

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

SISTEMA DE NAVEGAÇÃO PARA ATIVIDADES EM CAMPO – SNAC

JULIANO RODRIGO LAMB

**CASCADEL - PR
2020**

JULIANO RODRIGO LAMB

SISTEMA DE NAVEGAÇÃO PARA ATIVIDADES EM CAMPO – SNAC

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Furlan Maggi

Coorientador: Prof. Dr. Claudio Leones Bazzi

CASCADEL - PR

2020

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Lamb, Juliano Rodrigo
SISTEMA DE NAVEGAÇÃO PARA ATIVIDADES EM CAMPO - SNAC /
Juliano Rodrigo Lamb; orientador(a), Márcio Furlan Maggi;
coorientador(a), Claudio Leones Bazzi, 2020.
106 f.

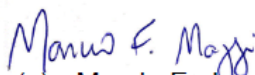
Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do
Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e
Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, 2020.

1. amostragem em agricultura de precisão. 2.
dispositivos móveis. 3. sistemas de navegação global por
satélite. I. Maggi, Márcio Furlan. II. Bazzi, Claudio
Leones. III. Título.

JULIANO RODRIGO LAMB

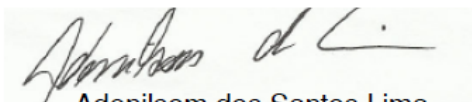
Sistema de Navegação para Atividades em Campo – SNAC

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de pesquisa Geoprocessamento, Estatística Espacial e Agricultura de Precisão, APROVADA pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Marcio Furlan Maggi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Adenilson dos Santos Lima

Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)



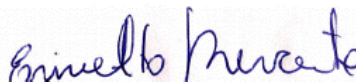
Suedêmio de Lima Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido



Divair Christ

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Erivelto Mercante

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 26 de novembro de 2020.

BIOGRAFIA RESUMIDA

Juliano Rodrigo Lamb, nascido em 06 de junho de 1983 e natural de Toledo/PR, esposo da Liane e pai do Elano. Possui graduação em Sistemas de Informação pela Faculdade Sul Brasil (FASUL), com orientação do professor Cristiano Marcos Lunkes, concluída em 2004, e pós-graduação de nível mestrado em Engenharia Agrícola, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), sob orientação do professor Joaquim Odilon Pereira, com defesa em dezembro de 2006. Em 2016, ingressou no programa de doutorado em Engenharia Agrícola sob orientação do professor Márcio Furlan Maggi. É professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Medianeira, desde 2009, atuando em atividades de ensino, pesquisa e extensão.

À minha família, que sempre me incentivou;
em especial, à minha esposa Liane, dedico
este trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, graças e bênçãos recebidas; pelos anjos em nosso mundo, pelas lições, pelas oportunidades.

À minha família, a meus pais, à minha esposa, Liane. Pelo apoio em ingressar e vencermos juntos tudo o que passamos; juntos. A meu filho, presente abençoado de Deus.

Ao meu orientador, prof. Márcio, que esteve disposto em me orientar e sempre me acompanhou em todas as etapas nesse curso de pós-graduação. A todos os colegas, professores e colaboradores do PGEAGRI, que participaram dessa etapa de formação, e pelas diferentes formas de apoio recebidas.

À UTFPR, pela oportunidade e apoio. Ao Arnaldo, Fabiana e Neusa, por suas valiosas contribuições. Aos colegas de departamento, especialmente, àqueles que sempre estiveram a par deste projeto, Nelson, Pedro, Ricardo e Jorge. Em especial, ao Everton e Cláudio, pela amizade ao longo desses 5 anos; ao Cláudio, por sua disposição em contribuir com este trabalho, como coorientador.

Ao Aldo, pela cessão da área de realização de estudo, e a todos que, de alguma maneira, contribuíram para este trabalho.

SISTEMA DE NAVEGAÇÃO PARA ATIVIDADES EM CAMPO – SNAC

O crescimento populacional observado nos últimos anos faz com que os meios de produção de alimento demandem técnicas para aumento de sua produção, principalmente no que se relaciona aos setores agrícola e pecuário. No setor agrícola, ganha destaque a Agricultura de Precisão (AP), um processo de gestão agrícola que parte da premissa de que áreas devem ser consideradas com comportamento possivelmente heterogêneo, devendo ser investigada e tratada cada necessidade espacialmente localizada. Esse monitoramento requer o levantamento de diversas informações, que abrangem desde atributos climáticos, elementos humanos, até os fatores solo e planta. Dentre essas diversas informações, o solo tem fator preponderante e pode interferir na produtividade, por meio de problemas, como compactação, ou, então, deficiência de alguma propriedade físico-química, sendo necessária a realização de ensaios para a mensuração dessas necessidades. A utilização de dispositivos móveis, como celulares e tablets, em atividades agrícolas, ainda é incipiente, no entanto, devido à capacidade de processamento, mobilidade e localização, podem permitir sua aplicação em diversas atividades de campo, tais como a demarcação de talhões, registro de dados a campo, bem como a localização de pontos amostrais, no contexto da AP. Esses dispositivos, além de apresentarem custo inferior a equipamentos GNSS comerciais de baixa precisão, utilizados com esse fim, têm funcionalidades e recursos disponíveis que os tornam mais atrativos para a aquisição. Este trabalho teve por objetivo desenvolver e validar um aplicativo para dispositivos móveis, que permite a importação e localização de pontos amostrais para coleta de dados. O aplicativo foi desenvolvido utilizando a linguagem JAVA para dispositivos com o sistema operacional Android. O software foi ensaiado a campo com o uso de um smartphone quanto à sua praticidade e funcionalidades disponíveis, bem como sua exatidão em relação à geolocalização. Verificou-se que o uso do aplicativo permitiu realizar os trabalhos a campo, podendo ser utilizado em atividades de coleta de dados no contexto de AP. Na localização dos pontos, os ensaios com os equipamentos apresentaram exatidão média próxima a 1 m com precisão equivalente a um dispositivo GNSS dedicado, demonstrando que podem ser utilizados em atividades agrícolas, cuja exatidão necessária seja próxima a esse valor. Os resultados sugerem, ainda, que a exatidão é estatisticamente superior quando os ensaios forem efetuados em período matutino.

Palavras-chave: amostragem em agricultura de precisão; dispositivos móveis; sistemas de navegação global por satélite.

NAVIGATION SYSTEM FOR FIELD ACTIVITIES – SNAC

The population growth observed in recent years indicates that the means of food production demand techniques to increase its production, regarding the agricultural and livestock sectors. In the agricultural area, Precision Agriculture (PA) stands out. This is an agricultural management process that considers areas with a possible heterogeneous behavior and investigates and treats each demand spatially located. This monitoring requires the collection of various pieces of information, ranging from climatic attributes, human elements and soil and plant factors. Among this diverse information, the soil is an important factor that can interfere in productivity, with problems such as compaction, or deficiency of some physical-chemical property. Therefore, analysis is necessary to measure these needs. The use of mobile devices, such as cell phones and tablets in agricultural activities is still incipient, however, due to the processing capacity, mobility, and location, they can be used in various field activities, such as plot demarcation, data recording field, as well as the location of sample points, in the context of PA. These devices, besides costing less than commercial low-precision GNSS equipment used for this purpose, have available features and resources that make them more attractive to purchase. This work aimed to develop and validate an application for mobile devices, which allows the import and location of sampling points for data collection. The application was developed using the JAVA language for devices with Android operating systems. The software was tested in the field with the use of a smartphone due to its practicality and available features, as well as its accuracy concerning geolocation. It was found that the use of the application allowed the work to be carried out in the field, which can be used in data collection activities in the context of PA. In the point location, the tests with the equipment showed an average accuracy close to 1m, with precision equivalent to a dedicated GNSS device, demonstrating that it can be used in agricultural activities when required accuracy is close to this value. The results also suggest that the accuracy is superior when the tests are carried out in the morning.

Keywords: sampling in precision agriculture; mobile devices; global satellite navigation systems.

SUMÁRIO

| | |
|---|------------|
| LISTA DE FIGURAS | XII |
| LISTA DE QUADROS | XV |
| LISTA DE TABELAS..... | XVI |
| 1 INTRODUÇÃO | 18 |
| 2 OBJETIVOS | 20 |
| 2.1 Objetivo geral..... | 20 |
| 2.2 Objetivos específicos | 20 |
| 3 REVISÃO BILIOGRAFICA | 21 |
| 3.1 Agricultura de precisão | 21 |
| 3.1.1 Principais tecnologias envolvidas no processo de AP | 22 |
| 3.1.1.1 Amostragem em agricultura de precisão | 24 |
| 3.1.1.2 Sub-amostras: uma análise de diferentes estudos de caso..... | 26 |
| 3.1.2 Sistemas de navegação global por satélite | 28 |
| 3.1.3 Exatidão em agricultura de precisão | 29 |
| 3.2 Computação móvel | 31 |
| 4 REFERENCIAS | 33 |
| 5 ARTIGO 1 – SNAC: SOFTWARE PARA NAVEGAÇÃO EM ATIVIDADES DE CAMPO: DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO..... | 40 |
| 5.1 Introdução..... | 40 |
| 5.2 Material e métodos | 43 |
| 5.2.1 Definição de funcionalidades do sistema | 43 |
| 5.2.2 Tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do software | 46 |
| 5.2.3 Procedimentos de validação do software | 47 |
| 5.3 Resultados e discussão | 50 |
| 5.3.1 Apresentação do software e principais interfaces | 50 |
| 5.3.2 Dispersão dos dados | 52 |
| 5.3.3 Percursos..... | 55 |
| 5.4 Conclusões | 61 |
| 5.5 Referencias..... | 61 |
| 6 ARTIGO 2 – SNAC: SOFTWARE PARA NAVEGAÇÃO EM ATIVIDADES DE COLETA EM CAMPO: VALIDAÇÃO DA EXATIDÃO E PRECISÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS ... | 66 |
| 6.1 Introdução..... | 66 |
| 6.2 Material e métodos | 68 |
| 6.2.1 Caracterização do local de ensaio e equipamentos utilizados..... | 69 |
| 6.2.2 Planejamento da missão | 73 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6.2.3 | Conectividade, tempo de aquisição e posição do equipamento de leitura..... | 76 |
| 6.2.4 | Determinação das posições iniciais e geração do arquivo de coordenadas | 77 |
| 6.2.5 | Primeiro ensaio de caminhamento com os dispositivos móveis | 79 |
| 6.2.6 | Segundo ensaio de caminhamento com os dispositivos móveis | 82 |
| 6.2.7 | Terceiro ensaio de caminhamento com os dispositivos móveis..... | 85 |
| 6.2.8 | Quarto ensaio de caminhamento com os dispositivos móveis..... | 87 |
| 6.2.9 | Procedimentos de análise | 89 |
| 6.3 | Resultados e discussão | 89 |
| 6.3.1 | Dispersão dos dados | 89 |
| 6.3.2 | Análise paramétrica | 91 |
| 6.4 | Discussão dos resultados encontrados | 95 |
| 6.4.1 | Análise não-paramétrica | 97 |
| 6.4.2 | Avaliação dos ensaios isolados efetuados com os equipamentos E3 e E4 | 100 |
| 6.5 | Conclusões | 102 |
| 6.6 | Referências..... | 102 |
| 8 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 106 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 1 | Relação entre o raio de amostragem e número de sub-amostras para os trabalhos identificados na Tabela 2. | 28 |
| Figura 2 | Diagrama de classes parcial ilustrando a dependência de tipos abstratos. | 44 |
| Figura 3 | Diagrama de classes parcial apresentando a hierarquia de classes a partir de Navigator. | 45 |
| Figura 4 | Mapa da área experimental A, a partir de imagens do Google Earth; (a) identificação da área experimental e (b) localização dos piquetes. | 48 |
| Figura 5 | Mapa da área experimental B, com os pontos de amostragem identificados. | 49 |
| Figura 6 | Tela inicial do aplicativo SNAC. | 50 |
| Figura 7 | Módulo para registro e navegação até um ponto de observação: (a) Registro do ponto de observação com base na localização do usuário; (b) Determinação do percurso de retorno ao ponto; (c) Localização de um ponto de observação (retorno). | 51 |
| Figura 8 | Módulo de navegação durante atividades de amostragem: (a) Localização do primeiro ponto ou ponto de partida; (b) Localização do ponto 13. | 52 |
| Figura 9 | Gráfico de dispersão das posições dos equipamentos em relação a localização do piquete, utilizando o sistema de coordenadas UTM. | 53 |
| Figura 10 | Dispersão dos pontos observados em relação ao ponto de referência. | 54 |
| Figura 11 | Captura de tela do sistema com geração de percurso padrão para a área B. | 55 |
| Figura 12 | Capturas de tela do sistema relativas à geração de percurso com ponto de partida personalizado: (a) seleção do tipo de percurso; (b) seleção do ponto de partida; (c) Percurso definido usando algoritmo guloso com início no Ponto 1. | 56 |
| Figura 13 | Ilustrativo para captura de tela com a geração de percurso pelo algoritmo SA iniciando pelo ponto 2. | 57 |
| Figura 14 | Evolução da média dos percursos e do tempo necessário para determinação de 1 percurso, com a customização do valor de TR. | 58 |
| Figura 15 | Melhor percurso identificado pelo algoritmo SA com início no ponto 40. | 60 |
| Figura 16 | Imagem do GoogleEarth com destaque à região em que o experimento foi conduzido, identificado por preenchimento em tom de amarelo. | 69 |
| Figura 17 | Visibilidade do número de satélites e valores do PDOP, pelos equipamentos E1, E2 e receptor Juno, quando posicionados lado a lado em ambiente fechado. ... | 71 |
| Figura 18 | Montagem do sistema GNSS Trimble RTK R4. | 72 |
| Figura 19 | Número de satélites disponíveis e valores de PDOP previstos para 02/07/2020, data de realização do Ensaio 01. | 74 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 20 | Número de satélites disponíveis e valores de PDOP previstos para 10/07/2020, data de realização do Ensaio 02..... | 75 |
| Figura 21 | Número de satélites disponíveis e valores de PDOP previstos para 22/07/2020, data de realização do Ensaio 03..... | 75 |
| Figura 22 | Número de satélites disponíveis e valores de PDOP previstos para 29/07/2020, data de realização do Ensaio 04..... | 76 |
| Figura 23 | Momento em que o piquete era georeferenciado utilizando-se o equipamento de alta precisão. | 77 |
| Figura 24 | Método de identificação do piquete com fita adesiva branca na base e etiqueta com o identificador..... | 78 |
| Figura 25 | Mapa com a localização da estação GPS e dos 20 piquetes..... | 78 |
| Figura 26 | Exemplo de nó XML do arquivo criado para alimentação do SNAC..... | 78 |
| Figura 27 | Simulação do momento de registro da coordenada identificada como correta pelo equipamento E1..... | 79 |
| Figura 28 | Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 01 com o equipamento E1. | 80 |
| Figura 29 | Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 01 com o equipamento E2. | 81 |
| Figura 30 | 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. | 82 |
| Figura 31 | Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 02 com o equipamento E1. | 83 |
| Figura 32 | Capturas de tela da execução do software GPSTest, durante o Ensaio 02, para o equipamento E2..... | 84 |
| Figura 33 | Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 02 com o equipamento E2. | 85 |
| Figura 34 | Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 03 com o equipamento E1. | 86 |
| Figura 35 | Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 03 com o equipamento E2. | 87 |
| Figura 36 | Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 04 com o equipamento E1. | 88 |
| Figura 37 | Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 04 com o equipamento E2. | 89 |
| Figura 38 | Dispersão dos dados obtidos pela estação RTK, por ensaio realizado. | 90 |
| Figura 39 | Dispersão dos dados obtidos pela estação RTK durante os 4 ensaios, separados por equipamento..... | 90 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Figura 40 | Histograma com curva normal de DIST por PERIODO para o equipamento E1. | 92 |
| Figura 41 | Histograma com curva normal de DIST por PERIODO para o equipamento E2. | 93 |
| Figura 42 | Análise gráfica para os resíduos do modelo ANOVA escolhido. | 94 |
| Figura 43 | Resumo das condições climáticas observadas durante a realização dos ensaios. | 95 |
| Figura 44 | Resumo dos valores de PDOP e visibilidade de satélites obtidos pela estação RTK durante execução dos ensaios. | 96 |
| Figura 45 | Comportamento do erro em relação a base, durante a leitura dos pontos, monitorado pela estação RTK versus número de satélites disponíveis. | 97 |
| Figura 46 | Dispersão das posições registradas relativas aos 4 equipamentos experimentados | 101 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---------------------------------------|----|
| Quadro 1 Visão geral do sistema | 43 |
|---------------------------------------|----|

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabela 1 | Distribuição espacial e temporal de propriedades do solo. | 25 |
| Tabela 2 | Exemplos de estudos encontrados na literatura nos mais diversos segmentos, abrangendo a utilização de algum tipo de amostragem. | 27 |
| Tabela 3 | Principais requisitos funcionais do aplicativo. | 43 |
| Tabela 4 | Estatísticas descritivas para os valores obtidos pela estação RTK com navegação dos equipamentos E1 e E2. | 53 |
| Tabela 5 | Comparação entre os valores de cada segmento de percurso utilizando os algoritmos P, SA e G, considerando o Ponto 1 como ponto de partida. | 57 |
| Tabela 6 | Estatísticas descritivas para o algoritmo G e SA, com customização da taxa de resfriamento. | 58 |
| Tabela 7 | Estimativa da diferença pareada obtidas por meio do teste t comparando o algoritmo G com as variações de SA. | 59 |
| Tabela 8 | Relação das principais características dos dispositivos móveis utilizados. | 70 |
| Tabela 9 | Relação das principais características dos equipamentos para monitoramento das condições climáticas. | 71 |
| Tabela 10 | Condições climáticas observadas durante o caminhar com o equipamento E1 no Ensaio 01. | 80 |
| Tabela 11 | Condições climáticas observadas durante o caminhar com o equipamento E2 no Ensaio 01. | 81 |
| Tabela 12 | Condições climáticas observadas durante o caminhar com o equipamento E1 no Ensaio 02. | 83 |
| Tabela 13 | Condições climáticas observadas durante o caminhar com o equipamento E2 no Ensaio 02. | 83 |
| Tabela 14 | Condições climáticas observadas durante o caminhar com o equipamento E1 no Ensaio 03. | 85 |
| Tabela 15 | Condições climáticas observadas durante o caminhar com o equipamento E2 no Ensaio 03. | 86 |
| Tabela 16 | Condições climáticas observadas durante o caminhar com o equipamento E1 no Ensaio 04. | 87 |
| Tabela 17 | Condições climáticas observadas durante o caminhar com o equipamento E2 no Ensaio 04. | 88 |
| Tabela 18 | Estatísticas descritivas para a variável resposta DIST para o equipamento E1. | 91 |
| Tabela 19 | Estatísticas descritivas para a variável resposta DIST para o equipamento E2. | 92 |
| Tabela 20 | Estatísticas descritivas média e desvio padrão para DIST. | 93 |
| Tabela 21 | Análise de variância para a variável DIST em função do EQUIP e PERIODO. ... | 94 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Tabela 22 | Teste de Tukey para a variável PERIODO..... | 94 |
| Tabela 23 | Análise de variância para DIST em função do ENSAIO..... | 95 |
| Tabela 24 | Teste Tukey para DIST em função do ENSAIO..... | 95 |
| Tabela 25 | Teste de Kruskal-Wallis: DIST versus EQUIP..... | 98 |
| Tabela 26 | Teste de hipótese para o teste de Kruskal-Wallis: DIST versus EQUIP..... | 98 |
| Tabela 27 | Teste de Kruskal-Wallis: DIST versus PERIODO..... | 98 |
| Tabela 28 | Teste de hipótese para o teste de Kruskal-Wallis: DIST versus PERIODO..... | 98 |
| Tabela 29 | Análise de variância para DIST em função do PONTO..... | 99 |
| Tabela 30 | Teste de Kruskal-Wallis: DIST versus PONTO..... | 99 |
| Tabela 31 | Teste de hipótese para o teste de Kruskal-Wallis: DIST versus PONTO..... | 99 |
| Tabela 32 | Estatísticas descritivas para os valores obtidos pela estação RTK com navegação dos equipamentos E3 e E4..... | 101 |

1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos é uma necessidade real e cada vez mais presente. Os avanços da ciência nos mais diversos setores promoveram o bem-estar humano, seja por meio da melhoria das atividades laborais, seja em aumento da longevidade; contribuindo indiretamente para o aumento da população global.

O aumento de população requer o acompanhamento da manutenção de suas atividades básicas, dentre elas, a alimentação. A produção de alimentos é feita, na sua maior parte, de modo mecanizado, no cultivo de grandes áreas, tanto na pecuária como na agricultura. A agricultura familiar também é responsável por grande parte da produção, pelo cultivo proveniente de pequenas e médias propriedades. Meios para melhorar a produção agrícola são sempre bem-vindos, podendo-se citar a Agricultura de Precisão (AP) como uma das últimas tecnologias em implantação.

Ao tratar uma área como uma porção de terra desuniforme – um local pode ter a necessidade maior de determinado componente químico do que outro local –, surge a necessidade de se efetuar medições constantes e mais precisas dos atributos físico-químicos do solo. Como essa amostragem deve ser georreferenciada, é necessária a utilização de equipamentos adequados e dedicados a esse fim, mas a grande maioria apresenta um alto custo de aquisição, o que dificulta o acesso a produtores, ou mesmo a centros de pesquisa. Esse custo está relacionado, diretamente, à exatidão e precisão do equipamento. A exatidão indica a capacidade do equipamento de localizar a coordenada real com o menor erro possível, enquanto a precisão está relacionada à capacidade de repetir esse processo por várias vezes com resultados similares.

No entanto, à medida que o conhecimento sobre a variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo aumenta, a percepção sobre as metodologias de amostragem é atualizada. Esse entendimento permite a identificação de atributos estáveis do solo, os quais apresentam baixa variabilidade espacial; por conseguinte, a utilização de um equipamento de alta precisão na localização dos pontos não deve implicar alterações no comportamento desse atributo. Do mesmo modo, é possível identificar a classe de atributos que deve ser mapeada utilizando precisão diferenciada.

A distinção entre a necessidade de precisão ou não em atividades de amostragem abre o precedente para a utilização de equipamentos de navegação não-dedicados, especialmente, os de baixo custo; isso possibilita que esse mapeamento possa ser realizado por diferentes produtores, inclusive, aqueles sem condições financeiras para a aquisição de equipamentos dedicados de alta precisão.

Entre esses equipamentos, há o destaque para a ascensão dos dispositivos móveis, sobretudo, smartphones e tablets. Altamente difundidos em meio à população em geral, esses aparelhos concentram capacidade de processamento e armazenamento, com diferentes

sensores – inclusive, de localização – em um único equipamento. Concentrar esforços no desenvolvimento de soluções de hardware e software, aplicados a um smartphone, permite o aproveitamento de uma infraestrutura já disponível, aproveitando-se da sua difusão em meio à sociedade, o que dispensa a aquisição de novos aparelhos.

Pongnumkul, Chaovalit e Surasvadi (2015) identificaram 22 trabalhos relacionados à utilização de dispositivos móveis em operações agrícolas, os quais são voltados, principalmente, ao gerenciamento da propriedade. Já na revisão, efetuada por Mendes *et al.* (2020), puderam ser identificados 38 trabalhos nesse contexto, sendo apenas 4 voltados ao mapeamento em campo e informação do solo. Pode-se perceber uma evolução quanto ao número de publicações, conforme os trabalhos de Pongnumkul, Chaovalit e Surasvadi (2015) e Mendes *et al.* (2020), bem como no seu escopo. Entretanto, os aplicativos disponíveis ainda apresentam algum tipo de limitação quanto ao processo de amostragem.

Um aplicativo deve ser projetado de maneira a auxiliar produtores e prestadores de serviço no gerenciamento de pontos de amostragem e a partir de recursos disponíveis em dispositivos móveis, de maneira a orientar sua localização a campo, auxiliado por técnicas de roteamento otimizadas.

Além dessas características, para que um aplicativo possa lograr êxito, é imprescindível o conhecimento do comportamento da exatidão e precisão de um dispositivo móvel. Por meio dessa informação é que pode ser feita destinação de quais atributos podem ser monitorados por dispositivos móveis e quais demandam a utilização de um equipamento dedicado de alta precisão. 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 ainda iniba a utilização de smartphones em atividades de geolocalização – na área agrícola.

Diante dessas premissas, considerou-se pertinente o desenvolvimento de uma aplicação para dispositivos móveis que pudesse auxiliar atividades de amostragem, além da realização de ensaios em campo, que validem a exatidão e a precisão desse tipo de dispositivo. Caso esses equipamentos apresentem exatidão e precisão necessárias às atividades, que não sejam críticas, abre-se um universo de possibilidades com sua utilização. Ademais, tal 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. Essa confirmação pode, ainda, impulsionar a utilização de aplicativos voltados a atividades de amostragem.

Desse modo, a tese foi organizada em artigos científicos, apresentados nos capítulos 4 e 5. O capítulo 3 evidencia uma fundamentação teórica relativa aos conceitos discutidos. O capítulo 4 explana sobre informações relativas ao desenvolvimento do aplicativo e sua validação em campo; o capítulo 5 apresenta os ensaios relativos à validação de dispositivos móveis, com a utilização do aplicativo desenvolvido.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver um aplicativo para dispositivos móveis e validar em campo a sua exatidão e precisão para auxiliar produtores e prestadores de serviço no gerenciamento de pontos de amostragem. Assim, a partir de recursos disponíveis nesses dispositivos, orientar sua localização a campo, auxiliado por técnicas de roteamento otimizadas.

2.2 Objetivos específicos

São objetivos específicos do trabalho:

- a) Analisar, projetar e desenvolver um aplicativo para dispositivos móveis a fim de orientar atividades de amostragem de solo a campo;
- b) Implementar e avaliar diferentes técnicas de determinação do melhor caminho para a grade amostral selecionada;
- c) Avaliar o uso do aplicativo em campo, utilizando um dispositivo móvel, de maneira a comparar seu desempenho e funcionalidades com o dispositivo dedicado a isso, que está disponível comercialmente;
- d) Avaliar a exatidão e precisão do aplicativo na recuperação de pontos em 2 dispositivos móveis distintos, mediante condições climáticas de temperatura, umidade, ventos e nuvens, diferenciadas.

3 REVISÃO BILIOGRÁFICA

3.1 Agricultura de precisão

A Agricultura de Precisão (AP) é uma das principais revoluções do meio agrícola, com desenvolvimento em meados de 1980, mas comercialmente disponível a partir dos anos 90. Consiste basicamente no gerenciamento dos recursos (como fertilizantes, herbicidas, sementes, combustível, dentre outros) no local e momento corretos, de maneira a aumentar a produtividade e reduzir despesas (MULLA, 2013; FINGER *et al.*, 2019). Para isso, diferentes tecnologias são utilizadas, como aplicação com taxa variável, amostragem de solo georreferenciada, equipamentos com orientação automática, zonas de manejo, dentre outras (THOMPSON *et al.*, 2019).

Soares Filho e Cunha (2015) apresentaram uma definição mais completa, caracterizando a AP como um processo composto pelas etapas de coleta de dados, gerenciamento da informação, aplicação de insumos com taxa variada e, por fim, avaliação econômica e ambiental dos resultados.

Embora a literatura sobre AP venha crescendo ao longo dos anos, ainda, há poucos dados a nível de propriedade quanto à adoção e utilização de uma determinada tecnologia (GRIFFIN *et al.*, 2017). Trabalhos de investigação são conduzidos com o objetivo de efetuar esse mapeamento, como em Mulla (2013), Soares Filho e Cunha (2015), Deichmann, Goyal e Mishra (2016); Asare e Segarra (2018), Coble *et al.* (2018), Michels *et al.* (2019) e Thompson *et al.* (2019).

Além dos benefícios de produtividade e lucratividade, Griffin *et al.* (2017) apontam a geração de dados e a obtenção de informações como um dos principais pontos da AP. Os dados gerados pelas tecnologias, que fazem parte do processo de AP, é que fazem o produtor utilizar esse processo de gerenciamento.

Ainda quanto às vantagens, pode-se citar uma seleção mais adequada de cultivares, contratos de aluguel ajustados mediante a real produtividade de cada área, menor utilização de agroquímicos, redução na utilização de combustíveis e compactação do solo. Os benefícios à sociedade são relacionados à criação de empregos de alta tecnologia (hardware e software) frente ao alto grau de instrumentação das máquinas, bem como mitigação da poluição ambiental, causada pela aplicação excessiva de fertilizantes e agroquímicos (MULLA, 2013). Para Molin e Tavares (2019), em aplicações homogêneas, em que não se trata a variabilidade espacial, pode haver um excesso em um determinado local e os nutrientes não utilizados pelas plantas são perdidos para o meio ambiente, aumentando os níveis de contaminação do solo e água.

Finger *et al.* (2019) evidenciam que a AP promoverá a sustentabilidade da agricultura, sendo necessária, ainda, a resolução de problemas, como a alta quantidade e qualidade de

alimentos produzidos, perda da biodiversidade e a contribuição substancial à emissão de gases de efeito estufa. Para países em desenvolvimento, os obstáculos estão na adoção da agricultura em pequena escala, com áreas fragmentadas, heterogeneidade nos sistemas de cultivo, falta de especialistas, de conhecimento e envolvimento técnico (BHAKTA, PHADIKAR e MAJUMDER, 2019).

3.1.1 Principais tecnologias envolvidas no processo de AP

Griffin *et al.* (2017) ressaltam que, ainda que a AP conte com diversas tecnologias, devem ser complementares. Enquanto uma tecnologia fornece os dados (como esquemas de amostragem ou monitor de produtividade), uma segunda faz uso desses elementos, como na aplicação a taxas variáveis. Essa movimentação, a nível de propriedade, ainda é um vazio na literatura, apontam os autores. Thompson *et al.* (2019) afirmam que diversas pesquisas são conduzidas no sentido de se avaliar a adoção ou não de determinada tecnologia pelo produtor, mas que muito pouco se sabe sobre a percepção que há por trás das decisões de adoção dos produtores.

Para Finger *et al.* (2019), a adoção de tecnologias de AP varia geograficamente e conforme o tipo; ou seja, não é possível se estabelecer alguma regra quanto à adoção. A presença de AP, em todas as etapas produtivas, continuam os autores, não pode ser verificada, sendo observada a utilização do georreferenciamento e sistemas de orientação, como tecnologias mais comuns.

Essa diferença pode ser observada com o resultado de alguns estudos, como em Soares Filho e Cunha (2015) e Griffin *et al.* (2017). Enquanto o primeiro fez uma avaliação isolada das tecnologias, o segundo já avaliou a utilização dessas em conjunto. Para Soares Filho e Cunha (2015), a amostragem de solo em grade e a adubação a taxa variada a lanço são as tecnologias de AP mais empregadas no cerrado brasileiro, mais especificamente o sudoeste do estado de Goiás. Já Griffin *et al.* (2017), identificaram a utilização do pacote completo (monitor de produtividade, amostragem de solo georreferenciada e aplicação a taxa variável) como a mais utilizada (no Kansas, EUA), com um aumento de 400% na utilização, a partir de 2010.

O sensoriamento remoto é uma tecnologia que também é aplicada à AP, a qual contribui significativamente para a obtenção das informações em campo, com um potencial significativo a ser explorado, especialmente, em aplicações de tempo real (MULLA, 2013). Em revisão sistemática, efetuada por Bhakta, Phadikar e Majumder (2019), o sensoriamento remoto foi identificado como uma das tecnologias mais utilizadas, ao lado dos sensores, sendo que cada um concentrou aproximadamente 18% dos trabalhos recuperados.

