Davi J. Bungenstab

Capítulo 18

Geotecnologias aplicadas em sistemas de produção integrada e apoio a políticas públicas

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

Sistema de produção em integração

Atualmente existem incentivos 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 é constituída de sistemas de produção diferenciados no contexto da produção agropecuária, considerando-se a estrutura e as potencialidades de produção diversificada da região.

Os sistemas ILPF, em suas diferentes modalidades, já são uma realidade em 11,5 milhões de hectares no Brasil . Destaque para Mato Grosso do Sul (2 milhões), Mato Grosso (1,5 milhão) e Rio Grande do Sul (1,4 milhão). Esses sistemas de uso da terra auxiliam a recuperação de áreas degradadas, geram serviços ecossistêmicos e garantem maior renda ao produtor.

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 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.

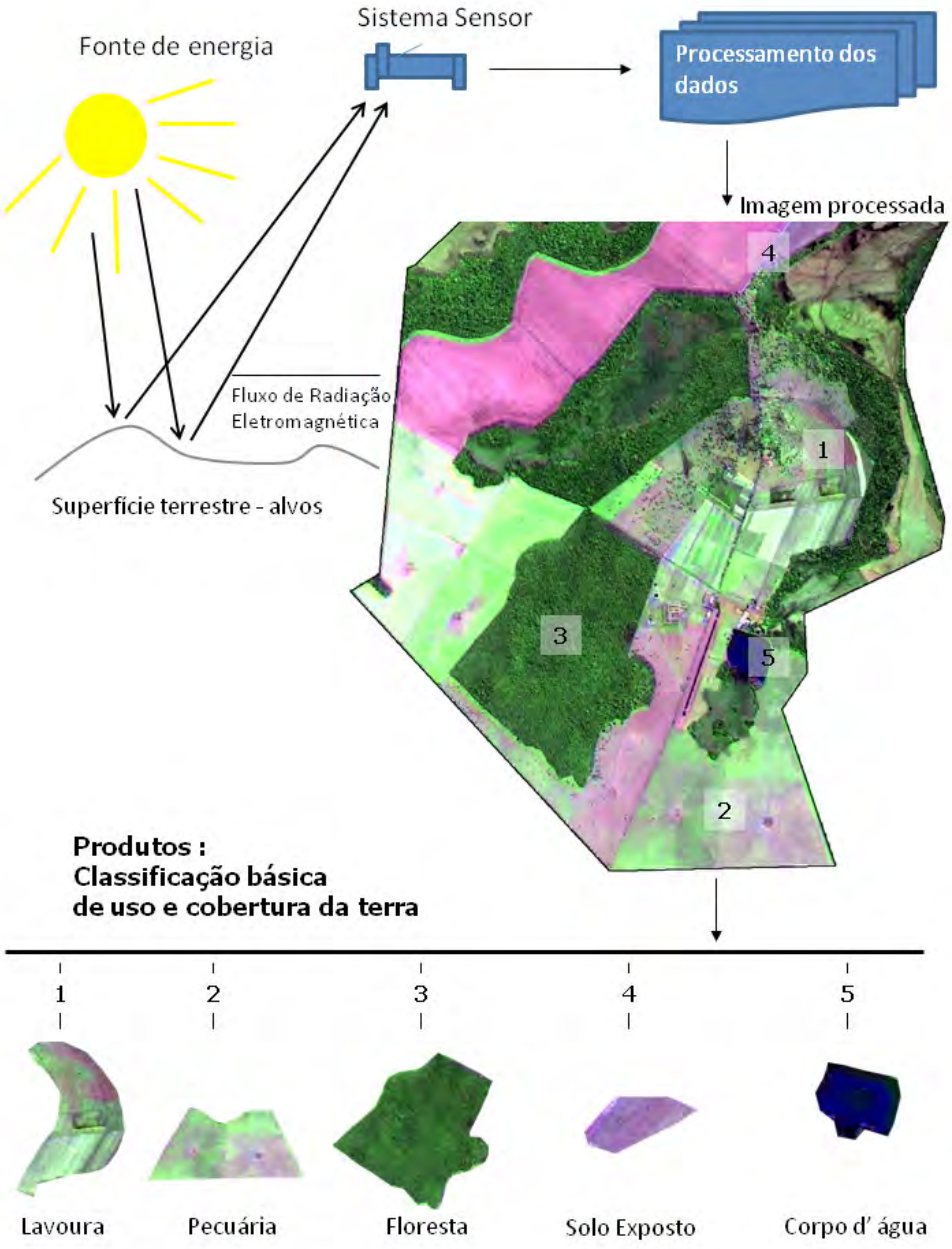


Figura 1. Esquema ilustrativo de registro, processamento e classificação básica de uso e cobertura da terra a partir de imagens ópticas (imagens fusionadas para alta resolução espacial CBERS 2B/Landsat 5 TM na composição colorida 543). No destaque, são apresentados os alvos: 1 - lavoura, 2 - pecuária,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

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 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 III 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).

