

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FÁBIO ALVES DE VARGAS

TECNOLOGIAS NA APLICAÇÃO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES NA
SILVICULTURA DE PRECISÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2016

FÁBIO ALVES DE VARGAS



TECNOLOGIAS NA APLICAÇÃO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES NA
SILVICULTURA DE PRECISÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Programa de Educação Continuada em
Ciências Agrárias (PECCA) - como requisito
parcial para a conclusão do curso MBA em
Manejo Florestal de Precisão da Universidade
Federal do Paraná - UFPR.

Orientador: Alessandro Camargo Ângelo.

CURITIBA
2016

Dedico este trabalho aos queridos pais, Horácio (*in memoriam*) e Fátima, que me ensinaram, com seus exemplos, a trilhar o caminho do bem;

Aos amados irmãos, Vagner e Horácio Júnior, que me ajudaram a conhecer e a andar pelo mundo;

À minha querida e amada esposa Janete, amiga, irmã e companheira de todos os momentos, sem cujo apoio seria impossível chegar até aqui;

Aos meus quatro ramos de esperança: Samuel, Caio Fabio, João Alexandre e Daniel, tesouro maior que a Sabedoria Divina me deu por herança;

Ao Senhor Jesus, autor e consumidor da minha fé, aquele que amo, sirvo e espero, minha única esperança; mas acima de tudo e de todos, ao inefável Deus, o Pai amado, que nos concedeu a maravilhosa vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Paraná – UFPR – pela nobre missão desempenhada em nossa sociedade;

Agradecimento especial apresento ao ilustre professor Alessandro Camargo Ângelo, pela paciência, pela dedicação, pelo profissionalismo e pela orientação.

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de apresentar as principais tecnologias em termos de equipamentos e acessórios de precisão empregados na distribuição de corretivos e fertilizantes, os quais são desenvolvidos com a finalidade de aperfeiçoar o uso de insumos e contribuir para o desenvolvimento das atividades silviculturais. A aplicação de corretivos e fertilizantes é uma prática muito importante para o sucesso das culturas em geral. Entretanto, é comum essa operação ser realizada de forma ineficiente e resultar em elevadas perdas, principalmente devido a fatores climáticos ou mecânicos. A correta utilização e distribuição de corretivos e fertilizantes são essenciais para dar eficiência ao sistema produtivo. Com efeito, a silvicultura de precisão, enquanto atividade econômica, depende cada vez mais da adoção de novas tecnologias de produção, e todas as informações e dados gerados dentro dessa atividade devem dar suporte a análises e planejamentos futuros, visando otimizar o processo produtivo. O emprego de tecnologias na distribuição de corretivos e fertilizantes representa para a silvicultura de precisão uma importante contribuição na busca da sustentabilidade ambiental, eficiência técnica e rentabilidade. Grande parte dos dispositivos apresentados nesse trabalho pode ser instalada em vários modelos de tratores, tornando essa tecnologia acessível a produtores com diferentes níveis econômicos. Os encaminhamentos metodológicos para a condução da pesquisa foram realizados por meio de uma revisão bibliográfica acerca da temática.

Palavras-chave: Mapas de Variabilidade. Barra de Luzes. Piloto Automático.

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo presentar las principales tecnologías en términos de equipamientos y accesorios de precisión empleados en la distribución de correctivos y fertilizantes, que se desarrolló con el fin de optimizar el uso de los insumos y contribuir al desarrollo de las actividades forestales. El uso de correctivos y fertilizantes es una práctica muy importante para el éxito de los cultivos en general. Sin embargo, es común que la operación se realice de modo ineficiente resultando en grandes pérdidas, debido principalmente al tiempo o a factores mecánicos. El uso y la distribución adecuados de correctivos y fertilizantes son esenciales para dar eficiencia al sistema productivo. De hecho, la actividad económica depende cada vez más la adopción de nuevas tecnologías de producción, y toda la información y los datos generados en esta actividad deben apoyar el análisis y la planificación futuros con el fin de optimizar el proceso de producción. El uso de la tecnología en la distribución de correctivos y fertilizantes es para la silvicultura de precisión una contribución importante en la búsqueda de la sustentabilidad del medio ambiente, la eficiencia técnica y la rentabilidad. Gran parte de los dispositivos presentados en este trabajo pueden instalarse en varios modelos de tractores, haciendo esta tecnología accesible a los productores con diferentes niveles económicos. Referencias metodológicas para la realización de la investigación se realizaron por una revisión de la literatura sobre el tema.

Palabras clave: Mapas de Variabilidad. Barra de Luzes. Piloto Automático.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	10
2.1 Objetivo geral:	10
2.2 Objetivos específicos:	10
3. METODOLOGIA	10
4. REVISÃO DE LITERATURA	11
4.1 Técnicas, ferramentas e equipamentos	11
4.1.1 Mapas de variabilidade	13
4.1.2 Tipos de mapas de variabilidade	15
4.2 Aplicações a taxas variáveis	18
4.2.1 A importância de aplicações à taxa Variável	19
4.2.2 Tipos de aplicadores de corretivos e fertilizantes	20
4.2.3 Classificação dos aplicadores quanto ao tipo de aplicação	22
4.2.4 Os métodos de aplicação à taxa variável	23
4.3 Barra de luzes	26
Tipos de barra de luzes	27
4.4 Piloto automático	29
Tipos de piloto automático	31
4.5 Monitoramento da qualidade de distribuição de corretivos e fertilizantes	35
4.5.1 Principais tipos de dispositivos de monitoramento	38
4.5.2 Fatores que interferem na qualidade da distribuição	40
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a adubação e a calagem são práticas intensamente utilizadas na atividade florestal. Os plantios florestais ocupam extensas áreas onde, normalmente, os solos são de baixa fertilidade natural, ocorrendo, portanto, baixas produtividades. Além de serem pobres em nutrientes, os solos usados para plantios florestais, na maioria das vezes, apresentam problemas de acidez.

Desta forma, faz-se necessário aplicar, além do fertilizante, o cálcio para que a produção se torne adequada. A adubação depende da espécie florestal empregada, do solo, da idade da planta, e da intensidade da colheita, ao passo que a calagem é realizada durante o preparo do solo. A calagem é recomendada para se elevar os teores de Ca e Mg no solo (ALCARDE, 1985). Assim, a adubação e a calagem passam a ser uma necessidade.

Em plantios comerciais, geralmente, a recomendação da calagem e da adubação é feita de forma generalizada, quase sempre sem considerar as variações de solos. É necessário, estabelecer critérios para maximizar o aproveitamento dos insumos, definindo-se quais nutrientes devem ser aplicados, doses, época, modo de aplicação e localização do adubo em relação à planta. (FERREIRA; SILVA, 2008).

Malinovski (2012) assevera que a mecanização da silvicultura, mais do que um avanço tecnológico para o setor madeireiro, é uma tendência para os próximos anos. A maioria das empresas do ramo no Paraná e Santa Catarina ainda não utiliza máquinas na silvicultura por conta de entraves como a pouca difusão da tecnologia, a falta de fornecedores e limitação de recursos para investimentos. Mesmo assim, segundo ele, existe um fator que promete obrigá-las a utilizarem essa opção. *“A crescente escassez de mão-de-obra deve ser um fator decisivo para o início dessa mudança. Essa realidade deve ser um incentivo para as empresas buscarem alternativas, como aconteceu com a colheita na década de 90”* (MALINOVSKI, 2012, p. 3).

No contexto de uma silvicultura de precisão, um conceito relevante é sem dúvida, o da importância da aplicação de corretivos e fertilizantes. Esta operação, de regra, é decisiva para o sucesso dos plantios, porquanto torna as condições químicas do solo mais adequadas para um crescimento regular e saudável das plantas.

Há uma quantidade expressiva de máquinas e equipamentos no mercado para automatizar a distribuição desses produtos, já que os equipamentos convencionais não propiciam uma distribuição uniforme, o que diminui muito a eficiência. Por isso, faz-se necessário implementar equipamentos adequados na aplicação desses insumos.

Já existe na agricultura de precisão um desenvolvimento robusto na produção de equipamentos que realizam as aplicações atendendo à necessidade específica de cada sítio. Trata-se da chamada aplicação à taxa variável, que proporciona uma série de vantagens, tais como: maior produtividade, maior preocupação com o meio ambiente e maior rentabilidade ao empreendedor.¹

Na silvicultura, em áreas que permitam a mecanização, é empregado o adubador-coveador, contudo, devido às características peculiares em áreas de reforma e condução de brotação, as quais, de regra, apresentam resíduos da colheita e de tocos que permanecem da rotação anterior, a velocidade dos tratores varia ao longo do talhão. Assim, faz-se necessário a utilização de ferramentas e de equipamentos que reduzam a heterogeneidade da aplicação para uma aplicação a taxa variável. Controladores eletrônicos que regulam a taxa de maneira independente da velocidade e que possuem um sistema de gerenciamento “on-line” são recomendáveis.

Os distribuidores de corretivos e fertilizantes foram os primeiros equipamentos desenvolvidos com tecnologia para aplicações a taxas variadas. Essa tecnologia permitiu o desenvolvimento de acessórios, como as barras de luzes e o piloto automático.

Essas tecnologias, quando empregadas corretamente na distribuição de corretivos e fertilizantes tendem a aperfeiçoar o uso desses produtos e a contribuir para o desenvolvimento das atividades silviculturais, por meio de uma maior sustentabilidade ambiental, eficiência técnica e maior retorno financeiro. (COELHO, 2014).

¹ ARAÚJO, Fernando Couto. (Goiânia). Serviço Nacional de Aprendizagem Rural de Goiás (Org.). **Agricultura de precisão**. Goiânia: Senar, 2015. 106 p.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Analisar e discutir o atual estado da arte em termos de tecnologias de precisão empregados na aplicação de corretivos e fertilizantes, a fim de aperfeiçoar o uso de insumos e contribuir para o desenvolvimento das atividades silviculturais.

2.2 Objetivos específicos:

Contribuir com o tema no conhecimento do desenvolvimento de tecnologias com potenciais aplicações na silvicultura de precisão.

3. METODOLOGIA

A proposta de pesquisa ora apresentada por meio deste trabalho se insere naquilo que os autores classificam como bibliográfica. Segundo Lakatos (1992, p.44),

A pesquisa bibliográfica permite compreender que, se de um lado a resolução de um problema pode ser obtida através dela, por outro, tanto a pesquisa de laboratório quanto à de campo (documentação direta) exigem, como premissa, o levantamento do estudo da questão que se propõe a analisar e solucionar. A pesquisa bibliográfica pode, portanto, ser considerada também como o primeiro passo de toda pesquisa científica.

Trata-se de uma revisão narrativa, ou seja, não utiliza critérios explícitos e sistemáticos para a busca e análise crítica da literatura. Igualmente, a busca pelos estudos não tem a pretensão de esgotar as fontes de informações. Este trabalho também não aplicou estratégias de busca sofisticadas e exaustivas.

Eis que se trata de pesquisa que visa à produção de determinado conhecimento a partir da análise, confronto e síntese de conhecimentos já produzidos e publicados pelos estudiosos do tema que se busca aprofundar. É importante salientar que a seleção dos estudos e a interpretação das informações podem estar sujeitas à subjetividade dos autores.