No entanto, ainda é necessário o desenvolvimento de sensores para estimativa direta de deficiências nutricionais, bem como índices espectrais que permitam avaliar

simultaneamente características de culturas, além de módulos com menor consumo de energia e custo acessível (MULLA, 2013; BHAKTA, PHADIKAR e MAJUMDER, 2019). Outra restrição é apontada por Gebbers e Adamchuk (2010), no fato de que as imagens refletem apenas dados da superfície, não sendo possível avaliar a condição do solo ou das raízes de uma determinada cultura. A identificação desses gargalos, com a geração de informações por controladores, atuadores e sensores, fazem com que engenheiros continuem o processo de inovação, promovendo avanços no processamento de dados e robótica, por exemplo (GRIFFIN *et al.*, 2017; FINGER *et al.*, 2019).

Uma alternativa para imageamento, dentro do sensoriamento remoto, está na utilização de drones, por meio da aquisição de imagens com resolução espacial bem superiores às obtidas por satélite (HUUSKONEN e OKSANEN, 2018).

Outras duas tecnologias foram destacadas por Asare e Segarra (2018): a amostragem em grades georreferenciadas e em zonas de manejo, as quais capturam a distribuição de nutrientes do solo, formando a base da prática de AP e são complementadas pelos mapas de produtividade. Walton *et al.* (2010) também discutem essas duas estratégias na produção de algodão, no sul dos Estados Unidos. Muitos produtores ainda utilizam aplicações uniformes em grandes áreas agrícolas, desse modo, a organização em zonas de manejo faz com que cada uma receba os insumos adequados ao tipo de solo, posição e histórico (MULLA, 2013), dispensando o uso de um equipamento que trabalhe a taxa variável, por exemplo.

Nagaraju e Chawla (2019) abordam, em seu mapeamento, a utilização de IoT (Internet of Things) na agricultura e, também, vislumbram um campo de oportunidades, mas ainda com limitações: falta de padronização entre os diferentes dispositivos utilizados; escassez de modularidade entre hardware e software, não sendo possível considerar soluções reutilizáveis; e alto custo de desenvolvimento. A exposição direta, continuam os autores, a diferentes condições climáticas – altas temperaturas e umidade, ventos fortes e chuvas torrenciais, bem como exposição à radiação solar – é outro desafio a ser superado.

Os trabalhos de Pongnumkul, Chaovalit e Surasvadi (2015), além de Deichmann, Goyal e Mishra (2016) destacam a oportunidade de utilização de smartphones na agricultura, devido a sua mobilidade, poder computacional, custo e variedade de aplicativos. Os sensores, que equipam o dispositivo, podem fornecer soluções agrícolas avançadas, contribuindo para o processo de AP. Em seu mapeamento sistemático, Pongnumkul, Chaovalit e Surasvadi (2015) identificaram apenas 22 trabalhos relevantes, relacionados à utilização de celulares em operações agrícolas, as quais são, principalmente, voltadas ao gerenciamento da propriedade.

Michels *et al.* (2019) também avaliam como importante a utilização de smartphones para o desenvolvimento agrícola, em seu estudo, na Alemanha. Foram confirmadas algumas informações, como a concentração de uso por pessoas mais jovens e a não distinção quanto

ao gênero. A ausência de aplicativos para determinadas necessidades, como pecuária, também é relatada. Esse tipo de caracterização é extremamente importante na elaboração de novos produtos e políticas, bem como novos nichos de mercado. Deichmann, Goyal e Mishra (2016) apontam oportunidades de utilização de dispositivos móveis, como em inovações na cadeia de produção, com plataformas de logística, por exemplo.

Ainda que tenha um campo de aplicações muito promissor, a utilização de um smartphone na forma conhecida atualmente já contribui significativamente para superar os problemas de comunicação, eliminando intermediários; assim, produtores podem ter acesso a informações oportunas e precisas sobre insumos e mercado (DEICHMANN, GOYAL e MISHRA, 2016).

Equipado com diferentes sensores, um smartphone concentra em um único dispositivo funcionalidades que antes eram desempenhadas por vários equipamentos trabalhando juntos. Pode-se citar, por exemplo, a complexidade envolvida no trabalho de monitoramento, efetuado por Zheng *et al.* (2011), no qual foi desenvolvido um sistema de integração, baseado em WSN (Wireless Sensors Network), GPS e GIS. As redes WSNs utilizaram tecnologia Zigbee; em campo, utilizou-se um PDA (Personal digital assistant – equipamento similar a um tablet) e um microcomputador para execução do serviço. A comunicação ainda era feita com outros 4 sensores para obtenção das propriedades do solo e ambiente: umidade do solo, temperatura do solo, umidade do ambiente e temperatura.

Toda essa vasta gama de informações, provenientes de diferentes esquemas amostrais, sensoriamento remoto, instrumentação em tempo real, apresenta-se como um desafio e oportunidade para mecanismos de Big Data (nesse caso, Agricultural Big Data). Para Coble *et al.* (2018), o uso dessas técnicas pode auxiliar o processo de agricultura de precisão e gerenciamento da propriedade. No entanto, sua utilização pode ir além, contribuindo para a previsão do clima, seleção de culturas e previsão de produtividade; sistemas de irrigação; prevenção de pragas e doenças; além de política agrícola e comercial.

3.1.1.1 Amostragem em agricultura de precisão

Enquanto o processo tradicional baseia-se em um valor médio das amostras obtidas, face às aplicações uniformes, o gerenciamento da variação requer um conhecimento mais detalhado, que pode ser obtido com uma amostragem mais intensiva. A amostragem sustenta a qualidade e a precisão das análises e tomadas de decisão subsequentes (KERRY, OLIVER e FROGBROOK, 2010).

Para Asare e Segarra (2018), deve-se considerar a variabilidade espacial e o número de amostras por área; a dimensão temporal do local em estudo de maneira a se considerar o número de anos para reamostragem, bem como a profundidade de cada amostra. Para os autores, essas informações, a nível de produtor, ainda são escassas.

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). Alguns desses parâmetros são descritos por Molin e Tavares (2019) e apresentados na Tabela 1. Apesar de toda a evolução observada em relação às tecnologias de AP, o correto diagnóstico da variabilidade espacial de propriedades do solo e cultura são um desafio global.

Tabela 1 Distribuição espacial e temporal de propriedades do solo.

| Propriedade do solo | Variabilidade espacial | Variabilidade temporal |
|---------------------|----------------------------------|---|
| Textura | Moderada-alta (entre 20 e 98 m) | Baixa |
| Carbono orgânico | Alta (entre 22 e 78 m) | Moderada (entre 5 e 10 anos) |
| CEC | Moderada-alta | Moderada |
| pH | Moderada-alta (entre 30 e 100 m) | Moderada-alta (entre estações) |
| P-disponível | Alta (entre <10 e 31 m) | Alta (na e, entre as estações) |
| K-disponível | Alta (entre 18 e 68 m) | Moderada-alta (na e, entre as estações) |

Fonte: Molin e Tavares (2019).

O mapeamento dessa variabilidade espacial é um desafio e, também, uma oportunidade para a utilização de técnicas de instrumentação, com sensores e atuadores (MOLIN e TAVARES, 2019). As causas da variabilidade são diversas, como tipos de solo, bioma, clima e práticas agrícolas utilizadas (LAWRENCE *et al.*, 2020).

Informações precisas sobre a variação dos atributos do solo e das culturas no campo são cruciais para o gerenciamento em AP, no entanto, muitos atributos precisam ser determinados fisicamente a partir de amostras no campo, que podem ser demoradas e caras. Daí a importância de técnicas como a geoestatística para prever com precisão o mapeamento digital dos atributos do solo e das culturas nos locais não amostrados (KERRY, OLIVER e FROGBROOK, 2010). No entanto, diferenças em metodologias, como profundidade, mês de amostragem e análise estatística, dificultam um plano que forneça estimativas confiáveis (LAWRENCE *et al.*, 2020).

No entanto, a necessidade de amostragem contrasta com os custos para sua execução. Para Soares Filho e Cunha (2015), a amostragem em grade é feita conforme o atributo a ser analisado, variando de uma amostra por hectare para fósforo, potássio e saturação de bases, até uma amostra para cada três hectares, no caso de determinação de argila. Esses valores são corroborados por Kerry, Oliver e Frogbrook (2010), que citam experimentos no Reino Unido – e outros países –, utilizando esse valor de uma amostra por hectare. Kerry, Oliver e Frogbrook (2010), bem como Lawrence *et al.* (2020), destacam que essa é uma estratégia amplamente utilizada, ainda que não retrate com precisão a variabilidade espacial (MOLIN e TAVARES, 2019); entretanto, há esse grande uso, visto que existe um equilíbrio entre a taxa de amostragem e o custo.

Desse modo, a avaliação de diferentes esquemas de amostragem é importante para encontrar esse ponto de equilíbrio – entre custo e número de pontos –, retratando adequadamente a variabilidade espacial. Nesse sentido, é ascendente o número de publicações, podendo destacar Guedes, Uribe-Opazo e Ribeiro Jr (2014), que procuram definir o tamanho e forma de um plano amostral, de maneira a melhorar a eficiência da amostragem no processo de determinação da variabilidade espacial. Schirrmann *et al.* (2012) também discutem a importância da amostragem com destaque à questão da variabilidade espacial e ao custo relacionado a uma amostragem intensiva, propondo o uso da krigagem ATP (area-to-point) para reduzir a escala de amostras compostas com diferentes tamanhos e formas, na determinação da variabilidade do fósforo.

Outra abordagem é apresentada por Guo *et al.* (2016), com utilização de imageamento remoto em substituição à amostragem convencional. Em seu trabalho, foi avaliada a distribuição espacial da umidade e salinidade do solo por meio da metodologia de superfície de resposta e imagens obtidas com radar, confrontadas com amostragens em grid. Os mapas produzidos apresentarem resultados semelhantes.

No entanto, ainda que exista engajamento no entendimento da variabilidade espacial de atributos do solo, por exemplo, muitos trabalhos ainda apresentam informações parciais na condução do estudo. Lawrence *et al.* (2020) recomendam que, para fins de pesquisa, os trabalhos descrevam maiores informações relativas às (1) propriedades físicas do solo, (2) histórico agrícola, (3) clima, (4) detalhes da amostragem do solo, (5) análise estatística e (6) escopo de inferência (de maneira a estender a pesquisa).

3.1.1.2 Subamostras: uma análise de diferentes estudos de caso

Na maioria das situações, uma amostra é composta por subamostras, coletadas a partir do ponto georreferenciado. No entanto, essa informação é condicionada ao elemento em estudo e, ainda assim, os experimentos podem ser conduzidos em diferentes condições. O conhecimento do esquema de composição de uma subamostra permite a avaliação da necessidade de um equipamento de alta precisão ou não, na amostragem daquele tipo de atributo.

Na Tabela 2, são apresentados alguns estudos para demonstrar a variabilidade de aplicações, que envolvem a utilização de algum tipo de amostragem, como o mapeamento de atributos físico-químicos, salinidade, pH, condutividade elétrica, produtividade e pragas em culturas, como soja, milho, cevada, café e cana de açúcar, por exemplo.

Tabela 2 Exemplos de estudos encontrados na literatura nos mais diversos segmentos, abrangendo a utilização de algum tipo de amostragem.

| Identificador | Autor(es) | Objetivo (resumido) |
|----------------------|--|---|
| A | YAO, R et al. (2012) | Avaliar a salinidade do solo por meio da condutividade elétrica; |
| B | WU, HUNG e PATTON (2013) | Avaliar técnicas de interpolação na elaboração de mapas de pH do solo; |
| C | BITTAR, ALVES e DE MELO (2018) | Avaliar a estimativa de atributos físicos e químicos de solo por meio de redes neurais artificiais; |
| D | NANNI et al. (2011) | Avaliar o tamanho ideal em grades de amostragem de solos para aplicação em taxa variável em manejo localizado; |
| E | VALENTE et al. (2014) | Avaliar a relação entre a variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente e as propriedades do solo em regiões de produção de cafés de montanha; |
| F | RODRIGUES, CORA e FERNANDES (2012) | Determinar o padrão de distribuição espacial de atributos do solo e da produtividade de milho em quatro intensidades de amostragem de solo e verificar a influência da intensidade amostral na compreensão da relação de causa e efeito entre atributos do solo e produtividade do milho; |
| G | RIFFEL et al. (2012) | Avaliar a influência da densidade amostral no monitoramento de lagartas desfolhadoras na cultura da soja; |
| H | DE CASTRO PIAS et al. (2017) | Comparar grids de amostragem para caracterizar a variabilidade espacial do <i>Euschistus heros</i> na cultura da soja; |
| I | BOTTEGA; DE QUEIROZ; PINTO; et al. (2014) | Avaliar a influência de diferentes grades amostrais na recomendação de aplicação de calcário em um Latossolo; |
| J | BOTTEGA; DE QUEIROZ; DE ASSIS DE CARVALHO PINTO; et al. (2014) | Analisar a influência de diferentes grades amostrais na determinação da variabilidade espacial dos atributos físicos; |
| K/L | YAO, R J et al. (2016) | Caracterização da variabilidade espacial e temporal dos rendimentos das culturas e propriedades do solo, delinear e avaliar ZMs em áreas de milho e cevada; |
| M | CAON e GENÚ (2013) | Avaliação do mapeamento de atributos químicos em diferentes densidades amostrais e influência na adubação e calagem, na cultura da soja; |
| N | CHERUBIN; SANTI; EITELWEIN; MENEGOL; et al. (2014) | Avaliar a eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio; |
| O | CHERUBIN et al. (2015) | Avaliar a acurácia na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio disponíveis no solo, pelo uso de diferentes dimensões de malhas amostrais, bem como a similaridade dos mapas temáticos gerados; |
| P | CHERUBIN; SANTI; EITELWEIN; DA ROS; et al. (2014) | Avaliar a eficiência da dimensão das malhas amostrais utilizadas no Rio Grande do Sul (RS) na caracterização da variabilidade espacial dos atributos pH, água, saturação por bases (V%), teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg); |
| Q | PIAS et al. (2019) | Avaliar o impacto técnico e econômico da substituição do esquema de amostragem denso por uma amostragem sistemática com menor número de amostras. |
| R | CAMICIA (2014) | Avaliar o grau de semelhança apresentado pelos mapas temáticos gerados por diferentes grades amostrais de plantas espontâneas em três áreas agrícolas comerciais. |

Além de diferentes escopos, diferentes abordagens são utilizadas na definição do número de subamostras e no raio de amostragem em cada um dos trabalhos. Como observado na Figura 1, a partir do ponto georreferenciado, diferentes subamostras compõem a amostra principal, coletadas em diferentes distâncias definidas em função do atributo a ser estudado. O raio de coleta varia de 1 a 10 m, enquanto o número de subamostras vai de 4 a 14. Esses valores indicam que a exatidão não é sempre crítica em atividades de amostragem, podendo ser utilizados equipamentos com baixa exatidão.

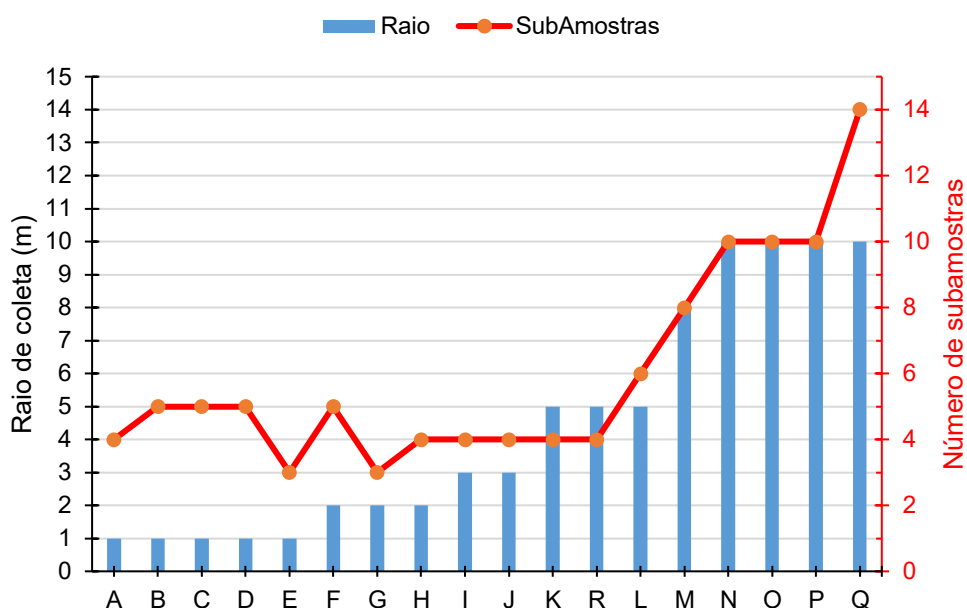


Figura 1 Relação entre o raio de amostragem e número de subamostras para os trabalhos identificados na Tabela 2.

A possibilidade de utilização de outros equipamentos mais acessíveis, economicamente, como receptores GNSS de baixo custo ou, então, smartphones, desde que sem prejuízo à execução da atividade, pode contribuir para a difusão das técnicas de amostragem e avanço da AP, como ferramenta auxiliar ao processo produtivo.

3.1.2 Sistemas de navegação global por satélite

O GPS (Global Positioning System) foi o primeiro sistema de navegação global por satélite, desenvolvido pelo departamento de defesa norte-americano, em meados de 1970, que possibilitou a geolocalização de qualquer elemento ao redor do globo terrestre. A partir da década de 80, sua utilização foi disponibilizada a civis, com frequências distintas, em uma variedade de aplicações de navegação: aeronáutica, automotiva, náutica e pessoal, além de mapeamento, pesquisa e infraestrutura (VATANSEVER e BUTUN, 2017).

Os sistemas globais de navegação por satélite são conhecidos pelo acrônimo de sua nomenclatura original GNSS (Global Navigation Satellite System). O sistema GPS foi o

primeiro a ser lançado e, assim, ao referir-se a um sistema GNSS, era comum utilizar o termo GPS; no entanto, isso não é mais válido, visto que, atualmente, já existem outros sistemas, como o russo GLONASS, o europeu GALILEO e o chinês BEIDOU (PAPADIMITRATOS, 2008; PEROSANZ, 2019).

A localização nesse tipo de sistema é efetuada com o auxílio de satélites em órbita ao redor da Terra, por meio do princípio de triangulação. O processo é extremamente complexo, mas pode ser abstraído a partir de estações terrestres, que monitoram com precisão a órbita de cada satélite; assim, medindo o tempo de viagem dos sinais transmitidos, quatro distâncias entre o receptor e os satélites fornecerão a posição, direção e velocidade precisas. Ainda que 3 medições sejam suficientes para se determinar a posição, uma quarta é necessária para resolver o erro de sincronização do relógio entre o receptor e o satélite (RAJU, 2003). A constelação de satélites foi projetada, então, para que, em qualquer ponto do globo, estivessem visíveis no mínimo 4 satélites. Em setembro de 2020, a constelação GPS contava com 32 satélites, sendo 30 operacionais; a GLONASS, com 27 sensores, sendo 23 operacionais; BEIDOU, com 44 operacionais, de um total de 49 (IAC PNT, 2020) e; GALILEO, com 26, sendo 22 operacionais (EUROPEAN GNSS SERVICE CENTRE, 2020).

Todos esses sistemas estão sujeitos a variações, oriundas de erros atmosféricos (ionosfera e troposfera), erro de sinal no espaço (efeméride e de relógio), erros por parte do usuário, diluição da precisão ou DOP (Dilution of Precision), dentre outros (DRIVER, 2007). Essa última fonte de variação, o DOP, vem sendo minimizada com a ascensão dos aparelhos multiconstelação, que permitem uma precisão superior, mas a um custo elevado (RUDOLPH *et al.*, 2019). Na contrapartida, os aparelhos dedicados vêm sendo substituídos por alternativas de baixo custo, com aplicações baseadas em smartphones (KOS, BRČIĆ e MUSULIN, 2013; DABOVE e DI PIETRA, 2019; DABOVE, DI PIETRA e PIRAS, 2020). Dabove, Di Pietra e Piras (2020) apontam fortemente, em seu trabalho, que, com a qualidade dos sinais coletados, é possível atingir um bom posicionamento. Tal premissa é corroborada por Kos, Brčić e Musulin (2013), que destacaram, entretanto, oscilações nas medições ao longo do dia, o que pode comprometer alguns tipos de sistemas que façam uso contínuo desse tipo de informação; tal mudança é similar à detectada por Saracoglu e Sanli (2020).

3.1.3 Exatidão em agricultura de precisão

A utilização de receptores GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite) pode fazer uso de uma ou mais constelações de satélites (GPS, GLONASS, BEIDOU e/ou GALILEO) de maneira a determinar uma posição geográfica no globo, por meio dos princípios de triangulação. Essa precisão é afetada pela geometria dos satélites (posição dos satélites a partir da visão do receptor), atraso atmosférico, bem como efeitos de caminhos múltiplos, causados pela reflexão (RUDOLPH *et al.*, 2019). Em sua investigação, Bancroft, Morrison e

Lachapelle (2012) avaliaram se linhas de transmissão de 500000 V poderiam interferir na qualidade do sinal GNSS e identificaram apenas uma fraca correlação; isso possibilita concluir que o sinal dos receptores GNSS não era alterado em função de estar próximo a uma linha de transmissão.

A utilização de GNSS é um dos pilares da AP, visto que o gerenciamento localizado é um dos processos que distingue a AP da agricultura convencional (SILVA *et al.*, 2019). Os autores destacam ainda que a exatidão é condicionada ao algoritmo de navegação e redução dos ruídos. Um equipamento, que faça uso de múltiplas frequências e múltiplas constelações, pode ter seu nível de precisão aumentado consideravelmente, conforme Rudolph *et al.* (2019), que citam uma relação exponencial entre precisão e custo de aquisição, na qual apenas uma unidade para fins comerciais com essas características tem um valor, iniciando a partir de €15000, enquanto um receptor de frequência única, com precisão inferior, sai por aproximadamente €500.

Trabalhos foram conduzidos no sentido de se desenvolverem soluções precisas e de baixo custo, como Keskin, Sekerli e Kahraman (2017); Rudolph *et al.* (2019) e Silva *et al.* (2019) ou, então, estudos para avaliar diferentes dispositivos comerciais, como Araújo *et al.* (2018); Carballido *et al.* (2014); Machado *et al.* (2010) e Rosalen *et al.* (2011); ou, ainda, sob condições específicas, como Bancroft, Morrison e Lachapelle (2012).

Duas particularidades nesses estudos devem ser destacadas: o primeiro ponto, identificado por Machado *et al.* (2010), está relacionado aos relatórios de desempenho, disponibilizados pelos fabricantes dos receptores, que demonstram resultados conduzidos no modo estático, de maneira que nem sempre esses valores são indicativos de desempenho cinemático. Já o segundo ponto, destacado por Keskin, Sekerli e Kahraman (2017), está na estimativa da velocidade em solo de maquinários agrícolas, sob variáveis de aceleração e desaceleração.

Beryouni *et al.* (2012), em seu trabalho, também apontam a falta de precisão da maioria dos equipamentos GPS tradicionalmente disponíveis, destacando a evolução da exatidão por meio de pesquisas com valores de até 100 m antes de 1998, de 10-20 m após 1998, equipamentos com valores de 10 m, outros com 5 m e finalmente ± 2 m a partir de 2009.

Para Pérez-Ruiz *et al.* (2011), a tecnologia GPS disponível e utilizada sem correção por muitos produtores é limitada a uma faixa de precisão em torno de 5 metros, em 95% do tempo. Foi a tecnologia DGPS que disponibilizou precisão submétrica ou mesmo na ordem de decímetros.

Em sistemas de alta precisão, valores inferiores a 10 mm são obtidos com a tecnologia RTK e são utilizadas 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), além dessas, operações de georreferenciamento em obras de engenharia são exemplos de atividades que demandam tal precisão. Paraforos *et al.* (2017) utilizam

precisão subcentimétrica em uma estação total robótica, para a prática agrícola. O range da exatidão em sistemas de orientação varia entre 50, 100 ou 300 mm. Precisão, na ordem de 10 mm, dificilmente é perceptível na condução de um equipamento; assim, uma fonte maior de precisão, nesse caso, não se justifica. O valor de 300 mm é adequado à precisão e superior aos marcadores de linha tradicionais (PÉREZ-RUIZ *et al.*, 2011).

Caicong *et al.* (2016) apresentam uma aplicação voltada ao gerenciamento da propriedade, fazendo uso de equipamentos de alta precisão. Por meio da solução (composta de hardware e software) desenvolvida, foi possível identificar qual operador estava utilizando um trator e qual operação estava sendo feita; foi possível mensurar corretamente o número de horas trabalhadas (para fins de salário e/ou bônus) e, por fim, identificar o operador que possa não ter realizado determinada operação adequadamente.

Rudolph *et al.* (2019) citam trabalhos nos quais propriedades do solo são medidas em uma escala acima de 1 m e a maioria dos equipamentos de AP requer apenas o posicionamento com precisão abaixo de 3 m; inclusive, em imagens obtidas por meio de satélite, as resoluções são de ordem 5 x 5 m. Logo, continuam os autores, se a necessidade do receptor atender às demandas da pesquisa proposta, deve-se utilizar uma unidade GNSS mais simples. Rosalen *et al.* (2011) compartilham dessa premissa, observando-se sempre a propriedade do solo a ser georreferenciada. Em seu estudo, utilizando um receptor de GNSS de navegação, com o método de Posicionamento por Ponto Simples e um receptor GNSS geodésico L1, observaram que os equipamentos utilizados não interferiram na caracterização da variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e da umidade gravimétrica do solo.

3.2 Computação móvel

A computação móvel é um paradigma em que os usuários têm acesso a diferentes tipos de serviços, independentemente de sua localização, sendo considerada a quarta revolução na computação, antecedida pelos grandes centros de processamento de dados, surgimentos dos terminais e as redes de computadores (FIGUEIREDO e NAKAMURA, 2003).

Para que essa mobilidade seja possível, é importante a utilização de dispositivos com dimensões reduzidas, que possam ser manipulados na palma das mãos, os quais devem possuir bateria e conectividade sem fio. Os primeiros dispositivos dessa natureza foram os laptops e palmtops (computadores similares a uma estação de trabalho, mas com dimensão reduzida) e os PDAs (dispositivos portáteis e operados na palma da mão, mas com capacidade de processamento e armazenamento restritos) (FIGUEIREDO e NAKAMURA, 2003). No entanto, dispositivos, como PDAs, eram projetados com uma finalidade específica, assim como os primeiros aparelhos, conhecidos como MP3s, o que restringia sua utilização (OLIVEIRA e MEDINA, 2007). Com o avanço no desenvolvimento desses dispositivos, há

uma mudança de usuários de telefones celulares e laptops tradicionais para smartphones e tablets (FANGMING LIU *et al.*, 2013). O computador tradicional, de mesa, também vem perdendo espaço para dispositivos móveis, como aponta Bottentuit Junior (2012).

Dispositivos móveis fornecem muitos dos recursos de computadores pessoais, com diferentes opções de conectividade, como IEEE 802.11, Bluetooth, GSM, GPRS, UMTS e HSPA (LA POLLA, MARTINELLI e SGANDURRA, 2013). Liu *et al.* (2013) destacaram ainda que processadores mais potentes, unidades de armazenamento e telas maiores são lançadas quase que diariamente.

Diante desse novo cenário, o desenvolvimento de aplicações também teve de acompanhar essa tendência de mobilidade para possibilitar aos usuários novas formas de acesso (BARROCA FILHO e AQUINO JUNIOR, 2013), tendo que lidar com as limitações do equipamento, principalmente, com aplicações que se ajustem às dimensões de tela (OLIVEIRA e MEDINA, 2007). Novas aplicações e serviços devem impulsionar ainda mais a computação móvel, exigindo a evolução de todas as tecnologias integradas, estando-se longe de esgotar a capacidade de incremento (FIGUEIREDO e NAKAMURA, 2003).

4 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, G. M.; SANTOS, F. F. L.; MARTINS, R. N.; TAVARES, L. C. M.; VIANA, L. A.; ALMEIDA, S. L. H.. Avaliação Da Precisão De Diferentes Dispositivos Gnss / Evaluation Of The Accuracy Of Different GNSS Devices. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 212-222, 28 jun. 2018. Universidade Estadual Paulista - Campus de Tupa. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2018v12n2p212-222>.

ASARE, Eric; SEGARRA, Eduardo. Adoption and extent of adoption of georeferenced grid soil sampling technology by cotton producers in the southern US. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 19, n. 6, p. 992-1010, 19 mar. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-018-9568-3>.

BANCROFT, J.B.; MORRISON, A.; LACHAPELLE, G. Validation of GNSS under 500,000V Direct Current (DC) transmission lines. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 83, p. 58-67, abr. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2012.01.013>.

BARROCA FILHO, Itamir de Moraes; AQUINO JUNIOR, Gibeon Soares de. A metamorfose dos sistemas de informação na era da computação móvel. **Revista Brasileira de Administração Científica**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 6-17, 6 set. 2013. Companhia Brasileira de Producao Cientifica. <http://dx.doi.org/10.6008/ess2179-684x.2013.002.0001>.

BERYOUNI, K.; MÉAR, Y.; MURAT, A.; POIZOT, E.; CHAIBI, M.. Geographical variability of environmental parameters versus GPS precision: toward a better sampling strategy. **Marine Pollution Bulletin**, [S.L.], v. 64, n. 11, p. 2507-2518, nov. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.05.015>.

BHAKTA, Ishita; PHADIKAR, Santanu; MAJUMDER, Koushik. State-of-the-art technologies in precision agriculture: a systematic review. **Journal Of The Science Of Food And Agriculture**, [S.L.], v. 99, n. 11, p. 4878-4888, 10 abr. 2019. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.9693>.

BITTAR, Roberto Dib; ALVES, Sueli Martins de Freitas; MELO, Francisco Ramos de. Estimation Of Physical And Chemical Soil Properties By Artificial Neural Networks. **Revista Caatinga**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 704-712, jul. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n320rc>.

BOTTEGA, E. L.; QUEIROZ, D. M. de; PINTO, F. de A. de C.; SANTOS, N. T. The use of different sampling grids in determining the variability of soil physical attributes of Oxisol. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 5, n. 2, p. 131-139, abr-jun, 2014.

BOTTEGA, Eduardo L.; QUEIROZ, Daniel M. de; PINTO, Francisco A. C.; OLIVEIRA NETO, Antonio M. de; VILAR, Cesar C.; SOUZA, Cristiano M. A. de. Sampling grid density and lime recommendation in an Oxisol. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 18, n. 11, p. 1142-1148, nov. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1142-1148>.

BOTTENTUIT JUNIOR, J. B. Do Computador ao Tablet: Vantagens Pedagógicas na Utilização de Dispositivos Móveis na Educação. **Revista Educaonline**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 1-25, jan-abr, 2012.

CAICONG, W.; LIN, Z.; JIE, W.; YAPING, C. Smartphone based precise monitoring method for farm operation. **Int J Agric & Biol Eng**, [S.L.], v. 9, n. 3, 111-121, mai, 2016. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20160903.2154>.

CAMICIA, R. F. da M. **Seleção De Grades Para Mapeamento De Plantas Espontâneas**. Orientador: Marcio Furlan Maggi. 2014. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná, Cascavel, 2014.

CAON, Diovane; GENUÍ, Aline M.. Mapeamento de atributos químicos em diferentes densidades amostrais e influência na adubação e calagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 17, n. 6, p. 629-639, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662013000600009>.

CARBALLIDO, J; PEREZ-RUIZ, M; EMMI, L; VEGA, Juan Agüera. Comparison of Positional Accuracy between RTK and RTX GNSS Based on the Autonomous Agricultural Vehicles under Field Conditions. **Applied Engineering in Agriculture**, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 361-366, jul., 2014. <https://doi.org/10.13031/aea.30.10342>.

