

AGRICULTURA DE PRECISÃO



**DIRECIONAMENTO
AUTOMÁTICO DE
MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

SISTEMA FAEP



**CRISTIANO ZERBATO
RAFAEL DE GRAAF CORRÊA
CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI**

**AGRICULTURA DE PRECISÃO –
DIRECIONAMENTO AUTOMÁTICO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS**

**CURITIBA
SENAR AR/PR
2020**

Depósito legal na CENAGRI, conforma Portaria Interministerial n. 164, data de 22 de julho de 1994, e junto a Fundação Biblioteca Nacional e SENAR AR/PR.I

Autor: Cristiano Zerbato, Rafael de Graaf Corrêa e Carlos Eduardo Angeli Furlani

Coordenação técnica: Ricardo Dambrós CREA/PR 158527/D

Coordenação metodológica: Tatiana de Albuquerque Montefusco

Normalização: Rita de Cássia Teixeira Gusso CRB9./647

Revisão ortográfica: Sincronia Design

Coordenação gráfica: Carlos Manoel Machado Guimarães Filho

Ilustrações: Sincronia Design

Diagramação: Sincronia Design

Catálogo no Centro de Editoração, Documentação
e Informação Técnica do SENAR AR/PR.

Zerbato, Cristiano ; Corrêa, Rafael de Graaf ;
Furlani, Carlos Eduardo Angeli.

Z58

Agricultura de precisão : direcionamento automático
de máquinas agrícolas / Cristiano Zerbato ;
Rafael de Graaf Corrêa ; Carlos Eduardo Angeli
Furlani – Curitiba : SENAR AR-PR., 2020. -
p.

ISBN: 978-65-991284-0-0

1. Agricultura de precisão. 2. Máquinas agrícolas.
3. Agricultura. I. Corrêa, Rafael de Graaf. II. Furlani,
Carlos Eduardo Angeli. III. Título.

CDD630

CDU63

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, por qualquer meio, sem a
autorização do editor.

IMPRESSO NO BRASIL – DISTRIBUIÇÃO GRATUITA



APRESENTAÇÃO

O Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – SENAR, é uma instituição prevista na Constituição Federal e criada pela Lei nº 8.315, de 23/12/1991. Tem como objetivo a formação profissional e a promoção social do homem do campo para que ele melhore o resultado do seu trabalho e, com isso, aumente a sua renda e a sua condição social.

No Paraná, o SENAR é administrado pela Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP) e vem respondendo por amplo e diversificado programa de treinamento.

Todos os cursos ministrados por intermédio do SENAR são coordenados pelos Sindicatos Rurais e contam com a colaboração de outras instituições governamentais e particulares, prefeituras municipais, cooperativas e empresas privadas.

O material didático de cada curso disponibilizado pelo SENAR é preparado de forma criteriosa e exclusiva para seu público-alvo, a exemplo deste manual. O objetivo é garantir que os benefícios dos treinamentos se consolidem e se estendam. Afinal, quanto maior o número de trabalhadores e produtores rurais qualificados, melhor será o resultado para a economia e para a sociedade em geral.

SUMÁRIO

1. AGRICULTURA DE PRECISÃO	9
2. DEFINIÇÕES BÁSICAS EM AGRICULTURA DE PRECISÃO	17
2.1 GEOMÁTICA.....	17
2.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	17
2.3 SISTEMAS DE COORDENADAS.....	18
2.4 REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA E <i>DATUM</i>	21
3. SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GLOBAL POR SATÉLITE (GNSS)	23
3.1 COMPONENTES DO GNSS	26
3.2 ERROS DO SISTEMA DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE	30
3.2.1 Relógio dos satélites.....	30
3.2.2 Relógio do receptor.....	30
3.2.3 Erro de órbita dos satélites	31
3.2.4 Erro de reflexão.....	31
3.2.5 Cintilação Ionosférica.....	32
3.2.6 Geometria dos satélites	34
3.3 CORREÇÕES DE SINAL GNSS.....	36
3.3.1 DGPS	36
3.3.2 Sinais pagos.....	38
3.3.3 RTK.....	38
4. DIRECIONAMENTO AUTOMÁTICO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS	43
4.1 BARRA DE LUZES	43
4.1.1 Constituintes do sistema de barra de luzes	45
4.1.2 Vantagens	47
4.1.3 Desvantagens	47
4.2 PILOTO AUTOMÁTICO ELÉTRICO	48
4.2.1 Constituintes	49
4.2.2 Vantagens	51
4.2.3 Desvantagens	51
4.3 PILOTO AUTOMÁTICO HIDRÁULICO	51
4.3.1 Constituintes	52
4.3.2 Vantagens	53
4.3.3 Desvantagens	53
5. PROJETOS DE ALINHAMENTO	55
5.1 CRIAÇÃO DE PROJETOS DE ALINHAMENTO.....	55
5.2 RETA AB.....	56
5.3 CURVA AB.....	57

5.4 PIVÔ.....	58
6. CONTROLE DE TRÁFEGO.....	61
7. GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO.....	65
7.1 INICIALIZAÇÃO DO SISTEMA.....	65
7.2 CONFIGURAÇÃO DOS IMPLEMENTOS.....	66
7.3 INICIAR UM NOVO TRABALHO.....	68
7.4 TELA DE OPERAÇÃO.....	68
7.5 CARREGANDO E EXTRAINDO ARQUIVOS.....	70
7.6 MAPA DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA.....	71
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73

INTRODUÇÃO

Segundo dados da ONU (2012), em 2050 a população mundial será superior a 9,5 bilhões. A projeção é de que o crescimento maior seja nos países em desenvolvimento: 70% da população será urbana e os níveis de renda serão maiores do que os atuais. Para alimentar essa população, a produção de alimentos deverá aumentar substancialmente. Para tal, a produção de alimentos no mundo deverá ser otimizada, ou seja, será necessário produzir mais com menos insumos e sem um aumento substancial de áreas agricultáveis.

Como fazer isso?

Sabemos que investimentos em pesquisa e desenvolvimento dos setores agrícolas no Brasil são essenciais para o aumento da produtividade no campo. Alguns exemplos são o melhoramento genético de plantas, formulações de novas moléculas para proteção de plantas, fertilizantes mais responsivos e máquinas com maior tecnologia embarcada.

Chegamos à era da Agricultura Digital ou Agricultura 4.0. Ela engloba tecnologias que vão desde a automação no campo para produção, até a troca de dados entre implementos e os centros de operação, também chamados de Centros de Inteligência Agrícola (CIA). Essas transformações têm relação com a Quarta Revolução Industrial marcada pela convergência de tecnologias físicas, biológicas e digitais como a Internet das Coisas – IoT (conexão entre objetos e a rede com o intuito de coletar e transmitir dados) e Computação em Nuvem (uso da memória computacional, armazenamento e cálculos via objetos interligados pela internet).

O que esperar das máquinas modernas?

O ponto chave para o desenvolvimento agrícola está no gerenciamento da variabilidade existente nos campos agrícolas, o que nada mais é que a Agricultura de Precisão (AP). Nos últimos tempos vêm surgindo tecnologias que nos ajudam a obter dados do nosso campo de produção, mas de nada adianta a coleta de dados sem a análise e a geração de informações úteis que ajudam o produtor rural a tomar decisões mais assertivas. A partir do momento que se identifica o problema e os locais onde esse problema ocorre é que entra a intervenção, que nada mais é do que a ação das máquinas no campo.

Aplicações de adubos e corretivos à taxa variada, aplicações de defensivos agrícolas somente onde o problema ocorre e o direcionamento automático das máquinas agrícolas, permitindo precisão entre as passadas dos conjuntos mecanizados, são alguns exemplos do que se espera das máquinas atuais, as quais não substituem os técnicos de campo, mas sim, a partir de suas tomadas de decisão, tornam as operações mais exatas, visando principalmente à diminuição de custos e ao aumento da produtividade.

1. AGRICULTURA DE PRECISÃO

Com o crescimento da demanda por alimentos e energia, os produtores rurais precisam de técnicas que os auxiliem a atingirem as metas sustentáveis de produção impostas pelo mercado consumidor e pelo Estado. Entre essas técnicas pode-se destacar a agricultura de precisão (AP). Mas o que é agricultura de precisão?

Desde os primórdios da agricultura sabe-se que cada porção do talhão ou cada planta tem suas particularidades e requerem tratamentos específicos para extrair o máximo de eficiência do processo produtivo. No período em que a agricultura era praticada em pequena escala e possuía mão de obra em abundância, o grande número de envolvidos no setor primário de produção (agricultura) permitia que cada trabalhador conhecesse as características da área pelo qual ele era responsável, que até então era pequena, e, assim, efetuasse intervenções com base nessas características, extraindo o máximo de eficiência com os recursos tecnológicos então disponíveis. Pode-se dizer, de certa forma, que mesmo inconscientemente os agricultores já realizavam uma espécie de agricultura de precisão "primitiva".

No entanto, ao surgirem as máquinas agrícolas que reduziram a demanda de mão de obra, as pessoas migraram para as cidades e passaram a desenvolver atividades não agrícolas e, com isso, a quantidade de terra sob responsabilidade de um único agricultor aumentou exponencialmente, impedindo que ele fosse capaz de conhecer e manejar as particularidades de sua lavoura, passando, assim, a tratá-la de forma homogênea, substituindo a eficiência pela escalabilidade da produção. Não se pode dizer que essa atitude foi correta, mas com a tecnologia disponível naquele momento, essa era a única maneira de suprir a demanda alimentícia.

Com a evolução tecnocientífica, a comunidade agrícola voltou a se preocupar com a eficiência do processo de produção no setor primário, visando reduzir custos, preservar o meio-ambiente e entregar produtos de qualidade para o consumidor com preços acessíveis, ou seja, passou-se a falar em agricultura sustentável. Para atingir essa meta, surgiu, então, a agricultura de precisão.

A agricultura de precisão apareceu primeiramente nos Estados Unidos por volta de 1929, quando alguns fundamentos teóricos sobre esse assunto já eram mencionados. No entanto, a escassez de tecnologia presente naquela época tornava a aplicação prática dessa técnica insustentável. Na década de 1980, com a chegada de sistemas de posicionamento por satélites para uso civil, sistemas de informações geográficas e o início da era da computação, a AP passou a se difundir na América do Norte e seu sucesso fez com que ela ganhasse notoriedade em outros países, como Alemanha, Argentina, Austrália e Inglaterra.

Um fator de suma importância para a agricultura de precisão foi a disponibilização do *Global Navigation Satellite System* (GNSS) para uso civil no início da década de 1990. Por meio da liberação do sinal da constelação *Global Positioning System* (GPS) foi possível obter uma localização (ainda que com acurácia limitada) em qualquer lugar do globo terrestre. A partir desta década, teve início no Brasil a implantação, pesquisa e difusão de técnicas de agricultura de precisão, primeiramente com a importação de colhedoras com sensores de produtividade na cultura de grãos. Na próxima década, surgiram os primeiros aplicadores de fertilizantes a taxa variada, que até então eram importados, mas que logo passaram a ser produzidos por fabricantes nacionais. (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Um acontecimento marcante para que a AP passasse efetivamente a existir foi a liberação da frequência do sinal da constelação GPS pelo governo norte-americano nos anos 2000, pois até então somente o departamento de defesa dos Estados Unidos detinha tal tecnologia, que era usada com objetivos militares. Até esse momento, o sinal da constelação GPS era degradado intencionalmente para o uso civil para impedir que pessoas comuns e, principalmente, outras nações pudessem se apoderar da capacidade de geolocalização com finalidades bélicas, o que, conseqüentemente, causava erros de acurácia que inviabilizavam seu uso na agricultura. Porém, com a degradação intencional do sinal encerrada pelo governo norte-americano, a localização mais acurada e o uso dos receptores de navegação se difundiram na agricultura. (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Todos esses fatos históricos culminaram no grande avanço da AP no Brasil, surgindo as primeiras publicações sobre o assunto, tanto comerciais quanto científicas. Neste momento, as barras de luzes que inicialmente eram usadas em aviação agrícola passaram a ser utilizadas em veículos terrestres agrícolas, principalmente em pulverizadores automotrizes, facilitando a orientação do operador no trajeto a ser percorrido pela máquina em operação. Posteriormente, surgiram os sistemas de direcionamento automático que, como objeto principal do curso, serão detalhados ao longo deste material.

Assim, estabeleceu-se a utilização da AP no Brasil, principalmente em duas vertentes iniciais: uso de sistemas de direcionamento automático e aplicação de adubos e corretivos a taxa variada, por meio de amostragens georreferenciadas de solo. (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Neste sentido, um estudo de entrevistas com produtores de diversas regiões do País, principalmente de soja e milho, que participam da tomada de decisão de compra de máquinas e implementos agrícolas, mostrou que 79% afirmam fazer mapeamento para fins do manejo da fertilidade do solo, e 60% utilizam sistemas de direcionamento automático em suas operações agrícolas. Neste mesmo estudo, os entrevistados afirmam que as finalidades em adotar a AP em suas propriedades agrícolas se resumem na expectativa de aumentos de produtividade e redução do custo de produção. (MOLIN, 2017).

O que pode ser definido como agricultura de precisão?

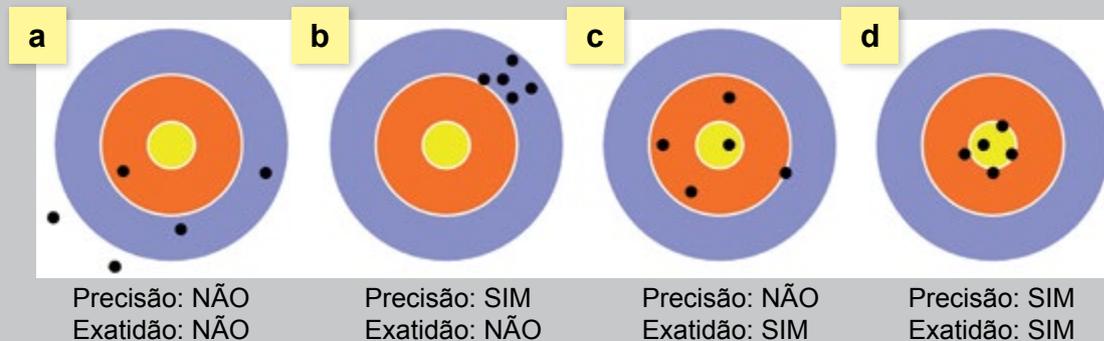
Com o início das pesquisas, começaram a surgir definições de quais seriam os conceitos de agricultura de precisão na perspectiva de alguns autores. Essas definições são válidas até os dias atuais.

O termo agricultura de precisão surgiu no Brasil por volta da década de 1990 e tem sido contestado, pois a palavra precisão refere-se à proximidade entre os valores observados, como acontece nas Figura 1b e Figura 1d, porém, por mais que os valores observados sejam precisos (variem pouco entre si), eles também precisam estar corretos, ou seja, devem representar fielmente a realidade (Figura 1d). Por exemplo, se estivermos coletando um dado de uma planta e o sensor utilizado estiver descalibrado, mesmo coletando medidas precisas, elas podem não estar corretas, ou seja, não serem exatas. Portanto, além da precisão das amostragens, o equipamento deve estar em perfeito funcionamento e calibração para coletar dados exatos, o que acontece quando acertamos o alvo na Figura 1d. Se esses dados não forem exatos, podemos tomar alguma medida equivocada na análise dos resultados e na tomada de decisões.

A Figura 1a demonstra um caso extremo e indesejável: não há nem precisão e nem exatidão, e a Figura 1c demonstra uma coleta de dados exata, porque atinge o alvo, porém sem precisão, composta por amostras com valores muito variados e dispersos, o que aumenta a variação, o erro e as incertezas das amostragens, a desqualificando.

Por fim, surge o termo acurácia, o qual é a junção da precisão e da exatidão, sendo o mais desejado em amostragens e atividades de agricultura de precisão.

Figura 1 – Precisão e Exatidão.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

Com relação aos conceitos e definições, há diversos criados por vários autores. Apesar de terem sido escritos de forma diferente, têm o mesmo significado.

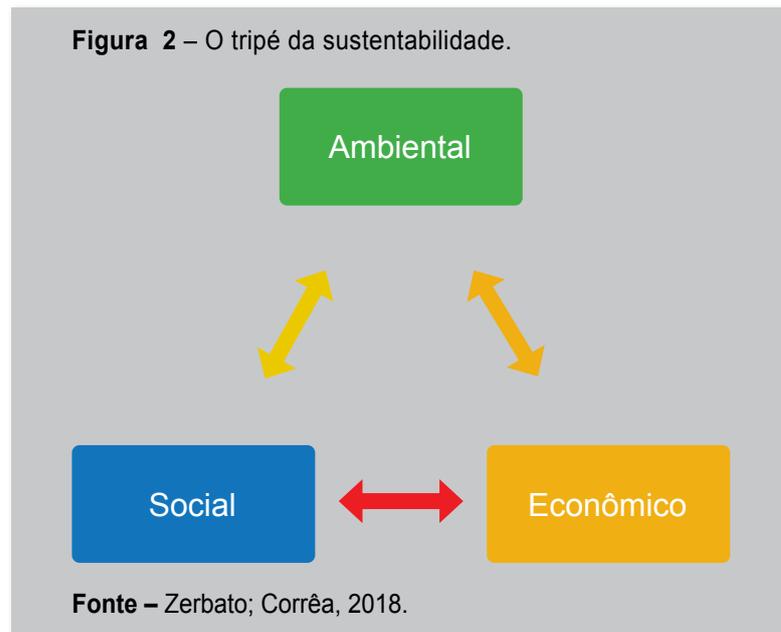
Segundo Batchelor, Whigham e Dewitt “a agricultura de precisão é uma filosofia de manejo da fazenda na qual os produtores são capazes de identificar a variabilidade dentro de um campo e então manejar essa variabilidade para aumentar a produtividade e os lucros”. (1997, p. 1).

No mesmo ano, a EMBRAPA afirmou que “o termo agricultura de precisão engloba o uso de tecnologias atuais para o manejo de solo, insumos e culturas, de modo adequado às variações espaciais e temporais em fatores que afetam a produtividade das mesmas”. (1997, p. 16).

A agricultura de precisão é uma filosofia de manejo da lavoura que parte de informações exatas, precisas e se completa com intervenções exatas. Também chamada de AP, ela é uma forma de gerir um campo produtivo considerando a variabilidade espacial. (ROZA, 2000).

As definições anteriores marcam uma fase em que a agricultura de precisão estava começando a ganhar espaço no contexto científico, mas as poucas opções de tecnologia e os altos custos ainda impediam que ela deslanchasse. No entanto, seus conceitos fundamentais foram construídos naquela época: AP é uma filosofia de gerenciamento agrícola que leva em consideração a variabilidade espacial e temporal para manejar os insumos e assim obter o máximo da produtividade e lucratividade, tudo isso acontecendo com base no tripé da sustentabilidade.

Figura 2 – O tripé da sustentabilidade.



Após alguns anos de grande evolução no quadro de tecnologias disponíveis para aplicação da agricultura de precisão, Molin e Castro (2008) afirmaram que a AP pode ser definida como “um elenco de tecnologias e procedimentos utilizados para que a lavoura e o sistema de produção sejam otimizados, tendo como elemento-chave o gerenciamento da variabilidade espacial da produção e dos fatores a ela relacionados”.

? VOCÊ SABIA?

O conceito atual, proposto pela Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão, do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, diz que:

- A AP é um conjunto de ferramentas e tecnologias aplicadas para permitir um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal da unidade produtiva, visando ao aumento de retorno econômico e à redução do impacto ao ambiente. (BRASIL, 2014).

Nota-se nas afirmações que os conceitos definidos anteriormente ainda se encontram presentes, porém destaca-se agora o uso de um conjunto de tecnologias que tem a função de tornar os demais conceitos aplicáveis. A partir deste momento, é importante destacar que a agricultura de precisão passa a se dividir em três etapas básicas componentes de um processo cíclico infinito: obtenção de dados, análise das informações e intervenção.

Figura 3 – Ciclo da agricultura de precisão.

Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

A obtenção de dados é considerada por muitos a porta de entrada para o ciclo da AP, pois é ela que fornece os dados que posteriormente serão transformados em informações que, por sua vez, serão utilizadas como base para a tomada de decisões. A qualidade da coleta de dados é fator determinante e está diretamente relacionada à qualidade no restante do ciclo. Por exemplo: de nada vale ter as melhores ferramentas de análise de dados se os dados não oferecerem confiabilidade o bastante para embasar a tomada de decisões na fase de intervenção.

A fase que vem depois da obtenção de dados é a análise dos mesmos. A análise de dados no ciclo da AP permite, por meio dos Sistemas de Informações Geográficas, que dados coletados sejam transformados em informações representativas. Uma análise de dados bem realizada resulta em informações que permitirão a melhor eficiência da fase de intervenções. Cada etapa deve ser realizada com o máximo de precisão. Um cuidado importante a ser tomado é a escolha do modelo utilizado para estimar as informações nos pontos desconhecidos do mapa, que até hoje traz desconfiança sobre a assertividade de algumas recomendações, já que esta escolha requer conhecimentos profundos sobre técnicas de interpolação e geoestatística que devem ser somadas ao conhecimento sobre os dados coletados e sobre a área que está sendo mapeada.

Por fim, a fase de intervenção é a que determina o sucesso do seu plano na agricultura de precisão. Pode-se definir a intervenção como o momento da tomada de decisão em que o agricultor recebe os dados transformados em informações gerenciais e determina, com base nelas, quais serão as medidas adotadas e como deverão ser tomadas para atribuir o máximo de eficiência ao processo.

Nessa fase, estão envolvidas principalmente as operações mecanizadas, que, com o auxílio de tecnologias, distribuem os insumos de forma otimizada apenas nos locais onde são necessários, visando ao melhor aproveitamento da área e reduzindo desperdícios que comprometem a lucratividade da atividade exercida. Entre essas tecnologias, destaca-se o piloto automático que, por ter suas vantagens bem definidas, teve uma aceitação rápida em meio aos produtores.

ATENÇÃO

Alguns cuidados na coleta de dados não podem ser negligenciados, sob o risco de comprometer a veracidade das informações que não poderão ser utilizadas nas tomadas de decisões, como:

- **Qualidade do geoposicionamento:** não adianta ter dados verídicos se durante a criação de informações lhe for atribuído um local para o qual o mesmo não pertence. Por isso, observe sempre o sistema de referência (*datum*) do receptor que realizou a coleta de dados e, se necessário, faça o tratamento para que as informações que serão utilizadas sejam exportadas no sistema de referência do equipamento utilizado na aplicação. Nos principais equipamentos de AP o sistema de referência internacionalmente utilizado é o WGS84.
- **Veracidade dos dados:** você pode estar utilizando um receptor que lhe concede a localização exata do ponto amostral, porém o sensor possui deficiências na calibração. Essa, sem dúvida, é uma das principais características que comprometem a qualidade dos dados, pois, por mais que a variabilidade entre as leituras seja baixa (leitura precisa), elas podem não representar a realidade (leituras inexatas) e inutilizar completamente esses dados nas etapas posteriores do processo. Efetuar a calibração dos equipamentos de agricultura de precisão de acordo com o recomendado pelo fabricante e utilizar processos confiáveis na coleta e obtenção de dados é fundamental para que os dados coletados se transformem em informações valiosas.

Executando todas as fases com excelência, pode-se dizer que o usuário de agricultura de precisão coleta dados verídicos, transforma-os em informações gerenciais e, com base nelas, interage com o processo produtivo, buscando aumentar ou manter a eficiência do mesmo. Utilizando os sistemas de direcionamento automático corretamente, o agricultor garante que o espaço está sendo utilizado da forma mais eficiente possível, visando à produtividade, e que os insumos estão sendo aplicados sem desperdício e sem maiores prejuízos ao ecossistema que seu processo de produção compõe.



VOCÊ SABIA?

Piloto automático é o nome popular dado às tecnologias de direcionamento automático de máquinas agrícolas que tem como objetivo aumentar a precisão entre as passadas da máquina, gerando uma série de consequências positivas, como o aproveitamento máximo do talhão, o aumento de linhas por área e a otimização dos processos, aumentando a precisão da operação, reduzindo custos, diminuindo a compactação do solo e fazendo com que essa tecnologia seja classificada como uma tecnologia de AP.

2. DEFINIÇÕES BÁSICAS EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

2.1 GEOMÁTICA

O termo geomática, frequentemente utilizado em assuntos que se referem à agricultura de precisão, surgiu no meio acadêmico na década de 1980, com a ascensão da informática na área de cartografia e geodésia, principalmente com os avanços nos *softwares* de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e nas tecnologias de sensoriamento remoto. Segundo o Ministério da Educação e Cultura (MEC):

Geomática é um campo de atividades que, usando uma abordagem sistemática, integra todos os meios utilizados para a aquisição e gerenciamento de dados espaciais necessários como parte de operações científicas, administrativas, legais e técnicas envolvidas no processo de produção e gerenciamento de informação espacial. Trata-se, portanto, da área tecnológica que visa à aquisição, ao armazenamento, à análise, à disseminação e ao gerenciamento de dados espaciais. (BRASIL, 2000, p. 9).

De acordo com Azevedo (2007), as ciências da Terra desempenham papéis diferenciados dentro da Geomática: em determinadas situações, elas se comportam como matéria-prima para alimentar o banco de dados do sistema e, em outros momentos, buscam apenas viabilizar o georreferenciamento dos elementos constituintes.

2.2 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) surgiram na década de 1970 e, desde então, passaram por uma série de evoluções. Originalmente, eles eram utilizados como ferramenta de auxílio à geomática e à cartografia, que saíam de uma fase na qual os dados espaciais eram analisados de maneira analógica, sem que fosse possível obter um bom grau de detalhamento das informações e entravam na era digital, permitindo o cruzamento de informações cartográficas e dados obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto o que permitiu que as intervenções fossem baseadas em dados acurados.

Os sistemas de informações geográficas podem ser definidos como *softwares* nos quais são inseridos dados georreferenciados, ou seja, que contenham coordenadas atribuídas a eles. Esses *softwares* fazem todo o gerenciamento dessas informações e permitem, por meio de análises espaciais e geoestatística, estimar informações em pontos onde não foram coletados dados.

 **ATENÇÃO**

A finalidade de um SIG é permitir que o usuário enxergue claramente todas as informações de uma área de forma que, a partir delas, possa tomar decisões.

Atualmente, existem diversas plataformas de SIGs, sendo que algumas delas são específicas para uso na agricultura. Essas plataformas se diferem entre si no que diz respeito às técnicas de interpolação (estimativa de informações nos locais onde não foram coletados dados), às formas de exportação de informações e quanto à sua acessibilidade ao produtor: algumas são gratuitas e outras, pagas.

O que define qual *software* de SIG deve ser utilizado por um produtor é a sua demanda pessoal, ou seja, o nível de complexidade empregado em suas análises de dados. Um produtor que gera suas análises sem muitos critérios ou com dados de veracidade duvidosa sempre irá gerar mapas de baixa confiabilidade e de pouca eficiência na tomada de decisões, independente de qual *software* de SIG está sendo utilizado.

Os SIGs também são importantes quando o assunto é o direcionamento automático de máquinas agrícolas. É por meio deles que se faz a sistematização de áreas, atividade na qual, observando informações espaciais do talhão e visando à eficiência logística da produção, criam-se os projetos de alinhamento. O projeto de alinhamento nada mais é que a criação prévia das linhas onde as máquinas irão se deslocar dentro do talhão e que, quando criadas de forma racional e com base em dados confiáveis, garantem a redução do pisoteio desnecessário da lavoura e ganho no rendimento operacional.

 **VOCÊ SABIA?**

Os projetos de alinhamento, assim como as demais recomendações, devem ser transferidos para as máquinas no formato digital *shapefile* (.shp) e no sistema de coordenadas planas com o *datum* WGS84.

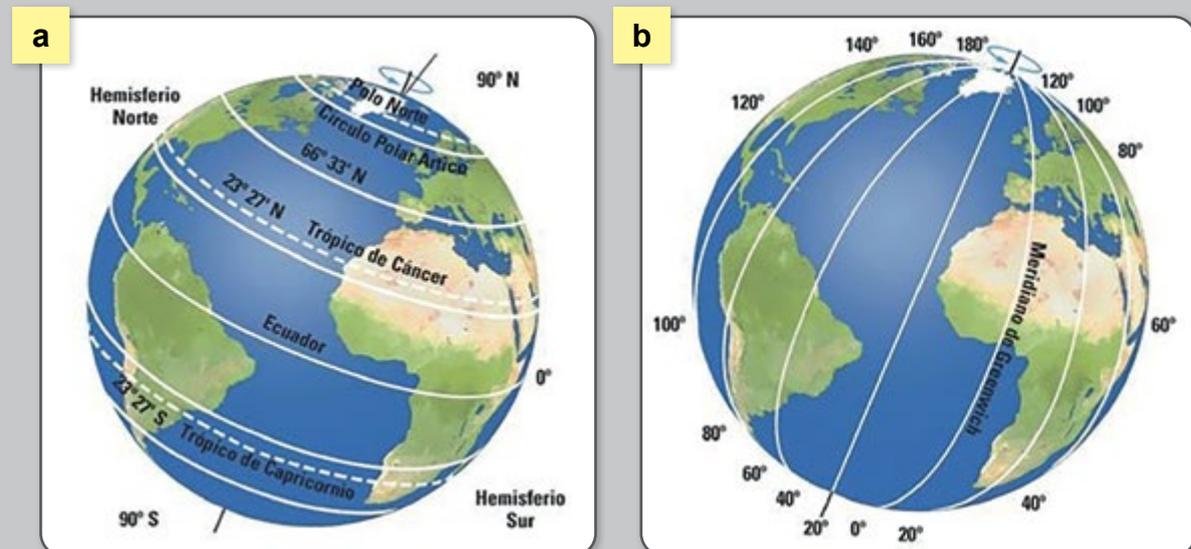
2.3 SISTEMAS DE COORDENADAS

Os sistemas de coordenadas são necessários para fornecer a posição de pontos sobre uma superfície. É com base em determinados sistemas de coordenadas que descrevemos geometricamente a superfície terrestre nos levantamentos georreferenciados. Para a esfera do globo terrestre usualmente empregamos um sistema de coordenadas cartesiano curvilíneo (PARALELOS e MERIDIANOS). Para o plano, um sistema de coordenadas cartesianas X e Y (em metros) é usualmente aplicável.

Para amarrar a posição de um ponto no espaço, precisamos ainda complementar as coordenadas bidimensionais com uma terceira coordenada que é denominada ALTITUDE. (IBGE, 1998).

- **PARALELOS:** são círculos que cruzam perpendicularmente os meridianos. O maior paralelo é o Equador, os demais diminuem proporcionalmente conforme se aproximam das extremidades do globo terrestre, tanto no hemisfério norte quanto no hemisfério sul até se transformarem nos polos, como representado na Figura 4 (IBGE, 1998).
- **MERIDIANOS:** os meridianos são círculos do mesmo tamanho que dividem a Terra em duas partes iguais do polo norte ao polo sul, onde todos os meridianos se cruzam, como pode ser visto na Figura 4b. (IBGE, 1998).

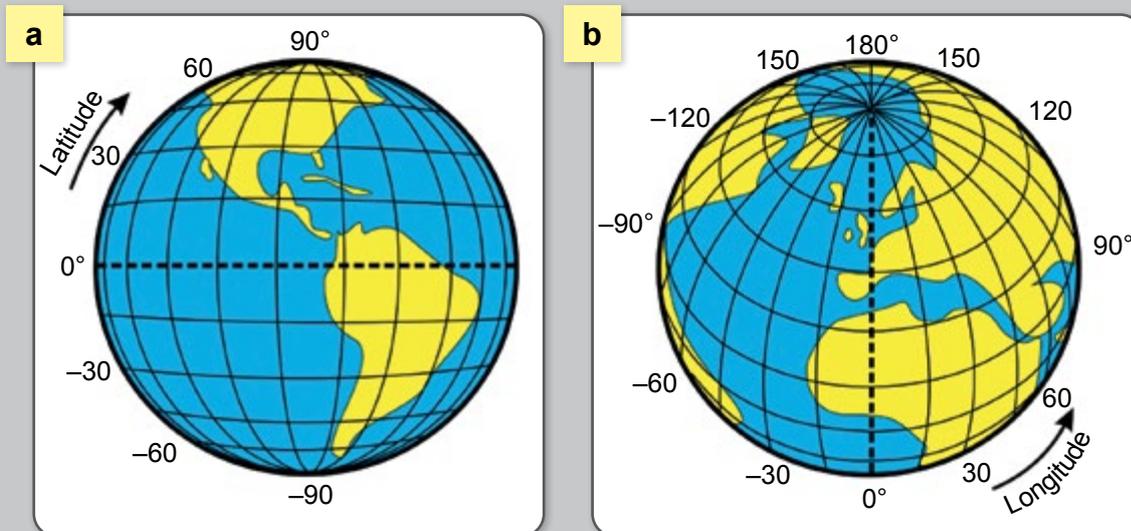
Figura 4 – Meridianos e Paralelos.



Fonte – Geografia 7, 2018.

- **LATITUDE:** arco colateral aos meridianos que cruzam os paralelos entre os polos. Quando medida no sentido Norte, chama-se de Latitude Positiva e quando medida ao sentido Sul, Latitude Negativa. Ela varia de 90° N (+90°) a 90° S (−90°), sendo considerada 0° sobre o Equador. (IBGE, 1998).
- **LONGITUDE:** arco paralelo ao Equador que parte do Meridiano de Greenwich até o local de referência, podendo chegar até o outro extremo do Meridiano de Greenwich. Pode ser contada no sentido Oeste de Greenwich (O Gr.) onde é chamada de negativa, ou no sentido Leste (L Gr.) chamada de positiva. Ela varia entre -180° (180° O Gr.) e 180° (180° L Gr.), sendo que tem valor 0° sobre o meridiano referido. (IBGE, 1998).

Figura 5 – Latitude e Longitude.



Fonte – Wikimedia Commons, 2011.

A precisão nesse sistema parte de graus (como mencionado anteriormente), passando a minutos (de 0 a 60), depois segundos (de 0 a 60) e a partir daí pode ser fracionado decimalmente aumentando a exatidão da localização. Por exemplo: $23^{\circ}30'29.93''S$, $46^{\circ}38'32.90''W$, sendo S – South (Sul) e W – West (Oeste). Assim, você terá sua localização exata na superfície do globo terrestre, exemplificado na Figura 6.

Figura 6 – Latitude e Longitude localizadas na superfície do globo terrestre.



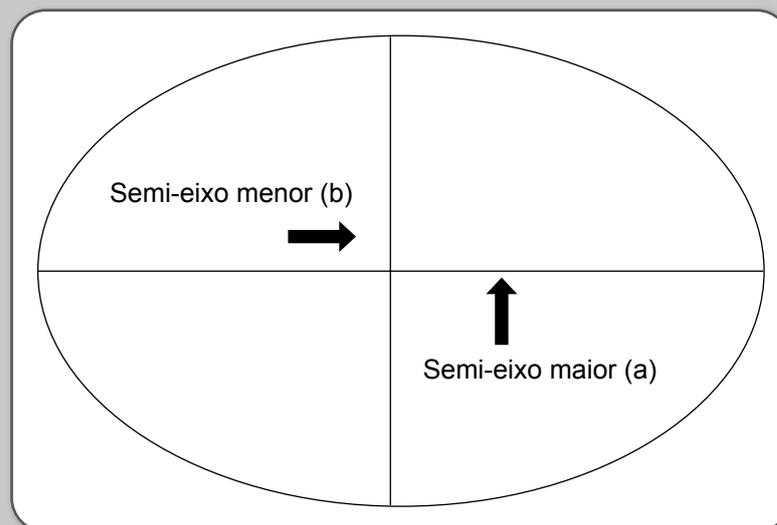
Fonte – Google Earth Pro, 2018.

2.4 REPRESENTAÇÃO CARTOGRÁFICA E *DATUM*

Para representarmos uma posição na superfície terrestre, primeiramente devemos saber qual sistema de referência estamos seguindo. De acordo com Molin, Amaral e Colaço:

A superfície física terrestre é formada pelos seus acidentes geográficos e é totalmente disforme, o que não permite modelagem matemática, necessária nos processos do geoposicionamento. É na superfície física que são efetuadas as navegações e medições com os receptores GNSS (Sistema de Navegação Global por Satélite). Uma elipse é a aproximação geométrica (matemática) mais utilizada para a representação da superfície terrestre e possibilita os cálculos que seriam impossíveis para a superfície disforme do globo terrestre. (2015).

Figura 7 – Modelo de elipse.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

Existem vários modelos matemáticos da elipse do formato da Terra, os quais são utilizados como referência para a adoção da localização na superfície pelos sistemas de navegação por satélite existentes. Entre eles, há o *datum*, que nada mais é do que um sistema de referência, um modelo matemático que se aproxima da forma da Terra e permite cálculos como posição e área a serem levantadas, de forma consistente e exata. O atual *datum* padrão escolhido pelo IBGE é o Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul (SIRGAS2000), o qual é a base para o Sistema Geodésico Brasileiro e para o Sistema Cartográfico Nacional. Dentro do território brasileiro, o SIRGAS2000 se equipara ao WGS84, que é o *datum* oficial da constelação GPS e é adotado mundialmente. (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).



ATENÇÃO

Assim como comentado anteriormente, em casos nos quais o *datum* do receptor se difere dos demais equipamentos de agricultura de precisão (WGS84), é necessário efetuar conversões para evitar que haja deslocamento na posição ao transferir a informação entre equipamentos. Por isso, do ponto de vista prático da AP, é interessante configurar todos os componentes do processo para operar com o *datum* WGS84.

3. SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GLOBAL POR SATÉLITE (GNSS)

Os primeiros sistemas de localização e navegação por satélite surgiram durante a Segunda Guerra Mundial, após o lançamento do primeiro satélite na órbita da Terra, o Sputnik 1, em 1957, pela União Soviética, época de grandes avanços da comunicação via rádio, da eletrônica e engenharia de foguetes. A partir desse momento, os Estados Unidos se juntaram a essa intensificação do desenvolvimento aeroespacial e criaram sistemas de localização mais precisos, com o intuito de lançar mísseis teleguiados e aprimorar a localização de tropas aliadas. (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Para facilitar a navegação de militares em qualquer local do planeta, os Estados Unidos lançaram na década de 1970 os primeiros satélites que iriam compor a constelação NAVSTAR, que hoje conhecemos como GPS. O objetivo alcançado por eles permitiu que soldados em posse de um receptor GNSS tivessem conhecimento de sua localização com exatidão, e isso só foi possível com o avanço das técnicas de geoposicionamento por satélites que já eram estudadas desde 1960.

Com receio de que seu sistema fosse usado com fins bélicos contra si próprio, quando o governo norte-americano decidiu liberar o serviço GNSS para a população introduziu um erro proposital chamado de erro de disponibilidade seletiva, que degradava o sinal e proporcionava uma exatidão na casa de dezenas de metros ao usuário civil, o que, para fins de navegação em rodovias era suficiente, mas inútil para operações agrícolas. Foram então criadas tecnologias que buscavam modelar o erro induzido sobre o sinal e gerar algoritmos de correção que até hoje permitem ao usuário obter melhor acurácia, como veremos nos capítulos seguintes.

Atualmente o sistema GNSS é composto principalmente pelas seguintes constelações de satélites para geolocalização:

- *Global Positioning System* (Navstar/GPS): constelação composta por 31 satélites lançados desde 1978 e que estão em órbita a 20.200 quilômetros de altura e têm velocidade superior a 11.000 quilômetros por hora, o que os levam a circular a Terra 2 vezes por dia, fazendo com que sempre haja ao menos 4 satélites visíveis em qualquer local do planeta.
- *Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* (Glonass): inicialmente uma alternativa russa ao sistema norte-americano, o sistema Glonass é composto por 24 satélites que estão disponíveis, assim como o GPS, para uso em todo o globo.
- Galileo: projetado pela União Europeia, esse sistema está em fase de lançamento e posicionamento dos satélites, o que deve ocorrer no ano de 2020. 30 satélites de navegação serão posicionados a uma altura de 23 mil quilômetros.

