3953
2012

14

Uso de geotecnologias no monitoramento de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta

Édson Luis Bolfe
Ricardo Guimarães Andrade
Luiz Eduardo Vicente
Mateus Batistella
Célia Regina Grego
Daniel de Castro Victoria

Sistemas de produção em integração

Atualmente existem incentivos do governo federal para a aplicação de técnicas que favoreçam a produção agropecuária com sustentabilidade, a exemplo do Programa Agricultura de Baixo Carbono – ABC, que prevê, entre suas ações, a implantação de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) como sistema promotor da recuperação de áreas de pastagens degradadas. Por exemplo, Bolfe e Batistella (2011), ao analisarem sistemas de integração lavoura-floresta na região Norte do Brasil, destacam que essa integração constitui-se em sistemas de produção diferenciados no contexto da produção agropecuária da Amazônia, considerando-se a estrutura e as potencialidades de produção diversificada da região. Assim, para que a implantação de sistemas produtivos sustentáveis seja efetivamente conduzida, é necessário desenvolver metodologias para monitorar e avaliar, com baixos custos, as áreas desses sistemas depois de implantados. Nesse sentido, as geotecnologias, que envolvem imagens de satélite, fotografias aéreas, sistemas de informações geográficas e sistemas de posicionamento global por satélite (GPS), ocupam papel relevante na identificação, no monitoramento, na consolidação e na expansão de áreas que adotam sistemas de integração, seja em escala local, regional ou nacional.

Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é definido como a ciência de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno por meio da análise de dados obtidos por um aparelho que não esteja em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação (LILLESAND et al., 2004). Os objetos de interesse na superfície são: vegetação natural, culturas agrícolas, pastagens, florestas plantadas, solos, formações rochosas, corpos d'água, entre outros, tecnicamente denominados de alvos (Figura 14.1). Portanto, a utilização de sensores remotos com diversas resoluções espectrais, temporais e espaciais, permite caracterizar diferentes alvos em sistemas de ILPF.

O conhecimento da variabilidade espectral, temporal e espacial do uso e da cobertura da terra pode contribuir significativamente para o entendimento das mudanças nos sistemas produtivos e ambientais, como produção de biomassa, níveis de degradação e vulnerabilidade do solo, retenção de carbono, sanidade vegetal, entre outros. Essa é uma demanda importante, dadas as características altamente diversificadas do uso da terra nos sistemas de ILPF, que envolve alvos com biofísica e fenologia espacialmente diferentes.

Perspectivas futuras

A detecção qualitativa (identificação do alvo) é estudada desde a década de 1960 pelo sensoriamento remoto. Entretanto, apenas recentemente a estimativa quantitativa (determinação da abundância e presença relativa) de alvos da superfície terrestre tem