CHERUBIN, Maurício Roberto; SANTI, Antônio Luis; EITELWEIN, Mateus Tonini; AMADO, Telmo Jorge Carneiro; SIMON, Diego Henrique; DAMIAN, Júnior Melo. Dimensão da malha amostral para caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 50, n. 2, p. 168-177, fev. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2015000200009>

CHERUBIN, Maurício Roberto; SANTI, Antônio Luis; EITELWEIN, Mateus Tonini; ROS, Clovis Orlando da; BISOGNIN, Mateus Bortoluzi. Sampling grids used to characterise the spatial variability of pH, Ca, Mg and V% in Oxisols. **Revista Ciência Agronômica**, [S.L.], v. 45, n. 4, p. 659-672, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-66902014000400004>.

CHERUBIN, Maurício Roberto; SANTI, Antônio Luis; EITELWEIN, Mateus Tonini; MENEGOL, Diego Ricardo; ROS, Clóvis Orlando da; PIAS, Osmar Henrique de Castro; BERGHETTI, Juliano. Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização da variabilidade espacial de fósforo e potássio. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 44, n. 3, p. 425-432, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782014000300007>.

COBLE, Keith H; MISHRA, Ashok K; FERRELL, Shannon; GRIFFIN, Terry. Big Data in Agriculture: a challenge for the future. **Applied Economic Perspectives And Policy**, [S.L.], v. 40, n. 1, p. 79-96, 16 fev. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1093/aep/pxp056>.

DABOVE, Paolo; PIETRA, Vincenzo di. Towards high accuracy GNSS real-time positioning with smartphones. **Advances In Space Research**, [S.L.], v. 63, n. 1, p. 94-102, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2018.08.025>.

DABOVE, Paolo; PIETRA, Vincenzo di; PIRAS, Marco. GNSS Positioning Using Mobile Devices with the Android Operating System. **Isprs International Journal Of Geo-Information**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 220-233, 7 abr. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9040220>.

DEICHMANN, Uwe; GOYAL, Aparajita; MISHRA, Deepak. Will digital technologies transform agriculture in developing countries? **Agricultural Economics**, [S.L.], v. 47, n. 1, p. 21-33, nov. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/agec.12300>.

DRIVER, T. Long-term prediction of GPS accuracy: Understanding the fundamentals. **20th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation 2007 ION GNSS 2007**, Fort Worth, TX, v. 1, n., p. 152-163, set, 2007.

EUROPEAN GNSS SERVICE CENTRE. Constellation Information. 2020. Disponível em: <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information>. Acesso em: 1 set. 2020.

FIGUEIREDO, C. M. S.; NAKAMURA, E. Computação Móvel: Novas Oportunidades e Novos Desafios. **T&C Amazônia**, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 427-434, jun, 2003.

FINGER, Robert; SWINTON, Scott M.; BENNI, Nadja El; WALTER, Achim. Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. **Annual Review Of Resource Economics**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 313-335, 5 out. 2019. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929>.

GEBBERS, R.; ADAMCHUK, V. I.. Precision Agriculture and Food Security. **Science**, [S.L.], v. 327, n. 5967, p. 828-831, 11 fev. 2010. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1183899>.

GRIFFIN, Terry W.; MILLER, Noah J.; BERGTOLD, Jason; SHANOYAN, Aleksan; SHARDA, Ajay; CIAMPITTI, Ignacio A.. Farm's Sequence of Adoption of Information-intensive Precision Agricultural Technology. **Applied Engineering In Agriculture**, [S.L.], v. 33, n. 4, p. 521-527, 2017. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). <http://dx.doi.org/10.13031/aea.12228>.

GUEDES, Luciana P.C; URIBE-OPAZO, Miguel A.; RIBEIRO JUNIOR, Paulo J. Optimization Of Sample Design Sizes And Shapes For Regionalized Variables Using Simulated Annealing. **Ciencia e Investigación Agraria**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 7-8, abr. 2014. Pontificia Universidad Catolica de Chile. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-16202014000100004>.

GUO, Yan; SHI, Zhou; HUANG, Jingyi; ZHOU, Lianqing; ZHOU, Yin; WANG, Laigang. Characterization of field scale soil variability using remotely and proximally sensed data and response surface method. **Stochastic Environmental Research And Risk Assessment**, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 859-869, 7 ago. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-015-1135-0>.

HUUSKONEN, Janna; OKSANEN, Timo. Soil sampling with drones and augmented reality in precision agriculture. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 154, p. 25-35, nov. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.039>.

IAC PNT. Information And Analysis Center For Positioning, Navigation And Timing (IAC PNT). 2020. Disponível em: <https://www.glonass-iac.ru/en/>. Acesso em: 1 set. 2020.

KERRY, R.; OLIVER, M. A.; FROGBROOK, Z. L.. Sampling in Precision Agriculture. **Geostatistical Applications For Precision Agriculture**, [S.L.], p. 35-63, 2010. Springer Netherlands. http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-9133-8_2.

KESKIN, Muharrem; SEKERLI, Yunus Emre; KAHRAMAN, Suleyman. Performance of two low-cost GPS receivers for ground speed measurement under varying speed conditions. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 264-277, 27 abr. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-016-9453-x>.

KOS, S.; BRČIĆ, D.; MUSULIN, I. Smartphone application GPS performance during various space weather conditions: A preliminary study. **Conference: International Symposium on Electronics in Transport (ISEP)**, Ljubljana, v. 21, n. May 2014, 2013, mar, 2013.

LAPOLLA, Mariantonietta; MARTINELLI, Fabio; SGANDURRA, Daniele. A Survey on Security for Mobile Devices. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 446-471, 2013. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/surv.2012.013012.00028>.

LAWRENCE, Patrick G.; ROPER, Wayne; MORRIS, Thomas F.; GUILLARD, Karl. Guiding soil sampling strategies using classical and spatial statistics: a review. **Agronomy Journal**, [S.L.], v. 112, n. 1, p. 493-510, jan. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/agj2.20048>.

LIU, Fangming; SHU, Peng; JIN, Hai; DING, Linjie; YU, Jie; NIU, Di; LI, Bo. Gearing resource-poor mobile devices with powerful clouds: architectures, challenges, and applications. **IEEE Wireless Communications**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 14-22, jun. 2013. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/mwc.2013.6549279>.

MACHADO, Thiago M.; MOLIN, José P.; POVH, Fabrício P.; SALVI, José V.. Metodologia para avaliação do desempenho de receptor de GPS de uso agrícola em condição cinemática. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 121-129, fev. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162010000100013>.

MENDES, Jorge; PINHO, Tatiana M.; SANTOS, Filipe Neves dos; SOUSA, Joaquim J.; PERES, Emanuel; BOAVENTURA-CUNHA, José; CUNHA, Mário; MORAIS, Raul. Smartphone Applications Targeting Precision Agriculture Practices—A Systematic Review. **Agronomy**, [S.L.], v. 10, n. 6, p. 855-899, 16 jun. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10060855>.

MICHELS, Marius; FECKE, Wilm; FEIL, Jan-Henning; MUSSHOF, Oliver; PIGISCH, Johanna; KRONE, Saskia. Smartphone adoption and use in agriculture: empirical evidence from germany. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 403-425, 11 jun. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-019-09675-5>.

MOLIN, José Paulo; TAVARES, Tiago Rodrigues. SENSOR SYSTEMS FOR MAPPING SOIL FERTILITY ATTRIBUTES: challenges, advances, and perspectives in brazilian tropical soils. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 39, n. , p. 126-147, set. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39nep126-147/2019>.

MULLA, David J.. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, [S.L.], v. 114, n. 4, p. 358-371, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>.

NAGARAJU, M; CHAWLA, P. IoT implementation and management for smart farming. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**, [S.L.], v. 8, n. 10, p. 2483-2491, ago, 2019. <https://doi.org/10.35940/ijitee.J9545.0881019>.

NANNI, M R; POVH, F P; DEMATTÊ, J A M; DE OLIVEIRA, R B; CHICATI, M L; CEZAR, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management [Tamanho ideal em grades de amostragem de solos para aplicação em taxa variável em manejo localizado]. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 68, n. 3, p. 386-392, mai-jun, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162011000300017>.

OLIVEIRA, L. R. de; MEDINA, R. D. Desenvolvimento de objetos de aprendizagem para dispositivos móveis: uma nova abordagem que contribui para a educação. **Novas Tecnologias na Educação**, [S.L.], v. 5, n. Cinted, p. 1-11, [s.d], 2007.

PAPADIMITRATOS, P.; JOVANOVIĆ, A. GNSS-based Positioning: Attacks and countermeasures, **MILCOM 2008 - 2008 IEEE Military Communications Conference**, San Diego, CA, 2008, p. 1-7. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4753512>. Acesso em: 05 jan. 2021.

PARAFOROS, Dimitris S.; REUTEMANN, Marcus; SHARIPOV, Galibjon; WERNER, Roland; GRIEPENTROG, Hans W.. Total station data assessment using an industrial robotic arm for dynamic 3D in-field positioning with sub-centimetre accuracy. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 136, p. 166-175, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2017.03.009>

PÉREZ-RUIZ, M; CARBALLIDO, J; AGÜERA, J; GIL, J A. Assessing GNSS correction signals for assisted guidance systems in agricultural vehicles. **Precision Agriculture**, Netherlands, v. 12, n. 5, p. 639-652, out., 2011. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9211-4>.

PEROSANZ, Félix. GNSS: a revolution for precise geopositioning. **Comptes Rendus Physique**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 171-175, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crhy.2019.05.018>.

PIAS, Osmar H. de C.; CHERUBIN, Maurício R.; SANTI, Antônio L.; BASSO, Claudir J.; BAYER, Cimélio. Transition From Systematic To Directed Soil Sampling Designs In An Area Managed With Precision Agriculture. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 39, n. 3, p. 400-409, jun. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n3p400-409/2019>.

PIAS, Osmar Henrique de Castro; CHERUBIN, Maurício Roberto; BERGHETTI, Juliano; KUSS, Cassiano Carlos; SANTI, Antônio Luis; BASSO, Claudir José. Sampling grids for monitoring *Euschistus heros* infestation in soybean. **Bragantia**, [S.L.], v. 76, n. 3, p. 386-397, 8 jun. 2017. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2016-261>.

PINI, Marco; MARUCCO, Gianluca; FALCO, Gianluca; NICOLA, Mario; WILDE, Wim de. Experimental Testbed and Methodology for the Assessment of RTK GNSS Receivers Used in Precision Agriculture. **IEEE Access**, [S.L.], v. 8, p. 14690-14703, 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2020.2965741>.

PONGNUMKUL, Suporn; CHAOVALIT, Pimwadee; SURASVADI, Navaporn. Applications of Smartphone-Based Sensors in Agriculture: a systematic review of research. **Journal Of Sensors**, [S.L.], v. 2015, p. 1-18, 2015. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/195308>.

RAJU, P. L. N. Fundamentals of GPS. 2003. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology. **Dehra Dun**, [S.L.], s/n, p. 121-150, [s.d], 2003.

RIFFEL, Cinei Teresinha; GARCIA, Mauro Silveira; SANTI, Antônio Luis; BASSO, Claudir José; DELLA FLORA, Lisandra Pinto; CHERUBIN, Maurício Roberto; EITELWEIN, Mateus Tonini. Densidade amostral aplicada ao monitoramento georreferenciado de lagartas desfolhadoras na cultura da soja. **Ciência Rural**, [S.L.], v. 42, n. 12, p. 2112-2119, 23 out. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782012005000116>

RODRIGUES, Marcos S.; CORÁ, José E.; FERNANDES, Carolina. Soil sampling intensity and spatial distribution pattern of soils attributes and corn yield in no-tillage system. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 32, n. 5, p. 852-865, out. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162012000500005>.

ROSALEN, David L; RODRIGUES, Marcos s; A CHIODEROLI, Carlos; BRANDÃO, Flavia J. C; SIQUEIRA, Diego s. GPS receivers for georeferencing of spatial variability of soil attributes. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 31, n. 6, p. 1162-1169, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162011000600013>.

RUDOLPH, Sebastian; MARCHANT, Ben Paul; WEIHERMÜLLER, Lutz; VEREECKEN, Harry. Assessment of the position accuracy of a single-frequency GPS receiver designed for electromagnetic induction surveys. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 19-39, 7 maio 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-018-9578-1>.

SARACOGLU, Aziz; SANLI, D. Ugur. Effect of meteorological seasons on the accuracy of GPS positioning. **Measurement**, [S.L.], v. 152, p. 107301-107311, fev. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107301>.

SCHIRRMANN, Michael; HERBST, Ruprecht; WAGNER, Peter; GEBBERS, Robin. Area-to-Point Kriging of Soil Phosphorus Composite Samples. **Communications In Soil Science And Plant Analysis**, [S.L.], v. 43, n. 7, p. 1024-1041, abr. 2012. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2012.656166>.

SILVA, Thales M. de A.; MAYRINK, Grégory de O.; VALENTE, Domingos S. M.; QUEIROZ, Daniel M.. Integration Of A Low-Cost Global Navigation Satellite System To A Single-Board Computer Using Kalman Filtering. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 39, n. 3, p. 323-330, jun. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n3p323-330/2019>.

SOARES FILHO, Romeu; CUNHA, João P. A. R da. Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de goiás - Brasil. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 689-698, ago. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v35n4p689-698/2015>.

THOMPSON, Nathanael M.; BIR, Courtney; WIDMAR, David A.; MINTERT, James R.. FARMER PERCEPTIONS OF PRECISION AGRICULTURE TECHNOLOGY BENEFITS. **Journal Of Agricultural And Applied Economics**, [S.L.], v. 51, n. 1, p. 142-163, 2 out. 2018. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/aae.2018.27>.

VALENTE, Domingos S. M.; QUEIROZ, Daniel M. de; PINTO, Francisco de A. de C.; SANTOS, Fábio L.; SANTOS, Nerilson T.. Spatial variability of apparent electrical conductivity and soil properties in a coffee production field. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 34, n. 6, p. 1224-1233, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162014000600017>.

VATANSEVER, Saffet; BUTUN, Ismail. A broad overview of GPS fundamentals: now and future. **2017 IEEE 7Th Annual Computing And Communication Workshop And Conference (Cccw)**, [S.L.], p. 1-6, jan. 2017. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/ccwc.2017.7868373>.

WALTON, J. C; ROBERTS, R. K; LAMBERT, D. M; LARSON, J. A; ENGLISH, B. C; LARKIN, S. L; MARTIN, S. W; MARRA, M. C; PAXTON, K. W; REEVES, J. M. Grid soil sampling adoption and abandonment in cotton production. **Precision Agriculture**, Netherlands, v. 11, n. 2, p. 135-147, abr., 2010. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9144-y>.

WU, Yi-Hwa; HUNG, Ming-Chih; PATTON, Jamie. Assessment and visualization of spatial interpolation of soil pH values in farmland. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 14, n. 6, p. 565-585, 10 maio 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-013-9316-7>.

YAO, R J; YANG, J S; WU, D H; XIE, W P; GAO, P; WANG, X P. Characterizing Spatial-Temporal Changes of Soil and Crop Parameters for Precision Management in a Coastal Rainfed Agroecosystem. **Agronomy Journal**, Madison, v. 108, n. 6, p. 2462-2477, nov., 2016. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.01.0004>.

YAO, Rongjiang; YANG, Jingsong; ZHAO, Xiufang; CHEN, Xiaobing; HAN, Jianjun; LI, Xiaoming; LIU, Meixian; SHAO, Hongbo. A New Soil Sampling Design in Coastal Saline Region Using EM38 and VQT Method. **Clean - Soil, Air, Water**, [S.L.], v. 40, n. 9, p. 972-979, 9 ago. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/clen.201100741>.

ZHENG, Lihua; LI, Minzan; WU, Caicong; YE, Haijian; JI, Ronghua; DENG, Xiaolei; CHE, Yanshuang; FU, Cheng; GUO, Wei. Development of a smart mobile farming service

system. **Mathematical And Computer Modelling**, [S.L.], v. 54, n. 3-4, p. 1194-1203, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.053>.

5 ARTIGO 1 – SNAC: SOFTWARE PARA NAVEGAÇÃO EM ATIVIDADES DE CAMPO: DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO

Resumo: A utilização de dispositivos móveis, como celulares e tablets, em atividades agrícolas, ainda é incipiente; no entanto, devido à sua capacidade de processamento, mobilidade e sistemas integrados de geolocalização, pode permitir sua aplicação em diversas atividades de campo, tais como a demarcação de talhões, registro de dados a campo, bem como a localização de pontos amostrais, no contexto de Agricultura de Precisão (AP). Esses dispositivos, além de apresentarem um custo inferior a equipamentos GNSS comerciais de baixa precisão, utilizados com esse fim, têm funcionalidades e recursos disponíveis que os tornam mais atrativos para a aquisição. Este trabalho teve por objetivo desenvolver um aplicativo para dispositivos móveis, que permite a importação e localização de pontos amostrais georreferenciados/geolocalizados. O aplicativo foi ensaiado a campo por meio do uso de um smartphone quanto à sua praticidade e funcionalidades disponíveis, bem como sua exatidão e precisão em relação à geolocalização. Verificou-se que o uso do aplicativo permitiu realizar os trabalhos a campo com exatidão próxima a 1 m, podendo ser utilizado em atividades de coleta de dados no contexto de AP.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, Android, Smartphones, tecnologia agrícola

Abstract: The use of mobile devices, such as cell phones and tablets, in agricultural activities is still incipient, however, due to its processing capacity, mobility and integrated geolocation systems, they can be used in various field activities, such as field demarcation, field data recording, as well as the location of sample points, in the context of Precision Agriculture (PA). These devices, besides costing less than commercial low-precision GNSS equipment used for this purpose, have available features and resources that make them more attractive for acquisition. This work aimed to develop an application for mobile devices, which allows the import and location of georeferenced/geolocation sample points. The application was tested in the field using a smartphone to evaluate its practicality and available features, as well as its accuracy and precision concerning geolocation. It was found that the use of the application allowed field work to be performed with accuracy close to 1 m, and it can be used in data collection activities in the context of PA.

Keywords: Precision farming, Android, Smartphones, Agriculture technology

5.1 Introdução

A adoção da tecnologia de Agricultura de Precisão (AP) no gerenciamento agrícola demanda a utilização de diversas tecnologias, chamadas habilitadoras, tais como monitor de produtividade, tecnologias GNSS, sistemas de mapeamento e aplicação a taxa variável, dentre outras. Nesse sentido, com foco no manejo de solo e planta e na utilização de diferentes insumos (como fertilizantes, herbicidas, sementes, combustível, dentre outros), que passam a ser utilizados em locais e momentos corretos, a tecnologia de AP busca aumentar a produtividade das culturas e reduzir seus custos de produção, além de proporcionar a redução dos impactos causados pela prática agrícola no meio ambiente (MULLA, 2013; FINGER *et al.*, 2019; THOMPSON *et al.*, 2019).

Com foco em mapear a variabilidade espacial e temporal de atributos de solo, planta e clima é que se insere o contexto da AP, considerando que, devido à variabilidade existente, um talhão não deve ser tratado de maneira uniforme, devendo-se, portanto, realizar o manejo, utilizando técnicas para aplicações de insumos a taxas variáveis ou, mesmo, fazendo uso de zonas de manejo. Dessa forma, o conhecimento da variabilidade espacial é importante para que seja realizado o manejo de forma diferenciada, sendo o seu comportamento, no campo, condicionado aos atributos em estudo, os quais podem variar em curtas distâncias ou longas distâncias (a centenas de metros) (KERRY, OLIVER e FROGBROOK, 2010; MOLIN e TAVARES, 2019). O correto diagnóstico da variabilidade espacial de propriedades do solo e cultura variam de acordo com diversos fatores, como tipo do solo, bioma, clima e prática agrícola (LAWRENCE *et al.*, 2020), variando de forma diversa em diferentes regiões (MOLIN e TAVARES, 2019).

A determinação e mapeamento da variabilidade espacial requerem normalmente amostragem densa, o que implica dificuldades operacionais e em elevados custos para levantamento de dados. Dessa forma, é necessário um planejamento adequado, considerando que há a necessidade de que a amostragem permita que a variabilidade espacial dos atributos possa ser determinada com o mínimo de custos envolvidos. Como etapa fundamental do ciclo de AP, a amostragem está diretamente relacionada à qualidade e à precisão da determinação da variabilidade espacial dos atributos, permitindo que sejam tomadas decisões subsequentes de forma mais assertiva (KERRY, OLIVER e FROGBROOK, 2010).

Nesse contexto, diversas abordagens promovem o uso de técnicas que possibilitem a redução do número de pontos amostrais. Essas abordagens têm focado em estudos estatísticos, como Schirrmann *et al.* (2012) e Guedes, Uribe-Opazo e Ribeiro Júnior (2014); utilização do sensoriamento remoto em substituição à amostragem convencional (GUO *et al.*, 2016) ou, mesmo, no desenvolvimento de soluções GNSS precisas e de baixo custo, como Keskin, Sekerli e Kahraman (2017), Rudolph *et al.* (2019) e Silva *et al.* (2019).

Uma tecnologia que pode ser auxiliar para o processo de levantamento de dados ao mapeamento da variabilidade espacial é a utilização de dispositivos móveis. A utilização de smartphones por envolvidos no processo agrícola é apontada como promissora por Pongnumkul, Chaovalit e Surasvadi (2015); Deichmann, Goyal e Mishra (2016) e, também, por Michels *et al.* (2019), pela mobilidade apresentada, poder computacional e variedade de aplicativos. Deichmann, Goyal e Mishra (2016) afirmaram, ainda, que, da maneira como é conhecida, a tecnologia já contribui significativamente para a comunicação, permitindo que produtores tenham acesso a informações precisas e oportunas sobre insumos e mercado, mesmo no campo.

Pongnumkul, Chaovalit e Surasvadi (2015) identificaram 22 trabalhos relacionados à utilização de dispositivos móveis em operações agrícolas, sendo voltados, principalmente, ao

gerenciamento da propriedade. Já na revisão efetuada por Mendes *et al.* (2020), foram identificados 38 trabalhos nesse contexto, sendo quatro voltados ao mapeamento em campo e informação do solo, a saber:

- a. AGRI PRECISION: apresentado por Carvalho (2017), utiliza os sensores GNSS do dispositivo móvel para fazer a geração de pontos e grades amostrais. Permite delimitar o contorno do talhão e navegação ponto a ponto, não registrando o histórico de navegação realizada. Não necessita de internet para seu funcionamento. Não permite a importação de pontos amostrais gerados em outros softwares;
- b. GPS FIELDS AREA MEASURE: disponível em Buinickaité (2017) e Randytè (2018), utiliza os sensores GNSS do dispositivo móvel, recomendando o uso de antena externa para melhorar a precisão. Não necessita de internet para seu funcionamento. Essa aplicação é voltada à medição de campo, área e perímetro, possibilitando, ainda, a marcação de pontos de interesse;
- c. SOIL SAMPLER: disponível na loja virtual para aplicativos Android (FARMIS, 2018), o aplicativo é similar ao Agri Precision. Permite a demarcação de contornos, seleção do número de pontos amostrais para geração das grades amostrais, com navegação, entre esses; é necessária a conexão com internet. Não apresenta informações sobre o processo de geração das rotas e não permite a importação de pontos amostrais gerados em outros softwares; e
- d. NITROGEN INDEX: descrito por Delgado, Kowalski e Tebbe (2013), trata-se de uma aplicação específica ao cálculo do teor de nitrogênio do solo. Utiliza os sensores GNSS do dispositivo móvel e não necessita de internet.

Pode-se perceber uma evolução quanto ao número de publicações, conforme os trabalhos de Pongnumkul, Chaovalit e Surasvadi (2015) e Mendes *et al.* (2020), bem como no seu escopo. Os autores do segundo trabalho destacam, ainda, a existência de softwares nas chamadas lojas de aplicativos (i.e.: Google Play ou App Store), sem embasamento científico. Desse modo, não fazem parte da revisão aplicativos que apresentam baixa avaliação entre os usuários, são pagos ou, então, não estão disponíveis em língua inglesa.

Como verificado, os quatro aplicativos apresentados não permitem a importação de pontos amostrais gerados em outros softwares e ausência de informações sobre os métodos de percurso. De mesmo modo, são ausentes as informações sobre a determinação das rotas de navegação. Esses dois fatores ignoram um elemento muito importante no processo do manejo agrícola, a experiência do produtor, como destacam Schenatto *et al.* (2017).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e apresentar um aplicativo para auxiliar produtores e prestadores de serviço no gerenciamento de pontos de amostragem georreferenciados/geolocalizados, o que permite, a partir de recursos disponíveis em dispositivos móveis, orientar sua localização a campo, auxiliado por técnicas de roteamento otimizadas.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Definição de funcionalidades do sistema

Realizada a análise do contexto e visão geral do sistema (Quadro 1), verificou-se que o desenvolvimento do software possui base na elicitación de 6 requisitos principais.

Quadro 1 Visão geral do sistema.

| Sistema para navegação em atividades de campo – SNAC | |
|--|--|
| <p>O software de navegação deve aprimorar o processo de localização dos pontos amostrais em campo, durante atividades de amostragem em que a exatidão não seja crítica. Espera-se dessa forma, substituir a utilização de receptores GNSS convencionais e otimizar o caminhamento com a definição de rotas, com métricas como a de menor distância para percorrer os pontos amostrais previstos em uma grade amostral previamente criada. O cálculo para determinação da menor distância não deve levar em consideração o relevo do terreno ou a presença de obstáculos, encostas ou depressões. O aplicativo deve possibilitar ainda, o cadastro de talhões e seus respectivos pontos de coleta. Deve ser possível o início da navegação por meio da seleção dos talhões já cadastrados, permitindo ao usuário escolher um ponto de partida qualquer ou iniciar por locais sugeridos pela aplicação. Ao determinar-se o ponto de início, o sistema deve permitir que sejam traçadas rotas a serem seguidas pelo usuário, podendo assim ser possível visualizar as distâncias para cada próximo ponto, bem como para realizar o percurso que deve alcançar todos os pontos amostrais. O sistema deve possibilitar ainda o registro de ocorrências de ervas daninhas e pragas, por exemplo, permitindo o georreferenciamento da localização em que a ocorrência está presente no campo. A utilização deste aplicativo deve possibilitar a realização da amostragem ainda que não se tenha um GNSS convencional a disposição, além de reduzir o tempo gasto no caminhamento durante a atividade.</p> | |

Após a análise de levantamento de requisitos, foram definidos seis requisitos funcionais (Tabela 3), que descrevem as principais funcionalidades do aplicativo. Essas funcionalidades não necessitam de conectividade com a rede Internet, mas o dispositivo móvel deve possuir um sensor GNSS.

Tabela 3 Principais requisitos funcionais do aplicativo.

| Identificador | Requisito: Descrição |
|---------------|--|
| F1 | Manter talhão: O sistema deverá possibilitar o cadastro de propriedades nas quais sejam realizadas atividades de amostragem. |
| F2 | Manter atributo: O sistema deverá possibilitar o cadastro de atributos que podem ser mensurados durante o processo de amostragem. |
| F3 | Manter ponto de observação: O sistema deverá permitir o cadastro de locais de interesse do usuário. |
| F4 | Planejar percurso: O sistema deverá planejar o percurso de caminhamento a partir da localização atual do usuário até um ponto final estabelecido. |
| F5 | Localização do ponto alvo: Quando localizado um ponto, uma ação deverá ser executada, conforme a funcionalidade em execução. |
| F6 | Seleção do ponto de partida: O sistema deve permitir a seleção do ponto de partida em atividades de amostragem. |

A implementação dos requisitos efetivou-se, observando boas práticas de desenvolvimento de software, como na organização de classes, apresentada na Figura 2, com a presença da interface `ListProperties`. Existem 3 classes que implementam essa interface `ListPropertiesFromDatabase`, `ListPropertiesFromNetwork` e `ListPropertiesFromFile`. Essas 3 implementações estão relacionadas à maneira pela

qual as propriedades podem ser recuperadas e listadas no assistente inicial da aplicação. Observa-se, entretanto, que o assistente não tem acesso direto a nenhuma das implementações, somente com o tipo abstrato, o que demonstra a flexibilidade do sistema e não dependência de implementações concretas.

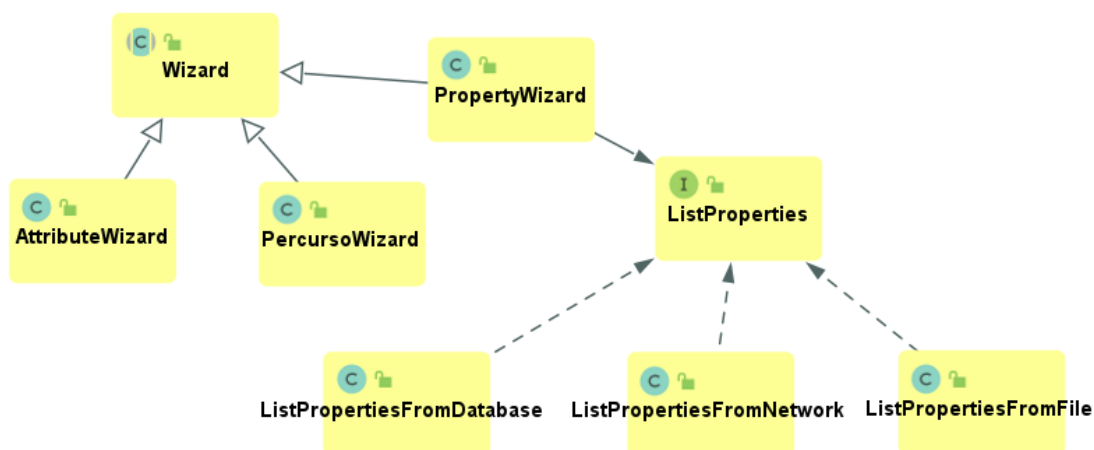


Figura 2 Diagrama de classes parcial, ilustrando a dependência de tipos abstratos.

O requisito funcional F4, considerado o principal, é quem possibilita a navegação do usuário em campo, apresentando as informações de percurso efetuado e do percurso restante. À medida que o usuário se desloca na área, uma linha é plotada no mapa apresentado pelo aplicativo, a qual representa o percurso executado. Outra linha representa o percurso sugerido pelo aplicativo, o qual serve como orientação para o deslocamento a campo.

Esse requisito foi implementado de maneira a definir uma lógica comum aos módulos em que algum tipo de navegação seja efetuada. Em termos de projeto, isso é refletido na organização das classes, como no diagrama apresentado na Figura 3. A superclasse abstrata `Navigator` contém os principais métodos e comportamentos que devem ser comuns a todas as outras classes. As demais classes herdaram esses comportamentos em sua criação.

As diferentes classes que estendem a superclasse `Navigator` contemplam as implementações previstas no planejador de percurso, descrito pelo requisito funcional F4. De forma funcional, no caso de uma subclasse, por exemplo, localizar um ponto marcado como alvo, invocará uma ação conforme a funcionalidade que estiver sendo executada naquele momento. Caso esteja recuperando um ponto de observação, será exibida uma interface relativa a informações de controle (feedback) àquele ponto. Caso estiver em uma atividade de amostragem, o usuário deverá cadastrar as informações do atributo que estiver sendo monitorado naquela atividade de coleta, conforme requisito funcional F5. Na amostragem, após registro do valor dos atributos obtidos referentes a um determinado ponto,

automaticamente, o sistema altera o ponto de destino para o próximo ponto a ser amostrado, conforme sua rota pré-definida.