A aplicação de procedimentos inovadores a partir de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) ou Drones têm avançado exponencialmente e revelado novos e importantes conhecimentos para a pesquisa agropecuária. A partir das câmeras embarcadas com sensores para o imageamento da superfície nas bandas ou faixas do Vermelho (R), Verde (G), Azul (B), borda do vermelho (Red Edge) e do Infravermelho Próximo (IVP), podem ser obtidas inúmeras informações voltadas para tomadas de decisões mais precisas das atividades de monitoramento agrícola e ambiental em diferentes escalas. Os dados gerados podem ser utilizados para extração de relevantes e estratégicas informações, tais como, para análises dos estádios de crescimento e desenvolvimento das lavouras e das pastagens. Tal aplicação geotecnológica possibilita avaliar, por exemplo, fatores inerentes a produção de biomassa, falhas de plantio, pragas e doenças, condições de estresse hídrico, fertilidade do solo, nutrientes nas plantas, compactação do solo, dentre outras (Figura 2). Além disso, por meio das imagens obtidas por VANTs, também é possível gerar ortomosaico de imagens, modelo digital de superfície, modelo digital de terreno, modelo 3D e índices de vegetação com altíssima resolução espacial (2 cm de pixel) e temporal (diárias). Esses índices podem se correlacionar com parâmetros ou variáveis da vegetação e do solo e gerar indicadores das condições estabelecidas nas áreas de agricultura e pecuária, com vistas a produtividade sustentável. Neste contexto, os avanços tecnológicos em termos das inúmeras possibilidades de extração de informações a partir de ferramentais geotecnológicos de ponta, tais como por meio de plataformas VANTs, poderão impactar significativamente tanto na aplicação de técnicas de imageamento e na geração e disponibilidade de dados com alta resolução temporal e espacial quanto na fronteira do avanço do conhecimento por meio do desenvolvimento de pesquisas

inovadoras com resultados de alta qualidade e precisão, contribuindo com informações em tomadas de decisão voltadas principalmente para o crescimento sustentável da produção agropecuária.

Figura 2. Visualização da variabilidade de desenvolvimento da soja cultivada em parcelas experimentais. Mosaico de Imagens R-G-B (câmera comercial - GoPro Hero 2) obtidas a partir de plataforma VANT.

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 (Figuras 3). 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).

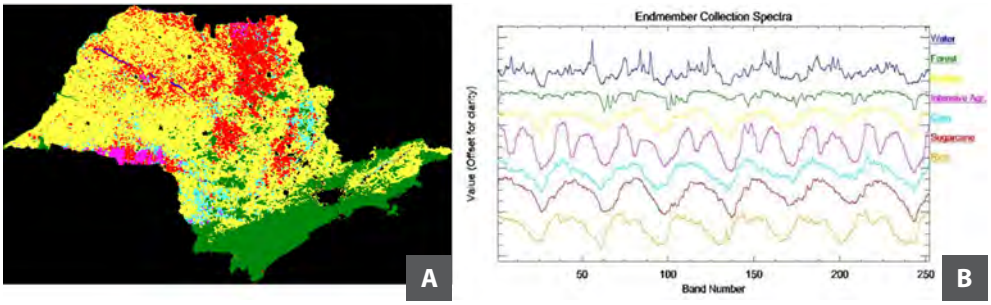


Figura 3. Uso de series temporais de imagens Spot-Vegetation na identificação e classificação de uso e cobertura das terras no Estado de São Paulo. (A) Visualização da classificação efetuada; (B) Comportamento espectro-temporal observado para cada "Endmember".

Fonte: Adaptado de Vicente et al. (2012).

No que tange às imagens de alta resolução espacial, estas têm se mostrado de grande aplicação quando há interesse na obtenção de informações que são imperceptíveis ou não identificadas por meio das imagens de média resolução espacial. Assim, imagens de alta resolução espacial possibilitam identificar e monitorar pequenos objetos ou alvos de superfície, por exemplo, monitorar o desenvolvimento das árvores em sistemas de integração Pecuária-Floresta (Figura 4).

Figura 4. Imagens GeoEye-1 de 9 de outubro de 2010 de áreas de implantação de sistemas integrados da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

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; Andrade et al., 2017).

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.

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 homogêneas que propiciam o manejo diferenciado.

Gestão em propriedade rural

Visando ilustrar algumas possíveis aplicações de geotecnologias na análise de sistemas integrados, 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 5 apresenta uma imagem Landsat 5 – TM na composição 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 6 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 7 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.

