Capítulo 14

Tecnologias Aplicadas ao Levantamento Planimétrico em Área Rural: Desempenho de Diferentes Métodos Topográficos

Technologies Applied to Planimetric Surveying in Rural Areas: Performance of Different Topographic Methods

Bruna Soares Xavier de Barros

Pós-doutora em Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas / Unesp. https://orcid.org/0000-0003-1859-1366.

João Henrique Donzelli Leal

Graduando em Engenharia Florestal, Faculdade de Ciências Agronômicas / Unesp.

Zacarias Xavier de Barros

Professor Titular, Faculdade de Ciências Agronômicas / Unesp. https://orcid.org/0009-0002-5679-7955

Resumo: A modernização dos instrumentos topográficos tem reduzido etapas manuais de campo e de processamento, embora métodos convencionais permaneçam relevantes no ensino e em diferentes aplicações profissionais. Este estudo comparou dois procedimentos de obtenção de dados planimétricos em uma área delimitada por 25 vértices, implantada na Fazenda Experimental Lageado, em Botucatu, SP. No método convencional, os ângulos foram medidos com teodolito eletrônico e as distâncias horizontais determinadas por estafetometria, com posterior processamento analítico. No segundo procedimento, utilizou-se estação total com medição eletrônica de ângulos e distâncias e armazenamento digital das observações. Após a compatibilização da orientação cartográfica, as representações foram comparadas quanto à representação espacial, área, perímetro e aspectos operacionais. Foram obtidas áreas de 5.299,99 m² e 5.310,52 m², com diferença de 0,20%, e perímetros de 343,35 m e 343,65 m, com diferença de 0,09%, para os métodos convencional e automatizado, respectivamente. O tempo de campo foi de aproximadamente duas horas no primeiro procedimento e 30 minutos no segundo. Nas condições avaliadas, os métodos apresentaram elevada concordância geométrica, enquanto a automatização das medições e do registro dos dados reduziu o tempo de execução e as etapas manuais de processamento.

Palavras-chave: topografia; poligonal fechada; estadimetria; eficiência operacional; instrumentação topográfica.

Abstract: The modernization of surveying instruments has reduced manual fieldwork and data processing steps, although conventional methods remain relevant in education and various professional applications. This study compared two procedures for acquiring planimetric data in an area defined by 25 vertices established at Lageado Experimental Farm in Botucatu, São Paulo, Brazil. In the conventional method, angles were measured using an electronic theodolite, and horizontal distances were determined by stadia surveying, followed by analytical processing. The second procedure used a total station with electronic angle and distance measurement and digital recording of observations. After aligning the cartographic orientation, the resulting plans were compared in terms of spatial representation, area, perimeter, and operational aspects. Areas of 5,299.99 m² and 5,310.52 m², differing by 0.20%, and perimeters of 343.35 m and 343.65 m, differing by 0.09%, were obtained for the conventional and automated methods, respectively. Fieldwork took approximately two hours for the first procedure and 30 minutes for the second. Under the conditions evaluated,

DOI: 10.47573/aya.5379.3.20.14

the methods showed a high degree of geometric agreement, while the automation of measurements and data recording reduced execution time and manual processing steps.

Keywords: surveying; closed traverse; stadia surveying; operational efficiency; surveying instrumentation.

INTRODUÇÃO

A topografia é uma ciência importante na obtenção de informações espaciais utilizadas no planejamento e na execução de atividades agrícolas, florestais e de engenharia. Por meio dos levantamentos planimétricos, é possível determinar a posição relativa de pontos no terreno e obter coordenadas, distâncias, perímetros e áreas, informações necessárias à representação e à caracterização geométrica de uma área.

A evolução da instrumentação topográfica modificou os procedimentos empregados na aquisição e no processamento dessas informações. Nos levantamentos realizados com teodolito eletrônico, a determinação da geometria de uma poligonal envolve a medição de ângulos e distâncias e o posterior processamento analítico das observações. As estações totais, por sua vez, integram a medição eletrônica de ângulos e distâncias, o armazenamento das observações e a determinação de coordenadas, reduzindo etapas manuais entre o levantamento de campo e o processamento dos dados.

Apesar das diferenças no nível de automação, ambos os instrumentos podem ser empregados em levantamentos planimétricos. O problema investigado consiste em verificar em que medida levantamentos realizados sobre uma mesma poligonal com teodolito eletrônico, associados à determinação de distâncias por estadiometria e ao processamento analítico, e com estação total produzem resultados planimétricos concordantes, bem como identificar as diferenças operacionais entre esses procedimentos.