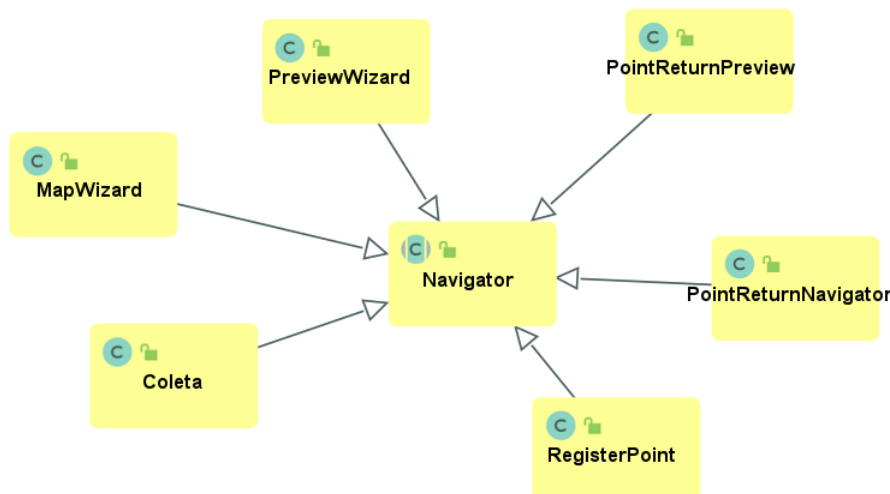


Figura 3 Diagrama de classes parcial, apresentando a hierarquia de classes a partir de Navigator.

O planejador de percurso envolve, ainda, a determinação de rotas. Quando essa for entre um usuário e um ponto qualquer, a rota consiste em um segmento de reta com início e fim nas coordenadas envolvidas. No entanto, em atividades de amostragem em que vários pontos devem ser observados, uma rota pode ser determinada de diferentes maneiras, não existindo uma solução considerada ótima. Esta deve sair da origem até o destino, passando por todos os intermediários. Esse problema é conhecido na literatura como problema do caixeiro-viajante, como descreve Prajapati (2020), e existem muitas abordagens para a sua resolução. Essas abordagens devem balancear o tempo de execução com a definição do menor caminho, não existindo uma única solução ótima. Nesse contexto, os algoritmos “Guloso” e “Simulated Annealing” se mostram aplicáveis (GENG *et al.*, 2011; KARABULUT e FATIH TASGETIREN, 2014).

O algoritmo guloso (G) parte da informação disponível e tenta encontrar uma solução ótima em cada fase, para alcançar um ótimo global (ROCHA e DORINI, 2004). Esse algoritmo também é conhecido como algoritmo do vizinho mais próximo, sendo uma das primeiras abordagens em ciência da computação a determinar uma solução para o problema do caixeiro viajante e tendo aplicações no contexto de roteamento de redes de comunicação. Desse modo, pode-se determinar um ponto de partida para que o algoritmo encontre o percurso. São consideradas sempre as menores distâncias (algoritmo míope): a partir do ponto de partida “A”, o algoritmo encontra o ponto mais próximo “B”. A partir de “B”, o conjunto de pontos (com exceção do ponto “A” já visitado) é avaliado e o mais próximo é encontrado, sendo essa abordagem repetida até conclusão de todos os pontos.

O algoritmo simulated annealing (SA) está relacionado a problemas de otimização, especialmente, na metalurgia (EREN, KÜÇÜKDEMIRAL e ÜSTOĞLU, 2017; DELAHAYE, CHAIMATANAN e MONGEAU, 2019), sendo utilizada a implementação proposta por Jacobson (2013). Como na metalurgia é necessário aquecer um material a uma temperatura muito alta e, na sequência, é feito o seu resfriamento, a eficiência desse algoritmo está ligada diretamente a duas variáveis internas: temperatura e taxa de resfriamento (CAMELO e CARVALHO, 2020). Essa metáfora é aplicada ao algoritmo, em que, a cada época de resfriamento, são realizadas iterações na busca de soluções (RODRIGUES, MACHADO e LIMA, 2013). Assim, o algoritmo consegue identificar um ponto como início e determina uma sequência a ser percorrida, até resolução completa do conjunto de pontos.

A rota padrão (P), adotada pelo aplicativo, está na navegação dos pontos conforme dispostos no arquivo XML. O sistema identifica o primeiro ponto, adota como origem e vai percorrendo os demais em sequência. Esse mecanismo permite ao usuário construir um percurso personalizado com base no seu conhecimento ou, então, de um especialista. Esse conhecimento pode ser extremamente importante na definição de um percurso que considere a elevação do talhão, curvas de nível e outros elementos, especialmente, em áreas menores ou de agricultura familiar.

No entanto, em talhões em que não se tenha um conhecimento prévio do relevo e outras particularidades, o sistema determina uma rota, considerando a menor distância entre os pontos. Quando o usuário selecionar um ponto de partida, é utilizado o algoritmo guloso para determinação da rota (F6). Se for selecionada a opção de geração aleatória, é feito uso do algoritmo SA.

A arquitetura do sistema foi elaborada conforme sugestões da documentação oficial¹, na qual há a compreensão necessária da linguagem para acessar os recursos de hardware dos dispositivos móveis, tais como os sensores GNSS e câmera. Esses são utilizados na localização do usuário e captura de imagens de pontos de observação, respectivamente.

5.2.2 Tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do software

Tendo em vista que o aplicativo desenvolvido foi projetado para ser utilizado em dispositivos móveis (tablets e celulares), com sistema operacional (SO) Android, livre do pagamento de licenças (BHARDWAJ, 2013), buscou-se trabalhar com ferramentas open-source, no desenvolvimento, possibilitando sua disponibilização de forma gratuita para produtores, pesquisadores e prestadores de serviço. A escolha da plataforma Android também aconteceu pela vasta documentação e tecnologias disponíveis para suporte no desenvolvimento, bem como pelo fato de que os dispositivos que propiciam suporte a esse

¹ Disponível em <https://developer.android.com/>

Sistema Operacional (SO) apresentam-se mais acessíveis pelo custo inferior, quando comparados a outros SO do mercado.

Como linguagem de programação, foi utilizada a linguagem JAVA (GOSLING *et al.*, 2014) na IDE (Integrated Development Environment) Android Studio (COMPANY, 2010) com a API do GOOGLE (COMPANY, 2015). A estrutura de persistência dos dados foi construída fazendo uso do sistema de banco de dados SQLite (LACEY, 2019), sendo todas essas tecnologias livres. A administração do versionamento nas etapas de desenvolvimento e codificação do projeto foi realizada fazendo uso do servidor GitHub (BLISCHAK, DAVENPORT e WILSON, 2016).

No desenvolvimento da aplicação, foram utilizadas metodologias de boas práticas de programação, como Programação Orientada a Objetos (POO), Princípios de Projeto e Padrões de Projeto, como sugerido por Araújo *et al.* (2013). A utilização dessas técnicas permite o desenvolvimento pensado em classes e objetos ou mesmo componentes; isso, no futuro, possibilita a adição de novos módulos, com o mínimo impacto para a codificação realizada.

5.2.3 Procedimentos de validação do software

O software foi validado quanto à exatidão e dispersão na localização de pontos, utilizando um smartphone (na área A), e quanto aos percursos de caminhamento gerados (na área B), de forma que tem sido trabalhado com tecnologia de AP há pelo menos 5 anos.

Para avaliação da exatidão e precisão na localização de pontos, foram utilizados dois equipamentos: um smartphone (Equipamento E1) Samsung Galaxy S10+, com receptor GNSS multiconstelação e Android 10, e um receptor GNSS (Equipamento E2) Trimble Juno 3B, com capacidade de recepção de 12 canais paralelos e de rastrear o código C/A na portadora L1, segundo especificações do fabricante. A escolha do smartphone foi aleatória; já o receptor Juno, foi escolhido por ser um equipamento disponibilizado comercialmente para esse fim, com demarcação de áreas e localização de pontos, além de ser utilizado em publicações voltadas à agricultura de precisão, como AZIZ *et al.* (2012), KOSTIĆ *et al.* (2016), BETZEK *et al.* (2018) e BETZEK *et al.* (2019).

Os dois aparelhos tiveram sua dispersão avaliada por uma estação 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. A estação foi montada em marco geodésico determinado, seguindo normas técnicas do INCRA e em observância à lei 10267/2001.

Para avaliação da exatidão dos dispositivos, foi realizado o georreferenciamento de 20 piquetes com a estação RTK na área experimental A (Figura 4), localizada no município de Medianeira, sob as coordenadas 25°18'58.4"S 54°03'35.8"W. Na área, com

aproximadamente 2 há, foram determinados os piquetes espaçados entre si por distâncias de aproximadamente 10 m.

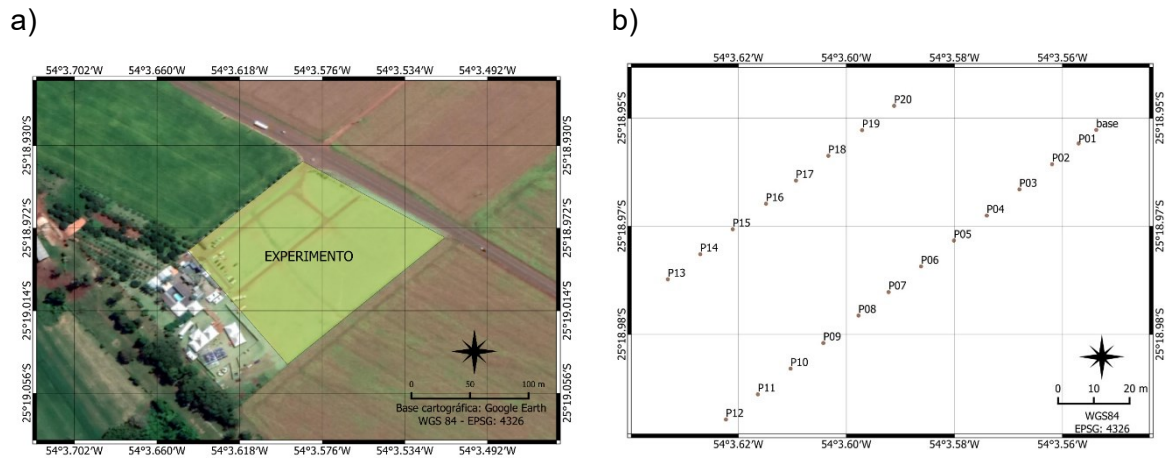


Figura 4 Mapa da área experimental A, a partir de imagens do Google Earth; (a) identificação da área experimental e (b) localização dos piquetes.

Após georreferenciamento dos piquetes e obtenção de suas coordenadas, foram exportadas e carregadas nos equipamentos E1 e E2. Com isso, os dispositivos foram avaliados quanto à sua exatidão na localização dos piquetes. O equipamento E1 utilizou o software SNAC na localização, enquanto o equipamento E2 utilizou o software TerraSync para navegação. Foi utilizada a estação GNSS para mensuração do erro na posição dada como correta pelos equipamentos, em relação ao piquete. Foram feitas 4 repetições para cada equipamento, totalizando, assim, 80 leituras por dispositivo. Os resultados foram avaliados por meio de gráficos de dispersão e estatística descritiva.

A avaliação prática quanto ao deslocamento entre pontos, gerada pelos diferentes percursos, foi avaliada na determinação do percurso de amostragem em uma propriedade rural, localizada no município de Céu Azul/PR, com cerca de 15,5 ha (Figura 5). Nessa área, foram utilizados 40 pontos de amostragem para gerenciamento da variabilidade espacial dos atributos do solo, com uma densidade aproximada de 2,56 pontos ha⁻¹.

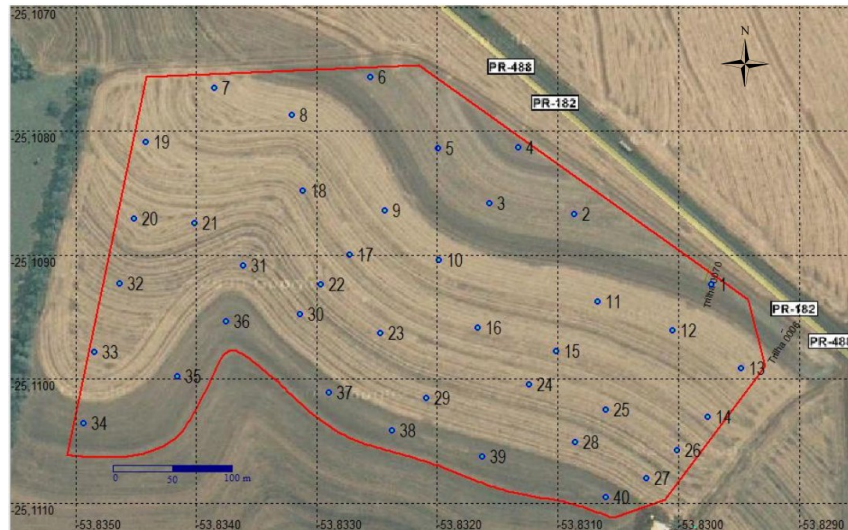


Figura 5 Mapa da área experimental B, com os pontos de amostragem identificados.

Fonte: SCHENATTO (2014)

A avaliação dos algoritmos utilizados na elaboração dos percursos foi realizada observando as particularidades de cada um. O método utilizado na determinação do percurso P é baseado no conhecimento do especialista e não pode ser reproduzido na geração de percursos com outros pontos de partida. O algoritmo G produz um único percurso para cada ponto de partida, que corresponde à melhor solução encontrada. Foram determinados, então, 40 percursos para a área B. O algoritmo SA encontra soluções utilizando, em sua rotina, uma variável chamada taxa de resfriamento (TR), a qual, quanto menor, maior a capacidade do algoritmo em encontrar uma solução ótima, mas a um custo computacional maior.

O percurso P foi avaliado, então, com os percursos gerados pelos algoritmos G e SA por meio de estatística descritiva, considerando o ponto 1 como início e o valor padrão para taxa de resfriamento (0,003), proposta no algoritmo de JACOBSON (2013).

Os valores médios de percurso obtidos pelo algoritmo G foram avaliados com o algoritmo SA e 7 taxas de resfriamento, por ponto de partida. Como o algoritmo SA não permite a seleção do ponto de partida, foram realizadas diversas execuções para cada TR, de maneira a se conseguir pelo menos 1 execução por ponto. Na existência de mais de uma execução, foi considerada a de menor distância.

Os resultados médios, obtidos para cada TR, foram submetidos a um teste T pareado, objetivando-se identificar um melhor valor para a TR de maneira que a execução do algoritmo SA produza percursos estatisticamente menores que o algoritmo G, em média.

Como a personalização da taxa de resfriamento implica o aumento do tempo de processamento, foi mensurado o tempo de execução para cada percurso.

5.3 Resultados e discussão

5.3.1 Apresentação do software e principais interfaces

O aplicativo finalizado e nomeado SNAC – Sistema para Navegação em Atividades de Campo (Figura 6) – é o produto resultante das fases de desenvolvimento.

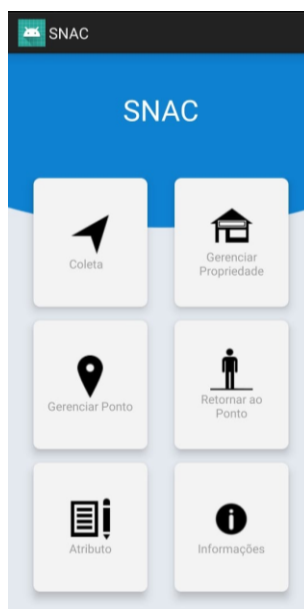


Figura 6 Tela inicial do aplicativo SNAC.

Na Figura 6, é apresentado o menu inicial, com 6 opções de funcionalidades, em atendimento aos requisitos enunciados anteriormente:

- a) Coleta: para realização de atividades de amostragem ou visualização dos registros existentes (requisito compartilhado F4);
- b) Gerenciar propriedade: módulo relativo ao gerenciamento do talhão (conforme requisito funcional F1);
- c) Gerenciar Ponto: módulo para gerenciamento de ponto de observação (conforme requisito funcional F3);
- d) Retornar ao ponto: módulo de navegação similar ao de amostragem, sendo que é localizado apenas 1 ponto de observação (requisito compartilhado F4);
- e) Atributo: módulo para manutenção dos atributos amostrados (conforme requisito funcional F2); e
- f) Informações: correspondente a informações de contato e sobre o sistema.

O módulo COLETA para registro de ponto de observação é simulado na Figura 7-a. O sistema registra o ponto a partir da localização do usuário que, na sequência, deve preencher as informações relativas ao fenômeno em observação, como detalhes e tipo de observação.

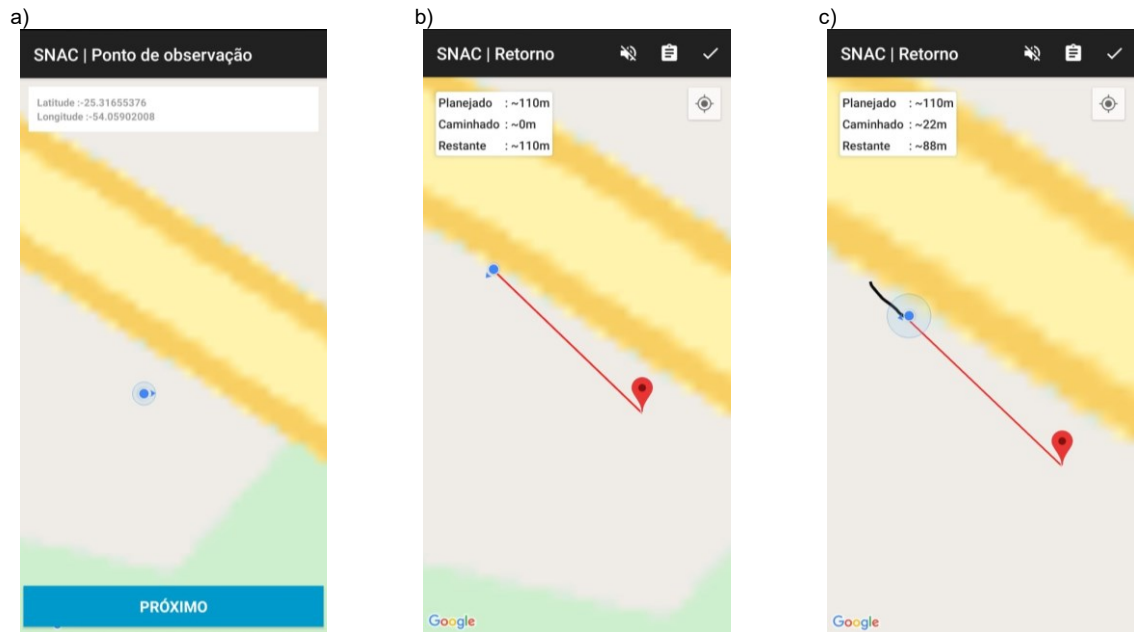


Figura 7 Módulo para registro e navegação até um ponto de observação: (a) Registro do ponto de observação com base na localização do usuário; (b) Determinação do percurso de retorno ao ponto; (c) Localização de um ponto de observação (retorno).

O retorno a um ponto de observação utiliza o módulo de navegação e pode ser visualizado na Figura 7b. O ponto de observação é apresentado com marcador em cor vermelha e a posição do usuário com marcador em azul. O segmento de reta em vermelho corresponde ao caminho a ser efetuado até localização do ponto. O painel de distâncias no canto superior esquerdo é atualizado à medida que o usuário se desloca no mapa.

O módulo de navegação, durante atividades de amostragem, compartilha muitos elementos da interface, apresentada, anteriormente, na Figura 7b, e pode ser visto na Figura 8. O mapa apresentado é correspondente a caminhada na área A, durante ensaios de verificação da exatidão e precisão.

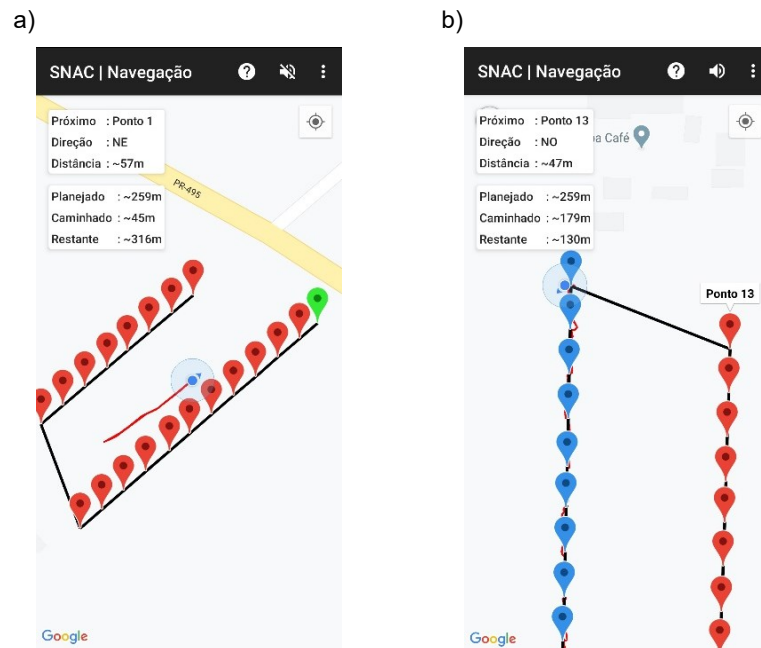


Figura 8 Módulo de navegação durante atividades de amostragem: (a) Localização do primeiro ponto ou ponto de partida; (b) Localização do ponto 13.

Na Figura 8a, é apresentado o módulo de navegação, sendo possível observar os pontos de amostragem em marcadores, na cor vermelha, e o ponto de partida, na cor verde. A posição atual do usuário é representada por um ponto azul; o percurso realizado, na cor vermelha. Um painel à esquerda, no canto superior, exibe as informações de próximo ponto a ser localizado e as distâncias envolvidas.

Na Figura 8b, é possível verificar que o usuário está em direção ao ponto 13, distante aproximadamente 47 metros, a noroeste. Os pontos amostrados têm a cor alterada para azul enquanto os restantes continuam em vermelho.

5.3.2 Dispersão dos dados

O resultado do ensaio de localização dos pontos pode ser visto conforme o gráfico da Figura 9. As coordenadas georreferenciadas, na área A, correspondentes aos piquetes, são apresentadas com marcador quadrado, na cor preta, enquanto os equipamentos 1 e 2 são apresentados pelas cores azul e vermelho, respectivamente.

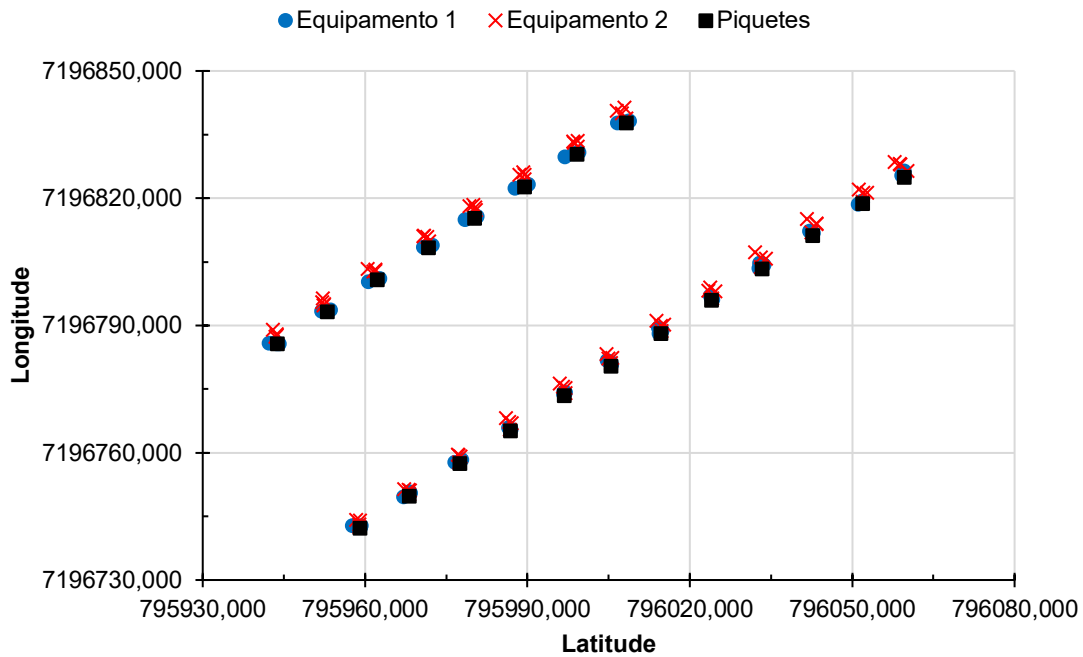


Figura 9 Gráfico de dispersão das posições dos equipamentos em relação a localização do piquete, utilizando o sistema de coordenadas UTM.

Observa-se que, durante a localização dos pontos, os equipamentos apresentaram proximidade aos piquetes. Em inspeção visual, é possível verificar que o equipamento E1 (azul) apresentou menor dispersão do que o equipamento E2 (vermelho). A análise das estatísticas descritivas (Tabela 4) permite verificar que o equipamento E1 apresenta, em média, melhor exatidão na localização dos pontos.

Tabela 4 Estatísticas descritivas para os valores obtidos pela estação RTK com navegação dos equipamentos E1 e E2.

| | Média (m) | Erro padrão | Mediana | Desvio padrão | Variância | Curtose | Assimetria | Min | Máx |
|----|-----------|-------------|---------|---------------|-----------|---------|------------|------|------|
| E1 | 0,72 | 0,05 | 0,59 | 0,45 | 0,20 | 1,32 | 1,25 | 0,13 | 2,28 |
| E2 | 2,20 | 0,11 | 2,20 | 0,97 | 0,94 | -0,49 | -0,34 | 0,20 | 4,10 |

O erro médio de localização foi de 0,72 m para o equipamento E1 e 2,20 m para o equipamento E2. A mediana para o equipamento E1 indica que 50% das leituras se encontram abaixo de 0,59 m (contra 2,20 do E2) e os outros 50% até um valor máximo de 2,28 m (contra 4,10 m do E2). Ou seja, o equipamento E1 apresenta uma distribuição dos dados com maior concentração nos valores próximos de 0; já o E2, apresenta uma distribuição mais regular, com valores distribuídos entre seu máximo e mínimo. Os valores encontrados são confirmados por meio do gráfico da Figura 10, em que é apresentada a dispersão de todos os pontos observados em relação ao ponto de referência.

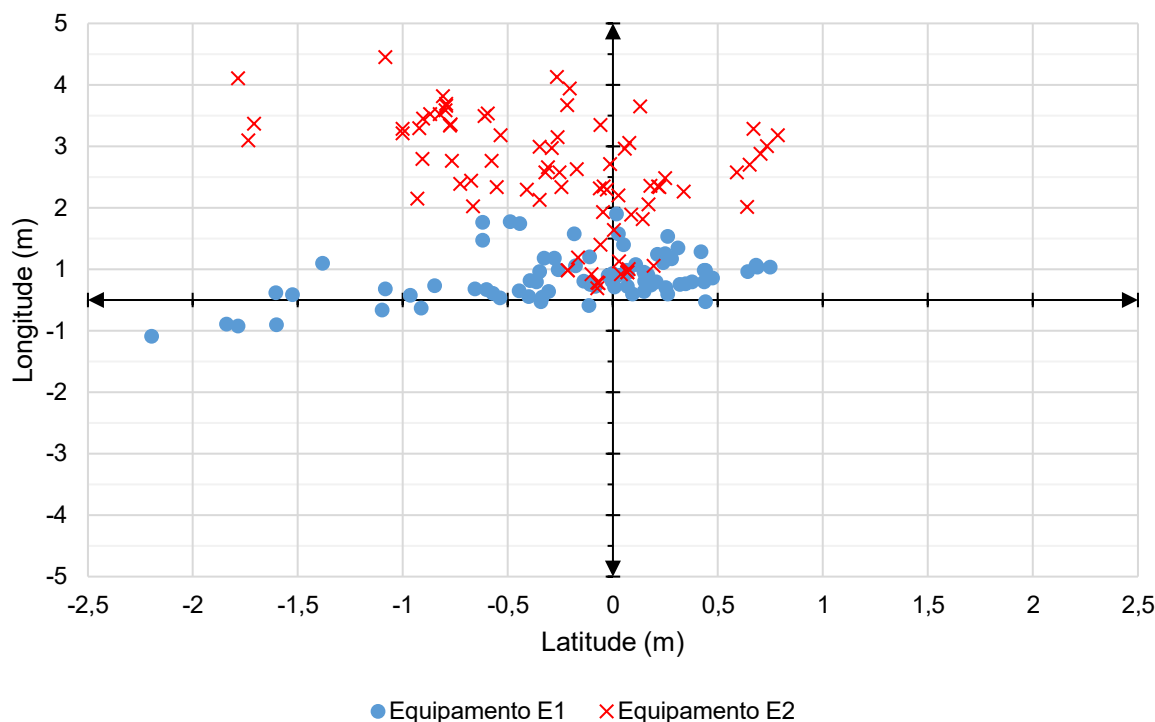


Figura 10 Dispersão dos pontos observados em relação ao ponto de referência.

Com base no experimento realizado e valores obtidos, pode-se afirmar que o aplicativo (avaliado em execução no equipamento E1) apresenta uma localização similar à de um aparelho de GNSS comercial, sendo mais exato e mais preciso (vide valores de desvio-padrão) neste experimento. Apesar dos valores encontrados demonstrarem exatidão e precisão superior, no equipamento E1, são necessários mais ensaios em campo (com alternância de locais e condições) para que possa ser confirmada a diferença observada na precisão e, também, para que possa ser estabelecido um teste de hipóteses de maneira a verificar se diferem estatisticamente ou não quanto à precisão na localização dos pontos. Os valores médios indicam que ambos os equipamentos podem ser utilizados na maioria das aplicações de AP, em que a precisão não seja crítica (RUDOLPH *et al.*, 2019).

Os valores encontrados para o equipamento E2 vão de encontro às especificações do fabricante e em achados da literatura, como descrito na metodologia de AZIZ *et al.* (2012) e FAUZI *et al.* (2016), com precisão de 2 a 5 m. El Abbous (2012), na avaliação do dispositivo, concluiu que sua aplicação está relacionada a problemas de ordem métrica. Kostić *et al.* (2016) só obtiveram precisão superior, de 0,5 a 1 m, fazendo uso do módulo PathFinder ProXT. O uso de pós-processamento dos dados, segundo o fabricante e conforme Aziz *et al.* (2012), aumentaria a precisão para o intervalo de 1 a 3 m, no entanto, Fauzi *et al.* (2016), em seu estudo, não encontrou diferença estatística na exatidão, com os dados pré e pós-processamento.

Para o equipamento E1, os dados mostram-se melhores que os achados na literatura. O estudo de Klimaszewski-Patterson (2010), que avaliou um smartphone e o

receptor Juno, encontrou um erro posicional estimado médio de 3,3 m para o smartphone e de 5,9 m para o Juno; enquanto isso, a média residual do erro foi de 1,04 m e 3 m, respectivamente.

No entanto, esse tipo de estudo ainda é incipiente, pois muitos são conduzidos avaliando-se a precisão em ambientes urbanos, como descrito por Clark e Levy (2013), sendo detectada precisão média de 7 a 8 m, valores inferiores aos encontrados por Merry e Bettinger (2019), de 7 a 13 metros. Essa ausência de informações é corroborada pela revisão sistemática, efetuada por Mendes *et al.* (2020), em que se ressalta a importância de dispositivos móveis, mas nenhuma menção é feita quanto à exatidão e precisão desses dispositivos.

5.3.3 Percursos

A área B foi utilizada na geração dos percursos de caminhada, com base nos pontos amostrais existentes. O caminho padrão, da Figura 11, corresponde ao percurso gerado a partir da ordem com que os pontos se encontram no arquivo.



Figura 11 Captura de tela do sistema com geração de percurso padrão para a área B.

O percurso gerado compreende um total de 3405 m a serem percorridos para amostragem de todos os pontos. O primeiro ponto amostral corresponde ao Ponto 1; está a uma distância de 160 m da localização atual do usuário no momento de geração dos mapas.