Nesse sentido, para que se possa chegar aos resultados propostos e levando em consideração o presente tema, os encaminhamentos metodológicos para a condução da pesquisa foram, em um primeiro momento, a seleção dos

autores que apresentaram contribuições com a temática. Com a definição dos autores e títulos, passou-se à leitura e minucioso fichamento dos assuntos que contribuíram com a pesquisa, por se entender ser esta a técnica mais adequada ao tipo de pesquisa a que ora se propõe, na medida em que permitiu ao pesquisador obter de forma sistemática e ao mesmo tempo sintética as eventuais correlações a serem feitas com os outros autores.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Técnicas, ferramentas e equipamentos

Em uma silvicultura de precisão a distribuição de corretivos e fertilizantes é tratada com muito critério. Nesse sentido, é muito importante a promoção de pesquisas que visem compreender as variabilidades espacial e temporal da fertilidade dos solos. Nessa perspectiva é que as técnicas de amostragens, a elaboração e a interpretação de mapas de variabilidade de fertilidade estão em contínuo desenvolvimento.²

A fertilização é um dos grupos de operações silviculturais de maior impacto na produtividade madeireira, na sustentabilidade do sítio e nos custos de formação do povoamento, correspondendo por cerca de 25% do gasto total no estabelecimento de florestas plantadas do gênero *Eucalyptus*. A produtividade em florestas plantadas com uma adequada fertilização pode chegar ao dobro de uma área não fertilizada (STAPE *et al.*, 2010).

Com efeito, em estudo realizado por Arthur Junior e Bazani (2014) a mecanização na distribuição de corretivos e fertilizantes se apresenta como prioritária entre os profissionais do setor florestal.

Em áreas de reforma florestal a distribuição de corretivos e fertilizantes, principalmente na base em conjunto com a subsolagem, ainda tem sido um desafio em virtude da presença de resíduos e de tocos (ARTHUR JUNIOR; BAZANI, 2012).

O modo de aplicação de corretivos e fertilizantes merece atenção, pois pode favorecer ou não a eficiência desses insumos. O uso de compostos nitrogenados à base de uréia aplicados em cobertura e sob sistema de cultivo mínimo provocam

² BRASIL. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Boletim Técnico: Agricultura de precisão**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2013. 36 p.

perdas significativas de nitrogênio por volatilização, com valores em torno de 50 a 70% em um período de 30 dias após a aplicação (MELO et al., 2014).

A grande variabilidade espacial presente nos solos brasileiros justifica o conhecimento da fertilidade do solo em cada trecho de área do talhão. No entanto, no planejamento, deve-se priorizar a análise das características que mais influenciam no desenvolvimento e produção das plantas.

A fertilidade e o pH do solo geralmente são as primeiras características a serem consideradas. No que diz respeito à fertilidade do solo, devem-se analisar os macronutrientes e os micronutrientes, vez que ambos são essenciais para o desenvolvimento e produção das culturas. (COELHO, 2014).

O nitrogênio (N), que também é um macronutriente, por ser muito móvel no solo, não é quantificado pela análise, sendo mais bem mensurado por meio da análise foliar ou pelas técnicas de sensoriamento remoto. A análise do pH também é importante, pois este determina e interfere diretamente no grau de disponibilidade dos nutrientes e desenvolvimento das plantas. (FERREIRA; SILVA, 2008).

A utilização de novas tecnologias oriundas de um conceito de silvicultura de precisão tem por objetivo aumentar o controle e diminuir falhas operacionais que possam resultar em perdas de produtividade e de insumos. Controladores de vazão para aplicação de fertilizantes são amplamente utilizados por empresas florestais, assim como para a distribuição de iscas formicidas, apesar de este último ainda ser menos difundido (GALIZIA et al., 2016; TEREZAN et al., 2016). Quando utilizados em conjunto com a aplicação de fertilizantes, estes melhoram o desempenho da aplicação, garantindo maior fidelidade da aplicação das doses previamente recomendadas pela área técnica. Melhorias no processo de fabricação dos insumos também contribuem para melhor uniformidade de distribuição dos nutrientes no talhão por mitigarem os efeitos de segregação (BAZANI et al., 2016). Adicionalmente, o maior controle de operação possibilita a redução no uso de insumos e também dá ferramentas aos gestores para efetuarem uma gestão mais eficiente das operações (VRECHI et al., 2007).

Malinovski (2012) em estudo realizado em 28 empresas do Paraná e Santa Catarina, afirma que tais organizações se mostram conscientes dos benefícios da mecanização e desejam a mudança. “Um dos agravantes para a implantação desse sistema é o fato de cerca de 50% dos terrenos onde essas companhias estão

instaladas são de relevo ondulado e fortemente ondulado” (MALINOVSKI, 2012 p. 7). Segundo este autor, ainda que o uso da silvicultura de precisão seja um processo novo e raro, o qual começou a ser difundido há cerca de seis anos, é também, sem dúvida uma tendência.

A aplicação de corretivos e fertilizantes é uma prática muito importante para o sucesso das culturas em geral. Entretanto, é comum ela ser realizada de forma ineficiente e resultar em elevadas perdas, principalmente devido a fatores climáticos e ou mecânicos. (FERREIRA; SILVA, 2008).

4.1.1 Mapas de variabilidade

De acordo com Araújo (2015), trata-se de uma ferramenta básica em uma silvicultura de precisão. São eles que permitem representar as variações de determinada característica do solo (fertilidade, ph, capacidade de retenção de água, textura, compactação, soma de bases, saturação por bases, etc), e é a partir dessas informações que se consegue realizar um manejo diferenciado em cada mancha do talhão. A interpretação dos mapas vai indicar o uso de maiores doses de corretivos e fertilizantes nas manchas que precisarem, e vice-versa, o uso de menores doses nas manchas que já tiverem bons índices.

Os mapas de variabilidade especificam as informações relacionadas ao solo e/ou às plantas, tornando-se ferramenta indispensável para a distribuição de corretivos e fertilizantes em uma silvicultura de precisão. A análise destas informações é essencial na tomada de decisão do produtor, a fim de aplicar insumos com base em critérios técnicos, levando em consideração as variabilidades espacial e temporal do terreno e definindo as manchas com maior ou menor exigência de produtos.³

Na silvicultura convencional, o manejo da fertilidade do solo se baseia apenas nos teores médios dos nutrientes, ou seja, fazem-se poucas amostras de solo para planejamento do uso de fertilizantes e corretivos. Dessa maneira, a análise química do solo expressa um único resultado médio para todo o talhão, desconsiderando a presença de variabilidade e supondo que as propriedades do solo são semelhantes ao longo de toda a área. (COELHO, 2014).

³ MAPA, op. cit., p.7.

Nesse contexto, os mapas de variabilidade das características do solo são grandes aliados do produtor, pois reúnem as informações sobre a localização e as quantidades ou necessidades de insumos em cada ponto do talhão, dando suporte às tomadas de decisão mais acertadas.

Sem perda de generalidade, os atributos químicos e físicos do solo influenciam diretamente no crescimento e no desenvolvimento das plantas. A variabilidade destes atributos é consequência de complexas interações de fatores ligados à formação do solo e pode ser influenciada pelas práticas de manejo. Essa variabilidade pode ser expressa em termos de fertilidade, acidez, compactação, textura, capacidade de armazenamento de água, teor de matéria orgânica, entre vários outros atributos. (FERREIRA; SILVA, 2008).

O conhecimento desta variabilidade torna-se fundamental para o manejo localizado dentro do talhão, otimizando as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, reduzindo a contaminação ambiental provocada pelo excesso de produtos e determinando demais estratégias de manejo do solo que visam aumentar a produtividade. (HIGMAN *et al.*, 2015).

A aplicação especificada de calcário, gesso agrícola, fósforo e potássio – em taxas variadas de acordo com a análise de necessidade em cada mancha do talhão – já vem sendo amplamente utilizada na silvicultura de precisão. São os mapas de variabilidade que fornecem as informações relativas à quantidade do insumo a ser aplicado em cada mancha do talhão. Esta prática garante, diretamente, a otimização no uso dos insumos e menor contaminação do meio ambiente, em especial das águas. Como resultado, são reduzidas as variações espaciais dos nutrientes dentro do talhão e, conseqüentemente, a produtividade tende a aumentar. (FERRAZ, *et al.*, 2012).

Nesse contexto, os mapas de variabilidade se apresentam como ferramentas básicas para um manejo de precisão, pois permitem a representação das variações das características analisadas dentro do sítio. É com base nessas informações que é possível realizar um manejo diferenciado em cada mancha do talhão, usando maiores doses de corretivos e fertilizantes em manchas com maior necessidade e doses menores em manchas com menor exigência, implicando maior eficiência do sistema produtivo e menor contaminação do meio ambiente.

4.1.2 Tipos de mapas de variabilidade

A aplicação de corretivos e fertilizantes a taxas variáveis, de acordo com a exigência de cada mancha de solo dentro do talhão, só é possível por meio da utilização dos mapas de variabilidade. Nesses mapas, constam informações importantes para ser utilizadas no momento da aplicação, tais como a dose necessária de insumo em cada localização exata dentro do talhão.⁴

Na aplicação de corretivos e fertilizantes são considerados os mapas de solo feitos a partir das análises das amostras coletadas no sistema de amostragem. Cada característica analisada no solo, aliada à sua localização georreferenciada, é passível de gerar um mapa da variabilidade de acordo com a sua efetividade ao longo do talhão.⁵

Pode-se obter e analisar mapas de variabilidade de cada elemento, a saber: da fertilidade, da acidez, da textura, da compactação, da capacidade de armazenamento de água, da profundidade, da altitude, da declividade, entre outros.

Há vários tipos de mapas de variabilidade de solo e cada um deles possui sua importância específica, porquanto analisam diferentes critérios para o processo de correção e de adubação do solo. Quanto à forma de análise, eles podem descrever as variabilidades espacial ou temporal. Também podem ser classificados como sendo de pontos ou de isolinhas, sendo esses subdivididos em mapas de condição, de recomendação ou de desempenho.

A interpretação dos mapas de condição para a elaboração dos mapas de recomendação é uma etapa crítica. Uma má recomendação pode gerar gastos desnecessários com corretivos e fertilizantes e também acarretar em perdas de produtividade. A elaboração dos mapas de recomendação de corretivos e fertilizantes deve ser feita através da análise integrada de diversos mapas de condição, realizada por profissional especializado.

A partir do resultado destas análises, são criados os mapas de variabilidade de cada característica investigada separadamente, tais como mapa de fertilidade em P, K, S, soma de bases (SB), saturação por bases (V%), entre inúmeros outros mapas possíveis. A análise integrada destas informações dá suporte para as recomendações técnicas e geração dos mapas de recomendação, a partir dos quais

⁴ MAPA, op. cit., p. 9.

⁵ ARAÚJO, op. cit., p. 8.

será realizada a aplicação dos corretivos e fertilizantes. Os mapas de variabilidade podem ser classificados em mapas de variabilidades espacial e temporal. (MOLIN, 2008).

Mapas de variabilidade espacial, de acordo com Araújo (2015, p. 10):

São aqueles que representam a variação da fertilidade ou acidez do solo nos diferentes pontos analisados do talhão. Nos locais onde representam a mesma condição de fertilidade são formadas as zonas de manejo, que necessitam de um mesmo tipo de manejo específico. Cada zona de manejo é representada no mapa por uma cor e difere das demais zonas pela coloração, pela fertilidade ou necessidade de corretivos e fertilizantes. Estes dados dão suporte para a análise e recomendação técnica, expressa através dos mapas de recomendação, tais como os mapas de necessidade de calcário ou de fertilizante, por exemplo.