- *BeiDou Navigation Satellite System (BDS)*: o Sistema de navegação chinês busca alcançar o sistema GPS colocando em órbita 35 satélites a 21 mil quilômetros de altura, sendo alguns deles geoestacionários, o que possibilitaria utilizá-los como fonte de correção diferencial e aprimoramento da acurácia do posicionamento. O sistema ainda não está operacional, porém, no fim da sua instalação, a rede será capaz de cobrir qualquer região do planeta.

Com os sistemas NAVSTAR GPS e GLONASS completamente operacionais, os receptores mais modernos são capazes de receber sinais de ambas as constelações, garantindo maior precisão aos usuários, além de maior cobertura já que são 55 satélites de localização circulando o globo terrestre. Vale lembrar também que, além dos sistemas de navegação mencionados anteriormente, existem redes regionais que utilizam menos satélites em orbita e até satélites estacionários para cobrir regiões específicas ou para gerar sinais diferenciais de correção do sinal GNSS.



VOCÊ SABIA?

As duas constelações mais importantes para o Brasil são a constelação GPS, que possui 31 satélites, e a constelação Glonass, composta por 24 satélites. Quando utilizadas em conjunto permitem melhor cobertura e acurácia das localizações ao longo do globo terrestre.

Figura 8 – Constelação de satélites GNSS.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

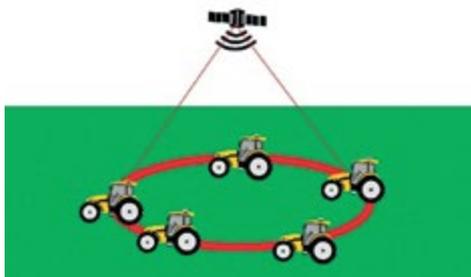
Para que seja possível obter uma posição com um receptor GNSS é preciso que ele esteja recebendo sinal de pelo menos 4 satélites simultaneamente. Os satélites enviam o sinal ao receptor e calculam a distância dele baseando-se no tempo que o sinal leva para percorrer o trajeto. Com base nessas informações, sabe-se que, ao receber sinais de 3 satélites, é possível determinar a posição do receptor em um plano, no entanto, para que a altitude e outros parâmetros sejam recebidos e contabilizados, o quarto satélite é fundamental. Quanto mais satélites visíveis, maior a exatidão da localização.

? VOCÊ SABIA?

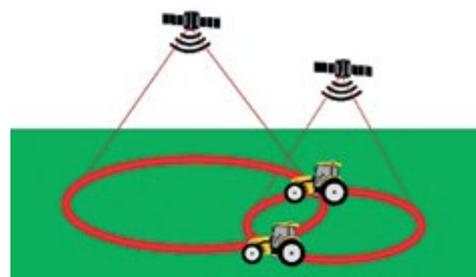
Quando o receptor tiver contato com ao menos 4 satélites, é possível triangular a sua posição calculando a diferença entre o tempo de envio e de recebimento do sinal, permitindo assim a realização do posicionamento em tempo real.

Figura 9 – Desenho esquemático da triangulação do sinal GNSS.

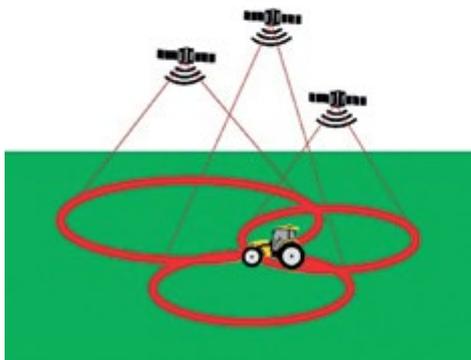
1 satélite – O receptor pode estar localizado em qualquer ponto nas extremidades do círculo vermelho.



2 satélites – O receptor pode estar localizado em qualquer um dos dois pontos onde os círculos se cruzam.



3 satélites – O receptor está localizado onde os três círculos se cruzam, no entanto, não é possível saber sua altitude.



4 satélites – Você tem uma posição composta por **latitude, longitude e altitude**.

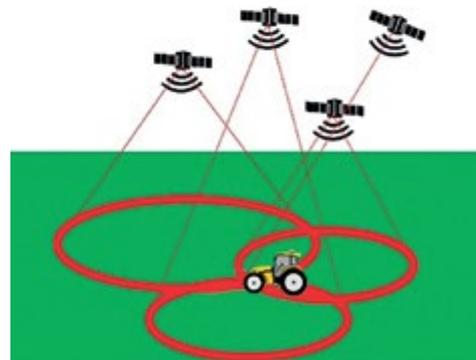
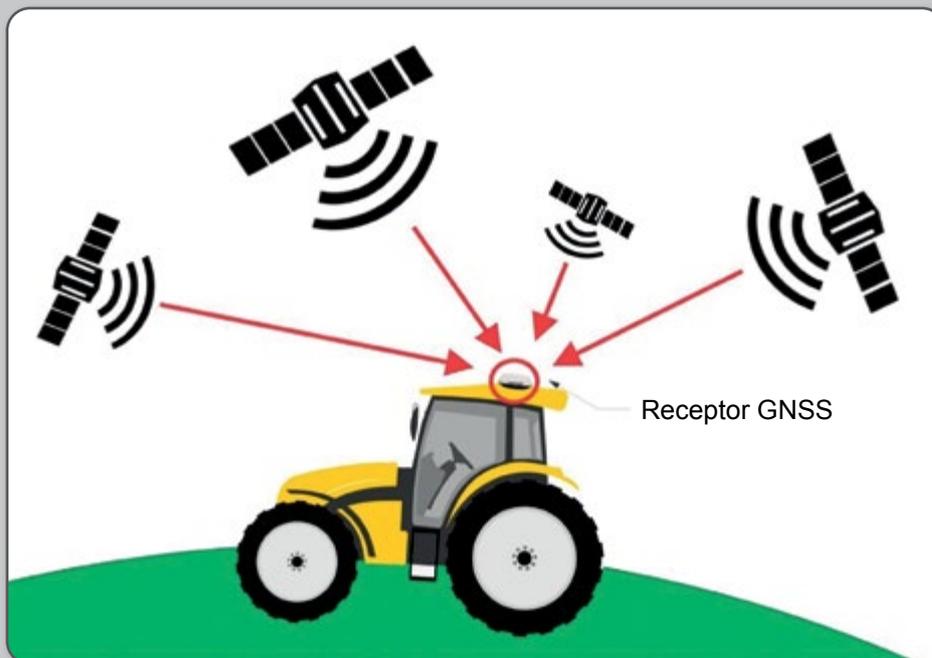


Figura 10 – Recepção do sinal GNSS.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

3.1 COMPONENTES DO GNSS

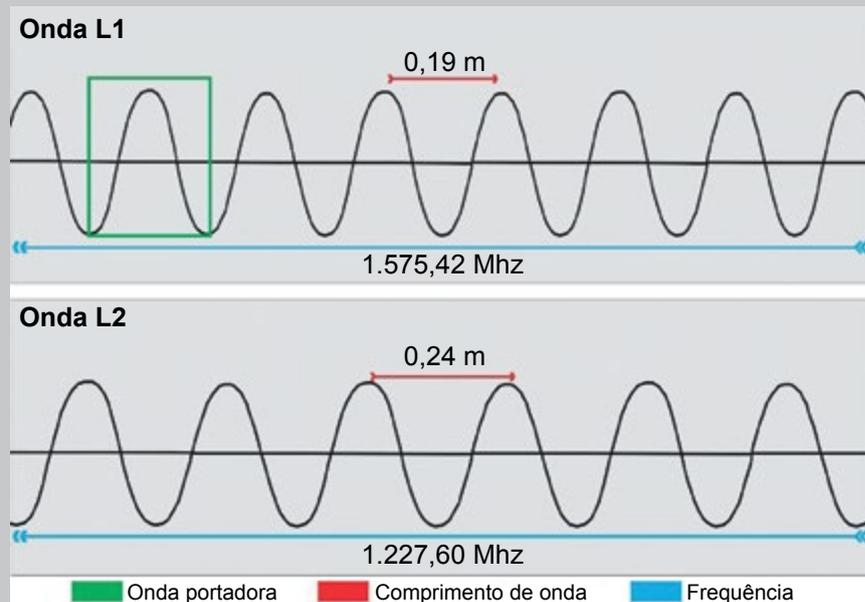
Estruturalmente, o sistema GNSS se divide em três segmentos: espacial, de controle e dos usuários. O segmento espacial é composto pela constelação de satélites que orbitam ao redor da Terra transmitindo ondas de radiofrequência que, quando recebidas por um receptor, são processadas e fornecem uma posição. Os satélites de navegação que compõem as constelações do GNSS transmitem sinais em 2 bandas portadoras do sinal, a banda L1 e a L2, que têm frequências distintas.

Tabela 1 – Bandas portadoras de sinal.

Banda	Comprimento de onda	Frequência	Protocolo de dados
L1	0,19 m	1.575,42 MHz	C/A e P
L2	0,24 m	1.227,60 MHz	P

Fonte – Rocha, 2004.

Outra diferença das bandas L1 e L2 é quanto ao protocolo de dados transmitido. Na L1 é modulado o *Clear Access (C/A)*, que pode ser decodificado por qualquer receptor de uso na navegação civil, e o *Precise (P)* que é decodificado apenas em receptores de uso militar e traz maior acurácia na localização. A banda L2 transmite apenas no protocolo P. (ROCHA, 2004).

Figura 11 – Ondas portadoras do sinal GNSS.

Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

O seguimento de controle é responsável por monitorar e corrigir a órbita do satélite e seu relógio atômico. A cada erro de 0,1 microssegundos no relógio do satélite, estima-se 30 metros de erros no posicionamento. Isso ocorre porque o tempo que o sinal leva para se deslocar do satélite ao receptor é muito curto e, com isso, qualquer variação, mesmo que pequena, traz erros catastróficos de posicionamento. Com isso, o objetivo do sistema de controle, que conta com 5 estações espalhadas ao redor do mundo, é calcular o erro de trajetória e do relógio do satélite e transmitir remotamente os comandos necessários para que o sistema se ajuste voltando à órbita e corrigindo o relógio. (MACHADO, 2008).

? VOCÊ SABIA?

O relógio atômico que compõe os satélites de navegação mede o tempo com base na oscilação de energia de um determinado átomo que o compõe, que pode ser hidrogênio, rubídio ou césio, sendo esse último um sistema mais eficiente e que leva centenas de anos para atrasar 1 segundo.

O segmento do usuário é a última estrutura componente do sistema GNSS. É o segmento responsável por calcular e apresentar ao usuário a sua posição no globo terrestre, fazendo isso por meio dos receptores GNSS. O mercado atualmente oferece uma série de receptores com configurações e finalidades variáveis, porém todos com o mesmo objetivo, entregar ao usuário latitude, longitude e altitude. (MACHADO, 2008).

Para calcular sua posição, o receptor calcula a distância entre si e os satélites em contato, considerando a diferença entre o horário que o sinal saiu do satélite e o horário em que ele chegou no receptor e multiplica esse valor pela velocidade de deslocamento do sinal (aproximadamente 299.792.458 m/s), determinando a distância em metros (Equação 1). Ele repete esse processo continuamente com todos os satélites em contato para triangular as posições em tempo real.

Equação 1 – Cálculo da distância entre o receptor e o satélite.

$$d = c \times t$$

Em que:

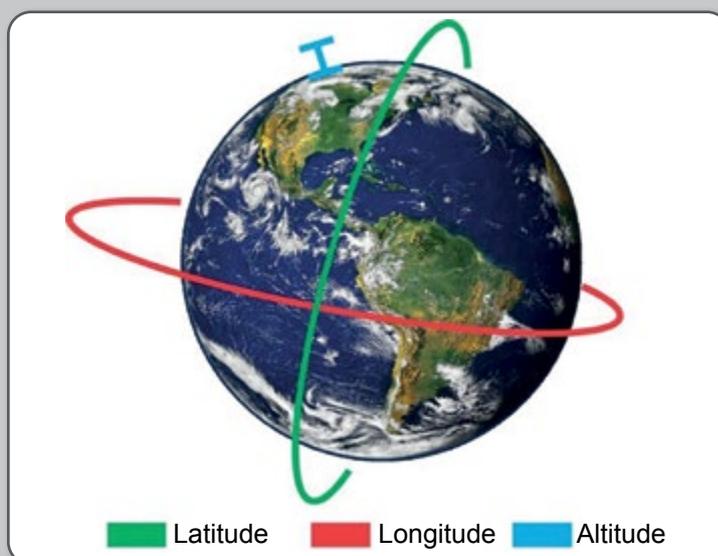
- d = distância entre o satélite e o receptor (m);
- c = constante da velocidade de deslocamento do sinal (m/s);
- t = diferença de tempo entre o envio e o recebimento do sinal (s).

Por exemplo, sabendo-se que a constante c é 299.792.458 m/s e a diferença entre o horário que o satélite enviou o sinal e o horário em que o receptor recebeu o sinal é de 2 segundos, temos que:

$$d = 299.792.458 \times 2 = 599.584.916 \text{ m}$$

Assim, é possível triangular as distâncias entre o receptor e os satélites visíveis e definir um ponto em comum entre esses satélites, o que resulta na posição do receptor.

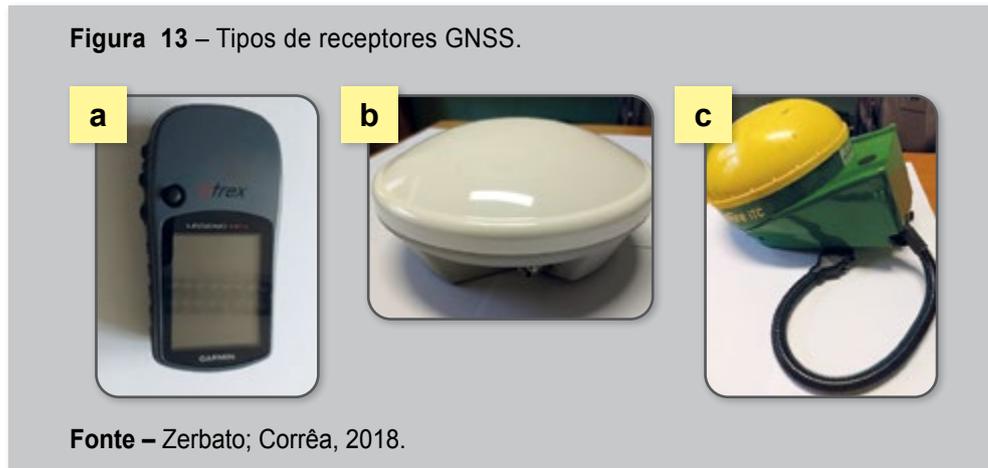
Figura 12 – Latitude, longitude e altitude representadas graficamente.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

Em relação aos receptores disponíveis para uso agrícola, pode-se dividi-los em 3 classes, que se diferenciam em função da banda e do protocolo de sinal que o receptor é capaz de decodificar.

- Banda L1 + código C/A: recebendo sinal na banda L1 e decodificando apenas o código C/A, receptores com essa configuração são mais baratos e acessíveis, porém contam com acurácia no posicionamento reduzida, variando de 1 a 5 metros de exatidão (geralmente 3 metros) por não serem compatíveis com recursos de correção diferencial. É comum esses receptores possuírem uma interface de utilização e terem tamanho reduzido, como os conhecidos receptores de mão ou de navegação e serem alimentados por baterias comuns ou recarregáveis. Esse tipo de receptor está presente na vida dos muitos usuários de *smartphones*, que saem de fábrica com esse recurso (Figura 13a).
- Banda L1 + código P: receptores mais robustos e que são utilizados em equipamentos que requerem certa acurácia, como barras de luzes para aviação ou pulverização agrícola. Custando até dez vezes mais que o anterior e com menor portabilidade, esses receptores requerem interface e alimentação externa. No entanto, têm como vantagem a compatibilidade com serviços de correção diferencial, aumentando a sua acurácia em nível submétrico (0,1 a 1,0 m), dependendo de serviços de correção diferencial contratado (Figura 13b).
- Receptores que recebem sinais nas frequências L1 e L2 (Figura 13c): destinados a aplicações mais nobres e que demandam acurácia centimétrica, esses receptores geralmente são associados à correção diferencial *Real Time Kinematic* (RTK), usados nos sistemas de direção automática (piloto automático), os quais veremos mais adiante. O valor de aquisição é da ordem de 20 a 40 vezes o valor de um receptor de navegação comum e deve-se considerar a disponibilidade de um segundo receptor, próximo, com comunicação via rádio para a correção e redução de erros de posicionamento, oferecendo exatidão da ordem de 0,02 a 0,03 metro, em função da marca do receptor. (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).



3.2 ERROS DO SISTEMA DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE

O sistema GNSS pode sofrer diversas variações e erros que prejudicam a qualidade do sinal e, conseqüentemente, a acurácia no geoposicionamento. As principais fontes de erros estão listadas a seguir.

3.2.1 Relógio dos satélites

Assim como discutido nos tópicos anteriores, o sucesso do geoposicionamento depende principalmente da acurácia dos relógios que operam nos satélites e nos receptores. De acordo com Molin, Amaral e Colaço “um erro de apenas 0,1 microssegundo no relógio do satélite representa um erro de cálculo de distância da ordem de 30 m” (2015, p. 27), sendo assim, os relógios dos satélites são constantemente monitorados e ajustados pelo segmento de controle responsável por cada constelação que compõe o sistema GNSS.

ATENÇÃO

Qualquer pequena variação no relógio do satélite vai afetar de forma considerável a triangulação do sinal na superfície terrestre.

3.2.2 Relógio do receptor

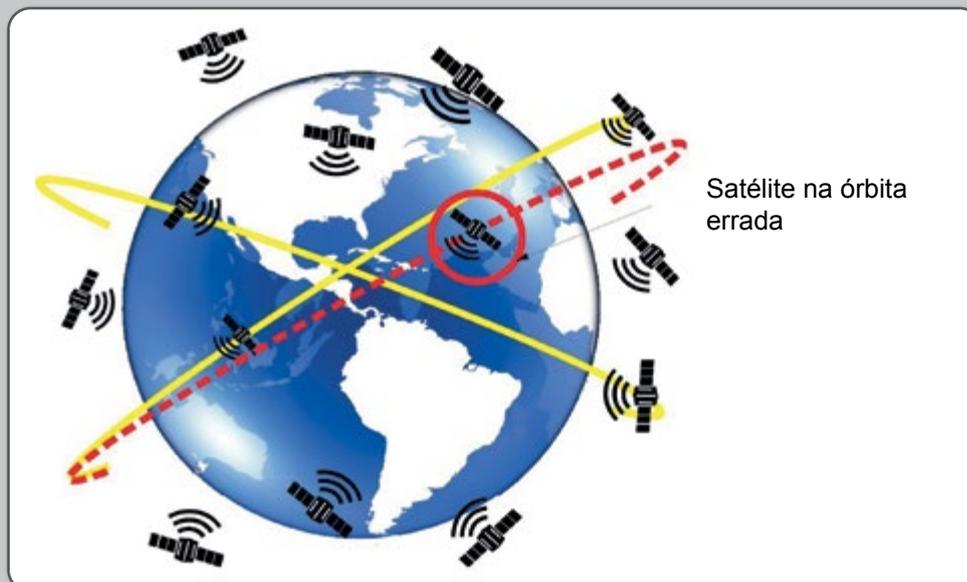
O erro no relógio do receptor não é menos importante que o erro do relógio do satélite, os efeitos desses erros são os mesmos, no entanto, a sua correção pode ser feita pelo próprio usuário, ajustando ou substituindo o relógio do receptor. Esse erro é o mais comum nas medições de posição. Devido ao alto valor dos relógios atômicos utilizados nos satélites, os receptores, que por lógica devem ser acessíveis,

não dispõem de tal tecnologia, além de sofrerem variações por interferência elétrica que elevam seus erros e comprometem a acurácia do posicionamento. De acordo com Molin, Amaral e Colaço (2015) o erro do relógio do receptor traz incertezas de 1 a 2 metros no posicionamento de receptores operando com o código *Clear Access* (C/A).

