



**VLADIMIR ANTONIO SILVA**

**MAPA DE SOLOS, CONHECIMENTO DE  
CAMPO, INVENTÁRIO FLORESTAL E  
ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO  
COMO BASE PARA A APTIDÃO AGRÍCOLA  
DAS TERRAS EM MINAS GERAIS  
ELABORADA EM SIG**

**LAVRAS - MG**

**2014**

**VLADIMIR ANTONIO SILVA**

**MAPA DE SOLOS, CONHECIMENTO DE CAMPO, INVENTÁRIO  
FLORESTAL E ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO COMO  
BASE PARA A APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS EM MINAS  
GERAIS ELABORADA EM SIG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Nilton Curi

Coorientadores

Dr. João José Granate de Sá e Melo Marques

Dr. Luis Marcelo Tavares de Carvalho

**LAVRAS-MG**

**2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Silva, Vladimir Antonio.

Mapa de solos, conhecimento de campo, inventário florestal e zoneamento ecológico-econômico como base para a aptidão agrícola das terras em Minas Gerais elaborada em SIG / Vladimir Antonio Silva. – Lavras : UFLA, 2014.

100 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Nilton Curi.

Bibliografia.

1. Geoprocessamento. 2. Vocação agrícola das terras. 3. Sustentabilidade. 4. Análise multicritério. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.47

**VLADIMIR ANTONIO SILVA**

**MAPA DE SOLOS, CONHECIMENTO DE CAMPO, INVENTÁRIO  
FLORESTAL E ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO COMO  
BASE PARA A APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS EM MINAS  
GERAIS ELABORADA EM SIG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 21 de fevereiro de 2014.

Dr. Mozart Martins Ferreira	UFLA
Dr. Gilberto Coelho	UFLA
Dra. Margarete Marin Lordelo Volpato	EPAMIG
Dr. Marx Leandro Naves Silva	UFLA

Dr. Nilton Curi  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2014**

*A Deus, que com sua grandiosidade me faz cada vez mais humano.*  
*A minha esposa Gaby e minhas filhas Anna Isis e Mariana, por me incentivarem*  
*e me consolarem.*  
*A Valter de São José Silva (in memoriam), meu pai, por ensinar-me a ver a vida*  
*com otimismo.*  
*À Maria da Conceição Silva, minha mãe, por ensinar-me a persistir.*  
*Ao meu sogro, Engenheiro Agrônomo, Dr. Filiberto Oscar Terán pela*  
*convivência nesses 29 anos. À minha sogra, Maria Eloina Ortiz de Terán, pelo*  
*seu sorriso!*  
*Aos demais familiares, por compreenderem minhas ausências.*

DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Ciência do Solo e ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) pela oportunidade concedida para realização do doutorado.

Aos professores e funcionários administrativos do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, pelos ensinamentos e harmoniosa convivência.

Ao Dr. Nilton Curi, pelo respeito, orientação, amizade e dedicação. Seus ensinamentos foram a pedra fundamental deste trabalho e contribuíram, positivamente, no meu desenvolvimento acadêmico, humano e profissional.

Ao Dr. João José Granate de Sá e Melo Marques e ao Dr. Luis Marcelo Tavares de Carvalho pelo apoio incondicional para realizar este trabalho.

Aos companheiros Sérgio Henrique Godinho, Maíra Toma, Elidiane da Silva, Leandro Campos Pinto, Walbert Júnior Reis dos Santos e Elen Alvarenga Silva pela convivência fraterna.

A todos os colegas do curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, por tornarem os nossos momentos mais agradáveis.

“Cio da terra propícia estação de fecundar o chão”.  
Milton Nascimento e Chico  
Buarque.

## RESUMO GERAL

Em Minas Gerais predominam solos de baixa fertilidade natural e tipos climáticos mais secos. A deficiência de oxigênio é localizada em várzeas e em solos rasos. A erosão é agravada nos solos de textura média e arenosa e a mecanização é limitada pelo relevo e pela presença de camadas de pedregosidade e rochiosidade no solo. As terras (conceito mais abrangente do que solos, incluindo todos os elementos do ambiente: solos, geologia, relevo, clima, recursos hídricos, flora e fauna, além dos efeitos da ação antrópica) do estado de Minas Gerais estão em diferentes condições de solo, clima e sócio-economia, portanto, são distintas as vocações para produção de bens agrícolas e o mapeamento da vocação agrícola do estado é fundamental para o planejamento norteado da sustentabilidade. O geoprocessamento utiliza técnicas de tratamento da informação geográfica e o SIG permite avaliar, com mapas digitais, os fenômenos geográficos e suas interrelações. Objetivando avaliar a vocação agrícola das terras do estado, utilizaram-se o mapa de solos, o conhecimento de campo, o inventário florestal e o banco de dados, relacionados ao Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) de Minas Gerais, para elaborar em SIG, o mapa de aptidão agrícola. Para tal, combinaram-se os mapas de fertilidade do solo, deficiência de água, deficiência de oxigênio, vulnerabilidade à erosão e de impedimentos à mecanização. Em termos de expressão geográfica, o principal fator limitante das terras é a fertilidade do solo, seguida pela deficiência de água, impedimentos à mecanização e vulnerabilidade à erosão. Quanto à aptidão agrícola, o grupo 2 (aptidão regular para lavouras) é o de maior abrangência, representando 45,13% do estado. Para os níveis de manejo A e B, baixo e moderado nível tecnológico, respectivamente, a classe de aptidão mais expressiva é a regular, seguida pela classe restrita e, por último, a classe adequada, enquanto para o nível de manejo C (alto nível tecnológico), a classe predominante é a restrita. O tipo de utilização mais intensivo predominante é para lavouras, cuja área aumenta, substancialmente, com investimento de capital e tecnologia (níveis de manejo B e C).

Palavras-chave: Minas Gerais. Vocações agrícolas das terras. Sustentabilidade. Geoprocessamento. Análise multicritério.



## GENERAL ABSTRACT

In Minas Gerais, Brazil, predominates low natural fertility soils and dryer types of climate. The deficiency of oxygen occurs in floodplains and in shallow soils. The erosion is aggravated in medium and sandy textured soils, and mechanization is limited by the relief and by the presence of stoniness and rockiness in the soil. The lands (broader concept than soils, including all of the environmental elements: soils, geology, topography, climate, water resources, flora and fauna, as well as the effects of anthropogenic activities) in the state of Minas Gerais are in different soil, climate and socio-economic conditions, therefore, the vocations for the production of agricultural goods are distinct and the agricultural vocation mapping is fundamental to guide sustainability planning. Geoprocessing uses geographic information treatment techniques (GIS), which allows us to evaluate geographic phenomena and their interrelationships using digital maps. With the aim of evaluating the agricultural vocation of state lands, we used soil maps, field knowledge, forest inventory and databases regarding Ecological-Economic Zoning (EEZ) of Minas Gerais, to develop an agriculture suitability map in GIS. In order to do this, we combined soil fertility, water and oxygen deficiency, vulnerability to erosion and impediments to mechanization maps. In terms of geographical expression, the main limiting factor is soil fertility, followed by water deficiency, impediments to mechanization and vulnerability to erosion. Regarding agricultural suitability, group 2 (regular suitability for crops) is the most extensive, representing 45.13% of the state. For management levels A and B, low and moderate technological level, respectively, the most expressive suitability class is the regular, followed by the restricted class and, lastly, the adequate class; while for management level C (high technological level) the predominant class is the restricted. The predominant most intensive use type is for crops, of which area increases substantially with capital and technology investments (management levels B and C).

Keywords: Minas Gerais state. Land vocation for agriculture. Sustainability. Geoprocessing. Multicriteria analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização do estado de Minas Gerais no Brasil.....	21
Figura 2	Zonas fisiográficas do estado de Minas Gerais (IBGE).....	22
Figura 3	Mapas elaborados em SIG dos atributos do ambiente utilizados para estimar os graus de limitação por fertilidade das terras de Minas Gerais .....	73
Figura 4	Mapa de vegetação natural interpolado Carvalho e Scolforo (2008) e mapa de clima (CARVALHO et al., 2008) utilizados para elaborar em SIG o mapa de graus de limitação por deficiência de água das terras de Minas Gerais.....	76
Figura 5	Mapa de agrupamento de solos utilizado para elaborar em SIG o mapa de graus de limitação por deficiência de oxigênio das terras de Minas Gerais .....	80
Figura 6	Mapa de vulnerabilidade à erosão (CURI et al., 2008) utilizado para elaborar em SIG o mapa de graus de limitação por erosão das terras de Minas Gerais .....	83
Figura 7	Mapas elaborados em SIG dos atributos do ambiente utilizados para estimar os graus de limitação por impedimentos à mecanização das terras de Minas Gerais .....	86
Figura 8	Mapas elaborados em SIG dos graus de limitação por fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio, vulnerabilidade à erosão e impedimentos à mecanização das terras de Minas Gerais.....	91
Figura 9	Mapa de aptidão agrícola das terras de Minas Gerais elaborado em SIG.....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras .....	58
Tabela 2	Graus de limitação por deficiência de fertilidade.....	60
Tabela 3	Graus de limitação por deficiência de água .....	61
Tabela 4	Graus de limitação por excesso de água ou falta de oxigênio, considerando atributos e classes de solo.....	62
Tabela 5	Graus de limitação por vulnerabilidade à erosão .....	63
Tabela 6	Graus de limitação por impedimentos à mecanização, considerando atributos e classes de solo.....	64
Tabela 7	Níveis de manejo considerados.....	66
Tabela 8	Quadro-guia de avaliação da aptidão agrícola das terras, considerando a viabilidade de melhoria.....	68
Tabela 9	Caracterização dos possíveis grupos e subgrupos de aptidão agrícola das terras.....	70
Tabela 10	Potencial econômico da vegetação nativa para uso com pastagem .....	71
Tabela 11	Porcentagem das terras do estado de Minas Gerais com seus graus de limitação nos fatores do ambiente usados para fertilidade do solo.....	74
Tabela 12	Porcentagem das terras do estado de Minas Gerais com seus graus de limitação nos fatores do ambiente usados para deficiência de água .....	77
Tabela 13	Porcentagem das terras do estado de Minas Gerais com seus graus de limitação nos fatores do ambiente usados para deficiência de oxigênio.....	81

Tabela 14	Porcentagem das terras do estado de Minas Gerais com seus graus de limitação nos fatores do ambiente usados para erosão ...	84
Tabela 15	Porcentagem das terras do estado de Minas Gerais com seus graus de limitação nos fatores do ambiente usados para impedimentos à mecanização.....	87
Tabela 16	Porcentagem das terras do estado de Minas Gerais com seus graus de limitação nos fatores do ambiente usados na aptidão agrícola das terras.....	92
Tabela 17	Extensão e percentual dos grupos e subgrupos de aptidão agrícola das terras do estado de Minas Gerais .....	94
Tabela 18	Aptidão agrícola das terras de Minas Gerais, estratificada por nível de manejo, para os diferentes tipos de utilização indicados .....	96

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1 Introdução Geral</b> .....	13
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	15
<b>2.1</b>	<b>Classificação da aptidão agrícola das terras</b> .....	15
<b>2.2</b>	<b>Características do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras</b> .....	17
<b>2.3</b>	<b>O sistema de informações geográficas na aptidão agrícola das terras</b> .....	18
<b>2.4</b>	<b>Os fatores limitantes em Minas Gerais</b> .....	21
<b>2.4.1</b>	<b>Limitações por deficiência em fertilidade natural do solo</b> .....	22
<b>2.4.2</b>	<b>Limitações por deficiência de água</b> .....	25
<b>2.4.3</b>	<b>Limitações por deficiência de oxigênio</b> .....	32
<b>2.4.4</b>	<b>Limitações por vulnerabilidade à erosão</b> .....	36
<b>2.4.5</b>	<b>Limitações por impedimentos à mecanização</b> .....	41
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	44
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	45
	<b>CAPÍTULO 2 Mapa de solos, conhecimento de campo, inventário florestal e zoneamento ecológico-econômico como base para a aptidão agrícola das terras em Minas Gerais elaborada EM SIG</b> .....	54
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	56
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	58
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	72
<b>3.1</b>	<b>Fertilidade natural</b> .....	72
<b>3.2</b>	<b>Deficiência de água</b> .....	75
<b>3.3</b>	<b>Deficiência de oxigênio</b> .....	79
<b>3.4</b>	<b>Vulnerabilidade à erosão</b> .....	82
<b>3.5</b>	<b>Impedimentos à mecanização</b> .....	85
<b>3.6</b>	<b>Aptidão agrícola das terras</b> .....	88
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	97
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	99

## **CAPÍTULO 1 Introdução Geral**

### **1 INTRODUÇÃO**

A agricultura depende, em grande parte, do recurso natural solo e o uso inadequado das terras (conceito mais abrangente do que solos, incluindo todos os elementos do ambiente: solos, geologia, relevo, clima, recursos hídricos, flora e fauna, além dos efeitos da ação antrópica) é uma das principais causas da degradação ambiental, com perda da competitividade do setor agrícola e da qualidade de vida da população (CURI et al., 1992). O estado de Minas Gerais apresenta regiões com distintas condições de solo, clima e sócio-economia, portanto, com diferentes vocações para produzir bens agrícolas.

A conservação do solo é um dos aspectos mais importantes da agricultura, portanto, não se concebe uma agricultura racional sem bases conservacionistas. Conforme Lepsch (1983), o uso adequado da terra é o primeiro passo em direção à agricultura correta e a terra deve ser utilizada, de acordo com sua capacidade de sustentação e produtividade econômica, de forma que os recursos naturais sejam dispostos ao homem para o seu melhor uso e benefício, procurando, ao mesmo tempo, preservar esses recursos para as gerações futuras. O uso da terra, segundo sua vocação, previne sua subutilização ou sobreutilização (RAMALHO FILHO; PEREIRA, 1999), situações que envolvem riscos para a sustentabilidade (NASCIMENTO; GIASSON; INDA JÚNIOR, 2004).

O foco no uso adequado de sistemas produtivos assegura a sustentabilidade dos diversos ambientes. No planejamento das atividades agropecuárias, é imprescindível considerar a potencialidade das unidades de mapeamento de solo a fim de reduzir os fatores restritivos e contemplar o seu uso e manejo por meio de redução das limitações com aplicação de capital e

tecnologia, aspectos relacionados com a aptidão agrícola. Interpretar o levantamento de solos e elaborar a classificação da aptidão agrícola das terras disponibiliza informações indispensáveis ao planejamento (SOUSA et al., 2010).

Segundo Assad, Hamada e Cavaleri (1998), uma das grandes dificuldades na avaliação de terras, para fins de manejo, consiste em definir a metodologia que, considerando a dinâmica ambiental existente, permite estimar o comportamento do meio quando submetido a um determinado manejo. Essa dificuldade torna-se mais evidente quando a ocupação acelerada exige rapidez na definição da aptidão da terra e da sua capacidade de suportar os impactos provocados pelo uso.

Os levantamentos pedológicos são de caráter duradouro, servindo de base a interpretações fundamentadas em resultados mais atuais da pesquisa (BENNEMA; BEEK; CAMARGO, 1965). A interpretação de levantamento de solos é uma tarefa muito relevante para a utilização racional desse recurso natural na agricultura. Por meio do levantamento da aptidão agrícola das terras, podem ser realizadas interpretações para atividades agrícolas, classificando as terras, de acordo com sua aptidão para diversas culturas, em condições de manejo e viabilidade de melhoramento mediante uso de novas tecnologias (VALLADARES; HOTT; QUARTAROLI, 2008). É um processo contínuo que necessita ser atualizado, sempre que estiverem disponíveis materiais ou métodos que permitam detalhar ou ampliar as informações, aproximando melhor da realidade (MEIRELES et al., 2007).

Utilizando o sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (SAAAT), Amaral et al. (2004) mapearam a avaliação da aptidão agrícola das terras do estado de Minas Gerais. Posteriormente, foram disponibilizados o mapa digital de solos (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, FEAM, 2010) e um vasto banco de dados digitais, relacionados ao Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do estado de Minas Gerais (SCOLFORO;

OLIVEIRA; CARVALHO, 2008), que possibilitam interpretações mais atualizadas com finalidade de classificação de terras.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Classificação da aptidão agrícola das terras**

A classificação da aptidão agrícola das terras é um processo interpretativo que resulta numa orientação de como devem ser utilizados esses recursos em planejamento regional. O sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (SAAAT) (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) considera, explicitamente, na sua estrutura, os chamados níveis de manejo, reconhecendo que os problemas não são igualmente importantes para o grande e o pequeno agricultor (RESENDE, 1983).