A definição do percurso, seja como ponto de partida padrão, personalizado ou aleatório, é efetivada pela interface da Figura 12a. Se optar pela definição personalizada de ponto de partida, o usuário é encaminhado para uma tela de seleção (Figura 12b), em que

deve selecionar um ponto e marcá-lo como inicial. Uma legenda abaixo do nome do ponto já informa o valor total do percurso a partir da seleção efetuada.

Na Figura 12b, é exibido o mapa no qual foi selecionado o ponto 01 como partida, com um total de 2598 m de percurso. Ao avançar e confirmar essa informação, o usuário acessa o navegador (Figura 12c) com as informações necessárias: próximo ponto (01), distância (N), a que distância o ponto de partida está da localização atual do usuário.

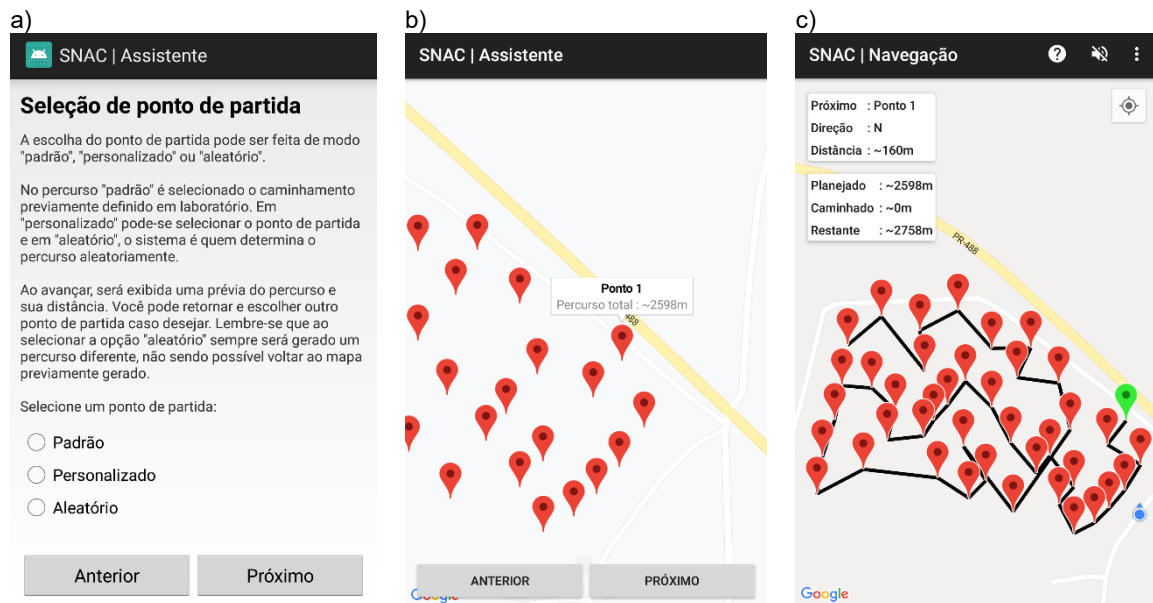


Figura 12 Capturas de tela do sistema relativas à geração de percurso com ponto de partida personalizado: (a) seleção do tipo de percurso; (b) seleção do ponto de partida; (c) Percurso definido usando algoritmo guloso com início no Ponto 1.

A geração de percursos aleatórios, com a utilização do algoritmo SA, não necessita da interação do usuário, fazendo a definição dos pontos de início e fim do percurso. Na interface da Figura 12-a, deve ser selecionada a opção "Aleatório" e uma solução é apresentada, como na Figura 13, sendo o ponto 2 determinado pelo algoritmo como início do percurso.



Figura 13 Ilustrativo para captura de tela com a geração de percurso pelo algoritmo SA iniciando pelo ponto 2.

Os percursos, produzidos pelos algoritmos P, G e SA, foram avaliados considerando o ponto 1 como de partida (Tabela 5). O algoritmo G apresentou o menor percurso, 807 m, inferior ao caminhar padrão e 350 m menor que uma execução do algoritmo SA (com valores padrão para a taxa de resfriamento). A distância de cada segmento também é inferior, no algoritmo G.

Tabela 5 Comparação entre os valores de cada segmento de percurso utilizando os algoritmos P, SA e G, considerando o Ponto 1 como ponto de partida.

| Algoritmo | Média | Desv. Padrão | Q1 | Mediana | Q3 | Máximo | Mínimo | Total |
|-----------|-------|--------------|----|---------|-----|--------|--------|-------|
| P | 87 | 30,7 | 65 | 70 | 119 | 140 | 35 | 3405 |
| SA | 75 | 33,1 | 54 | 69 | 85 | 200 | 31 | 2948 |
| G | 67 | 29,0 | 51 | 63 | 72 | 169 | 31 | 2598 |

Os valores da média indicam uma diferença de aproximadamente 20 m na distância de cada segmento, considerando o percurso P e o G. A análise dos quartis também indica essa redução, sendo que uma diferença mais expressiva é observada no Q3, com uma diferença de 47 m. O desvio padrão menor para o algoritmo G indica uma regularidade maior no tamanho de cada segmento.

O algoritmo SA teve a taxa de resfriamento customizada, reduzindo o valor pela metade a cada execução. Foi efetuada a execução padrão e 6 execuções personalizadas para cada ponto de partida. Foi calculada a média dos 40 percursos e esses valores foram apresentados com os valores da execução de G, na Tabela 6.

Tabela 6 Estatísticas descritivas para o algoritmo G e SA, com customização da taxa de resfriamento.

| Algoritmo | N | Média | Desv. Padrão | EP Média |
|-----------------------|------|--------|--------------|----------|
| G | 40,0 | 2802,7 | 132,5 | 20,9 |
| SA (TR=default=0,003) | 40,0 | 3324,2 | 215,4 | 34,1 |
| SA (TR=0,0015) | 40,0 | 3042,5 | 157,8 | 24,9 |
| SA (TR=0,00075) | 40,0 | 2845,7 | 132,5 | 20,9 |
| SA (TR=0,000375) | 40,0 | 2724,6 | 107,7 | 17,0 |
| SA (TR=0,0001875) | 40,0 | 2673,8 | 86,8 | 13,7 |
| SA (TR=0,00009375) | 40,0 | 2606,3 | 98,0 | 15,5 |
| SA (TR=0,000046875) | 40,0 | 2551,8 | 65,3 | 10,3 |

O valor de “Média” corresponde a uma estimativa da diferença média da população. O desvio padrão apresenta redução à medida em que o valor de TR diminui, demonstrando que os valores vão ficando cada vez mais próximos à média. O erro padrão da média (EP) estima a variabilidade entre a amostra média, se extraídas repetidas amostras da mesma população.

Conforme valores apresentados, na Tabela 6, o algoritmo G apresenta, em média, uma superioridade numérica para as 3 primeiras execuções de SA. A partir da 4ª execução, tem-se valores melhores para o algoritmo SA.

O comportamento da média dos 40 percursos, para cada valor de TR, é apresentado de maneira gráfica, na Figura 14, sendo visualmente perceptível a redução à medida que é reduzido o valor de TR.

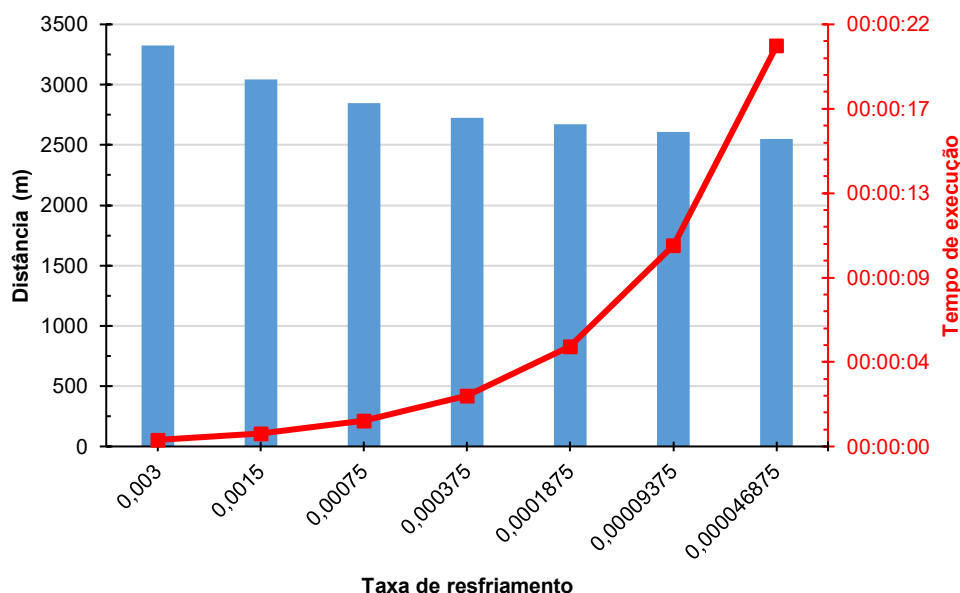


Figura 14 Evolução da média dos percursos e do tempo necessário para determinação de 1 percurso, com a customização do valor de TR.

A linha em vermelho corresponde ao tempo de execução para determinação de 1 percurso, sendo essa inferior a 1 segundo, no valor padrão de TR, e de aproximadamente 20

segundos, para o último valor de TR apresentado. Nesse último cenário, foram gastos aproximadamente 13 minutos na determinação dos 40 percursos.

O tempo de execução e determinação de cada percurso, utilizando o algoritmo G, foi inferior a 1 segundo, para todos os pontos de partida.

Os dados foram submetidos ao teste T pareado, para verificar se as médias diferem ou não, estatisticamente (Tabela 7). Cada linha da tabela corresponde a um teste de média entre o algoritmo G e a variação especificada do SA, sendo observada a diferença entre as médias (“Média”), o desvio padrão (“Desv. Padrão”) e o erro padrão da média (“EP Média”). O intervalo de confiança (IC) compreende o intervalo no qual estão inseridas as possíveis diferenças médias da população, ao nível de significância escolhido. O valor-T é usado para calcular o p-valor, utilizado como critério para rejeição ou não da hipótese de igualdade.

Tabela 7 Estimativa da diferença pareada obtidas por meio do teste t comparando o algoritmo G com as variações de SA.

| | Média | Desv. Padrão | EP Média | IC | Valor-T | Valor-p |
|-----------------------|--------|--------------|----------|-----------------|---------|---------|
| SA (TR=default=0,003) | -521,5 | 277,5 | 43,9 | (-610,2;-432,7) | -11,890 | 0,000 |
| SA (TR=0,0015) | -239,8 | 196,7 | 31,1 | (-302,7;-176,8) | -7,710 | 0,000 |
| SA (TR=0,00075) | -43,0 | 184,8 | 29,2 | (-102,1;16,1) | -1,470 | 0,149 |
| SA (TR=0,000375) | 78,2 | 187,9 | 29,7 | (18,1;138,3) | 2,630 | 0,012 |
| SA (TR=0,0001875) | 129,0 | 181,0 | 28,6 | (71,1;186,9) | 4,510 | 0,000 |
| SA (TR=0,00009375) | 196,4 | 170,0 | 26,9 | (142,1;250,8) | 7,310 | 0,000 |
| SA (TR=0,000046875) | 250,9 | 146,2 | 23,1 | (204,1;297,7) | 10,850 | 0,000 |

O p-valor proveniente dos testes executados e apresentados na Tabela 7 não permite rejeitar a hipótese de igualdade quando TR for igual a 0,00075 ou 0,000375, pois não foi significativo nessas duas situações. Nas outras execuções, o p-valor foi significativo e pode-se considerar as médias como diferentes. Para o valor padrão (0,003) ou para a primeira customização (0,0015), verifica-se que a superioridade numérica do algoritmo G é confirmada estatisticamente. Para a segunda e terceira customização, tem-se igualdade entre as médias.

A partir da quarta customização, com o valor de 0,0001875 para a taxa de resfriamento, o algoritmo SA passa a apresentar diferença e superioridade, em relação ao algoritmo G. O tempo de execução para esse valor de TR é de aproximadamente 4 segundos, perfeitamente aceitável para a execução em um smartphone ou tablet. Essa execução pode apresentar tempo superior em dispositivos com capacidade de processamento inferiores; dessa maneira, optou-se pela utilização desse valor no algoritmo em detrimento dos valores nos quais foram obtidos melhores médias de percurso.

Para o valor de TR definido, o melhor percurso foi obtido iniciando pelo ponto 40 com uma distância aproximada de 2511 m. Esse percurso é cerca de 894 m inferior ao percurso padrão. Para a elaboração do percurso no aplicativo (Figura 15), foi criado um arquivo XML, contendo os pontos devidamente ordenados, conforme identificado pelo algoritmo SA.

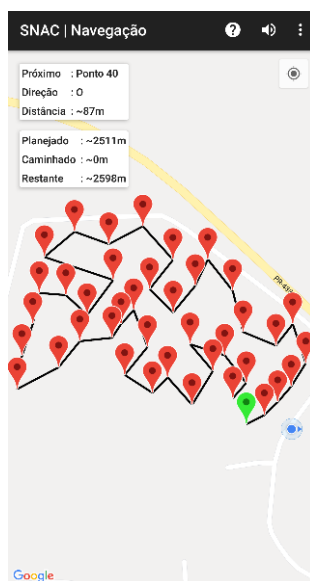


Figura 15 Melhor percurso identificado pelo algoritmo SA com início no ponto 40.

O algoritmo G apresentou soluções interessantes de percurso, com um equilíbrio entre o valor da distância e tempo de execução, devendo ser considerado pelo usuário visto sua simplicidade e possibilidade de seleção do ponto de partida. Isso ao contrário do algoritmo SA, que, por meio da determinação aleatória do ponto de partida, pode apresentar sugestões de início localizados ao centro do talhão, ao invés de um ponto próximo à bordadura. Cabe ao usuário aceitar ou não tal determinação, podendo executar novamente o algoritmo para obtenção de novo percurso. Essa definição deve considerar a localização do usuário ao determinar o percurso, o tipo de atividade que estiver sendo realizada, os equipamentos necessários e o meio de locomoção disponível, dentre outros fatores.

A determinação de rotas em percursos de amostragem poderia considerar a elevação do talhão, promovendo o deslocamento de um local mais alto para outro mais baixo, mas esse é um cálculo subjetivo mediante a escolha do ponto em função da elevação ou distância. São elementos dessa equação, ainda, a disponibilidade de algum meio de locomoção, a existência de cultura em estágio avançado de desenvolvimento – que dificulte o deslocamento, tipo de amostragem realizada e necessidade da utilização de ferramentas para coleta. Ainda, não há como mensurar irregularidades no terreno ou a presença de obstáculos para planejar a rota.

O SNAC consegue, assim, apresentar diferencial consistente frente a seus similares, identificados na literatura: o NITROGEN INDEX (DELGADO, KOWALSKI e TEBBE, 2013) é o único proveniente de base científica, mas apresenta uma particularidade específica de uso e não pode ser usado em atividades gerais de amostragem; o SOIL SAMPLER (FARMIS, 2018) tem necessidade de conexão com a internet, o que pode inviabilizar o seu uso em campo; o GPS FIELDS AREA MEASURE (BUINICKAITÉ, 2017; RANDYTÉ, 2018) sugere a

utilização de uma antena externa para garantir seu funcionamento de maneira precisa, ou seja, não apresenta evidências da consistência de seu funcionamento sem tal acessório; o aplicativo AGRI PRECISION, conforme Carvalho (2017), demonstra uma aplicabilidade e robustez maior em atividades de amostragem, mas não é apresentado em uma base de dados científica, estando disponível na loja de aplicativos, sem maiores especificações. A possibilidade de interação do usuário, seja com a determinação da rota, com base em seu conhecimento, seja na avaliação de qual percurso é mais adequado à atividade planejada, também é um diferencial importante frente aos outros aplicativos existentes no mercado.

5.4 Conclusões

A construção do software SNAC e os testes em campo confirmam sua performance similar a um equipamento GNSS comercial de baixa precisão, atendendo aos requisitos de validação, além de possuir características que não se encontram em outras soluções no mercado. Foi possível observar a sua capacidade de navegação e orientação nas atividades de amostragem em campo.

Com base nos resultados dos ensaios realizados, verificou-se que o dispositivo móvel (E1) apresentou exatidão superior ao dispositivo móvel (0,72 m contra 2,20 m), além de também apresentar precisão superior (0,45 contra 0,97 – baseada no desvio padrão). Essa superioridade pode ser explicada, em parte, pela capacidade multiconstelação desse equipamento, mas novos testes devem ser realizados de maneira a se confirmar a diferença estatística.

Destaca-se, também, a eficiência dos algoritmos G e SA de determinação de rota, os quais apresentam um valor menor de caminhamento quando comparados ao percurso pré-estabelecido pelo especialista. Ressalta-se, ainda, que, considerando o mesmo ponto de partida e com a customização da taxa de resfriamento, o algoritmo SA produz resultados estatisticamente melhores do que o algoritmo G.

5.5 Referências

ARAÚJO, E. C. de; GUIZZO, G.; LAMB, J. R.; MERENCIA, L. J. **Padrões de projeto em aplicações WEB**. Florianópolis-SC: Visual Books, 2013.

AZIZ, N.; OMAR, W.; KASSIM, R.; KAMARUDIN, N. Remote sensing measurement for detection of bagworm infestation in oil palm plantation. **MPOB Information Series (MPOB TT No. 502)**, Malasya, [S.L], [S.V.], p. 1-8, jun, 2012.

BETZEK, Nelson Miguel; SOUZA, Eduardo Godoy de; BAZZI, Claudio Leones; SCHENATTO, Kelyn; GAVIOLI, Alan. Rectification methods for optimization of management zones. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 146, p. 1-11, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2018.01.014>.

BETZEK, Nelson Miguel; SOUZA, Eduardo Godoy de; BAZZI, Claudio Leones; SCHENATTO, Kelyn; GAVIOLI, Alan; MAGALHÃES, Paulo S. Graziano. Computational routines for the automatic selection of the best parameters used by interpolation methods to create thematic maps. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 157, p. 49-62, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2018.12.004>.

BHARDWAJ, S. **Android Operating Systems**. [S. l.: s. n.], 2013.

BLISCHAK, John D.; DAVENPORT, Emily R.; WILSON, Greg. A Quick Introduction to Version Control with Git and GitHub. **Plos Computational Biology**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 1004668-1004686, 19 jan. 2016. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004668>.

BUINICKAITÉ, A. **2,5M farmers are Already Measuring Their Fields for Free**. 2017. Disponível em: <https://blog.farmis.lt/2-5m-farmers-are-already-measuring-their-fields-for-free-4908bc0ee0a0>. Acesso em: 18 ago. 2020.

CAMICIA, R. F. da M. **Seleção De Grades Para Mapeamento De Plantas Espontâneas**. Orientador: Marcio Furlan Maggi. 2014. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná, Cascavel, 2014.

CARVALHO, P. As Apps na agricultura. **Abolsamia**. 2017. Disponível em https://issuu.com/abolsamia/docs/abolsamia_105/98. Acesso em 18 ago. 2020.

CLARK, S.; LEVY, E. **Compared To Specialized Gps Devices, How Good Are Smartphones for Measuring Gps Coordinate Data?** 2013. Disponível em: <https://www.calrecycle.ca.gov/docs/cr/itpapers/smartphonegps.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2020.

COMPANY, Google. **Android Studio Overview | Android Developers**. 2010.

COMPANY, Google. **Google Maps Android API | Google Developers**. 2015.

DEICHMANN, Uwe; GOYAL, Aparajita; MISHRA, Deepak. Will digital technologies transform agriculture in developing countries? **Agricultural Economics**, [S.L.], v. 47, n. 1, p. 21-33, nov. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/agec.12300>.

DELAHAYE, Daniel; CHAIMATANAN, Supatcha; MONGEAU, Marcel. Simulated Annealing: from basics to applications. **Handbook Of Metaheuristics**, [S.L.], p. 1-35, 21 set. 2018. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-91086-4_1.

DELGADO, Jorge A.; KOWALSKI, Kevin; TEBBE, Caleb. The first Nitrogen Index app for mobile devices: using portable technology for smart agricultural management. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 91, p. 121-123, fev. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2012.12.008>.

DEVELOPERS, Google. **Google Maps Android API | Google Developers**. 2015. Google Developers.

ABBOUS, Abdellah El. GPS signal accuracy and coverage analysis platform: application to trimble juno sb receiver. **International Journal Of Information And Network Security (Ijins)**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 127-139, 16 jun. 2012. Institute of Advanced Engineering and Science. <http://dx.doi.org/10.11591/ijins.v1i2.532>.

EREN, Yavuz; KÜÇÜKDEMIRAL, İbrahim B.; ÜSTOĞLU, İlker. Introduction to Optimization. **Optimization In Renewable Energy Systems**, [S.L.], p. 27-74, 2017. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-08-101041-9.00002-8>.

FARMIS. **Soil Sampler** (Version 1.0.10-2018). 2018.

FAUZI, M. F.; IDRIS, N. H.; YAHYA, M. H.; DIN, A. H.M.; IDRIS, N. H.; LAU, A. M.S.; ISHAK, M. H.L. Tropical forest tree positioning accuracy: A comparison of low cost GNSS-enabled devices. **International Journal of Geoinformatics**, [S.L.] v. 12, n. 2, p. 59-66, dez, 2016.

FINGER, Robert; SWINTON, Scott M.; BENNI, Nadja El; WALTER, Achim. Precision Farming at the Nexus of Agricultural Production and the Environment. **Annual Review Of Resource Economics**, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 313-335, 5 out. 2019. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093929>.

GENG, Xiutang; CHEN, Zhihua; YANG, Wei; SHI, Deqian; ZHAO, Kai. Solving the traveling salesman problem based on an adaptive simulated annealing algorithm with greedy search. **Applied Soft Computing**, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 3680-3689, jun. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2011.01.039>.

GOSLING, J.; JOY, B.; STEELE, G.; BRACHA, G.; BUCKLEY, A. The Java ® Language Specification. Java SE 8 Edition. **Addison-Wesley**, 1ed, 792p, mai, 2014.

GUEDES, Luciana P.C; URIBE-OPAZO, Miguel A.; RIBEIRO JUNIOR, Paulo J. OPTIMIZATION OF SAMPLE DESIGN SIZES AND SHAPES FOR REGIONALIZED VARIABLES USING SIMULATED ANNEALING. **Ciencia e Investigación Agraria**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 7-8, abr. 2014. Pontificia Universidad Catolica de Chile. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-16202014000100004>.

GUO, Yan; SHI, Zhou; HUANG, Jingyi; ZHOU, Lianqing; ZHOU, Yin; WANG, Laigang. Characterization of field scale soil variability using remotely and proximally sensed data and response surface method. **Stochastic Environmental Research And Risk Assessment**, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 859-869, 7 ago. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-015-1135-0>.

CAMELO, Pedro Henrique Cardoso; CARVALHO, Rafael Lima de. Multilayer Perceptron optimization through Simulated Annealing and Fast Simulated Annealing. **Academic Journal On Computing, Engineering And Applied Mathematics**, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 28-31, 10 jun. 2020. Universidade Federal do Tocantins. <http://dx.doi.org/10.20873/uft.2675-3588.2020.v1n2.p28-31>.

JACOBSON, L. Simulated Annealing for beginners. 2013. **The project spot**. Disponível em: <http://www.theprojectspot.com/tutorial-post/simulated-annealing-algorithm-for-beginners/6>. Acesso em: 12 nov. 2019.

KARABULUT, Korhan; TASGETIREN, M. Fatih. A variable iterated greedy algorithm for the traveling salesman problem with time windows. **Information Sciences**, [S.L.], v. 279, p. 383-395, set. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ins.2014.03.127>.

KERRY, R.; OLIVER, M. A.; FROGBROOK, Z. L.. Sampling in Precision Agriculture. **Geostatistical Applications For Precision Agriculture**, [S.L.], p. 35-63, 2010. Springer Netherlands. http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-9133-8_2.

KESKIN, Muharrem; SEKERLI, Yunus Emre; KAHRAMAN, Suleyman. Performance of two low-cost GPS receivers for ground speed measurement under varying speed conditions. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 264-277, 27 abr. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-016-9453-x>.

KLIMASZEWSKI-PATTERSON, A. Smartphones in the field: preliminary study comparing GPS capabilities between a smartphone and dedicated GPS device. **Pap. Appl. Geogr. Conf.**, Las Cruces, v. 33, n., p. 270-279, jan, 2010.

KOSTIć, Marko M.; RAKIć, Dušan Z.; SAVIN, Lazar Đ.; DEDOVIć, Nebojša M.; SIMIKIć, Mirko Đ.. Application of an original soil tillage resistance sensor in spatial prediction of selected soil properties. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 127, p. 615-624, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.027>.

N. Lacey, "SQLite," in Python by Example: Learning to Program in 150 Challenges, Cambridge: **Cambridge University Press**, 2019, pp. 134–146. <https://doi.org/10.1017/9781108591942.021>.

LAWRENCE, Patrick G.; ROPER, Wayne; MORRIS, Thomas F.; GUILLARD, Karl. Guiding soil sampling strategies using classical and spatial statistics: a review. **Agronomy Journal**, [S.L.], v. 112, n. 1, p. 493-510, jan. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/agj2.20048>.

MENDES, Jorge; PINHO, Tatiana M.; SANTOS, Filipe Neves dos; SOUSA, Joaquim J.; PERES, Emanuel; BOAVENTURA-CUNHA, José; CUNHA, Mário; MORAIS, Raul. Smartphone Applications Targeting Precision Agriculture Practices—A Systematic Review. **Agronomy**, [S.L.], v. 10, n. 6, p. 855-899, 16 jun. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy10060855>.

MERRY, Krista; BETTINGER, Pete. Smartphone GPS accuracy study in an urban environment. **Plos One**, [S.L.], v. 14, n. 7, p. 0219890-021908, 18 jul. 2019. Public Library of Science (PLoS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0219890>.

MICHELS, Marius; FECKE, Wilm; FEIL, Jan-Henning; MUSSHOF, Oliver; PIGISCH, Johanna; KRONE, Saskia. Smartphone adoption and use in agriculture: empirical evidence from germany. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 21, n. 2, p. 403-425, 11 jun. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-019-09675-5>.

MOLIN, José Paulo; TAVARES, Tiago Rodrigues. Sensor Systems For Mapping Soil Fertility Attributes: challenges, advances, and perspectives in brazilian tropical soils. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 39, n. , p. 126-147, set. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39nep126-147/2019>.

MULLA, David J.. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, [S.L.], v. 114, n. 4, p. 358-371, abr. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>.

PONGNUMKUL, Suporn; CHAOVALIT, Pimwadee; SURASVADI, Navaporn. Applications of Smartphone-Based Sensors in Agriculture: a systematic review of research. **Journal Of Sensors**, [S.L.], v. 2015, p. 1-18, 2015. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/195308>.

PRAJAPATI, P. The Travelling Salesman Problem (Tsp) A Case Study. **Gap interdisciplinarity**. Ahmedabad, v. 875, p. 80-83, mai, 2020.

RANDYTÉ, A. **Why Measuring And Tracking The Field Is So Important?** 2018. Disponível em: <https://blog.farmis.lt/why-measuring-and-tracking-the-field-is-so-important-4b949bca2acb>. Acesso em: 18 ago. 2020.

ROCHA, A.; DORINI, L. B. **Algoritmos gulosos: definições e aplicações**. Campinas: [S.ED], 2004.

RODRIGUES, Merhy Heli Paiva; MACHADO, Catia Maria dos Santos; LIMA, Milton Luiz Paiva de. Simulated annealing aplicado ao problema de alocação de berços. **Journal Of Transport Literature**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 117-136, jul. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s2238-10312013000300006>.

RUDOLPH, Sebastian; MARCHANT, Ben Paul; WEIHERMÜLLER, Lutz; VEREECKEN, Harry. Assessment of the position accuracy of a single-frequency GPS receiver designed for electromagnetic induction surveys. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 19-39, 7 maio 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-018-9578-1>.

SCHENATTO, K. **Utilização de métodos de interpolação e agrupamento para definição de unidades de manejo em agricultura de precisão**. Orientador: Eduardo Godoy de Souza. 2014. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná, Cascavel, 2014.

SCHENATTO, Kelyn; SOUZA, Eduardo Godoy de; BAZZI, Claudio Leones; BETZEK, Nelson Miguel; GAVIOLI, Alan; BENEDUZZI, Humberto Martins. Use of the farmer's experience variable in the generation of management zones. **Semina: Ciências Agrárias**, [S.L.], v. 38, n. 41, p. 2305-2323, 25 ago. 2017. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n4supl1p2305>.

SCHIRRMANN, Michael; HERBST, Ruprecht; WAGNER, Peter; GEBBERS, Robin. Area-to-Point Kriging of Soil Phosphorus Composite Samples. **Communications In Soil Science And Plant Analysis**, [S.L.], v. 43, n. 7, p. 1024-1041, abr. 2012. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2012.656166>.

SILVA, Thales M. de A.; MAYRINK, Grégory de O.; VALENTE, Domingos S. M.; QUEIROZ, Daniel M.. Integration Of A Low-Cost Global Navigation Satellite System To A Single-Board Computer Using Kalman Filtering. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 39, n. 3, p. 323-330, jun. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n3p323-330/2019>.

THOMPSON, Nathanael M.; BIR, Courtney; WIDMAR, David A.; MINTERT, James R.. Farmer Perceptions Of Precision Agriculture Technology Benefits. **Journal Of Agricultural And Applied Economics**, [S.L.], v. 51, n. 1, p. 142-163, 2 out. 2018. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/aae.2018.27>.

6 ARTIGO 2 – SNAC: SOFTWARE PARA NAVEGAÇÃO EM ATIVIDADES DE COLETA EM CAMPO: VALIDAÇÃO DA EXATIDÃO E PRECISÃO DE DISPOSITIVOS MÓVEIS

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 a coleta. Esses 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, que utiliza 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: GNSS, Android, RTK R4

Abstract: Knowledge of spatial variability and localized treatment are two essential elements within Precision Agriculture. Sampling and collected data evaluation can provide this knowledge. The collection and evaluation mode is conditioned to the attribute or property under study and sometimes, since they are stable attributes, high precision equipment is not required for collection. These devices also have a high cost when compared to low-precision GNSS equipment, such as cell phones. This work evaluates two mobile devices, a cell phone, and a tablet, through the navigation and location of the points with the SNAC system (Software for navigation in field activities in Portuguese acronym), using a RTK station to evaluate its accuracy and precision. The data were presented in scatter plots and evaluated by statistical techniques that allow the evaluation of averages related to the collected data. In the location of the points, the equipment had an average accuracy close to 1 m, making it possible to be used in agricultural activities which required accuracy that does not exceed this value. The results also suggest that the accuracy is superior when the tests are carried out in the morning.

Keywords: GNSS, Android, RTK R4

6.1 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, os quais 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, esse último valor é adequado à precisão e superior aos marcadores de linha convencionais, como 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 multiconstelação 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 evidenciam 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. Para o autor, ainda, se o atributo em estudo não apresenta exatidão como fator crítico, não é necessário utilizar um receptor GNSS mais preciso. Por 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 constataram 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). Esse 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 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 tem ganhado, gradativamente, 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 contar a presença de uma variedade de sensores. A principal finalidade desses aparelhos, ainda, é voltada para atividades de gerenciamento.

O desenvolvimento de aplicativos, voltados à 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 que não sejam críticas, abre-se um universo de possibilidades com a utilização desses equipamentos. Ademais, essa 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. Essa confirmação pode, ainda, impulsionar a utilização de aplicativos voltados a atividades de amostragem, como o SNAC, descrito no capítulo anterior.

