

Precisão e exatidão geodésica em dispositivos móveis utilizando um software de navegação para atividades em campo

Assessment of Geodetic Accuracy and Precision of Mobile Devices Using Navigation Software Under Field Conditions

Juliano Rodrigo Lamb¹; Cláudio Leones Bazzi²; Vanderlei Artur Bier³

- ¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira, Departamento Acadêmico de Computação, Medianeira/PR, Brasil. Email: lamb@utfpr.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3417-9312>
- ² Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Medianeira, Departamento Acadêmico de Computação, Medianeira/PR, Brasil. Email: bazzi@utfpr.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7726-144X>
- ³ Instituto Federal do Paraná – Campus Irati, Irati/PR, Brasil. Email: vanderlei.bier@ifpr.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0604-1829>

Resumo: O conhecimento da variabilidade espacial e o tratamento localizado são dois elementos extremamente importantes dentro da Agricultura de Precisão. Esse conhecimento pode ser obtido mediante amostragem e avaliação dos dados coletados. O modo de coleta e avaliação é condicionado ao atributo ou propriedade em estudo e por vezes, por se tratar de atributos estáveis, não são necessários equipamentos de alta precisão para coleta. Estes equipamentos apresentam ainda, custo elevado quando comparados a equipamentos GNSS de baixa precisão, como aparelhos celulares. Este trabalho teve como objetivo avaliar dois dispositivos móveis, um celular e um tablet, por meio da navegação e localização dos pontos com o sistema SNAC, utilizando uma estação RTK para avaliar sua exatidão e precisão. Os dados foram apresentados por meio de gráficos de dispersão e avaliados por técnicas estatísticas que permitem a avaliação de médias relativas aos dados coletados. Na localização dos pontos, os equipamentos apresentaram exatidão média próxima a 1 m, possibilitando serem utilizados em atividades agrícolas cuja exatidão requerida não seja superior a esse valor. Os resultados sugerem ainda, que a exatidão é estatisticamente superior quando os ensaios forem efetuados em período matutino.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; GNSS; Android; RTK-GPS.

Abstract: Knowledge of spatial variability and localized treatment are two extremely important elements in Precision Agriculture (PA) and can be obtained by sampling and evaluating the collected spatial data. The mode of collection and evaluation is conditioned to the attribute or property under study and, sometimes, high precision equipment is not required for collection. Such devices have a high cost when compared to low-precision global navigation satellite system (GNSS) equipment, such as cell phones. This study aimed to evaluate two mobile devices, a cell phone and a tablet, through the navigation and location of the points with the SNAC system, using an Reference station to evaluate precision and accuracy. The data were presented as scatter plots and evaluated by statistical techniques on the means related to the collected data. In the location of the points, the mean accuracy of the equipment was close to 1 m, making it possible to be used in agricultural activities whose required accuracy is not higher than this value. The results also suggest that the accuracy is statistically higher when the tests are carried out in the morning.

Keywords: Precision agriculture; GNSS; Android; RTK-GPS.

1. Introdução

A avaliação da precisão e exatidão em diferentes dispositivos e condições é extremamente pertinente às atividades de agricultura de precisão, pois o gerenciamento localizado é um dos processos que distingue a agricultura convencional da Agricultura de Precisão (AP), como apontam Silva et al. (2019).

Receptores GNSS são equipamentos que fazem uso de uma ou mais constelações de satélites artificiais orbitando ao redor do globo e determinam uma posição no planeta por meio dos princípios de triangulação. Essa posição sofre interferência pela geometria dos satélites (posição dos satélites a partir da visão do receptor), atraso atmosférico, bem como efeitos de caminhos múltiplos, causados pela reflexão, dentre outros fatores (RUDOLPH et al., 2019). Em outra pesquisa, Bancroft, Morrison e Lachapelle (2012) avaliaram o desempenho de receptores GNSS sob linhas de alta tensão e identificaram que não existe interferência significativa.

Na AP existem diversas atividades que demandam alta exatidão, principalmente em operações de orientação e piloto automático (PÉREZ-RUIZ et al., 2011; CARBALLIDO et al., 2014; PINI et al., 2020). Para Araújo et al. (2018), operações de georreferenciamento em obras de engenharia também demandam alta exatidão e precisão. Ainda que se tenha um range com variação de 50, 100 ou 300 mm; este último valor é adequado à precisão e superior aos marcadores de linha convencionais, exemplificam Pérez-Ruiz et al. (2011).

Silva et al. (2019) destacaram que a exatidão é condicionada ao algoritmo de navegação e redução de ruídos. Equipamentos multifrequência e multi-constelação podem ter a precisão aumentada (RUDOLPH et al., 2019), no entanto apresentam elevado custo de aquisição. Trabalhos são conduzidos no desenvolvimento de soluções precisas e de baixo custo, como Keskin, Sekerli e Kahraman (2017), Rudolph et al. (2019) e Silva et al. (2019).

No entanto, muitas atividades ainda não demandam alta exatidão. Rudolph et al., (2019) apresentam diversos trabalhos nos quais as propriedades do solo são medidas em uma escala acima de 1 metro – sem perda na obtenção de informação; enquanto a maioria dos equipamentos de AP requer uma precisão abaixo de 3 m. Além disso, os autores argumentam que, se o atributo em estudo não apresenta exatidão como fator crítico, não é necessário utilizar um receptor GNSS mais preciso. Como exemplo, Rosalen et al. (2011) avaliaram a variabilidade espacial da resistência do solo com um receptor GPS de navegação e com um receptor geodésico L1 e, não constatarem diferença no mapeamento realizado.

O conhecimento da variabilidade espacial é importante, pois o seu comportamento é condicionado à propriedade em estudo, compreendendo variações em curtas distâncias de alguns metros em longas distâncias de dezenas ou centenas de metros (KERRY, OLIVER e FROGBROOK, 2010; MOLIN e TAVARES, 2019). Este conhecimento é quem determinará o tipo de equipamento a ser utilizado no monitoramento.

Estudos foram conduzidos na avaliação de dispositivos de baixa exatidão, como em Araújo et al. (2018) ou Soares e Andrade (2018). No entanto os testes não utilizam um ponto georreferenciado conhecido, como ponto de comparação. Soares e Andrade (2018) em suas considerações finais apontam essa necessidade em trabalhos futuros. Outros estudos procuram avaliar diferentes dispositivos comerciais, como Machado et al. (2010) e Carballido et al. (2014), diagnosticando falta de exatidão na maioria dos dispositivos convencionais.

Nesse cenário de avaliação de dispositivos e opções de baixo custo, tem-se uma oportunidade para a utilização de smartphones. Essa tecnologia vem ganhando cada vez mais espaço, como apontam Pongnumkul, Chaovalit e Surasvadi (2015) e Deichmann, Goyal e Mishra (2016), pela sua mobilidade, poder computacional, custo e variedade de aplicativos – sem mencionar a ampla gama de sensores disponíveis nesses dispositivos, fator que amplia ainda mais suas possibilidades de uso. A principal finalidade desses dispositivos ainda está concentrada em atividades de gerenciamento, não sendo a geolocalização o foco predominante.

O desenvolvimento de aplicativos voltados a geolocalização ainda não é significativo. Em revisão sistemática conduzida por Pongnumkul, Chaovalit e Surasvadi (2015) foram identificados apenas 22 trabalhos relevantes relacionados à utilização de celulares em operações agrícolas – voltadas principalmente ao gerenciamento da propriedade. A falta de informações claras e precisas quanto aos valores de exatidão e precisão desse tipo de dispositivo em ambientes próximos ao ambiente agrícola, pode ser um fator que iniba a utilização de smartphones em atividades de geolocalização na área agrícola.

Caso tablets e smartphones apresentem exatidão e precisão necessárias às atividades em que estas não sejam críticas, abre-se um universo de possibilidades com a utilização destes equipamentos. Sem contar que esta tecnologia já é utilizada (mas não para geolocalização) pelo produtor rural – o que dispensaria a aquisição de novos receptores – além de ter um custo muito baixo, quando comparado a um receptor GNSS convencional. Esta é a principal lacuna que este estudo pretende preencher, considerando que as especificações técnicas de precisão e exatidão em dispositivos móveis não são claramente informadas pelos fabricantes, e que a literatura científica sobre o tema ainda é incipiente.

O objetivo deste estudo é avaliar a acurácia e a precisão de dispositivos móveis em condições similares às de operações agrícolas reais, utilizando o SNAC (LAMB et al., 2022) como sistema de navegação e uma estação RTK como estação de referência. O conhecimento desses valores permite determinar a viabilidade do uso de smartphones ou tablets em atividades de geolocalização na Agricultura de Precisão (AP). Ressalta-se que o propósito deste estudo não é comparar a eficácia entre o uso de um receptor GNSS e um dispositivo móvel, mas sim verificar se os resultados de acurácia e precisão obtidos com ambos, são similares. Essa confirmação pode estimular proprietários rurais a adotarem técnicas de AP sem a necessidade de aquisição de novos equipamentos, além de fomentar o uso de aplicativos voltados a atividades de amostragem, como o SNAC.