A realização dessa comparação justifica-se pela coexistência de instrumentos e procedimentos com diferentes níveis de automação nas atividades topográficas. A avaliação em uma mesma área e sobre os mesmos vértices permite analisar a representação espacial e os parâmetros geométricos obtidos, além de aspectos relacionados à aquisição, ao registro e ao processamento das informações. Essa abordagem fornece elementos para compreender as particularidades de cada procedimento e sua aplicação em levantamentos de campo.

O objetivo geral deste estudo foi comparar levantamentos planimétricos realizados com teodolito eletrônico e estação total em uma mesma área, considerando a representação espacial, os parâmetros geométricos e as características operacionais dos procedimentos empregados. Especificamente, buscou-se realizar os levantamentos sobre os mesmos vértices da área avaliada; processar os dados para obtenção das coordenadas planimétricas, distâncias horizontais, perímetro e área; elaborar e sobrepor as representações cartográficas; quantificar as diferenças de área e perímetro; e comparar aspectos relacionados à aquisição, ao registro e ao processamento das informações.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os levantamentos planimétricos constituem uma das bases da topografia e permitem determinar a posição relativa de pontos no terreno a partir de medições de ângulos e distâncias. Essas observações possibilitam o cálculo de coordenadas, perímetros e áreas e subsidiam a representação cartográfica de áreas destinadas a diferentes aplicações nas Ciências Agrárias e na Engenharia (Garcia; Piedade, 1979; Borges, 2013; McCormack; Sarasua; Davis, 2016).

A organização do levantamento em poligonais fechadas permite, além da determinação das coordenadas dos vértices, verificar a consistência das observações por meio dos erros de fechamento. No processamento convencional, as distâncias e direções medidas entre pontos sucessivos são utilizadas para o cálculo de rumos, azimutes e projeções, a partir dos quais são obtidas as coordenadas planimétricas. Esses procedimentos constituem fundamentos do levantamento topográfico e possibilitam acompanhar analiticamente a construção e o fechamento da poligonal (Espartel, 1987; Loch; Cordini, 2000; Barros; Barros, 2025).

No levantamento com teodolito, os ângulos são medidos diretamente pelo instrumento, enquanto as distâncias podem ser obtidas por diferentes métodos. Entre eles, a estadimetria possibilita sua determinação indireta a partir das leituras realizadas em mira graduada e do ângulo vertical observado. As informações registradas em campo são posteriormente processadas para obtenção das direções, projeções e coordenadas dos vértices (Garcia; Piedade, 1979; Espartel, 1987). Embora esse procedimento envolva maior número de operações manuais, permanece útil em situações nas quais se empregam equipamentos de menor nível de automação e para a compreensão dos princípios envolvidos no processamento de levantamentos topográficos.

Com o avanço da instrumentação, parte dessas operações passou a ser integrada aos próprios equipamentos. As estações totais combinam a medição eletrônica de ângulos e distâncias com o armazenamento digital das observações e a determinação de coordenadas, permitindo que os dados sejam posteriormente transferidos para ambientes computacionais de processamento e representação. Essa integração modifica principalmente o fluxo de aquisição e tratamento das informações, reduzindo registros e cálculos manuais (Mccormac; Sarasua; Davis, 2016). As vantagens decorrentes da automatização, entretanto, não significam que o resultado de um levantamento dependa exclusivamente do instrumento empregado, uma vez que o cenário de campo, a geometria da poligonal e os procedimentos adotados durante a medição e o processamento também interferem no produto obtido.

Comparações entre diferentes tecnologias de levantamento têm sido utilizadas para analisar esses aspectos. Lima, Caldeira e Caldeira (2020), ao avaliarem métodos empregados em levantamento planialtimétrico, discutiram diferenças relacionadas à execução e aos produtos gerados. Em uma comparação entre GNSS e estação total, Hussein e Abdulla (2021) consideraram, além dos resultados das medições, aspectos relacionados ao tempo e às condições de

realização do levantamento. Mais recentemente, Loures *et al.* (2025) analisaram diferentes equipamentos topográficos, incluindo estação total e receptor GNSS geodésico, destacando que o desempenho das tecnologias deve ser considerado em função das características e da finalidade do trabalho.