Enquanto, Mapas de variabilidade temporal:

São aqueles que representam a variação de uma determinada característica do solo no decorrer dos anos analisados. Desta forma, é possível compreender o nível de correção do solo através da análise do mapa de variabilidade temporal da acidez e/ou da saturação por bases, por exemplo. Características que sofrem maior influência do manejo, como a fertilidade em potássio, se modificam em menor espaço de tempo. Já características que sofrem menor influência do manejo, como a textura do solo, pouco ou nada se modificam com o passar dos anos, mantendo o mapa de variabilidade temporal praticamente inalterado. (ARAÚJO, 2015, p. 11).

As variabilidades espacial e temporal podem ser apresentadas na forma de mapas de isolinhas ou de pontos.

Os mapas de isolinhas, segundo Araújo (2015, p. 12), “*são representações de linhas que delimitam regiões do mapa com dados dentro de um mesmo intervalo de valor para cada característica analisada*”. As isolinhas utilizam métodos de interpolação entre os pontos com atenuação de pequenas variações locais.

De modo geral, os mapas de isolinhas podem ser de três tipos.

Mapa de condição: “*Mostra a distribuição espacial dos atributos analisados nas diferentes localidades do talhão avaliado, antes de qualquer intervenção. Dessa forma, mostra o nível de fertilidade e acidez do solo antes da distribuição de corretivos e fertilizantes*” (ARAÚJO, 2015, p. 13).

A partir dos mapas de condição do terreno, é possível criar os mapas de recomendação de fertilizantes, por exemplo. Por isso, essa leitura e interpretação é tão crítica. Afinal, uma má recomendação pode gerar gastos desnecessários com corretivos e fertilizantes e também acarretar em perdas de produtividade.

Na Figura 1, representa-se um exemplo de mapa de condição apresentando a saturação por bases [V%].

Figura 1 – Mapa de condição (saturação por bases [V%]).

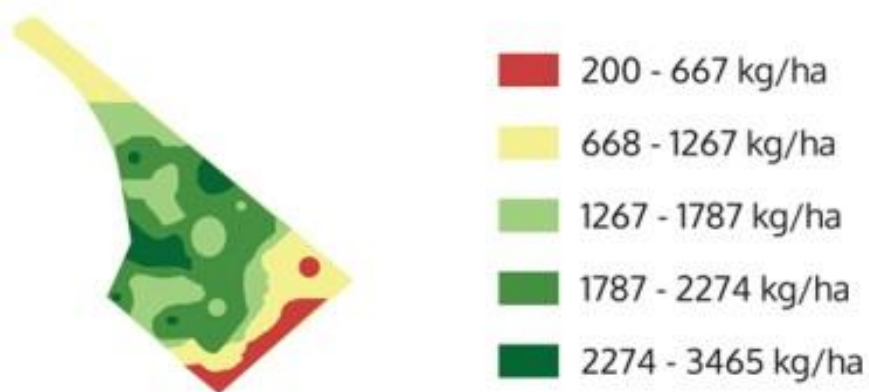


Fonte: Boletim técnico (MAPA, 2009).

Mapa de recomendação: A partir das informações geradas pelos mapas de condição de fertilidade do solo são realizadas interpretações e, com base em critérios técnicos, são gerados os mapas de recomendação, ou seja, os mapas de necessidade de calcário, gesso ou fertilizantes. Atualmente, é comum se analisar mais de um mapa de recomendação em uma mesma área para alcançar maior confiabilidade na operação.⁶

Na Figura 2, apresenta-se um exemplo de mapa de recomendação da necessidade de calcário.

Figura 2 – Mapa de recomendação para calcário.



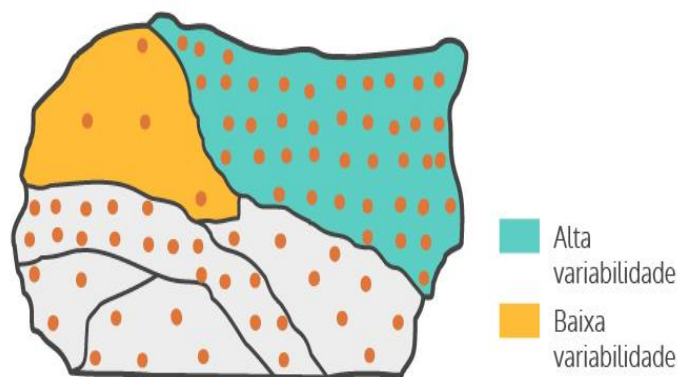
Fonte: Boletim técnico (MAPA, 2009).

⁶ ARAÚJO, op. cit., p. 12.

Mapa de desempenho: Representa o nível de fertilidade ou acidez da área depois da distribuição de corretivos e fertilizantes nas doses determinadas pelos mapas de recomendação. É um mapa importante, pois permite avaliar a eficiência da aplicação, observando se a fertilidade da área aumentou ou se a quantidade de manchas com baixa fertilidade diminuiu. Em caso de necessidade de se criar um novo mapa de recomendação para nova aplicação na área, o atual mapa de desempenho pode ser utilizado como mapa de condição, por apresentar os dados da distribuição da fertilidade no talhão.⁷

De outra banda, os mapas de pontos são utilizados para analisar elevado número de dados distribuídos pela área. Para a coleta de amostras feita de forma irregular, o mapa de pontos pode fornecer informação sobre como os dados foram coletados. A área a ser amostrada é dividida em subáreas, onde regiões de baixa variabilidade possuem baixa densidade amostral e, por outro lado, regiões com alta variabilidade possuem alta densidade amostral. Regiões de interesse também podem ter maior densidade amostral, tais como reboleiras, manchas de solo etc.⁸

Figura 3 – Exemplo de um mapa de pontos.



Fonte: Boletim técnico (MAPA, 2013).

4.2 Aplicações a taxas variáveis

A partir do mapeamento do talhão a ser cultivado, a silvicultura de precisão prevê o uso de tecnologia para realizar a aplicação de insumos de forma específica para cada trecho de terreno. Com a tecnologia embarcada, as máquinas

⁷ Ibid., p. 12.

⁸ Ibid., p. 13.

reconhecem a necessidade de aplicação durante seu deslocamento na área por meio da leitura do mapa de recomendação, alterando a taxa de aplicação sempre que necessário, de forma precisa e automática.⁹

A aplicação de corretivos e fertilizantes a taxas variáveis é realizada por máquinas equipadas com softwares que realizam a leitura desses mapas e, por meio de comandos hidráulicos ou eletrônicos, fazem a regulação automática da dose de aplicação necessária em cada mancha. Todo este processo garante o aumento da eficiência técnica e econômica e proporciona maior sustentabilidade ambiental da atividade.

As consequências naturais dessa prática, além do ganho em produtividade, são o aumento da eficiência técnica e econômica da área cultivada e também da sustentabilidade ambiental, uma vez que otimiza o uso dos insumos aplicando-os no local e doses necessários.

Atualmente, há uma grande quantidade de implementos que possuem a regulação de doses em função da velocidade do trator. Porém, devido à alta heterogeneidade ambiental em áreas de reforma e condução de brotação, como a presença de resíduos da colheita e de tocos que permanecem da rotação anterior, a velocidade varia ao longo do talhão (HAKAMADA et al., 2012).

Ainda de acordo com Hakamada et al. (2012), tal fato evidencia a necessidade de utilização de ferramentas e de equipamentos que reduzam a heterogeneidade da aplicação. Além disso, o acompanhamento operacional em campo, com regulagens e verificações frequentes podem reduzir a má distribuição dos fertilizantes.

4.2.1 A importância de aplicações à taxa Variável

Assim como os fertilizantes e corretivos são os insumos proporcionalmente mais importantes para promover a produtividade das culturas, da mesma forma a aplicação destes insumos em taxas variáveis compreende uma das etapas mais relevantes para a silvicultura de precisão. Por meio do manejo de cada área do talhão de forma personalizada, é possível gerar aumento da produtividade da área, reduzir os gastos com insumos e incrementar a sustentabilidade ambiental da atividade. (FERRAZ, et al., 2012).

⁹ ARAÚJO, op. cit., p. 22.

A recomendação e a distribuição convencional de fertilizantes são feitas com base em dosagens médias para todo o talhão, sendo que, em alguns casos, a quantidade é determinada com base em valores fixos para uma grande área, podendo acarretar uma redução na produtividade, devido a uma super dosagem ou a uma dosagem deficitária de insumos nas áreas do talhão, acrescenta-se ainda, o gasto inútil com insumos, os quais têm um valor agregado, e dessa forma, representando grande perda. (CORÁ; BERARDO, 2006).

A aplicação de corretivos e fertilizantes em taxas variadas envolve técnicas, máquinas, softwares e pessoas capacitadas, com o objetivo de realizar as operações com base em análises de dados e informações. Dessa forma, é feito rigoroso controle gerencial do sistema produtivo, realizando as atividades com base em critérios técnicos bem estabelecidos e tornando a atividade agrícola cada vez mais empresarial e competitiva. (MOLIN, 2008).

Na correção e adubação do solo, as aplicações a taxas variadas podem ser definidas como o conjunto de técnicas utilizadas para efetuar aplicações de calcário, gesso e fertilizantes de forma diferenciada, considerando a variabilidade da fertilidade do solo, bem como outros fatores de produção, em um determinado instante e numa determinada área do talhão. São levadas em consideração as variabilidades espacial e temporal da fertilidade do solo, associadas às variabilidades da produtividade e de outros fatores de produção.¹⁰

Segundo Hakamada *et al.* (2012), a implantação de sistemas de precisão, onde ocorre o controle da taxa de fertilizante de acordo com a variação na velocidade da máquina motora, é uma alternativa que reduz significativamente a variação da distribuição ao longo do talhão. Vrechi *et al.* (2007) observaram que o uso desse sistema reduziu a variabilidade dentro do talhão e incluiu todos os pontos amostrados dentro do intervalo aceitável de erro (10%).

4.2.2 Tipos de aplicadores de corretivos e fertilizantes

Existem vários modelos de distribuidores de calcário e de adubo, dos mais limitados aos mais eficientes. A forma de funcionamento varia de acordo com o tipo de cada um deles. Os distribuidores mais utilizados na atualidade podem ser

¹⁰ ARAÚJO, *op. cit.*, p. 24.

classificados de duas maneiras, de acordo com a publicação do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (2012):

Segundo o deslocamento do insumo até a saída da máquina (fluxo do insumo):

- distribuidor por gravidade,
- distribuidor de esteira, e
- distribuidor pneumático.

Segundo o tipo de aplicação do insumo:

- distribuidor de aplicação localizada, e
- distribuidor de aplicação a lanço.

Distribuidor por gravidade, na definição do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (2012, p. 20), “*é uma máquina com depósito tradicionalmente em formato de cone ou trapézio, com um orifício de saída de abertura regulável na parte inferior, a fim de possibilitar que o insumo saia pela ação da gravidade*”. Normalmente, este distribuidor agrega um agitador para desprender e facilitar o fluxo de saída do insumo.

São muito utilizados especialmente em pequenas propriedades devido a seu baixo custo, porém podem apresentar dificuldades na regulagem, dependendo da condição física do insumo aplicado, e conseqüentemente reduzir sua eficiência de aplicação.

Ao passo que Distribuidor de esteira:

Este maquinário apresenta o fundo do depósito móvel, com uma esteira que roda no sentido longitudinal. A esteira leva o insumo do interior do depósito até a abertura de saída, na parte traseira. A regulagem da dose de aplicação é feita por meio da variação da velocidade da esteira e pela abertura do bocal de saída, combinados com a velocidade de deslocamento da máquina. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL, 2012, p. 21).

