

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

IGOR RODRIGUES QUINTÃO

**SISTEMA EMBARCADO PARA GEORREFERENCIAMENTO DE
FORMIGUEIROS EM ÁREA DE REFLORESTAMENTO**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2020**

IGOR RODRIGUES QUINTÃO

**SISTEMA EMBARCADO PARA GEORREFERENCIAMENTO DE
FORMIGUEIROS EM ÁREA DE REFLORESTAMENTO**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Flora Maria de Melo Villar

Coorientador: Msc. Thiago de Oliveira Furtado

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2020**

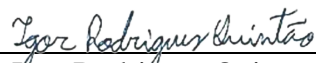
IGOR RODRIGUES QUINTÃO

**SISTEMA EMBARCADO PARA GEORREFERENCIAMENTO DE
FORMIGUEIROS EM ÁREA DE REFLORESTAMENTO**

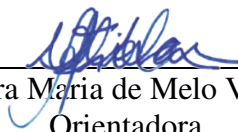
Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 04 de dezembro de 2020.

Assentimento:



Igor Rodrigues Quintão
Autor



Flora Maria de Melo Villar
Orientadora

*Aos dois amores de minha vida,
meus pais, Leonardo e Noranei.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, o Grande Arquiteto Do Universo que rege todas as coisas, posteriormente aos meus pais, Leonardo e Noranei, por todo carinho, atenção, esforços, proteção, apoio incondicional, financeiro; e por sempre me proporcionarem a melhor educação possível.

À minha Professora, Orientadora, Amiga, Companheira, Confidente e Amorosa, Flora Maria de Melo Villar, orientadora deste e de outros trabalhos em conjunto, por todos os ensinamentos, confiança, por acreditar e apoiar os meus sonhos e minhas ideias.

Ao Thiago de Oliveira Furtado, pela amizade, força, dedicação, conselhos, mentorias, oportunidades compartilhadas e pela coorientação neste trabalho.

Aos professores Domingos Sárvio, Daniel Marçal e Marconi Furtado por toda experiência pessoal e profissional transmitidas, pelos valiosos conselhos e apoio no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores José Vitor Nicacio, João Victor Oliveira e ao técnico do laboratório de eletrotécnica Elder Xavier, por me proporcionar gosto e conhecimento em controle e automação, por toda experiência pessoal e profissional transmitidas, pelos valiosos conselhos e oportunidades concedidas.

À professora Fernanda Campos de Sousa, pelas oportunidades concedidas e coordenar a disciplina de TCC.

Aos amigos do Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA), Pedro, Ingolith, Marcelo e André (Agora Professor do DEA/UFV), pela convivência, apoio e colaboração neste trabalho.

Ao Vicente, técnico do LMA, pela paciência, auxílio e dedicação nos experimentos de campo; e pelas experiências compartilhadas.

Ao Cássio Fagundes Gomes, meu gestor de estágio, pelos valiosos conselhos, confiança, ensinamentos, apoio, oportunidades concedidas, por toda experiência pessoal e profissional transmitidas; e pela brilhante proposta de estar realizando este trabalho, com este tema e aplicação do sistema embarcado desenvolvido.

À empresa CENIBRA, pela experiência de estágio, o qual me despertou interesse pelo tema deste trabalho, em especial aos colegas, Henrique, Vicente, Reginaldo e Igor por todo apoio e ensinamentos na área de Desenvolvimento Operacional e de campo.

Àqueles que foram meus irmãos de república durante os anos em Viçosa: Gabriel Barros, Igor Souza, Rafael Lopes, André Belisário, Caique Vaz, Caio Morais, Gabriel Werneck e meu grande amigo, sócio e parceiro de negócios, Rafael Vidigal, pela convivência, risadas, oportunidades e bons momentos vividos.

Aos amigos da graduação e da vida, pela companhia e pelas lembranças que levarei sempre comigo. Em especial, aos amigos da Máfia, do GEIA-MATA, AGRIJÚNIOR, CAEAA José do Egito, DS UFV, SOJA PLUS, Escola na Mata, Mata do Paraíso (DEF) e aos amigos do estágio no Parque Estadual de Ibitipoca.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade de realização do curso, ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) e ao Laboratório de Mecanização Agrícola (LMA), pela oportunidade de desenvolver este trabalho.

E a todos demais familiares e amigos que de alguma maneira contribuíram para que fosse possível a conclusão desta importante etapa em minha vida.