A metodologia do SAAAT (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) realiza a avaliação das terras, baseando-se em cinco parâmetros do ambiente: fertilidade natural, deficiência de água, deficiência de oxigênio, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização, considerados fundamentais para as culturas, numa síntese do ecossistema (RESENDE et al., 2007). Todavia, a relevância de cada um dos parâmetros fundamentais para as culturas pode variar, segundo o ambiente ao qual se aplica esse sistema (DELARMINDA et al., 2011), no entanto, sua estrutura permite realizar adequações que melhor o harmonize com cada situação (CARVALHO FILHO; CURI; FONSECA, 2013; RESENDE et al., 2007).

A avaliação da aptidão agrícola das terras consiste na interpretação das qualidades do ecossistema, por meio da estimativa das limitações das terras para uso agrícola e das possibilidades de correção ou redução dessas limitações, com os diferentes níveis de manejo (NAIME et al., 2006).



Na estrutura do SAAAT, definem-se três níveis de manejo, que têm por objetivo diagnosticar o comportamento das terras em diferentes níveis tecnológicos. Sua indicação é feita por meio de letras A, B, C, que podem aparecer na simbologia da classificação, escritas de diferentes formas, segundo as classes de aptidão que apresentem as terras (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995). Assim, definem-se: o nível de manejo A com base em práticas agrícolas que refletem um baixo nível tecnológico; o nível de Manejo B com base em práticas agrícolas que refletem um nível tecnológico médio e o nível de Manejo C baseado em práticas agrícolas que refletem um alto nível tecnológico. As terras são enquadradas, para cada nível de manejo, em uma das quatro classes de aptidão para um determinado tipo de utilização: boa, regular, restrita e inadequada, refletindo o grau de intensidade que os cinco parâmetros do ambiente limitam a utilização agrícola.

A quantificação das limitações é feita pelos graus de limitação: nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte. São previstos, também, os seguintes tipos de utilização, sucessivamente menos intensivos, conforme as limitações de aptidão agrícola: lavouras, pastagem plantada, silvicultura, pastagem natural e preservação/recreação. Esses tipos de utilização, quando permitem a identificação da melhor aptidão das terras, em qualquer nível de manejo (A, B e C), são denominados grupos de aptidão; ao passo de que se denomina subgrupo de aptidão, quando há variação da aptidão frente aos diferentes níveis de manejo (MOURA ET al., 2007), indicando o tipo de utilização da terra. Em certos casos, o subgrupo refere-se somente a um nível de manejo, relacionado a uma única classe de aptidão agrícola.

O SAAAT é um método flexível, podendo ser adaptado conforme a necessidade (MOURA et al., 2007). Marques et al. (2012) compararam as interpretações por meio dos sistemas Beek, Bennema e Camargo (1964), Ramalho Filho e Beek (1995) e o sistema Modificado (MARQUES, 2004) na

avaliação da aptidão agrícola da Bacia do Rio Paracatu. O sistema Modificado (MARQUES, 2004) permitiu: inferir, pela legenda, o tipo de limitação que causou a restrição de aptidão agrícola; diferenciar a aptidão para culturas de ciclo curto das de ciclo longo; diferenciar entre aptidão de pastagens naturais e aptidão de silvicultura e diferenciar áreas sem aptidão agrícola das áreas de interesse ecológico, todavia, consideraram que o sistema mais adequado a cada situação deve ser exequível, de maneira que não fique demasiado complexo e impraticável.

## **2.2 Características do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**

No SAAAT o grupo de aptidão agrícola identifica o tipo de utilização mais intensivo das terras, ou seja, sua melhor aptidão. São seis grupos ordenados, numericamente, de modo decrescente, segundo a possibilidade de uso agrícola da terra. A partir de 1 até o 3 indicam terras mais adequadas para lavouras e representam, no subgrupo, as melhores classes. A numeração em ordem a partir de 4 até 6 apenas identificam, respectivamente, pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação da flora e fauna, independente da classe de aptidão. As limitações que são aferidas, em diversos tipos de utilização, aumentam do grupo 1 para o grupo 6, diminuindo, conseqüentemente, as alternativas de uso e a intensidade com que as terras podem ser utilizadas (SILVA et al., 1999).

A categoria de subgrupo atende às variações identificadas dentro do grupo. Essa categoria representa, dentro de cada grupo, o conjunto das classes de aptidão (boa, regular, restrita e inadequada) para cada nível de manejo e indica o tipo de utilização das terras. Em alguns casos, o subgrupo refere-se somente a um nível de manejo, relacionado a uma única classe de aptidão agrícola (SILVA et al., 1999).

As classes demonstram a aptidão agrícola das terras para um determinado tipo de utilização quanto a um dos três níveis de manejo e refletem o grau de intensidade com que as limitações afetam as terras.

### **2.3 O sistema de informações geográficas na aptidão agrícola das terras**

As transformações tecnológicas são propulsoras das mudanças vivenciadas no mundo moderno e influenciam as relações sociais, econômicas, agrícolas e de produção. Nas Ciências Agrárias, a popularização das geotecnologias, que se iniciou na década de 80 e dura até os dias de hoje, contribuiu sobremaneira para transformar o modo de produzir conhecimentos (VIEIRA et al., 2007).

O Brasil é um país carente de caracterizações detalhadas de seus recursos naturais e é nesta lacuna que as geotecnologias e os sistemas computacionais podem contribuir (MEIRELES et al., 2007). O geoprocessamento é um conjunto de tecnologias direcionadas para aquisição e tratamento de informações espaciais para cumprir objetivos específicos (VARGAS et al., 2011). Envolve, atualmente, tecnologia de sensoriamento remoto para a coleta de imagens da superfície do planeta, técnicas de mensuração por sistemas de posicionamento, os GPS (Global Position System) e processamento e análise de dados, em forma de mapas digitais, usando-se Sistema de Informações Geográficas (SIG), as informações podem ser tratadas em um mesmo ambiente computacional de trabalho (VIEIRA et al., 2007).

De caráter transdisciplinar, esse conjunto instrumental se aplica a diversos campos profissionais, tornando-se imprescindível para projetos que lidam com questões voltadas à organização, planejamento e gestão do espaço geográfico ou que envolvam análises espaciais em seus estudos. Como qualquer área tecnológica, a velocidade de suas inovações demanda um aprendizado

contínuo para enfrentar os desafios de uma área de estudo em constante mudança (FERREIRA et al., 2011).

O uso do SIG desponta como uma ferramenta poderosa no auxílio ao planejamento de uso dos recursos naturais (CHAVES et al., 2010; VARGAS et al., 2011). Um SIG é constituído por um conjunto de ferramentas para aquisição, armazenamento, recuperação, transformação e saída de dados espacialmente distribuídos. Os dados geográficos descrevem objetos do mundo real, em termos do posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, de seus atributos e das relações topológicas existentes (BURROUGH, 1986).

O que distingue um SIG de outros sistemas de informações são as funções que realizam as análises espaciais. Essas funções utilizam os atributos espaciais e não-espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados e fazem simulações sobre os fenômenos do mundo real, seus aspectos ou parâmetros (CÂMARA; MEDEIROS, 1998). Além disso, pode-se acompanhar a variação de temas, obtendo-se novos mapas com rapidez, flexibilidade e precisão (MACHADO et al., 2007) e menor custo (MEIRELES et al., 2007), maximizando análises e subsidiando tomadas de decisão considerando a atualização de banco de dados. Trata-se, portanto, de uma ferramenta de grande utilidade no estudo de potencialidade do meio ambiente (ASSAD; HAMADA; CAVALERI, 1998; VARGAS et al., 2011).

A partir da década de 90, os zoneamentos agroclimáticos passaram a ser realizados com emprego de SIG. O primeiro trabalho, para identificar melhores épocas de plantio com uso de SIG no Brasil, foi desenvolvido por Assad et al. (1993), quando foram espacializados resultados do balanço hídrico para o arroz de sequeiro. Atualmente, o zoneamento agrícola do Brasil contempla estudos de risco para as principais culturas e a geração de mapas temáticos utiliza métodos que determinam os riscos em bases probabilísticas, enfocando, principalmente, os elementos do balanço hídrico, variações de temperatura do ar, ocorrência de

adversidades climáticas, entre outros, empregando SIG para espacialização dos resultados (MEIRELES, 2007).

A definição de práticas adequadas de manejo das terras exige o cruzamento de informações diversas (solos, clima, recursos hídricos, vegetação, infra-estrutura, ocupação humana etc.) que, muitas vezes, encontra-se em formatos diferentes. É comum dispor de informações estabelecidas em escalas distintas, geradas em épocas diferentes, por métodos variados. Isso contribui para a diversidade dos graus de precisão dos dados e de recobrimentos de área.

O cruzamento simultâneo das diversas informações torna-se complexo, predominando, em geral, uma subjetividade relativamente grande (ASSAD, 1995; SILVA et al., 2009). Delarminda et al. (2011) investigaram em classificação de terras do Acre como seis diferentes especialistas percebem a importância relativa e como eles interpretam os indicadores do SAAAT (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) para a definição das diferentes classes de aptidão. A avaliação da aptidão agrícola resultou em classificações de grupos de uso da terra distintos, para os mesmos solos e ambientes, estando sujeita a variações decorrentes da experiência dos avaliadores e de seu conhecimento sobre o ambiente e os diferentes tipos de uso da terra.

Dentre os trabalhos realizados com o objetivo de obter mapas de aptidão agrícola das terras, citam-se os de Formaggio, Alves e Epiphanyo (1992), no qual foram manipulados os dados cartográficos de solos e gerados os seus mapas de aptidão agrícola. Realizou-se mapeamento de uso da terra, por meio de interpretação de imagens de satélites Landsat-5 e, após o cruzamento das informações do mapa de aptidão com o mapa de uso, obteve-se o mapa de adequação de uso, mostrando que 17,5% da área de estudo se enquadravam nas classes de adequação baixa ou inadequada, em razão dos tipos de uso praticados serem mais intensivos que a aptidão das terras.

Um aspecto que não pode ser negligenciado na utilização de um SIG para avaliação da aptidão agrícola das terras é a necessidade de dispor de mapas de solos e de bases cartográficas confiáveis e espacialmente ajustadas (ASSAD; HAMADA; CAVALERI, 1998).

#### **2.4 Os fatores limitantes em Minas Gerais**

Minas Gerais (Figura 1) apresenta variados contrastes fisiográficos cujos estratos naturais são identificados por meio das diferenciações de clima, relevo, vegetação natural, solos e uso agrícola. Assim, a situação relativa à aptidão agrícola e à conservação do solo varia acentuadamente.



Figura 1 Localização do estado de Minas Gerais no Brasil

Face à multiplicidade de ambientes que compõem o estado de Minas Gerais, Curi et al. (1992) admitiram que, para estudos de seus recursos naturais, há necessidade de estratificá-los, agrupando zonas fisiográficas de ambientes

naturais mais homogêneos (Figura 2). As zonas fisiográficas foram agrupadas em seis regiões. A região 1 engloba as zonas fisiográficas do Triângulo Mineiro, Alto Paranaíba, Paracatu, Alto e Médio São Francisco, Alto do Jequitinhonha e parte da Zona Metalúrgica. A região 2 é representada pelas zonas fisiográficas do Sul de Minas e Campos das Vertentes. A região 3 compreende a Zona da Mata. A região 4 abrange parte da zona Metalúrgica e o médio Rio Doce. A região 5 é formada pelo Mucuri e médio Jequitinhonha. A região 6 equivale às zonas fisiográficas de Montes Claros e Itacarambi.



Figura 2 Zonas fisiográficas do estado de Minas Gerais (IBGE)

#### 2.4.1 Limitações por deficiência em fertilidade natural do solo

A vegetação original, aliada ao levantamento de solos, é uma ótima identificadora das qualidades ambientais. Além dos relacionamentos gerais, existem outras nuances, como por exemplo, a relação do cerrado com solos distróficos, enquanto a vegetação campestre indica altos teores de alumínio no solo (RESENDE; REZENDE, 1983).

No Triângulo Mineiro a dominância é de Latossolos que são bem drenados e bastante lixiviados (CURI et al., 1992). Ao longo dos rios principais ocorrem os Latossolos Vermelhos férricos, cujo material de origem é o basalto, portanto, apresentam melhor fertilidade, podendo apresentar maiores teores de elementos-traço como Zn, Cu e Co (RESENDE et al., 2007). Por outro lado, na mesma região, os Latossolos de textura média, originados do arenito, apresentam pior fertilidade.

No Alto Paranaíba o Latossolo Vermelho, originado do tufito, ocorre em uma área restrita em relação às áreas basálticas e em relevo mais acidentado do que os Latossolos originados do basalto. Nessa região, o Latossolo Vermelho-Amarelo férrico é de grande expressão e muito utilizado com lavouras, todavia, do ponto de vista de fertilidade, em decorrência do elevado teor de ferro e maior superfície específica, conferida pela goetita (BAHIA FILHO et al., 1983), tais solos apresentam alta capacidade de fixação de fósforo (RESENDE et al., 2007) o que diminui a disponibilidade do macronutriente às plantas. Os Cambissolos de baixa fertilidade natural são comuns nesta região. Na região de Paracatu ocorrem extensas chapadas com Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho e Neossolo Quartzarênico, todos distróficos.

Na região do Alto São Francisco é comum deparar-se com solos eutróficos, desenvolvidos de calcário, ao lado de solos álicos, Cambissolos e Neossolos Litólicos, originados de rochas pelíticas e metapelíticas, pobres em nutrientes (CURI et al., 1992). Os Latossolos, desenvolvidos das rochas pobres em nutrientes, apesar do distrofismo acentuado, apresentam menores teores de



alumínio trocável. No Alto Médio São Francisco, as extensas áreas de Neossolos Quartzarênicos são, também, de baixa fertilidade natural, relacionada tanto aos baixos teores de argila, à pequena saturação por bases e à baixa capacidade de troca de cátions destes solos.

No Alto Jequitinhonha ocorrem nas chapadas os Latossolos Vermelho-Amarelos com textura argilosa e os Cambissolos latossólicos, ambos distróficos. Nas encostas íngremes das chapadas os solos com horizonte B textural, predominantemente Argissolos, são, por vezes, eutróficos (CURI et al., 1992).

Na região metalúrgica, no alto do Rio das Velhas e Paraopeba, os solos apresentam teores baixos de bases trocáveis importantes, para a nutrição das plantas, principalmente, na faixa da Serra do Espinhaço, na região de Ouro Preto e no sentido da Serra do Cipó. O material de origem geralmente são rochas psamíticas e os solos são rasos e distróficos, predominando os Neossolos Litólicos (CURI et al., 1992).

A região do Sul de Minas e Campos das Vertentes é, pedologicamente, muito heterogênea, embora com predominância da Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, originados, principalmente, de gnaisse granítico leucocrático, que confere a esses solos baixos teores de ferro e se reflete em menor capacidade de fixação de fósforo. São, também, expressivas as áreas de Cambissolos e de Neossolos Litólicos de baixa fertilidade natural. Ocorrem, também, com frequência os Argissolos Vermelho-Amarelos que, pela sua natureza menos permeável, são menos lixiviados, portanto, um ambiente mais conservador de nutrientes, tendendo à melhor fertilidade natural (CURI et al., 1992).

Na Zona da Mata, a geomorfologia conhecida como “Mar de Morros” se assemelha ao Vale do Rio Doce, todavia, os Latossolos que predominam na Zona da Mata são mais permeáveis, favorecendo a lixiviação de nutrientes no solo, o que reflete em pior fertilidade natural (CURI et al., 1992). Por outro lado,

a vegetação original de floresta proporcionou acúmulo de reserva nutricional na camada superficial dos solos, que tende a ser maior nos Argissolos pela sua menor permeabilidade conferida pela camada de impedimento, refletindo em menor lixiviação de nutrientes, sendo considerado um ambiente mais conservador de nutrientes.