Este tipo de distribuidor oferece boas condições de regulagem de acordo com o insumo aplicado, porém tem custo mais alto.

Já o Distribuidor de fluxo pneumático é um “*Sistema que utiliza um fluxo de ar, produzido por uma turbina, para levar o adubo do interior do depósito, por meio de diversos tubos, até os bocais de distribuição*”. A regulagem da quantidade de adubo a ser depositado é obtida em função do controle do fluxo de ar e pela variação da velocidade de deslocamento da máquina. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL, 2012, p. 22).

Este aparelho apresenta regulagem com boa precisão na aplicação, porém é o de valor de aquisição mais elevado.

4.2.3 Classificação dos aplicadores quanto ao tipo de aplicação

A correta utilização e distribuição de corretivos e fertilizantes são fundamentais para dar eficiência ao sistema produtivo. A aplicação destes insumos pode ser realizada com diversos tipos de máquinas. Essas máquinas, por sua vez, podem ser classificadas como distribuidores localizados ou distribuidores a lanço, de acordo com a forma de aplicação. Na distribuição de calcário e adubo em doses variadas, é necessário um distribuidor equipado com um monitor (para receber o mapa de recomendação), um GPS e um sistema hidráulico dosador da quantidade de insumo a ser aplicada. (ARAÚJO, 2015).

Quanto à aplicação dos insumos no solo, os distribuidores se dividem entre os de aplicação localizada (de maior precisão e menor faixa útil de aplicação), e os de distribuição a lanço, que têm maior faixa útil de aplicação, no entanto demandam mais cuidados com a precisão. (HACHUY, 2008).

O Distribuidor de aplicação localizada apresenta maior precisão na regulagem e eficiência na aplicação dos insumos, vez que direciona os insumos diretamente para a planta. Isso evita perdas por deriva, fixação ao solo e volatilização de adubos nitrogenados. O aspecto negativo de produtividade destes equipamentos fica por conta da largura mais estreita da faixa útil de aplicação e pelo menor rendimento da operação.¹¹

No Distribuidor de aplicação a lanço o calcário ou adubo são espalhados sobre o solo através de mecanismos que utilizam a força centrífuga (por discos) para a distribuição. O distribuidor a lanço possui um reservatório em formato cônico de montagem nos três pontos do trator ou trapezoidal de arraste. (HACHUY, 2008).

A publicação do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (2012) comenta que o distribuidor de aplicação a lanço é um tipo de máquina bastante utilizada por produtores atualmente, vez que sua largura de distribuição é bastante grande, o que proporciona alto rendimento operacional. Porém, pode apresentar menor uniformidade na aplicação, devido à ação do vento ou ao efeito deriva, especialmente sobre insumos com granulometria mais fina e leve, como o calcário.

¹¹ SENAR, op. cit., p. 13.

4.2.4 Os métodos de aplicação à taxa variável

Existem vários métodos de aplicação de corretivos e fertilizantes a taxa variável, cada um dependente de uma determinada condição da propriedade, do maquinário existente ou da característica analisada. A aplicação programada é feita a partir da elaboração do mapa de recomendação e, com base nestas informações, a dose de insumo é ajustada automaticamente em cada localidade do talhão. A aplicação em tempo real é feita por máquinas equipadas com sensores, que analisam determinada característica na lavoura e geram a informação necessária para o ajuste da taxa de aplicação em tempo real. A aplicação convencional é uma adaptação, onde se realiza a regulagem manual para a aplicação de insumos dentro de cada isolinha do mapa de recomendação.

Cumpra-se destacar que um grande desafio na aplicação de corretivos e fertilizantes em áreas florestais está na base em conjunto com a subsolagem, pois há grande irregularidade na distribuição e na dosagem devido à existência de resíduos e de tocos nas áreas de reforma florestal. Exigindo-se, assim, o desenvolvimento de tratores e de implementos específicos, como é o caso do adubador-coveador, a fim de se alcançar uma maior efetividade na adubação e calagem em empreendimentos florestais.

O método de aplicação de corretivos e fertilizantes, levando-se em consideração as zonas de manejo, varia de acordo com cada realidade, com o tipo de maquinário existente e com as características do terreno analisadas. Esta aplicação pode ser realizada nas propriedades com equipamentos convencionais e também nas equipadas com distribuidores com leitores de mapa de recomendação ou sensores que permitem a variação da dosagem em tempo real, de acordo com as leituras colhidas simultaneamente.¹²

Existem duas maneiras específicas para a aplicação de corretivos e fertilizantes a taxas variadas:

Em tempo real, por meio do uso de sensores; e

Programada, por meio do mapeamento prévio do terreno.

Na aplicação em tempo real, são usadas máquinas que apuram (por meio de sensores) e analisam informações sobre um determinado atributo específico à

¹² MAPA, op. cit., p. 26.

medida que o veículo se desloca pelo espaço das plantações. Estas máquinas possuem dispositivos que comandam a dosagem e o local de aplicação de insumos a partir das informações coletadas a cada intervalo de tempo. Este método não depende de um sistema de posicionamento por satélite, porém, quando associado a um, pode gerar um mapa de variabilidade ao final da operação.¹³

Figura 4 – Exemplo de aplicação em tempo real.



Fonte: Boletim técnico (MAPA, 2013).

Nas aplicações programadas, no lugar de sensores, as máquinas obedecem à programação dos mapas de aplicação, previamente elaborados a partir de informações coletadas de forma georreferenciada, e analisadas de modo a definir as quantidades de insumos que serão aplicadas nos diferentes pontos das lavouras. Neste sistema, é de extrema importância que se utilize um sistema de posicionamento por satélite, a fim de relacionar a localidade da área com a necessidade de aplicação do insumo.¹⁴

Figura 5 – Exemplo de aplicação programada.



Fonte: Boletim técnico (MAPA, 2013).

¹³ MAPA, op. cit., p. 26.

¹⁴ ARAÚJO, op. cit., p. 34.

O Boletim técnico do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2013) destaca que as aplicações programadas com mapas de aplicação apresentam algumas vantagens em relação às aplicações em tempo real com sensores, a saber:

- Permitem utilizar tecnologias de coleta e análise de dados mais complexas, levando-se em consideração mais de um mapa de condição;
- Facilitam o controle da operação, uma vez que o sistema conhece previamente a situação que vem a seguir; e
- Permitem calcular as quantidades de insumos a serem aplicadas com antecedência, o que pode ser importante no planejamento da empresa agrícola, inclusive para evitar que falte insumo durante a aplicação.

Entre os cuidados necessários à aplicação programada, destacam-se:

- Necessita de softwares específicos para a leitura dos mapas de recomendação; e
- Podem se desaconselhar quando as características do solo e das culturas tendem a alterar-se rapidamente, por exemplo, uma infestação de pragas.

Por outro lado, os métodos de aplicação em tempo real, fundamentados em sensores, necessitam também de tecnologia específica, como os próprios sensores, os quais têm que dar respostas em tempo real.

Atualmente, existem diversos exemplos de sensores que permitem avaliar diferentes características do solo e das plantas. São exemplos:

- Sensores fundamentados na reflexão de luz, que estimam as deficiências de nutrientes nas plantações e determinam o nível de adubação nitrogenada, por exemplo;
- Sensores fundamentados na resistência elétrica, que medem o teor em umidade do solo; e
- Sensores fundamentados na impedância elétrica, utilizados para medir o teor em nutrientes no solo.

Qualquer um destes sistemas pode efetuar medições incorretas se não for utilizado nas condições adequadas ou se não estiver corretamente calibrado. Por esta razão, os métodos fundamentados em sensores precisam ser acompanhados de apoio técnico especializado.¹⁵

¹⁵ MAPA, op. cit., p. 28.

4.3 Barra de luzes

De acordo com o manual Trimble (2008, p. 43), Barra de luzes “*são equipamentos de sinais luminosos capazes de orientar o operador durante a condução do trator, de modo que ele mantenha o paralelismo entre as passadas e evite falhas na aplicação*”. O mercado oferece vários tipos e modelos de barras de luzes que podem ser adaptados aos tratores.

A barra de luzes é um equipamento bastante eficiente para realizar uma orientação precisa. Elas auxiliam o operador na manutenção do alinhamento entre passadas permitindo que ele acompanhe a todo o momento o deslocamento do conjunto mecanizado. Como resultado, tem-se melhor uniformidade na distribuição dos corretivos e fertilizantes sobre o solo. Assim, elas constituem uma parte muito importante do pacote tecnológico que pode ser empregado pela Silvicultura de Precisão.

A maior parte do sucesso de um terreno cultivado por meio das técnicas de silvicultura de precisão vem da exatidão com que os insumos são depositados no talhão. Em uma primeira implantação é possível utilizar a mesma técnica da agricultura de precisão quanto à aplicação de insumos. Entretanto, em áreas de plantios florestais, há a necessidade de um trator, concebido e adaptado, porquanto o ambiente florestal é mais robusto e agressivo às máquinas e implementos, em função do acúmulo de material lenhoso, tocos e resíduos que são mantidos no campo.

Considerando que os mapas de variabilidade registram todas as informações coletadas sobre o terreno, cabe ao operador ser capaz de aplicar a quantidade correta de insumo em cada trecho do talhão. Nesse caso, a barra de luzes é um equipamento capaz de orientá-lo de maneira correta, mesmo de noite, proporcionando grande eficiência e economia de insumos durante o trabalho (ARAÚJO, 2015).

A técnica da barra de luzes é usada para proporcionar uniformidade e precisão na distribuição dos corretivos e fertilizantes sobre o solo. Há aparelhos mais simples, baseados em luzes de LEDs, e outros mais elaborados, com monitores, que podem inclusive agregar mais funções além da orientação geográfica, controlando as válvulas de depósito de insumos e mecanismos dosadores, por exemplo. (TRIMBLE, 2008).

Com este equipamento, o operador acompanha o alinhamento do trator e realiza os ajustes necessários caso o trator venha a sair da rota programada. Isso proporciona uma melhor distribuição dos produtos pelo solo e, conseqüentemente, qualifica a barra de luzes como uma ferramenta muito importante para as técnicas de silvicultura de precisão.¹⁶

Alguns insumos proporcionam melhores resultados quando aplicados a lanço, como no caso do calcário e dos fertilizantes fosfatados pouco solúveis. Ao ser lançado, o produto pode ser acometido por uma série de fatores antes de cumprir o seu papel final, que é o de ser absorvido pelas plantas e contribuir para o seu desenvolvimento (HACHUY, 2008). Esses fatores se relacionam diretamente com o tamanho das partículas que compõem o produto. Quanto mais finos forem esses produtos, mais rápida será a incorporação e disponibilização para as plantas. Porém, ao mesmo tempo, eles estarão mais suscetíveis a diversas perdas, seja pelo vento ou pela lixiviação pelas águas.

Assim, as características físicas do produto a ser aplicado e o teor de água são os fatores que mais limitam a qualidade da distribuição pela área. Quanto menor o tamanho das partículas e mais úmido estiver o produto, pior será a distribuição. Em geral, essas características tornam as regulagens dos equipamentos aplicadores mais difíceis, comprometendo a uniformidade de distribuição. Já os fertilizantes granulados são menos suscetíveis a esses problemas. Nesse caso, pelo fato de possuírem maior massa, são menos afetados pelas correntes de ventos, sendo depositados mais facilmente nos locais planejados. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL, 2012).