*“Um passo à frente e você não
está mais no mesmo lugar”.*

Chico Science

RESUMO

A operação de combate a formiga faz parte da rotina do setor florestal, porém, ainda carece de inovações e tecnologias embarcadas para atingir o patamar de Silvicultura de Precisão. Neste trabalho, objetivou-se desenvolver um sistema embarcado de baixo custo para a atividade de combate à formiga em áreas de reflorestamento. O sistema desenvolvido possui componentes eletrônicos de aquisição e armazenamento de dados (Módulo GNSS e Módulo Cartão SD) e componentes de controle de implementos que proporcionam a aplicação de iscas formicidas em campo. Todos os componentes utilizados foram implementados com a plataforma Arduino (*Open Source*) com recursos de *Hardware* (Arduino UNO) e *Software* (Interface de Desenvolvimento - IDE) e baseado na linguagem de programação C/C++. O sistema embarcado desenvolvido foi testado em campo e comparado com os dados coletados por um receptor GNSS de precisão nas mesmas posições de coleta. Os maiores erros absolutos encontrados nas coordenadas X e Y foram 1,058 m e 1,878 m, respectivamente, com CV de aproximadamente 76%. A maior distância encontrada entre os pontos comparados foi de 2,033 m, com CV de 70%. Os erros são aceitáveis para a atividade desempenhada pelo sistema desenvolvido e foram encontrados diante das diversidades da coleta dos dados comparados. O sistema embarcado desenvolvido se mostrou ser uma ferramenta alternativa para controle de aplicação de isca formicida granulada e, comparado a sistemas tradicionais de georreferenciamento, foi eficaz em coletar e armazenar pontos georreferenciados de formigueiro para geração de mapas da distribuição espacial e densidade de ninhos de formigas (números/hectare). O uso deste sistema embarcado desenvolvido contribui para a racionalização do uso de insumos químicos no campo e promove a adoção de técnicas de manejo voltadas a Silvicultura de Precisão.

Palavras-chave: formiga; GNSS; microcontrolador; silvicultura de precisão

ABSTRACT

The ant combat operation is part of the forest sector's routine, but it still lacks innovations and embedded technologies to reach the level of Precision Forestry. This work aimed to develop a low-cost embedded system for ant fighting activity in reforestation areas. The developed system has electronic data acquisition and storage components (GNSS Module and SD Card Module) and implement control components that provide the application of formicide baits in the field. All components used were implemented with the Arduino platform (Open Source) with hardware (Arduino UNO) and Software (Development Interface - IDE) and C/C++ programming languages. The embedded system developed was field tested and compared with the data collected by a precision GNSS receiver in the same collection positions. The highest absolute errors found in the X and Y coordinates were 1.058 m and 1.878 m, respectively, with CV of approximately 76%. The longest distance found between the compared points was 2.033 m, with CV of 70%. The errors are acceptable for the activity performed by the developed system and were found in view of the diversities of data collection compared. The embedded system developed proved to be an alternative tool for control of application of granulated formicidal bait and, compared to traditional georeferencing systems, was effective in collecting and storing georeferenced anthill points to generate maps of spatial distribution and density of ant nests (numbers/hectare). The use of this developed embedded system contributes to the rationalization of the use of chemical insums in the field and promotes the adoption of management techniques aimed at Precision Forestry.

Keywords: ant; GNSS; microcontrollers; precision forestry

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS | 12 |
| 2.1 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA EMBARCADO DE BAIXO CUSTO | 12 |
| 2.2 GERAÇÃO DE MAPAS POR MEIO DOS DADOS COLETADOS COM O SISTEMA DESENVOLVIDO..... | 14 |
| 2.3 VALIDAÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO POR MEIO DE TESTES EM CAMPO | 15 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 17 |
| 4. CONCLUSÃO..... | 23 |
| 5. REFERÊNCIAS..... | 24 |

1 INTRODUÇÃO

As formigas cortadeiras são os insetos que mais geram impactos negativos aos plantios florestais no Brasil, destaca-se os gêneros *Atta* (Saúvas) e *Acromyrmex* (Quenquéns) que mais causam danos aos eucaliptais (ZANETTI et al., 2003). Por possuir práticas eussociais como organização biológica, o controle de formigueiros é uma tarefa difícil, em razão desses insetos apresentarem mecanismos de defesa de seus ninhos e estarem presentes em todo território nacional.

O combate as formigas cortadeiras é fundamental nas fases de implantação, reforma e regeneração de florestas, com o intuito de prevenir os danos no crescimento das brotações ou em mudas recém-plantadas. O efeito do desfolhamento em estágio inicial das plantas pode prejudicar o crescimento em diâmetro e altura, impactando diretamente na produção final da floresta (REIS et al., 2015).

As opções para o controle de formigueiros estão entre os métodos químico, biológico, mecânico e cultural. No método químico, emprega-se o uso de iscas granuladas, segundo Zanetti (2003), as iscas mais comuns são compostas por fipronil, sulfluramida, deltametrina e fenitrothion, apresentando resultados econômicos e satisfatórios. Os tipos de combate mais comuns são os localizados e os sistemáticos. No primeiro caso, o combate é realizado aplicando iscas formicidas diretamente sobre os ninhos de formigas cortadeiras; e no segundo, ocorre a distribuição homogênea sobre a área total de interesse, independentemente da localização dos ninhos (ZANETTI et al., 2003).

Vale ressaltar que independentemente do método de aplicação, é relevante o seu monitoramento, para auxiliar nas tomadas de decisões, dando prioridade as áreas com maior índice de infestação, ou até mesmo detectar a localização dos ninhos e seus respectivos tamanhos. De acordo com Junqueira (2005) o monitoramento colabora para a racionalização do uso de isca formicida e na determinação de áreas prioritárias.

A aplicação sistemática pode ser realizada de forma manual ou mecanizada. A aplicação mecanizada apresenta algumas vantagens: possui maior capacidade operacional, menor custo de aplicação e menor risco de contaminação dos operadores ao se comparar com a forma manual (BONETTI FILHO, 2012). Para a aplicação mecanizada, tem-se disponível implementos que são acoplados em tratores que promovem a aplicação da isca formicida de acordo com o deslocamento da máquina em campo.