A Zona Metalúrgica e médio Rio Doce são caracterizadas por dois ambientes distintos no que se refere a solos. Nos topos dos morros predominam Latossolos Vermelho-Amarelos, com elevado distrofismo, que limita, inclusive, a decomposição da matéria orgânica sendo comum encontrar expressão de horizonte A-húmico. Próximo à calha do Rio Doce, nas elevações, predominam Argissolos eutróficos. Na região de Belo Horizonte a Bom Despacho, ocorrem Argissolos distróficos com coloração amarelada, originados de rochas graníticas e gnáissicas leucocráticas (VENTURIM; BAHIA, 1998). Nas margens dos rios ocorrem Neossolos Flúvicos, muitas vezes eutróficos (CURI et al., 1992).

#### **2.4.2 Limitações por deficiência de água**

O estado de Minas Gerais apresenta grande diversificação de clima (ANTUNES, 1986) dos úmidos aos semi-áridos (VIANELLO; MAIA, 1986), fundamentalmente, pelo relevo acidentado em grande parte do seu território (serras do Espinhaço, Mantiqueira, Caparaó, Canastra e Cabral) e pelo fato de estar na trajetória normal das frentes polares, onde frequentemente se opõem em equilíbrio o anticiclone polar das altas altitudes e o anticiclone Atlântico Sul das altitudes baixas (ABREU, 1998). Sua localização geográfica recebe influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais que imprimem à região características de clima de transição. Duas estações bem definidas podem ser identificadas: uma seca e uma chuvosa (ABREU, 1998).

As condições de água, ar e temperatura no solo, o pedoclima, não dependem apenas de clima atmosférico (RESENDE, 1986). Conforme o lençol

freático, há solos com excesso de água, mesmo em regiões desérticas. Por sua vez, a água das chuvas não infiltra igualmente em todo o terreno. Contudo, numa macroescala pode-se generalizar o pedoclima com base nas condições climáticas das regiões (RESENDE et al., 2007).

O balanço hídrico climatológico (BHC) normal, segundo Thornthwaite e Mather (1955), é considerado um dos melhores referenciais de caracterização climática regional (CARVALHO et al., 2008a). O BHC informa sobre a disponibilidade hídrica pelo cálculo da deficiência hídrica e excesso hídrico, que correspondem à retirada e à reposição de água no solo. Efetua-se o balanço entre entradas e saídas de água no sistema solo-planta, levando em conta a capacidade de armazenamento de água pelo solo. Nos cálculos do BHC são necessários dados mensais de uma série dos elementos climáticos.

Carvalho et al. (2008a) utilizaram Normais Climatológicas (dados médios de 30 anos) conforme padronização da Organização Meteorológica Mundial (OMM), de 1961 a 1990 (BRASIL, 1992) para gerar do BHC do estado de Minas Gerais. Utilizaram-se dados de 39 Estações Climatológicas Principais, pertencentes à rede nacional de observações meteorológicas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), distribuídas no território de Minas Gerais e estados circunvizinhos (BRASIL, 1992). Utilizou-se a capacidade de armazenamento de água no solo equivalente a 100 mm e, na estimativa da evapotranspiração potencial (ETP), aplicou-se o método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998).

Lemos Filho et al. (2007) aplicaram o método de Penman-Monteith-FAO na estimativa da ETP para Minas Gerais e verificaram no estado resultados bastante variáveis, chegando a apresentar valores médios de 914 até valores de 1.677 mm ano<sup>-1</sup>. As maiores variações, tanto espaciais como temporais, são registradas no norte do estado, onde, também, ocorrem os maiores valores de ETP. O método de Penman-Monteith-FAO (ALLEN et al., 1998) propicia

resultados mais precisos para estimativa da ETP quando comparado ao método de Thornthwaite e Mather (MEIRELES et al., 2007).

Thornthwaite (1948) citado por Sampaio et al. (2011) propôs uma classificação climática, utilizando índice anual de umidade (Iu), calculado com base em parâmetros do BHC: ETP, excedente hídrico e deficiência hídrica.

$$Iu = Ih - Ia; \text{ em que:} \quad (1)$$

Iu= índice de umidade;

Ih= índice hídrico;

Ia= índice de aridez.

Em que, o índice hídrico (Ih) e o índice de aridez (Ia), são calculados por:

$$Ih = (\text{Excedente hídrico}/\text{ETP}) \times 100 \quad (2)$$

$$Ia = (\text{Deficiência hídrica}/\text{ETP}) \times 100 \quad (3)$$

Sampaio et al. 2011 utilizaram SIG na comparação da classificação climática do Brasil pelas metodologias de Köpen e de Thornthwaite. A sobreposição dos dois mapas demonstrou que, apesar de ambos serem gerados por metodologias diferentes, apresentaram coerência na representação dos tipos climáticos de uma região.

Carvalho et al. (2006) utilizaram SIG e geoestatística, na caracterização do clima do estado de Minas Gerais, com base no índice de umidade, observando a ocorrência de uma diversidade de tipos climáticos em Minas Gerais, variando desde clima semi-árido até clima superúmido, com predominância dos tipos climáticos classificados de subúmido a úmido.

Carvalho et al. (2008a) tomaram os totais anuais de ETP, deficiência hídrica e excedente hídrico para os cálculos do índice de umidade (Iu) pelo

método de Thornthwaite, para cada uma das estações climatológicas principais do INMET, aplicando-se, na espacialização, a técnica da co-krigagem (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989) ao Iu. A base de dados de altitude, latitude e longitude, conforme Sedyama; Mello Jr. (1998), foi composta pelo Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução espacial de 90 m (NASA, 2005) reclassificado para o tamanho de pixel de 1 km. Utilizou-se a análise de correlação de Pearson, para verificar as relações lineares entre as variáveis estudadas e justificar o uso da co-krigagem na interpolação. Gerou-se o zoneamento climático para Minas Gerais em malhas de 1 km<sup>2</sup>. Verificou-se, em Minas Gerais, a ocorrência das classificações climáticas A – Superúmido ( $Iu \geq 100$ ), B4 – Úmido ( $80 \leq Iu < 100$ ), B3 – Úmido ( $60 \leq Iu < 80$ ), B2 – Úmido ( $40 \leq Iu < 60$ ), B1 – Úmido ( $20 \leq Iu < 40$ ), C2 – Subúmido ( $0 \leq Iu < 20$ ), C1 – Subúmido seco ( $-33 \leq Iu < 0$ ), D – Semi-árido ( $-66,7 \leq Iu < -33$ ).

Carvalho et al. (2008a) abordaram o clima do Estado, considerando as regionais do COPAM e verificaram que os tipos climáticos úmidos B2-Úmido e B3-Úmido predominam em grande parte do Sul de Minas e partes do Triângulo Mineiro, Alto São Francisco, Região Central e Zona da Mata. No extremo sul do estado, ocorrem os tipos climáticos B4-Úmido e A-Superúmido, influenciados pela Serra da Mantiqueira. No Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba há maior ocorrência do clima caracterizado como B1-Úmido, todavia, mais ao centro, delimitando-se com o Alto São Francisco, ocorre o tipo climático B2-Úmido e em estreita faixa, ao nordeste, ocorre o tipo climático C2-Subúmido.

No leste de Minas Gerais, próximo às fronteiras com os estados do Espírito Santo e Bahia, ocorre o clima tipo C1-Subúmido seco e, mais ao centro desta região, em faixa de sul, ao norte, predomina o clima C2-Subúmido. No Alto São Francisco região Central do estado, o tipo B1-Úmido ocorre em maior extensão territorial e do sul para o norte dessas regiões diminui o índice de

umidade e predominam os tipos climáticos B2-Úmido, B1-Úmido e C2-Subúmido (CARVALHO et al., 2008a).

Na faixa central da Zona da Mata, o clima é B2-Úmido, indo da divisa com a região Central até a divisa com o estado do Rio de Janeiro, com pequenas áreas com os tipos climáticos B4-Úmido e B3-Úmido. Próximo aos estados do Espírito Santo e do Rio de Janeiro, ocorre, em maior extensão territorial, o tipo climático B1-Úmido e, seguindo em direção a latitudes menores, verifica-se transição para C2-Subúmido e uma pequena área do tipo C1-Subúmido seco (CARVALHO et al., 2008a).

No noroeste de Minas Gerais, predomina o tipo climático C2-Subúmido e, fazendo divisa com o Estado de Goiás, ocorre uma faixa de tipo climático B1-Úmido influenciado pelas maiores altitudes das chapadas, enquanto seguindo em direção a latitudes menores, verifica-se transição para C1-Subúmido seco. No extremo norte do estado de Minas Gerais, verifica-se a ocorrência do tipo climático D-Semi-árido, embora predomine, em maior extensão territorial, indo de oeste a leste, o tipo climático C1-Subúmido seco (CARVALHO et al., 2008a).

No Vale do Jequitinhonha, há grande diversidade climática sofrendo influência geográfica do Serra do Espinhaço até o Baixo Jequitinhonha em divisa com o estado da Bahia. Mais ao sul desta região encontram-se regiões menores com o tipo climático B2-Úmido. Abrangendo a região do município de Diamantina verifica-se o tipo B1-Úmido, seguindo para latitudes menores com o clima C2 (Subúmido) em proporções de áreas semelhantes. Da região central a nordeste do Vale do Jequitinhonha predomina o tipo caracterizado como clima C1-Subúmido seco, todavia, no extremo nordeste desta região, nota-se a ocorrência do clima D-Semi-árido, envolvendo municípios como Almenara, Jacinto, Jordânia e Salto da Divisa, o que se verifica, também, nas imediações dos municípios de Itaobim, Itinga e Medina (CARVALHO et al., 2008).

A região do Alto Jequitinhonha possui um contraste marcante de solos e relevo, apresentando extensas chapadas, com cotas entre 800 e 900 m e áreas dissecadas com relevo muito movimentado e vales profundos, em geral, sem terraços fluviais. Os solos das chapadas são Latossolos Vermelho-Amarelos com textura argilosa e, quando mal manejados, sofrem decaptação da camada superficial por erosão e aflora uma camada subsuperficial adensada, que reduz a infiltração de água, processo de inestimável importância numa região com limitações no que se refere à disponibilidade de água para as plantas (CURI et al., 1992). As encostas íngremes e as elevações que compõem as áreas dissecadas embutidas entre as chapadas são constituídas, em parte, por Argissolos e parte próximo às calhas dos rios, por Neossolos Litólicos. O clima pouco favorável à agricultura dificulta a implantação de lavouras e torna muito curto o período de aproveitamento das pastagens no decorrer do ano.

A região de Montes Claros e Itacarambi situa-se na faixa climaticamente mais seca do estado. Desse modo há ocorrência de áreas de caatinga com inclusões de floresta caducifólia e subcaducifólia e mesmo vegetação de cerrado nas faixas marginais mais para sul e oeste. Nesse ambiente é comum a ocorrência de Neossolos Litólicos desenvolvidos de calcário em relevo acidentado e com presença de rochiosidade e pedregosidade. O uso agrícola desses solos é condicionado pelo déficit hídrico acentuado (CURI et al., 1992).

A região de Paracatu é formada por extensas chapadas, em diferentes cotas, onde predominam solos mais arenosos, mais especificamente Latossolos Vermelho-Amarelos e Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos. O período seco prolongado e a natureza arenosa dos solos da região apresentam certa limitação à expansão da agricultura não irrigada (CURI et al., 1992).

Na região do Alto São Francisco, a pouca profundidade dos Cambissolos e dos Neossolos Litólicos, e o relevo acidentado implicam em sérias limitações no aspecto de disponibilidade de água. Os solos mais velhos

dessa região, os Latossolos, são menos limitantes nesse aspecto (CURI et al., 1992).

As províncias vegetacionais dão indicações sobre as condições ecológicas, principalmente, quanto ao regime hídrico do solo (RESENDE, 1986). O caducifolismo indica o grau de deficiência hídrica (RESENDE, 1986). Existem muitas formas de vegetação reconhecidas pelos levantamentos de solos no Brasil, porém, podem-se agrupar em floresta, cerrado, campos, caatinga, vegetação de restinga e outras formações localizadas (RESENDE et al., 2007). Quanto ao regime hídrico, para vegetações de floresta e cerrado há boa relação entre o aumento do número de meses secos no ano e o caducifolismo (RESENDE; REZENDE, 1983) na sequência: hidrófila, higrófila, perúmida, perenifólia, subperenifólia, subcaducifólia, caducifólia (RESENDE, 1986). A caatinga é subdividida em hipoxerófila (caatinga menos seca), hiperxerófila, do pantanal e de várzea (RESENDE et al., 2007). Os campos são muito associados aos extremos de pedoclima, de falta de nutrientes e altos teores de alumínio trocável aliado a clima frio (RESENDE et al., 2007).

O zoneamento climático, para as culturas, subsidia a implantação e planejamento de diversas áreas de desenvolvimento de uma região (VIANELLO; ALVES, 1991; MEIRELES et al., 2007). O índice de umidade (Iu), calculado segundo Thornthwaite, permite, também, gerar zoneamentos agroclimáticos referidos nas exigências das culturas de interesse. Costa, Antunes e Santana (1986) sugerem diferentes índices de umidade exigidos pelas culturas de algodão, fumo e soja. Carvalho et al. (2008b), elaborando o zoneamento da cana e do eucalipto, no estado de Minas Gerais, adotaram para cana-de-açúcar a faixa de Iu entre 10 e 60 e para eucalipto adotaram  $Iu > 0$  (SILVA; BARROS, 2002). Cada cultura necessita de condições favoráveis durante todo seu ciclo e o atendimento dessas exigências é que fará uma determinada região ser



considerada apta para uma dada cultura tomando-se por base o índice de umidade (MEIRELES et al., 2007).

O solo faz a ligação entre litosfera, atmosfera e biosfera, sendo suas propriedades influenciadas por estas camadas. As propriedades do solo afetam a disponibilidade de água às plantas. As plantas absorvem água do solo numa taxa que depende da evapotranspiração potencial, do teor de água extraível ainda existente no solo, da natureza do solo e de suas relações com as raízes (RESENDE, 1986). Fatores pedológicos devem ser considerados na delimitação de áreas aptas, para determinada cultura, dentro de campos climáticos homogêneos, porque podem alterar a aptidão climática (MEIRELES et al., 2007).

Solos com argila de alta atividade apresentam comportamento diferenciado, frente aos ciclos de umedecimento e secagem, ou seja, tendem a se expandir quando umedecidos e a contrair-se quando secos, provocando o aparecimento de fendas. Esse comportamento dificulta o manejo e pode causar consideráveis danos ao sistema radicular de plantas. Além disso, elevados índices pluviométricos e altas temperaturas submetem os solos, quando desnudos, a limites extremos de umedecimento e secagem, podendo provocar alterações na estrutura, densidade e, conseqüentemente, disponibilidade de água no solo (OLIVEIRA; JACOMINE; CAMARGO, 1992).

#### **2.4.3 Limitações por deficiência de oxigênio**

As condições de má drenagem ou de deficiência de oxigênio produzem efeitos nas raízes, favorecem algumas doenças e provocam alterações nas condições químicas do solo.

A deficiência por oxigênio no solo é muito difícil de ser quantificada em razão da variabilidade desta qualidade a pequenas distâncias (RESENDE, 1983). A atmosfera do solo está muito ligada ao regime hídrico, pois aumentando o teor de água diminui a fase gasosa (RESENDE, 1986).

Nos levantamentos de solos, o arejamento é inferido da classe de drenagem do solo (RESENDE; CURI; SANTANA, 1988) determinada, segundo um conjunto de oito padrões referenciais: Excessivamente drenado<sup>1</sup>, Fortemente drenado<sup>2</sup>, Acentuadamente drenado<sup>3</sup>, Bem drenado<sup>4</sup>, Moderadamente drenado<sup>5</sup>, Imperfeitamente drenado<sup>6</sup>, Mal drenado<sup>7</sup> e Muito mal drenado<sup>8</sup>, aferidos por um processo de comparação, principalmente visual, com um referencial, baseado na cor do solo, em particular nas *gleisadas* ou acinzentadas, de croma baixo, indicadoras de deficiência em oxigênio (RESENDE; CURI; SANTANA, 1988; RESENDE, 1986; RESENDE; REZENDE, 1983). Cores *gleisadas* são dadas pela ausência de ferro oxidado ( $\text{Fe}^{3+}$ ), podendo ou não ter ferro reduzido ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Na remoção completa do  $\text{Fe}^{2+}$  o solo assume cor acinzentada mesmo quando a drenagem melhora (RESENDE; CURI; SANTANA, 1988).