3.2.3 Erro de órbita dos satélites

O erro de órbita dos satélites ocorre quando o mesmo se desloca de seu trajeto habitual e passa a transmitir sinais de localização incorretos. Esse efeito se dá por forças naturais como, por exemplo, a força gravitacional da Lua e do Sol, e a pressão da radiação solar que causam pequenos desvios nas órbitas, e alteram a posição, altitude e velocidade dos satélites. A correção desse problema é feita pela estação principal de controle responsável pela manutenção da constelação que é rastreada e corrigida a cada 12 horas. Estima-se um erro médio de 0,6 metros no posicionamento devido a satélites que se deslocaram de suas órbitas em receptores que trabalham com código C/A. (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

Figura 14 – Erro de órbita dos satélites.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

3.2.4 Erro de reflexão

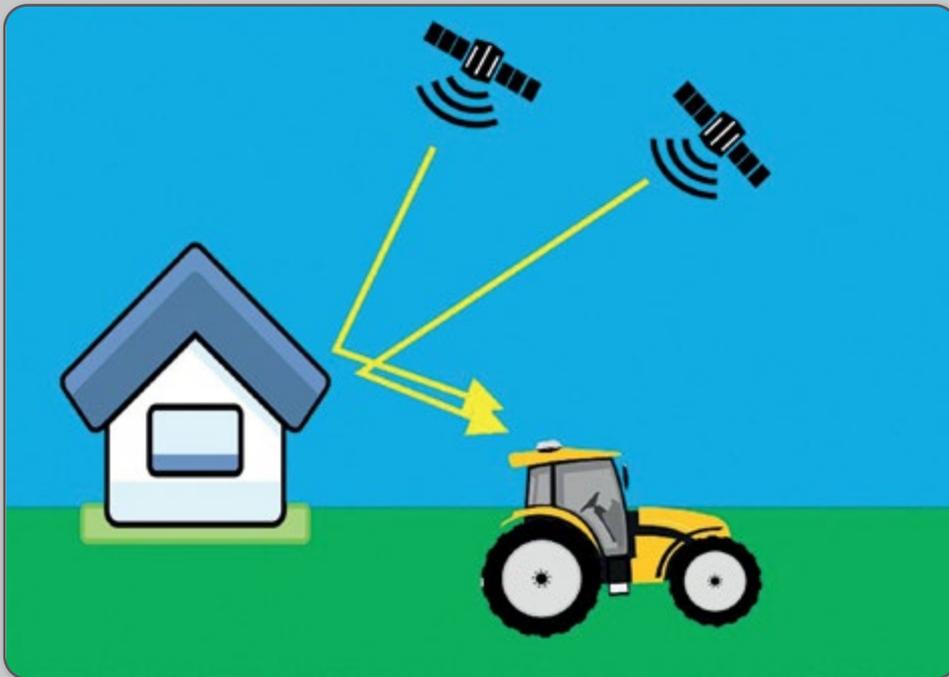
É um erro comum que ocorre quando o receptor capta o sinal após o mesmo ter sido refletido por alguma superfície, fazendo com que haja um atraso no trajeto do sinal que, de acordo com Molin, Amaral e Colaço (2015), gera erros de até 2 metros em receptores que trabalham com o código C/A.

ATENÇÃO

Recomenda-se que o receptor esteja localizado em uma área livre de barreiras e superfícies metálicas dentro de um ângulo de 10° a contar de sua base.

Nas operações mecanizadas agrícolas é incomum que ocorram problemas de reflexão de sinal, pois estando em campo há poucas superfícies refletivas, exceto em áreas muito próximas às lâminas d'água ou montanhas. Ainda, quando o receptor está instalado no local incorreto do trator (por exemplo, no capô em tratores cabinados), sua carenagem serve como fonte de refração de sinal. Por isso, deve-se instalar o receptor GNSS sempre no topo da cabine ou na estrutura mais alta do trator.

Figura 15 – Erro de reflexão do sinal GNSS.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

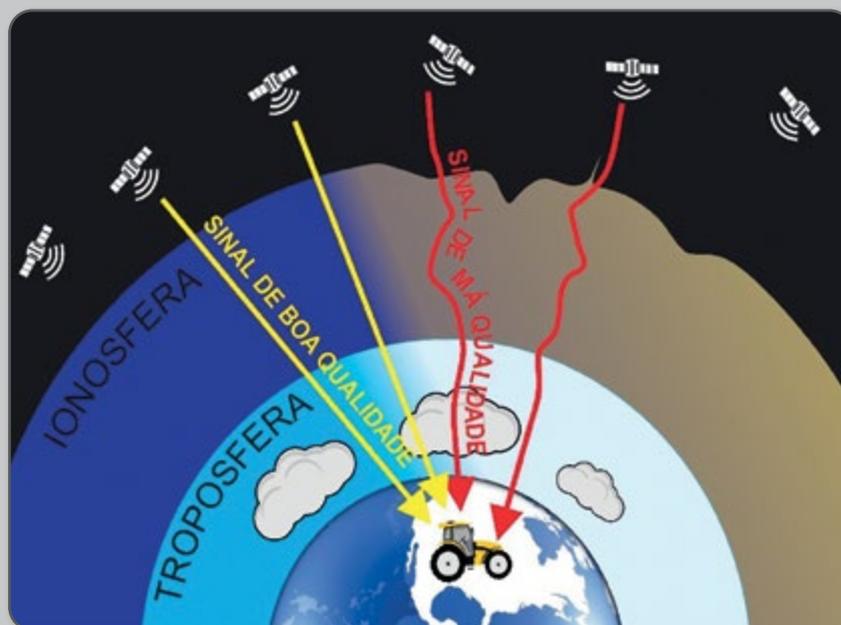
3.2.5 Cintilação Ionosférica

A cintilação ionosférica é uma das causas de erro no posicionamento por GNSS das quais nenhum dos três segmentos do sistema é capaz de controlar, pois é causada por irregularidades de origem natural na camada ionosférica. Essa irregularidade

da camada ionosférica pode alterar o deslocamento do sinal enviado pelo satélite, fazendo com que a constante de velocidade utilizada no cálculo da distância entre o satélite e o receptor não compreenda a real velocidade de deslocamento do sinal.

A ionosfera, camada sobre a Terra que tem de 80 a 400 km de espessura, é carregada eletricamente nos períodos em que ocorre a cintilação, o que causa a refração e também interferência e obstrução nos sinais, o que impede que o receptor calcule com exatidão a sua posição no globo terrestre nos períodos de maior atividade ionosférica. A maior causa da cintilação é a atividade solar que ocorre normalmente entre o final da tarde e as primeiras horas da manhã e que, em algumas regiões geográficas, tem efeitos mais agudos. A troposfera, camada abaixo da ionosfera, também pode atrasar os sinais, pois nela flutuam partículas de água, porém isso ocorre com menos frequência. (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

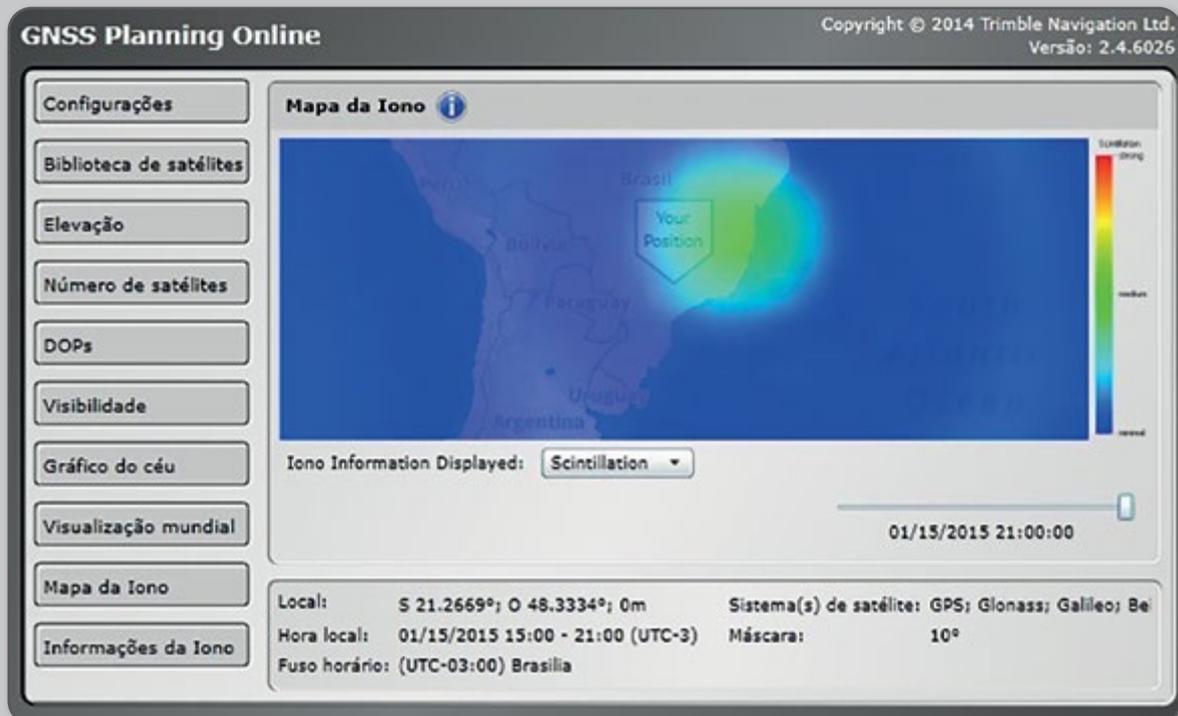
Figura 16 – Cintilação Ionosférica.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

Felizmente, existem serviços disponíveis na internet que registram os picos de cintilação ionosférica e permitem ao usuário identificar se o local onde acontecia a operação foi vítima desse fenômeno. Esse serviço torna possível que o gestor defina se uma possível perda na qualidade e no direcionamento da operação pode ser atribuída à cintilação ou se ele deve investigar outras fontes de erro.

Figura 17 – Site de monitoramento da cintilação ionosférica.



Fonte – GNSS Planning Online, 2018.

3.2.6 Geometria dos satélites

A acurácia do GNSS depende ainda de outro fator que está além do alcance do usuário, a geometria dos satélites.

O que é a geometria dos satélites?

A distribuição dos satélites no espaço em função do posicionamento do receptor pode ser chamada de geometria dos satélites e é considerada adequada quando a sua distribuição espacial é uniforme ao redor do receptor. Por exemplo, se o receptor estiver em contato com 8 satélites, mas a maior parte deles estiver concentrada em um dos seus lados, então a qualidade do posicionamento não será ótima. Todavia, se esses mesmos satélites estivessem distribuídos uniformemente em todas as direções ao redor do receptor, a geometria seria considerada boa e assim seria possível extrair o posicionamento com mais acurácia. Por isso, quanto mais satélites visíveis, mais opções o receptor tem para determinar quais deles usar e como obter melhor geometria.

De acordo com Molin; Amaral e Colaço (2015), a qualidade da geometria dos satélites é quantificada pela diluição de precisão (2015, p. 29), do termo em inglês

Dilution Of Precision (DOP), que determina o posicionamento espacial dos satélites visíveis em tempo real e é composta por:

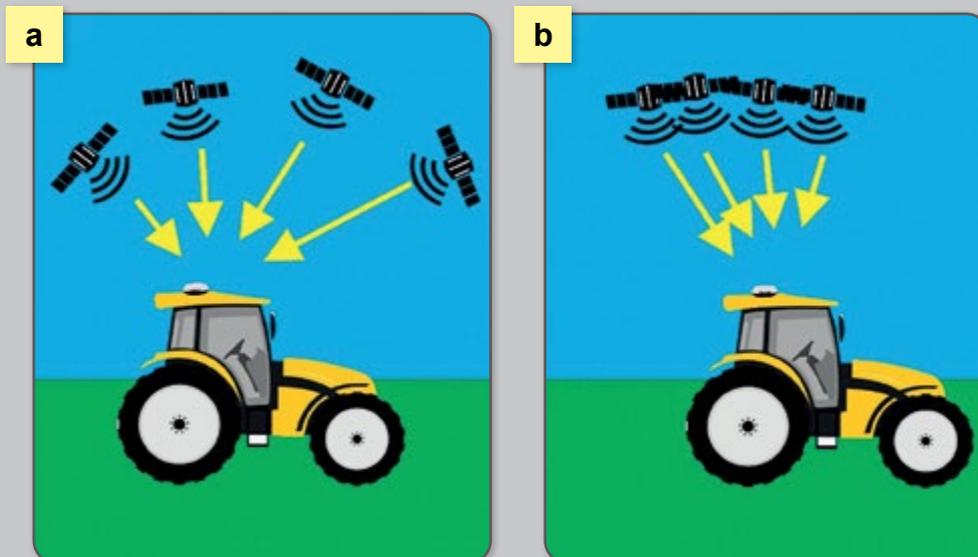
- diluição de precisão no tempo (TDOP);
- diluição de precisão vertical (VDOP), que interfere na altitude;
- diluição de precisão horizontal (HDOP), que interfere na latitude e na longitude;
- diluição da precisão nos três eixos (PDOP), latitude, longitude e altitude.

O GDOP é a medida que melhor representa a qualidade da geometria dos satélites e é resultante da combinação do PDOP e do TDOP, interpretado como sendo a razão entre o erro no posicionamento e o erro inerente do sistema GNSS, e expressa a influência da geometria e do tempo na qualidade das observações.

? VOCÊ SABIA?

Geralmente as informações de TDOP, VDOP, HDOP e PDOP estão disponíveis na tela de *status* do GNSS no monitor do trator.

Figura 18 – Melhor geometria dos satélites captados pelo receptor (A) garante melhor exatidão de posicionamento que em (B).



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

! ATENÇÃO

Em atividades que pedem maior acurácia no posicionamento, como o uso do piloto automático, recomenda-se trabalhar com o GDOP abaixo de 5. (MONICO, 2007).

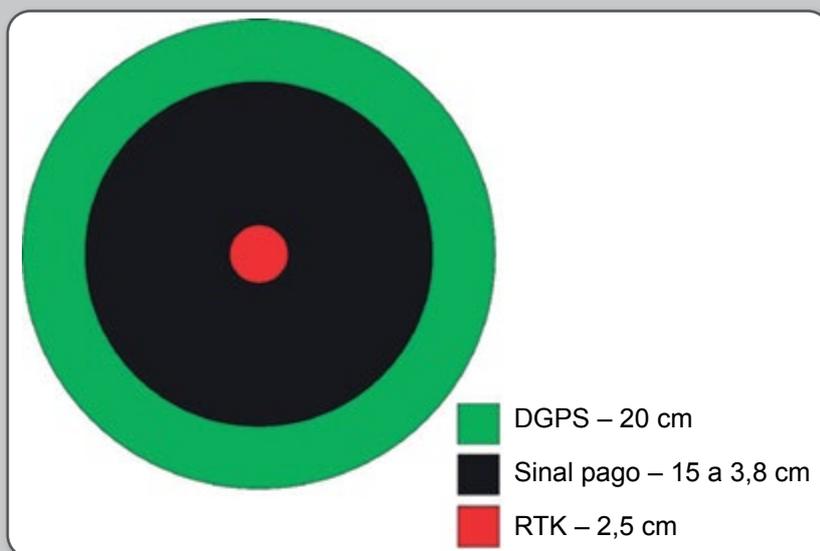
3.3 CORREÇÕES DE SINAL GNSS

As correções de sinal GNSS são algoritmos de correção de sinal que permitem aumentar a acurácia no geoposicionamento com precisão centimétrica na localização de determinado ponto. Atualmente, existe uma gama de sinais de correção disponíveis no mercado, algumas gratuitas e outras que são pagas ou que exigem a aquisição de equipamento. Dentre essas tecnologias, as principais podem ser observadas na Figura 19.

? VOCÊ SABIA?

A classificação dos sinais quanto à sua precisão significa que um sinal que oferece precisão de 2,5 centímetros irá trabalhar 90% do tempo com erros inferiores a esse valor em locais com boa recepção e regulagens adequadas.

Figura 19 – Sinais de correção GNSS.

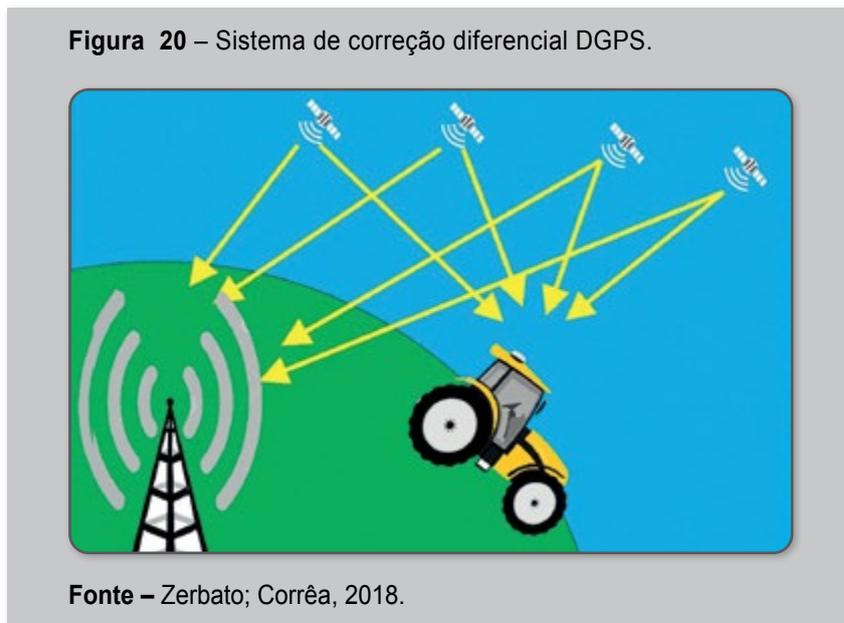


Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

3.3.1 DGPS

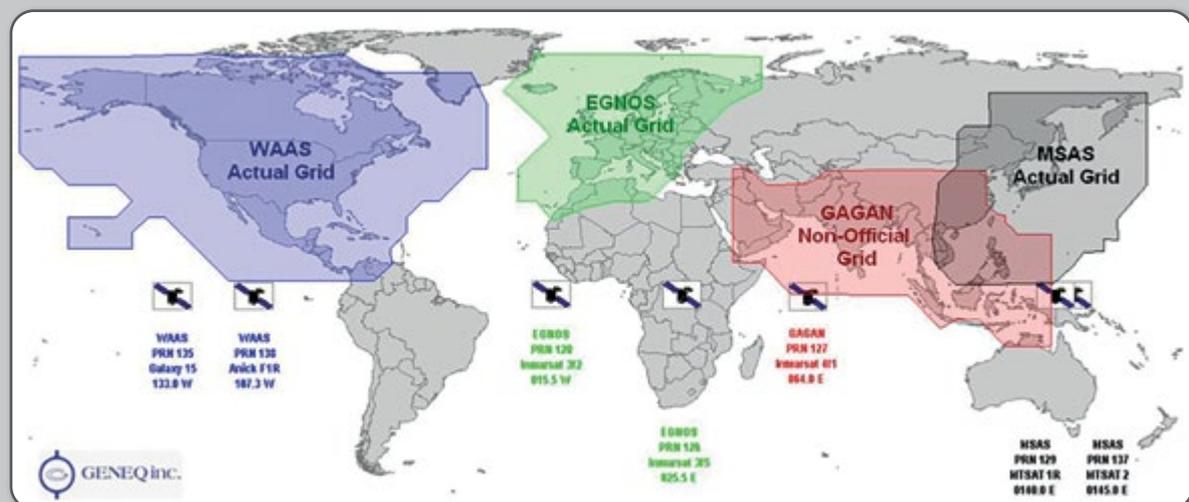
O SBAS (*Satellite-Based Augmentation System*), conhecido como DGPS ou GPS diferencial, é uma estação de referência localizada em um ponto fixo extremamente preciso que recebe as coordenadas dos mesmos satélites disponíveis aos usuários e, assim, calcula um algoritmo de correção com base na coordenada conhecida de onde ele está localizado e as coordenadas recebidas pelos satélites e, então, transmite o sinal com a correção ao receptor, que recebe as coordenadas de 4 satélites ou mais e as submete ao algoritmo diferencial.