A operação de combate a formiga é uma operação de rotina para o setor florestal, assim, a mecanização deste processo é atrativa, ao passo que as empresas do setor florestal tendem a buscar maior competitividade com redução de custo em suas operações. As novas tecnologias de aplicação, podem proporcionar ganhos em rendimento da operação.

No setor agrícola grandes avanços tecnológicos já foram alcançados, como por exemplo a agricultura de precisão, que visa um manejo eficiente, levando em consideração a variabilidade espacial e temporal apresentada pelos campos de produção. Por isso, na área de desenvolvimento de equipamentos florestais, são encontrados equipamentos adaptados e/ou modificados que tinham como finalidade atender o setor agrícola.

Contudo, o setor florestal possui uma demanda por equipamentos mais precisos, com maior capacidade operacional que possuam tecnologia embarcada capaz de gerar dados e informações da operação, transformando suas operações em silvicultura de precisão. As novas tecnologias são consideradas disruptivas e inovadoras quando atendem o tripé da sustentabilidade, sendo economicamente viáveis, socialmente justas e ambientalmente corretas.

Um sistema embarcado consiste em uma combinação de *Hardware*, *Software* e componentes periféricos, desenvolvido para executar uma única função (SANTOS et al., 2018). O uso de um sistema embarcado para controle da aplicação de isca formicida de forma georreferenciada, levando em consideração a variabilidade espacial da área de cultivo, pode ser um avanço para o monitoramento do combate efetivo dos formigueiros pós-aplicação. Sistemas embarcados de baixo custo podem ser desenvolvidos para esta finalidade, possibilitando saber quanto de insumo foi gasto por unidade de área, e direcionar o seu uso para pontos específicos, conseqüentemente, contribuindo para a racionalização do uso de insumos químicos no campo ao adotar técnicas de manejo voltadas a Silvicultura de Precisão.

Diante dessas informações, fica evidente a carência de estudos voltados ao setor florestal e a necessidade de utilizar sistemas com maior precisão na aplicação de isca formicida. Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema embarcado de baixo custo utilizando microcontrolador de placa única para georreferenciamento de formigueiros em áreas de reflorestamento, gerar mapa de pontos georreferenciados por meio de dados obtidos pelo sistema desenvolvido e validar o sistema desenvolvido por meio de comparação com um receptor GNSS de precisão comercial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Mecanização Agrícola – LMA do Departamento de Engenharia Agrícola – DEA da Universidade Federal de Viçosa – UFV. Os testes operacionais do sistema foram realizados no *campus* da UFV, Viçosa, Minas Gerais. Os testes foram feitos na área experimental do LMA.

2.1 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA EMBARCADO DE BAIXO CUSTO

O sistema desenvolvido consiste em um equipamento eletrônico que utiliza sensores e atuadores controlados por uma placa que possui um microcontrolador. Foi utilizada a plataforma Arduino, que é um sistema de código livre (*Open Source*) e possui vários recursos de *Hardware* e *Software* (ARDUINO, 2020).

O *Hardware* utilizado, parte física da plataforma Arduino, foi o Arduino UNO. Uma placa que possui um microcontrolador *Atmega 328 P*, pinos para entrada de dados (INPUT) e saída de dados (OUTPUT), um cristal oscilador de 16 MHz, um regulador de tensão de 5 V DC, botão *reset*, *plug* de alimentação e um circuito eletrônico que interligam seus componentes.

A programação do Arduino foi realizada no ambiente de programação da própria plataforma (Interface de Desenvolvimento - IDE) com base na linguagem C/C++, onde foi criado o *Software* capaz de coletar, processar, armazenar os dados e atuar no controle da aplicação.

O georreferenciamento da operação foi realizado por meio de um módulo sensor GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) da empresa U-blox. O módulo GY-NEO 6M V2 é um GPS de navegação (receptor monofrequência), possui alimentação de 2,7 a 5 V DC, corrente de operação de 45 mA, comunicação serial, antena externa com cabo de 3 metros, bateria para *backup* de dados, taxa de comunicação de 9600 bps, temperatura de operação de -40 a 85 °C e precisão informada de 5 metros (U-BLOX, 2017).

Para armazenamento dos dados, foi utilizado um módulo de cartão de memória SD (*Secure Digital*) de memória não volátil, com alimentação de 3,3 a 5 V DC, comunicação SPI e formatação das informações FAT32 (32 bits).

A tensão de entrada no equipamento, foi regulada por um módulo regulador de tensão LM2596 (*Step Down*) que ajusta a tensão de saída para 1,5 a 35 V DC, independentemente da tensão de entrada que pode estar entre 3,2 a 40 V DC. Assim, o equipamento foi alimentado diretamente pela bateria 12 V DC do trator; o módulo regula a saída para 9 V DC e alimenta a placa única de circuito integrado. Este módulo possui uma velocidade de comutação de 150 kHz e reduz uma carga de até 3 A com eficiência de conversão de até 92%.

A trajetória do trator foi mensurada mediante uso de um sensor indutivo NPN de proximidade LJ12A3-4-Z/BX que detecta proximidade de materiais ferrosos com distância de detecção de 4 mm e saída normalmente aberta por um transistor NPN. Este sensor possui alimentação de 6 a 36 V DC, corrente de operação de 300 mA e possui três fios, sendo um fio de saída de sinal e os outros dois de alimentação. Ele foi instalado na roda traseira esquerda do trator, medindo o sinal de 46 pulsos por giro completo de uma chapa circular dentada, sendo proporcional ao giro da roda do trator.