O processo de *gleisação* consiste na redução e remoção dos óxidos de ferro do solo por ação microbiana em ambiente anaeróbico (anóxico). A prolongada saturação por água e alternância sazonal entre encharcamento e drenagem afetam propriedades químicas e morfológicas do solo. Variações no grau de saturação por água alteram o suprimento de  $\text{O}_2$  do solo e, conseqüentemente, o estado de oxidação de elementos importantes para as plantas (KÄMPF; CURI, 2012). Os agentes reativos no processo redox incluem

---

<sup>1</sup> Solos muito arenosos e Latossolos gibbsíticos;

<sup>2</sup> Latossolos de textura média;

<sup>3</sup> Latossolos de textura argilosa a média;

<sup>4</sup> Argissolos e Latossolos argilosos com baixos teores de ferro e caulíníticos;

<sup>5</sup> Argissolos e Cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas;

<sup>6</sup> Vertissolo, Hidromórfico Cinzento, Planossolo;

<sup>7</sup> Gleissolo Háptico;

<sup>8</sup> Gleissolo Melânico e Organossolo.

matéria orgânica, óxidos de Fe e de Mn, nitratos, sulfetos e sulfatos, e microrganismos. Os microrganismos requerem uma fonte de C suprida pela matéria orgânica e de receptores de elétrons. Em solos bem drenados, o receptor é o  $O_2$  ( $0,5 O_2 + 2 e^- + 2 H^+ = H_2O$ ), todavia, à medida que este é consumido, são sequencialmente usados, por diferentes populações de microrganismos, de maneira associada com a amplitude característica de menor potencial redox: nitratos ( $NO_3^- + 2 e^- + 2 H^+ = NO_2^{2-} + H_2O$ ), óxidos de Mn ( $MnO_2 + 2 e^- + 4 H^+ = Mn^{2+} + 2 H_2O$ ) e de Fe ( $FeOOH + e^- + 3 H^+ = Fe^{2+} + 2 H_2O$ ), e sulfatos ( $SO_4^{2-} + 6 e^- + 9 H^+ = HS^- + 4 H_2O$ ) (KÄMPF; CURI, 2012).

O coeficiente de difusão do  $O_2$  é de  $2 \times 10^{-9} m^2s^{-1}$  na água e de  $2 \times 10^{-5} m^2s^{-1}$  no ar, portanto, a difusão do gás na água é cerca de 10 mil vezes menor que no ar (JAYAWEERA; BIGGAR, 1996). Em consequência da baixa difusão, há uma virtual ausência de  $O_2$  em solos saturados o que favorece a atividade de compostos orgânicos complexantes redutores e de microrganismos anaeróbios. Assim, íons  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{3+}$  e  $Mn^{4+}$  são reduzidos e liberados dos respectivos óxidos para a solução do solo como  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  segundo um gradiente redox (TURNER; PATRICK, 1968). Em consequência, nas regiões de perda do Fe, os constituintes da matriz do solo assumem cores acinzentadas que caracterizam os Gleissolos, comuns em áreas mal drenadas.

Quando o lençol freático é oscilante, o movimento do ferro ocorre em fluxos estacionais, permitindo a formação de mosqueados e ocasionalmente de ferropãs no topo da zona de flutuação do lençol. Em ambientes, em que a saturação temporária por água de percolação nos horizontes superficiais decorre da presença de um horizonte B pouco permeável, como nos Planossolos e em Argissolos mais coesos, cria-se um lençol freático suspenso. Nessas condições, a redução se restringe aos horizontes superficiais em virtude das condições anaeróbicas prevalescentes (KÄMPF; CURI, 2012). Em horizontes com maior condutividade hidráulica, formam-se nódulos ou concreções e ferropãs,

enquanto nos de menor condutividade há maior amplitude de dispersão dos óxidos, formando os mosqueados. Logo, a presença de concreções, ferropãs e mosqueados informa sobre a condutividade hidráulica do solo e a distribuição dos mosqueados indica se a saturação com água é permanente, como nos Gleissolos, ou temporária como nos Plintossolos.

Os Gleissolos são influenciados por lençol freático subterrâneo, onde o interior dos agregados tende a cinzento, com eventuais concreções brunadas a pretas por óxidos de  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{4+}$ . Solos com lençol freático suspenso originam um horizonte superficial com mosqueados brunos e cinzentos e um subsolo sem mosqueados e, atualmente, são identificados por apresentarem propriedades estágnicas (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA, 2013).

As reações de oxirredução são fenômenos atuais de grande importância no manejo de solos alagados. Elevadas concentrações de  $\text{Fe}^{2+}$  podem provocar toxidez às plantas (HOWELER, 1973); sua oxidação a  $\text{Fe}^{3+}$  e precipitação nas raízes produz desordens nutricionais (MONTÁS RAMÍRES et al., 2002). Solos inundados, quando drenados, formam precipitados de ferrihidrita que apresentam elevada capacidade de adsorção de fósforo, tornando-o pouco disponível às plantas (SAH; MIKKELSEN; HAFEZ, 1989).

Algumas culturas não apresentam restrições de crescimento em locais alagados, já o eucalipto é extremamente sensível à deficiência de oxigênio (CURI, 2000). Costa et al. (2009) interpretaram o levantamento semidetalhado de solos para risco de anoxia ao cultivo de eucalipto no Rio Grande do Sul, considerando como critérios atributos do solo (textura, profundidade efetiva do sólum, presença de mosqueados, indícios de gleização e presença de adensamento) e atributos do meio (declividade e conformação do terreno). As classes de risco foram associadas à taxa de mortalidade de eucalipto no campo e

a classe de solo, por integrar inúmeros atributos, funcionou como estratificadora adequada de ambientes no tocante ao risco de anoxia.

#### **2.4.4 Limitações por vulnerabilidade à erosão**

A erosão hídrica é um processo natural que ocorre na superfície da terra e está relacionada com a própria formação do solo. Entretanto, a intervenção humana pode acelerar o processo erosivo, causando prejuízos de ordem ambiental, social e econômica (PIMENTEL et al., 1995). A erosão hídrica pode ser considerada a forma mais ativa dos processos de degradação dos solos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). A adequada conservação do solo e da água permite, além da redução do processo erosivo e das consequências associadas às perdas de solo, o melhor aproveitamento dos recursos hídricos (PRUSKY; MIRANDA; NUNES, 2012).

O estado de Minas Gerais possui grande diversidade de sistemas agrícolas ou agricultáveis em diferentes formas de manejo. No Triângulo Mineiro os Latossolos Vermelhos férricos apresentam importância agrícola, em virtude de suas características de serem muito porosos e friáveis, com elevado grau de floculação da argila (VENTURIM; BAHIA, 1998). Embora sejam bem drenados e geralmente ocorram em relevos mais suavizados, apresentam susceptibilidade ao fenômeno de encrustamento superficial, que dificulta a infiltração, favorecendo a formação de enxurradas que podem provocar erosão em voçorocas em consequência da estrutura granular e pouco coesa do horizonte B desses solos. O manejo pode afetar, negativamente, a estrutura do solo, o que é verificado em Latossolos argilosos sob vegetação natural de cerrado que apresenta mais de 80% dos agregados com mais de 2 mm de diâmetro na camada arável enquanto em áreas cultivadas por mais de 10 anos e preparadas com arados de discos, somente 20% dos agregados do solo são, em média, maiores que 2 mm (LOPES, 2008).

A região de Paracatu é formada por extensas chapadas, em diferentes cotas, onde predominam solos mais arenosos, mais especificamente Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos (CURI et al., 1992). Não obstante o relevo aplainado predominante, o manejo inadequado do solo pode provocar nesses solos formação de voçorocas, principalmente em função dos comprimentos de rampa muito longos (CURI et al., 1992) e à baixa agregação das partículas do solo (VENTURIM; BAHIA, 1998). Os Neossolos Quartzarênicos, apesar de boa permeabilidade, apresentam baixa coesão o que os torna de grande susceptibilidade à erosão (VENTURIM; BAHIA, 1998).

Na região do Alto São Francisco, os Cambissolos e os Neossolos Litólicos associados à vegetação campestre ou campo cerrado, em relevo mais acidentado e muitas vezes com afloramentos de rochas, conhecidos como toás, são solos de alta susceptibilidade à erosão. Os elevados teores de silte, em relação à argila, favorecem o encrostamento superficial nos Cambissolos, baixando sua permeabilidade e aumentando sua susceptibilidade à erosão (VENTURIM; BAHIA, 1998). Os Latossolos dessa região são menos limitantes nesse aspecto, todavia, a exposição desses solos provoca o encrostamento superficial, que reduz a infiltração e aumenta o escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão. Este fato, associado à ocorrência de grandes extensões de Cambissolos e Neossolos Litólicos, faz dessa região uma das mais críticas do estado no aspecto vulnerabilidade à erosão (CURI et al., 1992).

No Alto Médio São Francisco há extensas áreas de Neossolos Quartzarênicos, de alta susceptibilidade à erosão, em virtude da textura arenosa e da baixa agregação do solo. A fase mais crítica para as atividades agropecuárias é no período de implantação das culturas, quando é realizado o preparo da área, que provoca maior desagregação e exposição do solo.

A região do Alto Jequitinhonha apresenta extensas chapadas, com cotas entre 800 e 900 m, contrastando com áreas dissecadas com relevo muito movimentado e vales profundos. Os Latossolos Vermelho-Amarelos das chapadas são de alta erodibilidade, com tendência à formação de sulcos rasos que evoluem rapidamente levando à decaptação da camada superficial do solo. As encostas íngremes e as elevações das áreas dissecadas embutidas entre as chapadas são constituídas em parte por solos com horizonte B textural e por Neossolos Litólicos próximos às calhas dos rios, todavia, grande parte dos solos das elevações são Latossolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos. O relevo acidentado dessas encostas, aliado ao elevado índice de erodibilidade dos solos, são os principais responsáveis pela alta vulnerabilidade dos solos à erosão.

A Zona Metalúrgica de Minas Gerais, nas regiões que abrangem o Alto do Rio das Velhas e Paraopeba, é constituída de solos quimicamente pobres em relevo geral muito acidentado, principalmente, na faixa montanhosa que se inicia na Serra do Espinhaço, região de Ouro Preto e se estende para o norte, rumo à Serra do Cipó (CURI et al., 1992). São abundantes nesse ambiente os Neossolos Litólicos (VENTURIM; BAHIA, 1998) originados de rochas psamíticas, solos rasos e de baixa fertilidade e alta erodibilidade.

A região do Sul de Minas e Campos das Vertentes é, pedologicamente, muito heterogênea e apresenta atividade agrícola diversificada. Os maiores problemas de erosão estão ligados aos Cambissolos e Latossolos Vermelho-Amarelos com baixo teor de ferro. De uma maneira genérica, podem-se estimar algumas características e propriedades do solo considerando o substrato rochoso pelo qual ele se desenvolveu (LACERDA; BAHIA, 1998).

Os Cambissolos do Sul de Minas e Campos das Vertentes são de espessura relativamente reduzida e propriedades físicas desfavoráveis à infiltração da água (GIAROLA, 1994), além de ocorrerem em relevo geral acidentado e com rochas subjacentes de permeabilidade restringida,

circunstâncias que favorecem o escoamento superficial, provocando erosão laminar. Todavia, quando o material de origem dos Cambissolos é micaxistos e quartzitos, a maior relação silte/argila que a dos Cambissolos originados de gnaisse granítico leucocrático confere maior tendência ao voçorocamento (SILVA; LIMA; CURI, 1993; MOTTA et al., 2001; GOMIDE; SILVA; SOARES, 2011).

Os Latossolos Vermelho-Amarelos do Sul de Minas e Campos das Vertentes são originados, predominantemente, do gnaisse granítico leucocrático, o que lhes confere baixo teor de gibbsita e óxidos de ferro, favorecendo o desenvolvimento da estrutura em blocos subangulares (FERREIRA, 1988), ocasionando menor permeabilidade (GIAROLA, 1994) e maior erodibilidade (SILVA et al., 1994) o que torna estes solos propensos ao voçorocamento (VENTURIM; BAHIA, 1998).

No terço inferior da encosta desses Latossolos, a erosão é mais intensa e pode iniciar voçorocas, ao atingir o horizonte C do solo, que apresenta alta erodibilidade em virtude dos elevados teores de silte e areia fina. Essas voçorocas tendem a evoluir por toda a encosta. Silva et al. (2009), na região de Lavras -MG, encontraram valores de erodibilidade de  $0,0355 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , para Cambissolo, e de  $0,0032 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , para Latossolo, demonstrando haver diferença expressiva entre esses solos quanto à susceptibilidade à erosão.

A Zona da Mata e o Sudeste de Minas são de relevo acidentado, todavia, predominam Latossolos. Os Latossolos Vermelho-Amarelos da Zona da Mata apresentam teores médios de ferro associados a teores altos de caulinita o que lhes confere boa coerência e relativa permeabilidade (VENTURIM; BAHIA, 1998), todavia, são sujeitos à erosão em sulcos. Ocorrem, também, expressivamente nesta região os Argissolos, em relevo geral mais declivoso e tendem à erosão laminar, facilmente perceptível nas encostas com aspecto



avermelhado e com evidências de afloramento do horizonte B. Embora neste ambiente a erosão laminar nos Argissolos seja mais difícil de ser percebida, o seu principal efeito é a exaustão da reserva nutricional, acumulada e mantida na camada superficial dos solos pela floresta primitiva (CURI et al., 1992).

Na parte oeste da Zona Metalúrgica e no médio Rio Doce, a natureza pouco permeável dos Argissolos dos terços médio e inferior das encostas e o elevado distrofismo dos Latossolos nos topos das elevações, aliados ao período seco prolongado resultam em intenso processo erosivo. A erosão nos Latossolos dos topos dos morros conduz à ausência de vegetação, originando sítios de degradação conhecidos como “pelados”, onde geralmente se originam erosões em voçorocas. Nos Argissolos, em decorrência da baixa permeabilidade do horizonte B textural e do elevado teor de argila dispersa em água, predomina erosão laminar (VENTURIM; BAHIA, 1998). À medida que se afasta dos rios, aumenta o domínio de Latossolos profundos que, embora não apresentem muitos problemas de erosão, são de extrema pobreza química e, por vezes, ocorrendo em relevo acidentado (CURI et al., 1992).

A região do Mucuri e Médio Jequitinhonha apresenta relevo geral ondulado e forte ondulado, onde a erosão laminar desgasta os Argissolos pelo arraste contínuo das partículas da camada superficial. A erosão é agravada pelas chuvas torrenciais comuns nesta região e, com o passar dos anos, o solo torna-se cada vez mais endurecido e menos permeável à água, o que acelera ainda mais o processo erosivo (CURI et al., 1992).

As regiões de Montes Claros e Itacambira, no Norte de Minas, localizam-se na faixa climaticamente mais seca do estado, onde é comum a ocorrência de Neossolos Litólicos desenvolvidos de calcário em relevo acidentado e com presença de rochosidade e pedregosidade (CURI et al., 1992). O uso agrícola desses solos é condicionado pelo déficit hídrico acentuado. Nas áreas de relevo mais suavizado, a mecanização é utilizada no preparo inicial do

solo, todavia, pode ocorrer arraste da camada arada em virtude das chuvas torrenciais muito comuns na região, especialmente, no início do período chuvoso.

#### **2.4.5 Limitações por impedimentos à mecanização**

A mecanização agrícola se reveste de importância relevante para a exploração de grandes áreas, mas é necessário o conhecimento de seus efeitos sobre o solo de maneira a minimizar os riscos de degradação (FERNANDES, 1983). Embora as limitações físicas para o uso de implementos não sejam só em razão do relevo, o declive é um dos principais elementos que limitam o uso de máquinas e implementos agrícolas (RESENDE; REZENDE, 1983). Solos de textura mais arenosa tendem a aumentar o desgaste dos implementos agrícolas (RESENDE; REZENDE, 1983).

Em estudos sobre aptidão das terras do estado do Acre para mecanização agrícola, Pacheco et al. (2001) observaram que a maioria das áreas com condições favoráveis à mecanização são constituídas de Latossolos e Argissolos Latossólicos, favorecimento atribuído, principalmente, ao relevo plano a suave ondulado, solos profundos e de melhores condições de drenagem.

A região de Paracatu é formada por extensas chapadas, em diferentes cotas, onde predominam solos mais arenosos, mais especificamente Latossolos Vermelho-Amarelos, Latossolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos. O relevo plano ou suave ondulado e a natureza pouco coesa desses solos favorecem a mecanização da agricultura (CURI et al., 1992).