No contexto de áreas rurais, Barros, Barros e Pollo (2014) compararam o levantamento planimétrico convencional com aquele realizado por receptor GPS de navegação em pequenas propriedades, mostrando a possibilidade de avaliar diferentes métodos a partir dos produtos planimétricos obtidos. Embora os instrumentos e procedimentos avaliados nesses estudos não sejam os mesmos em todos os casos, seus resultados evidenciam a importância de considerar tanto os parâmetros geométricos quanto as singularidades operacionais na análise de técnicas de levantamento.

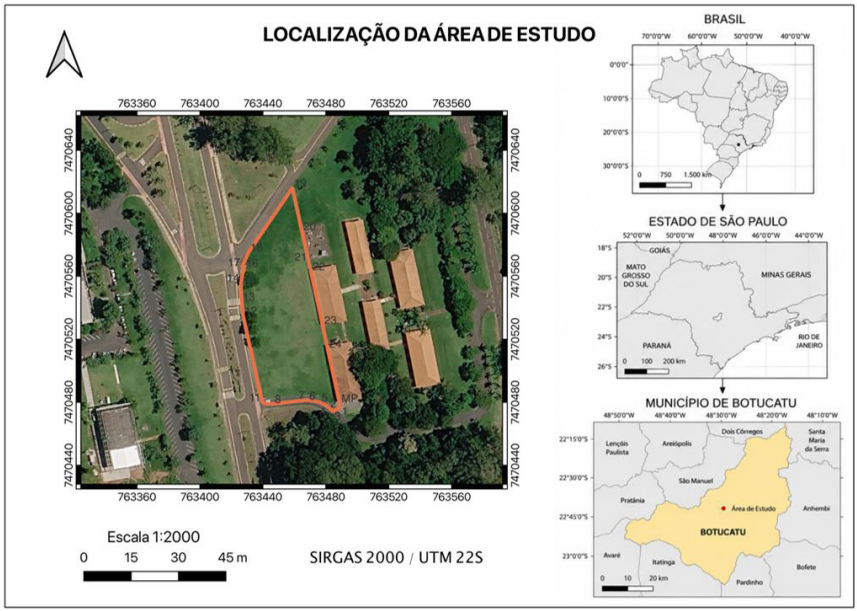
A comparação entre teodolito eletrônico e estação total insere-se nessa perspectiva, mas envolve instrumentos que se distinguem principalmente pelo grau de integração das operações de medição, registro e processamento. Quando empregados no levantamento dos mesmos vértices de uma área e sob condições semelhantes de campo, seus resultados podem ser analisados quanto à concordância geométrica, enquanto as diferenças no fluxo de trabalho permitem avaliar as implicações práticas da automatização das atividades topográficas.

METODOLOGIA

Área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP), no município de Botucatu, estado de São Paulo. Para a realização dos levantamentos, foi definida uma área delimitada por 25 vértices materializados em campo, sendo os mesmos pontos utilizados nos dois procedimentos avaliados.

Figura 1 – Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2026).

Equipamentos e Processamento dos Dados

Foram utilizados um teodolito eletrônico FOIF DT-402L, com precisão angular nominal de 2″, mira graduada, tripés, balizas, prisma e uma estação total Nikon NPL-322, com precisão angular nominal de 5″ e precisão de medição de distância com prisma de ±(2 mm + 2 ppm × D). Os dados obtidos nos levantamentos foram organizados e processados em planilhas eletrônicas e posteriormente inseridos no QGIS 3.36 Maidenhead para elaboração e comparação das representações cartográficas.

Levantamento com Teodolito Eletrônico

O levantamento com teodolito eletrônico foi realizado pelo método de caminhamento em poligonal fechada. Inicialmente, o instrumento foi orientado em relação ao norte magnético, determinado com auxílio da declinatória. Em cada estação foram observados os ângulos horizontais e verticais e realizadas as leituras dos fios estadimétricos superior, médio e inferior em mira graduada. As observações foram registradas em caderneta de campo para posterior processamento.