Para o acionamento de implementos, foi utilizado um módulo opto acoplador TLP281-4 que isola o circuito da placa de controle para a placa de acionamento. A placa de acionamento utilizada foi um módulo temporizador digital com uma interface programável que controla um relé de acionamento.

Para interligar todos estes componentes, foi utilizada uma placa ilhada de prototipagem de dimensão 10 x 10 cm, cabos e fios soldados e resistores elétricos de resistência variada. O sistema também possui dois botões (*push button*), um tem finalidade de parar o armazenamento de dados e, o outro, georreferenciar um ponto específico e armazenar as coordenadas. Para proteção do sistema de acionamento, foi alocado um porta fusível BLX-2 com um fusível de 10 A.

Todos estes componentes foram fixados de forma planejada para formarem uma única placa, alocada dentro de uma caixa impermeável de PVC com dimensões de 15x15x6 cm. Os cabos de entrada de energia, entrada de sinal do sensor indutivo e saída de acionamento do implemento para aplicação de iscas formicidas foram conectados por *plugs* de conexão rápida acoplados na face lateral da caixa do equipamento. Assim, o sistema embarcado possui dimensões reduzidas, tornando-o compacto e robusto para suportar as condições adversas das operações em campo.

O equipamento foi desenvolvido em duas etapas, sendo que, na primeira etapa realizou-se a montagem dos componentes eletrônicos de aquisição e armazenamento de dados (Módulo GNSS e Módulo SD) conectados ao circuito do microcontrolador

presente na placa Arduino. Na segunda etapa, realizou-se a montagem dos componentes de controle de implementos que proporcionam a aplicação de iscas formicidas em campo. O equipamento foi instalado no trator, disposto em uma plataforma fixa ao chassi da cabine do trator, conectado a um cabo de alimentação diretamente na bateria do trator e ao sensor indutivo na roda do trator. Foram realizados três testes em campo para coletar os dados de cada estaca georreferenciada. Na Figura 1 pode-se visualizar o trator em operação e algumas das estacas de marcação evidenciadas por setas.

Figura 1 – Imagem da coleta de dados dos pontos georreferenciado com o sistema desenvolvido



Fonte: Igor Rodrigues Quintão (Autor).

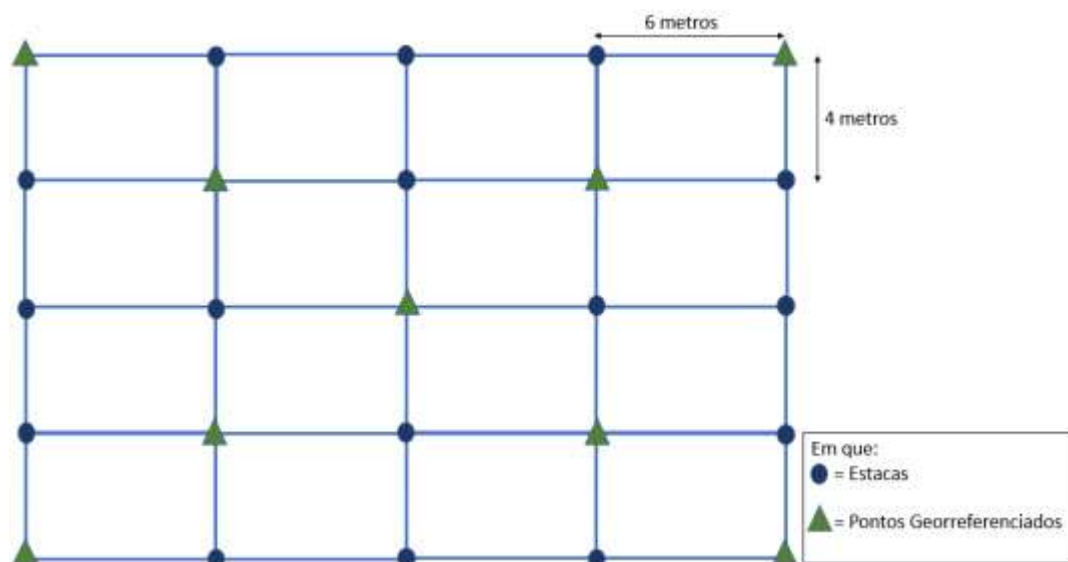
2.2 GERAÇÃO DE MAPAS POR MEIO DOS DADOS COLETADOS COM O SISTEMA DESENVOLVIDO

Para tornar possível o estudo e análise do funcionamento do módulo sensor GNSS presente no sistema, as coordenadas geográficas foram armazenadas na seguinte ordem: longitude, latitude e altitude. O sistema coleta uma coordenada geográfica por segundo durante toda a operação. Com base nas coordenadas salvas em arquivo de texto, foi realizado um processamento desses dados atribuindo-os em um arquivo KML (*Keyhole Markup Language*) que usam XML para expressar visualizações geográficas, como pontos, linhas, polígonos e formas tridimensionais. Assim, foi utilizado o *Software* Google Earth para processar as coordenadas de pontos e de percurso de operação, de forma automática para pós-processamento.