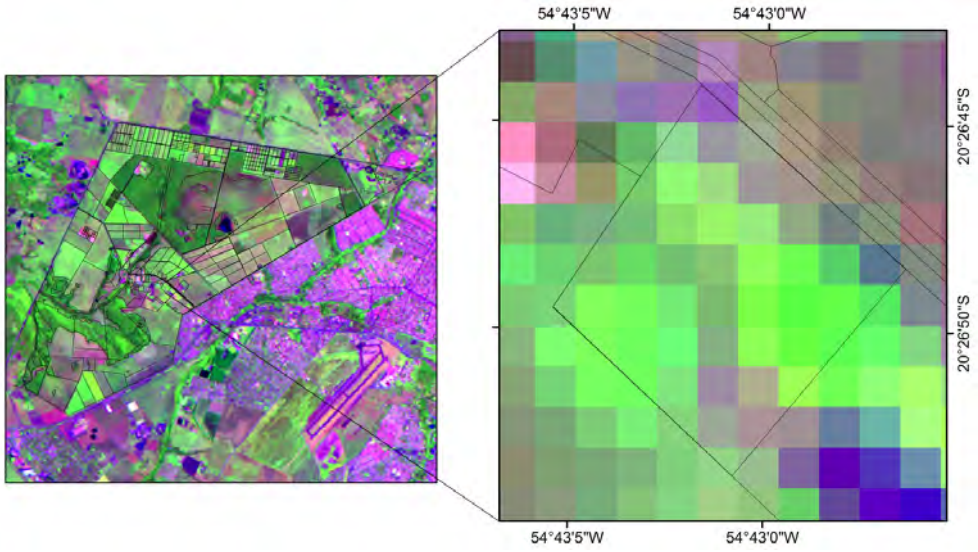


Figura 5. Imagem Landsat 5 - TM de 5 de março de 2008, apresentada na composição de bandas 5, 4, 3 com a sobreposição do shape que apresenta a delimitação das áreas de uso e cobertura da terra da Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS. A ampliação mostra a área de implantação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

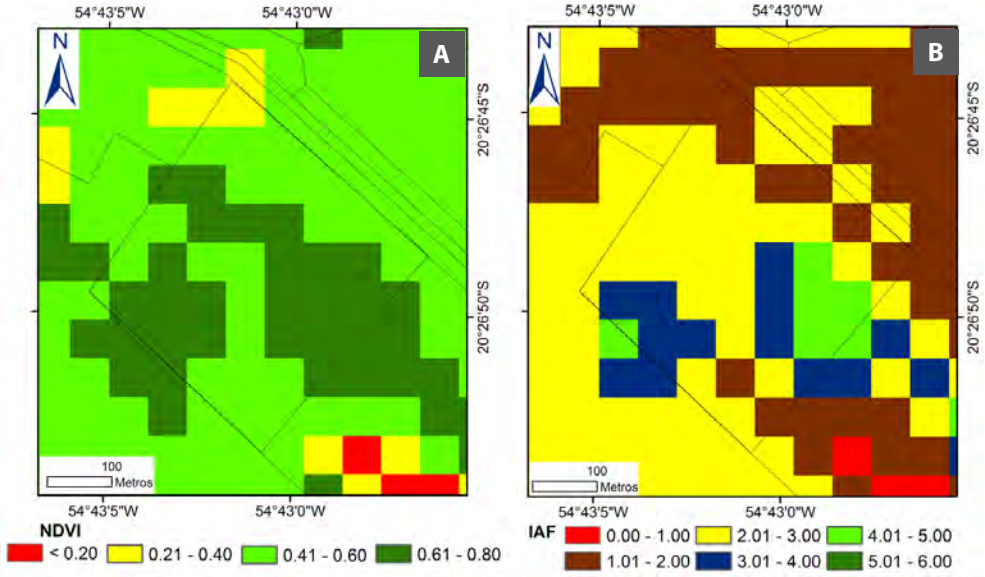


Figura 6. (A) NDVI (Normalized Difference Vegetation Index: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada); (B) índice de área foliar (IAF, em m^2 m^{-2}) para área de implantação de um sistema de integração lavoura-pecuária localizado na Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