Na região do Alto São Francisco, a pouca profundidade dos Cambissolos e dos Neossolos Litólicos, muitas vezes com afloramentos de rochas, e o relevo acidentado implicam em sérias limitações no aspecto de

mecanização. Os solos mais velhos dessa região, Latossolos, são menos limitantes à mecanização.

A região do Alto Jequitinhonha apresenta extensas chapadas com relevo favorável à mecanização, contrastando com áreas dissecadas com relevo muito movimentado e vales profundos. Embora sejam favoráveis à mecanização, os Latossolos Vermelho-Amarelos das chapadas são de alta erodibilidade. Nas encostas íngremes predominam solos com horizonte B textural e a declividade é o fator mais limitante à mecanização, enquanto próximos às calhas dos rios ocorrem os Neossolos Litólicos com limitações à mecanização por presença de camadas de pedregosidade e rochiosidade no perfil do solo (CURI et al., 1992).

A Zona Metalúrgica de Minas Gerais, nas regiões que abrangem o Alto do Rio das Velhas e Paraopeba, possui relevo geral muito acidentado, principalmente na faixa montanhosa que se inicia na Serra do Espinhaço, na região de Ouro Preto e se estende para o norte, rumo à Serra do Cipó. Predominam nesse ambiente os Neossolos Litólicos originados de rochas psamíticas, solos rasos, pedregosos e rochosos e de alta erodibilidade, o que limita a mecanização das terras (CURI et al., 1992).

A região do Sul de Minas e Campos das Vertentes é, pedologicamente, muito heterogênea. Os maiores problemas de impedimentos à mecanização estão relacionados aos Cambissolos e Neossolos Litólicos. As principais limitações desses solos à mecanização são o relevo geral acidentado e a presença de pedregosidade e rochiosidade no perfil. Os solos com horizonte B textural ocorrem em relevo mais declivoso, mas não tão restritivo à mecanização. Os Latossolos dessa região são muito favoráveis à mecanização (CURI et al., 1992).

A parte leste da Zona Metalúrgica e a região do Médio Rio Doce apresentam dois ambientes distintos, no que se refere a solos. Próximo às calhas do Rio Doce e seus afluentes, ocorrem elevações em forma de meia laranja, onde predominam os Argissolos nos terços médio e inferior e os Latossolos no

terço superior, enquanto nas margens dos rios predominam os terraços fluviais. Nos Argissolos, o relevo acidentado é a principal limitação à mecanização. Os Latossolos, embora praticamente não apresentem limitações à mecanização, quando submetidos às práticas agrícolas, no sentido do declive do terreno, que são comuns na região, frequentemente, manifestam erosão em sulcos, que evoluem para voçorocas (CURI et al., 1992).

A região de Montes Claros e Itacambira, no Norte de Minas, situa-se na faixa climaticamente mais seca do estado. Nesse ambiente é comum ocorrência de Neossolos Litólicos desenvolvidos de calcário em relevo acidentado e com presença de rochosidade e pedregosidade, fatores que limitam a mecanização. Nas áreas de relevo mais suavizado, a mecanização é utilizada, todavia, é frequente ocorrer arraste da camada arada em decorrência das chuvas torrenciais muito comuns na região, especialmente no início do período chuvoso.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Minas Gerais possui extensas áreas de solos de baixa fertilidade natural, conseqüentemente, a agricultura deve ser praticada com manejo que permita investimentos em fertilizantes e corretivos do solo. A deficiência de água, também, limita severamente a agricultura não irrigada em boa parte do estado, onde predominam os tipos climáticos mais secos. Em virtude do relevo mais movimentado, os problemas relacionados com deficiência de oxigênio são pouco expressivos e localizados, principalmente, em várzeas e em solos rasos. A erosão, mesmo em terras de relevo suavizado, pode ser limitante em razão da maior erodibilidade dos Latossolos de textura média e do comprimento de rampa. A mecanização da agricultura é mais limitada pela declividade do solo e pela presença de camadas de pedregosidade e rochosidade, especialmente, nas regiões serranas.

A análise espacial contribui como subsídio à tomada de decisões e a conseqüente intervenção no espaço nas diversas áreas do conhecimento, especialmente, na gestão de recursos naturais. Uma das vantagens de análise de dados georreferenciados é a capacidade de sua manipulação para produzir novas informações. A análise espacial é um dos aspectos mais importantes no planejamento com vistas à sustentabilidade. A visualização dos resultados de uma análise em SIG possibilita um melhor entendimento dos problemas e, conseqüentemente, agiliza as soluções ou as medidas mitigadoras.

O mapeamento da aptidão agrícola faz parte de um processo contínuo, que necessita ser atualizado na disponibilidade de materiais ou métodos para detalhar e ampliar informações, tornando-o mais próximo da realidade.

## REFERÊNCIAS

ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de convergência do atlântico sul. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 17–22, dez. 1998.

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration** - guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

AMARAL, F. C. S. do. et al. **Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 95 p.

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9-13, jun. 1986.

ASSAD, E. D. et al. Uso de modelos numéricos de terreno na espacialização de épocas de plantio. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993. p. 231-248.

ASSAD, M. L. L.; HAMADA, E.; CAVALERI, A. Sistema de informações geográficas na avaliação de terras para a agricultura. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPA, 1998. p. 191-232.

ASSAD, M. L. L. Uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola de terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 133-139, jan./abr. 1995.

BAHIA FILHO, A. F. C. et al. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 221-226, set./dez. 1983.

BEEK, K. J.; BENNEMA, J.; CAMARGO, M. N. Soil survey interpretation in Brazil. A system of land capability classification for reconnaissance surveys. Wageningen: DPES/FAO/STIBOKA, 1964. 36 p.

BENNEMA, J.; BEEK, K. J.; CAMARGO, M. N. **Interpretação de levantamento de solos no Brasil: um sistema de classificação de capacidade de**

uso da terra para levantamentos de reconhecimento de solos. Rio de Janeiro: DPFS/DPEA/FAO, 1965. 50 p. (Mimeografado).

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1961-1990)**. Brasília, 1992. 84 p.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographic information systems for land resources assesment**. Oxford: Osgord University, 1986. 193 p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.) **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-CPA, 1998. p. 191-232.

CARVALHO FILHO, A. de; CURI, N.; FONSECA, S. da. **Sistema informatizado e validado de avaliação da aptidão silvicultural das terras dos tabuleiros costeiros brasileiros para eucalipto**. Lavras: Editora UFLA, 2013. 138 p.

CARVALHO, L. G. et al. (Ed.).Clima. In: SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, L. M. T. (Ed.). **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: zoneamento e cenário exploratórios**. Lavras: Editora UFLA, 2008a. p. 89-101.

CARVALHO, L. G. et al. Uso de Sistema de Informações Geográficas e Geoestatística para a caracterização do clima de Minas Gerais com base no índice de umidade de Thornthwaite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: A Meteorologia a Serviço da Sociedade, 2006.

CARVALHO, L. G. et al. Zoneamento da cana-de-açúcar e do eucalipto: aspectos geofísicos e bióticos. In: SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, L. M. T. (Ed.). **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: zoneamento e cenário exploratórios**. Lavras: Editora UFLA, 2008b. p. 53-60.

CHAVES, A. A. et al. Uso das terras da parte norte da bacia do Rio descoberto, Distrito Federal, Brasil. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 711-718, jul./set. 2010.

COSTA, A. M. et al. Anoxic risk evaluation for *Eucalyptus* in Rio Grande do Sul State, through soils survey. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 367-375, dez. 2009.

COSTA, J. M. N.; ANTUNES, F. Z.; SANTANA, D. P. Zoneamento agroclimático e planejamento agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 14-17, jun. 1986.

CURI, N. et al. Problemas relativos ao uso, manejo e conservação do solo em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 5-16, 1992.

CURI, N. Interpretação e decodificação do levantamento de solos das áreas da Aracruz Celulose S.A. no Espírito Santo e sul da Bahia para o cultivo de eucalipto. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose SA no Espírito Santo e sul da Bahia para o cultivo de eucalipto**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 2000. p. 70-80 (Boletim de Pesquisa, 1).

DELARMELINDA, E. A. et al. Avaliação da aptidão agrícola de solos do Acre por diferentes especialistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, n. 6, p. 1841-1853, nov./dez. 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. ver. e ampl. Brasília, 2013. 353 p.

FERNANDES, M. R. Efeitos da mecanização intensiva em áreas de cerrado. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 9, n. 103, p. 12-16, jun. 1983.

FERREIRA, F. C. et al. O papel do geoprocessamento na preservação do patrimônio cultural nacional nos municípios de Porto Seguro e Santa Cruz Cabrália, Bahia: procedimentos e desafios. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011. Curitiba. **Anais...** INPE, Curitiba. 2011.

FERREIRA, M. M. **Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas dos latossolos brasileiros**. 1988. 79 p. Tese (Doutorado em Solos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.



FORMAGGIO, A. R.; ALVES, D. S.; EIPHANIO, J. C. N. Sistemas de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 16, n. 2, p. 249-256, maio/ago. 1992.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos de Minas Gerais**: legenda expandida. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente/UFV/CETEC/UFLA/FEAM, 2010. 49 p.

GIAROLA, N. B. F. **levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras da região sob influência do reservatório de Itutinga/Camargos (MG)**. 1994. 226 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1994.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, n. 2, p. 567-577, mar./abr. 2011.

HOWELER, R. H. Iron-induced orange disease of rice in relation to physico-chemical changes in a flooded oxisol. **Soil Science Society American Proceeding**, Madison, v. 73, n. 6, p. 898-903, Nov./Dec. 1973.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.

JAYAWEERA, G. R.; BIGGAR, J. W. Role of redox potential in chemical transformations of selenium in soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 60, 4, p. 1056-1063, July/Aug. 1996.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (PEDOGÊNESE). In: KER, J. C. et al. **Pedologia**: fundamentos. Viçosa, MG: SBCS, 2012. p. 207-302.

LACERDA, M. P. C.; BAHIA, V. G. Material de origem x erodibilidade dos solos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 10-18, ago. 1998.

LEMOS FILHO, L. C. de A. et al. Análise espaço-temporal da evapotranspiração de referência para Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1462-1469, set./out. 2007.

- LEPSCH, I. P. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação.** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175 p.
- LOPES, A. S. Agronegócio e recursos naturais: desafios para uma coexistência harmônica e menor degradação ambiental. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 29, n. 244, p. 89-99, maio/jun. 2008.
- MACHADO, M. L. et al. Zoneamento agropedoclimático da mamona para o estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p. 72-78, nov./dez. 2007.
- MARQUES, A. F. S. M. et al. Proposição metodológica para a cartografia de solos e aptidão agrícola: estudo de caso para a Bacia do Rio Paracatu. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 1, p. 1-17, jan./fev. 2012.
- MARQUES, A. F. S. M. **Proposta de modificações ao sistema brasileiro de aptidão agrícola das terras.** Belo Horizonte: FAO, 2004. 14 p. (Folheto).
- MEIRELES, E. J. L. et al. Zoneamento agroclimático: um estudo de caso para o café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p. 50-57, nov./dez. 2007.
- MONTÁS RAMÍRES, L. et al. Effect of phosphorus, potassium and zinc fertilizers on iron toxicity in wetland rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Soil**, v. 239, p. 197-206, 2002.
- MOTTA, P. E. F. et al. **Levantamento pedológico detalhado, erosão dos solos, uso atual e aptidão agrícola das terras de microbacia piloto na região sob influência do reservatório da hidrelétrica de Itutinga/Camargos-MG.** Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais/Universidade Federal de Lavras, 2001. 51 p.
- MOURA, L. C. et al. A aptidão agrícola das terras do município de Machado/MG e a cafeicultura. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 17, n. 28, p. 141-162, jan./jun. 2007.
- NAIME, U. J. et al. **Avaliação da aptidão agrícola das terras da Zona Campos das Vertentes-MG.** 1. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 58 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 91).

NASA. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 2000. Land Information Worldwide Mapping, LLC. Raster, 1:50000. 2005.

NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E.; INDA JÚNIOR, A.V. Aptidão de uso dos solos e meio ambiente. In: AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A. (Ed.). **Solos & ambiente: I fórum solos & ambiente**. Santa Maria: Pallotti, 2004. p. 41-57.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para o seu reconhecimento**. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201 p.

PACHECO, E. P. et al. **Aptidão natural para mecanização agrícola dos solos do Estado do Acre**. Rio Branco: EMBRAPA ACRE, 2001. p. 1-6. (Comunicado Técnico, 129).

PIMENTEL, D. et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. **Science**, New York, v. 267, n. 5201, p. 1117-1123, Feb. 1995.

PRUSKY, F. F.; MIRANDA, A. C. R.; NUNES, A. A. Manejo do solo e da água nas propriedades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 33, n. 271, p. 32-43, nov./dez. 2012.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPq, 1995. 65 p.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras do Brasil: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – SOLOS, 1999. 36 p.

RESENDE, M. Clima do solo: suas relações com o ambiente agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 43-59, jul. 1986.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. Lavras: UFLA, 2007. 322 p.

RESENDE, M. Sistema de classificação da aptidão agrícola dos solos (FAO/brasileiro) para algumas culturas específicas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 9, n. 105, p. 83-88, set. 1983.

RESENDE, M.; CURI, N.; SANTANA, D. P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Lavras: ESAL/Piracicaba: POTAFOS, 1988. 81 p.

RESENDE, M.; REZENDE, S. B. Levantamento de solos: uma estratificação de ambientes. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 9, n. 105, p. 3-25, set. 1983.

SAH, R. N.; MIKKELSEN, D. S.; HAFEZ, A. A. Phosphorus behavior in flooded-drained soils. II. Iron transformation e phosphorus sorption. **Soil Science Society American Journal**, v. 53, p.1723-1729, 1989.

SAMPAIO, M. S. et al. Uso de sistema de informação geográfica para comparar a classificação climática de Koppen-Geiger e de Thornthwaite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, SBSR, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. p. 8857-8864.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, D. A.; CARVALHO, L. M. T. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: zoneamento e cenário exploratórios**. Lavras: Editora UFLA, 2008. 136 p.

SEDIYAMA, G.; MELLO Jr., J. C. Modelos para estimativas das temperaturas normais mensais médias, máximas, mínimas e anual no estado de Minas Gerais. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 6, n. 1, p. 57-61, 1998.

SILVA, A. C.; LIMA, J. M. de; CURI, N. Relação entre voçorocas, uso da terra, solos e materiais de origem na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 459-464, set./dez. 1993.

SILVA, A. M. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1811-1820, nov./dez. 2009.

SILVA, E. B.; NOGUEIRA, R. E.; UBERTI, A. A. A. Avaliação da aptidão agrícola das terras como subsídio ao assentamento de famílias rurais, utilizando sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1977-1990, nov./dez. 2010.

SILVA, J. M. L. et al. **Avaliação da aptidão agrícola das terras do Campo Experimental de Ouro Preto D'Oeste-Rondônia**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. (Documentos Embrapa Amazônia Oriental, 20).

SILVA, M. A. V.; BARROS, A. H. **Zoneamento de aptidão climática do Estado de Pernambuco para três distintos cenários pluviométricos**. Recife: Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária, 2002. 51 p. (Boletim do Ipa).

SILVA, M. L. N. et al. Comparação entre métodos diretos e indiretos para determinação da erodibilidade em latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 11, p. 1751-1761, nov. 1994.

SOUSA, A. R. et al. Aptidão agrícola das terras do município de Tracunhaém-Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 15, p. 70-75, jan./dez. 2010.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55-94, Jan. 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: C.W. Thornthwaite & Associates, 1955. v. 8, 104 p. (Publications in Climatology 1).

TURNER, F. T.; PATRICK, W. H. Chemical changes in waterlogged soils as a result of oxygen depletion. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 9., 1968, Adelaide. **Anais...** Adelaide: Transactions, 1968. p. 53-65.

VALLADARES, G. S.; HOTT, M. C.; QUARTAROLI, C. F. **Aptidão agrícola das terras do nordeste do estado de São Paulo**. Campinas, 2008. (Circular Técnica, 15). Disponível em: <[http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/cit15\\_apt\\_ABAG.pdf](http://www.cnpm.embrapa.br/publica/download/cit15_apt_ABAG.pdf)>. Acesso em: 1 out. 2012.