A poligonal de base utilizada no levantamento foi composta por sete vértices. Sua consistência foi verificada por meio dos erros de fechamento angular e linear. Para o fechamento angular, a tolerância foi determinada pela Equação 1:

$$Eaf = m \times a \times \sqrt{n} \quad (1)$$

Em que Eaf corresponde à tolerância do erro de fechamento angular, m ao

fator adotado em função das condições do levantamento, a à precisão considerada para a medição angular e n ao número de vértices da poligonal. Foram adotados m = 2, a = 15″ e n = 7, resultando em tolerância de aproximadamente 1′19″. A soma dos ângulos externos observados foi de 1619°59′45″, enquanto o valor teórico para sete vértices é 1620°00′00″, resultando em erro de fechamento angular de 15″, inferior à tolerância calculada.

O erro linear de fechamento foi determinado a partir das componentes de fechamento em x e y e relacionado ao perímetro da poligonal de base, sendo expresso em metros por quilômetro. O valor obtido foi de 0,72 m km^{-1}, inferior à tolerância máxima adotada de 2,00 m km^{-1}, conforme os procedimentos de controle descritos por Garcia e Piedade (1979).

As distâncias horizontais foram determinadas por estadiometria, conforme a Equação 2:

$$DH = 100 \times h \times \text{sen}^2(\alpha) \quad (2)$$

Em que DH corresponde à distância horizontal (m), h à diferença entre as leituras dos fios estadimétricos superior e inferior (m), 100 à constante empregada na fórmula e α ao ângulo vertical observado.

A partir das observações de campo, foram calculados os azimutes, rumos, projeções e coordenadas planimétricas dos vértices. O processamento também contemplou a determinação do perímetro e da área da poligonal, seguindo os procedimentos de cálculo analítico descritos por Barros e Barros (2025). As coordenadas obtidas foram posteriormente utilizadas para a representação da poligonal em ambiente SIG.

Levantamento com Estação Total

No segundo levantamento, utilizou-se uma estação total Nikon NPL-322, sendo os pontos levantados pelo método de irradiação a partir de uma única estação, instalada sobre um ponto previamente definido. Foi adotado um sistema de coordenadas locais, atribuindo-se coordenadas arbitrárias ao ponto de estação. O prisma foi posicionado sucessivamente nos mesmos vértices utilizados no levantamento com teodolito, mantendo-se, portanto, a geometria de referência da área.

Os ângulos horizontais e verticais e as distâncias foram medidos eletronicamente e armazenados na memória interna do equipamento. Após o levantamento, os dados foram exportados em formato .TRN, convertidos por meio do software Transit e organizados em planilha eletrônica. As coordenadas resultantes foram então inseridas no QGIS 3.36 para representação da área levantada.

Como o levantamento com estação total foi realizado em sistema de coordenadas locais e com direção inicial arbitrária, sua representação apresentava orientação distinta daquela obtida no levantamento com teodolito, referenciada ao norte magnético. Para permitir a comparação espacial entre as representações, o levantamento realizado com teodolito eletrônico foi adotado como referência de orientação, sendo aplicada uma rotação simples de 127°23′ à representação

proveniente da estação total. O valor da rotação foi determinado a partir da orientação estabelecida em campo. A transformação alterou apenas a orientação da representação, preservando sua geometria interna, distâncias, perímetro e área.

Comparação dos Levantamentos

Após o processamento, as duas representações foram sobrepostas em ambiente SIG para análise de sua correspondência espacial. A comparação quantitativa considerou os valores de área e perímetro obtidos por cada procedimento, sendo calculadas as diferenças absolutas e relativas entre os resultados. Como cada procedimento resultou em uma única determinação de área e perímetro, esses parâmetros foram analisados de forma descritiva, não sendo aplicados testes inferenciais de comparação de médias.

Também foram registrados aspectos operacionais observados durante a execução dos levantamentos, particularmente o tempo empregado nas atividades de campo e as etapas necessárias para registro e processamento dos dados. Como os tempos correspondem às necessidades específicas deste experimento e não resultam de ensaios repetidos de produtividade, foram utilizados de forma descritiva na comparação dos procedimentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dois procedimentos resultaram em representações com configuração espacial semelhante. Após a compatibilização da orientação do levantamento realizado com estação total, a sobreposição das representações permitiu observar a correspondência entre os traçados, embora tenham ocorrido pequenas diferenças na posição de alguns segmentos. Essas variações se refletiram nos valores de área e perímetro calculados para cada levantamento.

Tabela 1 – Comparação dos parâmetros planimétricos obtidos pelos dois procedimentos.