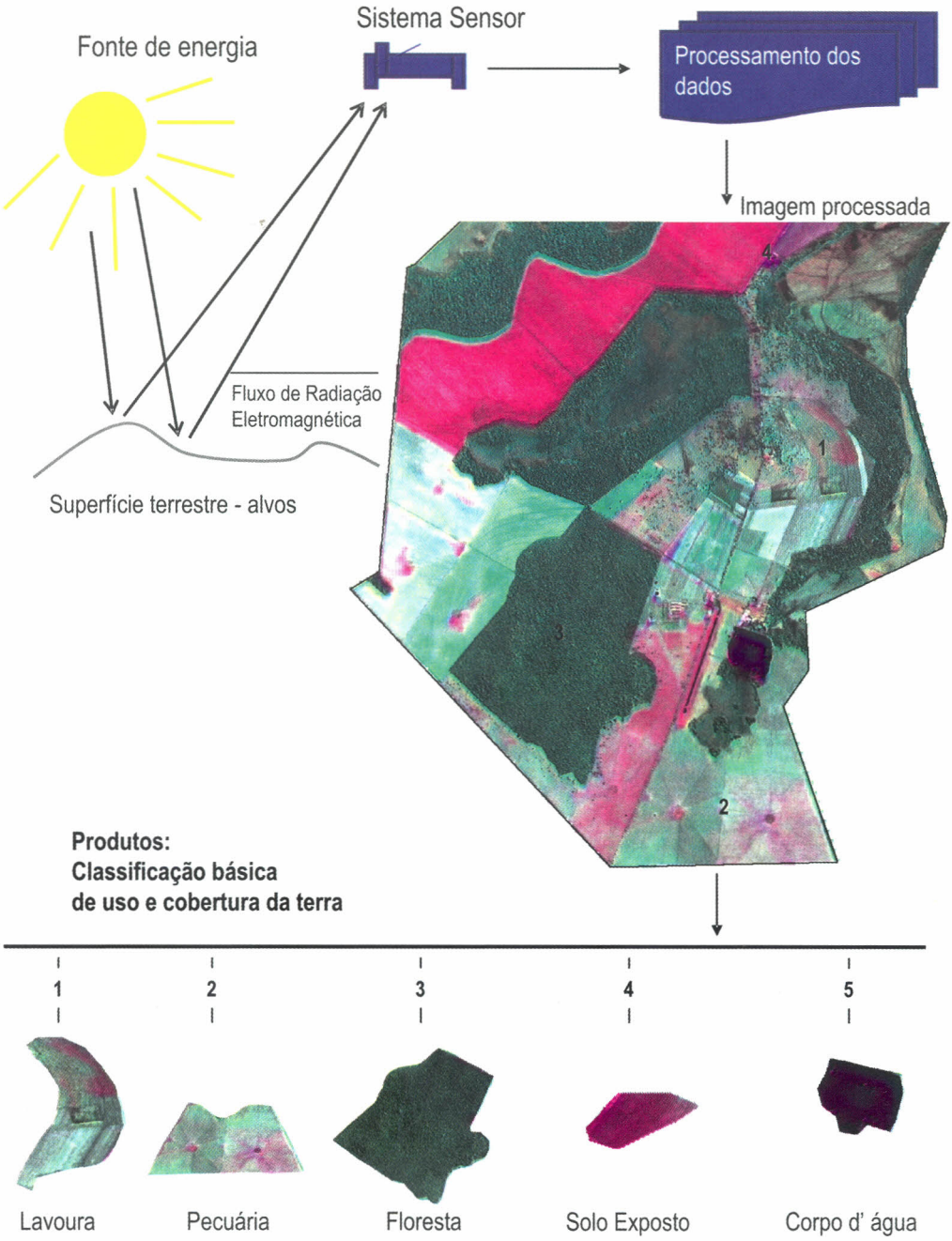


FIGURA 14.1 - Esquema ilustrativo de registro, processamento e classificação básica de uso e cobertura da terra a partir de imagens ópticas (imagens fusionadas para alta resolução espacial CBERS 2B/Landsat 5 TM na composição colorida 543). No destaque, são apresentados os alvos: 1 - lavoura, 2 - pecuária, 3 - floresta, 4 - solo exposto e 5 - corpo d'água.

sido uma das principais aplicações na tomada de decisões econômicas e de gerenciamento ambiental. Para isso, são desenvolvidas relações funcionais entre as características biofísicas dos alvos e os dados coletados remotamente.

Exemplos desses avanços encontram-se atualmente na utilização de sensores experimentais como o ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) e o EO1-Hyperion, por meio dos quais é possível a identificação em semidetalhe, por exemplo, de componentes minerais de solo (VICENTE; SOUZA FILHO, 2011) e de características vegetacionais (RAMSEY et al., 2005) até então inviáveis de serem mapeados por sensores/métodos tradicionais. Ou seja, quanto maior for o número de bandas espectrais disponíveis, bem como a sua cobertura de setores estratégicos do espectro eletromagnético (EEM), maiores serão as possibilidades de extração de informações para o sistema ambiental ou agropecuário estudado. Nesse sentido, a tendência é que haja maior disponibilidade e melhoria dos dados remotos, principalmente no que tange ao aumento de bandas espectrais de sensores orbitais, à redução de custos, bem como à obtenção de imagens por sensores aerotransportados, especialmente em veículos aéreos não tripulados (VANTs).