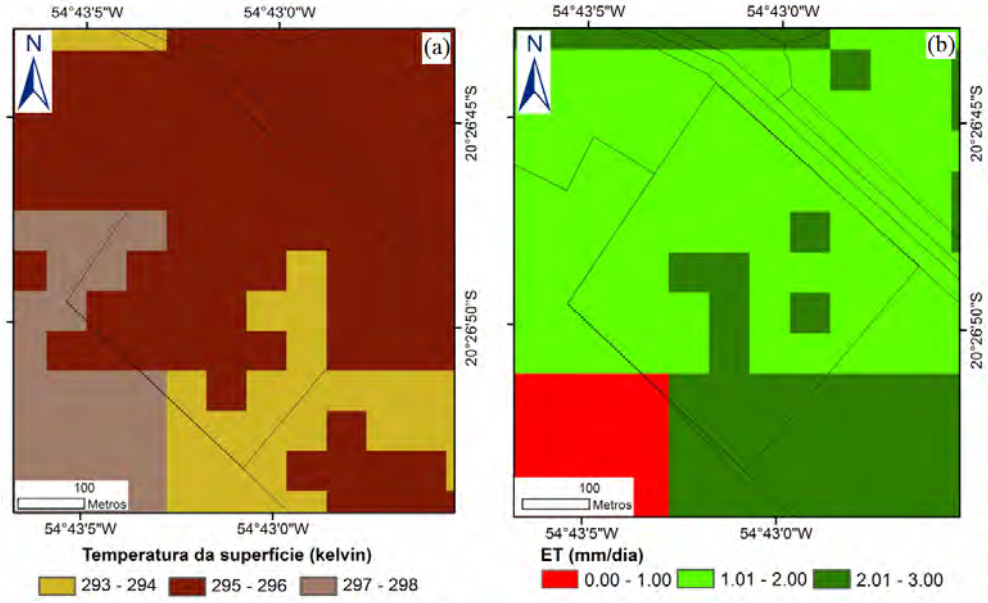


Figura 7. (A) Temperatura da superfície (K); (B) evapotranspiração real diária (ET, em mm dia^{-1}) para área de implantação de um sistema de integração lavoura-pecuária localizado na Fazenda Experimental da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS.

Gestão em Políticas Públicas

A aplicação das geotecnologias no apoio a políticas públicas, como as que envolvem os sistemas de ILPF, é crescente nos últimos anos. Ferramentais geotecnológicos podem auxiliar na implementação de sistemas integrados, por exemplo, a partir da identificação e mapeamento avaliativo das condições das pastagens em diferentes escalas (municipais, regionais e nacionais). Nesse caso, as análises multiescalares do espaço rural possibilita dimensionar de forma ampla e eficiente a magnitude do problema e apoiar no planejamento de ações corretivas e tomadas de decisões do pecuarista sobre a recuperação, o manejo e uso dessas terras (Milne et al., 2007).

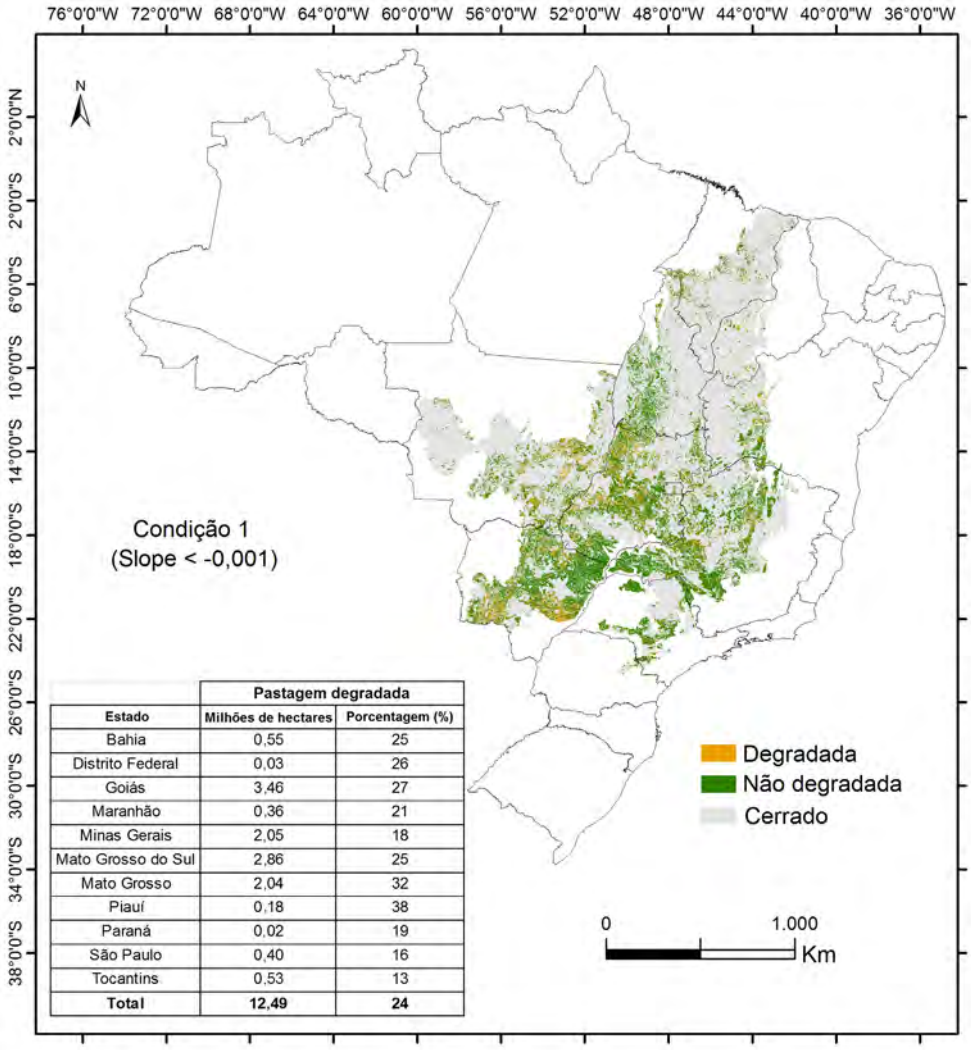
A degradação tem sido um entrave para o setor pecuário e as iniciativas de recuperação encontram dificuldades de implantação, entre outros motivos, devido à falta de informações atualizadas e detalhadas sobre a localização dessas áreas. Esses são dados fundamentais para políticas de recuperação e manejo racional das pastagens. De forma geral, a recuperação de pastagens contribui para reduzir a pressão pela abertura de novas fronteiras para a expansão da agricultura e pecuária, por exemplo, em áreas de floresta nativa (Andrade et al. 2017). O combate à degradação também ajuda a reduzir a emissão de gases de efeito estufa. Em pastos recuperados é possível alcançar maior produtividade e menor emissão por animal, tornando a pecuária uma atividade economicamente mais rentável e ambientalmente mais eficiente (Dias-Filho, 2014).