O objetivo deste trabalho é avaliar a exatidão e precisão de dispositivos móveis em condições similares às reais de operação agrícola, utilizando o SNAC² como sistema de navegação e uma estação RTK como referência. O conhecimento desses valores pode determinar a utilização de smartphones ou tablets em atividades de geolocalização – dentro da AP.

6.2 Material e métodos

Esta seção descreve todos os artefatos utilizados no planejamento, execução e análise dos dados provenientes dos ensaios em campo.

O software de navegação, utilizado pelos dispositivos móveis, durante o caminhamento, foi o SNAC. Todas as distâncias, consideradas no experimento, foram obtidas em seu painel de navegação, o qual obtém todos os dados do sensor GNSS que equipa o dispositivo móvel.

Para alcançar os objetivos propostos, foi necessária a determinação de uma área amostral com condições similares a uma área agrícola, definição dos equipamentos para georreferenciamento e realização dos ensaios. Com esses elementos definidos, foi feito o planejamento da missão e georreferenciamento dos piquetes. Com as coordenadas dos

² Sistema de Navegação em Atividades de Campo – descrito no capítulo anterior.

piquetes, foi gerado o arquivo de coordenadas, utilizado pelo SNAC para, então, haver a realização dos ensaios de caminhamento e obtenção dos dados de precisão e exatidão.

6.2.1 Caracterização do local de ensaio e equipamentos utilizados

As medições foram realizadas em propriedade particular, localizada sob as coordenadas médias $25^{\circ}18'58.4''S$ $54^{\circ}03'35.8''W$, correspondentes a uma propriedade coberta com grama, sem árvores ou construções próximas aos pontos amostrais, conforme apresenta a Figura 16; tais condições são 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 são espaçados entre si por distâncias de aproximadamente 10 m.



Figura 16 Imagem do GoogleEarth com destaque à região em que o experimento foi conduzido, identificado por preenchimento em tom de amarelo.

Os ensaios principais foram conduzidos, utilizando-se 2 dispositivos móveis para caminhamento e validação da exatidão e precisão, sendo um aparelho smartphone e um tablet (Tabela 8), para que a análise dos resultados pudesse ser feita sem vínculo/vício a um único equipamento. A escolha foi aleatória, sendo apenas selecionados dispositivos com a plataforma Android, visto que o SNAC é executado somente em aparelhos com esse sistema operacional.

Tabela 8 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. Esse 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 multiconstelação e Android 10. Esse equipamento foi escolhido por ser considerado um aparelho recente no mercado, o qual apresenta 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 durante a utilização de um equipamento GPS e interfere diretamente na precisão, conforme descreve Langley (1999), sendo o PDOP (diluição de precisão da posição) o parâmetro que descreve o erro posicional. A partir desse entendimento e, conhecidas as órbitas dos satélites, o planejamento da missão experimental é feito previamente para evitar momentos do dia em que o erro posicional seja elevado (JOHNSON e BARTON, 2004).

O planejamento da missão foi feito utilizando dados da NavCom Technology, Inc, organização do grupo John Deere, por meio de website³ da companhia. Esses valores representam uma previsão com base no conhecimento das órbitas dos satélites, no entanto, seus valores podem apresentar variação no momento de observação, em função de outros elementos não considerados no website, tais como interferências atmosféricas, climáticas ou mesmo alterações de vegetação e relevo.

Ainda que seja um dos parâmetros mais considerados no planejamento de um experimento, com a ascensão dos equipamentos multiconstelação, há acesso a um número muito maior de satélites, o que pode contribuir para uma redução em seu valor, mas investigações ainda devem ser realizadas no sentido de se estabelecer a real relação entre esses elementos (WANG e HUANG, 2015). Com um número maior de satélites à disposição, Jyothirmaye, Srinivas e Ramu (2019) destacam a importância do desenvolvimento de algoritmos que selecionem rapidamente satélites conforme o DOP apresentado.

³ Disponível em <https://satpredictor2.deere.com/homePost>

A Figura 17 ilustra uma situação de funcionamento dos equipamentos E1 e E2 ao lado do receptor Trimble Juno 3B, em ambiente fechado. Foi utilizado o aplicativo GPSTest⁴ para obtenção dos dados do sensor GPS. À esquerda, o equipamento E1 faz uso de 2 constelações e 15 satélites disponíveis, com um PDOP de 1,6. Ao centro, o equipamento E2 faz uso de 4 constelações diferentes, com 23 satélites disponíveis e PDOP 1,2. Já o receptor Juno, faz uso apenas da constelação GPS e 6 satélites em uso, com PDOP 2,16.

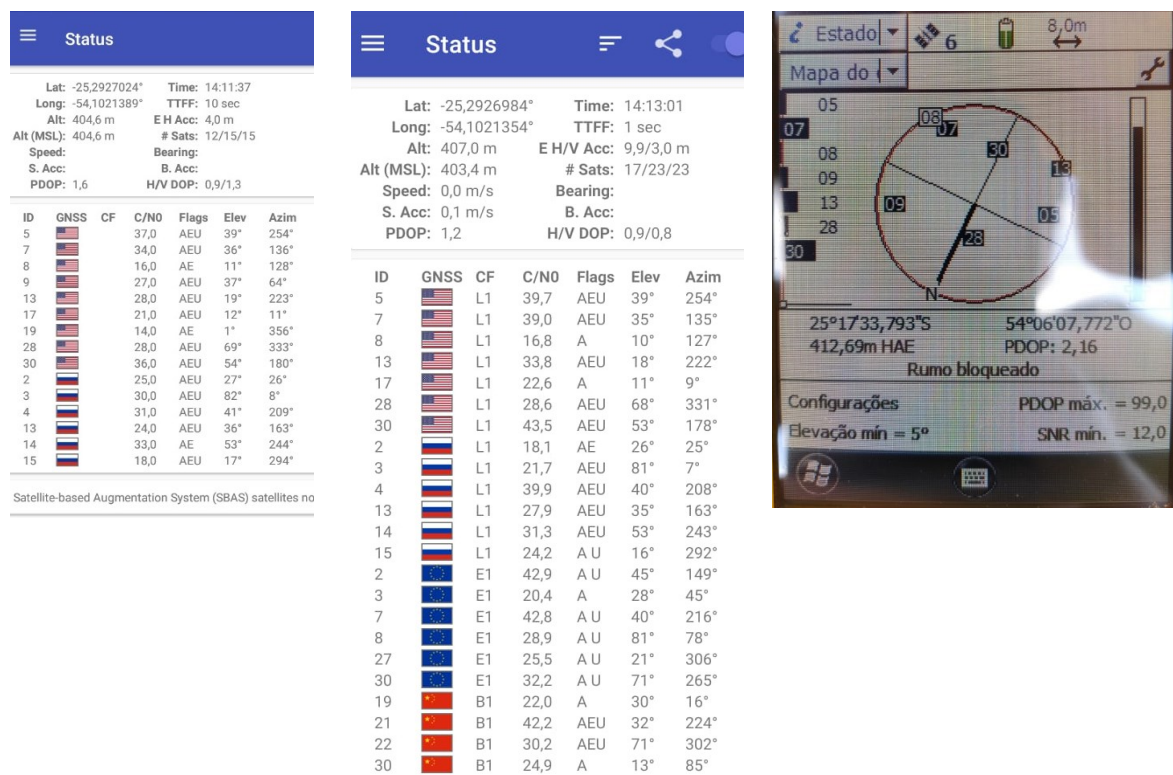


Figura 17 Visibilidade do número de satélites e valores do PDOP, pelos equipamentos E1, E2 e receptor Juno, quando posicionados lado a lado em ambiente fechado.

Para monitoramento das condições climáticas (temperatura, umidade e velocidade do vento), foram utilizados um termo-higrômetro e um anemômetro digitais (Tabela 9).

Tabela 9 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 +- 4 % escala completa |
| Termo higrômetro | Herbicat | SH-122 | -50 a 70 °C com precisão +- 1 °C | 20 a 90% RH com precisão +- 5% | - |

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

⁴ App disponibilizado gratuitamente na loja de aplicativos PlayStore. Produzido pela barbeauDev.

o equipamento E2. Assim, foi possível determinar a condição média em cada uma dessas atividades.

O percentual de cobertura de nuvens foi registrado com base nos valores previstos no serviço Windy, o qual é mantido de maneira colaborativa com um site⁵ 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. Disponibiliza dois modelos de previsão climática globais, ECMWF e GFS, e 6 modelos locais: NEMS, ICON-EU, NAM CONUS, NAM ALASKA, NAM HAWAII e AROME (WINDY COMMUNITY, 2018; ENVIRONMENTAL MODELING CENTER (EMC), 2020).

O georreferenciamento das coordenadas utilizadas no trabalho foi feito por empresa especializada, por meio do 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 18).



Figura 18 Montagem do sistema GNSS Trimble RTK R4.

Essa estação foi utilizada para avaliar a exatidão e precisão dos dispositivos móveis, sendo montada em marco geodésico determinado, o qual segue normas técnicas do INCRA e em observância à Lei 10267/2001 e suas alterações.

Foram utilizados um notebook e um computador PC, dotados do sistema operacional Windows e suíte de aplicativos Office, para processamento dos dados obtidos em campo.

Para geração dos mapas com apresentação da área experimental e das coordenadas ensaiadas, foi utilizado o software QGis 3.14, com o plugin QuickMapServices.

⁵ Disponível em <https://www.windy.com/>

Ambos são licenciados pela GNU GENERAL PUBLIC LICENSE⁶. Os testes estatísticos foram efetuados no software Minitab.

6.2.2 Planejamento da missão

Como apontado na literatura, são diversos os elementos que podem interferir na precisão de um equipamento GNSS. Logo, procurou-se efetuar o planejamento das missões em condições diferenciadas de observação e possíveis de execução, pois o georreferenciamento foi feito com equipe terceirizada. Outro fator limitante foi em função das restrições de circulação impostas pela pandemia provocada pelo novo Coronavírus (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2020).

O planejamento das tarefas foi realizado, ainda, considerando o tempo necessário para a execução e montagem dos equipamentos. Não era interessante/viável a montagem do equipamento de medição, para execução de uma tarefa rápida. Nesse sentido, a demarcação dos piquetes, por exemplo, foi realizada junto com um ensaio dos equipamentos.

Como a maioria dos equipamentos faz uso de mais de uma constelação GNSS, foi praticamente impossível realizar o planejamento com um PDOP inadequado durante um longo período. Os gráficos, na sequência (Figuras 19 a 22), demonstram essa situação; quando considerada somente a constelação GPS, até é possível obter valores marginais, mas, quando adicionada a constelação GLONASS, há uma melhora no valor desse parâmetro, provavelmente, em função do aumento de visibilidade de satélites. Tais valores foram obtidos para a área experimental com uma máscara de elevação de 15° e fuso horário BRT GMT-3:00, no site Satellite Predictor, da NavCom Technology,

Foram selecionadas datas em que se pudesse observar variações no PDOP, com diferentes condições climáticas: vento, nuvens e temperatura. Optou-se pela realização em 4 datas distintas e aleatórias, mas que atendessem aos interessados, verificando, assim, se os dispositivos móveis mantinham a precisão com a mudança de órbita dos satélites, além das alterações climáticas. A primeira data selecionada foi 02 de julho de 2020, com previsão de alta nebulosidade, baixas temperaturas, pequenas rajadas de vento. Já a segunda data selecionada, foi 10 de julho, com previsão de ausência de nebulosidade, vento constante e temperaturas mais elevadas. Ambos os procedimentos foram realizados no período vespertino, a partir das 14 h. A terceira data selecionada foi 22 de julho de 2020, no período matutino, com previsão de baixa nebulosidade e temperatura em elevação. A quarta data selecionada foi 29 de julho, com previsão de ausência de nuvens e temperaturas baixas. Para facilitar a referência a essas datas, são referenciadas como Ensaio 01, Ensaio 02, Ensaio 03 e Ensaio 04, respectivamente.

⁶ Disponível em <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>.

Os valores previstos para o PDOP e número de satélites disponíveis na data de execução do Ensaio 01 são apresentados na Figura 19. Os valores obtidos no site Satellite Predictor foram tabulados e organizados em um único gráfico em que se pode visualizar um número maior de informações. Foram utilizados dois eixos verticais para a representação do número de satélites (eixo da direita e em vermelho) e do valor do PDOP (eixo da esquerda e em verde). Foram utilizados dois tipos de linha para representação das constelações em observação, sendo os valores da constelação GPS plotados em linha sólida, enquanto os valores das constelações GPS e GLONASS – simultâneas – são plotados em linha pontilhada.

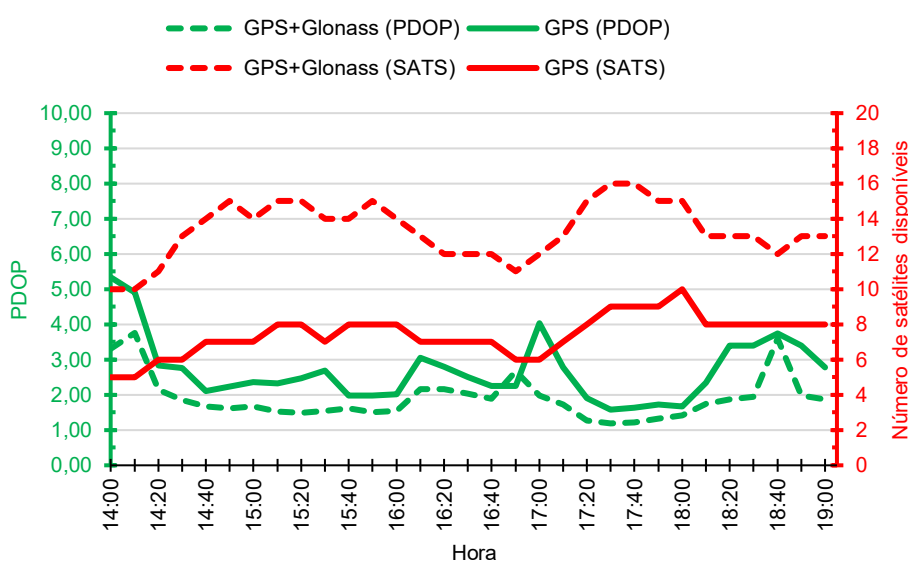


Figura 19 Número de satélites disponíveis e valores de PDOP previstos para 02/07/2020, data de realização do Ensaio 01.

Fonte: Adaptado de NAVCOM (2020)

Observa-se, na Figura 19, que um equipamento multiconstelação apresenta uma visibilidade maior de satélites, quando analisadas as linhas em vermelho. Outra vantagem da multiconstelação está em menores valores de PDOP, vide o comportamento das linhas em verde. O aumento do PDOP, à medida em que se tem um número menor de sensores visíveis, pode ser verificado analisando as linhas pontilhadas: à medida em que aumenta o número de satélites, o valor do PDOP diminui, como no período das 14 às 15 h. O aumento na visibilidade do número de satélites disponíveis é um dos elementos que pode interferir no PDOP, mas não pode ser considerado o único. Os valores, apresentados na Figura 19, mostram-se adequados para a execução do experimento, apresentando uma média de 13 satélites disponíveis e PDOP de 1,92.

Os valores previstos para a data de realização do Ensaio 02 são apresentados na Figura 20. Assim como na data relativa ao Ensaio 01, aqui, novamente, os valores para equipamentos multiconstelação são superiores, com visibilidade maior de satélites (14 versus 8) e menor PDOP (1,77 versus 2,51). O comportamento dos valores representados pelas

linhas pontilhadas (constelação GPS+Glonass), novamente, sugere uma relação muito forte entre o valor do PDOP e visibilidade de satélites, vide período das 15 às 16 h, aproximadamente, quando o primeiro aumenta enquanto o segundo diminui; ou, então, das 16:20 às 17:20 h, com relação inversa. Os valores previstos mostram-se adequados à execução do Ensaio 02.

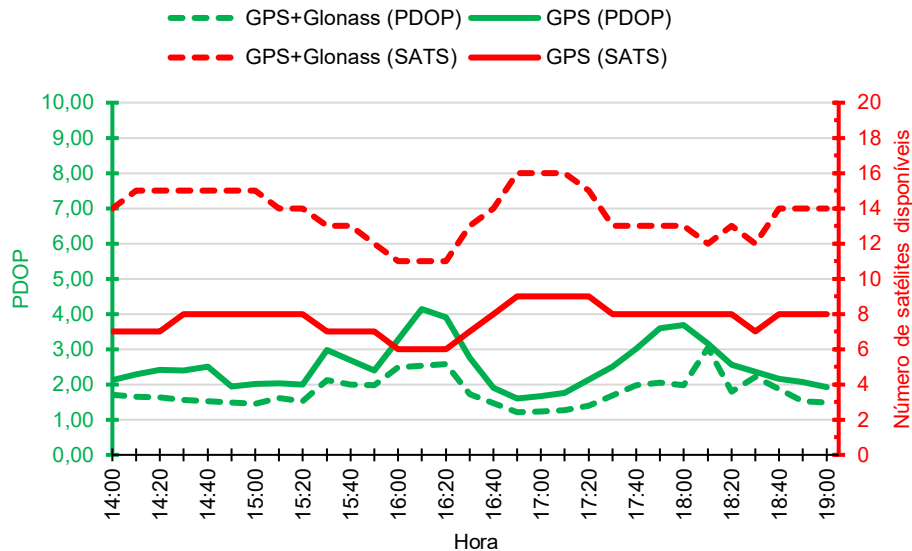


Figura 20 Número de satélites disponíveis e valores de PDOP previstos para 10/07/2020, data de realização do Ensaio 02.

Fonte: Adaptado de NAVCOM (2020)

O Ensaio 03 foi planejado em período matutino, diferentemente dos anteriores. Ainda assim, as relações, observadas nas previsões para os Ensaios 01 e 02, são mantidas aqui (Figura 21). Em média, 12 satélites estarão visíveis, com um PDOP médio previsto de 1,78.

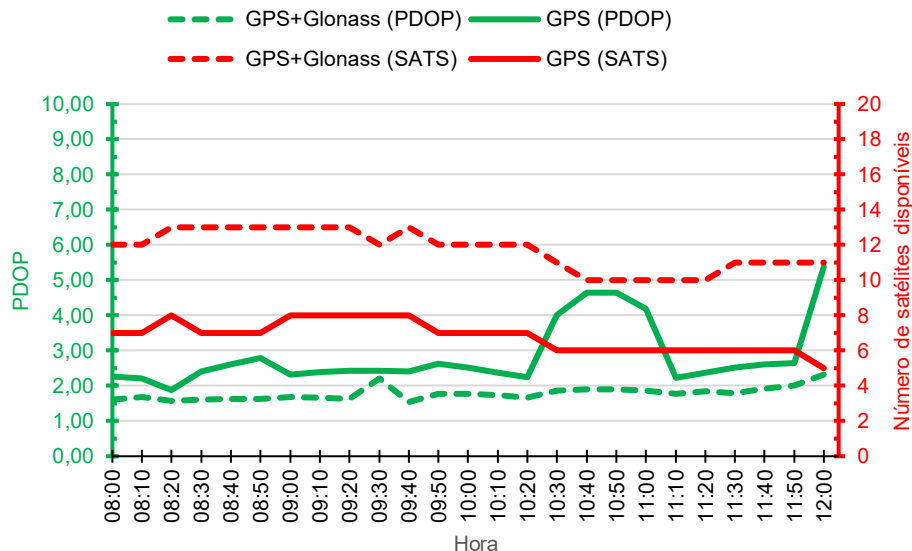


Figura 21 Número de satélites disponíveis e valores de PDOP previstos para 22/07/2020, data de realização do Ensaio 03.

Fonte: Adaptado de NAVCOM (2020)

Quando se afirma que a visibilidade de satélites é um fator que interfere no PDOP, mas não o único, há o exemplo da curva para a constelação GPS, na Figura 21, para o período das 10:20 às 11:10 h, aproximadamente. Enquanto o valor do PDOP apresenta uma curva de elevação e posterior declínio, não há alteração no número de satélites. Para o Ensaio 04, o comportamento dos valores observados foi mais próximo ao ensaio 03, com valores médios de 12 satélites e 1,83 de PDOP (Figura 22).

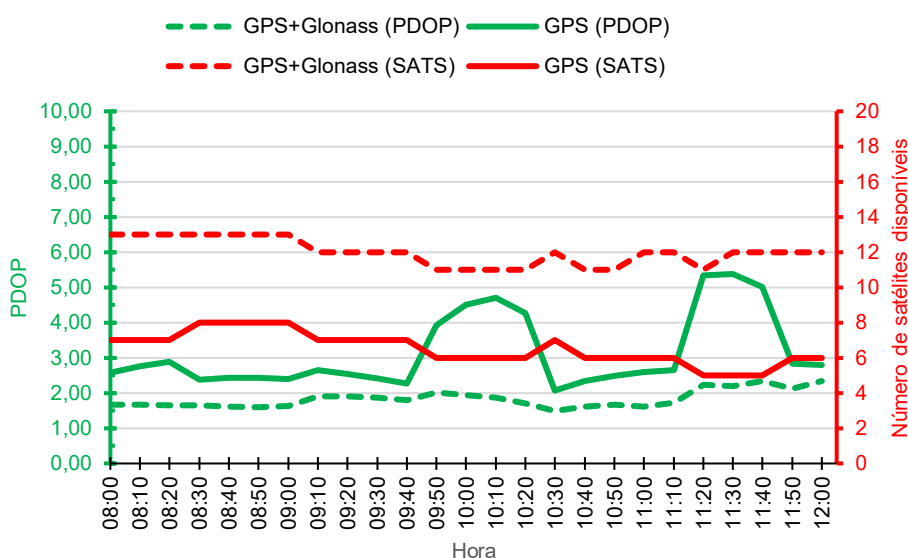


Figura 22 Número de satélites disponíveis e valores de PDOP previstos para 29/07/2020, data de realização do Ensaio 04.

Fonte: Adaptado de NAVCOM (2020)

6.2.3 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. Desse 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 exibida a distância até o ponto de destino e, à 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 arredondado para exibição. Logo, uma distância de 0,6 m é arredondada para 1 m, por exemplo. Observaram-se, em algumas situações, dificuldades na localização do ponto, de maneira a se obter o valor de 0 na interface; nesses casos, a demarcação das posições foi feita com 1 m.

6.2.4 Determinação das posições iniciais e geração do arquivo de coordenadas

Foram georreferenciados 20 piquetes fixos com o equipamento geodésico, com precisão centimétrica, conforme pode ser observado na Figura 23. 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%.



Figura 23 Momento em que o piquete era georreferenciado utilizando-se o equipamento de alta precisão.

Cada piquete foi devidamente identificado por meio de uma fita adesiva branca em sua base e com uma etiqueta contendo o seu número. Esse procedimento facilitou a inspeção visual de quais piquetes faziam parte do ensaio de maneira rápida e simplificada (Figura 24).



Figura 24 Método de identificação do piquete com fita adesiva branca na base e etiqueta com o identificador.

O mapa com a disposição e localização de cada um dos piquetes pode ser observado na Figura 25, sendo cada um identificado pela letra P e um identificador numérico. A estação GPS foi montada próxima ao piquete 01 e é identificada pelo ponto “base”.

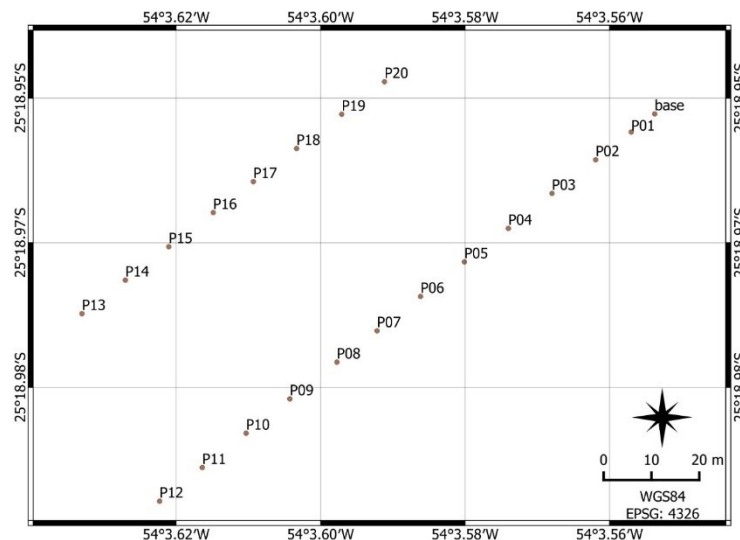


Figura 25 Mapa com a localização da estação GPS e dos 20 piquetes.

Completados os 20 pontos, as coordenadas foram exportadas e ajustadas em um notebook para o formato requerido pelo SNAC. Esse processo foi feito utilizando um editor de texto e observando o formato XML requerido. Nesse formato, é necessário apenas informar o nome do ponto, sua latitude e longitude, no formato decimal. O arquivo foi criado manualmente e é composto por vários “nós” XML, em que cada um representa uma coordenada (Figura 26).

```

1 <?xml version="1.0"?>
2 <records>
3   <point>
4     <lat>-25.315870288</lat>
5     <long>-54.059354844</long>
6     <name>1</name>
7   </point>

```

Figura 26 Exemplo de nó XML do arquivo criado para alimentação do SNAC.

Outro requisito atendido pelo SNAC é observado nesse momento: nenhum software ou formato proprietário é necessário. Em equipamentos de navegação comerciais, normalmente, as próprias empresas, que fornecem o hardware, disponibilizam uma única licença de software que faça isso.

6.2.5 Primeiro ensaio de caminhamento com os dispositivos móveis

Foi, então, iniciada a navegação com o primeiro equipamento (E1), sendo realizado o caminhamento até o primeiro piquete (P1). Ao chegar à posição dada como correta pelo equipamento (E1), como sendo o piquete (P1), é feita a medição com o GPS geodésico, verificando a coordenada real, em leitura efetuada por aproximadamente 30 segundos. Essa 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. A Figura 27 ilustra o momento em que o equipamento E1 acusava a posição como correta, mas é possível observar que essa posição não correspondia ao piquete.



Figura 27 Simulação do momento de registro da coordenada identificada como correta pelo equipamento E1.

Concluído o primeiro ponto (P1), foi iniciado o deslocamento até o segundo ponto (P2), sendo repetido o procedimento descrito para o ponto anterior. Concluído isso, 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.

As leituras com o equipamento E1 foram feitas com bastante nebulosidade, temperatura em declínio e aumento da umidade relativa do ar, como pode ser observado nos dados registrados e apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 Condições climáticas observadas durante o caminhamento com o equipamento E1 no Ensaio 01.

| | 1ª leitura | 2ª leitura | 3ª leitura | Média |
|-------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Temperatura | 18,8 °C | 14,8 °C | 12,0 °C | 15,2 °C |
| Umidade | 58% | 72% | 84% | 71,3% |
| Ventos | 0 – 4,4 km h ⁻¹ | 0 – 5,8 km h ⁻¹ | 0 – 5,8 km h ⁻¹ | 0 – 5,3 km h ⁻¹ |
| Nuvens | 90% | 72% | 30% | 64% |

Conforme monitoramento da estação RTK, o equipamento E1 foi experimentado em 4 repetições (total de 80 leituras) com 11 ou mais satélites visíveis e PDOP entre 1 e 2 (Figura 28). Durante a execução, foram visualizados 14 satélites.

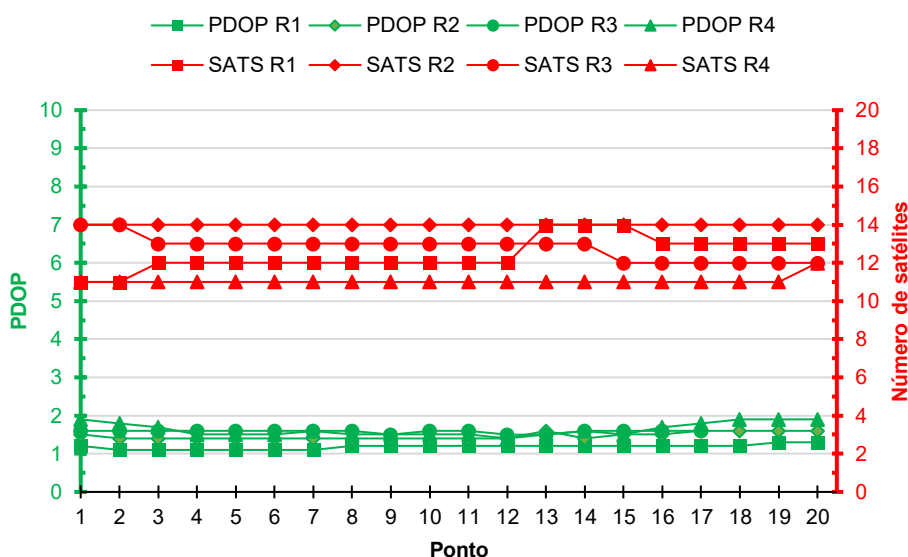


Figura 28 Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 01 com o equipamento E1.

São utilizados, como referência, os valores provenientes da estação RTK, obtidos no momento de aquisição do ponto, para garantir que os valores da distância em relação ao piquete fossem obtidos em condições ideais de monitoramento. Os valores de PDOP e visibilidade de satélites de cada equipamento (E1 ou E2) não foram mensurados mediante a dificuldade de operacionalização e utilização de diferentes aplicativos, considerando que, atualmente, o SNAC não efetua o registro dessas informações. Observou-se que essa é uma informação pertinente a ser registrada futuramente, em novas versões do sistema de coleta.

Iniciou-se, então, o mesmo procedimento para o equipamento E2, até a leitura das 80 posições. As leituras com o equipamento E2 foram feitas com menos nebulosidade que o equipamento E1. A temperatura estava em declínio, com umidade alta, podendo-se perceber

a formação de orvalho na grama. A velocidade do vento, em média, foi inferior às condições observadas anteriormente, sendo que a segunda leitura não registrou qualquer movimentação (Tabela 11).

Tabela 11 Condições climáticas observadas durante o caminhamento com o equipamento E2 no Ensaio 01.

| | 1ª leitura | 2ª leitura | 3ª leitura | Média |
|-------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| Temperatura | 12,0 °C | 8,1 °C | 8,0 °C | 9,3 °C |
| Umidade | 84% | 100% | 100% | 94,6% |
| Ventos | 0 – 5,8 km h ⁻¹ | 0 km h ⁻¹ | 0 – 3,3 km h ⁻¹ | 0 – 3,0 km h ⁻¹ |
| Nuvens | 30% | 30% | 24% | 28% |

Para esse caminhamento, praticamente, mantiveram-se as condições descritas, com mínimo de 11 satélites e PDOP entre 1 e 2 (Figura 29). Difere-se, apenas, a visualização de 16 satélites, durante alguns períodos, enquanto o outro apresentava teto de 14.

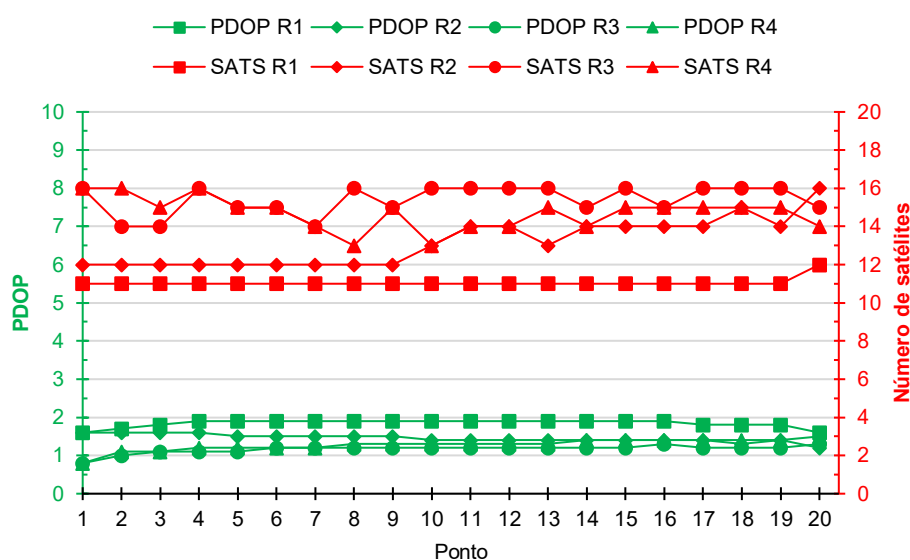


Figura 29 Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 01 com o equipamento E2.