Tipos de barra de luzes

Há vários modelos disponíveis no mercado, e a barra de luzes de LEDs (associada ou não a monitores) é o modelo mais popular em termos de custo-benefício. Já o tipo associado a monitores é um dispositivo que oferece mais informações para o operador, permitindo realizar ajustes no alinhamento e na dose do produto aplicado mesmo durante a aplicação. Para tanto, é necessário que o operador seja treinado e que esteja familiarizado com as funções do monitor. (TRIMBLE, 2008).

¹⁶ ARAÚJO, op. cit., p. 43

Atualmente, o mercado de equipamentos agrícolas voltados tanto para a agricultura como para a silvicultura de Precisão oferece uma diversidade muito grande de tipos de barras de luzes para orientação do alinhamento dos conjuntos mecanizados. Elas podem ser utilizadas juntamente com o piloto automático ou não.¹⁷

De modo geral, destacam-se dois modelos, as saber:

Barra de luzes com LEDs:

As barras de luzes com LEDs são equipamentos de formato retangular, onde se visualiza uma linha de diodos emissores de luzes (LEDs), que são fixados no campo de visão frontal do operador, geralmente no para-brisa, no suporte da capota ou mesmo no painel do trator. Utilizam-se LEDs por eles proporcionarem boa visibilidade da informação, além de consumirem pouca energia, serem duráveis e não apresentarem aquecimento como outros tipos de luzes. (ARAÚJO, 2015, p. 45).

As barras de luzes são conectadas a um receptor de sinal GNSS que informa ao operador quanto à manutenção ou à falha no alinhamento durante o deslocamento do trator, podendo ser em linhas reta ou curva. Essa informação pode ser visualizada por meio da movimentação de luzes verdes e vermelhas, ou então por meio de números ou setas que representam o afastamento do alinhamento previamente estabelecido. Quando necessário, o operador do trator realiza ajustes manuais na rota programada de acordo com a informação visual fornecida pelas luzes da barra, que ficam estrategicamente posicionadas diante dele. São barras mais simples, que podem ser facilmente removidas e instaladas em outros equipamentos. (TRIMBLE, 2008).

Barra de luzes com LEDs associada a monitor:

As barras de luzes atualmente estão sendo substituídas pelas barras com LEDs associadas a um monitor que põe à disposição do operador uma maior quantidade de informações. Elas são constituídas pela barra de luzes (disposta geralmente na parte superior) e um monitor com diversas informações sobre a aplicação que são apresentadas em uma tela. Em alguns equipamentos, as barras de luzes são substituídas por uma imagem do trator e do equipamento de aplicação. Uma linha de orientação no meio da tela indica ao operador o alinhamento a ser seguido. Caso o alinhamento não seja seguido, uma seta aparece na tela indicando a necessidade de se retornar ao alinhamento correto. À medida que o conjunto se desloca pela área, o monitor registra a área coberta, gerando um mapa de aplicação. (ARAÚJO, 2015, p. 46).

Elas podem ser utilizadas isoladamente ou em associação com o sistema de piloto automático. Algumas delas possuem entrada USB que permite inserir um pen-

¹⁷ SENAR, op. cit., p. 25.

drive onde serão registrados dados da aplicação, por exemplo: velocidade da operação, área coberta, quantidade de produtos aplicados, desvio de rota e mapa da aplicação. (TRIMBLE, 2008).

4.4 Piloto automático

Oliveira (2009) assevera que o piloto automático representa um avanço frente às barras de luzes, pois não apenas orienta o operador, mas dirige o trator de forma automática, seguindo uma linha previamente estabelecida. Há equipamentos que podem ser adaptados a diferentes tipos de tratores e todos eles proporcionam melhorias consideráveis na qualidade da distribuição dos produtos e com relação ao conforto do operador.

O piloto automático representa um passo a mais, além da barra de luzes, na orientação geográfica dos equipamentos que trabalham no campo. Trata-se de uma ferramenta moderna que otimiza bastante a aplicação de corretivos e fertilizantes, sendo um dos maiores avanços alcançados nos últimos anos. Essa ferramenta visa basicamente à condução automatizada das máquinas e implementos agrícolas, utilizando a orientação por sinal de satélite com tecnologia de correção diferencial - conhecida como RTK - (OLIVEIRA, 2009).

Araújo (2015) considera que o piloto automático uma ferramenta moderna que otimiza bastante a aplicação de corretivos e fertilizantes. Ela funciona mediante orientação por sinal de satélite, empregando a tecnologia de correção diferencial conhecida como RTK. Trata-se de um dos maiores avanços alcançados nos últimos anos e visa basicamente à condução automatizada das máquinas e implementos agrícolas, proporcionando uma série de vantagens para as operações de distribuição de corretivos e fertilizantes. Araújo (2015) destaca: redução da fadiga do operador, melhoria na qualidade da distribuição dos produtos, aumento da capacidade operacional, realização das operações durante a noite, definição de locais de tráfego controlado, maior segurança da operação, envolvimento de mão de obra qualificada e redução dos custos de produção.

O piloto automático proporciona melhorias consideráveis na aplicação de corretivos e fertilizantes dando um passo a mais na condução do trator – muitas vezes, ele não apenas auxilia o operador, mas trabalha por ele. Desta forma, o operador poderá atentar para outras ações importantes durante a aplicação, como a

verificação da quantidade de insumo no depósito e o monitoramento do funcionamento de todo o sistema de aplicação. (OLIVEIRA, 2009). O trator mantém o alinhamento predefinido por meio de orientação por satélite, podendo em alguns casos até mesmo realizar as manobras de cabeceiras. Como vantagens, pode-se dizer que o piloto automático evita desgaste do operador, melhora a qualidade da aplicação e pode inclusive tornar a operação mais segura. Entretanto, é importante que se conheça em detalhes como essas vantagens podem ser operacionalizadas nas aplicações de corretivos e fertilizantes.¹⁸

Uma das causas de redução da eficiência das operações mecanizadas tradicionais reside na baixa qualidade da mão de obra empregada. No caso de um trator comum, o operador deve ser capaz de conduzi-lo com eficiência em um alinhamento predefinido, realizar as manobras de cabeceiras com rapidez e retornar para o alinhamento, obedecendo ao espaçamento entre passadas. Isso tudo deve ser feito considerando-se critérios de segurança que, a depender do desgaste físico resultante da jornada de trabalho, podem ser seriamente comprometidos, levando a acidentes e falhas nas aplicações. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL, 2012).

Uma alternativa frente a esse problema é o uso dos pilotos automáticos nos tratores agrícolas. Trata-se de uma tecnologia que surgiu diante dos inúmeros avanços tecnológicos dos dispositivos.

De modo geral, os erros observados nos sistemas de piloto automáticos mais avançados são baixos, podendo girar em torno de 1 a 5 cm. (OLIVEIRA, 2009).

A maioria dos pilotos automáticos opera em associação com as barras de luzes, assim o operador poderá acompanhar o desempenho do sistema pela dinâmica das luzes no painel. Para alguns modelos de piloto automático, o operador deve assumir a direção manual para realizar a manobra de cabeceira. Ao fazer a manobra, o trator se deslocará automaticamente para o alinhamento, sem a necessidade da existência de marcadores de linhas no terreno.¹⁹

Algumas vantagens diretas do piloto automático são a agilidade e eficiência no trabalho; operação com qualquer visibilidade; controle de tráfego; e operação em terrenos inclinados. (ARAÚJO, 2015).

¹⁸ ARAÚJO, op. cit., p. 49.

¹⁹ Ibid., p. 52.

Proporcionando tantos benefícios, pode-se concluir que, por se tratar de tecnologia avançada, é necessário que a operação dos pilotos automáticos seja realizada por mão de obra qualificada. Isso pode ser visto como uma vantagem, pois a qualificação da mão de obra geralmente produz melhores resultados ao realizar a operação. Um operador qualificado se torna apto a interpretar as informações gerais sobre o funcionamento de todo o sistema e realizar eventuais ajustes, caso sejam necessários. Isso contribui para maior profissionalização da atividade, criando um novo perfil de trabalhador rural. Todos esses fatores podem refletir também no custo final da produção, vez que o tempo poderá ser otimizado e o número de aplicações reduzido.

Tipos de piloto automático

Para o uso adequado dessa tecnologia é importante que se conheçam os tipos de pilotos automáticos disponíveis no mercado e quais são as características de cada um deles. Dessa forma, torna-se possível selecionar o tipo mais adequado para cada situação, considerando principalmente a relação custo-benefício, vez que os modelos disponíveis atualmente possuem custos de aquisição bem distintos.

Os pilotos automáticos já fazem parte de um importante segmento comercial dos fabricantes de tratores equipados com dispositivos de precisão. Alguns, inclusive, já são incorporados diretamente na linha de montagem, fazendo parte dos itens de série para certos modelos. Porém, tem-se observado que muitos produtores têm adquirido equipamentos separadamente, adaptando-os a seus tratores, o que eleva consideravelmente o desempenho dessas máquinas. (OLIVEIRA, 2009).

Apesar de existirem diversos modelos no mercado, os pilotos automáticos podem ser divididos em dois grupos, a saber, os pilotos automáticos universais e os pilotos integrados.

Segundo Araújo (2015, p. 67) o piloto automático universal “é a forma mais simples de automatizar o trator. Consiste basicamente de um mecanismo de atuação fixado na barra de direção, próximo ao volante”. Pelo fato de ser adaptável a um veículo usado, ou seja, o produtor poder adquirir o acessório e instalar no seu próprio trator, muitos produtores têm optado por este tipo de automação. O mecanismo é controlado por um monitor que governa a direção e mantém o veículo no trajeto desejado durante a operação.

De modo geral, o piloto universal é de fácil montagem e pode ser adaptado em diversos modelos de tratores. Entretanto, recomenda-se que seja realizada uma avaliação prévia sobre a compatibilidade entre o modelo de trator disponível e o piloto automático que se deseja adquirir. Alguns fabricantes, no intuito de garantir melhores resultados proporcionados pelos seus equipamentos, limitam o uso de seus dispositivos para apenas certos modelos de tratores, tendo em vista as posições de fixação do atuador e o desempenho do trator. (ARAÚJO, 2015).

Atualmente, são comercializados dois tipos de piloto universal: os pilotos eletromecânico e elétrico.

- **Eletromecânico**

O piloto automático universal eletromecânico é constituído basicamente por uma estrutura formada pelo mecanismo de atuação, conectado diretamente ao eixo central do volante, um monitor e um receptor de sinal GNSS com tecnologia RTK. Nesse caso, existe uma base fixa e uma base móvel. A montagem consiste na substituição do volante original do trator por essa estrutura, que possui uma unidade de comando responsável por receber as coordenadas vindas do receptor e atuar diretamente na coluna de direção do trator, realizando os ajustes a fim de manter o alinhamento programado. (ARAÚJO, 2015, p. 69).