A utilização do DGPS garante precisão entre 1 e 5 metros, no entanto, otimizada, ela chega a até 20 centímetros de acurácia, dependendo principalmente da idade do sinal. A idade do sinal nada mais é que a frequência com que o receptor recebe novos algoritmos de correção da estação DGPS. Na área de tecnologia agrícola, os sinais de DGPS geralmente são transmitidos por estações de grandes empresas produtoras de tecnologia e podem ter alcance continental (Figura 20).



Além do DGPS, existem outras redes de satélites SBAS que, no entanto, não estão disponíveis para uso no Brasil, que possuem coberturas em locais específicos e também são de livre acesso ao público. Entre esses sinais destacam-se o WAAS, EGNOS, GAGAN e MSAS, como mostra a Figura 21.

Figura 21 – Redes SBAS disponíveis no exterior.



Fonte – Revista Geomedia, 2018.

3.3.2 Sinais pagos

Assim como o DGPS, existem outros sistemas SBAS de correção diferencial, mas que, no entanto, não são de canal aberto, ou seja, para utilizá-los é necessário adquirir uma licença ou assinatura do serviço, que se destaca por oferecer os mais variados níveis de acurácia, chegando ao nível subdecimétrico.

Entre outras características, esses sistemas são disponibilizados no mercado por empresas que têm uma estação localizada em um ponto de uma região, e alguns satélites geoestacionários, ou seja, que se mantêm fixos em determinada posição da órbita terrestre. Assim, as estações recebem as coordenadas dos sistemas GPS e GLONASS e as compara com as coordenadas conhecidas do satélite geoestacionário, calculando o erro proveniente dos sistemas GPS e GLONASS e gerando um algoritmo de correção. Esse algoritmo de correção é transmitido pela estação a alguns satélites de comunicação em órbita que ficam responsáveis pela distribuição do sinal de correção aos usuários terrestres.

Entre os sinais pagos existem diversas categorias de precisão, que definem o preço da assinatura do serviço. Várias empresas responsáveis pela transmissão do sinal de correção ofertam produtos que podem ou não ser adequados à necessidade do usuário final.

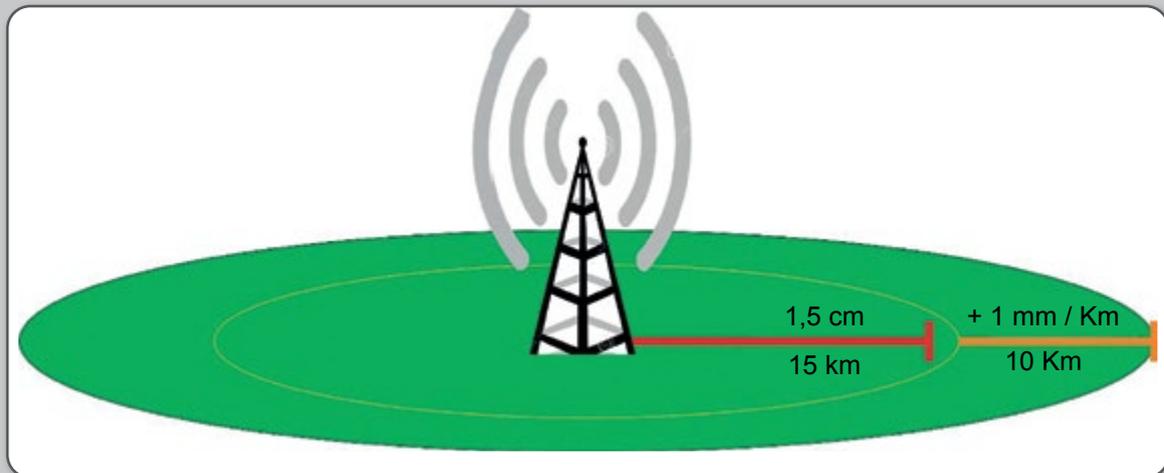
VOCÊ SABIA?

Entre as principais categorias de sinal de correção no uso agrícola, destacam-se as que vão de 15 cm de precisão até 3,8 cm. Esse é o caso do Centerpoint RTX (*Real Time eXtend*), e SF3, sendo que o fator que define qual sinal utilizar é a operação na qual a máquina será submetida.

3.3.3 RTK

O RTK (*Real Time Kinematic*) é um sinal diferencial de correção GNSS que precisa de uma estação particular para gerar o algoritmo de correção, mas que, no entanto, permite uma acurácia de, no máximo, 2,5 cm, garantindo precisão e repetibilidade entre as passadas da máquina. O alcance de uma base RTK é de até 25 km com acurácia de 1,5 cm nos 15 primeiros km, após essa distância, o sinal sofre uma degradação de 1 milímetro na acurácia a cada 1 km.

Figura 22 – Alcance e acurácia da base RTK.

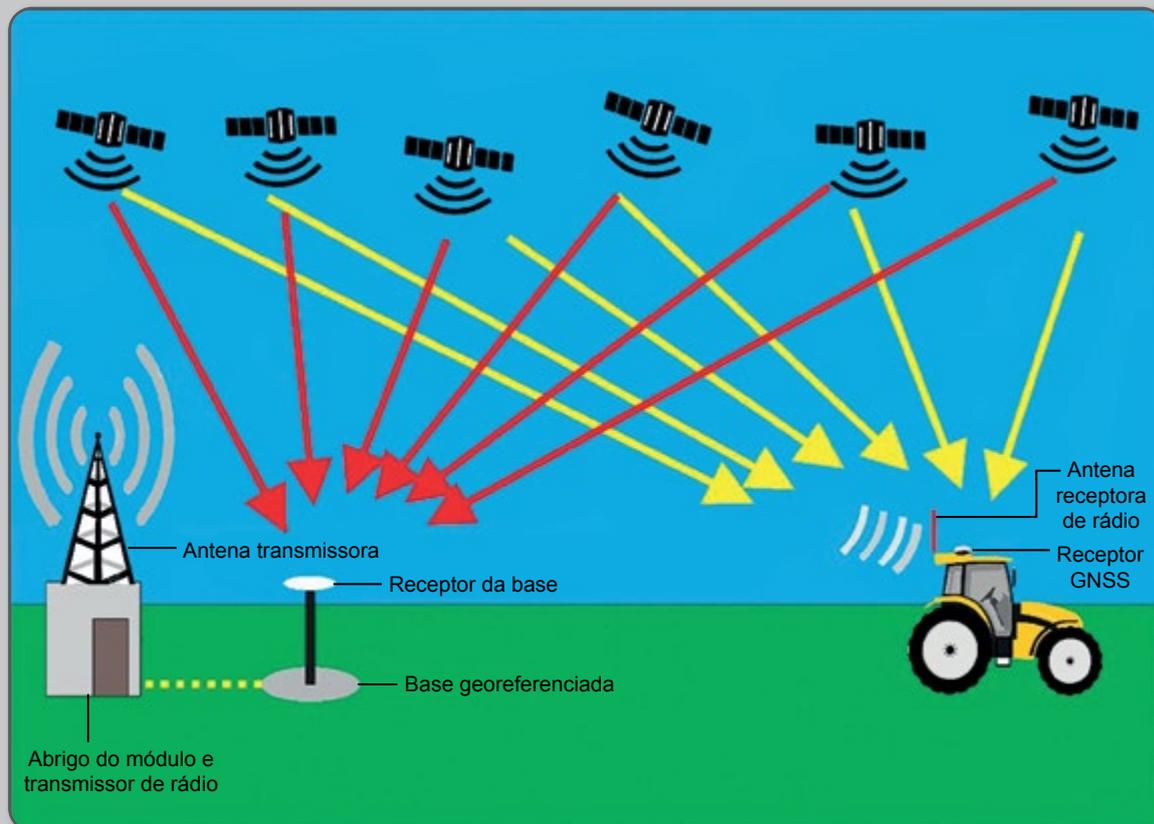


Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

O sistema de correção RTK é composto por uma base receptora de sinal, um radiotransmissor UHF com largura de banda variável entre 390 a 470 MHz e potência de até 35 W para enviar o algoritmo de correção a uma distância de até 25 km da base, um rádio receptor para receber o algoritmo de correção e, opcionalmente, uma repetidora de sinal, para aumentar o alcance do mesmo em locais onde o sinal é impedido de alcançar a distância máxima. Para o perfeito funcionamento do RTK, recomenda-se que a base se encontre localizada acima de um ponto conhecido devidamente georreferenciado, porém nada impede que ela seja montada em campo e, após algum tempo de convergência, possa transmitir sinal de correção sem o advento da repetibilidade em longo prazo.

A estação RTK é composta por um receptor GNSS e um módulo que compara a coordenada recebida pela antena receptora com a coordenada conhecida do ponto e automaticamente gera o algoritmo de correção que é enviado ao trator por meio de um emissor de rádio. A base pode ser sustentada por uma bateria ou por uma rede elétrica para transmitir o sinal de correção constantemente. O trator recebe o sinal de correção por meio de um receptor de rádio, que conectado ao monitor, envia constantemente os algoritmos de correção, nos quais são submetidas as coordenadas recebidas pelo receptor GNSS (Figura 23).

Figura 23 – Componentes da base RTK.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.



ATENÇÃO

Entre os cuidados que se deve tomar ao realizar a instalação da base RTK é manter o receptor da base livre de impedimentos, como árvores e construções, dentro de um ângulo de 160° acima da antena.



PRECAUÇÃO

Obstruções podem causar erros por reflexão, multicaminhamento do sinal GNSS recebido ou, até mesmo, impedir o seu recebimento, fazendo com que o algoritmo de correção transmitido não alcance a eficácia desejada.

Figura 24 – Obstrução do ângulo de 160°.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

Além disso, a base não deve ser instalada embaixo de árvores ou rede elétrica, tendo em vista que os mesmos causam interferência no sinal e reduzem a qualidade da correção de sinal. O mesmo vale para as bases repetidoras de sinal, que são utilizadas para aumentar o alcance do sinal de correção em locais onde o relevo e o ambiente não são propícios.

Figura 25 – Montagem correta da estação RTK.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

A escolha entre possuir uma estação RTK particular e assinar um sinal de correção depende sempre das condições geográficas da propriedade, o que determina o número de estações a serem preparadas e os números de veículos a serem beneficiados com o sinal. Esses fatores também determinam os valores adicionais para a aquisição da tecnologia com suporte para RTK ou para a aquisição de assinaturas: a escolha dependerá do custo-benefício.

4. DIRECIONAMENTO AUTOMÁTICO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS

O termo direcionamento automático de máquinas agrícolas refere-se às tecnologias que corrigem o percurso da máquina em campo sem a intervenção do operador. Originalmente, foi criada a barra de luzes, que recebia a posição da máquina durante o deslocamento por meio do sistema GNSS e, com o auxílio de sinais luminosos, indicava ao operador para qual lado devia direcionar a máquina para corrigir a sua trajetória.

Posteriormente, houve uma evolução no cenário da tecnologia de máquinas agrícolas: ao invés de enviar sinais para que o operador da máquina efetue o direcionamento, as empresas criaram atuadores que recebem impulsos provenientes de um módulo e efetuam automaticamente a correção no trajeto do trator. Essa tecnologia foi denominada piloto automático.

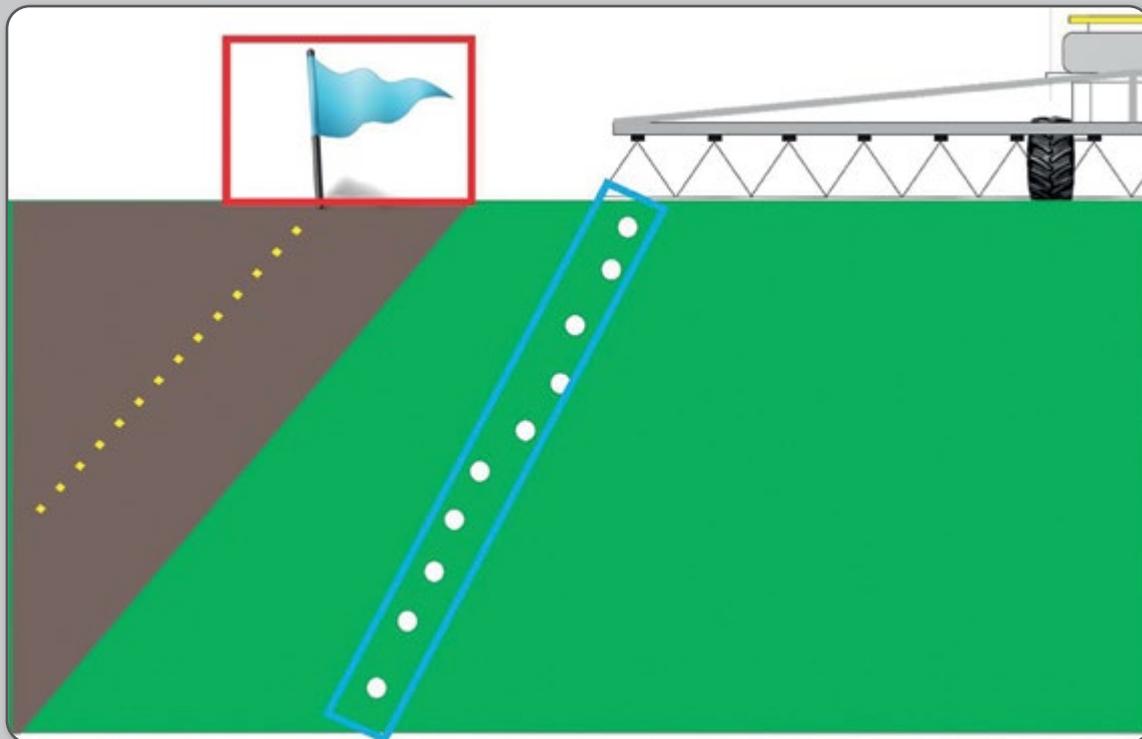
4.1 BARRA DE LUZES

A barra de luzes surgiu originalmente como ferramenta de auxílio no direcionamento de aeronaves que precisavam de um método de orientação em um ambiente onde havia falta de pontos de referência para auxiliar o piloto.

Essa tecnologia foi adaptada para ser utilizada em máquinas agrícolas após ser vista como uma melhoria em relação aos métodos de orientação tradicionais que, em operações que demandam precisão entre as passadas, se davam por marcadores de linhas em operações de semeadura e marcadores por espuma em pulverizadores.

A ideia central da utilização de barra de luzes na agricultura é evitar falhas e sobreposições entre as passadas das máquinas nas operações mecanizadas. De acordo com Baio (2005) a utilização de marcadores de espuma, bandeiras sinalizadoras, marcadores de linha e orientação por meio das fileiras de cultivo podem gerar falhas ou sobreposição ao longo da operação, resultar em custos adicionais com insumos e trazer danos à cultura e ao meio ambiente.

Figura 26 – Bandeira sinalizadora (Vermelho) e marcador de espuma (Azul).



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

Para Nieminen e Sampo (1993), em pulverizações, os operadores de máquinas, sem o auxílio de tecnologias de direcionamento, sobrepõem propositalmente as linhas de aplicação para evitar falhas. No entanto, essa prática resulta em desperdício de produtos e prejudica a rentabilidade da atividade agrícola. Os autores ainda concluíram que a sobreposição pode chegar a 10% da largura efetiva de trabalho.

A utilização do sistema de barra de luzes, porém, é limitada no que se refere à precisão que, apesar de ser superior aos sistemas convencionais, ainda tem como fator limitante o tempo de resposta do operador aos sinais luminosos emitidos pelo monitor.

ATENÇÃO

A utilização de sinais de correção que prometem precisão superior ao DGPS não é recomendável nesse tipo de tecnologia, pois mesmo que a correção do sinal ofereça acurácia superior, o operador não será capaz de aproveitar tal recurso.

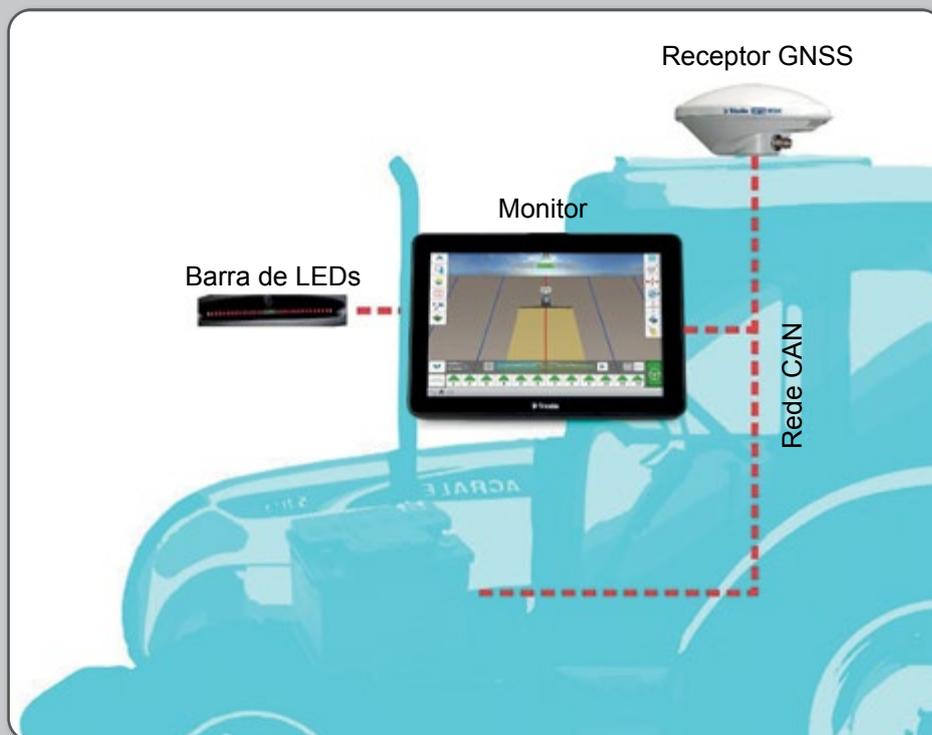
Porém, mesmo que a precisão da barra de luzes seja limitada, ela ainda é superior aos sistemas convencionais de orientação na lavoura e é possível utilizá-la em operações que não demandam grau altamente elevado de acurácia. A precisão de

até 20 centímetros entregue pelo receptor DGPS é suficiente para manter a qualidade da operação, como em preparo de solo, roçadas, pulverização e até na colheita de algumas culturas.

4.1.1 Constituintes do sistema de barra de luzes

Os itens que compõem o sistema de barra de luzes são: receptor GNSS, monitor, e rede CAN. Adicionalmente, podemos ter a barra de LEDs.

Figura 27 – Componentes do sistema de barra de luzes.



Fonte – Zerbató; Corrêa, 2018.

O receptor GNSS equipa todas as máquinas que utilizam tecnologias de agricultura de precisão e tem como objetivo calcular e fornecer ao sistema as coordenadas referentes à localização da máquina. De forma geral, o receptor GNSS é uma figura indispensável em operações que requerem precisão.

Entre os cuidados que se deve ter, destaca-se manter a antena preferencialmente centralizada em um local do veículo livre de barreiras, como, por exemplo, sobre a cabine do trator ou sobre o capô do motor em veículos desprovidos de cabine. Durante a instalação do sistema, cabe ao técnico informar no monitor em que local do veículo o receptor está instalado e, ainda, caso já não tenha feito, inserir as configurações do veículo no monitor.

Figura 28 – Receptor GNSS instalado no trator.