VARGAS, T. D. et al. Sistema de informações geográficas como ferramenta para o manejo de bacias hidrográficas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 263, p. 12-20, jul./ago. 2011.

VENTURIM, R. P.; BAHIA, V. G. Considerações sobre os principais solos de Minas Gerais e sua susceptibilidade à erosão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 19, n. 191, p. 7-9, ago. 1998.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV/Imprensa Universitária, 1991. 449 p.

VIANELLO, R. L.; MAIA, L. F. P. G. Estudo preliminar da climatologia dinâmica do estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 7-8, jun. 1986.

VIEIRA, T. G. C. et al. Sistema de Geoinformação para a cafeicultura do Sul de Minas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p. 16-26, nov./dez. 2007.

**CAPÍTULO 2 Mapa de solos, conhecimento de campo, inventário florestal e zoneamento ecológico-econômico como base para a aptidão agrícola das terras em Minas Gerais elaborada EM SIG**

**RESUMO**

As terras (conceito mais abrangente do que solos, incluindo todos os elementos do ambiente: solos, geologia, relevo, clima, recursos hídricos, flora e fauna, além dos efeitos da ação antrópica) do estado de Minas Gerais estão em diferentes condições de solo, clima e sócio-economia, portanto, são distintas as vocações para produção de bens agrícolas e o mapeamento da vocação agrícola do estado é fundamental para o planejamento norteado da sustentabilidade. O geoprocessamento utiliza técnicas de tratamento da informação geográfica e o SIG permite avaliar com mapas digitais os fenômenos geográficos e suas interrelações. Objetivando avaliar a vocação agrícola das terras do estado, utilizaram-se o mapa de solos, o conhecimento de campo, o inventário florestal e o banco de dados relacionados ao Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) de Minas Gerais, para elaborar em SIG, o mapa de aptidão agrícola. Para tal, combinaram-se os mapas de fertilidade do solo, deficiência de água, deficiência de oxigênio, vulnerabilidade à erosão e de impedimentos à mecanização. Em termos de expressão geográfica, o principal fator limitante das terras é a fertilidade do solo, seguido pela deficiência de água, impedimentos à mecanização e vulnerabilidade à erosão. Quanto à aptidão agrícola, o grupo 2 (aptidão regular para lavouras) é o de maior abrangência, representando 45,13% do estado. Para os níveis de manejo A e B, baixo e moderado nível tecnológico, respectivamente, a classe de aptidão mais expressiva é a regular, seguida pela classe restrita e, por último, a classe adequada, enquanto para o nível de manejo C (alto nível tecnológico), a classe predominante é a restrita. O tipo de utilização mais intensivo predominante é para lavouras, cuja área aumenta, substancialmente, com investimento de capital e tecnologia (níveis de manejo B e C).

Palavras-chave: Geoprocessamento. Vocação agrícola das terras. Sustentabilidade. Análise multicritério.

## ABSTRACT

Lands (broader concept than soils, including all of the environmental elements: soils, geology, topography, climate, water resources, flora and fauna, as well as the effects of anthropogenic activities) of the state of Minas Gerais, Brazil, are in different soil, climate and socio-economic conditions, therefore, the vocations for the production of agricultural goods, and the mapping of agricultural vocation of the state is crucial for planning guided sustainability. Geoprocessing uses geographic information treatment techniques (GIS), which allows us to evaluate geographic phenomena and their interrelationships using digital maps. With the aim of evaluating the agricultural vocation of state lands, we used soil maps, field knowledge, forest inventory and databases regarding Ecological-Economic Zoning (EEZ) of Minas Gerais, to develop an agriculture suitability map in GIS. In order to do this, we combined soil fertility, water and oxygen deficiency, vulnerability to erosion and impediments to mechanization maps. In terms of geographical expression, the main limiting factor is soil fertility, followed by water deficiency, impediments to mechanization and vulnerability to erosion. Regarding agricultural suitability, group 2 (regular suitability for crops) is the most extensive, representing 45.13% of the state. For management levels A and B, low and moderate technological level, respectively, the most expressive suitability class is the regular, followed by the restricted class and, lastly, the adequate class; while for management level C (high technological level) the predominant class is the restricted. The predominant most intensive use type is for crops, of which area increases substantially with capital and technology investments (management levels B and C).

Keywords: Geoprocessing. Land vocation for agriculture. Sustainability. Multicriteria analysis.



## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura depende em grande parte da natureza e o uso inadequado das terras (conceito mais abrangente do que solos, incluindo todos os elementos do ambiente: solos, geologia, relevo, clima, recursos hídricos, flora e fauna, além dos efeitos da ação antrópica) é uma das principais causas da degradação ambiental, com perda da competitividade do setor agrícola e da qualidade de vida da população (CURI et al., 1992). O estado de Minas Gerais apresenta regiões com distintas condições de solo, clima e sócio-economia, portanto, com diferentes vocações para produzir bens agrícolas.

A avaliação da aptidão agrícola das terras consiste na interpretação das qualidades do ecossistema, por meio da estimativa das limitações das terras, para uso agrícola e das possibilidades de correção ou redução dessas limitações, com diferentes níveis de manejo (NAIME et al., 2006). O uso da terra, segundo sua vocação, previne sua subutilização (RAMALHO FILHO; PEREIRA, 1999), situação que envolve riscos para a sustentabilidade (NASCIMENTO; GIASSON; INDA JÚNIOR, 2004).

O sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (SAAAT) é um método flexível, podendo ser adaptado conforme a necessidade (MOURA et al., 2007). Realiza a avaliação das terras, com base em cinco parâmetros do ambiente, considerados fundamentais para as culturas, numa síntese do ecossistema (RESENDE et al., 2007): fertilidade natural, deficiência de água, deficiência de oxigênio, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização.

O geoprocessamento utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. O uso de sistema de informações geográficas (SIG) permite a análise espacial da aptidão agrícola das terras e das suas principais limitações, agilizando o trabalho, quando comparado com métodos manuais (SILVA; NOGUEIRA; UBERTI, 2010).

Utilizando SAAAT, Amaral et al. (2004) realizaram a avaliação da aptidão agrícola das terras do estado de Minas Gerais. Posteriormente, foram disponibilizados o mapa digital de solos (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, FEAM, 2010) e um vasto banco de dados digitais, relacionados ao Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do estado de Minas Gerais (SCOLFORO; OLIVEIRA; CARVALHO, 2008). Objetivou-se neste trabalho elaborar o mapa de aptidão agrícola das terras do estado de Minas Gerais em SIG, utilizando os dados digitais atualmente disponíveis, amparado pelo conhecimento de campo e pelas informações dos boletins de levantamentos de solos.

Entende-se que este trabalho permite ajustes em nível regional, municipal e local, representando uma moldura didática para informação e tomada de decisões, inclusive, levantando lacunas de conhecimento e prioridades para futuros estudos mais detalhados.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estado de Minas Gerais localiza-se no Sudeste do Brasil e apresenta área de 586.522,122 km<sup>2</sup> (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, 2010). A avaliação da aptidão agrícola de suas terras seguiu a metodologia formulada por Ramalho Filho; Beek (1995), com adaptações e adequações, cuja estrutura e simbologia são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 Simbologia correspondente às classes de aptidão agrícola das terras

Classe de aptidão agrícola das terras	Tipos de utilização					
	Lavouras			Pastagem plantada	Silvicultura	Pastagem natural
	Nível de manejo			Nível de manejo	Nível de manejo	Nível de manejo
	A	B	C	B	B	A
Boa	A	B	C	P	S	N
Regular	a	b	c	p	s	n
Restrita	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)
Inadequada						

As letras maiúsculas, minúsculas ou minúsculas entre parênteses são indicativas da classe de aptidão de acordo com os níveis de manejo. Ausência de letra simboliza a classe inadequada.

Fonte: Ramalho Filho e Beek (1995).

As bases de dados foram o mapa de solos do estado de Minas Gerais (FEAM, 2010), o modelo digital de elevação (MDE), obtido a partir da imagem SRTM de sensoriamento remoto (NASA, 2005), o zoneamento climático do estado, com base no índice de umidade de Thornthwaite (CARVALHO et al., 2008), o mapa da vulnerabilidade dos solos à erosão (CURI et al., 2008) e o inventário florestal de Minas Gerais (CARVALHO; SCOLFORO, 2008). Nas situações em que os bancos de dados não refletiram o conhecimento acumulado, foram feitos ajustes com base na experiência de campo. Todos os mapas foram

convertidos para o sistema de projeção continental Albers, formato matricial (raster) e pixel de 270 m.

Baseando-se nas legendas do mapa de solos (FEAM, 2010), gerou-se, no programa ArcGis<sup>®</sup> da ESRI (Environmental Systems Resources Institute), a tabela de atributos das unidades de mapeamento com informações de saturação por bases, tipo de horizonte A, atividade da fração argila e vegetação nativa. Esses atributos foram combinados nas 303 unidades de mapeamento (2.923 polígonos), para as quais atribuíram-se pesos de 1 a 5, conforme seus graus de limitação. No caso das associações de solos (agrupamento de unidades taxonômicas que ocorrem juntas na paisagem), considerou-se a unidade de mapeamento em função do componente majoritário. Posteriormente, esses atributos foram convertidos em formato *raster*, gerando os respectivos mapas auxiliares que foram combinados, mediante os critérios definidos na tabela 2, obtendo-se o mapa de fertilidade do solo.

Tabela 2 Graus de limitação por deficiência de fertilidade

GRAU	CARACTERÍSTICAS
Nulo (N) Valor do pixel= 1	Solos eutróficos e com presença de argila de atividade alta (Ta), ou Tb (argila de atividade baixa) com horizonte A chernozêmico sem, no entanto, apresentar toxidez por sais solúveis, sódio trocável ou outros elementos tóxicos às plantas. Assemelha-se às classes muito baixo a baixo para valores de m e muito bom a bom para valores de V%.
Ligeiro (L) Valor do pixel= 2	Solos eutróficos, mas com presença de argila de atividade baixa (Tb), sem, no entanto, apresentar toxidez por sais solúveis, sódio trocável ou outros elementos tóxicos às plantas. Assemelha-se às classes baixo para valores de m e médio a bom para valores de V%.
Moderado (M) Valor do pixel= 3	Solos distróficos e com presença de argila de atividade baixa (Tb) sem, no entanto, apresentar toxidez por sais solúveis, sódio trocável ou outros elementos tóxicos às plantas. Assemelha-se às classes baixo a médio para valores de m e baixo para valores de V%.
Forte (F) Valor do pixel= 4	Solos distróficos e com presença de argila de atividade baixa (Tb) sem, no entanto, apresentar saturação por alumínio (m) tão elevada que possa inviabilizar a adoção do manejo A (baixo nível tecnológico). Assemelha-se às classes alto a muito alto para valores de m e muito baixo a baixo para valores de V%.
Muito forte (MF) Valor do pixel= 5	Solos álicos ou distróficos, mas com valores de T muito baixos, como é o caso dos solos perférricos, onde a exploração sob o nível de manejo A é inviável. Também solos com problemas de salinidade ou sodicidade.

Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho e Beek (1995) e Carvalho Filho, Curi e Fonseca (2013).

Combinando-se o mapa de zoneamento climático do estado de Minas Gerais, com base no índice de umidade de Thornthwaite (Iu) (CARVALHO et al., 2008), com o mapa de vegetação (CARVALHO; SCOLFORO, 2008) e adotando-se para inferir o regime hídrico do solo as fases de vegetação nativa (LEMONS; SANTOS, 1996), tomando-se como referência os critérios definidos na tabela 3, determinaram-se os graus de limitação para gerar o mapa de

deficiência de água no solo. O mapa de vegetação foi modificado de modo a reclassificar os *pixels* das regiões antropizadas, onde não há informação sobre a vegetação nativa (classe “outros” no mapa de vegetação), para o provável tipo de vegetação nativa. Para isso, assumiu-se que a vegetação original de um local antropizado era a mesma do local não antropizado que lhe for mais próximo.

Tabela 3 Graus de limitação por deficiência de água

GRAU	CARACTERÍSTICAS
Nulo (N) Valor do pixel= 1	Vegetação nativa várzea, campos hidrófilos ou higrófilos ou classificação climática A-superúmido ( $Iu \geq 100$ ).
Ligeiro (L) Valor do pixel= 2	Vegetação nativa floresta ombrófila ou classificação climática B4- úmido ( $80 \leq Iu < 100$ ) ou B3- úmido ( $60 \leq Iu < 80$ ) ou B2- úmido ( $40 \leq Iu < 60$ ).
Moderado (M) Valor do pixel= 3	Vegetação nativa floresta estacional semidecidual, cerrado e cerrado ou classificação climática B1- úmido ( $20 \leq Iu < 40$ ).
Forte (F) Valor do pixel= 4	Vegetação nativa floresta estacional decidual, campo e campo cerrado ou classificação climática C2- subúmido ( $0 \leq Iu < 20$ ).
Muito forte (MF) Valor do pixel= 5	Vegetação nativa caatinga hipoxerófila ou classificação climática C1- subúmido seco ( $-33,3 \leq Iu < 0$ ) ou D- semi-árido ( $-66,7 \leq Iu < -33,3$ ).

Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho e Beek (1995) e Carvalho et al. (2008a).

O mapa de deficiência de oxigênio foi gerado a partir do mapa de solos (FEAM, 2010), atribuindo-se às classes de solo os valores relativos aos graus de limitação definidos na tabela 4, com base nas condições de drenagem. Adaptou-se o mapa de condições de drenagem do solo para o mapa de deficiência de oxigênio.

Tabela 4 Graus de limitação por excesso de água ou falta de oxigênio, considerando atributos e classes de solo

GRAU	CARACTERÍSTICAS
Nulo (N) Valor do pixel= 1	Solos excessivamente drenados sem presença de horizontes gleizados ou mesmo plintita. Latossolo e Neossolo Quartzarênico.
Ligeiro (L) Valor do pixel= 2	Solos bem a moderadamente drenados com pequena deficiência de aeração às culturas sensíveis, durante a estação chuvosa. Argissolo, Cambissolo Háplico e Cambissolo Húmico, Luvisso Crômico, Nitossolo.
Moderado (M) Valor do pixel= 3	Solos moderadamente a imperfeitamente drenados com maior restrição às culturas sensíveis à deficiência de aeração, durante a estação chuvosa. Gleissolo Háplico, Neossolo Litólico, Neossolo Flúvico, Cambissolo Flúvico.
Forte (F) Valor do pixel= 4	Típico de solos minerais hidromórficos, mal a muito mal drenados, sujeitos a inundações frequentes, com camada gleizada à altura do sistema radicular das espécies anuais. Geralmente, para serem explorados, envolvem obras viáveis ao alcance do agricultor. Gleissolo Melânico.
Muito forte (MF) Valor do pixel= 5	Basicamente solos minerais com mais alto grau de hidromorfismo. Obras de drenagem são desaconselháveis e fora do alcance do agricultor. Planossolo Háplico, Plintossolo Argilúvico.

Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho e Beek (1995) e FEAM (2010).

Para o fator erosão, utilizou-se o mapa de vulnerabilidade dos solos à erosão (CURI et al., 2008), discutido mais adiante neste texto, que relaciona os mapas de risco de erosão, de intensidade das chuvas e da exposição do solo ao impacto direto das gotas de chuva. As cinco classes de vulnerabilidade (muito baixa, baixa, média, alta e muito alta) foram utilizadas para estabelecer os graus de limitação por vulnerabilidade do solo à erosão, conforme a tabela 5.

Tabela 5 Graus de limitação por vulnerabilidade à erosão

GRAU	CARACTERÍSTICAS
Nulo (N) Valor do pixel= 1	Solos com vulnerabilidade muito baixa à erosão.
Ligeiro (L) Valor do pixel= 2	Solos com vulnerabilidade baixa à erosão.
Moderado (M) Valor do pixel= 3	Solos com vulnerabilidade média à erosão.
Forte (F) Valor do pixel= 4	Solos com vulnerabilidade alta à erosão.
Muito forte (MF) Valor do pixel= 5	Solos com vulnerabilidade muito alta à erosão.

Fonte: Curi et al. (2008).