O Programa Agricultura de Baixo Carbono (ABC) tem por meta induzir a recuperação de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas em todo o País. Para tanto, a adoção de sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) e lavoura-pecuária-floresta (ILPF) são alternativas promissoras que visam a fixação de carbono no solo pelo grande aporte de resíduos vegetais que produz. A implementação, por exemplo, de sistema ILP em pelo menos 4 milhões de hectares, possibilitará reduzir as emissões de 18 a 28 milhões de t CO^2 eq. ou mais apenas nesse caso específico.

Destaca-se aqui um estudo que utilizou imagens do satélite Spot Vegetation referente ao período entre 2006 e 2011 com intuito de mapear processos indicativos de degradação das pastagens cultivadas no bioma Cerrado. Para tanto, aplicou um coeficiente denominado "Slope" para identificar a ocorrência de pastagens com algum processo de degradação (Andrade et al., 2015). A partir da série temporal de dados NDVI – Spot Vegetation a análise de regressão linear foi aplicada para simular a tendência de alterações positivas ou negativas em áreas de pastagens. A metodologia se fundamenta no coeficiente de inclinação da linha de regressão ajustada em cada pixel (Slope). Se Slope for positivo, indica que a vegetação pode estar em processo de recuperação, enquanto que valores negativos de Slope pode indicar a ocorrência de algum processo de degradação (Liu et al., 2010).

Andrade et al. (2016) analisou três cenários condicionais para estipular o valor de Slope que determina a existência de indicativos de degradação das pastagens: (i) na primeira condição foi considerado que quando Slope era menor que -0,001 havia algum indicativo de degradação (A: Cenário muito otimista). Já na segunda condição (B: Cenário otimista) considerou-se que as pastagens apresentavam algum indicativo de degradação quando o coeficiente de inclinação (Slope) era menor que 0,001, ou seja, nesse valor está incluído o intervalo de Slope que corresponde a condição de estabilidade da vegetação que varia no intervalo de -0,001 a 0,001 (Liu et al., 2010). Pois, supõe-se que parte das pastagens no bioma Cerrado pode estar em condições estabilizadas dentro de alguma condição de degradação. E, para a terceira condição (C: Cenário realista) considerou-se como degradado quando Slope era menor que +0,005. Nesse cenário, adicionou-se o intervalo de estabilidade da vegetação por supor que a maior parte das pastagens pode estar em condições estabilizadas dentro de alguma condição de degradação.

No cenário mais otimista (Figura 8), as pastagens consideradas com algum grau de degradação correspondem a cerca de 12,5 milhões de hectares, ou 24% do total das pastagens cultivadas no Cerrado.