Fonte – SENAR AC, 2012.

O monitor pode ser considerado a porta para a comunicação entre homem e máquina. Ele é a interface de controle de todos os sistemas de agricultura de precisão e deve ser manuseado sempre de forma racional, para evitar eventuais erros de entrada de informações, que resultam em falhas na operação.

Para ser responsável pela comunicação entre o homem e a tecnologia, o monitor deve também exibir todas as informações referentes ao estado da tecnologia, como informações de falhas e erros no sistema de posicionamento por satélite, ou seja: como uma interface, ele tem a função de receber comandos e mostrar resultados ao operador.

No uso da barra de luzes, o monitor também é responsável por processar em tempo real para qual lado a máquina deve se deslocar para corrigir erros no trajeto e transformar essas informações em impulsos elétricos que acionam os LEDs para que o operador saiba para que direção deve esterçar os rodados do veículo.

Figura 29 – Monitor.



Fonte – SENAR AC, 2012.

A comunicação entre o monitor e o receptor GNSS é feita por meio de uma estrutura de rede denominada CAN. A rede CAN (*Controller Area Network*) é o sistema responsável pela comunicação entre equipamentos e tecnologias dentro de máquinas agrícolas. O diferencial desse sistema é o fato de que, por meio de uma mesma rede, as informações transitam em diferentes direções. Por exemplo, na rede onde transitam as informações do monitor para um atuador vão transitar informações do atuador para o monitor, por um mesmo cabo, e sem a perda de pacotes de dados.

O sistema de barra de luzes pode, adicionalmente, utilizar uma barra de LEDs conectada ao monitor, substituindo a convencional barra de luzes. Porém, com a evolução da tecnologia os monitores passaram a contar com barras de LEDs virtuais, e hoje em dia a barra de LEDs física só é utilizada para melhorar a visibilidade dos comandos durante a operação. Porém, com a evolução da tecnologia, os monitores passaram a contar com barras de LEDs virtuais e, hoje em dia, a barra de LEDs física só é utilizada para melhorar a visibilidade dos comandos durante a operação.

Figura 30 – Barra de LEDs.



Fonte – SENAR AC, 2012.

4.1.2 Vantagens

Entre as vantagens do sistema de auxílio ao direcionamento de máquinas agrícolas, podemos destacar, primeiramente, o baixo custo em comparação com os demais sistemas. A facilidade de operação e regulação é maior que em outras tecnologias, pois a quantidade de recursos é inferior.

Além disso, destaca-se a sua mobilidade entre máquinas. Por ser um sistema simples de instalar, é fácil de transportá-lo de uma máquina para outra: é possível, por exemplo, retirá-lo do pulverizador no fim de safra e instá-lo na colhedora.

4.1.3 Desvantagens

A principal desvantagem dessa tecnologia é a precisão na operação limitada à habilidade e tempo de reação do operador aos sinais enviados pelo monitor. Vale lembrar que o fator humano também limita a necessidade de sinais de correção, sendo recomendada apenas a recepção de sinal via DGPS ou GNSS com auxílio de algoritmos de correção internos, que garantem cerca de 20 centímetros de precisão.

Devido à baixa precisão, a utilização de barra de luzes em semeadura, aplicações ou colheita que demandem mais precisão não é recomendada, sendo mais indicado utilizar tecnologias de direcionamento automático que excluam o erro causado pelo fator humano sobre o direcionamento da máquina.

4.2 PILOTO AUTOMÁTICO ELÉTRICO

Piloto automático é o nome dado popularmente às tecnologias de direcionamento automático, que nada mais é que uma evolução do sistema de barra de luzes que, até então, precisava de um operador para manobrar a máquina agrícola de acordo com o estímulo enviado pelo monitor. Ao criar o piloto automático, os fabricantes buscavam nada mais do que reduzir o tempo empregado pelo operador no direcionamento do trator por uma máquina e, assim, permitir que a sua atenção possa ser transferida à operação que está sendo realizada no lado externo da cabine.

O piloto automático elétrico, como o nome já sugere, é o sistema de direcionamento automático que substitui o operador na função de direcionar o equipamento por meio de um atuador elétrico que age na barra de direção ou, em modelos mais antigos, pelo volante do trator, por meio do princípio de atrito.

Figura 31 – Atuador elétrico instalado na barra de direção.



Fonte – SENAR AC, 2012.

 **ATENÇÃO**

O piloto automático elétrico não substitui totalmente o operador, pois, na maioria dos sistemas, é necessário que ele realize manobras de cabeceira manualmente. Mesmo quando essa função também é atendida pela tecnologia, o operador ainda é fundamental para configurar e supervisionar as operações de dentro da cabine do trator.

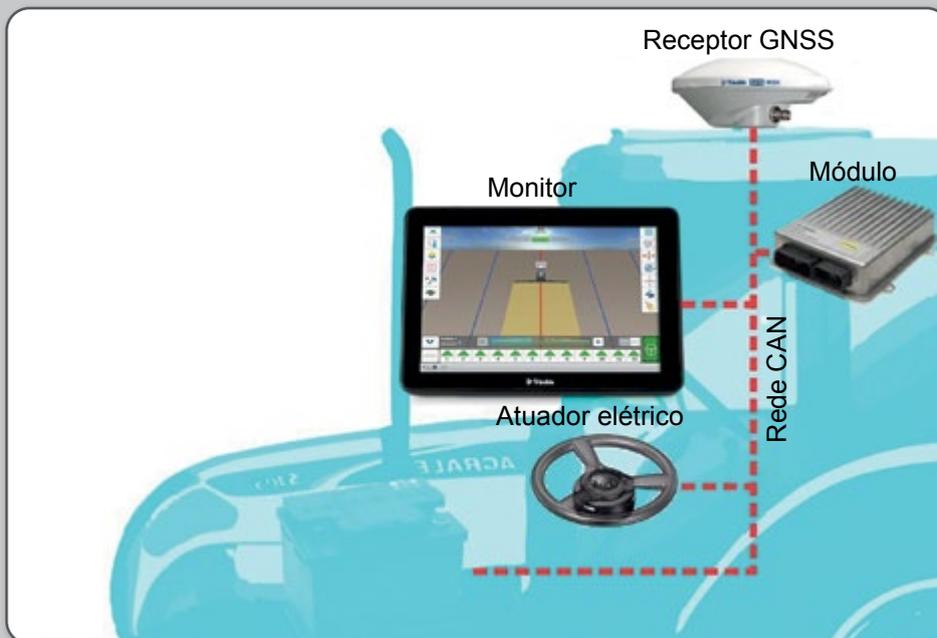
Entre os resultados obtidos após a criação do piloto elétrico, pode-se destacar o ganho de precisão nas operações agrícolas, até mesmo quando comparado ao uso de barra de luzes. No entanto, o primeiro modelo de atuador desenvolvido, o de atrito, não trazia resultados tão animadores como os do seu sucessor, o piloto automático elétrico de barra de direção, que atua na coluna de direcionamento do trator. Por ser um sistema mais sofisticado, as repostas são mais rápidas e os erros encontrados pelas famosas folgas que ocorriam no sistema de atrito foram deixadas para trás. No entanto, apesar de tudo isso, ainda são encontrados modelos de piloto automático de atrito no mercado que sobrevivem devido ao seu baixo custo de aquisição.

Entre as vantagens da utilização do piloto automático, podemos destacar o aumento na precisão entre as passadas da máquina e a possibilidade de trabalhar em áreas com controle de tráfego, onde os tratores trafegam sempre com os rodados passando nos mesmos lugares.

4.2.1 Constituintes

O piloto automático elétrico é constituído pelos mesmos itens básicos vistos na barra de luzes, ou seja, receptor GNSS, monitor e rede CAN. No entanto, para exercer a função autônoma devem ser incluídos no sistema um módulo de controle e um atuador elétrico. Pode-se adicionar também um receptor de rádio para receber sinais de correção RTK.

Figura 32 – Componentes do piloto automático elétrico.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

O módulo de controle, também conhecido como "caixa prata", é responsável por processar os comandos recebidos pelo monitor e enviar impulsos ao atuador elétrico, para que o mesmo efetue a correção do direcionamento da máquina automaticamente. Para efetuar a sua função com o máximo de precisão, a caixa prata deve ser instalada na máquina na posição recomendada pelo fabricante, de forma nivelada, fator importante para que ela utilize de maneira mais eficaz os giroscópios e acelerômetros presentes dentro dela.

Figura 33 – Módulos de controle.



Fonte – SENAR AC, 2012.

O atuador elétrico, por sua vez, nada mais é que um motor de pulsos elétricos que recebe os impulsos elétricos do módulo e os transforma em trabalho, ou seja, na correção do trajeto. Entre os tipos de atuadores disponíveis no mercado, é comum se deparar com atuadores de atrito, que movimentam a direção da máquina por meio do atrito aplicado no volante; e também com o atuador de barra de direção, que é instalado na barra de direção do trator e está livre de problemas como folgas na direção.

Figura 34 – Atuador elétrico de atrito instalado na direção.



Fonte – SENAR AC, 2016.

4.2.2 Vantagens

Entre as vantagens do piloto automático elétrico podemos citar o ganho na precisão entre as passadas da máquina, o menor desgaste do operador, que não é mais responsável pelo esterçamento da máquina e pode se dedicar à monitorar a operação para garantir maior qualidade e, em relação ao piloto automático hidráulico, esse sistema é consideravelmente mais barato e de fácil instalação.

4.2.3 Desvantagens

A desvantagem desse sistema ainda é definida pelo tempo de resposta da correção do trajeto da máquina, principalmente em piloto de atrito, o que causa menor precisão entre as passadas e limita a utilização desse sistema a algumas operações apenas.

4.3 PILOTO AUTOMÁTICO HIDRÁULICO

O piloto automático hidráulico segue os mesmos princípios do piloto elétrico, no entanto, oferece precisão superior por ser um sistema mais avançado que interage diretamente com o sistema de direção hidráulica do trator, convertendo os estímulos recebidos pelo módulo de controle em alteração no fluxo de fluídos, corrigindo o trajeto em velocidade superior aos demais sistemas.

Figura 35 – Atuador eletro-hidráulico.



Fonte – SENAR AC, 2012.

Devido à alta capacidade de resposta e qualidade de operação característica do sistema de piloto automático hidráulico, esse sistema é recomendado para qualquer tipo de operação, seja para aquelas que não demandam acurácia como, por exemplo, distribuição de corretivos, como para operações que demandam precisão centimétrica, como a de semeadura.

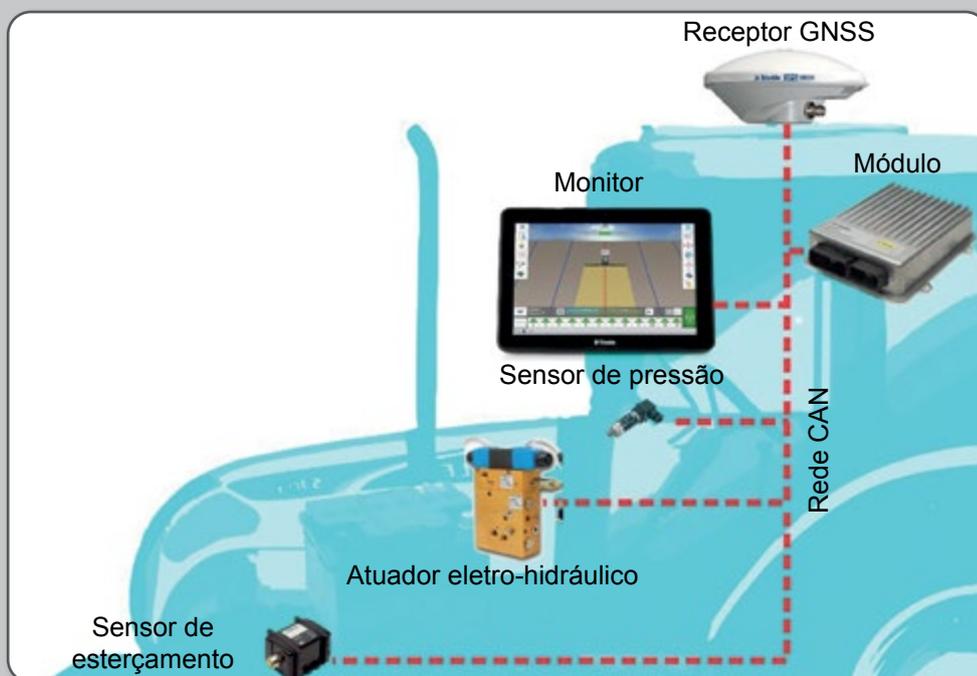
ATENÇÃO

Além de ser utilizado em qualquer operação, recomenda-se utilizar sistemas de correção de sinal mais avançados, como os sinais pagos que recebem a correção via satélite (*Real Time eXtend*, por exemplo) ou RTK, para que se faça uso total do potencial do equipamento.

4.3.1 Constituintes

Seguindo a tendência do piloto automático elétrico, o piloto hidráulico tem os mesmos componentes do sistema mencionado anteriormente. No entanto, substitui-se o atuador elétrico por um atuador eletro-hidráulico, um sensor de esterçamento que fica instalado em uma das rodas da máquina e informa o controlador da direção do rodado da máquina para que o mesmo calcule o trajeto a ser percorrido e, por fim, o sistema possui também um sensor de pressão presente no sistema hidráulico da máquina, para que o controlador identifique movimentos efetuados pelo operador no volante da máquina e desligue o sistema de direcionamento hidráulico instantaneamente.

Figura 36 – Componentes do piloto automático hidráulico.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

4.3.2 Vantagens

A vantagem desse sistema sobre os demais é a maior precisão e tempo de resposta, o que permite que a tecnologia seja usada em operações que requerem alto grau de acurácia.

4.3.3 Desvantagens

A desvantagem dessa tecnologia é o alto custo de aquisição em relação às tecnologias apresentadas anteriormente e a menor portabilidade da mesma entre máquinas.

5. PROJETOS DE ALINHAMENTO

Para aproveitar as vantagens das tecnologias de direcionamento automático é necessário ter um projeto de alinhamento composto por linhas paralelas que serão utilizadas como fonte de orientação pela tecnologia do trator, oferecendo melhor aproveitamento da área e garantindo a qualidade do paralelismo entre as passadas nas operações. Os projetos de alinhamento podem ser feitos previamente em escritório ou em campo no momento da operação, escolhendo entre trajetos retos, curvos ou em pivô (circulares).

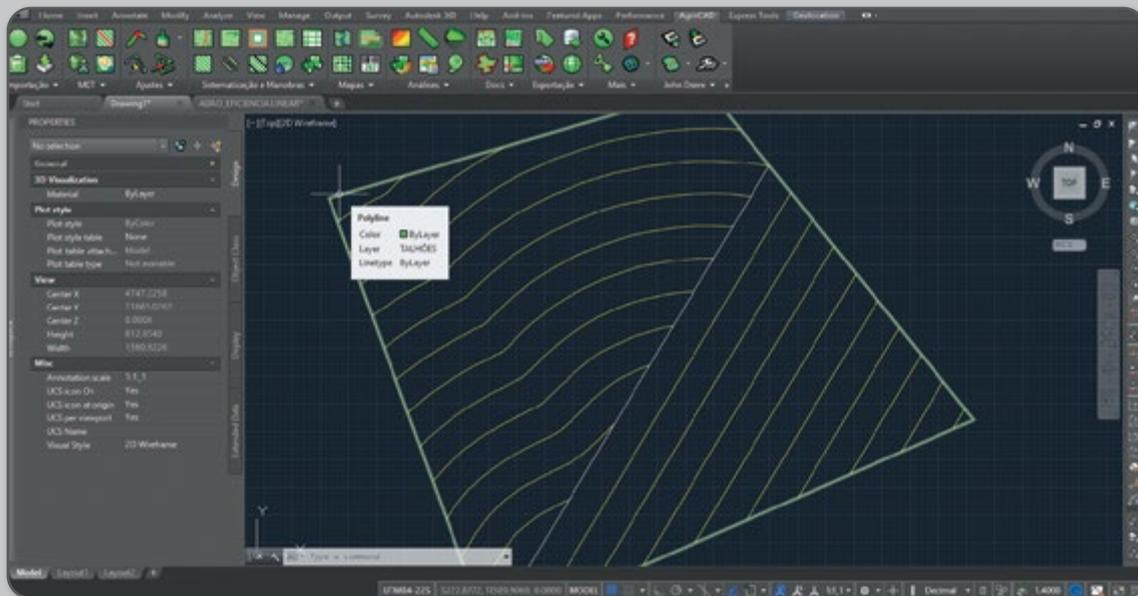
5.1 CRIAÇÃO DE PROJETOS DE ALINHAMENTO

Entre as formas de criação dos projetos de alinhamentos, a criação prévia por meio de *softwares* se destaca por permitir melhor planejamento da operação, levando em consideração a possibilidade de realizar controle de tráfego, reduzir tempo de manobras, manejar o ângulo de entrada da máquina no talhão, além de outras vantagens. Os projetos de alinhamento são criados em *softwares* específicos de Sistema de Informações Geográficas (SIG) ou *softwares* do tipo *Computer Aided Design* (CAD – Desenho Assistido por Computador), que podem ser gratuitos ou não e requerem algum conhecimento para a sua utilização, que varia em função do *software*.

ATENÇÃO

De forma geral, na criação desses projetos deve-se dar especial atenção às coordenadas de entrada, ou seja, os pontos do contorno do talhão inseridos no *software* que devem estar no *Datum* WGS84, assim como o projeto de saída que, além de necessariamente estar nesse sistema de coordenadas geográficas, deve estar salvo em *shapefile* (.shp), que é a formatação digital adotada pela maioria dos monitores disponíveis na área de agricultura de precisão.

Figura 37 – Projeto de alinhamento da operação de semeadura, exemplo no *software* AgroCAD®.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

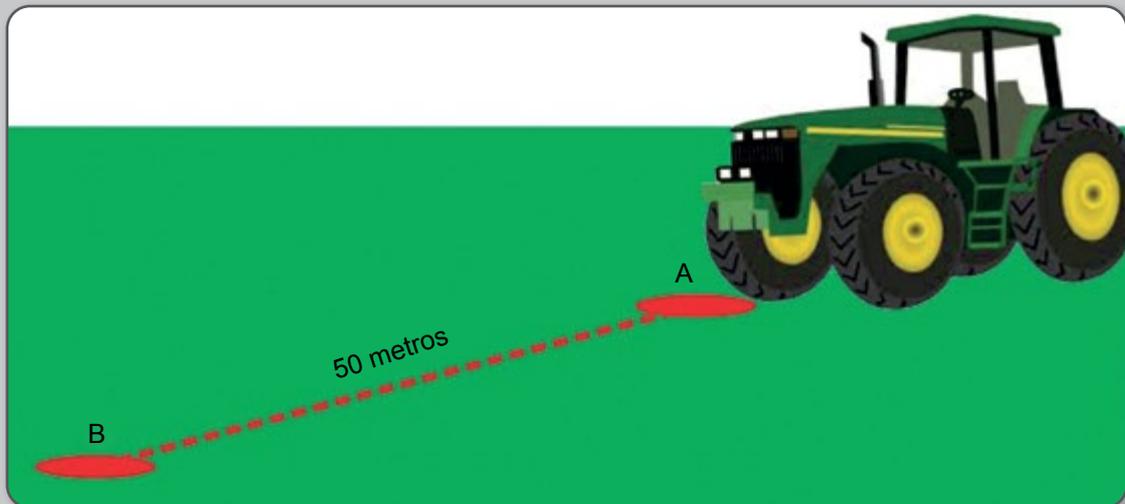
Após o projeto de alinhamento estar pronto, ele deve ser transportado até o monitor por meio de um *pendrive* ou cartão de memória que, quando inserido, deve carregar as linhas na área para iniciar a operação.

5.2 RETA AB

Além da criação dos trajetos no escritório, é comum que os monitores tenham como funcionalidade a criação do percurso em campo, o qual o operador define dirigindo o trator manualmente na primeira linha do trajeto, a linha AB, e o monitor cria linhas paralelas a ela com o espaçamento da largura de trabalho do implemento.