2. Metodologia

2.1 Caracterização do local de ensaio e equipamentos utilizados

As medições foram realizadas em propriedade particular localizada nas coordenadas médias 25°18'58.4"S 54°03'35.8"W, correspondentes a uma propriedade coberta com grama, sem árvores ou construções próximas aos pontos amostrais (Figura 1); condições estas próximas às encontradas em uma propriedade rural. A área selecionada possui aproximadamente 2 ha e foram utilizados 20 piquetes fixos já existentes no local, como pontos de observação. Os piquetes estão espaçados por distâncias de aproximadamente 10 m.

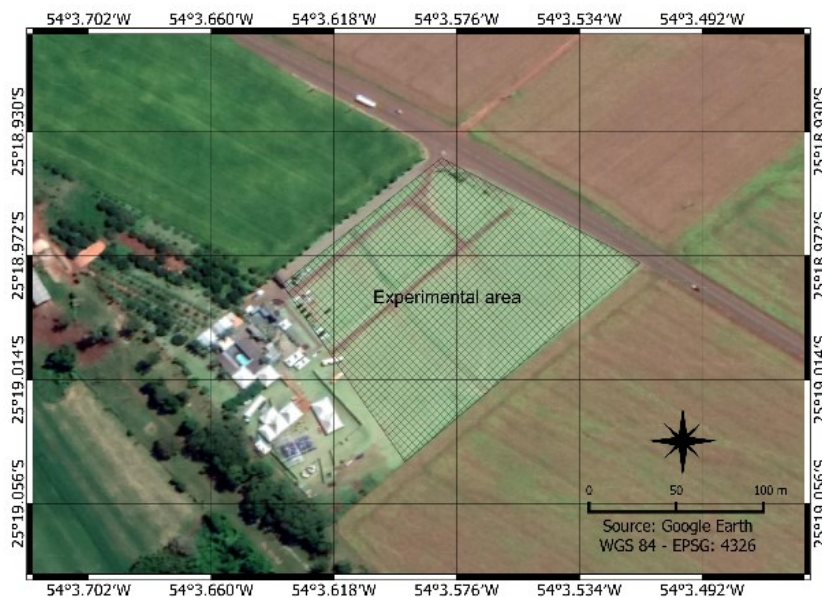


Figura 1 – Imagem do GoogleEarth com destaque à região em que o experimento foi conduzido, identificado por preenchimento em tom quadriculado.

Fonte: Autores (2025).

Os testes foram realizados utilizando dois dispositivos móveis para validação de percurso e de acurácia, sendo eles um tablet (E1) e um smartphone (E2) (Tabela 1), de forma que a análise dos resultados pudesse ser feita sem conexão ou dependência de um único equipamento. Os dispositivos foram escolhidos aleatoriamente, e apenas aqueles com sistema operacional Android foram selecionados, uma vez que o SNAC é executado exclusivamente em dispositivos com essa plataforma.

Tabela 1 – Relação das principais características dos dispositivos móveis utilizados.

ID	Tipo	Marca	Modelo	Android (Versão)	Chipset	GNSS
E1	Tablet	Samsung	SM-T580	8.1.0	Exynos 7870 Octa (14 nm)	A-GPS, GLONASS, Beidou (market dependent)
E2	Celular	Xiaomi	Mi 9 SE	10	Qualcomm SDM712 Snapdragon 712 (10 nm)	A-GPS, GLONASS, GALILEO, BDS

Fonte: MILINOV et al. (2020).

Além dos equipamentos acima descritos, foram realizados dois ensaios secundários com equipamentos: um ensaio isolado utilizando um receptor GPS Trimble Juno 3B (E3), com capacidade de recepção de 12 canais paralelos e de rastrear o código C/A na portadora L1, segundo especificações do fabricante. Este equipamento teve sua exatidão verificada em ensaios de navegação até os piquetes sem a utilização do SNAC. Outro ensaio foi conduzido utilizando um smartphone Samsung Galaxy S10+ (E4), receptor GNSS multi-constelação e Android 10. Este equipamento foi escolhido por ser considerado um aparelho recente no mercado apresentando capacidades de processamento e armazenamento elevado.

Durante a realização do experimento foram mensurados parâmetros que podem interferir na transmissão do sinal GPS: os valores de diluição da precisão (DOP), percentual de cobertura de nuvens, temperatura, umidade e velocidade do vento.

O DOP é um dos principais parâmetros considerados na utilização de equipamentos GPS e interfere diretamente na precisão, conforme descrito por Langley (1999). O parâmetro PDOP (diluição da precisão posicional) refere-se ao erro na determinação da posição. Embora o PDOP seja amplamente considerado no planejamento de experimentos, o avanço de equipamentos multi-constelação possibilita o acesso a um número significativamente maior de satélites, o que pode contribuir para a redução de custos. No entanto, ainda são necessárias investigações que estabeleçam a real relação entre esses elementos (WANG; HUANG, 2015). Com um número mais amplo de satélites disponíveis, Jyothirmaye, Srinivas e Ramu (2019) destacam a importância do desenvolvimento de algoritmos capazes de selecionar rapidamente os satélites com base nos valores de DOP apresentados.

Para o monitoramento das condições climáticas (temperatura, umidade e velocidade do vento), foram utilizados um termohigrômetro digital e um anemômetro (Tabela 2).

Tabela 2 – Relação das principais características dos equipamentos para monitoramento das condições climáticas.

Equipamento	Marca	Modelo	Temperatura	Umidade	Velocidade do vento
Anemômetro	Herbicat	AD-250	-	-	1,4 a 108 km h ⁻¹ com precisão $\pm 4\%$ % escala completa
Termo higrômetro	Herbicat	SH-122	-50 a 70 °C com precisão ± 1 °C	20 a 90% RH com precisão $\pm 5\%$	-

Fonte: Autores (2025).

As medições foram realizadas no início, metade e fim dos principais eventos: demarcação da posição dos piquetes, navegação com o equipamento E1 e navegação com o equipamento E2. Assim, foi possível determinar a condição média em cada uma destas atividades.

O percentual de cobertura de nuvens foi registrado com base nos valores previstos no serviço Windy. Este serviço é mantido de maneira colaborativa com um site e aplicativo de mesmo nome, utilizando informações das estações da organização EMC (Environmental Modeling Center) por meio de RADAR, satélite, relatórios de aeronaves, sondagens aéreas (balões meteorológicos), estações terrestres e boias oceânicas (WINDY COMMUNITY, 2020; ENVIRONMENTAL MODELING CENTER, 2020).

O georreferenciamento das coordenadas utilizadas no trabalho foi feito por empresa especializada, com o sistema GNSS Trimble RTK R4, com exatidão de 3 mm + 0,1 ppm RMS na horizontal e 3,5 mm + 0,4 ppm RMS na vertical, conforme especificação do fabricante (Figura 2).



*Figura 2 – Montagem do sistema GNSS Trimble RTK R4.
Fonte: Autores (2025).*

Esta estação foi utilizada para avaliar a exatidão e precisão dos dispositivos móveis, sendo montada em marco geodésico determinado seguindo normas técnicas do INCRA e em observância a lei 10267/2001 e suas alterações.

2.2 Conectividade, tempo de aquisição e posição do equipamento de leitura

Os ensaios foram conduzidos procurando reproduzir situações de campo na busca de pontos de amostragem. Deste modo, os equipamentos avaliados já possuíam a relação de pontos previamente alimentada.

O SNAC não necessita de conectividade com nenhum tipo de rede, com exceção do sinal GNSS. Todo o cálculo de posição é feito a partir da obtenção das coordenadas geográficas e operações matemáticas, sem precisar de conexão com a Internet. Esta, quando disponível, fará a renderização de alguns elementos no mapa, como os POIs (Pontos de Interesse – nativos do próprio mapa disponibilizado pela API do GoogleMaps).

O caminhamento foi feito segurando-se o equipamento na posição horizontal, praticamente paralelo ao solo, com altura de 1,20 m, aproximadamente.

Não foi necessário nenhum tempo de aquisição de sinal, sendo todo o processo dinâmico. Na interface do aplicativo SNAC é exibido o valor da distância até o ponto de destino e a medida em que é feito o deslocamento esse valor é atualizado, podendo chegar à origem. Como no desenvolvimento, esse parâmetro de interface foi mensurado do tipo inteiro, não são exibidas distâncias fracionárias. No entanto, em seu cálculo, considera-se o valor fracionário sendo este arredondado para exibição. Logo, uma distância de 0,6 m é arredondada para 1 m, por exemplo. Observou-se em algumas situações, dificuldades na localização do ponto, de maneira a se obter o valor de 0 na interface; nestes casos, a demarcação das posições foi feita com 1 m.