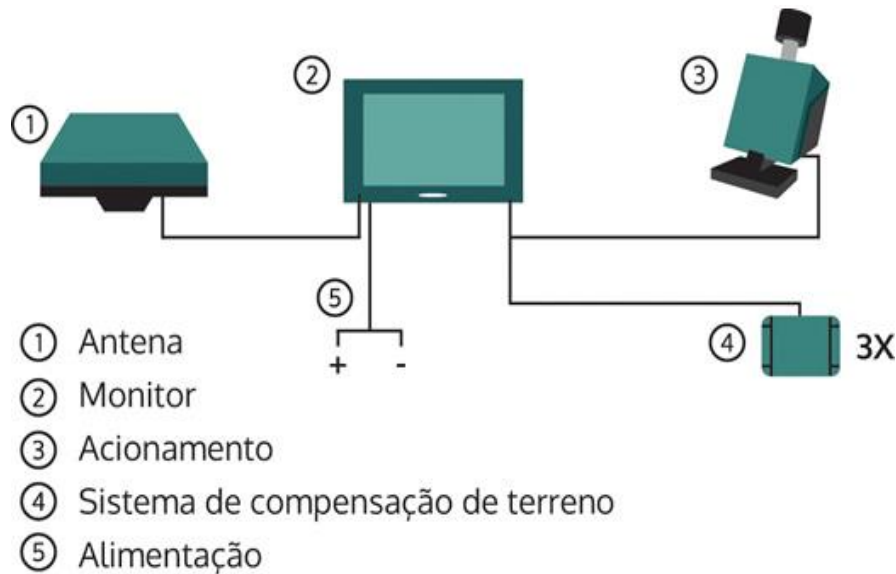
Uma das vantagens desse tipo de piloto é que ocupa pouco espaço na cabine e não limita a visibilidade do operador a informações no painel do trator. Além disso, permite que a funcionalidade telescópica do volante seja mantida. (OLIVEIRA, 2009). O monitor, além de possuir uma barra de luzes para que o operador acompanhe o desempenho do piloto automático, tem a finalidade de interagir com o operador, possibilitando a visualização das linhas a serem seguidas e a geração do mapa de aplicação. Ainda possui um teclado virtual que permite configurar o sistema. O receptor constitui a base móvel do sistema de correção diferencial RTK.²⁰

- **Elétrico**

O piloto automático universal elétrico é constituído por um motor elétrico fixo na coluna de direção por meio de um suporte universal. Também é constituído por um monitor e um receptor de sinais GNSS. Em geral, são os pilotos automáticos de menor custo de aquisição, podendo ser adaptados a diversos tipos de tratores.

²⁰ ARAÚJO, op. cit., p. 53.

Figura 6 – Exemplo esquemático de piloto automático universal elétrico.



Fonte: Mapa (2013) adaptado de Arvus –
http://arvus.com.br/pages/arvus/files/piloto_automatgico.pdf

Figura 7 – Exemplo de piloto automático universal elétrico.



Fonte: New Holland (2012) -
<http://agriculture.newholland.com/br/pt/products/precisionfarming/pages/piloto-eletrico-ez-steer.aspx>

Ainda de acordo com Araújo (2015, p. 70), o piloto automático integrado “consiste em uma série de componentes que são conectados diretamente aos componentes elétricos e hidráulicos responsáveis pelo direcionamento do trator”. Esse tipo de piloto se integra diretamente no sistema hidráulico do trator, o que permite uma maximização do espaço dentro da cabine, aumentando o conforto do operador e a segurança da operação. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL, 2012). Suas principais partes constituintes são: o receptor de sinais GNSS, o comando de inclinação, o comando central e o atuador.

Figura 8 – Exemplo de piloto automático integrado.



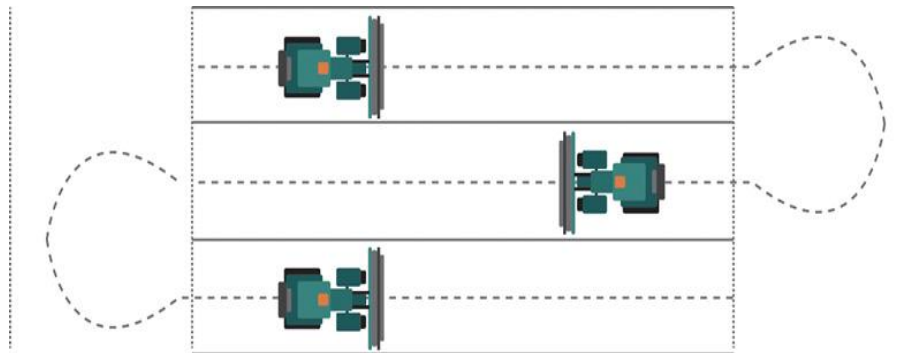
Fonte: Agrogeosul (2014) - <http://www.agrogeosul.com.br/index.php/produtos/pilotoauto/hidraulico/auto-pilot-trimble>

Em geral, o piloto integrado tem um custo de aquisição superior ao dos outros tipos de pilotos. Entretanto, apresenta melhor acurácia em relação aos pilotos universais, podendo gerar erros entre 3 e 5 cm, pois atua diretamente no esterçamento do trator, proporcionando tempo de resposta mais curto durante os movimentos de correção do trajeto. (ARAÚJO, 2015).

Assim como em alguns tipos de piloto automático universal, o piloto automático integrado possui tecnologia para correção da inclinação do terreno, ajustando o trator em três eixos e corrigindo a inclinação diversas vezes por segundo. Isso garante a qualidade da aplicação mesmo em terrenos inclinados com longos terraços. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL, 2012).

Alguns modelos de piloto automático permitem realizar manobras de cabeceira com bastante facilidade. Uma das grandes vantagens disso é a redução do tempo destinado a essa manobra que, em equipamentos sem piloto automático, exige habilidade do operador para ser realizada de forma adequada, sobretudo em pequenos espaços.

Figura 9 – Exemplo de manobra de cabeceira por meio do piloto automático.



Fonte: Mapa (2013) adaptado de John Deere - http://www.deere.com.br/pt_BR/products/equipment/agriculture_management_solutions/guidance_system/itec_pro/itec_pro.page?

4.5 Monitoramento da qualidade de distribuição de corretivos e fertilizantes

Na perspectiva de uma silvicultura de precisão é necessário criar meios para assegurar que a aplicação específica de corretivos e fertilizantes seja realizada adequadamente.

Em estudo realizado por Hakamada *et al.* (2012) em condições de campo, 80% dos pontos amostrados apresentaram desvio superior a 10% da dose de fertilizante recomendada para o talhão, evidenciando a clara necessidade de ajustes mais precisos no sistema de distribuição.

Segundo Araújo (2015), o meio de acompanhar o andamento da aplicação é chamado de monitoramento, prática que garante que o produto está sendo distribuído de forma uniforme sobre a área, mantendo a largura nominal de trabalho e proporcionando uma capacidade operacional adequada para a operação.

As formas de monitoramento variam de acordo com o tipo de produto e equipamento utilizados, sendo que as mais eficientes e seguras são aquelas que empregam dispositivos eletrônicos.

Diversas aplicações de corretivos e fertilizantes são realizadas de modo desuniforme e podem comprometer seriamente o desenvolvimento das plantas. Assim, torna-se muito importante realizar o monitoramento constante da aplicação sobre vários aspectos.

As formas de monitoramento são diversas, dependendo do tipo de produto aplicado, mas em geral, a forma mais utilizada é a visual, realizada pelos

operadores. Mas isso exige a frequente movimentação dos trabalhadores sobre os equipamentos agrícolas, o que compromete a segurança física sem proporcionar boa qualidade do serviço prestado. O ideal, portanto, é adotar meios eletrônicos de se realizar esse monitoramento, a fim de criar condições de trabalho mais eficientes e seguras. (ARAÚJO, 2015).

A distribuição de corretivos e fertilizantes nem sempre é realizada de modo uniforme, devido principalmente às condições climáticas, mas também às condições de regulação e estado de conservação inadequado dos distribuidores. (DIREÇÃO-GERAL DE HIDRÁULICA E ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1989). Consequentemente, isso causa prejuízos para a produção, vez que a planta não recebe a quantidade de nutrientes e corretivos necessários ao seu bom desenvolvimento, afetando a sua produtividade final. Além disso, em alguns casos torna-se necessário realizar nova aplicação, resultando em maiores gastos com horas de máquina, compactação de solo e desperdício de produtos, aumentando a contaminação ambiental.

A aplicação de corretivos e insumos deve ser realizada adotando-se critérios adequados de monitoramento da uniformidade de distribuição. Esse monitoramento geralmente é feito por operadores que realizam apenas uma análise visual da aplicação, podendo incorrer em falhas. Além disso, seus horários de trabalho são limitados e muitas vezes a integridade física do operador é colocada em risco.

Entretanto, tendo em vista os avanços obtidos com o desenvolvimento da tecnologia, o mercado oferece atualmente várias técnicas e equipamentos para auxiliar o operador durante as aplicações tornando-as mais eficientes.

Assim, monitorar constantemente o processo de aplicações dos insumos nem sempre é uma tarefa fácil, a depender do tipo de produto aplicado. Para aqueles produtos de granulometria mais finas, que são aplicados a lanço, uma análise visual pode fornecer ao operador uma avaliação mais superficial.²¹

Geralmente, há uma grande dispersão desses produtos durante a aplicação e as perdas podem ser consideráveis. Dessa forma, o operador deverá escolher a melhor hora do dia para aplicar o produto ou mesmo selecionar o sentido de deslocamento mais conveniente, de acordo com a direção do vento. Quando se trata de produtos de maior massa, esses problemas são atenuados durante a aplicação a

²¹ DGHEA - Direção-Geral de Hidráulica e Engenharia Agrícola. Distribuidores centrífugos de adubo: Regulações e Manutenção. Direção Geral de Hidráulica e Engenharia Agrícola. **Boletim Técnico**, Ano 2, Nº 6, Maio de 1989.

lanço e o que se visualiza é uma distribuição mais uniforme, pelo menos na maioria das vezes. (HACHUY, 2008).

Além do monitoramento visual do lançamento dos jatos, deve-se monitorar constantemente também a quantidade de produto existente no interior dos depósitos. Isso ganha importância porque, em alguns modelos de distribuidores, a coluna de produtos sobre os mecanismos dosadores dentro do tanque proporciona maior distribuição pela área no início da aplicação e menor ao final. Isso acontece com os mecanismos rotativos, nos quais o produto desce por gravidade e cai diretamente sobre os discos.²²

Uma forma de atenuar esse problema é a colocação de anteparos vazados para aliviar o peso sobre os mecanismos dosadores. Outro fato que justifica o monitoramento da distribuição dos corretivos e fertilizantes é a necessidade de determinação da largura nominal de trabalho (HACHUY, 2008).

Essa informação é relevante para a definição da distância entre passadas e reflete diretamente na capacidade operacional da aplicação. Larguras de trabalho maiores proporcionam maiores capacidades operacionais, desde que não haja redução na velocidade de trabalho. Entretanto, espera-se sempre que o produto seja distribuído uniformemente ao longo dessa largura, caso contrário, falhas na aplicação reduzirão a capacidade operacional gerando a necessidade de realizar nova aplicação.²³

O monitoramento também possibilita que o reservatório do distribuidor seja abastecido nos momentos corretos, como antes de se iniciar o deslocamento, logo após a realização da manobra de cabeceira. Nesse caso, o depósito deve ser abastecido se estiver com pouco produto, pois caso venha a se esvaziar no meio do talhão, terá que retornar vazio até a cabeceira da área para novo abastecimento. Isso reduz a eficiência da operação pelo fato de aumentar os tempos perdidos com deslocamentos desnecessários. (HACHUY, 1989).

O monitoramento mais difícil de ser realizado ocorre nas máquinas distribuidoras que colocam o produto diretamente em sulcos que são fechados logo após a sua deposição. (DIREÇÃO-GERAL DE HIDRÁULICA E ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1989). Nesse caso, a avaliação visual da distribuição se torna inviável,

²² Ibid., p. 13.