A Figura 30 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 à 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 se chegou exatamente à coordenada proposta. Reforça-se, novamente, que esse 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.

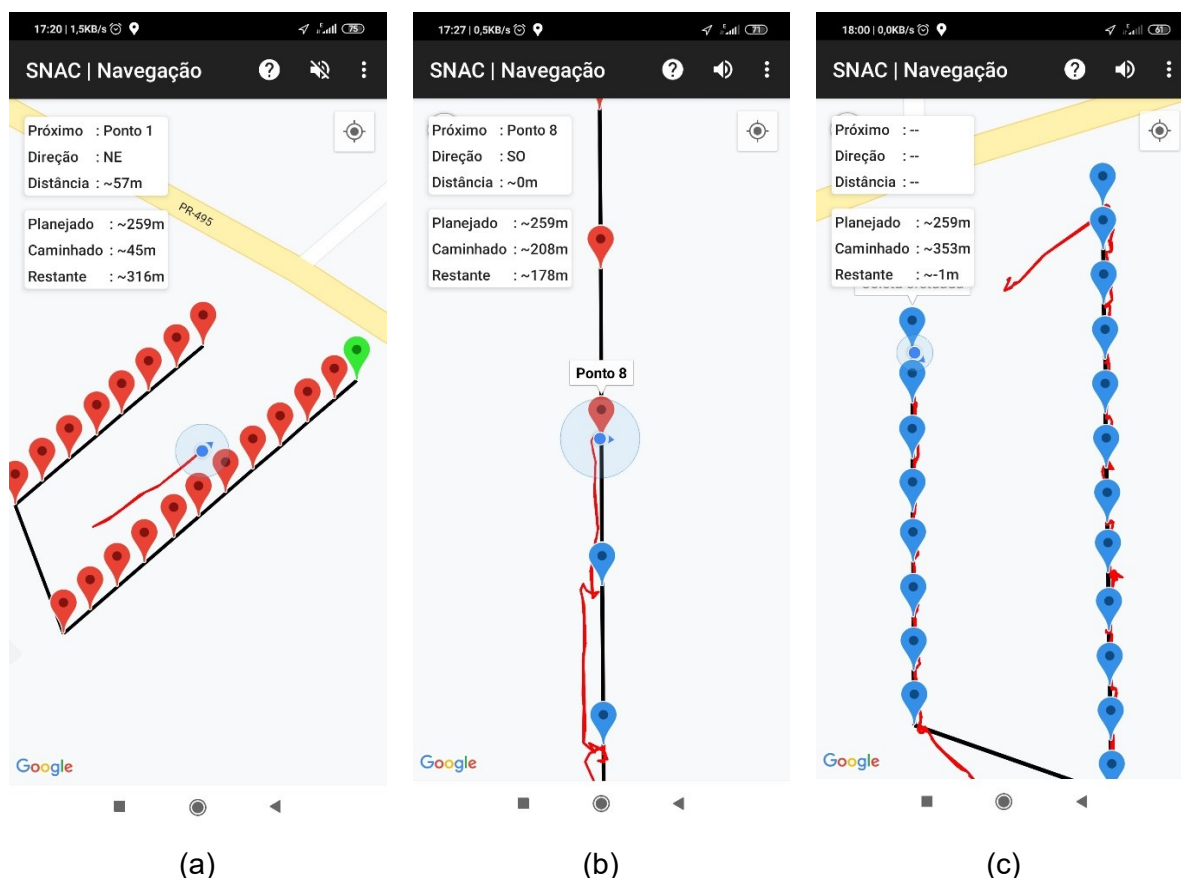


Figura 30 Capturas de tela da execução do SNAC no equipamento E2, em uma das repetições, sendo (a) início da navegação, (b) chegada no ponto determinado e (c) conclusão de uma repetição.

Optou-se pela exibição de imagens do equipamento E2, visto que apresenta uma tela com tamanho inferior ao equipamento E1. Telas maiores apresentam informações mais dispersas e, ao efetuar a captura de tela, com conseqüente redimensionamento da imagem, perde-se visibilidade dos textos. Entretanto, o comportamento do software, no equipamento E2, foi similar ao equipamento E1.

6.2.6 Segundo ensaio de caminhada com os dispositivos móveis

O Ensaio 02 foi realizado no dia 10 de julho, conforme planejamento. Foram realizadas 4 repetições para cada equipamento, E1 e E2, seguindo o mesmo procedimento metodológico do Ensaio 01.

O equipamento E1 foi experimentado em temperatura 5°C superior, aproximadamente (20,8°C). As condições de umidade foram próximas (68%), mas o vento foi observado com maior intensidade, com rajadas mínimas de 10,1 até 24,5 km h-1. O percentual de cobertura de nuvens foi de 0%. Os valores observados são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 Condições climáticas observadas durante o caminhamento com o equipamento E1 no Ensaio 02.

| | 1ª leitura | 2ª leitura | 3ª leitura | Média |
|-------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Temperatura | 21,0 °C | 20,8 °C | 20,7 °C | 20,8 °C |
| Umidade | 66% | 69% | 70% | 68% |
| Ventos | 12,3 – 24,9 km h ⁻¹ | 11,1 – 26,3 km h ⁻¹ | 7,0 – 22,3 km h ⁻¹ | 10,1 – 24,5 km h ⁻¹ |
| Nuvens | 0% | 0% | 0% | 0% |

O Ensaio 02 foi realizado em período vespertino (assim como o Ensaio 01), mas com ausência de nuvens e temperatura em elevação. No entanto, a visibilidade de satélites mínima (por parte da estação RTK) foi inferior, com apenas 9 satélites na primeira repetição, como apresenta a Figura 31, com o equipamento E1. É possível verificar a relação direta com o PDOP, especialmente, durante a leitura dos pontos 1 até 9 (marcadores do tipo quadrado). Durante esse período, valores de baixa visualização de satélites são acompanhados de PDOP elevado; à medida em que se tem aumento no número de satélites, existe uma estabilização do PDOP com valores abaixo de 2.

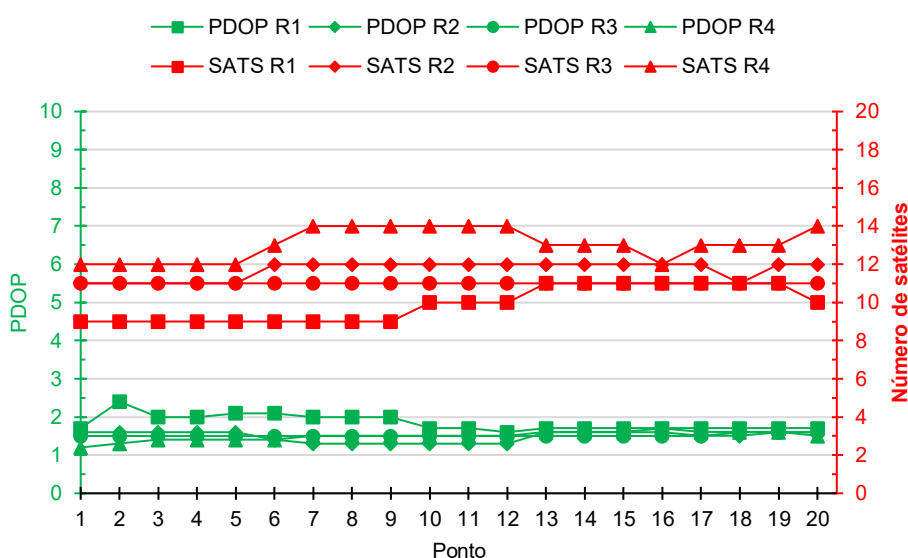


Figura 31 Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 02 com o equipamento E1.

Para o equipamento E2, praticamente, mantiveram-se as condições climáticas do dia, com ligeiro declínio da temperatura e da velocidade dos ventos (Tabela 13).

Tabela 13 Condições climáticas observadas durante o caminhamento com o equipamento E2 no Ensaio 02.

| | 1ª leitura | 2ª leitura | 3ª leitura | Média |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Temperatura | 20,7 °C | 20,5 °C | 20,4 °C | 20,5 °C |
| Umidade | 70% | 70% | 70% | 70% |
| Ventos | 7,0 – 22,3 km h ⁻¹ | 9,8 – 17,9 km h ⁻¹ | 5,3 – 19,5 km h ⁻¹ | 7,4 – 19,9 km h ⁻¹ |
| Nuvens | 0% | 0% | 0% | 0% |

Foi utilizado o software GPSTest para ilustrar a capacidade multiconstelação do equipamento E2, em campo aberto. O aplicativo foi executado entre as repetições e

apresentou uma visibilidade de 31 satélites de 4 constelações diferentes, com um PDOP de 0,9.

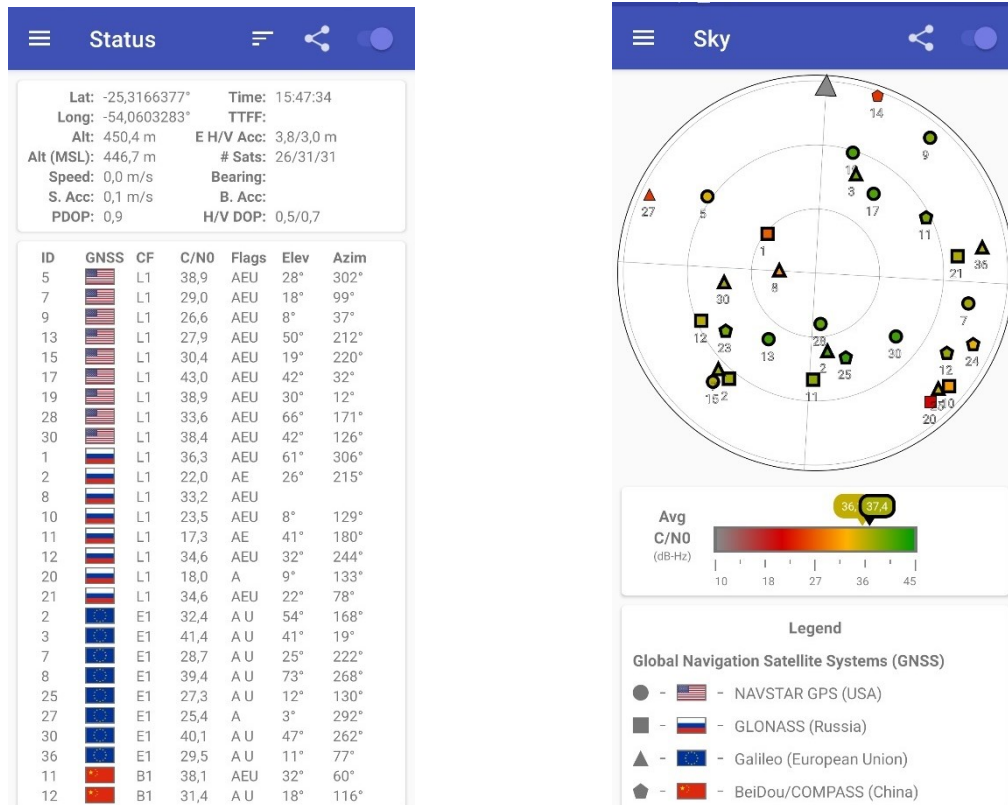


Figura 32 Capturas de tela da execução do software GPSTest, durante o Ensaio 02, para o equipamento E2.

Os valores obtidos em campo aberto – para o equipamento E2 – mostraram-se melhores que os valores obtidos em ambiente confinado, conforme Figura 17. Houve aumento no número de satélites, com 31 visíveis e um PDOP de 0,9.

Nos valores obtidos pela estação RTK, durante o segundo caminhamento (equipamento E2), obteve-se um número mínimo de satélites disponíveis, superior, com 11 sensores. Esse valor mínimo foi obtido ao final da quarta repetição e coincidiu com o aumento do valor do PDOP, que chegou a aproximadamente 2,5 (Figura 33).

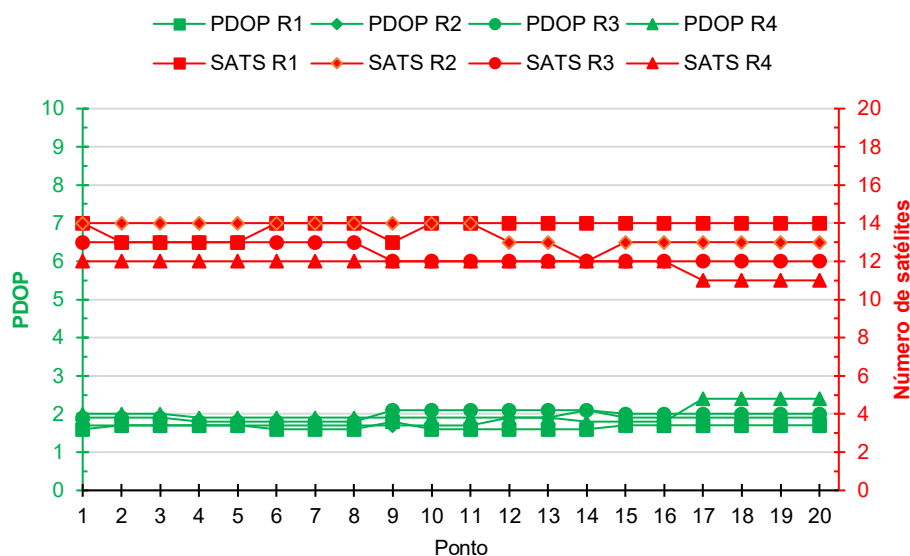


Figura 33 Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 02 com o equipamento E2.

Ao final do caminhamento com os dispositivos E1 e E2, foi realizado um ensaio com o receptor Juno (E3). A navegação foi feita observando os mesmos piquetes demarcados, percebendo-se a mesma metodologia aplicada anteriormente, com 4 repetições – a única exceção é que não foi feito uso do SNAC, já que o Juno possui navegador próprio. O equipamento foi avaliado sem nebulosidade (0%), temperatura média de 19,3°C, 73% de umidade relativa do ar e ventos com rajadas de 3,6 a 14,8 km h⁻¹.

6.2.7 Terceiro ensaio de caminhamento com os dispositivos móveis

O Ensaio 03 foi realizado no dia 22 de julho de 2020, no período matutino. Antes de iniciadas as repetições com os equipamentos E1 e E2, foi feita uma avaliação do equipamento E4, o qual foi avaliado com temperatura média de 20,9°C, umidade média relativa do ar de 63,3% e rajadas de vento de 7,5 a 13,7 km h⁻¹.

O equipamento E1 foi experimentado com temperatura em ligeira elevação, declínio de umidade e ventos constantes, como apresenta a Tabela 14.

Tabela 14 Condições climáticas observadas durante o caminhamento com o equipamento E1 no Ensaio 03.

| | 1ª leitura | 2ª leitura | 3ª leitura | Média |
|-------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Temperatura | 22,3 °C | 23,4 °C | 25,5 °C | 23,7 °C |
| Umidade | 60% | 61% | 53% | 58% |
| Ventos | 11,8 – 18,3 km h ⁻¹ | 5,8 – 10,4 km h ⁻¹ | 5,8 – 19,8 km h ⁻¹ | 7,8 – 16,1 km h ⁻¹ |
| Nuvens | 28% | 28% | 28% | 28% |

As medições de PDOP e visibilidade de satélites foram efetuadas sob condições bem estáveis, como sugerem os valores observados nos gráficos da Figura 34 (equipamento E1) e Figura 35 (equipamento E2).

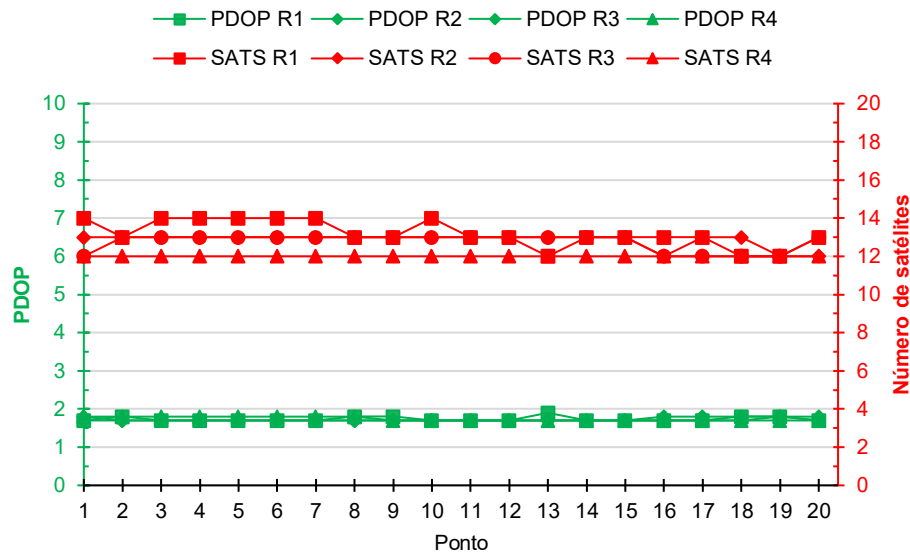


Figura 34 Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 03 com o equipamento E1.

Para o equipamento E2, permaneceu o cenário descrito no equipamento anterior, visto que se aproximava das 12:00 h: temperatura em elevação e declínio da umidade, com baixa quantidade de nuvens (Tabela 15).

Tabela 15 Condições climáticas observadas durante o caminhamento com o equipamento E2 no Ensaio 03.

| | 1ª leitura | 2ª leitura | 3ª leitura | Média |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Temperatura | 25,5 °C | 25,7 °C | 25,8 °C | 25,6 °C |
| Umidade | 53% | 55% | 53% | 53,6% |
| Ventos | 5,8 – 19,8 km h ⁻¹ | 8,8 – 16,9 km h ⁻¹ | 11,2 – 15,7 km h ⁻¹ | 8,6 – 17,4 km h ⁻¹ |
| Nuvens | 28% | 28% | 28% | 28% |

As medições durante o caminhamento com o Equipamento 01 foram efetuadas com visibilidade de 13 satélites, em média, com PDOP médio de 1,7, enquanto que, para o equipamento E2 (Figura 35), foram visualizados 12 sensores em média, com PDOP médio de 1,8.

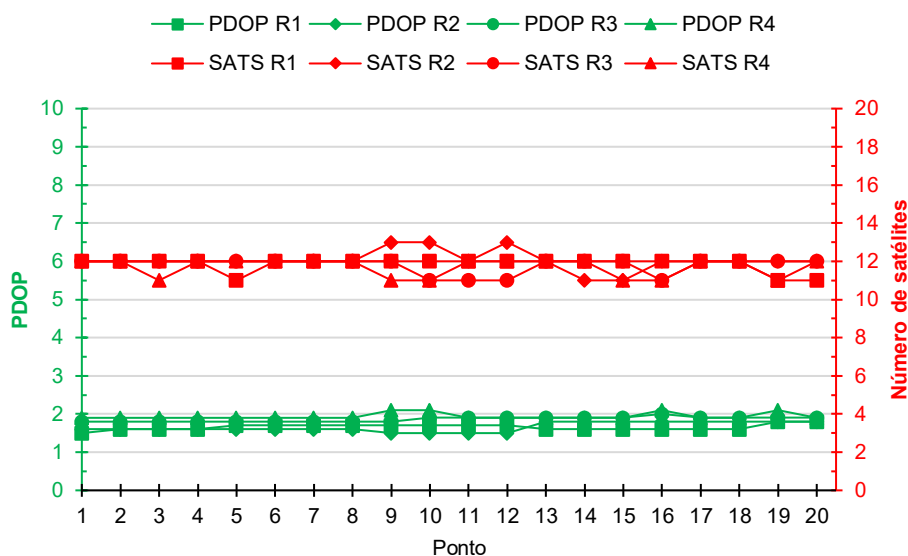


Figura 35 Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 03 com o equipamento E2.

6.2.8 Quarto ensaio de caminhada com os dispositivos móveis

O quarto ensaio foi realizado no dia 29 de julho de 2020 em período matutino. Novamente, o equipamento E1 foi experimentado com temperatura em ligeira elevação, alta umidade e ventos constantes, como apresenta a Tabela 16.

Tabela 16 Condições climáticas observadas durante o caminhar com o equipamento E1 no Ensaio 04.

| | 1ª leitura | 2ª leitura | 3ª leitura | Média |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Temperatura | 8,0 °C | 8,5 °C | 10,3 °C | 8,9 °C |
| Umidade | 100% | 100% | 89% | 96,3% |
| Ventos | 4,8 – 11,7 km h ⁻¹ | 9,2 – 16,5 km h ⁻¹ | 13,6 – 21 km h ⁻¹ | 9,2 – 16,4 km h ⁻¹ |
| Nuvens | 99% | 99% | 2% | 66,6% |

O ensaio foi conduzido em boas condições de PDOP com valores praticamente entre 1,5 e 2,0. Para o Equipamento 01 (Figura 36), as leituras foram efetuadas com maior número de satélites (de 12 a 15, com uma observação usando 16), enquanto, para o segundo equipamento, foram de 10 a 13 sensores, aproximadamente.

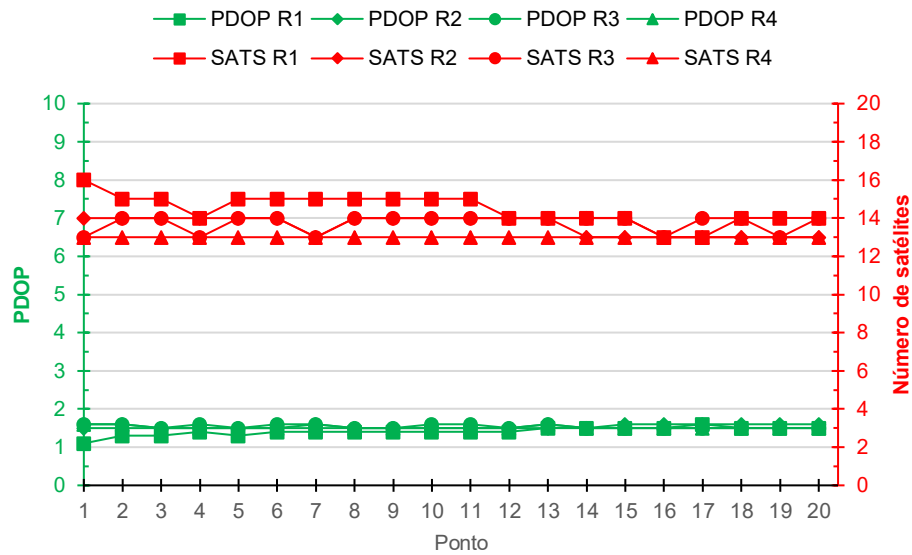


Figura 36 Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK durante a realização do Ensaio 04 com o equipamento E1.

O caminhamento com o equipamento E2 foi realizado por volta das 10 – 11 h da manhã com baixa nebulosidade e temperaturas em elevação (Tabela 17).

Tabela 17 Condições climáticas observadas durante o caminhamento com o equipamento E2 no Ensaio 04.

| | 1ª leitura | 2ª leitura | 3ª leitura | Média |
|-------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Temperatura | 10,3 °C | 11,5 °C | 12,8 °C | 11,5 °C |
| Umidade | 89% | 82% | 79% | 83,3% |
| Ventos | 13,6 – 21 km h ⁻¹ | 12,7 – 22,2 km h ⁻¹ | 7,5 – 16,8 km h ⁻¹ | 11,2 – 20 km h ⁻¹ |
| Nuvens | 2% | 2% | 2% | 2% |

As condições de PDOP e visibilidade de satélites se mostraram estáveis, similares ao equipamento E1 (Figura 37).

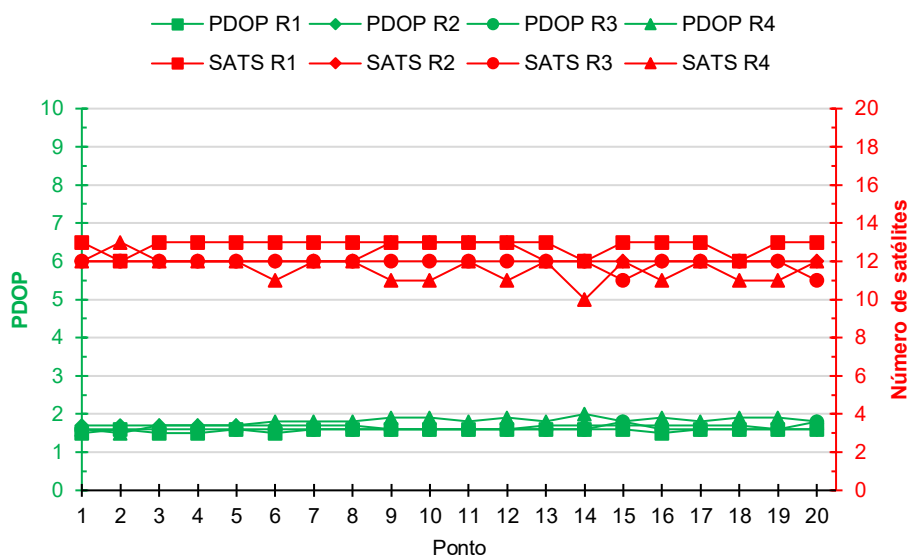


Figura 37 Número de satélites e valores de PDOP observados pela estação RTK, durante a realização do Ensaio 04 com o equipamento E2.

6.2.9 Procedimentos de análise

Os dados obtidos foram avaliados por meio de análise exploratória, com estatística descritiva. O delineamento experimental escolhido foi experimento com dois fatores, sendo efetuada a análise por métodos paramétricos e não-paramétricos, com o objetivo de identificar se os valores relativos ao erro de navegação, com os dispositivos móveis, são condicionados ao equipamento ou, então, a alguma condição nos dias em que o ensaio tenha sido realizado.

6.3 Resultados e discussão

6.3.1 Dispersão dos dados

As posições obtidas pela estação RTK durante os 4 ensaios foram organizadas em gráficos de dispersão. Esses gráficos representam o sistema de coordenadas UTM, com latitude e longitude nos eixos X e Y, respectivamente. A Figura 38 apresenta a dispersão de todas as posições correspondentes às posições dadas como corretas (piquetes) pelos dispositivos móveis durante navegação com o SNAC. A dispersão das posições apresenta-se em torno do piquete, sem nenhum comportamento específico ou grupos, sem a concentração de valores em um lado ou outro do piquete.

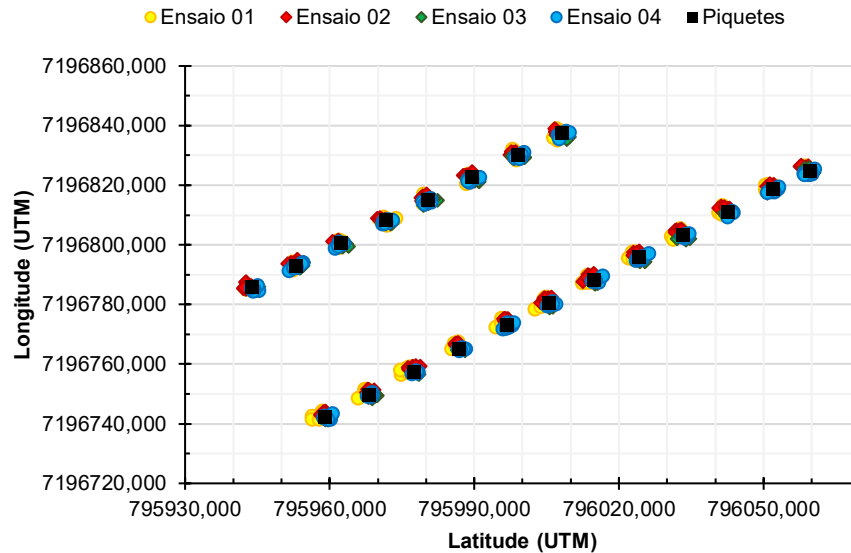


Figura 38 Dispersão dos dados obtidos pela estação RTK, por ensaio realizado.

Quando organizados por equipamentos, os dados também não apresentam tendência ou comportamento sistemático, como apresenta a Figura 39. Observa-se distribuição aleatória das posições em torno do piquete – indiferentemente do equipamento em uso.

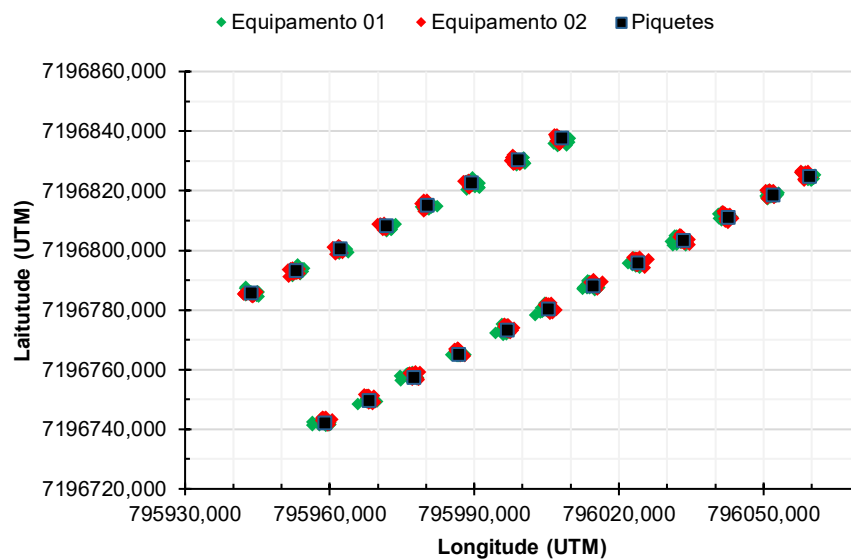


Figura 39 Dispersão dos dados obtidos pela estação RTK durante os 4 ensaios, separados por equipamento.

A dispersão observada nos gráficos anteriores não permite o estabelecimento de qualquer agrupamento, em inspeção visual. Ainda que os ensaios tenham sido conduzidos sob diferentes condições climáticas, a dispersão não reflete essa informação.

6.3.2 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 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 18. 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 manhã, 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 de aproximadamente 1 m inferior ao valor observado no valor vespertino.

Tabela 18 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 |

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 40 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.

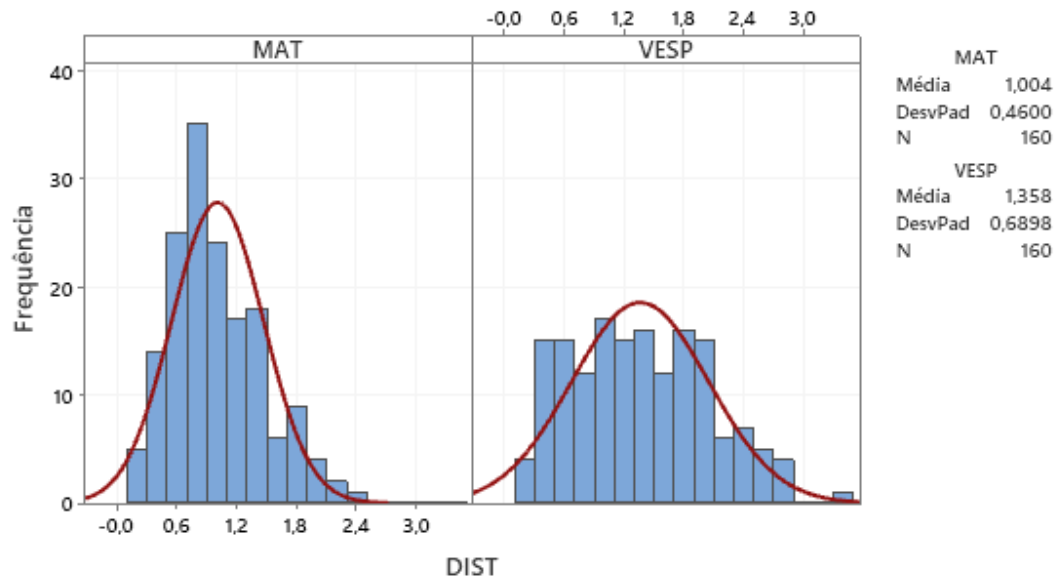


Figura 40 Histograma com curva normal de DIST por PERÍODO para o equipamento E1.