2.3 Determinação das posições iniciais e geração do arquivo de coordenadas

Foram georreferenciados 20 piquetes fixos com o equipamento geodésico, com precisão centimétrica. Todos foram referenciados colocando-se a antena receptora na mesma posição em relação ao piquete.

Durante o momento de demarcação dos piquetes, observou-se temperatura média de 18,5 °C, umidade média de 64% e rajadas de vento médias de 6,3 km h⁻¹ com máximas de 8,2 km h⁻¹ e períodos com ausência total de vento. O percentual médio de cobertura de nuvens foi de 90%.

Cada piquete foi devidamente identificado por uma etiqueta com sua numeração. O mapa com a disposição e localização dos piquetes pode ser visualizado na Figura 3, sendo que cada um foi identificado pela letra P seguida de um número. A estação GNSS foi montada próxima ao piquete P01 e está identificada como ponto “base”.

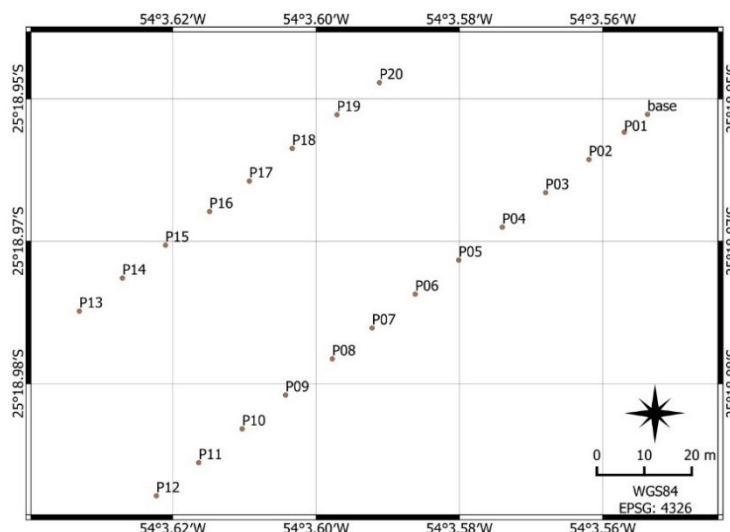


Figura 3 – Mapa com a localização da estação GPS e dos 20 piquetes.

Fonte: Autores (2025).

Após a conclusão dos 20 pontos, as coordenadas foram exportadas e ajustadas ao formato exigido pelo SNAC com o uso de um notebook. Esse processo foi realizado por meio de um editor de texto, respeitando o formato XML requerido, o qual é composto por diversos nós XML, sendo que cada nó representa uma coordenada. O arquivo foi criado manualmente, sendo necessário apenas informar o nome do ponto, bem como sua latitude e longitude, em formato decimal. Neste ponto, observa-se outra vantagem do SNAC: não é necessário o uso de software proprietário ou de formatos específicos como ocorre com equipamentos de navegação comerciais, cujos fabricantes geralmente fornecem uma única licença de software para utilização do hardware.

2.4 Procedimento metodológico para o teste de percurso com dispositivos móveis

Foi então iniciada a navegação com o primeiro equipamento (E1), sendo realizado o caminhamento até o primeiro piquete (P1). Ao chegar na posição dada como correta pelo equipamento (E1), como sendo o piquete (P1), é feita a medição com o GPS geodésico verificando a coordenada real, com leitura efetuada por aproximadamente 30 segundos. Esta coordenada foi anotada para posteriormente permitir o cálculo da distância entre ambos os pontos. Esse processo foi conduzido por duas pessoas sendo que uma ficava responsável pela navegação com o dispositivo móvel enquanto a outra, pelo receptor do equipamento geodésico.

Concluído o primeiro ponto (P1) foi iniciado o deslocamento até o segundo ponto (P2), sendo repetido o procedimento descrito para o ponto anterior. Concluído este, partiu-se para o próximo ponto, até que fossem completados os 20 piquetes. Teve-se nesse momento a primeira repetição completa. Foram efetuadas 4 repetições para o equipamento E1, totalizando 80 leituras relativas às posições dadas como corretas.

A Figura 4 apresenta capturas de tela da execução do SNAC em uma das repetições. Em (a) o processo de navegação foi iniciado e está sendo feito o deslocamento até o Ponto 1, identificado em verde, enquanto o caminhamento é destacado pela cor vermelha. Em (b) tem-se o momento em que o software acusa ter chegado a coordenada correta, neste caso o Ponto 8. O painel localizado no canto superior esquerdo apresenta o valor da distância como “~0m”, ou seja, o equipamento considera que chegou-se exatamente a coordenada proposta. Reforça-se novamente, que este valor não apresenta casas decimais, logo, quando não foi possível obter essa precisão, o ponto foi coletado com uma distância de “~1m”. Em (c) tem-se a conclusão da navegação, com a passagem por todos os pontos. Pode-se observar que o percurso efetuado (em vermelho) foi muito próximo ao planejado.

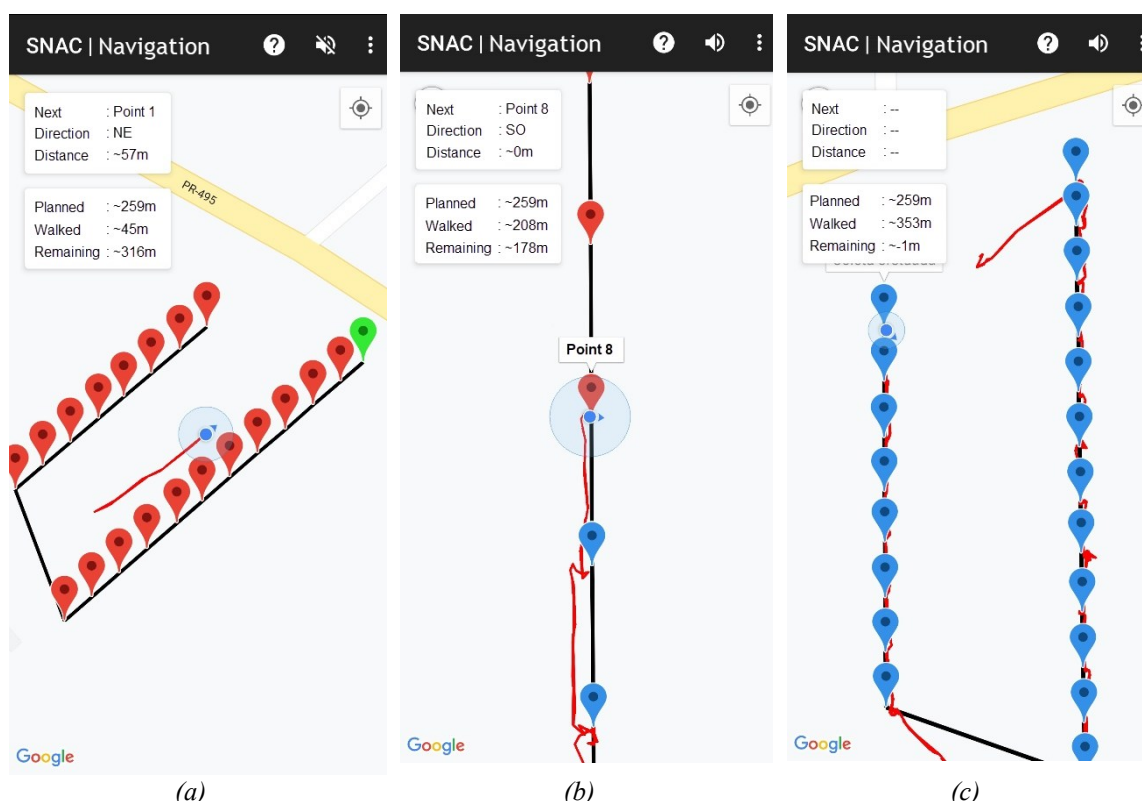


Figura 4 – Capturas de tela da execução do SNAC no equipamento E2, em uma das repetições, sendo (a) início da navegação, (b) chegada no ponto determinado e (c) conclusão de uma repetição.

Fonte: Autores (2025).

2.5 Condições climáticas observadas durante o experimento

Quatro testes foram realizados em quatro períodos distintos, sendo dois conduzidos pela manhã e dois à tarde. Os ensaios foram executados sob diferentes condições de temperatura, vento e nebulosidade, e os valores médios de cada teste estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Médias das condições climáticas observadas durante o experimento.

		Ensaio 01	Ensaio 02	Ensaio 03	Ensaio 04
E1	Temperatura	15.2 °C	20.8 °C	23.7 °C	8.9 °C
	Umidade	71.3%	68%	58%	96.3%
	Vento	0 – 5.3 km h ⁻¹	10.1 – 24.5 km h ⁻¹	7.8 – 16.1 km h ⁻¹	9.2 – 16.4 km h ⁻¹
	Nuvens	64%	0%	28%	66.6%
E2	Temperatura	9.3 °C	20.5 °C	25.6 °C	11.5 °C
	Umidade	94.6%	70%	53.6%	83.3%
	Vento	0 – 3.0 km h ⁻¹	7.4 – 19.9 km h ⁻¹	8.6 – 17.4 km h ⁻¹	11.2 – 20 km h ⁻¹
	Nuvens	28%	0%	28%	2%

Fonte: Autores (2025).