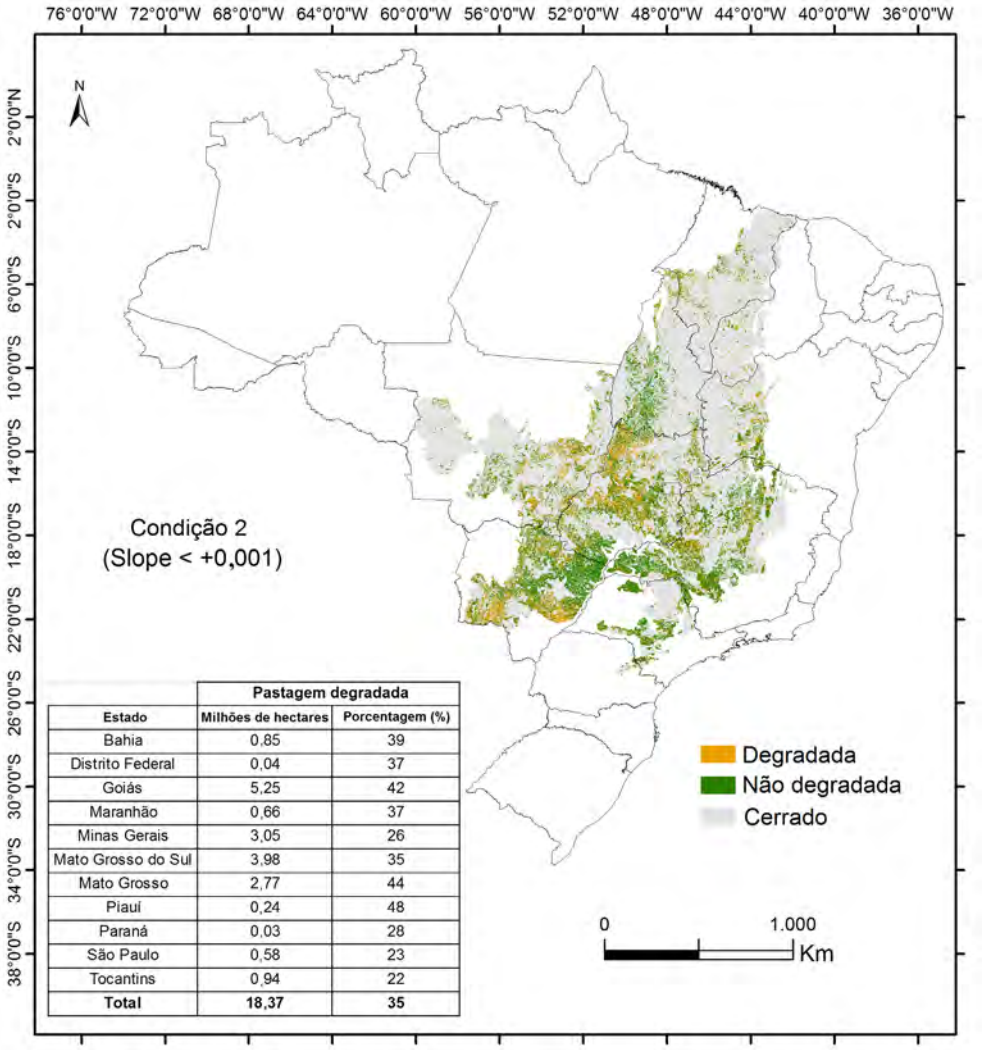


	Pastagem degradada	
Estado	Milhões de hectares	Porcentagem (%)
Bahia	0,55	25
Distrito Federal	0,03	26
Goiás	3,46	27
Maranhão	0,36	21
Minas Gerais	2,05	18
Mato Grosso do Sul	2,86	25
Mato Grosso	2,04	32
Piauí	0,18	38
Paraná	0,02	19
São Paulo	0,40	16
Tocantins	0,53	13
Total	**12,49**	**24**

Figura 8. Pastagens plantadas com e sem indicativos de processos degradação no bioma Cerrado. (A) Condição 1: Slope < -0,001. Dados disponibilizados no Sistema de Observação e Monitoramento da Agricultura no Brasil (SOMABRASIL): http://mapas.cnpm.embrapa.br/somabrasil/webgis.html

Fonte: Adaptado de Andrade et al. (2016).

No segundo cenário condicional (Figura 9), classificado de otimista, essa área sobe para cerca de 18,4 milhões de hectares – 35%, um valor ainda menor do que aqueles estimados até então por estudos sobre o tema. Estima-se que se forem recuperadas de 12,5 a 18,4 milhões de hectares de pastagens é possível um acréscimo potencial na produção de carne bovina de 2,4 a 3,6 milhões de toneladas por ano.



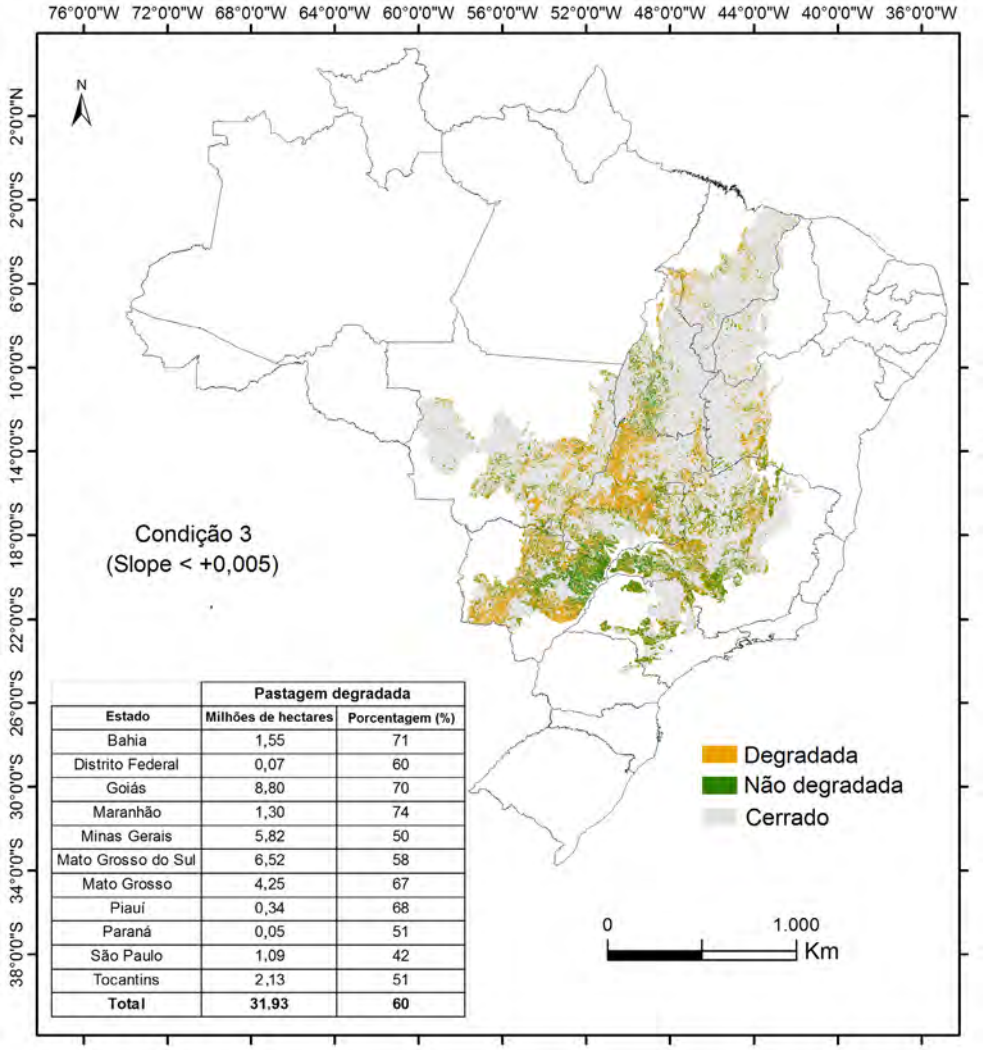
	Pastagem degradada	
Estado	Milhões de hectares	Porcentagem (%)
Bahia	0,85	39
Distrito Federal	0,04	37
Goiás	5,25	42
Maranhão	0,66	37
Minas Gerais	3,05	26
Mato Grosso do Sul	3,98	35
Mato Grosso	2,77	44
Piauí	0,24	48
Paraná	0,03	28
São Paulo	0,58	23
Tocantins	0,94	22
Total	**18,37**	**35**