²³ ARAÚJO, op. cit., p. 52.

justificando assim a necessidade de se utilizar algum dispositivo eletrônico para tal avaliação.²⁴

De modo geral, a importância do monitoramento também pode ser destacada pela presença de operários destinados exclusivamente a acompanhar a aplicação durante todo o tempo. Eles avaliam visualmente a quantidade de produto nos reservatórios, a profundidade de deposição, dentre outros aspectos. Alguns fabricantes de equipamentos distribuidores até disponibilizam acetos para esses operários. Entretanto, trata-se de uma situação de alto risco e a tendência é que esses operadores sejam substituídos por dispositivos eletrônicos que são mais eficientes e proporcionam monitoramento simultâneo de maior quantidade de unidades de distribuição, inclusive durante as aplicações no período noturno.²⁵

4.5.1 Principais tipos de dispositivos de monitoramento

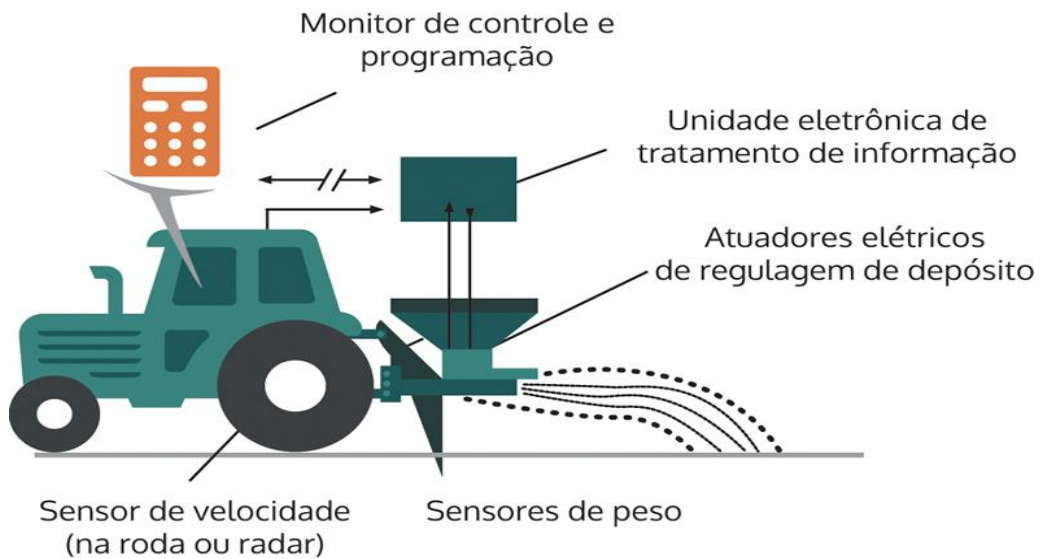
De acordo com Mapa (2013), os sistemas mais sofisticados realizam o monitoramento completo, ou seja, dose aplicada, fluxo de descida, velocidade de trabalho e acompanham a redução da quantidade de adubo no reservatório. Para tanto, sensores são espalhados por toda a máquina.

Os distribuidores mais modernos possuem diversos sensores embarcados responsáveis por monitorar durante todo instante a distribuição do adubo. Eles são responsáveis pela medição da massa presente no interior do depósito através de um mecanismo semelhante a uma célula de carga ou sensor de peso. Essa informação pode ser visualizada em um monitor diante do operador, que entende a quantidade de adubo existente dentro dos depósitos e programa as paradas de forma mais conveniente. (ARAÚJO, 2015). Outra vantagem desta tecnologia é que se elimina a necessidade de um operador permanecer sobre a máquina para conferir a quantidade de adubo restante no interior do reservatório.

²⁴ Ibid., p. 52.

²⁵ Ibid., p. 53.

Figura 10 – Esquema de distribuição utilizando sensores.



Fonte: Mapa (2013).

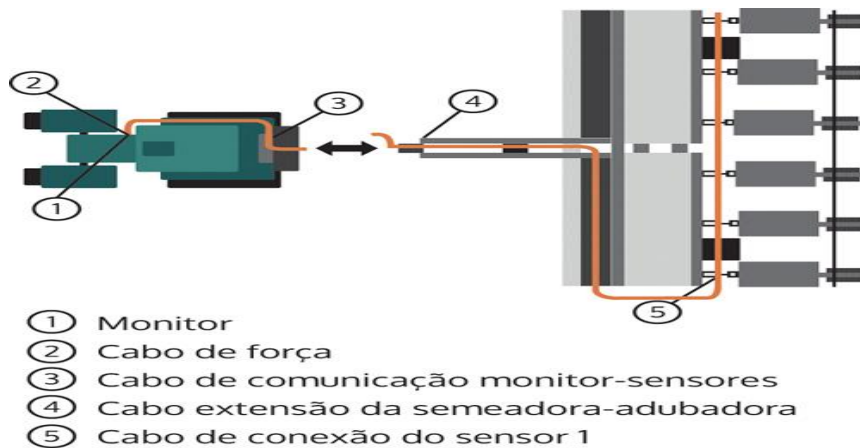
Um dos principais dispositivos utilizados no monitoramento da distribuição de adubo é o atuador elétrico ou eletro-hidráulico de comando da abertura das placas de dosagem do adubo.²⁶

A principal finalidade desses sensores é medir a quantidade de adubo aplicada. Entretanto, desempenham importante papel na eventual variação da deposição, além de informar sobre possível entupimento ou esvaziamento do reservatório.

Araújo (2015) ainda menciona que os sensores são os dispositivos de monitoramento mais simples disponíveis no mercado. Basicamente, são compostos por um monitor de comando, módulos de distribuição de sensores, cabos de comunicação e sensores.

²⁶ ARAÚJO, op. cit., p. 56.

Figura 11 – Esquema da interface monitoramento-distribuição de insumos.



Fonte: Mapa (2013) adaptado de Prosolus:
http://www.prosolus.com/_GI/pdf/_modulos/produtos/00008.pdf

De modo geral, os monitores possuem interfaces de fácil comunicação com o operador: ao iniciar o plantio, a luz de “monitoramento” é acesa no monitor. Em caso de falha por entupimento ou interrupção do fluxo de semente/adubo a luz de “monitorando” se apaga e então se acende a de alerta, que é acompanhada de um sinal sonoro. Além disso, o visor indica alternadamente a mensagem “Er” e o número do sensor (ou dos sensores) que está com problema.²⁷

Normalmente, esses sensores são robustos e dotados de um sistema digital de auto ajuste contra o acúmulo de sujeira. Isso garante uma maior quantidade de horas de trabalho sem paradas, elevando a capacidade operacional da atividade. Outra característica é que o operador é informado quando há necessidade de realizar as limpezas.²⁸

4.5.2 Fatores que interferem na qualidade da distribuição

A distribuição de corretivos e fertilizantes é essencial para o fornecimento de nutrientes para o desenvolvimento das culturas. Desta forma, é preciso ter alguns cuidados no momento da aplicação, de forma a garantir a eficiência na distribuição destes insumos.

A aplicação de corretivos e fertilizantes a lanço deve ser visualizada como um processo no qual existem fatores que estão interagindo e que darão um

²⁷ ARAÚJO, op. cit., p. 62.

²⁸ Ibid., p. 63.

resultado final. Se a interação for harmônica ou dentro de um determinado limite tolerável, o resultado será conforme o planejado. (HACHUY, 2008).

De modo geral, a qualidade da distribuição de corretivos e fertilizantes pode ser afetada por fatores relacionados à condição ambiental, às características do produto e ao modo de aplicação. As condições ambientais podem prejudicar o deslocamento normal da máquina durante a aplicação ou afetar o deslocamento normal do insumo até que ele atinja o solo.

Com efeito, Bazani et al. (2012, p. 94) argumentam que:

O sucesso do manejo nutricional das plantações florestais passa, sem dúvida, pela qualidade do fertilizante, bem como pelas técnicas para sua distribuição em campo (tecnologia de aplicação). Esta preocupação era, até pouco tempo atrás, negligenciada pelo silvicultor, haja vista as dúvidas que pairavam sobre a influência dos nutrientes na produtividade das florestas.

A umidade do solo deve ser baixa o suficiente para permitir o fácil deslocamento do trator e do distribuidor de calcário e fertilizante por toda a área. Solo muito encharcado pode provocar patinagem excessiva do trator, deslizamento do distribuidor e desalinhamento entre os rastros das máquinas, provocando redução na eficiência ou até mesmo inviabilizando a aplicação. Por outro lado, solos muito secos podem provocar redução no aproveitamento dos fertilizantes, especialmente os nitrogenados, que são perdidos por volatilização. (ARAÚJO, 2015).

A distribuição de corretivos e fertilizantes a lanço é diretamente afetada por ventos fortes no momento da aplicação. A condição ideal de aplicação é durante a ocorrência de ventos leves a moderados. Em condição de ventos fortes, a largura útil da faixa de aplicação fica muito variável e, quanto menor a granulometria do insumo aplicado, especialmente o calcário, mais sua aplicação é afetada, chegando ao ponto de ocorrerem perdas de produto pela ação do vento, reduzindo a dose de aplicação ou inviabilizando-a. (ARAÚJO, 2015).

Em condições de ocorrência de chuva, a eficiência da distribuição de corretivos e fertilizantes é reduzida devido às dificuldades de escoamento e passagem pelos mecanismos da máquina. Em alguns distribuidores com proteção contra chuva, este problema é minimizado em caso de chuvas leves. Porém, em aplicações de fertilizantes nitrogenados, este problema é agravado devido à alta

afinidade deste produto com a água, comprometendo a qualidade da aplicação. Em níveis mais elevados de chuva, o próprio deslocamento da máquina é afetado.²⁹

As características intrínsecas dos insumos podem reduzir a eficiência da aplicação ou mesmo favorecer a ação indesejada dos fatores ambientais descritos anteriormente. As principais características dos produtos relacionados à eficiência de aplicação são destacadas por Araújo (2015), quais sejam:

- **Granulometria:** Quanto menor a granulometria dos corretivos e fertilizantes, maior a possibilidade de sofrerem a ação negativa do vento, diminuindo a eficiência da aplicação. Produtos de granulometria fina como o calcário exigem maiores cuidados durante sua distribuição, devendo ser aplicados em situações de ventos mais leves.

- **Umidade do insumo:** Produtos de granulometria mais fina como o calcário, quando apresentam menor umidade possuem também menor peso, portanto, sofrem maior ação negativa do vento durante a distribuição. Assim, o calcário seco necessita de grande atenção durante sua distribuição, devido à sua granulometria fina e ao baixo peso de suas partículas. Por outro lado, insumos com umidade muito alta podem dificultar o escoamento e a saída pelos mecanismos da máquina. Especialmente os fertilizantes, quando em contato com umidade, podem formar aglomerados e obstruir a saída do distribuidor.

- **Armazenamento e conservação:** Corretivos e fertilizantes mal armazenados podem sofrer alteração de seu estado físico devido ao aumento da umidade e/ou à formação de aglomerados, o que dificulta sua distribuição.

Acrescenta-se ainda que: o conhecimento do operador, a alimentação do software e o deslocamento da máquina na velocidade ideal também são essenciais para o sucesso da aplicação. Assim, faz-se necessário investir em treinamentos e capacitação de operadores, vez que a cada dia os equipamentos se tornam mais sofisticados.