2.3 VALIDAÇÃO DO SISTEMA DESENVOLVIDO POR MEIO DE TESTES EM CAMPO

A validação do sistema desenvolvido ocorreu por meio da comparação entre os dados coletados pelo sistema em operação de campo e os dados coletados por um receptor GNSS de precisão (30 cm após correção) da empresa Trimble, na mesma área e nas mesmas posições de referência. Para preparar a área de teste, foi demarcado um *grid* de pontos na área experimental. Este *grid* foi composto por 25 estacas espaçadas de 6 x 4 metros, totalizando uma área de 384 m² em formato retangular (Esquema 1) nove pontos de referência para coleta de dados. O espaçamento adotado é semelhante ao utilizado por empresas florestais para aplicação de isca formicida em áreas de reflorestamento. O sistema embarcado coletou os dados da trajetória durante todo o percurso.

Esquema 1 - *Grid* de amostragem e pontos georreferenciados para validação



Fonte: Igor Rodrigues Quintão (Autor).

A área experimental foi preparada realizando uma gradagem para retirada do excesso de material vegetal. Após essa preparação, foi realizada a alocação das estacas nos pontos georreferenciados como descrito no Esquema 1. Assim, realizou-se a coleta dos dados com o receptor GNSS de precisão (Figura 2), que possui uma antena receptora acoplada a uma mochila.

Figura 2 – Imagem da coleta de dados dos pontos georreferenciado com o receptor GNSS de precisão



Fonte: Igor Rodrigues Quintão (Autor).

O teste em campo foi realizado com um trator John Deere 5705 acoplado com o sistema embarcado desenvolvido. Quando o trator passou sobre os pontos específicos, definidos como estacas georreferenciadas, o operador acionou o botão de reconhecimento disposto na face frontal do sistema desenvolvido, identificando-os como “formigueiros”. Dessa forma, essas coordenadas foram armazenadas no cartão de memória de forma diferenciada das demais coordenadas de trajetória.

Com o receptor GNSS de precisão, também foi coletado as coordenadas dos pontos específicos, porém este processo foi realizado de forma estacionária sobre as estacas georreferenciadas. Por meio do receptor GNSS de precisão foram coletadas as coordenadas de todo o trajeto definido como percurso de operação de forma não tratorizada

Após o teste de campo, todos os dados foram processados e analisados usando o *Software QGIS*, que é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código livre e aberto (QGIS *Development Team*, 2016). Os dados obtidos pelo sistema desenvolvido foram comparados com os dados coletados pelo receptor GNSS de precisão por meio do cálculo do erro absoluto, precisão e acurácia.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a coleta de dados, em algumas posições dos três testes, ocorreram erros e alguns pontos não foram georreferenciados. Uma hipótese é que estes erros podem ser atribuídos ao *software* desenvolvido para o sistema embarcado. Pois, para coleta de dados com o acionamento do botão de georreferenciamento de formigueiro, não foi programada uma interrupção externa no código principal e, com isso, no momento em que o botão era acionado, o sistema poderia estar executando uma outra tarefa e não ter reconhecido que o botão estava sendo acionado naquele momento. No Teste 3 foi coletado dois pontos na posição 1 (Posição 1.1) e na posição 8 (Posição 8.8), isso ocorreu por conta de um duplo clique de acionamento do botão de georreferenciamento de formigueiros e produziu o segundo dado em cada uma dessas posições. Os resultados obtidos com o sistema desenvolvido, em cada teste de campo, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Coordenadas UTM coletadas com o sistema desenvolvido nos três testes realizados

| Posição | Teste 1 | | Teste 2 | | Teste 3 | |
|------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| | X UTM | Y UTM | X UTM | Y UTM | X UTM | Y UTM |
| 1 | 721455.013 | 7701382.435 | 721450.662 | 7701384.264 | 721452.607 | 7701381.691 |
| 1.1 | - | - | - | - | 721451.355 | 7701381.486 |
| 2 | 721427.109 | 7701375.271 | - | - | 721425.859 | 7701375.288 |
| 3 | - | - | 721434.598 | 7701374.508 | 721432.194 | 7701373.875 |
| 4 | - | - | - | - | 721446.197 | 7701377.346 |
| 5 | - | - | 721441.361 | 7701373.976 | - | - |
| 6 | 721436.482 | 7701367.285 | - | - | - | - |
| 7 | 721448.077 | 7701369.901 | 721448.815 | 7701370.556 | 721448.497 | 7701370.117 |
| 8 | 721455.98 | 7701368.911 | 721455.567 | 7701369.138 | 721455.559 | 7701368.584 |
| 8.8 | - | - | - | - | 721454.825 | 7701368.151 |
| 9 | 721426.922 | 7701361.098 | 721428.919 | 7701362.512 | - | - |

Posição - identificação do ponto; X e Y- coordenadas em UTM (Universal Transversa de Mercator).

Fonte: Igor Rodrigues Quintão (Autor).

Os resultados obtidos com o receptor GNSS de precisão (Trimble) geraram os pontos georreferenciados expressos na Tabela 2.

Tabela 2 - Coordenadas UTM coletadas com o receptor GNSS de precisão

| Posição | X UTM | Y UTM |
|----------------|--------------|--------------|
| 1 | 721453.106 | 7701384.347 |
| 2 | 721425.825 | 7701377.203 |
| 3 | 721434.073 | 7701374.77 |
| 4 | 721446.431 | 7701377.687 |
| 5 | 721441.104 | 7701372.362 |
| 6 | 721436.469 | 7701367.237 |
| 7 | 721448.5 | 7701370.118 |
| 8 | 721456.541 | 7701367.191 |
| 9 | 721428.874 | 7701360.401 |

Posição - identificação do ponto; X e Y- coordenadas em UTM (Universal Transversa de Mercator).