Figura 9. Pastagens plantadas com e sem indicativos de processos degradação no bioma Cerrado. (B) Condição 2: Slope < +0,001. Nesse cenário, adicionou-se o intervalo de estabilidade da vegetação por supor que a maior parte das pastagens pode estar estável dentro de alguma condição de degradação. Dados disponibilizados no Sistema de Observação e Monitoramento da Agricultura no Brasil (SOMABRASIL): http://mapas.cnpm.embrapa.br/somabrasil/webgis.html.

Fonte: Adaptado de Andrade et al. (2016).

No que diz respeito ao cenário condicional considerado mais realista (Figura 10), foram identificados em torno de 32 milhões de hectares de pastagens degradadas, ou 60% das pastagens plantadas no Cerrado. Vale ressaltar que o bioma Cerrado abrange praticamente todo o Estado de Goiás e que há presença significativa de outros biomas nos Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais e a área de pastagem plantada degradada pode ser ainda bem maior. Porém, cerca de 80% da área de pastagens degradadas no bioma Cerrado estão concentradas no território desses quatro Estados. Tal mapeamento pode auxiliar, por exemplo, no direcionamento de recursos e na orientação de iniciativas de recuperação em regiões prioritárias envolvendo, por exemplo os sistemas ILPF dentro do Programa ABC.

No entanto, vale destacar que o processo de degradação das pastagens pode apresentar características diferentes em cada bioma. No Cerrado é caracterizada, por exemplo, pela perda de produtividade em função da pouca oferta de água e de nutrientes. No bioma Amazônia, as razões têm maior relação com outros fatores, como a competição da forrageira com as plantas invasoras. Neste caso, é necessário desenvolver e aplicar técnicas diferenciadas de mapeamento. Assim, conclui-se que, diante das dimensões do território brasileiro e das diferenças regionais, o desafio é chegar a números mais precisos e dizer onde estão essas pastagens que se encontram comprometidas e subutilizadas. O uso de geotecnologias, como o sensoriamento remoto aplicado em diferentes escalas, é a estratégia adequada para traçar um mapa das condições das pastagens para um país do tamanho do Brasil.



	Pastagem degradada	
Estado	Milhões de hectares	Porcentagem (%)
Bahia	1,55	71
Distrito Federal	0,07	60
Goiás	8,80	70
Maranhão	1,30	74
Minas Gerais	5,82	50
Mato Grosso do Sul	6,52	58
Mato Grosso	4,25	67
Piauí	0,34	68
Paraná	0,05	51
São Paulo	1,09	42
Tocantins	2,13	51
Total	**31,93**	**60**

Figura 10. Pastagens plantadas com e sem indicativos de processos degradação no bioma Cerrado. (C) Condição 3: Slope < +0,005. Nesse cenário, supõe-se que uma ligeira melhora no vigor não seria o suficiente para sustentar a tendência de melhoria da cobertura vegetal. Dados disponibilizados no Sistema de Observação e Monitoramento da Agricultura no Brasil (SOMABRASIL): http://mapas.cnpm.embrapa.br/somabrasil/webgis.html.

Fonte: Adaptado de Andrade et al. (2016).