Entre os trajetos mais comuns a serem criados manualmente, destacamos a reta AB, largamente utilizada em terrenos de relevo suave, pouca declividade e livre de obstáculos. Esse tipo de projeto de alinhamento funciona a partir da demarcação de 2 pontos no talhão, espaçados no mínimo 50 metros de comprimento entre si, e que são ligados por uma linha reta, sendo essa linha utilizada como base para a criação das demais linhas paralelas.

Figura 38 – Criação de reta AB.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

5.3 CURVA AB

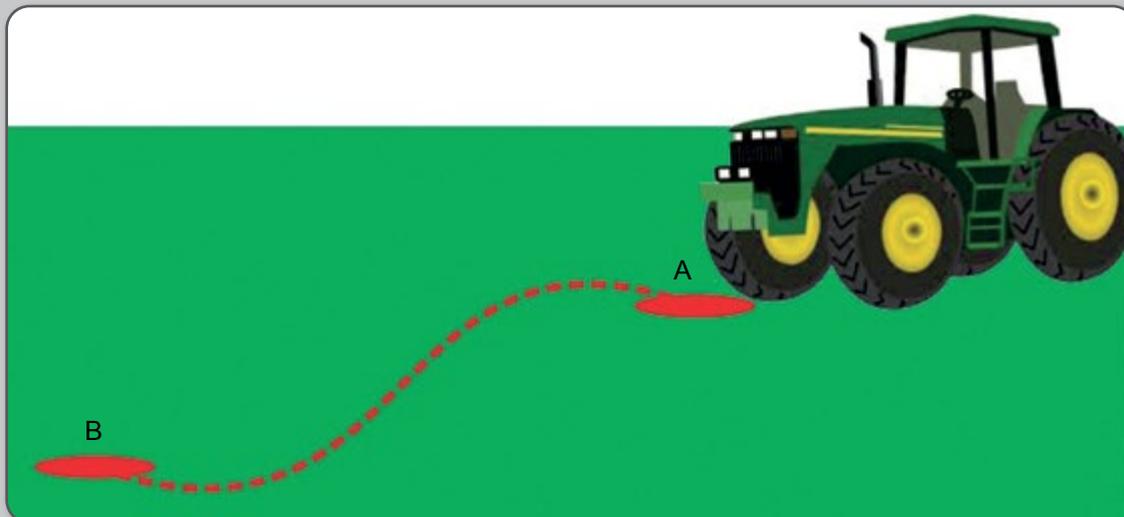
Em terrenos onde a declividade é mais acentuada, criando um terraceamento menos regular, a utilização de trajetos requer a prática de manobras em meio ao talhão para impedir que o trator passe por cima dos terraços. Com o aumento do número de manobras, ocorre a compactação desnecessária do solo dentro do talhão e o rendimento operacional das máquinas é reduzido, aumentando, assim, o custo operacional. Por isso, nas condições citadas anteriormente, é comum a utilização de trajetos curvos, chamados de curva AB.

A curva AB é criada a partir do trajeto percorrido manualmente pelo operador para sair do ponto A e chegar a um ponto B. Porém, diferentemente da reta AB, esse tipo de trajeto registra todo o percurso do deslocamento da máquina e gera uma linha que, em função do trajeto percorrido, pode ter diversas curvaturas em função das particularidades do terreno.

! ATENÇÃO

Para a criação desse trajeto, recomenda-se ao operador seguir o formato do terraceamento (curvas de nível), escolhendo, entre o superior e o inferior, pelo que tem maior extensão, para que toda a extensão da curva de nível seja devidamente ocupada pelas linhas paralelas.

Figura 39 – Criação de curva AB.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

5.4 PIVÔ

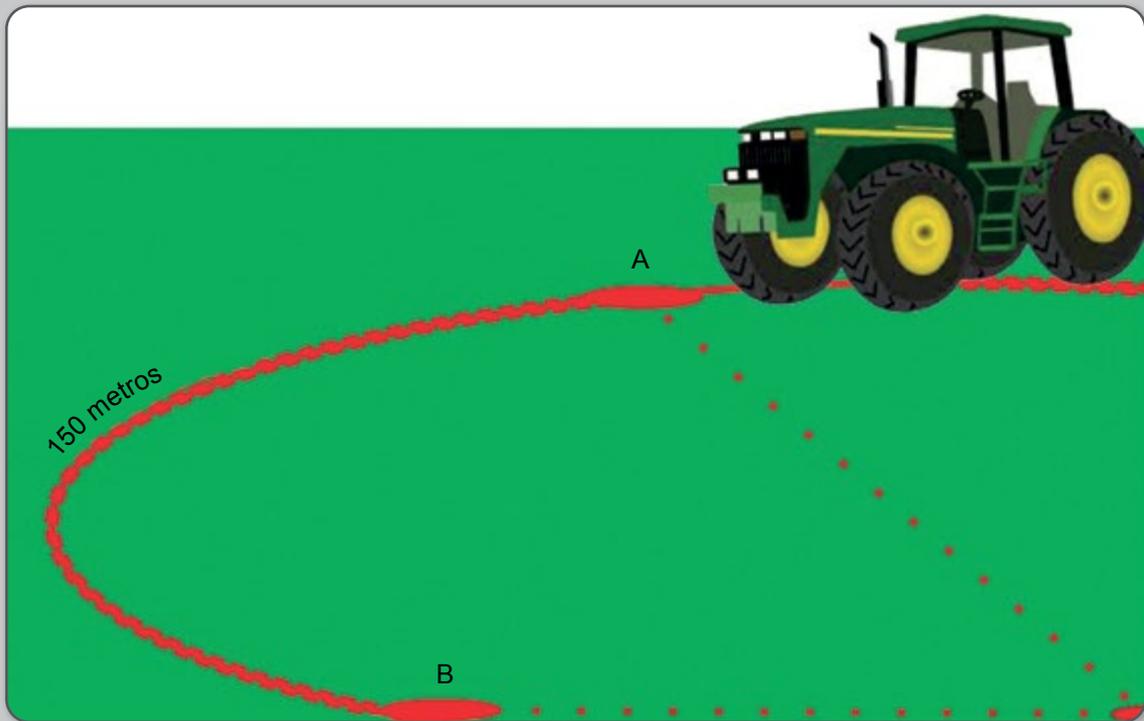
Muito menos utilizado que os tipos de percursos citados anteriormente, porém ainda disponíveis em grande parte dos monitores de agricultura de precisão, o trajeto em pivô nada mais é que uma alternativa para a criação de trajetos de alinhamento circulares que podem ser utilizados, por exemplo, em cultivos em irrigação por pivô central para as atividades de manejo das culturas.

Para a criação de um trajeto desse tipo, o operador deve percorrer manualmente um trajeto em semicírculo com extensão de, ao menos, 150 metros e, após realizada essa etapa, o monitor completa o restante da extensão do círculo, gerando os demais círculos paralelos para a orientação do sistema de piloto automático.

! ATENÇÃO

Recomenda-se, para a criação de um trajeto pivô, que o operador se baseie em algum rastro circular dentro do pivô central para criar o semicírculo de referência, por exemplo, o rastro dos rodados do pivô.

Figura 40 – Criação de trajetos do tipo pivô.

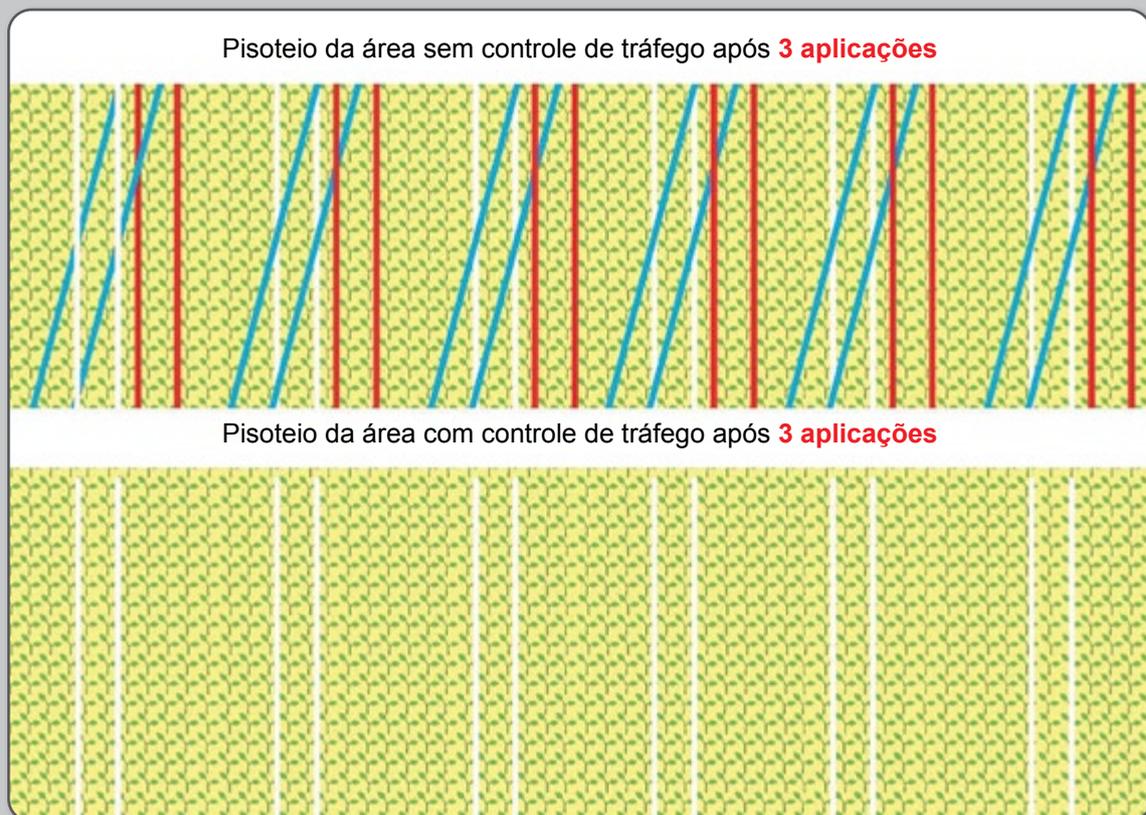


Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

6. CONTROLE DE TRÁFEGO

Entre os benefícios que vêm ao encontro da utilização dos sistemas de direcionamento automático, podemos citar a possibilidade da realização do controle de tráfego das máquinas agrícolas nas áreas de produção de plantas. O controle de tráfego, ou sistema de tráfego controlado (como também pode ser chamado), nada mais é que a técnica de planejar os locais onde as máquinas deverão transitar no meio da lavoura em todas as operações e assim pisotear menos plantas e reduzir a compactação do solo. Em cultivos que não utilizam o tráfego controlado das máquinas agrícolas é comum que haja um rastro dos rodados das máquinas para cada operação realizada na área, enquanto em áreas que se beneficiam dessa técnica, é comum visualizar que haja um rastro comum a todas as operações.

Figura 41 – Operação com e sem controle de tráfego.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

Atualmente, entre as culturas que adotam a utilização do sistema de controle de tráfego, a cana-de-açúcar é uma das que apresentam melhor resposta ao sistema por ser uma cultura semiperene, na qual são utilizadas diversas operações com máquinas pesadas ao longo do ciclo. Essas operações também podem ser realizadas no período noturno, quando a visualização das linhas da cultura se torna difícil causando o pisoteamento frequente e, por consequência, a destruição das soqueiras.

No entanto, culturas anuais também se beneficiam do uso do controle de tráfego. De acordo com ACIAR (1998), a utilização de controle de tráfego em lavouras na Austrália resultou em solos com menor resistência ao desenvolvimento radicular das culturas e em um aumento de 16% na produção de grãos.

Segundo Molin, Amaral e Colaço (2015), em sistemas produtivos que utilizam plenamente o controle de tráfego de máquinas, é possível atingir áreas de tráfego inferiores a 15%, aumentando a produtividade das demais áreas que deixaram de ser compactadas e atropeladas pelos rodados.

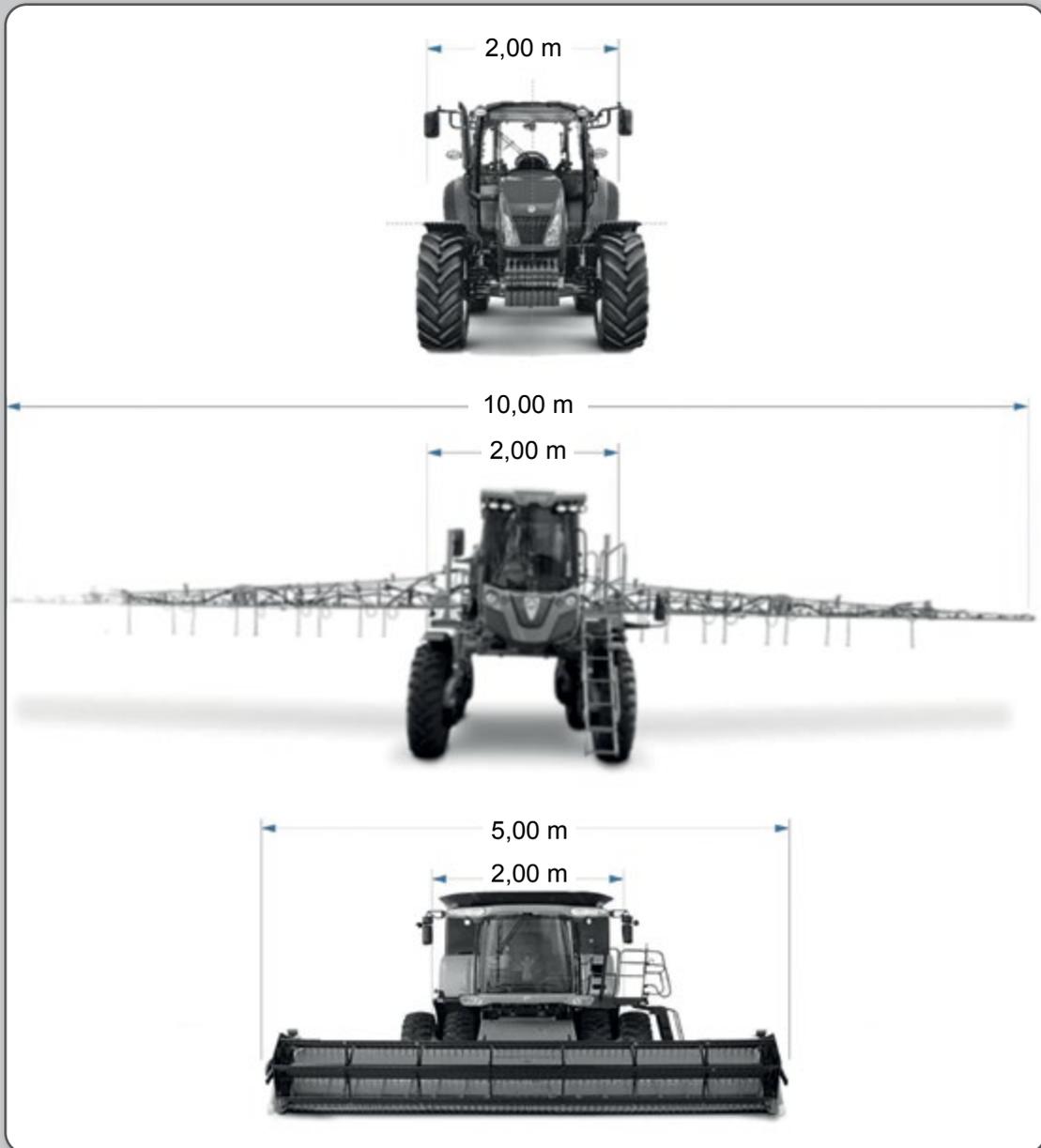
Entre os requisitos para a realização do tráfego controlado de máquinas agrícolas, destaca-se a necessidade de um sistema de direcionamento automático em todas as máquinas que atuam dentro do talhão, assim como sinais de correção que possuam repetibilidade em longo prazo, principalmente em cultivos perenes e semiperenes.



ATENÇÃO

É indispensável que todos os equipamentos utilizados na área sejam adequados a uma única largura de bitola, ou seja, distância entre as bandas de rodagem, e que as larguras de trabalho dos equipamentos sejam múltiplas uma da outra. A utilização de larguras de trabalho múltiplas tem plena importância na realização do controle de tráfego. Um exemplo é uma colhedora com faixa de trabalho de 5 metros e um pulverizador com faixa de trabalho de 10 metros. Assim, a colhedora gerará dois rastros de rodados e o pulverizador aproveitará um desses dois rastros, não sendo necessário criar um novo.

Figura 42 – Ajuste da bitola e largura de trabalho dos equipamentos para realização de tráfego controlado.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

A utilização do controle de tráfego na lavoura garante que as máquinas trafeguem sempre no mesmo rastro dentro do talhão, tornando o rastro mais compactado, melhorando a capacidade de tração dos equipamentos utilizados no manejo das culturas. Além disso, essas técnicas permitem concentrar a compactação ocasionada pela mecanização da área apenas no rastro pré-definido, tornando o manejo da compactação ao longo do talhão mais barato e permitindo a realização de intervenções localizadas que reduzam o custo das atividades produtivas na área.

7. GUIA BÁSICO DE UTILIZAÇÃO

O maior impedimento para a disseminação e aceitação das tecnologias de agricultura de precisão disponíveis no mercado brasileiro até hoje é a utilização dos sistemas pelos operadores frente às dificuldades impostas pelos fabricantes desse tipo de tecnologia. Com isso, atualmente as empresas passaram a investir mais na usabilidade dos sistemas, tornando-os mais intuitivos e utilizando plataformas presentes no dia a dia das pessoas.

Nesse capítulo do material, objetiva-se transmitir as noções básicas da utilização dos monitores dos sistemas de direcionamento automático das máquinas agrícolas que são comuns a diversos sistemas de diferentes fabricantes destas tecnologias, de forma a demonstrar as etapas necessárias para a utilização dos sistemas de direcionamento automático.

7.1 INICIALIZAÇÃO DO SISTEMA

Para aproveitar os recursos disponíveis na sua máquina, verifique o cabeamento dos seus equipamentos, certifique-se de estar com o receptor GNSS e o receptor do sinal de correção (quando disponível) conectados e livres de impedimentos (edificações e árvores) e, então, ligue o monitor. Para certificar-se que o sistema está recebendo as coordenadas do local e o sinal de correção (quando disponível), acesse o diagnóstico do sistema encontrado geralmente na barra de ferramentas do sistema.

Figura 43 – Monitor de agricultura de precisão para máquinas agrícolas.



Fonte – Geo Agri Tecnologia Agrícola, 2018.

Ao abrir a tela de diagnóstico do sistema GNSS, pode-se visualizar o *status* do GNSS no veículo, por meio das coordenadas do local, velocidade do veículo, distância do implemento ao trator (cabecinho), quantidade de satélites em comunicação com

o receptor, qualidade da correção GNSS, tempo desde a última correção de sinal recebida (quando disponível) e a diluição do erro horizontal no posicionamento (HDOP), que não deve estar acima de 0,8. Caso o *status* esteja indisponível, o veículo não está recebendo dados via GNSS, então é necessário se certificar de que a antena esteja conectada e que o veículo tenha visão limpa do céu, livre de impedimentos.