Fonte: Igor Rodrigues Quintão (Autor).

A partir dos dados coletados nos três testes, foi calculado a média dos pontos obtidos para as coordenadas X e Y em cada posição. Assim, gerou-se um ponto médio representativo para cada estaca georreferenciada com o sistema desenvolvido (Tabela 1).

Tabela 1 – Coordenadas UTM dos pontos médios calculados

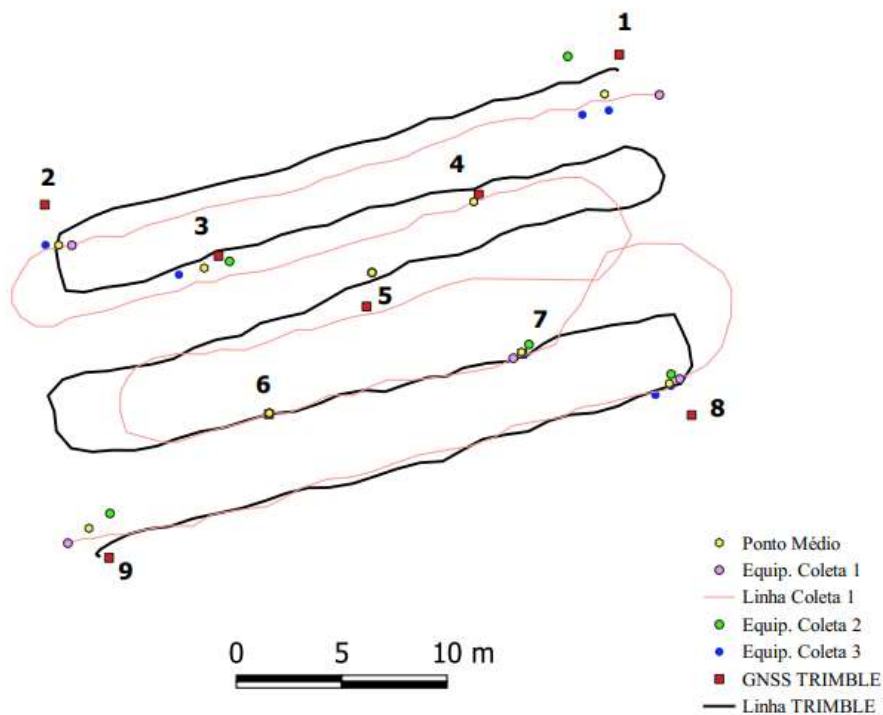
| Posição | X UTM | Y UTM |
|----------------|--------------|--------------|
| 1 | 721452.4093 | 7701382.469 |
| 2 | 721426.484 | 7701375.28 |
| 3 | 721433.396 | 7701374.192 |
| 4 | 721446.197 | 7701377.346 |
| 5 | 721441.361 | 7701373.976 |
| 6 | 721436.482 | 7701367.285 |
| 7 | 721448.463 | 7701370.191 |
| 8 | 721455.4828 | 7701368.696 |
| 9 | 721427.9205 | 7701361.805 |

Posição - identificação do ponto; X e Y- coordenadas em UTM (Universal Transversa de Mercator).

Fonte: Igor Rodrigues Quintão (Autor).

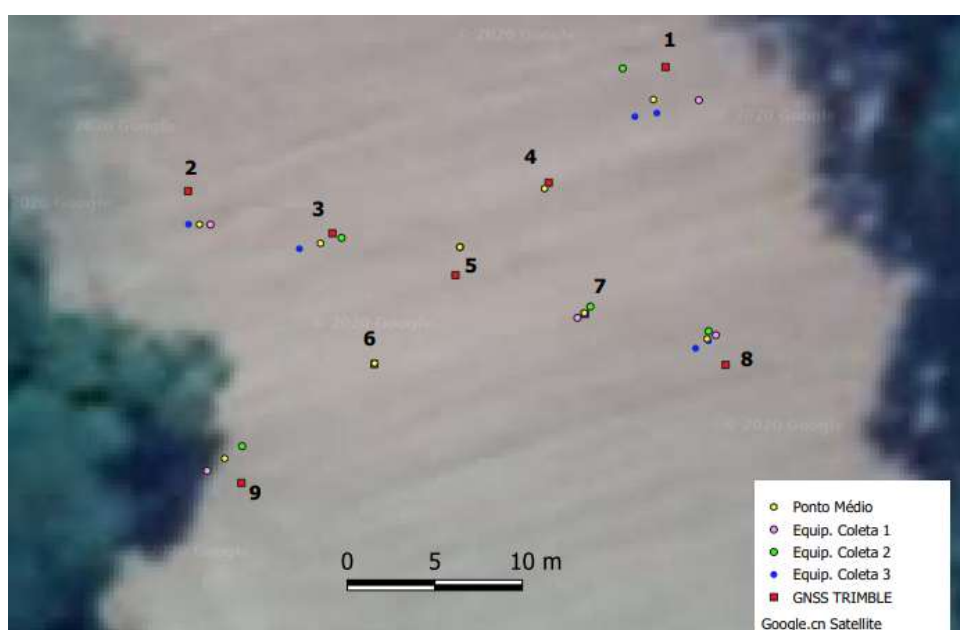
A partir dos dados coletados com o receptor GNSS de precisão e com o sistema embarcado desenvolvido, foram gerados mapas no *software* QGIS (Mapas 1 e 2).