Em outro vértice das geotecnologias, o de imagens de alta resolução temporal, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto apresenta como vantagem a obtenção de informações que possibilitam a geração de séries temporais da região em estudo, facilitando o entendimento de processos relacionados à dinâmica de uso e cobertura das terras. Nas figuras 14.2 A e B, são apresentadas imagens de alta resolução espacial da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte em Campo Grande, MS. Nesse campo, o uso do sensoriamento remoto permite, por exemplo, o monitoramento de áreas agrícolas por meio de estimativa de área cultivada e de produtividade, o que é muito útil para o planejamento agropecuário e industrial, assim como pode influenciar a formação de preços dos produtos e a criação de políticas e implantação de programas de desenvolvimento regional (CONAB, 2011).

No caso do setor pecuário, atualmente, a identificação, a quantificação e o monitoramento da produtividade das pastagens são assuntos de grande interesse. Com base nessas prioridades, é possível avaliar e mapear problemas de degradação de pastagens por meio da análise do comportamento espectral dos alvos de interesse. Esse é um aspecto muito importante da problemática que envolve a sustentabilidade, especialmente dos sistemas pecuários no Brasil Central, pois a recuperação de pastagens degradadas tem sido de difícil implementação devido à falta de informações atualizadas e detalhadas a respeito da distribuição espacial dessas pastagens (SANO et al., 2000).

Por ter custo mais baixo que o monitoramento local, o sensoriamento remoto é uma excelente ferramenta para auxiliar na tomada de decisão visando a melhoria dos sistemas produtivos locais. A Embrapa vem desempenhando importante papel na pesquisa e no desenvolvimento de projetos relacionados à aplicação de geotecnologias visando a sustentabilidade da pecuária brasileira. Mais detalhes de alguns projetos, podem ser verificados no *site* da Embrapa Monitoramento por Satélite: www.cnpm.embrapa.br/projetos/projetos.php.

FIGURAS 14.2 A e B - Imagens GeoEye-1 de 9 de outubro de 2010 de áreas de implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

Sistemas de informação geográfica (SIG)

Segundo Câmara et al. (2004), o termo sistemas de informação geográfica (SIGs) é aplicável a sistemas que realizam tratamento computacional de dados geográficos e armazenam a geometria e os atributos dos dados georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica. Segundo os autores, em uma visão abrangente, um SIG tem os componentes para interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

Diversas aplicações de SIGs na agricultura são encontradas, seja em escala global, nacional, regional ou local, principalmente quando aliadas ao uso de dados de sensoriamento remoto. Os SIGs são imprescindíveis para a realização de avaliações de cobertura vegetal e de uso das terras, bem como sobre a alteração dessa cobertura ao longo do tempo, que resulta em estudos de monitoramento da cobertura vegetal.

Os SIGs também são utilizados para a realização de zoneamentos agrícolas e agroclimáticos, para identificar as épocas e culturas mais apropriadas para as diferentes regiões. Tais aplicações já são correntes para os atuais sistemas de produção e vêm aumentando também para o monitoramento de sistemas de ILPF. Outros estudos avaliam a aptidão e capacidade de uso dos solos com abrangência nacional ou regional. Para sistemas integrados de produção, zoneamentos e mapeamentos de aptidão poderiam ser realizados a fim de identificar as práticas e os sistemas de produção mais recomendados para as diferentes áreas. Outro grande potencial dos SIGs é na espacialização e análise de dados, como apresentadas por Batistella et al. (2011), que abordam aspectos da gestão territorial da produção sustentável da bovinocultura no Brasil com a utilização de bases de dados censitários e de dados advindos do sensoriamento remoto.

Ferramentas de análise geoestatística

As principais vantagens da utilização da geoestatística em sistemas de ILPF são as possibilidades de identificação de variabilidade espacial, interpretação das correlações e dependência espacial dos parâmetros biofísicos envolvidos nesses sistemas mistos (BERNARDI et al., 2004). A implementação da geoestatística é bem conhecida, principalmente em ciência do solo, pelo fato de assumir que a distribuição espacial de pontos de observação tenha correlação, ou seja, que exista dependência espacial (GREGO et al., 2011).