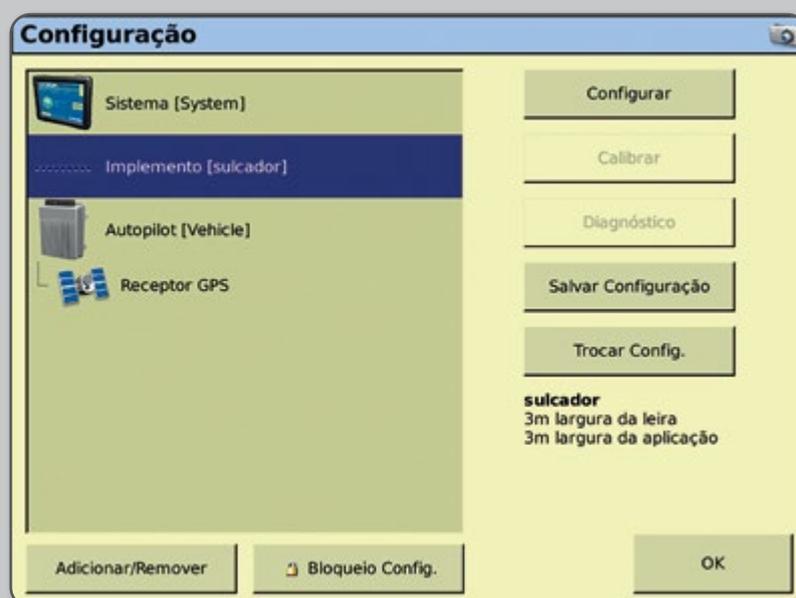
ATENÇÃO

Se todos os itens dessa tela estiverem de acordo com o desejado, como, por exemplo, a recepção do sinal GNSS, é possível passar aos próximos passos.

7.2 CONFIGURAÇÃO DOS IMPLEMENTOS

Para o perfeito funcionamento do direcionamento automático nas máquinas agrícolas é necessário comunicar ao sistema algumas informações sobre o equipamento que está realizando a operação. Assim, os monitores têm a opção de registrar as máquinas e implementos disponíveis na frota e caracterizá-las quanto às suas dimensões. Para isso, acesse a tela de configurações do seu monitor, selecione no menu IMPLEMENTO, e então toque em CONFIGURAR. Ao entrar na tela de configurações do implemento, selecione um dos *layouts* de equipamentos disponíveis no monitor. Para isso, é preciso acessar a tela de configurações do monitor, selecionar IMPLEMENTO no menu e tocar em CONFIGURAR. Na tela de configurações do implemento, é preciso selecionar um dos *layouts* de equipamentos disponíveis no monitor.

Figura 44 – Tela de configuração de implementos do monitor Trimble.



Fonte – Geo Agri Tecnologia Agrícola, 2018.

ATENÇÃO

Escolha sempre o *layout* de equipamento que mais se assemelhe ao seu, considerando sempre a operação a ser realizada, o tipo de tração do equipamento e, principalmente, a forma de acoplamento do equipamento ao trator (quando o mesmo não for autopropelido).

Após selecionado o *layout* do equipamento, é necessário inserir as medidas indicadas no monitor, sendo que elas podem variar de acordo com o tipo e o *layout* do equipamento escolhido na etapa anterior. Para finalizar a configuração do equipamento, informe a quantidade de sobreposições permitida entre as passadas da máquina, geralmente utilizada em operações de espalhamento e pulverização.

Figura 45 – Tela de configuração de implementos do monitor Trimble.

Tipo do Implemento	Medições	Geometria	Sobreposição	Extras
Largura da Leira	3.00 m A			
Largura da Aplicação	3.00 m			
Offset de Aplicação	0.00 m B			
Rows	1			
Offset Esquerda/Direita	0.00 m C			

Cancelar É necessário rever e configurar cada aba antes de continuar. Próximo >>

Fonte – Geo Agri Tecnologia Agrícola, 2018.

A etapa de configuração do equipamento, na maioria dos monitores agrícolas, é a que precede o passo que inicia a operação com sistemas de direcionamento automático, em especial quando os trajetos são criados em campo por meio das linhas AB.

7.3 INICIAR UM NOVO TRABALHO

Para registrar as informações das operações de forma organizada e sempre facilitando a utilização por parte do usuário, os monitores dos sistemas de agricultura de precisão requerem que seja realizado um registro detalhado da operação a ser realizada logo antes do início da mesma. Para realizar essa tarefa, é necessário inserir no monitor as informações requeridas na configuração da operação (Figura 46). Nessa tela estarão presentes informações do monitor, do veículo e do equipamento. Se tudo estiver configurado corretamente, em especial o equipamento, dê OK para seguir para a próxima tela. Para realizar essa tarefa no monitor, é preciso inserir as informações requeridas na configuração da operação (Figura 46). Ao abrir a tela seguinte, pode-se ver as opções e escolher ou inserir novas informações sobre cliente, fazenda, talhão e o evento sendo realizado. Na mesma tela ainda é possível confirmar o equipamento que está sendo utilizado. Ao fim do cadastro das informações, o próximo passo é tocar em OK para iniciar a operação.

Figura 46 – Registro de novo trabalho.

A captura de tela mostra uma interface de usuário com o título "Selecionar Área". Ela contém quatro campos de seleção com botões "Novo" adjacentes:

- Cliente: SUPORTE
- Fazenda: GEO AGRI
- Área: DEPARTAMENTO TECNICO
- Evento: PLANTIO

Abaixo dos campos, há um botão "Atributos do Evento" e uma seção "Selecionar Implemento" com o texto "PLANTADEIRA 3m largura da leira 3m largura da aplicação".

Na base da tela, há um botão "Cancelar", o texto "Nenhuma posição de GPS." e um botão "OK".

Fonte – Geo Agri Tecnologia Agrícola, 2018.

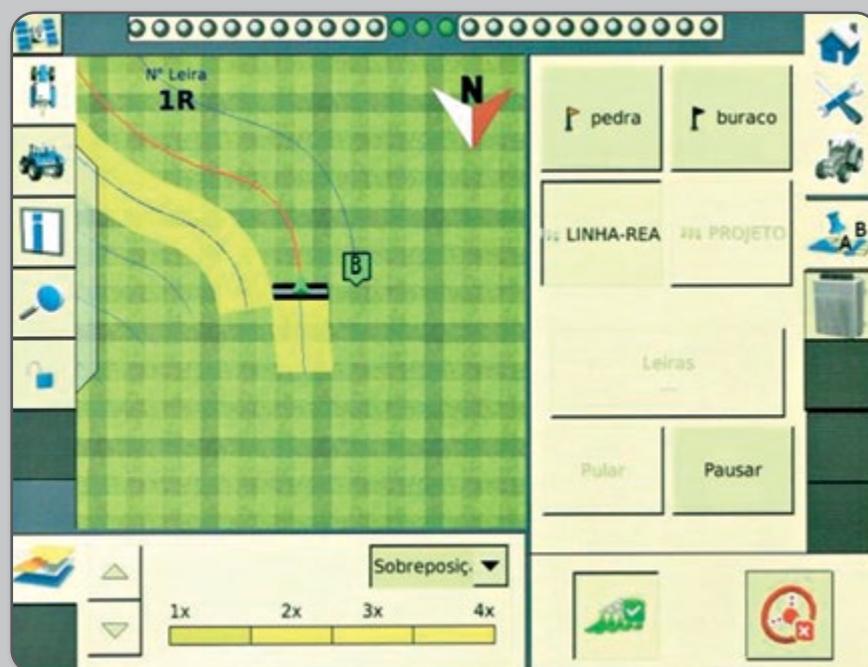
7.4 TELA DE OPERAÇÃO

A tela de operação, na maioria dos monitores agrícolas, se caracteriza por apresentar as informações relevantes para a operação no momento, ativar ou desativar o direcionamento automático (a desativação do piloto automático pode ser realizada

assumindo o controle da direção do trator quando o mesmo está equipado com um sensor de pressão do óleo no sistema de direção) e apresentar, simultaneamente, o posicionamento da máquina em campo (Figura 47).

Em grande parte dos monitores estão presentes barras de luzes virtuais para a orientação sem o direcionamento automático, um ícone que indica o posicionamento da máquina em campo, um ícone do *status* da recepção de sinal GNSS, botões para alterar a perspectiva da máquina no monitor, informações sobre a operação, opções para aumentar ou diminuir o *zoom* da tela, função de mapear a aplicação, tecla para habilitar direcionamento automático, além de algumas calibrações como agressividade do piloto automático, por exemplo.

Figura 47 – Tela de operação com piloto automático.



Fonte – Geo Agri Tecnologia Agrícola, 2018.

? VOCÊ SABIA?

A agressividade do piloto automático é o nome dado à configuração que define a frequência com que o sistema corrige o percurso da máquina e deve ser configurada em todas as operações de acordo com as condições do terreno e a velocidade de trabalho. Recomenda-se realizar essa calibração por meio de tentativa e erro, até que o operador perceba que a máquina está seguindo o percurso de forma eficiente.

Para iniciar a utilização do sistema de direcionamento automático, deve-se selecionar o trajeto a ser percorrido. Nesse caso, é necessário optar pelos percursos

explicados anteriormente no capítulo 5 e carregar a opção no monitor. Devido às especificidades de cada sistema, consulte sempre o manual do equipamento para maiores informações de como configurar o percurso desejado.



PRECAUÇÃO

Não utilize os sistemas de direcionamento automático quando estiver trafegando em estradas.

Na tela de operação também é comum aparecer um *menu* lateral com diversos itens, sendo que ele traz opções que vão desde sinalizar obstáculos no meio do talhão, até mapear e marcar o trajeto percorrido. Recomenda-se deixar essa opção sempre selecionada para que todo o trajeto percorrido seja salvo ao longo da operação e possa ser extraído via entrada USB do monitor para futuras análises.

7.5 CARREGANDO E EXTRAINDO ARQUIVOS

Para carregar arquivos no monitor e para extrair dados referentes às operações realizadas, utiliza-se o item arquivos de dados disponível na página inicial de muitos monitores. O arquivo de dados é a interface responsável pela troca de arquivos entre o monitor e o usuário. Para carregar arquivos no monitor, basta inserir o *pendrive* ou um cartão de memória e selecionar a pasta dos arquivos que deseja enviar ao monitor e tocar no botão copiar, no centro da tela. Para realizar a operação no sentido contrário, ou seja, extrair dados do monitor, basta selecionar a pasta de dados desejada e dar o comando extrair dados.

Figura 48 – Carregamento ou extração de dados no monitor via cartão de memória.



Fonte – SENAR AC, 2012.

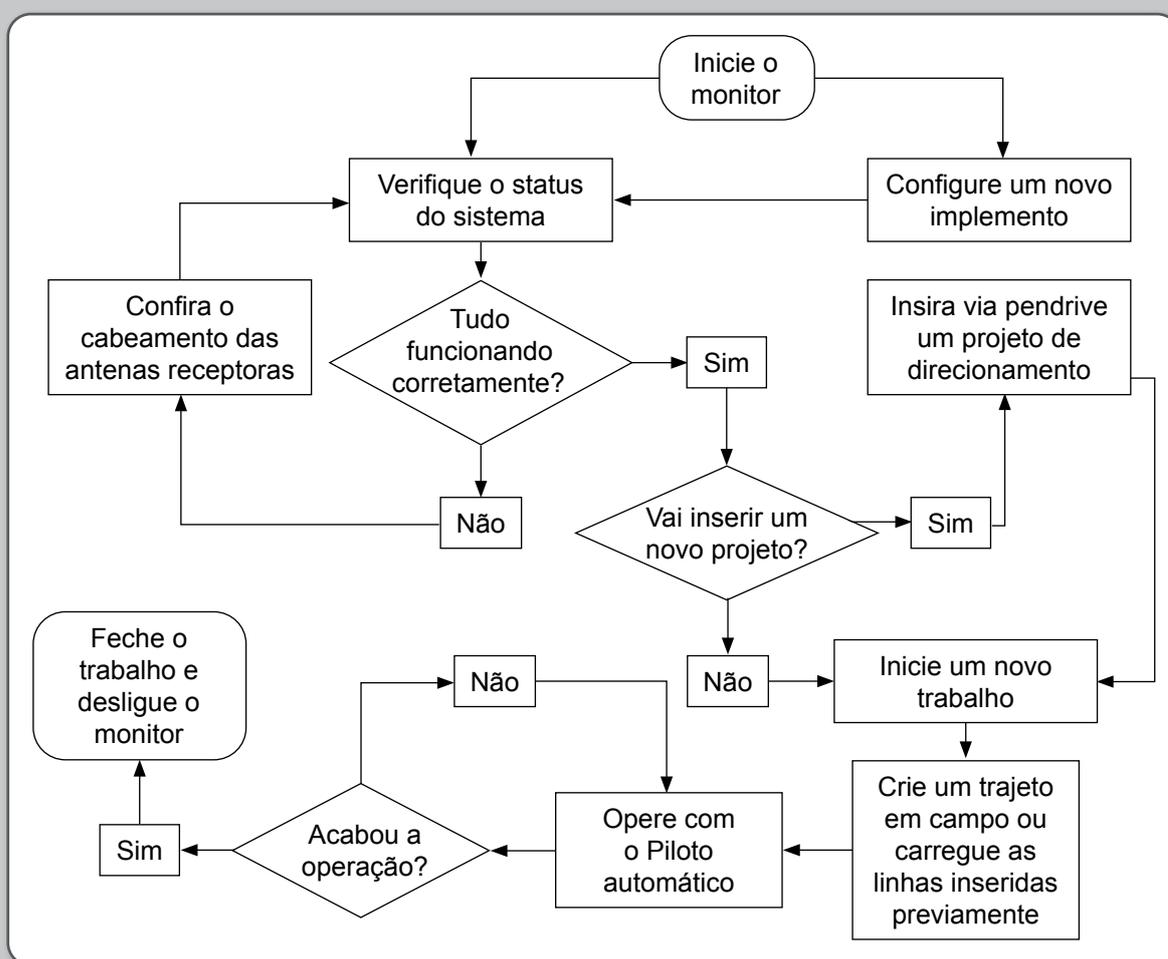
7.6 MAPA DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA

Por meio de um diagrama de fluxo, todas as etapas exibidas anteriormente no guia básico de utilização são apresentadas didaticamente aqui, pois são necessárias para operar com qualquer sistema de direcionamento automático (Figura 49).

? VOCÊ SABIA?

Para mais informações quanto à configuração do sistema, consulte o manual do fabricante do equipamento.

Figura 49 – Mapa genérico de operação com piloto automático em máquinas agrícolas.



Fonte – Zerbato; Corrêa, 2018.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, existem inúmeras técnicas em Agricultura de Precisão que visam ao manejo da variabilidade da lavoura, graças ao advento dos sistemas GNSS. O desenvolvimento de novas tecnologias cresceu de uma forma muito rápida e, a cada dia que passa, novos patamares vão surgindo com relação ao uso dessas tecnologias no meio agrícola. Existem questões muito importantes cujas respostas conseguimos extrair da lavoura por meio das tecnologias de Agricultura de Precisão:

- Qual a confiabilidade destes resultados?
- Estou tomando uma decisão mais assertiva com a análise dos resultados?
- A decisão tomada surtiu efeito a curto e/ou a longo prazo?
- O uso de tal tecnologia trouxe quais benefícios?

Em relação ao piloto automático, devemos responder às seguintes questões:

- Qual operação vou realizar?
- Qual tipo de piloto automático atende minha necessidade?
- É necessário realizar alguma correção do sinal GNSS para a minha operação e, se sim, qual?
- Todo o investimento no sistema escolhido está valendo a pena? Há melhorias nas operações de campo?

Lembre-se de que todo equipamento precisa de manutenções e todo tipo de sensor envolvido na tecnologia necessita de periódicas calibrações, as quais são recomendadas de fabricante para fabricante. Qualquer desajuste ou má regulagem dos equipamentos vão resultar na má qualidade das operações agrícolas e todo investimento feito será em vão. Por outro lado, manter o equipamento sempre em dia com os ajustes resultará em operações mais precisas, o que trará benefícios e a diminuição de erros durante as operações. O ganho de área no momento da implantação da cultura, a eliminação das sobreposições de aplicações na condução da lavoura e até mesmo a diminuição de perdas quando na colheita devido à redução de erros de paralelismo são consequências da utilização do sinal GNSS corrigido. Todos esses benefícios refletem na diminuição dos custos e no maior retorno financeiro da atividade agrícola.

REFERÊNCIAS

ACIAR – AUSTRALIAN CENTER FOR INTERNATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH. **Project 9209**: conservation tillage and controlled traffic. Canberra: ACIAR, 1998.

AZEVEDO L. H. A. **A geomática no contexto da ciência e tecnologia**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2., 2007, Presidente Prudente, 24-27 jul., 2007. p. 77-82.

BAIO, F. H. R. **Metodologia de campo para ensaios de sistemas de direcionamento e análise de investimento na aquisição de um sistema de direcionamento via satélite**. 2005. 105f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho'. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2005.

BATCHELOR, B.; WHIGHAM, K.; DEWITT, J. **Precision agriculture**: introduction to precision agriculture. Ames: Iowa Cooperative Extension, 1997. p. 4.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Desenvolvimento Agropecuário e Cooperativismo. **Agricultura de precisão**. Brasília: Mapa/ACS 2014. p. 21. (Agenda estratégica 2014 – 2025). Disponível em: <www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agricultura-Precisao/Agenda%20Estrategica%20do%20setor%20>.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Referências curriculares nacionais da educação profissional de nível técnico: geomática**. Brasília: MEC, 2000. p. 37. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/setec/arquivos/pdf/geomatic.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

BRASIL. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Aplicação de agrotóxicos com pulverizadores autopropelidos**. Brasília: SENAR, 2016. (Coleção SENAR; 170).

BRASIL. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Máquinas agrícolas: tecnologias de precisão**. Brasília: SENAR, 2012. (Coleção SENAR; 158).

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Tecnologia em mecanização no Brasil: equipamentos e sistemas para o futuro. In: SEMINÁRIO TEMÁTICO PARA PROSPECÇÃO DE DEMANDAS EM PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL, 1997, Sete Lagoas-MG. **Anais**. [S.l.]: EMBRAPA, 1997.

GEO AGRI TECNOLOGIA AGRÍCOLA. **Guia Rápido AgGPS Autopilot versão – 6.01**. [S.n.t.].

GEOGRAFIA 7. Março de 2018. Disponível em: <<http://geografianosetimoano.blogspot.com/2018/03/circulos-maximos-e-menores.html>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

GNSS PLANNING ONLINE. 2014. Disponível em: <<http://www.gnssplanningonline.com>>. Acesso em: 24 nov. 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Diretoria de Geociências. **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro, 1998. p. 127.

MACHADO, T. M. **Avaliação de desempenho de receptores de GPS em modo estático e cinemático**. 2008. 116f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', Piracicaba, 2008.

MOLIN, J. P. Agricultura de precisão: números do mercado brasileiro. **Boletim 03**, 2017. 7p.

MOLIN, J. P.; AMARAL, L. R.; COLAÇO, A. F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. de. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **Scientia Agrícola**, São Paulo: USP, v. 65, p. 567-573, 2008. (Impresso).

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS**: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Ed. da UNESP, 2007. p. 476.

NIEMINEN, T.; SAMPO, M. **Unmanned vehicles for agricultural and off-highway applications**. Warrendale: SAE Technical Paper, 1993. (n. 932475).

ONU. United nations, department of economic and social affairs. The United Nations, Population Division, Population Estimates and Projections Section, 2012.

RIVISTA GEOMEDIA, 2018. Disponível em: <<https://rivistageomedia.it/200910022969/terra-e-spazio-archivio/egnos-per-il-posizionamento-satellitare-differenziale>>. Acesso em: 14 mai. 2018.

ROCHA, C. H. B. Uso eficiente do GPS de navegação no cadastro de feições lineares. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2004. p. 1-7.

ROZA, D. Novidade no campo: Geotecnologias renovam a agricultura. **Revista InfoGEO**, n. 11, jan/fev, 2000.

WIKIMEDIA COMMONS. 2011. Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Latitude_and_Longitude_of_the_Earth.svg>. Acesso em: 24 nov. 2019.



SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL

Administração Regional do Estado do Paraná

Rua Marechal Deodoro, 450 - 16º andar

Fone: (41) 2106-0401 - Fax: (41) 3323-1779

80010-010 - Curitiba - Paraná

e-mail: senarpr@senarpr.org.br

www.sistemafaep.org.br



Facebook
Sistema Faep



Twitter
SistemaFAEP



Youtube
Sistema Faep



Instagram
sistema.fae.p



Linkedin
sistema-faep



Flickr
SistemaFAEP