Parâmetro	Teodolito eletrônico	Estação total	Diferença absoluta	Diferença relativa (%)
Área (m²)	5.299,99	5.310,52	10,53	0,20
Perímetro (m)	343,35	343,65	0,30	0,09

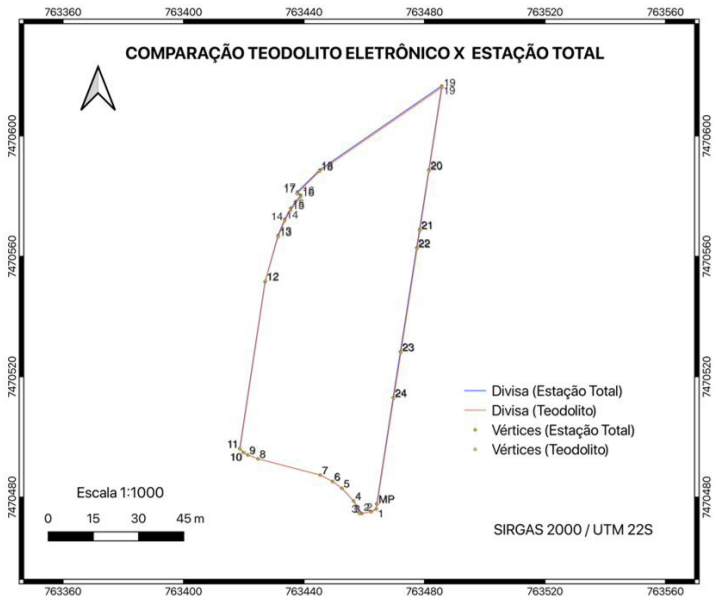
Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

A diferença entre as áreas foi de 10,53 m², correspondente a 0,20% do valor obtido pelo teodolito eletrônico, enquanto os perímetros diferiram em 0,30 m, ou 0,09%. Considerando que os levantamentos foram realizados de forma independente sobre os mesmos vértices, os valores indicam proximidade entre os resultados geométricos obtidos pelos dois procedimentos.

A poligonal de base utilizada no levantamento com teodolito eletrônico apresentou erro de fechamento angular de 15″ e erro linear de fechamento de 0,72 m km^{-1}, ambos inferiores às respectivas tolerâncias adotadas no processamento.

A sobreposição das representações permite observar espacialmente essas diferenças (Figura 2). Os afastamentos não ocorreram de maneira uniforme ao longo de todo o perímetro, sendo mais perceptíveis em determinados segmentos. Apesar disso, não houve alteração expressiva da configuração geral da área, o que é compatível com as pequenas diferenças verificadas nos valores de área e perímetro.

Figura 2 – Sobreposição das representações obtidas com teodolito eletrônico e estação total.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

A concordância observada deve ser interpretada considerando as diferenças existentes entre os procedimentos de aquisição dos dados. No levantamento com teodolito eletrônico, as distâncias foram determinadas indiretamente por estadiometria e as observações foram registradas para posterior processamento analítico. Com a estação total, ângulos e distâncias foram medidos eletronicamente e armazenados no próprio equipamento. Dessa forma, pequenas diferenças entre as representações podem estar relacionadas ao conjunto de operações envolvidas em cada procedimento, incluindo leitura, pontaria, centragem, determinação das distâncias e processamento dos dados. O delineamento adotado não permite, entretanto, atribuir as discrepâncias observadas a uma única fonte de erro.

Esse resultado é coerente com estudos que mostram que diferentes tecnologias de levantamento podem produzir resultados próximos quando empregadas adequadamente, embora apresentem particularidades quanto à aquisição e ao processamento das informações. Lima, Caldeira e Caldeira (2020) ressaltaram que a comparação entre procedimentos topográficos deve considerar não apenas os produtos obtidos, mas também os critérios de execução. Hussein

e Abdulla (2021), em comparação envolvendo GNSS e estação total, igualmente observaram diferenças operacionais entre tecnologias de levantamento, enquanto Loures *et al.* (2025) destacaram que a adequação dos equipamentos depende das características e da finalidade do trabalho.

Além dos resultados geométricos, foi observada diferença no tempo necessário para a realização das atividades de campo. O levantamento com teodolito eletrônico demandou aproximadamente duas horas, enquanto aquele realizado com estação total foi concluído em cerca de 30 minutos. Os dois procedimentos foram executados pela mesma equipe, composta por três integrantes, de modo que a diferença observada no tempo de campo não decorreu da redução do número de participantes entre os levantamentos. No procedimento convencional, ainda foram necessárias etapas posteriores de organização das observações e cálculo analítico das coordenadas, enquanto a estação total possibilitou o armazenamento digital das medições e a obtenção direta das coordenadas utilizadas no processamento.