Ao final do segundo percurso, foi realizado um teste com o receptor Juno (E3). A navegação foi feita observando os mesmos piquetes demarcados, com a mesma metodologia aplicada anteriormente e quatro repetições – com a única exceção de que o SNAC não foi utilizado, uma vez que o Juno possui seu próprio navegador. O equipamento foi avaliado sob condições de ausência de nebulosidade (0%), temperatura média de 19,3 °C, umidade relativa de 73% e rajadas de vento variando de 3,6 a 14,8 km h⁻¹.

Antes do início das repetições no terceiro percurso, foi realizada uma avaliação com o E4, sob temperatura média de 20,9 °C, umidade relativa média de 63,3% e rajadas de vento entre 7,5 e 13,7 km h⁻¹.

2.6 Procedimentos de análise

Os dados obtidos foram avaliados por meio de análise exploratória, com uso de estatística descritiva. O delineamento experimental adotado foi um experimento com dois fatores, com análise realizada por métodos paramétricos e não paramétricos, com o objetivo de identificar se os valores relacionados ao erro de navegação com dispositivos móveis dependem do tipo de equipamento ou de alguma condição presente nos dias em que os testes foram realizados.

3. Resultados e Discussão

3.1 Dispersão dos dados

As posições obtidas pela estação de referência durante os quatro testes foram organizadas em diagramas de dispersão, onde a origem (coordenada 0,0) representa a posição do piquete e os valores plotados correspondem ao valor do erro obtido com a estação de referência. A Figura 5 apresenta essa reorganização para os dados obtidos durante a recuperação dos pontos com o equipamento E1.

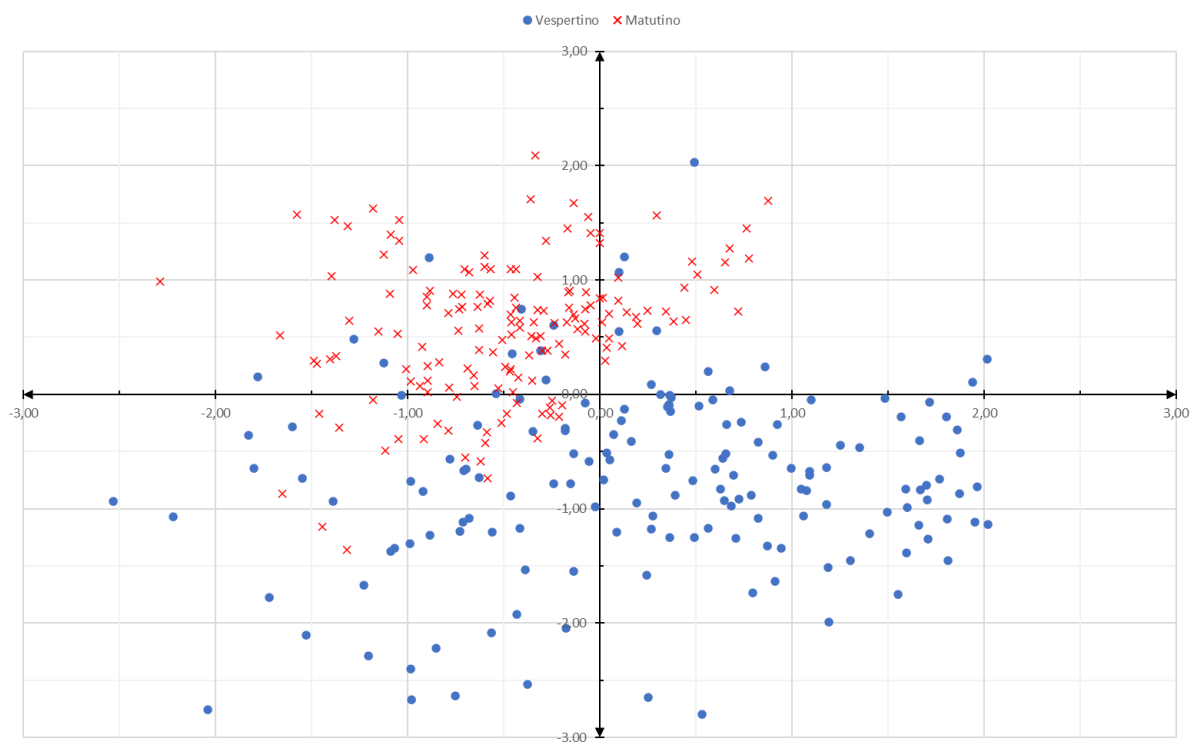


Figura 5 – Resumo do comportamento da dispersão na localização dos pontos com o equipamento E1.

Fonte: Autores (2025).

Essa abordagem permite uma melhor inspeção visual quanto ao comportamento, como na visualização do erro na localização do ponto com o equipamento E1, que apresentou valores que não ultrapassaram 3 metros em nenhum dos testes. Outro achado visual refere-se ao agrupamento das leituras de acordo com o período de realização do experimento.

O equipamento E2 apresenta um resumo semelhante ao do E1, conforme mostrado na Figura 6, em que o erro de recuperação não excedeu 3 metros e as leituras demonstram tendência de agrupamento conforme o período de execução dos testes.

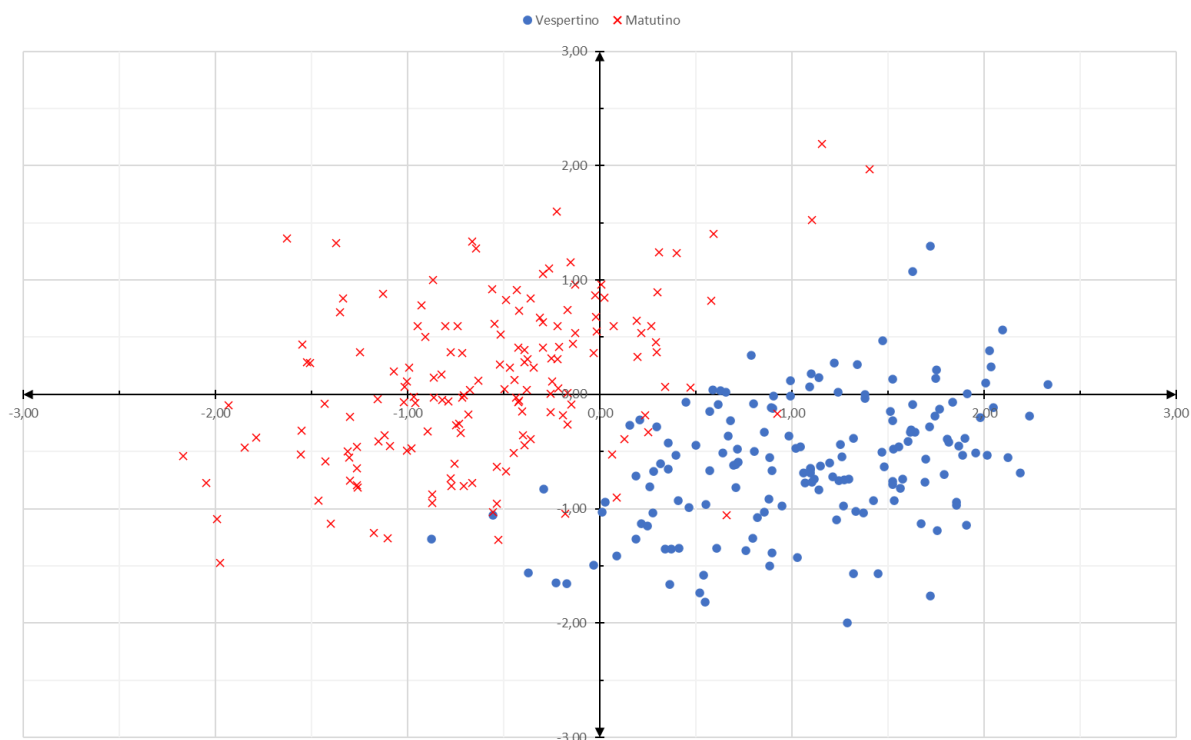


Figura 6 – Resumo do comportamento da dispersão na localização dos pontos com o equipamento E2.

Fonte: Autores (2025).

3.2 Análise paramétrica

Os dados foram tabulados de maneira a permitir uma análise estatística. Como os ensaios principais foram conduzidos utilizando dois equipamentos (EQUIP), procurou-se verificar se estes produziam valores diferentes de distância (DIST) em relação ao piquete. Como os ensaios foram conduzidos em dois períodos (PERIODO) distintos, considerou-se essa variável durante a análise.