A geoestatística parte da hipótese de que amostras mais próximas, dentro de uma mesma mancha, são mais parecidas que as mais distantes. Essa pressuposição não é assumida pela estatística clássica, que pressupõe independência, o que, na maioria dos casos, não ocorre nos estudos envolvendo as ciências da natureza. A geoestatística é, portanto, uma ferramenta de grande contribuição para a geotecnologia e, em

sistemas de ILPF, permite a interpretação da distribuição espacial dos dados com forte impacto sobre os resultados e a tomada de decisão.

As técnicas de geoestatística podem ser utilizadas em análises de variáveis dos sistemas de ILPF com diferentes graus de complexidade de obtenção e de densidade amostral que apresentem dependência espacial e que sejam fortemente correlacionadas. No sistema de ILPF, diversos fatores envolvidos propiciam a ocorrência de variabilidade espacial e o objetivo final da identificação dessa variabilidade é o estabelecimento das zonas de manejo homogêneas.

Estudo de caso

Visando ilustrar algumas possíveis aplicações de geotecnologias na análise de sistemas de produção envolvendo sistema de integração, apresenta-se resumidamente um estudo de caso realizado em sistema de integração Lavoura-Pecuária (ILP) em Campo Grande (MS). Nesse estudo, os parâmetros biofísicos foram estimados com a utilização de imagem Landsat 5 – TM do dia 5/3/2008, juntamente com o algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), conforme metodologia detalhada em Waters et al. (2002). O objetivo foi efetuar uma análise da variabilidade de alguns parâmetros biofísicos em sistemas de ILP de forma a auxiliar com informações aplicáveis ao levantamento e monitoramento das condições existentes nesse sistema. A figura 14.3 apresenta uma imagem Landsat 5 – TM na composição

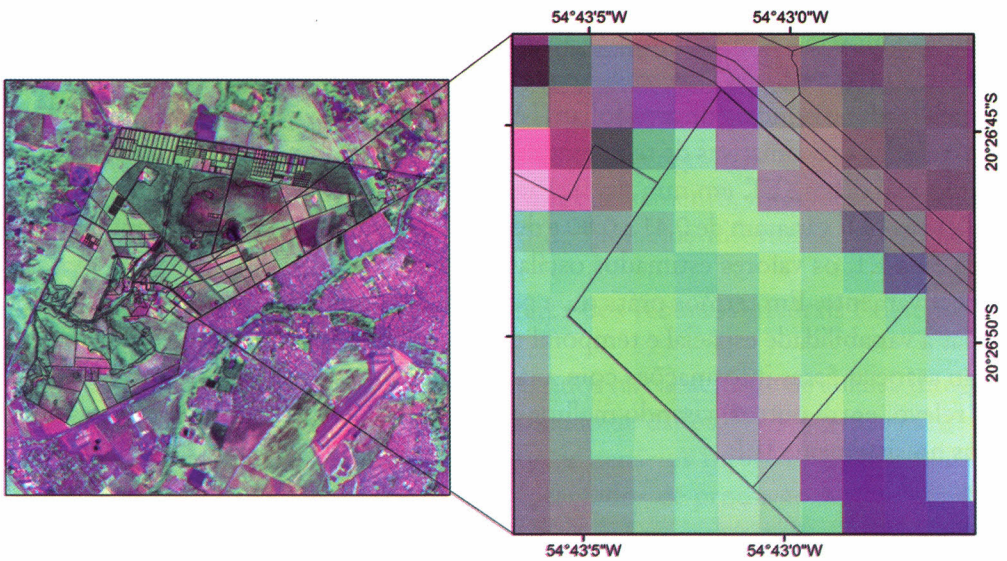
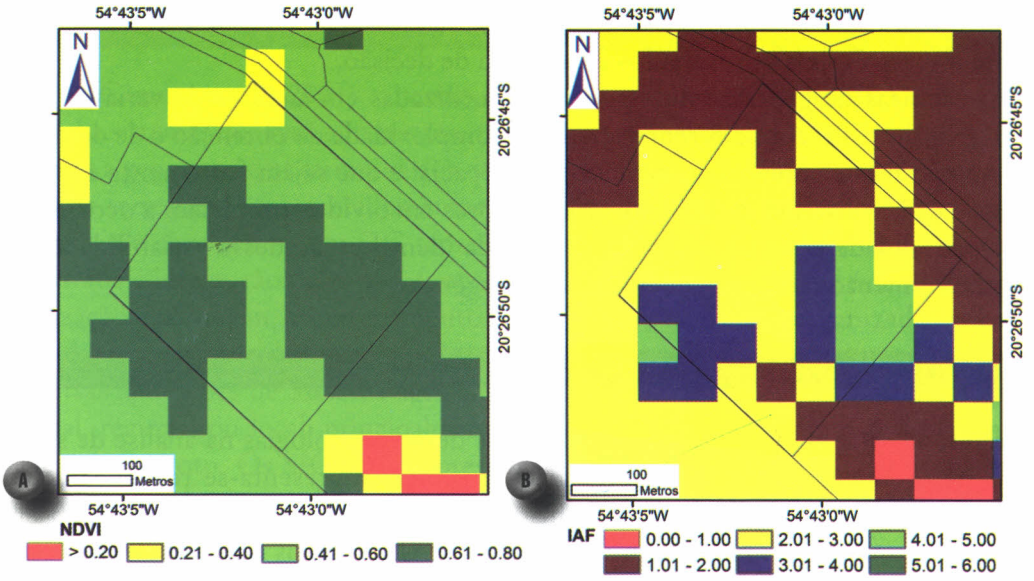