A partir do mapa de solos e do mapa de classes de relevo e do mapa de solos e do mapa de classes de relevo, gerou-se o mapa *raster* de impedimentos à mecanização. Obteve-se o mapa de classes de relevo, conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA (2006), a partir do MDE derivado do mosaico das imagens do estado de Minas Gerais, com pixel de 90 m, obtidas da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (NASA, 2005). Posteriormente, o mapa de relevo foi reamostrado para tamanho de *pixel* de 270 m consoante àquele adotado no ZEE (SCOLFORO; OLIVEIRA; CARVALHO, 2008). Do mapa de solos, foram produzidos mapas *raster* auxiliares de textura do solo, presença de pedregosidade no perfil e profundidade do solo, atribuindo-se às unidades de mapeamento os valores relativos aos graus de limitação relacionados a esses atributos, definidos na tabela 6. Combinando os mapas auxiliares e de relevo gerou-se o mapa de impedimentos à mecanização.



Tabela 6 Graus de limitação por impedimentos à mecanização, considerando atributos e classes de solo

GRAU	CARACTERÍSTICAS
Nulo (N) Valor do pixel= 1	Relevo plano (declive menor que 3%), solos com drenagem livre, textura média, sem a presença de pedregosidade, rochiosidade ou cascalho ou outros impedimentos à utilização de qualquer máquina ou implemento agrícola durante todo o ano com alto índice de eficiência. Solos profundos (Latosolos e Neossolos Quartzarênicos).
Ligeiro (L) Valor do pixel= 2	Relevo suave ondulado (3 a 8% de declive), ocorrência de limitações que diminuem a eficiência da mecanização como cascalho, camada adensada em profundidade ou textura arenosa. Permite a utilização da maioria das máquinas ou implementos agrícolas durante quase todo o ano. Solos de profundidade média (Nitossolos e Argissolos).
Moderado (M) Valor do pixel= 3	Relevo ondulado (8 a 20% de declive), ocorrência de limitações que diminuem a eficiência da mecanização como cascalhento, textura argilosa, ou por restrições de drenagem. Não é possível o emprego da maioria das máquinas agrícolas durante todo o ano (Cambissolos, Plintossolos e Gleissolos).
Forte (F) Valor do pixel= 4	Relevo forte ondulado (20 a 45% de declive), ocorrência de outras limitações como pedregosidade, rochiosidade ou textura muito argilosa, de forma a restringir as possibilidades de mecanização a equipamentos especiais. Permite somente o uso de implementos de tração animal ou máquinas com rodado especial (Neossolos Litólicos).
Muito forte (MF) Valor do pixel= 5	Não permite o uso de maquinário, seja por tração motorizada ou animal. Relevo montanhoso ou escarpado (declive maior que 45%), ocorrência de outras limitações como rochiosidade, Pedregosidade ou solos rasos, que impeçam o uso de máquinas (Afloramento rochoso associado a Neossolos Litólicos).

Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho e Beek (1995) e FEAM (2010).

Atribuíram-se os graus de limitação (nulo= 1, ligeiro= 2, moderado= 3, forte= 4 e muito forte= 5) às terras em condições naturais e, também, após o

emprego de práticas de melhoramento compatíveis com os diferentes níveis de manejo, de modo a diagnosticar o comportamento das terras, sob diferentes níveis tecnológicos, de acordo com o quadro guia (Tabela 8). Adotaram-se três níveis de manejo: nível A, nível B e nível C (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995), definidos na tabela 7, que representam baixo, médio e alto nível tecnológico, tendo em vista práticas agrícolas, economicamente, viáveis ao alcance da maioria dos agricultores. Cabe mencionar que o nível A é raro hoje em dia, exceto onde a mecanização é impeditiva.

Para pastagem plantada (P) e silvicultura (S), está previsto o manejo B. No caso da pastagem natural (N) está subentendido manejo A. As terras sem aptidão para uso agrícola, são classificadas como de preservação ou restauração de flora e fauna. A possibilidade de irrigação não é considerada, mas são estimuladas as práticas que aumentem a retenção de água no solo e, ou, facilitem sua infiltração (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995).

Tabela 7 Níveis de manejo considerados

Nível de Manejo	Características
Nível A	Práticas agrícolas que refletem baixo nível tecnológico. Há pouca aplicação de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras. As práticas agrícolas dependem do trabalho braçal e tração animal. O agricultor é atendido por empresas oficiais de assistência técnica e extensão rural.
Nível B	Práticas agrícolas que refletem nível tecnológico moderado: modesta aplicação de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras. O agricultor é atendido por empresas oficiais e participa de cooperativas ou associações. A mecanização é com base na tração animal ou na tração motorizada com tratores de pequeno porte, próprios ou alugados.
Nível C	Práticas agrícolas que refletem alto nível tecnológico: aplicação intensiva de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras. Há motomecanização nas diversas fases da operação agrícola. O sistema é empresarial e a assistência técnica é própria ou de consultoria especializada.

Fonte: Adaptado e adequado de Ramalho Filho e Beek (1995).

A avaliação das classes, dos grupos e subgrupos de aptidão agrícola das terras foi realizada em ambiente SIG utilizando o software ArcGis<sup>®</sup>. Procedeu-se ao estudo comparativo entre os graus de limitação atribuídos às terras e aqueles estipulados no quadro-guia (Tabela 8).

No ArcGis<sup>®</sup> cada mapa de fatores limitantes foi reclassificado, por meio da função *reclassify*, para que fossem agrupados os *pixels* de mesmo valor, ou seja, que apresentavam o mesmo grau de limitação. Mediante a função *combine*, relacionaram-se os mapas de deficiência de fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio, vulnerabilidade à erosão e impedimentos à mecanização, gerando um mapa com 642 diferentes combinações desses planos conforme os graus de limitação. Na tabela de atributos relacionada a esse mapa,

adicionaram-se colunas para nível de manejo A, nível de manejo B para uso com lavouras e pastagem plantada, nível de manejo B para uso com silvicultura e nível de manejo C. Com o uso da ferramenta *select by attributes* foram aplicadas regras que contemplaram as condições requeridas, em cada linha do quadro-guia, para o nível de manejo considerado.

Tabela 8 Quadro-guia de avaliação da aptidão agrícola das terras, considerando a viabilidade de melhoria

Aptidão agrícola		Graus mais restritivos de limitação das condições agrícolas para os níveis de manejo A, B e C															
Grupo	Subgrupo	Classe	Deficiência de fertilidade			Deficiência de água			Excesso de água			Susceptibilidade à erosão			Impedimento à mecanização		
o	o		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	1ABC	Boa	L	L	L	L	L	L	L	M	L	L	L	L	M	L	N
2	2abc	Regular	M	M	M	M	M	M	M	F	M	M	M	L	M	M	L
3	3(abc)	Restrita	M	M	F	M	F	M	M	F	M	F	M	M	F	M	M
	4P	Boa	F			M			F				M			M	
4	4p	Regular	F			M			F				M			F	
	4(p)	Restrita	F			F			F				M			F	
	5S	Boa	M			M			L				M			M	
	5s	Regular	F			M			L				M			F	
	5(s)	Restrita	MF			F			M				MF			F	
5	5N	Boa	M			M			M				F			MF	
	5n	Regular	F			F			F				F			MF	
	5(n)	Restrita	MF			MF			F				F			MF	
6	6	Inapto															

Fonte: Adaptado de Ramalho Filho e Beek (1995).

Nota: Grau de Limitação: N – nulo; L – ligeiro; M – moderado; F – forte; MF – muito forte;

Aplicaram-se aos *pixels* regras de seleção hierarquizando-se a partir do uso mais intensivo para as terras, 1ABC, em direção ao menos intensivo, Inadequado. Assim foram contempladas todas as 68 possibilidades de enquadramento das terras no sistema, conforme a tabela 9. A cada regra aplicada eram selecionados os *pixels* que a atendiam, definindo a classe de aptidão à qual eles pertenciam. Aqueles que já haviam sido selecionados em uma regra anterior, de uso mais intensivo, eram eliminados da seleção, enquanto os restantes recebiam a simbolização correspondente à atual seleção, de uso menos intensivo que a anterior. Uma vez selecionados, eles receberam o símbolo representativo do subgrupo de aptidão ao qual pertenciam, para cada nível de manejo considerado.

Tabela 9 Caracterização dos possíveis grupos e subgrupos de aptidão agrícola das terras

GRUPO	CARACTERIZAÇÃO	SUBGRUPO
1	Terras com aptidão boa para lavouras de ciclo curto e/ou longo em pelo menos um dos níveis de manejo.	1ABC 1ABc, 1AB(c), 1AB 1aBC, 1(a)BC, 1BC 1Abc, 1Ab(c), 1A(bc), 1Ab, 1A(b), 1A 1aBc, 1aB(c), 1(a)Bc, 1(a)B(c) 1aB, 1Bc, 1(a)B, 1B(c), 1B 1abC, 1(a)bC, 1(ab)C, 1bC, 1(b)C, 1C
2	Terras com aptidão regular para lavouras de ciclo curto e/ou longo em pelo menos um dos níveis de manejo.	2abc 2ab(c), 2ab 2(a)bc, 2bc 2a(bc), 2a(b), 2a 2(a)b(c), 2(a)b, 2b(c), 2b 2(ab)c, 2(b)c, 2c
3	Terras com aptidão restrita para lavouras de ciclo curto e/ou longo em pelo menos um dos níveis de manejo.	3(abc), 3(ab), 3(bc), 3(a), 3(b), 3(c)
4	Terras com aptidão boa, regular ou restrita para pastagem plantada.	4P, 4p, 4(p)
5	Terras com aptidão boa, regular ou restrita para silvicultura ou pastagem natural.	5SN, 5Sn, 5S(n), 5S 5sN, 5sn, 5s(n), 5s 5(s)N, 5(s)n, 5(sn), 5(s) 5N, 5n, 5(n)
6	Terras sem aptidão para uso agrícola.	Inapto

Visando a um refinamento do mapeamento das terras pertencentes às classes 5N, 5n e 5(n), de modo a considerar apenas aquelas terras cuja vegetação nativa tem potencial econômico para pastagem (convém ressaltar que as áreas sob floresta e caatinga não são aqui consideradas aptas para pastagem plantadas, e sua vegetação nativa, por concepção, não apresenta potencial para pastagem natural), elaborou-se o mapa auxiliar de vegetação, com base na legenda do

mapa de solos (FEAM, 2010) e os *pixels* com essas classes de aptidão foram reclassificados segundo os critérios apresentados na tabela 10.

Tabela 10 Potencial econômico da vegetação nativa para uso com pastagem

Tipo de vegetação	Potencial para pastagem
Cerrado e campo gramíneo.	Bom
Campo cerrado, campestre, campo, campo rupestre.	Regular
Floresta e campestre, cerrado e caatinga, cerrado e floresta, vereda.	Restrito
Floresta, caatinga.	Inadequado



### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A classificação da aptidão agrícola das terras foi baseada nas informações pertinentes às características do ecossistema, nas propriedades físicas, químicas e morfológicas das diferentes classes de solo, visando determinar a viabilidade de melhoramento das cinco qualidades básicas das terras: fertilidade natural, deficiência hídrica, deficiência de oxigênio, susceptibilidade à erosão e impedimentos à mecanização. Todo solo desvia-se do solo ideal em uma ou mais das qualidades e em graus diferentes de intensidade classificados como nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte.

#### **3.1 Fertilidade natural**

Da análise conjunta da figura 3 e da tabela 11, verifica-se que é pequena a expressividade (0,3%) de terras com grau nulo de desvio por fertilidade, uma vez que apenas 16,04% são solos eutróficos e entre eles menor ainda é a expressão dos com argila de atividade alta (Ta), 0,06%. O que ameniza a situação é o fato de parte dos solos eutróficos, embora sejam de argila de atividade baixa (Tb), apresentam horizonte A chernozêmico, um indicativo de boa fertilidade que os leva a ser classificados como de grau nulo. As terras com grau ligeiro de desvio por fertilidade representam 15,88%, que são solos eutróficos e de argila de atividade baixa (Tb) que não possuem A chernozêmico, e, por essas razões, requerem modesto investimento em tecnologia e capital, por manejo mais intensivo, para melhorar a fertilidade do solo.

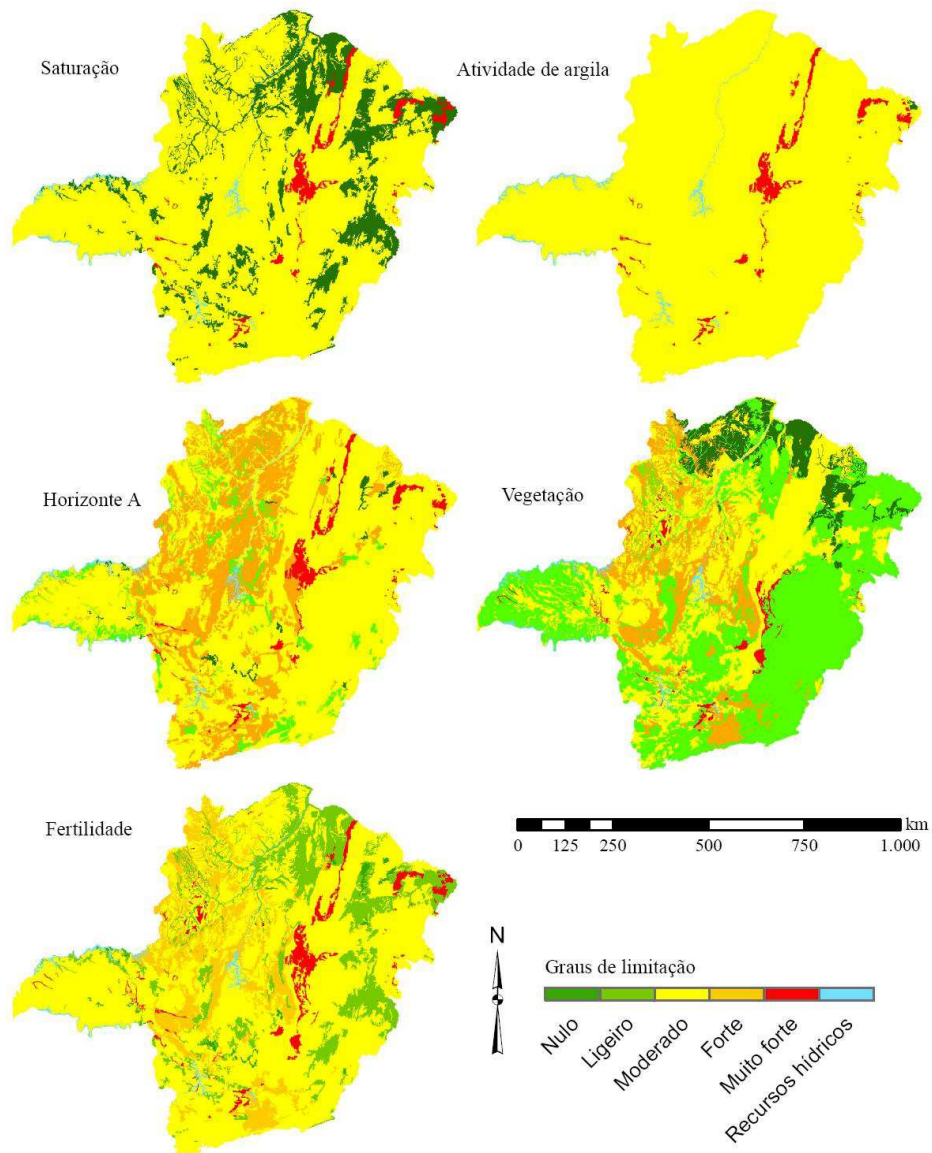


Figura 3 Mapas elaborados em SIG dos atributos do ambiente utilizados para estimar os graus de limitação por fertilidade das terras de Minas Gerais

As terras de grau moderado, por desvio de fertilidade do solo, são as de maior expressão, representando 65,95% do total, influenciadas, principalmente, pela baixa saturação por bases dos solos de Minas Gerais. A expressão da vegetação de cerrado nessas terras indica condições, também, moderadas de saturação por alumínio trocável produzindo efeitos tóxicos às raízes das plantas e menor disponibilidade de alguns nutrientes no solo.