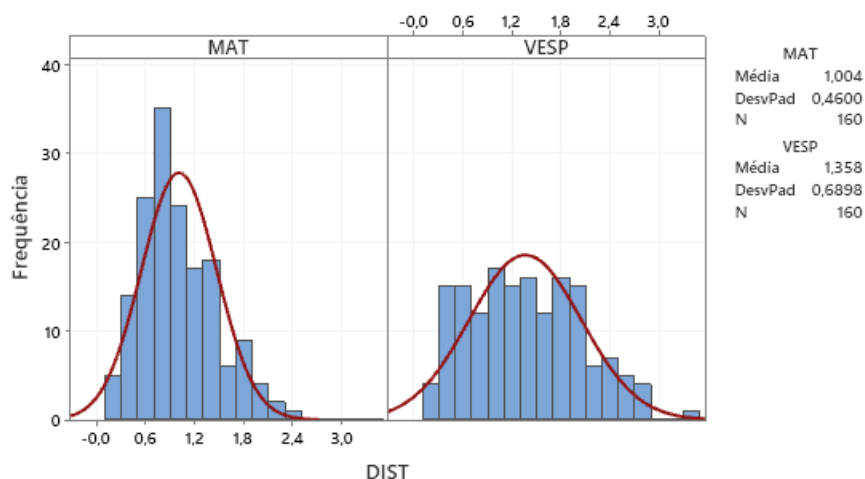
As estatísticas descritivas para a variável resposta DIST em função do equipamento E1 podem ser vistas na Tabela 4. Pode-se observar que no período matutino (MAT) os resultados foram mais exatos, ou seja, chegou-se mais próximo ao piquete, em média. Os valores de mediana também apresentam uma precisão superior à coleta feita pela tarde, 0,90 cm contra 1,31 cm. Os valores de quartis também refletem esse comportamento. O erro máximo em relação ao piquete no período matutino foi aproximadamente 1 m inferior ao valor observado no valor vespertino.

Tabela 4 – Estatísticas descritivas para a variável resposta DIST para o equipamento E1.

PERIODO	N	Média	Desvio Padrão	Variância	Coef. Variação	Mín.	Q1	Mediana	Q3	Máx.
MAT	160	1.0043	0.4600	0.2116	45.80	0.2205	0.6756	0.9050	1.2963	2.4927
VESP	160	1.3579	0.6898	0.4758	50.79	0.1068	0.8239	1.3149	1.8791	3.4325

Fonte: Autores (2025).

O coeficiente de assimetria calculado, pelo critério de Bowley, é de 0,71 (MAT) e 0,32 (VESP), o que indica uma assimetria positiva para ambas as distribuições. O histograma da Figura 7 permite a inspeção visual e a confirmação dessas informações. A assimetria à direita neste caso é interessante pois indica uma maior quantidade de observações com valores mais próximos de 0. Os valores de curtose foram 0,08 (MAT) e -0,52 (VESP), o que indica um comportamento ligeiramente superior ao normal (leptocúrtica) no período matutino e um comportamento mais achatado (platicúrtica) no período vespertino.



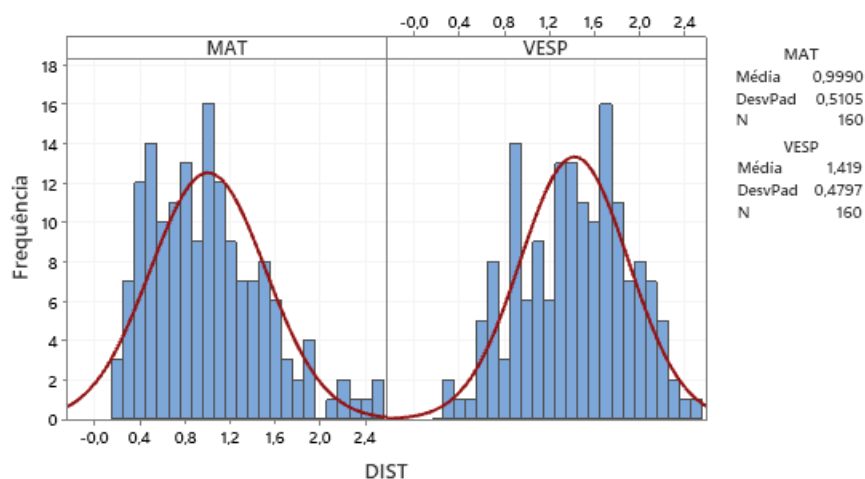
Na Tabela 5 são apresentadas as estatísticas descritivas para a variável DIST em função do equipamento E2. Assim como no equipamento E1, os valores são mais exatos no período matutino. Os valores para média, mediana e quartis ilustram essa superioridade, com valores inferiores. O valor máximo observado, tanto no período matutino foi semelhante, com diferença de apenas 1 cm; sendo muito próximo ao valor máximo observado pelo equipamento E1 no período matutino, com diferença de apenas 3 cm.

Tabela 5 – Estatísticas descritivas para a variável resposta DIST para o equipamento E2.

PERÍODO	N	Média	Desvio Padrão	Variância	Coef. Variação	Mín.	Q1	Mediana	Q3	Máx.
MAT	160	0.9990	0.5105	0.2606	51.10	0.1697	0.5777	0.9562	1.3130	2.4768
VESP	160	1.4192	0.4797	0.2301	33.80	0.3049	1.0548	1.4140	1.7576	2.4616

Fonte: Autores (2025).

O histograma da Figura 8, permite em inspeção visual, a identificação de mais de um pico em ambas as distribuições o que poderia sugerir um comportamento multimodal. É possível verificar ainda sugestão de assimetria e curtose, sendo estes valores confirmados após o cálculo de cada um. Os coeficientes de assimetria calculados foram de 0,73 (MAT) e -0,15 (VESP), o que novamente indica uma cauda à direita mais pesada para o período matutino enquanto para o período vespertino se tem uma assimetria à esquerda. Os valores do coeficiente de curtose foram 0,20 (MAT) e -0,66 (VESP), repetindo o comportamento leptocúrtico (MAT) e platicúrtico (VESP).



Os pequenos desvios, quanto a normalidade, não comprometem a análise por métodos paramétricos, considerando o conjunto de dados em estudo. A análise da média, coeficiente de variação e desvio padrão reforça essa abordagem (Tabela 6). A exatidão obtida na recuperação dos pontos é dada pela média de DIST, sendo em média superior no período matutino (1,002 m). A precisão, avaliada pelo comportamento do desvio padrão, também indica melhores resultados no período matutino (0,48 versus 0,59).

Tabela 6 – Estatísticas descritivas média e desvio padrão para DIST.

	Período	Equipamento E1	Equipamento E2	Todos
Média	MAT	1.004	0.999	1.002
Desvio padrão		0.4600	0.5105	0.4852
Coeficiente de variação		45.81%	51.10%	48.42%
Contagem		160	160	320
Média	VESP	1.358	1.419	1.389
Desvio padrão		0.6898	0.4797	0.5939
Coeficiente de variação		50.79%	33.80%	42.75%
Contagem		160	160	320
Média	TODOS	1.181	1.209	1.195
Desvio padrão		0.6115	0.5375	0.5754
Coeficiente de variação		51.77%	44.45%	48.15%
Contagem		320	320	640

Fonte: Autores (2025).

Foi efetuada a análise de variância (Tabela 7) para a variável DIST em função do EQUIP e PERÍODO, bem como sua interação (EQUIP*PERÍODO). Os resultados indicam que o EQUIP e a interação não são estatisticamente significantes. O p-valor para a variável PERÍODO é 0,000, sendo este significativo estatisticamente. Como este é composto por apenas dois níveis, já é possível concluir que eles diferem entre si.

Tabela 7 – Análise de variância para a variável DIST em função do EQUIP e PERIODO.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
EQUIP	1	0.125	0.1247	0.42	0.516
PERIOD	1	23.952	23.9516	81.32	0.000
EQUIP*PERIOD	1	0.177	0.1775	0.60	0.438
Erro	636	187.316	0.2945		
Total	639	211.570			

Fonte: Autores (2025).

Os valores residuais aproximadamente seguem um comportamento normal, conforme apresentado na Figura 9, contribuindo na justificativa no modelo ANOVA adotado. A variância dos resíduos aparenta ser constante, com um outlier apenas. O histograma demonstra assimetria à esquerda. O gráfico de resíduos versus ordem indica que estes são independentes um do outro, sem a ausência de padrões.