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 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 e políticas públicas.

Outro grande potencial das geotecnologias, é o apoio ao monitoramento de indicadores associados a novas marcas-conceito que começam a ser desenvolvidas, a exemplo da "Carne Carbono Neutro" ou "Leite Carbono Neutro". Por meio dela é possível atestar a produção de bovinos, corte ou de leite, em sistemas com a introdução obrigatória do componente florestal.

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, apesar das inúmeras iniciativas no Brasil e da vasta aplicabilidade das geotecnologias, a informação geoespacial ainda é subutilizada no setor agropecuário. Este capítulo buscou ressaltar o potencial de aplicação das geotecnologias em sistemas ILPF, assim como no apoio a políticas públicas.

Referências

ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S. F. Avaliação das condições de pastagens no cerrado brasileiro por meio de geotecnologias. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 34-41, 2017.

ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S. F. Geotecnologia - Recuperação de pastagens no Cerrado. **Agroanalysis**, v. 36, n. 2, p. 30-33, fev. 2016.

ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; SILVA, G. B. S.; NOGUEIRA, S. F.; VICTORIA, D. C.; VICENTE, L. E.; BOLFE, E. L. Indicativo de pastagens plantadas em processo de degradação no bioma Cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais**... São José dos Campos: SELPER/INPE, 2015. p. 1585-1592.

BATISTELLA, M.; ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. de C.; SILVA, G. B. S. Geotecnologias e gestão territorial da bovinocultura no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 251-260, 2011. Suplemento especial.

BERNARDI, A. C. C.; GIMENEZ, L. M.; MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Aplicação de fertilizantes a taxas variáveis. In: MACHADO, P. L. O. de A.; BERNARDI, A. C. de C.; SILVA, C. A. (Ed.). **Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistema plantio direto**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. p. 153-164.

BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. Análise florística e estrutural de sistemas silviagrícolas em Tomé-Açu, Pará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1139-1147, out. 2011.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 21-52.

CONAB. **Projeto GeoSAFRAS**. 2011. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/geotecnologia/html_geosafras/geosafras.html>. Acesso em: 10 out. 2017.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 402).

GREGO, C. R.; COELHO, R. M.; VIEIRA, S. R. Critérios morfológicos e taxonômicos de latossolo e nitossolo validados por propriedades físicas mensuráveis analisadas em parte pela geoestatística. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 337-350, mar./abr. 2011.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: J. Wiley, 2004. 763 p.

LIU, S.; WANG, T.; GUO, J.; QU, J.; AN, P. Vegetation change based on SPOT-VGT data from 1998-2007, northern China. **Environmental Earth Sciences**, v. 60, n. 7, p. 1459-1466, June 2010.

MILNE, E.; AL ADAMAT, R.; BATJES, N. H.; BERNOUX, M.; BHATTACHARYYA, T.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; COLEMAN, K.; EASTER, M.; FALLOON, P.; FELLER, C.; GICHERU, P.; KAMONI, P.; KILLIAN, K.; PAL, D. K.; PAUSTIAN, K.; POWLSON, D. S.; RAWAJFIH, Z.; SESSAY, M.; WILLIAMS, S.; WOKABI, S. National and sub-national assessments of soil organic carbon stocks and changes: the GEFSOC modelling system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 122, n. 1, p. 3-12, Sept. 2007.

RAMSEY III, E.; RANGOONWALA, A.; NELSON, G.; EHRLICH, R. Mapping the invasive species, Chinese tallow, with EO1 satellite Hyperion hyperspectral image data and relating tallow occurrences to a classified Landsat Thematic Mapper land cover map. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 8, p. 1637-1657, 2005.

SANO, E. E.; CHAVES, J. M.; BEZERRA, H. S.; FEITOZA, L. Identificação dos principais tipos de pastagens cultivadas do Cerrado a partir de Sensoriamento Remoto. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM SOIL FUNCTIONING UNDER PASTURES IN INTERTROPICAL AREAS, 2000, Brasília, DF. **Extended abstracts**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados: IRD, 2000. 1 CD-ROM.

VICENTE, L. E.; GOMES, D.; VICTORIA, D. C.; GARÇON, E.; BOLFE, E. L.; ANDRADE, R. G.; SILVA, G. B. S.; SILVA, G. B. S. Séries temporais de NDVI do sensor SPOT Vegetation e algoritmo SAM aplicados ao mapeamento de cana de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1337-1345, set. 2012.

VICENTE, L. E.; SOUZA FILHO, C. R. Identification of mineral components in tropical soils using reflectance spectroscopy and advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 8, p. 1824-1836, Aug. 2011.

WATERS, R.; ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; BASTIAANSSEN, W. S. **SEBAL**: Surface energy balance algorithm for land: Advanced training and users manual. Version 1.0. Idaho: Kimberly, 2002. 98 p. Disponível em: <http://www.dca.ufcg.edu.br/DCA_download/ISR/UFPE/Final%20Sebal%20Manual.pdf>. Acesso em: 10 out. 2017.