FIGURA 14.3 - Imagem Landsat 5 - TM de 5 de março de 2008, apresentada na composição de bandas 5, 4, 3 com a sobreposição do *shape* que apresenta a delimitação das áreas de uso e cobertura da terra da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. A ampliação mostra a área de implantação de um sistema de integração lavoura-pecuária.

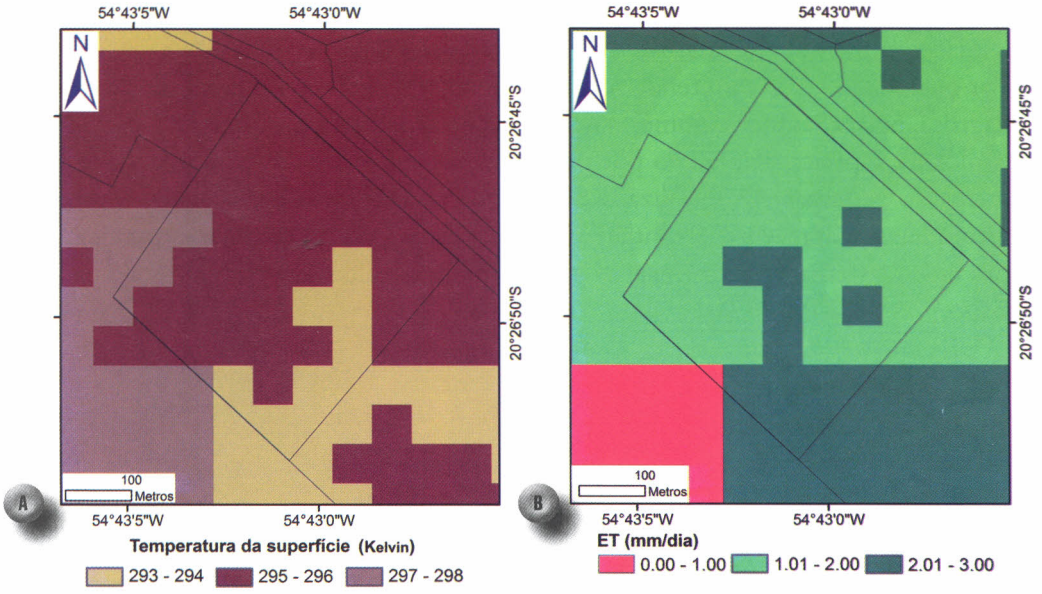


FIGURAS 14.4 A e B - (A) NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada); (B) índice de área foliar (IAF, em m^2 m^{-2}) para área de implantação de um sistema de integração lavoura-pecuária localizado na Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