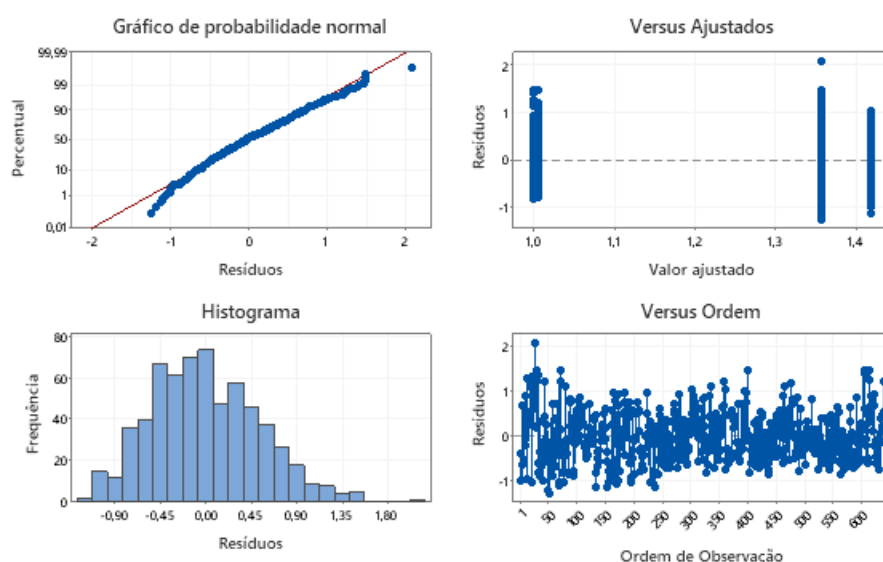


Figura 9 – Análise gráfica para os resíduos do modelo ANOVA escolhido.

Fonte: Autores (2025).

Com base nas informações apresentadas, o modelo ANOVA mostra-se relativamente adequado e pode ser executado o teste de hipóteses. Foi escolhido o teste Tukey, a 5% de significância, conforme Tabela 8, podendo-se afirmar com 95% de confiança que o PERIODO afetou a DIST.

Tabela 8 – Teste de Tukey para a variável PERIODO.

PERÍODO	N	Média	Agrupamento
MAT	320	1.38856	A
VESP	320	1.00165	B

Nota: Para os valores obtidos, letras maiúsculas iguais indicam que as médias não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Autores (2025).

Foi efetuada outra análise de variância para confirmar o cenário identificado, com precisão superior pela manhã, analisando a DIST em função do ENSAIO realizado (Tabela 9). O p-valor é significativo e considerando que existem quatro níveis de ENSAIO, o teste comparativo de hipóteses permite verificar os agrupamentos gerados (Tabela 10).

Tabela 9 – Análise de variância para DIST em função do ENSAIO.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Ensaio	3	24.33	8.1086	27.54	0.000
Erro	636	187.24	0.2944		
Total	639	211.57			

Fonte: Autores (2025).

O teste Tukey de DIST em função do ENSAIO sugere o agrupamento dos ensaios 1 e 2 em um grupo e os ensaios 3 e 4 em outro, com 95% de confiança. O único elemento em comum, monitorado, para estes ensaios trata-se do período (Tabela 10).

Tabela – 10 Teste Tukey para DIST em função do ENSAIO.

Ensaio	N	Média	Agrupamento
2	160	1.40068	A
1	160	1.37643	A
3	160	1.03363	B
4	160	0.96967	B

Nota: Para os valores obtidos, letras maiúsculas iguais indicam que as médias não diferem entre si, pelo teste Tukey, a 5% de significância.

Fonte: Autores (2025).

3.3 Discussão dos resultados

Ainda que com diferentes condições climáticas por ensaio realizado, estas não se mostraram significativas. O resumo apresentado no gráfico da Figura 10 permite uma melhor visualização das condições de cada ensaio.

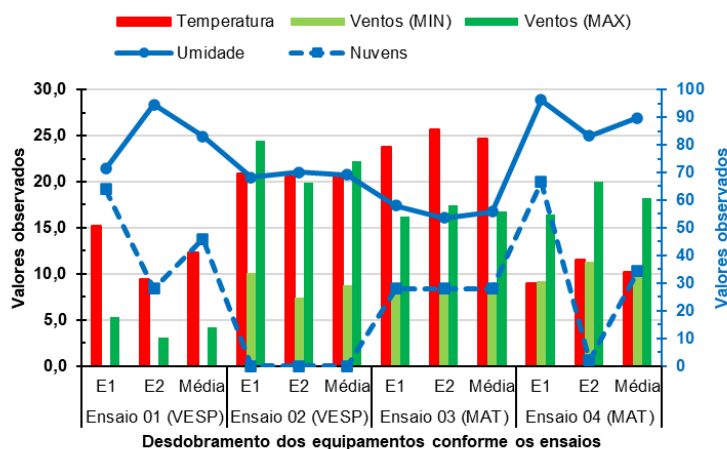


Figura 10 – Resumo das condições climáticas observadas durante a realização dos ensaios.

Fonte: Autores (2025).

Caso alguma dessas condições climáticas fosse determinante no valor de DIST, o teste comparativo de médias deveria produzir grupos diferentes para um mesmo período, por exemplo. Por meio das condições monitoradas não é possível estabelecer qualquer relação com o aumento da precisão no período matutino.

Os 4 ensaios foram realizados em condições distintas, podendo observar como exemplo o Ensaio 01 e o 02. Enquanto o primeiro teve presença de nuvens e baixa temperatura, o segundo teve ausência de nuvens e temperaturas bem mais agradáveis. Ainda assim, essa informação não produziu nenhuma alteração visual no comportamento da dispersão dos dados. De mesmo modo, as alterações climáticas entre os ensaios 03 e 04 não produziram nenhuma alteração significativa no comportamento dos gráficos de dispersão apresentados anteriormente (Figura 5 e Figura 6).

Apesar de diferentes condições climáticas, a estação de referência sempre efetuou medições em condições adequadas de leitura, com no mínimo 11 sensores e PDOP inferior a 2, conforme apresenta a Figura 11. Os valores se mostraram similares para ambos os períodos, matutino e vespertino.

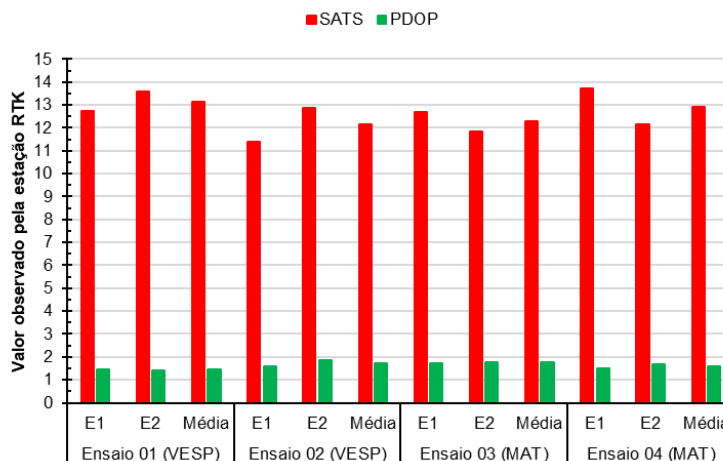


Figura 11 – Resumo dos valores de PDOP e visibilidade de satélites obtidos pela estação RTK durante execução dos ensaios.

Fonte: Autores (2025).

A presença ou ausência de nuvens, variações de temperatura, umidade ou ventos, não produziu situações em que observasse um número insuficiente de satélites ou mesmo, valores de PDOP inadequado para georreferenciamento dos pontos. Indiferente às condições climáticas, todas as medições foram efetuadas em condições adequadas.

Mediante os fatores monitorados não é possível estabelecer relação com o aumento da precisão pela manhã. O erro de leitura do ponto em relação a base, fornecido pelo próprio equipamento RTK, também apresenta valores baixos e sem um comportamento que permita uma avaliação diferenciada (Figura 12).

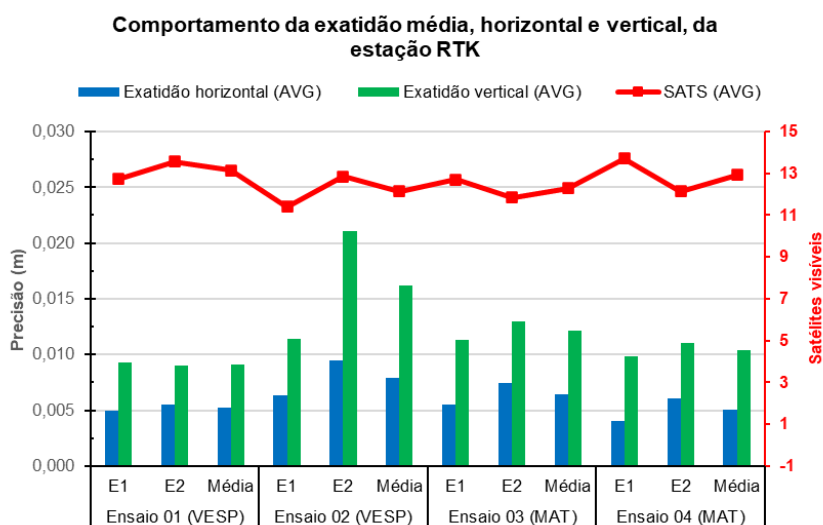


Figura 12 – Comportamento do erro em relação a base, durante a leitura dos pontos, monitorado pela estação RTK versus número de satélites disponíveis.

Fonte: Autores (2025).