Mapa 1 - Mapa de pontos coletados com o receptor GNSS de precisão, sistema desenvolvido, pontos médios calculados, trajetória da coleta de dados 1 e trajetória obtida com o receptor GNSS de precisão



Fonte: Igor Rodrigues Quintão (Autor)

Mapa 2 - Mapa com imagem de satélite dos pontos coletados por receptor GNSS de precisão, sistema desenvolvido e pontos médios calculados



Fonte: Igor Rodrigues Quintão (Autor).

O erro absoluto dos pontos médios foi calculado em comparação com os pontos coletados pelo receptor GNSS de precisão. Além disso, foram calculadas as distâncias entre os pontos em cada posição (Tabela 2).

Tabela 2 - Erros absolutos e distâncias entre os pontos

| Posição | Δx (m) | Δy (m) | Distância |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| 1 | 0.697 | 1.878 | 2.0031 |
| 2 | 0.659 | 1.923 | 2.0333 |
| 3 | 0.677 | 0.578 | 0.8905 |
| 4 | 0.234 | 0.341 | 0.4136 |
| 5 | 0.257 | 1.614 | 1.6343 |
| 6 | 0.013 | 0.048 | 0.0497 |
| 7 | 0.037 | 0.073 | 0.0821 |
| 8 | 1.058 | 1.505 | 1.8398 |
| 9 | 0.953 | 1.404 | 1.6972 |
| Média | 0.509 | 1.041 | 1.183 |
| Variância | 0.149 | 0.598 | 0.684 |
| Desvio Padrão | 0.386 | 0.773 | 0.827 |
| Coef. de Variação (CV) | 0.758 | 0.743 | 0.699 |

Posição - identificação do ponto; Δx – erro absoluto na coordenada X; Δy – erro absoluto na coordena Y.

Fonte: Igor Rodrigues Quintão (Autor).

Com base nos valores da Tabela 2, pode-se observar que os maiores erros absolutos nas coordenadas X e Y foram 1,058 m e 1,878 m, respectivamente. A maior distância entre o ponto georreferenciado pelo sistema desenvolvido e pelo receptor GNSS de precisão foi de 2,033 m, na posição 2. Para analisar a dispersão dos dados, foi calculado o coeficiente de variação (CV) que ficou próximo de 76% para as coordenadas e 70% para as distâncias. Os valores encontrados de CV indicam que os dados não estão próximos de sua média e isso implica que existe uma alta dispersão dos dados em torno da média das posições.

A proximidade entre valores obtidos experimentalmente com o sistema desenvolvido e o valor de referência (receptor GNSS de precisão) foi encontrada apenas em algumas posições, mostrando não ter acurácia em todas as posições de coleta. Essa falta de acurácia pode ser explicada levando em consideração as adversidades da coleta dos dados utilizando o sistema desenvolvido, visto que, os dados foram coletados em

movimento com uma velocidade média de 3 km/h, simulando uma operação de campo. Já com o receptor GNSS de precisão, os dados foram coletados de forma estática e pontual sobre as estacas georreferenciadas.

A antena do módulo sensor GNSS do sistema desenvolvido estava localizada na parte superior da cabine do trator de forma descentralizada para o lado direito, isso fez com que os dados coletados na passada do trator pelo lado direito dos pontos georreferenciados tivessem maior precisão, ocorrendo nas posições 6 e 7. Assim, espera-se que em testes futuros o sistema desenvolvido seja comparado nas mesmas condições que o sistema adotado como referência e obtenha valores com baixa dispersão em torno da média.

O receptor GNSS da empresa Trimble possui precisão de 30 cm após correção dos dados pelo *software* do receptor, já o módulo sensor GNSS de navegação da empresa U-blox possui precisão de 5 m (valores informados pelos fabricantes). Os valores obtidos pelo sistema embarcado ao se comparar com o receptor GNSS da empresa Trimble mostraram ter maior precisão do que informado pela fabricante U-blox, sendo um valor de precisão similar aos encontrados por outros receptores GNSS (GPS) comerciais e largamente utilizados em pesquisas. Assim, o sistema desenvolvido se mostrou ter uma precisão aceitável diante das adversidades impostas na coleta dos dados.

Em estudos realizados por Reis et al. (2015) os autores concluíram que o espaçamento de aplicação sistemática de isca formicida granulada que proporcionou maior capacidade operacional foi de 12 x 2,5 metros. Assim, os valores das distâncias encontram-se dentro dos espaçamentos mínimos de aplicação de isca formicida granulada adotados como parâmetro de área de carregamento das iscas pelas formigas cortadeiras.