Arthur Junior e Bazani (2012) asseveram que a capacitação de operadores e a manutenção são fundamentais para o bom funcionamento de sistemas mecanizados. Aponta ainda que, existe grande espaço para melhorias nesse aspecto, implicando ganhos de disponibilidade mecânica e redução de custos, diminuindo a pressão pelo desenvolvimento de novos equipamentos.

²⁹ ARAÚJO, op. cit., p. 72.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A silvicultura de precisão, enquanto atividade econômica procura se tornar competitiva diante da realidade do mercado atual, o qual está cada dia mais dependente da adoção de novas tecnologias de produção. Todas as informações e dados gerados dentro dessa atividade devem dar suporte a análises e planejamentos futuros, visando aperfeiçoar o processo produtivo, o que permite alcançar além da rentabilidade, um desenvolvimento mais alinhado com a temática ambiental.

O emprego de tecnologias na distribuição de corretivos e fertilizantes representam para a silvicultura de precisão uma importante contribuição na busca da sustentabilidade ambiental, eficiência técnica e mais retorno financeiro. Assim, faz-se necessário que a pesquisa e o desenvolvimento de inovações dessa seara sejam amplamente apoiados e subsidiados pelos setores responsáveis e pela sociedade, com vistas a uma produção que esteja em consonância com os preceitos de um desenvolvimento sustentável.

Grande parte dos dispositivos apresentados nesse trabalho pode ser instalada em vários modelos de tratores, tornando essa tecnologia acessível a produtores com diferentes níveis econômicos. Esses equipamentos além de proporcionarem melhores resultados, permitem aos operadores ter mais tempo para se dedicar ao monitoramento dos procedimentos, o que, de regra, auxilia no aumento do desempenho.

Ainda que a mecanização das operações florestais não apresente a eficiência ideal, em que pese o aumento de custos e/ou à produtividade esperada, ela é viabilizada pelo crescente risco da escassez de mão de obra na atividade silvicultural.

Diante da realidade da mecanização e automação das operações florestais, faz-se necessário não só a implementação de inovações no âmbito de equipamentos e acessórios, mas também no campo da capacitação de silvicultores e de gestores florestais para a efetiva administração dos sistemas mecanizados. Igualmente, faz-se necessário adequar essa necessidade a formação e a qualificação deste novo perfil exigido aos profissionais da área florestal.

Acrescenta-se ainda que é fundamental a cooperação entre empresas do setor florestal, de fabricantes de insumos e de universidades para o desenvolvimento e para a busca da eficiência no processo produtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROGEOSUL (Guaíba, RS). Agrogeosul. **Piloto automático Trimble**. 2014. Disponível em: < <http://www.agrogeosul.com.br/produtos/pilotoauto/hidraulico/auto-pilot-trimble>>. Acesso em: 10 ago. 2016.
- ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez do solo: características de qualidade. In: **SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS**, 1984, Piracicaba. Fundação Cargill, 1985. p. 97-119.
- ARAÚJO, F. C. (Goiânia). Serviço Nacional de Aprendizagem Rural de Goiás (Org.). **Agricultura de precisão**. Goiânia: Senar, 2015. 106 p.
- ARTHUR JUNIOR, J. C.; BAZANI, J. H. Síntese do questionário sobre mecanização e das entrevistas com profissionais do setor. **Série Técnica IPEF: 46ª Reunião Técnico-Científica do PTSM**, Telêmaco Borba - Pr, v. 18, n. 39, p.85-93, 16 maio 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Sergio_Silva32/publication/279192917_Aspectos_do_manejo_de_nutrientes_na_Veracel/links/558d979308ae47a3490bcf42.pdf#page=67>. Acesso em: 28 set. 2016.
- ARVUS (Florianópolis). Arvus Tecnologia S.a.. **Titanium piloto automático**. 2013. Disponível em: <http://arvus.com.br/pages/arvus/files/piloto_automatgico.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2016.
- BAZANI, J. H. *et al.* Nutrição e Fertilização Florestal: considerações finais. **Série Técnica IPEF: 46ª Reunião Técnico-Científica do PTSM**, Telêmaco Borba, v. 18, n. 29, p.93-95, 15 maio 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Sergio_Silva32/publication/279192917_Aspectos_do_manejo_de_nutrientes_na_Veracel/links/558d979308ae47a3490bcf42.pdf#page=67>. Acesso em: 28 set. 2016.
- BAZANI, J. H. *et al.* Qualidade Silvicultural: a fertilização de base e sua influência no desenvolvimento inicial de plantações de eucalipto. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.24, n.45, 2016.
- BRAGA, B. *et al.* **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318 p.
- BRASIL. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Boletim Técnico: Agricultura de precisão**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2013. 36 p.
- _____. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Boletim Técnico: Agricultura de precisão**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 31 p.
- CEDRA, C.; ROUSSELET, M.; COILLARD, J.; MIRALLES, A. **Les Matériels de Fertilisation et Traitement des Cultures: Technologies de l'agriculture**. Antony: Cemagref Editions, 1997. 343 p.

COELHO, J.P.C.; SILVA, J.R.M. **Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola**. Lisboa: Gazela Artes Gráficas LTDA, 2009. 125 p.

COELHO, A.M. **Manejo localizado da fertilidade do solo em integração lavoura pecuária**. Disponível em:
<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/30120/1/Manejo-localizado.pdf>.
 Acesso em: 10 out. 2014.

CORÁ, J.E.; BERARDO, J.M.G. Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar. In: **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal/SP, v. 26, n. 2, p. 1-14, 2006.

DGHEA - Direção-Geral de Hidráulica e Engenharia Agrícola. Distribuidores centrífugos de adubo: Regulações e Manutenção. Direção Geral de Hidráulica e Engenharia Agrícola. **Boletim Técnico**, Ano 2, Nº 6, Maio de 1989.

FERRAZ, G. A. E. S.; Silva, F. M. da; Carvalho, L. C. C.; Alves, M. de C.; Franco, B. C. Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. In: **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal/SP, v. 32, n. 1, p. 140-150, 2012.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da (Org.). **Formação de Povoamentos Florestais**. Colombo: Embrapa, 2008. 109 p.

GALIZIA, L. F. C.; RAMIRO, G. A.; ROSA, C. J. C. Qualidade das atividades silviculturais e silvicultura de precisão. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.24, n.45, 2016.

GRAUSTEIN, W.C.; CROMACK, K.; SOLLINS, P. Calcium oxalate: Occurrence in soils and effect on nutrient and geochemical cycles. **Science**, v. 198, n. 4323, p. 1252 - 1254, 1977.

HACHUY, L. **Desempenho de uma distribuidora a lanço com dois tipos de produtos aplicados com diferentes posições de aletas nos discos**. 2008. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008.

HAKAMADA, R. E. *et al.* Estudos de caso em fertilização florestal: qualidade da operação, do fertilizante e da recomendação de fertilização. **Série Técnica IPEF: 46ª Reunião Técnico-Científica do PTSM**, Telêmaco Borba - Pr, v. 18, n. 39, p.66-73, 15 maio 2012. Disponível em:
 <https://www.researchgate.net/profile/Sergio_Silva32/publication/279192917_Aspectos_do_manejo_de_nutrientes_na_Veracel/links/558d979308ae47a3490bcf42.pdf#page=67>. Acesso em: 28 set. 2016.

HIGMAN, S. *et al.* **Manual do Manejo Florestal Sustentável**. 2. ed. Viçosa: Ufv, 2015. 398 p. Tradução de Áurea Maria Brandi Nardelli.

JOHN DEERE (Indaiatuba). **Soluções de gestão de agricultura**. 2016. Disponível em:

<www.deere.com.br/pt_BR/products/equipment/agriculture_management_solutions/guidance_system/itec_pro/itec_pro.page?>. Acesso em: 10 ago. 2016.

KLIMIONTE, M. A. *et al.* Uso de SIG na Análise dos Resultados de Auditoria Sobre Eficiência Operacional da Calagem e Adubação. In: CONGRESSO E MOSTRA DE AGROINFORMÁTICA, 1., 2000, Ponta Grossa. **InfoAgro2000**. Ponta Grossa: Fundação Abc, 2000. p. 56 - 63. Disponível em: <http://infoagro2000.deinfo.uepg.br/artigos/pdf/info_082.pdf>. Acesso em: 28 set. 2016.

MACHADO, P.L.O.A.; BERNARDI, A.C.C.; SILVA, C.A. **Agricultura de Precisão para o Manejo da Fertilidade do Solo em Sistema de Plantio Direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 209 p.

MALINOVSKI, R. **4º Congresso Florestal Paranaense: câmara técnica de silvicultura**. 2012. Disponível em: <<http://www.apreflorestas.com.br/noticias/congresso-florestal/652/silvicultura-de-precisao-e-tendencia-na-producao-de-floresta-plantada>>. Acesso em: 14 ago. 2016.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego, Academic Press, 1995.

MELO, E.A.S.C.; HAKAMADA, R.E.; QUEIROZ, D.; BORGES, J.S.; GONÇALVES, J.L.M. Respostas às fertilizações com doses crescentes de N-P-K em quatro sítios florestais. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.18, n.39, 2014.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2007. 433 p.

MOLIN, J. P. **Agricultura de Precisão – O gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2008. 83 p.

NEW HOLLAND (Pensilvânia, EUA). New Holland. **Precision Agriculture**. 2012. Disponível em: <<http://agriculture.newholland.com/br/pt/products/precisionfarming/pages/piloto-eletrico-ez-steer.aspx>>. Acesso em: 10 ago. 2016.

OLIVEIRA, T. C. A. **Estudos sobre desempenho de sistemas de piloto automático**. 2009. 68p. Dissertação (Mestrado) - ESALQ/USP, Piracicaba, 2009.

ROSA, D.P.; PAGNUSSAT, L.; ALFLEM, J. A.; PESINE, F. Dose certa. In: **Revista Cultivar Máquinas**, Pelotas/RS, Ano XI, Nº 128, p. 46-48, 2013.

SILVA, O.F. da; FARIA, L.C. de; MELO, L.C.; DEL PELOSO, M.J. **Sistemas e custos de produção de feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes épocas e regiões de cultivo**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2004, 40 p.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Máquinas Agrícolas: Tecnologia de Precisão**. Brasília: Senar, 2012. 76p.

TEREZAN, L. H.; BERNARDI, M.; SILVA, A. I. G. Controle de Qualidade Florestal na Eldorado Brasil S.A. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v.24, n.45, 2016.

TRIMBLE. Sistema de Orientação Barra de Luzes EZ-Guide 250. **Manual Trimble**, 2008. 73p.

SILVA, I. R.; SMYTH, T. J.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Physiological aspects of aluminum toxicity and tolerance in plants. In: ALVAREZ V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, W.V.; COSTA, L.M. **Tópicos em ciência do solo**, SBCS, v. 2, p. 277 - 335, 2002.

STAPE, J.L., *et al.* The Brazil Eucalyptus potential productivity project: influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1686–1694, 2010.

STARA. **Manual Controlador Topper 4500**. Não-Me-Toque/RS: Stara, 2014, 58p.

THEODOROU, C.; BOWEN, G. D. **The Influence of pH and nitrate on mycorrhizal associations of Pinus radiata** D. DON. Australian Journal of Botany, Collingwood. v. 17, p. 59 - 67, 1969.

VRECHI, A.; STAPE, J. L.; SILVA, S. R.; BAZANI, J. H. **Silvicultura de precisão: oportunidades de ganhos em operações silviculturais**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Ciências Florestais, 2007. 87p.