Na Tabela 19, 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, 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 19 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 |

O histograma da Figura 41 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 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 direita mais pesada para o período matutino, enquanto, para o período vespertino, há 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).

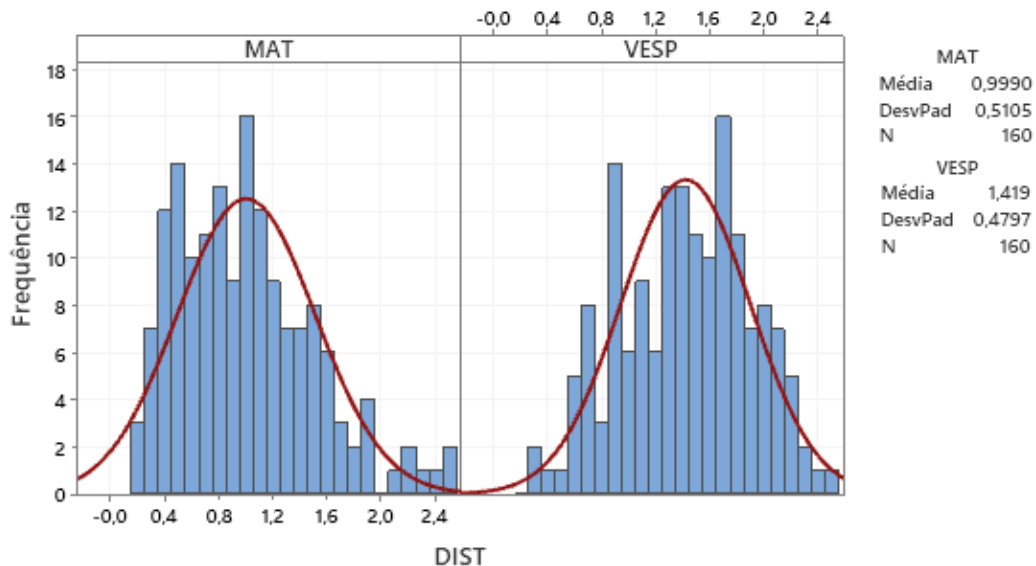


Figura 41 Histograma com curva normal de DIST por PERÍODO para o equipamento E2.

Os pequenos desvios, quanto à 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 20). A exatidão, obtida na recuperação dos pontos, é dada pela média de DIST, sendo 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 20 Estatísticas descritivas média e desvio padrão para DIST.

| | Período | Equipamento E1 | Equipamento E2 | Todos |
|-------------------------|---------|----------------|----------------|--------|
| Média | | 1,004 | 0,999 | 1,002 |
| Desvio padrão | | 0,4600 | 0,5105 | 0,4852 |
| Coeficiente de variação | MAT | 45,81% | 51,10% | 48,42% |
| Contagem | | 160 | 160 | 320 |
| Média | | 1,358 | 1,419 | 1,389 |
| Desvio padrão | | 0,6898 | 0,4797 | 0,5939 |
| Coeficiente de variação | VESP | 50,79% | 33,80% | 42,75% |
| Contagem | | 160 | 160 | 320 |
| Média | | 1,181 | 1,209 | 1,195 |
| Desvio padrão | | 0,6115 | 0,5375 | 0,5754 |
| Coeficiente de variação | TODOS | 51,77% | 44,45% | 48,15% |
| Contagem | | 320 | 320 | 640 |

Foi efetuada a análise de variância (Tabela 21) 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 significativo estatisticamente. Como é composto por apenas dois níveis, já é possível concluir que eles diferem entre si.

Tabela 21 Análise de variância para a variável DIST em função do EQUIP e PERÍODO.

| Fonte | GL | SQ (Aj.) | QM (Aj.) | Valor F | Valor-P |
|---------------|-----|----------|----------|---------|---------|
| EQUIP | 1 | 0,125 | 0,1247 | 0,42 | 0,516 |
| PERÍODO | 1 | 23,952 | 23,9516 | 81,32 | 0,000 |
| EQUIP*PERÍODO | 1 | 0,177 | 0,1775 | 0,60 | 0,438 |
| Erro | 636 | 187,316 | 0,2945 | | |
| Total | 639 | 211,570 | | | |

Os valores residuais, aproximadamente, seguem um comportamento normal, conforme apresentado na Figura 42, 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 são independentes um do outro, sem a ausência de padrões.

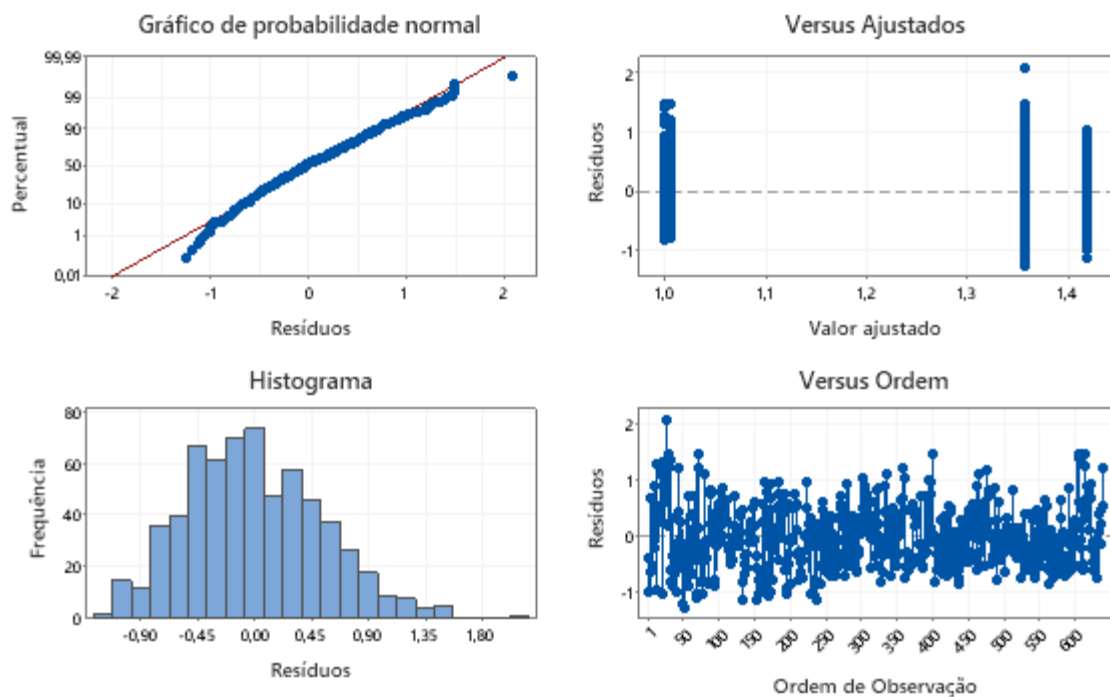


Figura 42 Análise gráfica para os resíduos do modelo ANOVA escolhido.

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 22, podendo-se afirmar, com 95% de confiança, que o PERÍODO afetou a DIST.

Tabela 22 Teste de Tukey para a variável PERÍODO

| PERÍODO | N | Média | Agrupamento |
|---------|-----|---------|-------------|
| VESP | 320 | 1,38856 | A |
| MAT | 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.

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 23). O p-valor é significativo e, considerando que existem quatro níveis de ENSAIO, o teste comparativo de hipóteses permite verificar os agrupamentos gerados (Tabela 24).

Tabela 23 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 | | | |

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 esses ensaios, trata-se do período.

Tabela 24 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.

6.4 Discussão dos resultados encontrados

Ainda que, com diferentes condições climáticas por ensaio realizado, elas não se mostraram significativas. O resumo, apresentado no gráfico da Figura 43, permite uma melhor visualização das condições de cada ensaio.

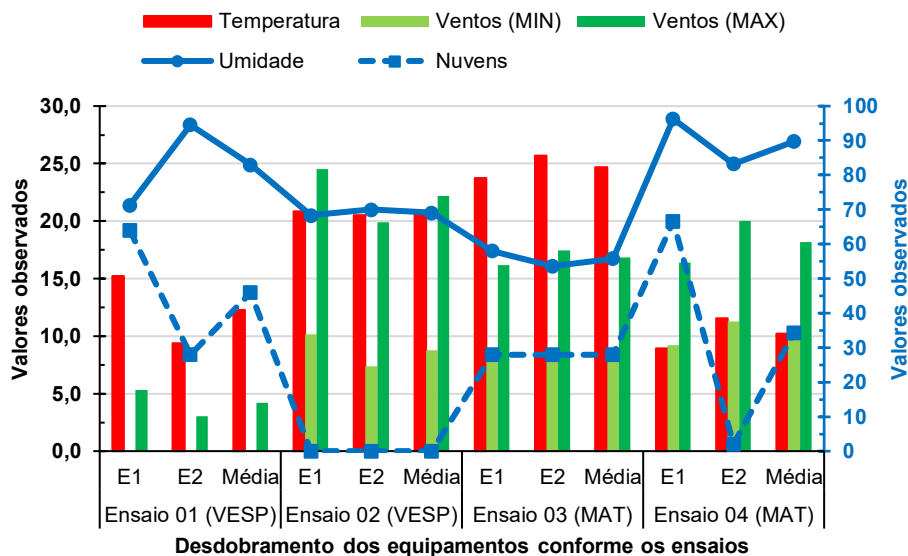


Figura 43 Resumo das condições climáticas observadas durante a realização dos ensaios.

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, por 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 38 e Figura 39).

Apesar de diferentes condições climáticas, a estação RTK sempre efetuou medições em condições adequadas de leitura, com no mínimo 11 sensores e PDOP inferior a 2, conforme apresenta a Figura 44. Os valores se mostraram similares para ambos os períodos, matutino e vespertino.

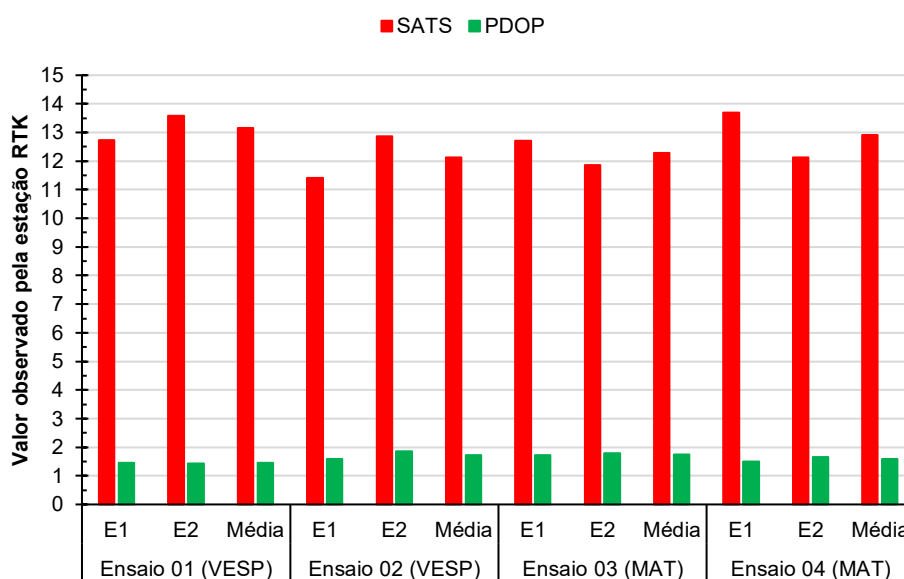


Figura 44 Resumo dos valores de PDOP e visibilidade de satélites obtidos pela estação RTK durante execução dos ensaios.

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

Os valores encontrados, no gráfico da Figura 44, permitem visualizar diferenças em relação aos valores previstos, obtidos em NAVCOM (2020), que podem ser explicadas em função de elementos não previstos, como relevo, clima e condições atmosféricas. Os valores previstos estão relacionados à visibilidade, considerando a órbita dos satélites para o local selecionado, apenas.

Mediante os fatores monitorados, não é possível estabelecer alguma relação com o aumento da precisão pela manhã. O erro de leitura do ponto em relação à base, fornecido pelo próprio equipamento RTK, também apresenta valores baixos e sem um comportamento que permita uma avaliação diferenciada (Figura 45).

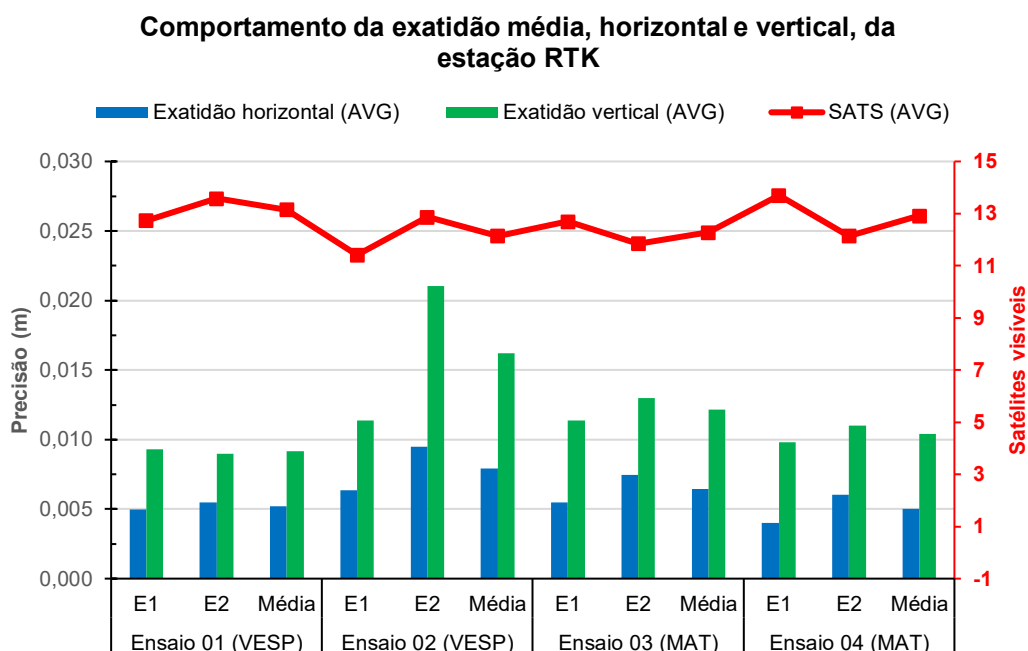


Figura 45 Comportamento do erro em relação a base, durante a leitura dos pontos, monitorado pela estação RTK versus número de satélites disponíveis.

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 à 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 houve alterações em relação à precisão horizontal e vertical (Figura 45). Observa-se que os equipamentos GNSS são responsáveis pela seleção dos satélites a serem utilizados.

6.4.1 Análise não-paramétrica

Para confirmar os resultados produzidos pelo modelo selecionado, optou-se pela realização de testes não paramétricos. Como as destruições apresentaram normalidade em alguns casos e em outros não, optou-se pela execução do teste de Kruskal-Wallis. Esse teste

é equivalente à ANOVA, com um fator, mas voltado a dados com distribuição, que não seja normal ou, então, outliers, que não devam ser removidos.

Foi executado o teste verificando se o equipamento EQUIP influencia a distância DIST, conforme Tabela 25. O valor do posto médio para o equipamento E2 indica que os valores desse grupo são superiores aos demais, sendo utilizado, posteriormente, na estatística de teste. O valor de Z indica como aquele grupo se compara em relação à média geral: como E1 tem Z negativo, indica estar abaixo da média geral e, como E2 tem valor positivo, acima da média global.

Tabela 25 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 | |

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 26, 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 26 Teste de hipótese para o teste de Kruskal-Wallis: DIST versus EQUIP.

| GL | Valor H | Valor-p |
|----|---------|---------|
| 1 | 1,60 | 0,206 |

Foi efetuado novo teste, com o objetivo de investigar se o PERÍODO poderia influenciar a variável DIST, conforme Tabela 27. 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 27 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 | |

O teste de hipóteses é conduzido de modo semelhante ao anterior, considerando as duas hipóteses básicas (Tabela 28). 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 28 Teste de hipótese para o teste de Kruskal-Wallis: DIST versus PERÍODO.

| GL | Valor H | Valor-p |
|----|---------|---------|
| 1 | 72,19 | 0,000 |

A interação com o ponto também foi descartada. A tabela de análise de variância (Tabela 29) e o teste de Kruskal-Wallis (Tabela 31) 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 à medida em que se muda o ponto de leitura.

Tabela 29 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 |
| PONTO | 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 | | | |

O teste Kruskal-Wallis apresenta uma tabela similar à ANOVA (Tabela 30), mas, somente por meio dela, não é possível identificar valores significativos. É necessário avaliar o resultado do teste comparativo (Tabela 31).

Tabela 30 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 | |

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 31).

Tabela 31 Teste de hipótese para o teste de Kruskal-Wallis: DIST versus PONTO.

| GL | Valor H | Valor-p |
|----|---------|---------|
| 19 | 19,19 | 0,445 |

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

de 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 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 desse 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, evidenciado por 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 multiconstelação ainda é recente e tende a produzir resultados superiores quando comparados a dispositivos monoconstelação (LOPES *et al.*, 2020). O lançamento de sensores GNSS de dupla frequência para celulares, com acesso à frequência L5 (ROBUSTELLI, BAIOCCHI e PUGLIANO, 2019), permitirá resultados de exatidão ainda superiores, em torno de 30 cm (MOORE, 2017).

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

Os outros dois equipamentos monitorados (E3 e E4), em ensaios isolados, apresentam dispersão muito próxima aos equipamentos E1 e E2, conforme Figura 46.

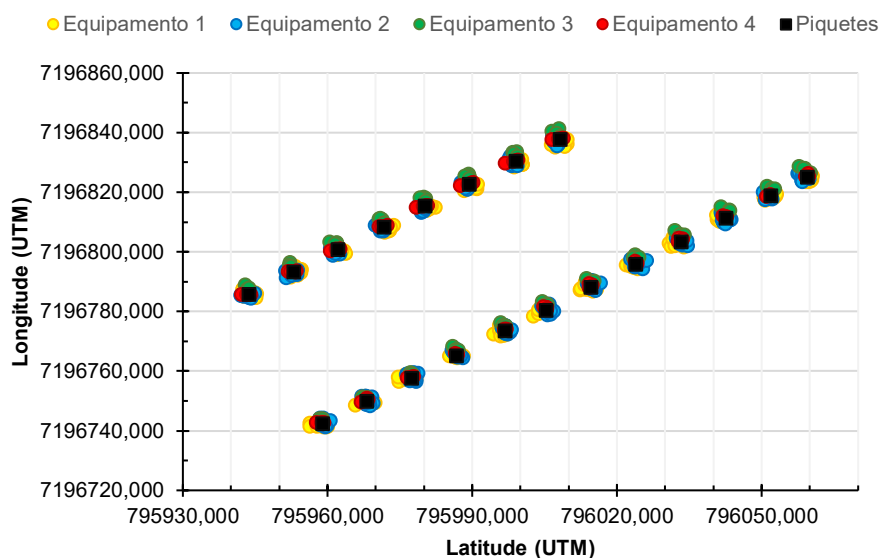


Figura 46 Dispersão das posições registradas relativas aos 4 equipamentos experimentados

Os valores das estatísticas descritivas (Tabela 32) possibilitam uma análise melhor do comportamento dos dois equipamentos. Tanto a média como a mediana foram superiores no equipamento E4, com valores de 0,72 e 0,59 cm, contra 2,20 cm do equipamento E3.

Tabela 32 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 | Min | 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 |

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 multiconstelação, 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 esse equipamento. É necessária a realização de novos ensaios, em períodos alternados, para a validação da premissa encontrada, aqui, com os equipamentos E1 e E2.

O equipamento E3 foi utilizado da mesma maneira como os outros equipamentos, de forma 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 PERIODOS do dia de coleta, é possível verificar que a aquisição de um equipamento como esse, com um

valor superior a um celular, deve ser bem pensada, visto que sua precisão é bem inferior a equipamentos com configurações medianas (como o E2) ou até inferior a um tablet (E1).

6.5 Conclusões

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

A utilização de equipamentos multiconstelação, em campo aberto, como o caso de propriedades agrícolas, deve possibilitar a aquisição de dados sempre em boas condições, dispensando o planejamento da missão.

Por meio dos dados obtidos pela estação RTK, relativos à navegação dos equipamentos E1 e E2, com o software SNAC, verificou-se que 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.

6.6 Referências

ARAÚJO, G. M.; SANTOS, F. F. L.; MARTINS, R. N.; TAVARES, L. C. M.; VIANA, L. A.; ALMEIDA, S. L. H.. Avaliação Da Precisão De Diferentes Dispositivos Gnss / Evaluation Of The Accuracy Of Different GNSS Devices. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, [S.L.], v. 12, n. 2, p. 212-222, 28 jun. 2018. Universidade Estadual Paulista - Campus de Tupa. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2018v12n2p212-222>.

BANCROFT, J.B.; MORRISON, A.; LACHAPELLE, G. Validation of GNSS under 500,000V Direct Current (DC) transmission lines. **Computers And Electronics In Agriculture**, [S.L.], v. 83, p. 58-67, abr. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2012.01.013>.

CARBALLIDO, J; PEREZ-RUIZ, M; EMMI, L; VEGA, Juan Agüera. Comparison of Positional Accuracy between RTK and RTX GNSS Based on the Autonomous Agricultural Vehicles under Field Conditions. **Applied Engineering in Agriculture**, [S.L.], v. 30, n. 3, p. 361-366, jul., 2014. <https://doi.org/10.13031/aea.30.10342>.

- CLARK, S.; LEVY, E. **Compared To Specialized Gps Devices, How Good Are Smartphones for Measuring Gps Coordinate Data?** 2013. Disponível em: <https://www.calrecycle.ca.gov/docs/cr/itpapers/smartphonegps.pdf>. Acesso em: 07 jan. 2021.
- DEICHMANN, Uwe; GOYAL, Aparajita; MISHRA, Deepak. Will digital technologies transform agriculture in developing countries? **Agricultural Economics**, [S.L.], v. 47, n. 1, p. 21-33, nov. 2016. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/agec.12300>.
- ENVIRONMENTAL MODELING CENTER**. 2020. Disponível em: <https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/about.php>. Acesso em: 25 jun. 2020.
- FAUZI, M. F.; IDRIS, N. H.; YAHYA, M. H.; DIN, A. H.M.; IDRIS, N. H.; LAU, A. M.S.; ISHAK, M. H.L. Tropical forest tree positioning accuracy: A comparison of low cost GNSS-enabled devices. **International Journal of Geoinformatics**, [S.L.] v. 12, n. 2, p. 59-66, dez, 2016.
- JOHNSON, Chris E.; BARTON, Christopher C.. Where in the world are my field plots? Using GPS effectively in environmental field studies. **Frontiers In Ecology And The Environment**, [S.L.], v. 2, n. 9, p. 475-482, nov. 2004. Wiley. [http://dx.doi.org/10.1890/1540-9295\(2004\)002\[0475:witwam\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0475:witwam]2.0.co;2).
- JYOTHIRMAYE, S; SRINIVAS, V Satya; RAMU, B. 4 . Fast Satellite Selection Techniques. **2019 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC)**, [S.L.], p. 1-4, mar, 2019.
- KERRY, R.; OLIVER, M. A.; FROGBROOK, Z. L.. Sampling in Precision Agriculture. **Geostatistical Applications For Precision Agriculture**, [S.L.], p. 35-63, 2010. Springer Netherlands. http://dx.doi.org/10.1007/978-90-481-9133-8_2.
- KESKIN, Muharrem; SEKERLI, Yunus Emre; KAHRAMAN, Suleyman. Performance of two low-cost GPS receivers for ground speed measurement under varying speed conditions. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 18, n. 2, p. 264-277, 27 abr. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-016-9453-x>.
- KLIMASZEWSKI-PATTERSON, A. Smartphones in the field: preliminary study comparing GPS capabilities between a smartphone and dedicated GPS device. **Pap. Appl. Geogr. Conf.**, Las Cruces, v. 33, n., p. 270-279, jan, 2010.
- LANGLEY, R. B. Dilution of Precision. **GPS World**, [S.L.], v. 10, n. May, p. 52-59, mai, 1999.
- LOPES, Tiago Gonçalves; ALONÇO, Airton dos Santos; KNIERIM, Luana Freitas; ZART, Bruno Christiano Correa Ruiz; POSSEBOM, Gessieli; FROEHLICH, Ricardo; CRUZ, Wagner Alexandre Silveira da; BELLOCHIO, Sabrina dalla Corte. Desempenho Operacional De Smartphones Em Levantamentos Planimétricos Gnss Sobre Coberturas Vegetais De Pastagem E Pinus Elliottii Engelm. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 6, n. 7, p. 53813-53828, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n7-867>.
- MACHADO, Thiago M.; MOLIN, José P.; POVH, Fabrício P.; SALVI, José V.. Metodologia para avaliação do desempenho de receptor de GPS de uso agrícola em condição cinemática. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 121-129, fev. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162010000100013>.
- MILINOV, O.; SIRAKOV, C.; ZLATANOV, H.; KOLEV, K.; PETKOV, I.; VILLACREZ, E.; BOBLEANTA, V.; NAIK, P.; BONOV, P.; DIMITROV, V.; VASILEV, G.; ANGELOV, Y.; ZAMPONA, A.; GOVE, W.; IVANOV, K.; HADZHIDIMANOVA, H.; STAYKOV, N.; TODD, L.; RODRIGUEZ, M. A. **GSM Arena**. 2020. Disponível em: <https://www.gsmarena.com/>. Acesso em: 25 jun. 2020.

MOLIN, José Paulo; TAVARES, Tiago Rodrigues. Sensor Systems For Mapping Soil Fertility Attributes: challenges, advances, and perspectives in brazilian tropical soils. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 39, n. , p. 126-147, set. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39nep126-147/2019>.

MOORE, Samuel K.. Super - Accurate Gps Coming To Smartphones in 2018. **IEEE Spectrum**, [S.L.], n. 11, p. 10-11, nov, 2017.

NAVCOM. **Satellite Predictor Charts**. 2020. Disponível em: <https://satpredictor2.deere.com/homePost>. Acesso em: 1 mar. 2020.

PÉREZ-RUIZ, M.; CARBALLIDO, J.; AGÜERA, J.; GIL, J. A.. Assessing GNSS correction signals for assisted guidance systems in agricultural vehicles. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 639-652, 26 nov. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-010-9211-4>.

PINI, Marco; MARUCCO, Gianluca; FALCO, Gianluca; NICOLA, Mario; WILDE, Wim de. Experimental Testbed and Methodology for the Assessment of RTK GNSS Receivers Used in Precision Agriculture. **IEEE Access**, [S.L.], v. 8, p. 14690-14703, 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2020.2965741>.

PONGNUMKUL, Suporn; CHAOVALIT, Pimwadee; SURASVADI, Navaporn. Applications of Smartphone-Based Sensors in Agriculture: a systematic review of research. **Journal Of Sensors**, [S.L.], v. 2015, p. 1-18, 2015. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/195308>.

ROBUSTELLI, Umberto; BAIOCCHI, Valerio; PUGLIANO, Giovanni. Assessment of Dual Frequency GNSS Observations from a Xiaomi Mi 8 Android Smartphone and Positioning Performance Analysis. **Electronics**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 91-106, 15 jan. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/electronics8010091>.

ROSALEN, David L; RODRIGUES, Marcos s; A CHIODEROLI, Carlos; BRANDÃO, Flavia J. C; SIQUEIRA, Diego s. GPS receivers for georeferencing of spatial variability of soil attributes. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 31, n. 6, p. 1162-1169, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162011000600013>.

RUDOLPH, Sebastian; MARCHANT, Ben Paul; WEIHERMÜLLER, Lutz; VEREECKEN, Harry. Assessment of the position accuracy of a single-frequency GPS receiver designed for electromagnetic induction surveys. **Precision Agriculture**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 19-39, 7 maio 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-018-9578-1>.

SILVA, Thales M. de A.; MAYRINK, Grégory de O.; VALENTE, Domingos S. M.; QUEIROZ, Daniel M.. Integration Of A Low-Cost Global Navigation Satellite System To A Single-Board Computer Using Kalman Filtering. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 39, n. 3, p. 323-330, jun. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v39n3p323-330/2019>.

SOARES, R.; ANDRADE, J. R. de 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**, [S.L.] v. 5, p. 14-24, dez, 2018.

WANG, Wenwen; HUANG, Bin. Research on Properties of DOP in Multi-constellation. **2014 Seventh International Symposium On Computational Intelligence And Design**, [S.L.], p. 445-448, dez. 2014. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iscid.2014.19>.

WINDY COMMUNITY. 2018. Disponível em: <https://community.windy.com/topic/12/what-source-of-weather-data-windy-use>. Acesso em: 25 jun. 2020.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Timeline of WHO's response to COVID-19. 2020. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/detail/29-06-2020-covidtimeline>. Acesso em: 14 jul. 2020.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção do software SNAC teve uma importante contribuição para o objetivo proposto, demonstrando a capacidade de navegação nas atividades de amostragem. O SNAC é uma ferramenta que não necessita de conectividade com a internet para seu funcionamento e navegação, de forma que apresenta flexibilidade, valorizando a experiência do usuário, o que se destaca dos outros softwares, nos quais o sujeito é usuário que define os atributos no sistema. Vale destacar sua flexibilidade de uso no monitoramento de diversos atributos, além da fácil operacionalidade e interpretação dos dados. Os testes em campo confirmam sua performance similar a um equipamento GNSS comercial de baixa precisão, atendendo aos requisitos de validação, além de possuir características não encontradas em outras soluções no mercado. O software de navegação SNAC mostrou-se adequado às atividades a que se propõe, permitindo a localização dos pontos de maneira simplificada, além de dispensar o uso de softwares de terceiros para sua utilização.

Os ensaios de localização dos pontos, realizados para verificação da precisão dos dispositivos em que o aplicativo estava instalado, demonstram a viabilidade da utilização de dispositivos móveis em atividades de amostragem. Por meio dos dados obtidos pela estação RTK, relativos à navegação dos equipamentos E1 e E2, com o software SNAC, verificou-se que apresentaram um erro médio de 1,20 m na localização dos pontos monitorados, sendo que a distribuição se mostrou assimétrica à direita, o que indica um maior número de observações com menor erro de precisão.

Esses valores permitem concluir que dispositivos móveis podem ser usados em atividades em que a precisão não é crítica, como no monitoramento de atributos estáveis do solo e em outras atividades em que essa precisão seja aceitável. Os resultados isolados com os equipamentos E3 e E4 permitem verificar que um celular mais robusto, como o E4, apresenta capacidade de processamento superior e maior agilidade na localização dos pontos, quando comparado a celulares com configuração mediana. A dispersão dos dados provenientes dos equipamentos E1, E2 e E4 mostrou-se mais precisa ainda que a de um equipamento de navegação comercial, como o E3, sendo necessários mais ensaios para uma análise estatística completa.

Os resultados obtidos sugerem, ainda, que a precisão seja significativamente superior no período da manhã, 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.