Por meio do Mapa 1, percebe-se que os pontos da coleta de dados 1 correspondem exatamente à trajetória realizada pelo trator, representado pela linha Equip. Coleta 1 evidenciada na legenda. Isso comprova que cada ponto coletado com o acionamento do botão de georreferenciamento de formigueiros será uma coordenada presente na trajetória de operação. As diferenças nas linhas plotadas com os dados do receptor GNSS de precisão e com o sistema desenvolvido já eram esperadas e, podem ser explicadas pelo fato de que a trajetória realizada com o receptor GNSS de precisão foi feita percorrendo o caminho delimitado pelas estacas de forma não tratorizada. Percebe-se que ao longo do trajeto os dados tendem a se aproximar e terem uma menor

diferença, podendo ser atribuído ao recebimento de sinal de melhor qualidade com a obtenção de sinais de uma quantidade maior de satélites ao longo do tempo de operação.

Esperava-se que os pontos coletados fossem mais dispersos na posição mais próxima da vegetação arbórea, porém, a maior dispersão foi encontrada na posição de início do percurso. Isso pode ter ocorrido devido a ser o primeiro ponto coletado com o sistema, não respeitando o tempo necessário para aquisição dos dados de todos os satélites disponíveis. Este problema poderá ser resolvido com um tempo de espera para início da operação utilizando essa versão de sistema embarcado ou aperfeiçoando esta versão para uma que tenha um mecanismo programado no *software* que sinalize a obtenção de um menor desvio padrão dos dados para início da operação.

A infestação de formigas pode ser expressa de duas formas, tanto por densidade de ninhos (números/hectare), quanto por área total dos ninhos (m^2/ha) que equivale a densidade (números de ninhos) vezes tamanho médio dos ninhos. Porém, quando há um número grande de ninhos pequenos, o método de área de formigueiros por hectare pode não caracterizar o real índice de infestação em cada hectare (IPEF, 2016). O sistema desenvolvido se mostrou capaz de coletar a quantidade de formigueiros e suas localizações, sendo útil para geração de mapas da distribuição espacial e densidade de ninhos de formigas (números/hectare).

O custo médio para operação de combate a formiga de forma mecanizada com aplicação sistemática é de aproximadamente R\$ 56,86 por hectare (REIS, 2009). Com o uso do sistema embarcado, o custo inicial desta operação poderá ser maior por conta do custo de aquisição do sistema. Porém, o sistema embarcado desenvolvido é de baixo custo de fabricação e, após a primeira operação utilizando o sistema tem-se dados da distribuição espacial dos formigueiros e suas quantidades. Com estes dados coletados pelo sistema, pode-se gerar mapas de densidade de formigueiros por hectare e determinar qual talhão é necessário ter maior atenção. Assim, pode-se, também, categorizar as áreas quanto ao nível de infestação com base em índices de infestação e separar as áreas em três categorias (Normal, Alerta e Combate).

Com base em índices de infestação, pode-se planejar o uso da isca formicida, dosagens adequadas para atender cada categoria e gerar prescrição à taxa variada para a área de reflorestamento. Ter essa base de informações pode melhorar a qualidade da aplicação, reduzir custos e gerar ganhos com a minimização dos danos causados pelas formigas cortadeiras. Então, o uso deste sistema embarcado desenvolvido irá empregar a Silvicultura de Precisão em uma operação de rotina do setor florestal.

4 CONCLUSÃO

- O sistema embarcado desenvolvido se mostrou ser uma ferramenta alternativa para controle e aplicação de isca formicida granulada;
- O sistema embarcado desenvolvido apresentou ser eficaz em coletar e armazenar pontos georreferenciados de formigueiro, aplicando a Silvicultura de Precisão;
- Para fins práticos e comerciais, o sistema desenvolvido deve ser testado em áreas de cultivos florestais, visando aperfeiçoá-lo e índices de infestação com base nos mapas de localização dos formigueiros.

5 REFERÊNCIAS

ARDUINO. Arduino home page. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2020.

BONETTI FILHO, R.Z. **A aplicação mecanizada de iscas**, 2012. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br/conteudo.php?id=8093>>. Acesso em: 12 de outubro de 2020.

IPEF. **Derrogação para o uso de Deltrametrina, Fenitrothion, Fipronil e Sulfluramida em florestas certificadas FSC® no Brasil.** Documentos Técnicos IPEF, v.4, n.4, p.16, fev. 2016.

JUNQUEIRA, L.R. **Tecnologia da informação se torna forte aliada no combate às formigas cortadeiras - Na prática.** Revista Referência Florestal, v.17, n. 166, ago de 2015.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. **Open Source Geospatial Foundation Project**, 2016. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.

REIS, M. A. **Avaliação e aperfeiçoamento de programas de manejo de formigas cortadeiras (Hymenoptera: Formicidae) em eucaliptais.** Tese (Doutorado), Universidade Federal de Lavras, 2009. Orientador: Ronald Zanetti Bonetti Filho.

REIS, M. de A. et al. **Aplicação sistemática mecanizada de isca formicida granulada em eucaliptais em fase de manutenção.** Cerne, v. 21, n. 3, p. 423–428, 2015.

SANTOS, D. D. C. et al. **Uso De Linguagem C++ Em Computador Embarcado De Alta Capacidade Para Eficientização Energética Em Tratores.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 17, n. 2, p. 340, 2018.

U-BLOX. **NEO-6 u-blox GPS Modules.** www.u-blox.com, p. 25, 2017. Disponível em: <[https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf)>. Acesso em: 7 de setembro de 2020.

ZANETTI, R. et al. **Combate sistemático de formigas-cortadeiras com iscas granuladas, em eucaliptais com cultivo mínimo.** Revista Árvore, v. 27, n. 3, p. 387–392, 2003.