disponível em <<https://periodicos.unipampa.edu.br/index.php/SIEPE/article/view/79958>>. acessos em 25 jun. 2023.

SEIXAS, A. de. Sistema de medição polar à base de teodolitos e definição do método das linhas de grade. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 56, n. 2, p. 139-150, 2009. Disponível em <<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43510>>. acessos em 24 jun. 2023. <https://doi.org/10.14393/rbcv56n2-43510>.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. **Fundamentos de topografia:** engenharia cartográfica e de agrimensura. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2012. Disponível em <http://www.cartografica.ufpr.br/docs/topo2/apos_topo.pdf>. acessos em 29 jun. 2023.

Recebido: 06 abr. 2023

Aprovado: 10 jul. 2023

DOI: 10.3895/rbgeo.v12n1.16644

Como citar: ALVES, K. S. T. R.; FARIA, S. H. de; ALVES, K. S. T. R. Desenvolvimento do *plugin Topography* para cálculo de poligonais planialtimétricas fechadas por taqueometria para utilização no *software QGIS*. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 069-097, jan/jun. 2024. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Keyla Sa Teles Rocha Alves

Avenida Barão do Rio Branco, 4545, CEP 36026-500, Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

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