Os valores médios de exatidão horizontal e vertical foram plotados versus o número médio de satélites disponíveis. Foram estabelecidos os valores médios para equipamento em cada ensaio. Em inspeção visual não é possível estabelecer qualquer tipo de relação entre o erro do vetor em relação a base, com o número de satélites utilizados naquele momento.

Nesse contexto ainda, quanto à geometria dos satélites, não é possível afirmar que durante um ensaio específico foi utilizado o mesmo conjunto de satélites para leitura das posições. A utilização de um sensor ou outro, poderia produzir resultados diferentes de precisão, no entanto conforme o gráfico, não houveram alterações em relação a precisão horizontal e vertical (Figura 12). Observa-se que os equipamentos GNSS são responsáveis pela seleção dos satélites a serem utilizados.

3.4 Análise não paramétrica

Para confirmar os resultados produzidos pelo modelo selecionado, optou-se pela realização de testes não paramétricos. Como a suposição de normalidade foi confirmada em parte das distribuições e incerta nas demais, optou-se pela aplicação do teste de Kruskal-Wallis. Esse teste é equivalente à ANOVA de um fator, porém mais indicado para situações em que os dados não atendem plenamente aos pressupostos de normalidade ou apresentam valores discrepantes que não devem ser removidos.

O teste foi executado com o objetivo de verificar se o fator EQUIP exerce influência sobre a variável DIST, conforme apresentado na Tabela 11. O valor do posto médio para o equipamento E2 indica que os valores desse grupo são superiores aos dos demais, sendo utilizado posteriormente no cálculo da estatística do teste. O valor de Z indica como o grupo se posiciona em relação à média geral: como o E1 apresenta valor de Z negativo, está abaixo da média geral; por outro lado, o E2, com valor positivo, encontra-se acima da média global.

Tabela 11 – Teste de Kruskal-Wallis: DIST versus EQUIP.

EQUIP	N	Mediana	Posto médio	Valor-Z
E1	320	1.06702	311.3	-1.27
E2	320	1.16928	329.8	1.27
Global	640		320.5	

Fonte: Autores (2025).

O teste de hipóteses é baseado em duas hipóteses: (a) Hipótese nula H_0 : todas as médias são iguais e (b) Hipótese alternativa H_1 : no mínimo uma média é diferente. O resultado do teste de hipóteses na Tabela 12 apresenta um p-valor de 0,206, o que não permite rejeitar a hipótese nula. Quando o p-valor é superior ao nível de significância, não há provas suficientes para rejeitar a hipótese nula.

Tabela 12 – Teste de hipótese para o teste de Kruskal-Wallis: DIST versus EQUIP

GL	Valor H	Valor-p
1	1.60	0.206

Fonte: Autores (2025).

Foi efetuado novo teste, com o objetivo de investigar se o PERÍODO poderia influenciar na variável DIST, conforme Tabela 13. Novamente os valores obtidos em período matutino se mostraram mais exatos conforme análise do posto médio, o qual ficou bem abaixo do posto médio global. Os valores obtidos para Z também confirmam essa análise.

Tabela 13 – Teste de Kruskal-Wallis: DIST versus PERÍODO.

PERÍODO	N	Mediana	Posto médio	Valor-Z
MAT	320	0.93336	258.4	-8.50
VESP	320	1.36861	382.6	8.50
Global	640		320.5	

Fonte: Autores (2025).

O teste de hipóteses é conduzido de modo semelhante ao anterior, considerando as duas hipóteses básicas (Tabela 14). O p-valor apresentou valor 0,0 o que permite rejeitar a hipótese de igualdade e afirmar que as medianas populacionais não são iguais ao nível de significância escolhido.

Tabela 14 – Teste de hipótese para o teste de Kruskal-Wallis: DIST versus PERIODO.

GL	Valor H	Valor-p
1	72.19	0.000

Fonte: Autores (2025).

A interação com o ponto também foi descartada. A tabela de análise de variância (Tabela 15) e o teste de Kruskal-Wallis (Tabela 16) permitem rejeitar essa hipótese. Por meio da ANOVA, os p-valores não se mostraram significativos, demonstrando que os resultados não apresentam comportamento estatístico significativamente diferente a medida em que se muda o ponto de leitura.

Tabela 15 – Análise de variância para DIST em função do PONTO.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
EQUIP	1	0.125	0.1247	0.37	0.542
POINT	19	6.419	0.3379	1.01	0.446
EQUIP*PONTO	19	4.462	0.2349	0.70	0.818
Erro	600	200.563	0.3343		
Total	639	211.570			

Fonte: Autores (2025).

O teste Kruskal-Wallis apresenta uma tabela similar a ANOVA, mas somente por meio dela não é possível identificar valores significativos. É necessário avaliar o resultado do teste comparativo (Tabela 16).

Tabela 16 – Teste de Kruskal-Wallis: DIST versus PONTO.

Ponto	N	Mediana	Posto Médio	Valor-Z
P1	32	1.26151	337.9	0.55
P10	32	1.05240	328.7	0.26
P11	32	1.02170	317.0	-0.11
P12	32	1.07405	323.5	0.09
P13	32	0.93132	267.1	-1.68
P14	32	1.04452	299.9	-0.65
P15	32	0.81576	254.5	-2.07
P16	32	1.10643	303.9	-0.52
P17	32	1.14577	305.5	-0.47
P18	32	1.03345	305.7	-0.46
P19	32	1.35584	363.0	1.33
P2	32	1.29752	341.8	0.67
P20	32	1.29265	380.2	1.87
P3	32	0.94980	289.2	-0.98
P4	32	1.11331	344.1	0.74
P5	32	1.11088	323.7	0.10
P6	32	1.34048	337.8	0.54
P7	32	1.23898	369.6	1.54
P8	32	1.17362	335.0	0.45
P9	32	0.89225	282.0	-1.21
Global	640		320.5	

Fonte: Autores (2025).

O teste comparativo de medianas de Kruskal-Wallis apresenta p-valor superior ao nível de significância, o que não possibilita rejeitar a hipótese de igualdade (Tabela 17).

Tabela 17 – Teste de hipótese para o teste de Kruskal-Wallis: DIST versus PONTO.

GL	Valor H	Valor-p
19	19.19	0.445

Fonte: Autores (2025).

Todos os testes efetuados (paramétricos e não-paramétricos) permitem verificar que os equipamentos não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, o que é um indicativo que os resultados não são condicionados a um único equipamento. Essa situação permite ao produtor fazer uso do dispositivo móvel – que atenda aos requisitos do SNAC – para navegação e localização dos pontos, em atividades de amostragem.

Os resultados sugerem ainda que a precisão dos equipamentos é afetada pelo período em que a leitura é feita, sendo essa mais precisa pela manhã. Os elementos monitorados, como condições climáticas, PDOP e visibilidade de satélites, não se mostraram significativos na determinação de uma causa específica, devendo esta estar relacionado a outros elementos, como condições atmosféricas ou mesmo, a particularidades encontradas nos sensores GNSS de dispositivos móveis.

Os valores obtidos são inferiores aos valores encontrados por Klimaszewski-Patterson (2010) com um erro residual médio de aproximadamente 1 m para o dispositivo móvel. Os resultados de avaliação deste tipo de dispositivo em campo aberto ainda são incipientes, sendo mais comum a avaliação em ambientes urbanos e com conexão à internet, como descritos por Clark e Levy (2013) ou em ambientes específicos, como em meio à copa das árvores, conforme Fauzi et al. (2016). São relatados valores de 7 a 8 m no primeiro estudo (fazendo uso de outros sensores além do GNSS) e de 5 a 15 m no segundo (somente sensor GNSS). Nenhum dos autores, entretanto, menciona variação na precisão quanto ao decorrer do dia.

A ascensão de dispositivos móveis multi-constelação ainda é recente e tende a produzir resultados superiores quando comparados a dispositivos mono-constelação (LOPES et al., 2020). O lançamento de sensores GNSS de dupla frequência para celulares, com acesso a frequência L5 (ROBUSTELLI, BAIOCCHI e PUGLIANO, 2019), permitirá resultados de exatidão ainda superiores, em torno de 30 cm (BRICKER, 2017).

3.5 Avaliação dos ensaios isolados efetuados com os equipamentos E3 e E4

Os outros dois equipamentos (E3 e E4), avaliados em testes isolados, apresentaram dispersão muito próxima à observada nos equipamentos E1 e E2. Os valores de estatísticas descritivas (Tabela 18) permitem uma análise mais detalhada do comportamento desses dois equipamentos. Tanto a média quanto a mediana foram maiores no E4, com valores de 0,72 e 0,59 cm, respectivamente, em comparação aos 2,20 cm observados no E3.

Tabela 18 – Estatísticas descritivas para os valores obtidos pela estação RTK com navegação dos equipamentos E3 e E4.

	Média	Erro padrão	Mediana	Desvio padrão	Variância	Curtose	Assimetria	Mín	Máx
E3	2.20	0.11	2.20	0.97	0.94	-0.49	-0.34	0.20	4.10
E4	0.72	0.05	0.59	0.45	0.20	1.32	1.25	0.13	2.28

Fonte: Autores (2025).