A diferença observada no tempo de campo está associada principalmente ao fluxo de trabalho de cada procedimento. A medição eletrônica das distâncias e o registro digital reduzem operações que, no levantamento com teodolito e estadiômetro, dependem de leituras em mira, anotações e cálculos posteriores. Essa característica constitui uma vantagem operacional da estação total no contexto avaliado. Os tempos registrados, contudo, correspondem a uma única execução de cada levantamento e devem ser entendidos como dados descritivos deste estudo, e não como uma estimativa geral de produtividade dos equipamentos.

A comparação evidencia, portanto, duas características distintas. Do ponto de vista geométrico, as diferenças encontradas foram pequenas para a área e o perímetro da área analisada. Do ponto de vista operacional, a estação total reduziu o tempo de campo e o número de etapas manuais necessárias até a obtenção das coordenadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os levantamentos realizados com teodolito eletrônico e estação total produziram resultados planimétricos próximos para a área avaliada, indicando concordância entre os procedimentos quanto à representação espacial e aos valores de área e perímetro.

As principais diferenças foram observadas no fluxo de execução. A estação total possibilitou a medição eletrônica das distâncias, o armazenamento digital das observações e a obtenção direta das coordenadas, reduzindo o tempo de campo e as etapas manuais de processamento em relação ao procedimento com teodolito eletrônico e estadimetria.

Com base no experimento realizado, a estação total apresentou vantagens operacionais sem produzir diferenças relevantes nos parâmetros geométricos analisados em relação ao levantamento convencional. A escolha entre os

procedimentos deve considerar, além dos resultados obtidos, a finalidade do levantamento, os recursos disponíveis e as condições de execução.

Sob a perspectiva do ensino, o levantamento com teodolito eletrônico e estadiometria permanece relevante por permitir o acompanhamento das etapas de medição, da trigonometria topográfica, da análise dos erros e do processamento analítico da poligonal, enquanto a estação total possibilita integrar esses fundamentos às rotinas automatizadas de aquisição e registro dos dados.

REFERÊNCIAS

BARROS, B. S. X.; BARROS, Z. X. **Topografia aplicada: cálculo analítico da divisa.** 1. ed. Guarujá, SP: Científica Digital, 2025. DOI: 10.37885/978-65-5360-911-2.

BARROS, B. S. X.; BARROS, Z. X.; POLLO, R. A. **Levantamento planimétrico de pequenas propriedades rurais pelo sistema convencional e pelo receptor (GPS) de navegação**. Energia na Agricultura, v. 29, n. 2, p. 82–86, 2014. DOI: 10.17224/EnergAgric.2014v29n2p82-86.

BORGES, A. C. **Topografia aplicada à Engenharia Civil**. São Paulo: Edgard Blücher, 2013. v. 1–2.

ESPARTEL, L. **Curso de topografia.** 9. ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

GARCIA, G. J.; PIEDADE, G. C. R. **Topografia aplicada às ciências agrárias.** São Paulo: Nobel, 1979.

HUSSEIN, S. K.; ABDULLA, K. Y. Surveying with GNSS and Total Station: A Comparative Study. **Eurasian Journal of Science and Engineering,** v. 7, n. 1, p. 59–73, 2021. DOI: 10.23918/eajse.v7i1p59.

LIMA, G.; CALDEIRA, M.; CALDEIRA, C. Análise comparativa entre métodos de levantamento planialtimétrico para elaboração do plano diretor da comissão regional de obras em Belém - PA. **Revista Brasileira de Geomática,** v. 8, n. 4, p. 338–362, 2020. DOI: 10.3895/rbgeo.v8n4.12307.

LOCH, C.; CORDINI, J. Topografia contemporânea: planimetria. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2000.

LOURES, T. M.; SANTOS, L. C. G. S.; RODRIGUES, J. M.; SOUZA, E. M. A.; TEIXEIRA, D. C.; DINIZ, H. A. G. Comparative case study between different topographic measuring devices, such as total station and geodetic GPS. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 11, n. 1, 2025. DOI: 10.18540/jcecvl11iss1pp22399.

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