de bandas 5, 4, 3 com a sobreposição do tema (arquivo *shape*) de delimitação das áreas de uso e cobertura da terra da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte. A ampliação mostra a área de implantação do sistema de ILP. Nas figuras 14.4 A e B, tem-se o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e o índice de área foliar (IAF, em m^2 m^{-2}); já nas figuras 14.5 A e B, são apresentadas as estimativas de temperatura da superfície (Ts, em Kelvin) e a evapotranspiração real diária (ET, em mm dia^{-1}). Para a área de implantação do sistema de ILP, o NDVI e o IAF variaram de 0,41 a 0,80 e de 1,01 a 5,00 m^2 m^{-2}, respectivamente. No caso da Ts e da ET, os valores estimados oscilaram entre 293 e 298 K e de 0 a 3,0 mm dia^{-1}, respectivamente. Em termos práticos, a partir desses resultados pode-se, por exemplo, avaliar a variabilidade espacial e temporal da demanda de água, energia e biomassa, bem como associar essas informações com análises de fertilidade do solo, compactação, clima, relevo, entre outros, visando melhor compreensão dos processos biofísicos envolvidos no sistema de ILP.

Considerações finais

As geotecnologias são, basicamente, um produto da união entre sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas, sistemas de posicionamento global por satélites, programação computacional e geoestatística. As imagens orbitais provenientes dos



FIGURAS 14.5 A e B - (A) Temperatura da superfície (K); (B) evapotranspiração real diária (ET, em mm dia^{-1}) para área de implantação de um sistema de integração lavoura-pecuária localizado na Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

mais diversos sensores remotos, por meio das diversas resoluções espectrais, temporais e espaciais, têm-se apresentado como relevantes fontes de informações. Essas imagens garantem possibilidades de aplicação na caracterização das áreas de sistemas integrados, no monitoramento, no espaço e no tempo, das alterações no uso e na cobertura das terras e, especialmente, na correlação de parâmetros biofísicos, como índices de área foliar, biomassa e carbono.

Entre as aplicações dos sistemas de informações geográficas destacam-se a capacidade operacional e o baixo custo de coleta, processamento, integração e análise de dados espaciais, que possibilitam a geração de inúmeras informações, em meio às quais pode-se destacar:

- Obtenção de dados e conhecimento acerca dos recursos naturais existentes em uma área geográfica;
- Geração de zoneamentos específicos baseados na capacidade de análise integrada de dados anteriormente disponíveis via banco de dados;
- Desenvolvimento de modelos dinâmicos de cenários futuros para apoio ao planejamento de implantação de sistemas integrados de produção.

A aplicabilidade das geotecnologias é promissora no âmbito das ações de pesquisa, desenvolvimento e transferência de tecnologia para o monitoramento do uso e da cobertura das terras. Com a superação, por meio de pesquisa, dos entraves tecnológicos ainda existentes, espera-se que a utilização das geotecnologias e a inserção de componentes de análises espaciais possibilitem estabelecer procedimentos técnicos

de baixo custo, que representem uma otimização produtiva e um aprimoramento da qualidade ambiental que envolve os sistemas de ILPF.

Por outro lado, não se pretende sugerir as geotecnologias como uma solução única e milagrosa, pois, apesar das inúmeras iniciativas no Brasil e da vasta aplicabilidade dessas tecnologias, a pouca divulgação por parte das instituições e dos profissionais torna a informação geoespacial subutilizada no meio agropecuário. Dessa forma, o presente capítulo buscou apresentar sucintamente os principais conceitos do sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas e ressaltar seu potencial de aplicação em sistemas de ILPF.