O equipamento E4 mostra-se superior ao E3, em termos de navegação e localização dos pontos. Foi observada ainda, durante a navegação em campo, uma agilidade superior aos outros 3 equipamentos na localização dos pontos. Possivelmente, a sua configuração avançada aliada ao sistema multi-constelação permite maior rapidez no recebimento e processamento das informações.

A utilização do equipamento E4 no ensaio de caminhamento permite confirmar a exatidão e precisão dos dispositivos móveis em ensaios de coleta, por meio da localização de pontos previamente definidos. A sua exatidão quanto ao período não pode ser avaliada pois apenas um ensaio foi conduzido com este equipamento. É necessária a realização de novos ensaios em períodos alternados para validação da premissa encontrada aqui, para os equipamentos E1 e E2.

O equipamento E3 foi utilizado da mesma maneira como os outros equipamentos, de maneira dinâmica em busca dos pontos previamente estabelecidos. Desse modo, sua precisão ficou inferior aos outros equipamentos, com uma média de 2,20 m de erro em relação ao piquete. Ainda que não seja conhecido o seu comportamento em função dos PERÍODOS do dia de coleta, é possível verificar que a aquisição de um equipamento como este, com um valor superior a um celular, deve

ser criteriosamente avaliada, visto que sua precisão é bem inferior a equipamentos com configurações medianas (como o E2) ou mesmo, inferior a um tablet (E1).

O equipamento E3 é um modelo amplamente aceito e comumente utilizado em atividades de amostragem; no entanto, seus resultados médios de acurácia foram inferiores (2,20 m x 1,20 m), assim como os de precisão (97% x 57%), quando comparados aos dispositivos móveis avaliados (E1 e E2). Os dispositivos móveis apresentaram maior eficiência nas condições avaliadas, com erro médio de 1,20 m na localização dos pontos. Os resultados de uniformidade, ou seja, de precisão, também foram superiores (57%), indicando que os dados desse conjunto estão mais concentrados em torno da média.

4. Conclusões

O software de navegação SNAC mostrou-se adequado às atividades em que se propõe, permitindo a localização dos pontos de maneira simplificada, dispensando o uso de softwares de terceiros para sua utilização.

Por meio dos dados obtidos pela estação referência, relativos à navegação dos equipamentos E1 e E2 com o software SNAC, verificou-se que estes apresentaram uma exatidão média de 1,20 m na localização dos pontos monitorados, com uma precisão de 0,57 e distribuição assimétrica à direita, o que indica um maior número de observações com menor erro de precisão. Estes valores permitem concluir que dispositivos móveis podem ser usados em atividades em que a exatidão não é crítica, como no monitoramento de atributos estáveis do solo.

O teste comparativo não apresentou diferença estatística entre os equipamentos ensaiados, no entanto, os resultados obtidos, sugerem que a exatidão seja significativamente superior no período da manhã, com 95% de confiança, não sendo possível estabelecer uma causa aparente por meio das condições monitoradas. Novos estudos devem ser conduzidos com o monitoramento de outros elementos, especialmente relacionados às condições atmosféricas, no sentido de reforçar essa afirmação e de se identificar possíveis fatores de influência.

Referências

- ARAUJO, G. M. et al. AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DE DIFERENTES DISPOSITIVOS GNSS / EVALUATION OF THE ACCURACY OF DIFFERENT GNSS DEVICES. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 12, n. 2, p. 212, 28 jun. 2018.
- BANCROFT, J. B.; MORRISON, A.; LACHAPELLE, G. Validation of GNSS under 500,000V Direct Current (DC) transmission lines. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 83, p. 58–67, abr. 2012.
- BRICKER, J. Super Accurate Gps Coming To Smartphones in 2018. **IEEE Spectrum**, v. 54, n. 11, p. 10–11, 2017.
- CARBALLIDO, J. et al. Comparison of Positional Accuracy between RTK and RTX GNSS Based on the Autonomous Agricultural Vehicles under Field Conditions. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 30, n. 3, p. 361–366, 14 jul. 2014.
- CLARK, S.; LEVY, E. Compared To Specialized Gps Devices , How Good Are Smartphones for Measuring Gps Coordinate Data ? p. 1–8, 2013.
- DEICHMANN, U.; GOYAL, A.; MISHRA, D. Will digital technologies transform agriculture in developing countries? **Agricultural Economics**, v. 47, n. S1, p. 21–33, 2016.
- Environmental Modeling Center**. Disponível em: <<https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/about.php>>. Acesso em: 24 jun. 2020.
- FAUZI, M. F. et al. Tropical forest tree positioning accuracy: A comparison of low cost GNSS-enabled devices. **International Journal of Geoinformatics**, v. 12, n. 2, p. 59–66, 2016.
- JYOTHIRMAYE, S.; SRINIVAS, V. S.; RAMU, B. 4 . Fast Satellite Selection Techniques. **2019 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC)**, n. March, p. 1–4, 2019.
- KERRY, R.; OLIVER, M. A.; FROGBROOK, Z. L. Sampling in Precision Agriculture. Em: **Geostatistical Applications for Precision Agriculture**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. p. 35–63.

-
- KESKIN, M.; SEKERLI, Y. E.; KAHRAMAN, S. Performance of two low-cost GPS receivers for ground speed measurement under varying speed conditions. **Precision Agriculture**, v. 18, n. 2, p. 264–277, 27 abr. 2017.
- KLIMASZEWSKI-PATTERSON, A. Smartphones in the field: preliminary study comparing GPS capabilities between a smartphone and dedicated GPS device. **Pap. Appl. Geogr. Conf.**, v. 33, p. 270–279, 2010.
- LAMB, J. R. et al. Sampling in precision agriculture: A software for navigation in field activities. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**, v. 36, p. 100804, dez. 2022.
- LANGLEY, R. B. Dilution of Precision. **GPS World**, v. 10, n. May, p. 52–59, 1999.
- LOPES, T. G. et al. DESEMPENHO OPERACIONAL DE SMARTPHONES EM LEVANTAMENTOS PLANIMÉTRICOS GNSS SOBRE COBERTURAS VEGETAIS DE PASTAGEM E PINUS ELLIOTTII ENGELM. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 53813–53828, 2020.
- MACHADO, T. M. et al. Metodologia para avaliação do desempenho de receptor de GPS de uso agrícola em condição cinemática. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 121–129, fev. 2010.
- MILINOV, O. et al. **GSM Arena**. Disponível em: <<https://www.gsmarena.com/>>. Acesso em: 24 jun. 2020.
- MOLIN, J. P.; TAVARES, T. R. Sensor systems for mapping soil fertility attributes: Challenges, advances, and perspectives in brazilian tropical soils. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. special issue, p. 126–147, set. 2019.
- PÉREZ-RUIZ, M. et al. Assessing GNSS correction signals for assisted guidance systems in agricultural vehicles. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 5, p. 639–652, 26 out. 2011.
- PINI, M. et al. Experimental Testbed and Methodology for the Assessment of RTK GNSS Receivers Used in Precision Agriculture. **IEEE Access**, v. 8, p. 14690–14703, 2020.
- PONGNUMKUL, S.; CHAOVALIT, P.; SURASVADI, N. Applications of Smartphone-Based Sensors in Agriculture: A Systematic Review of Research. **Journal of Sensors**, v. 2015, p. 1–18, 2015.
- ROBUSTELLI, U.; BAIOCCHI, V.; PUGLIANO, G. Assessment of dual frequency GNSS observations from a Xiaomi Mi 8 android smartphone and positioning performance analysis. **Electronics (Switzerland)**, v. 8, n. 1, 2019.
- ROSALEN, D. L. et al. GPS receivers for georeferencing of spatial variability of soil attributes. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1162–1169, dez. 2011.
- RUDOLPH, S. et al. Assessment of the position accuracy of a single-frequency GPS receiver designed for electromagnetic induction surveys. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 1, p. 19–39, 7 fev. 2019.
- SILVA, T. M. DE A. et al. INTEGRATION OF A LOW-COST GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM TO A SINGLE-BOARD COMPUTER USING KALMAN FILTERING. **ENGENHARIA AGRÍCOLA**, v. 39, n. 3, p. 323–330, jun. 2019.
- SOARES, R.; ANDRADE, J. R. D. C. Análise comparativa da precisão de coordenadas geográficas obtidas a partir de equipamentos GPS portáteis e de um módulo integrado a um drone. **Revista de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 5, p. 14–24, 2018.
- WANG, W.; HUANG, B. Research on properties of DOP in multi-constellation. **Proceedings - 2014 7th International Symposium on Computational Intelligence and Design, ISCID 2014**, v. 1, p. 445–448, 2015.
- Windy Community**. Disponível em: <<https://community.windy.com/topic/12/what-source-of-weather-data-windy-use>>. Acesso em: 24 jun. 2020.