Tabela 11 Porcentagem das terras do estado de Minas Gerais com seus graus de limitação nos fatores do ambiente usados para fertilidade do solo

Grau de limitação	Fertilidade	Saturação	Atividade de argila	Horizonte A	Vegetação
Nulo	0,30	16,04	0,06	0,73	6,76
Ligeiro	15,88	0,00	97,48	4,77	43,90
Moderado	65,95	81,44	0,00	68,85	34,41
Forte	14,37	0,00	0,00	23,19	13,58
Muito forte	3,50	2,52	2,46	2,46	1,35
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

As terras de grau forte de desvio por fertilidade com 14,37% são, também, expressivas, sendo solos distróficos onde predominam a vegetação de campo, indicativa de classe alto a muito alto de saturação por alumínio, portanto, essas condições são suficientes para excluí-las do uso sustentável com lavouras em qualquer dos níveis de manejo, restando-lhes tipos de utilização de intensidade igual a menor que o de pastagens plantadas. As terras com grau de limitação muito forte representam 3,50 % e a maioria está relacionada a regiões do estado onde os afloramentos rochosos são frequentes, todavia, essa condição é suficiente para torná-las restritivas para silvicultura e pastagem natural.

### 3.2 Deficiência de água

Analisando os mapas da figura 4 e a tabela 12, verifica-se que apenas 0,67% das terras são de grau nulo por deficiência de água e essa condição ocorre em regiões da Serra da Mantiqueira no sul do estado, onde o índice de umidade é superior a 100, caracterizando o clima A-superúmido que possui temperaturas médias anuais inferiores a 14 °C e precipitações médias acumuladas superiores a 1750 mm. Nesse ambiente, a evapotranspiração é baixa, ocorrendo restrições térmicas para muitas culturas sensíveis ao frio, sendo comum a ocorrência de geadas no período frio do ano.

As terras de grau de limitação ligeiro por deficiência de água representam 23,87% do estado, abrangendo o sul, parte do sudoeste e Alto São Francisco. O índice de umidade varia de 40 a 100, caracterizando do sul para o Alto São Francisco a sequência dos climas B4-Úmido, B3- Úmido e B2- Úmido.

O clima B4 – Úmido ocorre no extremo sul do estado e possui características de umidade mais elevadas e níveis de temperatura mais baixas, como as de regiões serranas. O intervalo para o índice de umidade de 80 a 100, o índice pluviométrico acima de 1700 mm e as temperaturas amenas diminuem a evapotranspiração, o que condiciona valores do índice de umidade mais elevados. As condições climáticas favorecem a agricultura não irrigada além de favorecerem melhoria na disponibilidade dos recursos hídricos naturais.

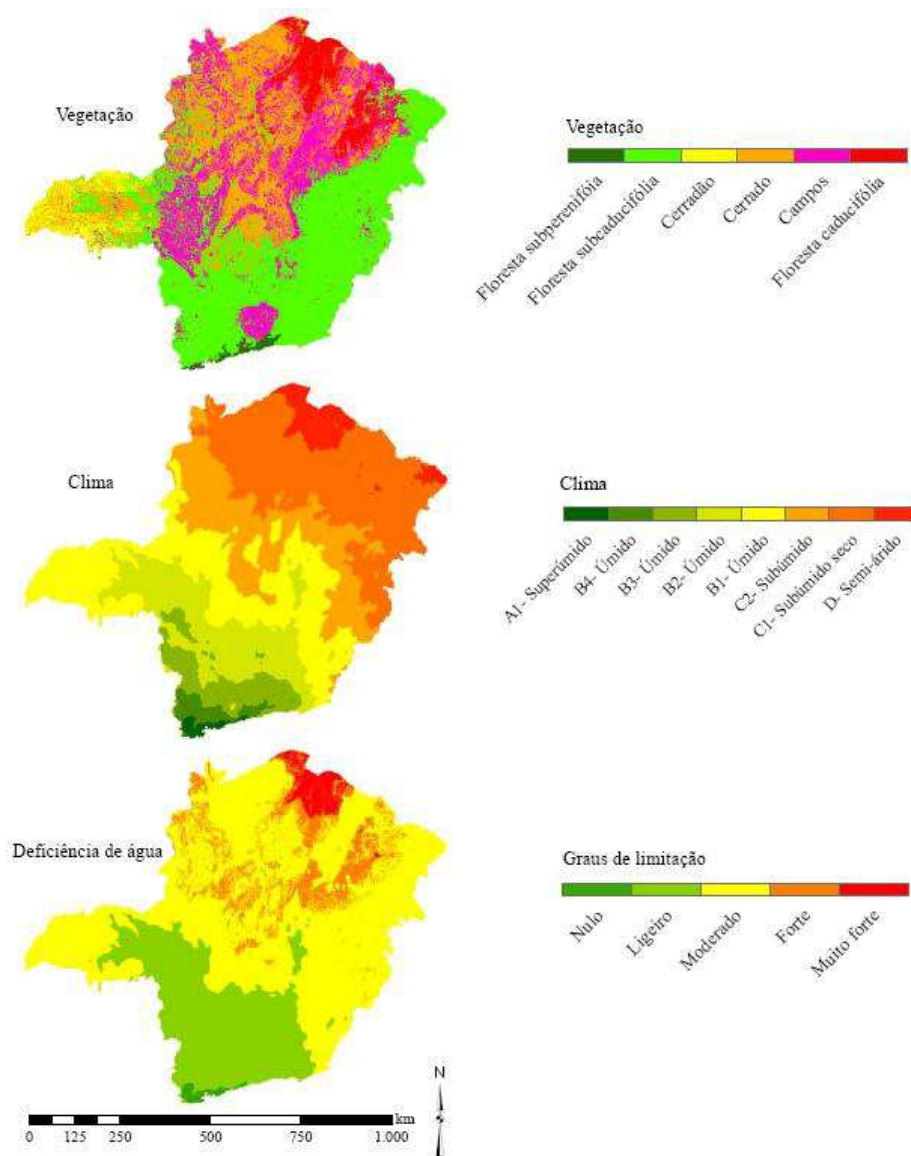


Figura 4 Mapa de vegetação natural interpolado a partir de Carvalho e Scolforo (2008) e mapa de clima (CARVALHO et al., 2008) utilizados para elaborar em SIG o mapa de graus de limitação por deficiência de água das terras de Minas Gerais

O clima B3 – Úmido ocorre no Sul de Minas e possui índice de umidade de 60 a 80, com índice de chuvas anual superior a 1600 mm, podendo a temperatura média anual ser inferior a 18 °C, condições favoráveis a diversas culturas. O clima B2 – Úmido ocorre nas regiões do Triângulo Mineiro, Alto São Francisco, Central e Zona da Mata e possui intervalo para o índice de umidade de 40 a 60, com precipitação total acumulada de 1500 a 1600 mm e médias anuais de temperatura de 19 a 20 °C sendo a evapotranspiração potencial relativamente baixa, porém com deficiência hídrica anual no solo agrícola da ordem de 87 mm. Tais regiões possuem boas condições naturais de desenvolvimento sustentável e, embora predominem as lavouras de verão, bons resultados são alcançados com culturas de entressafra, como milho, sorgo, feijão, girassol etc.

Tabela 12 Porcentagem das terras do estado de Minas Gerais com seus graus de limitação nos fatores do ambiente usados para deficiência de água

Grau de limitação	Deficiência de água	Vegetação	Índice de umidade
Nulo	0,67	0,76	0,68
Ligeiro	23,87	42,89	23,86
Moderado	62,91	28,66	25,03
Forte	9,82	20,98	18,13
Muito forte	2,73	6,71	32,30
Total	100,00	100,00	100,00

As terras de grau de limitação por deficiência de água moderado representam 62,91 % do estado e as de grau forte 9,82%, abrangendo parte das regiões do Triângulo Mineiro, centro, centro-oeste, noroeste, norte, nordeste e leste. O clima B1-Úmido ocorre nas regiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba parte do Noroeste de Minas e parte da Zona da Mata e é caracterizado pelo índice de umidade que varia de 20 a 40, o padrão de chuvas acumuladas

durante o ano é de 1400 a 1700 mm e a temperatura média anual oscila de 18 a 23 °C, com deficiência hídrica anual em valores bastante variáveis, todavia, são regiões de clima favorável à agricultura.

Mais ao centro e em faixa indo do sudeste ao noroeste do estado, predomina o tipo climático C2 – Subúmido onde o índice de umidade está compreendido entre 0 e 20, o índice pluviométrico anual de 1100 a 1400 mm e temperatura média anual 22 °C, condicionando transição entre os climas úmidos e os caracterizados como mais secos. A disponibilidade dos recursos hídricos naturais para a atividade agropecuária requer atenção especial.

Abrangendo o norte do estado em direção a leste, limitando-se com os estados do Espírito Santo e Bahia, ocorre o clima tipo C1 – Subúmido seco, com intervalo do índice de umidade entre -33,3 e 0, verificam-se índices médios anuais de chuvas acumuladas de 850 a 1100 mm e temperaturas médias anuais de 21 a 25 °C , cujo fator climático agravante é a concentração do período chuvoso, muitas vezes em 3 a 4 meses do ano.

Embora se verifiquem diferentes tipos climáticos, B1-Úmido, C2-Subúmido e C1-Subúmido seco, reunidos nos graus moderado e forte de limitação por deficiência de água, o cruzamento do mapa de climas com o mapa de vegetação natural, resultou em melhor espacialização desses graus de limitação, permitindo identificar, dentro de um mesmo tipo climático, diferentes expressões de vegetação que identificam condições pedoclimáticas variáveis. A vegetação natural, por meio do grau de deciduidade das formações vegetais, informou sobre o regime hídrico do solo, sendo indicativa da existência de período seco mais ou menos pronunciado e/ou insuficiência de armazenamento de água no solo. Alguns tipos de vegetação indicam, ainda, sobre a ocorrência de excesso de umidade do solo ou, também, da falta de água.

As terras de grau muito forte de limitação por deficiência de água representam 2,73% do estado e estão localizadas majoritariamente nos extremos

norte e nordeste do estado, onde as condições são de clima D – Semi-árido, com índice de umidade entre  $-66,7$  e  $-33,3$ , índices de chuvas com média anual abaixo de 850 mm e temperaturas com médias anuais superando  $25$  °C, associados com elevadas taxas de evapotranspiração. Nessa região o cruzamento do mapa de climas com o mapa de vegetação, também, resultou em melhor espacialização desse grau de limitação, reforçando a importância da informação da vegetação natural em estudos de aptidão agrícola das terras.

### **3.3 Deficiência de oxigênio**

Os Latossolos são solos muito profundos, com grande quantidade de macroporos e substancial concentração relativa de sesquióxidos de ferro e de alumínio que condicionam a estruturação em grânulos, permitindo a boa drenagem da água pelo perfil, mesmo sendo muito argiloso. Essas mesmas razões fazem com que esses solos sejam os mais bem oxigenados, em relação aos demais, em razão da maior porcentagem de poros. A boa drenagem dos Neossolos Quartzarênicos, em virtude da textura essencialmente arenosa, confere-lhes, também, boa oxigenação.

Analisando conjuntamente a figura 5 e a tabela 13, percebe-se que 57,04 % das terras são de grau nulo por deficiência de oxigênio o que pode ser atribuído à predominância dos Latossolos em Minas Gerais.



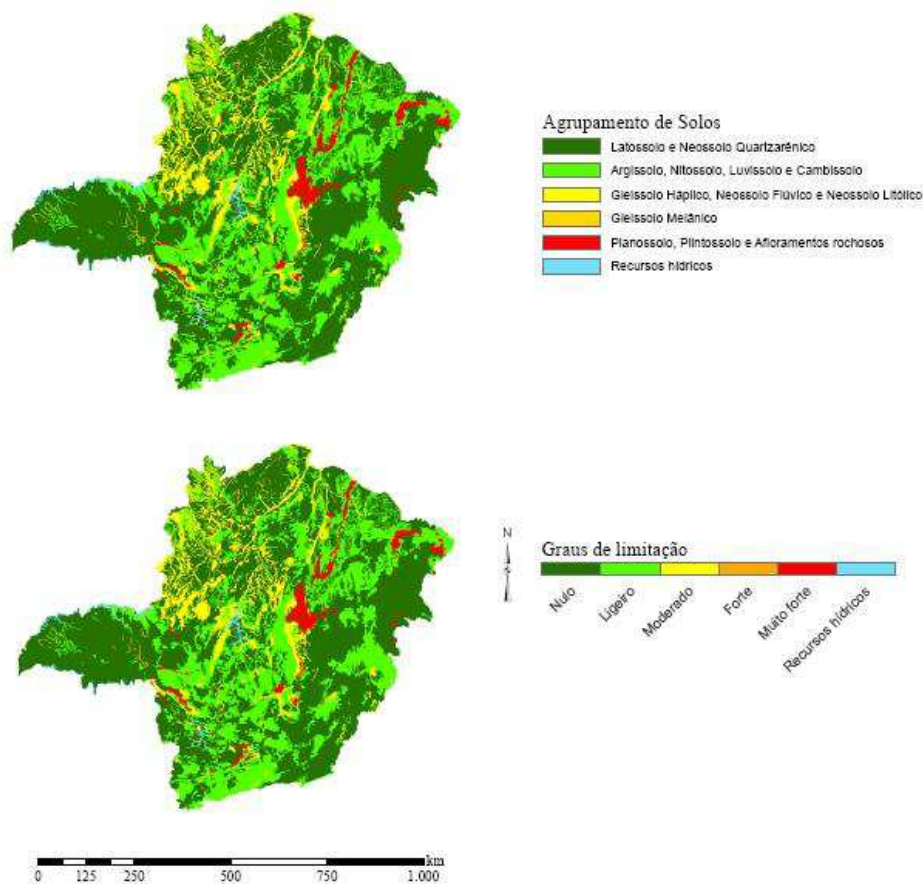


Figura 5 Mapa de agrupamento de solos utilizado para elaborar em SIG o mapa de graus de limitação por deficiência de oxigênio das terras de Minas Gerais

As terras com grau ligeiro, também, são expressivas, com 29,56% da área do estado, podendo ser relacionada, principalmente, à expressão dos Argissolos. Juntas essas duas classes representam 86,60 % das terras do estado que apresentam limitação por deficiência em oxigênio menor que moderada.

Diante do exposto, verifica-se que a predominância em Minas Gerais de solos bem a excessivamente drenados favorece a condição de aeração das terras.

Tabela 13 Porcentagem das terras do estado de Minas Gerais com seus graus de limitação nos fatores do ambiente usados para deficiência de oxigênio

Classe	% do total
Nulo	57,04
Ligeiro	29,56
Moderado	10,53
Forte	0,29
Muito forte	2,58
Total	100,00

Os solos hidromórficos e os Neossolos Flúvicos são desenvolvidos de sedimentos minerais e orgânicos. A heterogeneidade do seu material de origem faz com que a textura e outras características destes solos sejam bastante variáveis. Apresentam sérias limitações ao uso agrícola, principalmente, no que diz respeito à deficiência de oxigênio em decorrência da má drenagem.

As terras de grau de limitação moderado por deficiência de oxigênio representam 10,53% do estado, abrangendo, principalmente, as áreas de várzeas, onde predominam Gleissolos e Neossolos Flúvicos que estão sujeitos a enchentes mesmo que temporárias. Nos Neossolos Litólicos que, por ocasião de chuvas intensas e duradouras, podem sofrer encharcamento, ocorrem, conseqüentemente, condições da deficiência de oxigênio no solo, mesmo que temporária. Pelas próprias características de relevo mais movimentado em Minas Gerais, as terras com graus forte e muito forte em deficiência de oxigênio são pouco expressivas, representando apenas 2,87% do estado.

### **3.4 Vulnerabilidade à erosão**

A vulnerabilidade à erosão relaciona o risco potencial à erosão, à intensidade das chuvas e à exposição do solo ao impacto direto das gotas de chuva. No aspecto de risco potencial à erosão, que considera erodibilidade do solo e relevo (geomorfologia), a erodibilidade dos solos tem dominância da classe baixa na maior parte do estado (CURI et al., 2008), excetuando-se as Zonas Alto São Francisco, Central, Norte e Noroeste de Minas, onde as classes de erodibilidade muito alta e alta sobressaem-se. Todavia, quando esse atributo é cruzado com a declividade do terreno, a situação fica amenizada, em função da ampla expressão geográfica de declividades menores que 20% no estado como um todo.

Por meio da análise conjunta da figura 6 e da tabela 14, verifica-se que apenas 5,81% das terras são de grau nulo por vulnerabilidade à erosão e essa condição ocorre, principalmente, no norte do estado relacionada à ocorrência de relevo mais suavizado e menor intensidade das chuvas, uma vez que, naquela região, são maiores a erodibilidade e a exposição do solo.

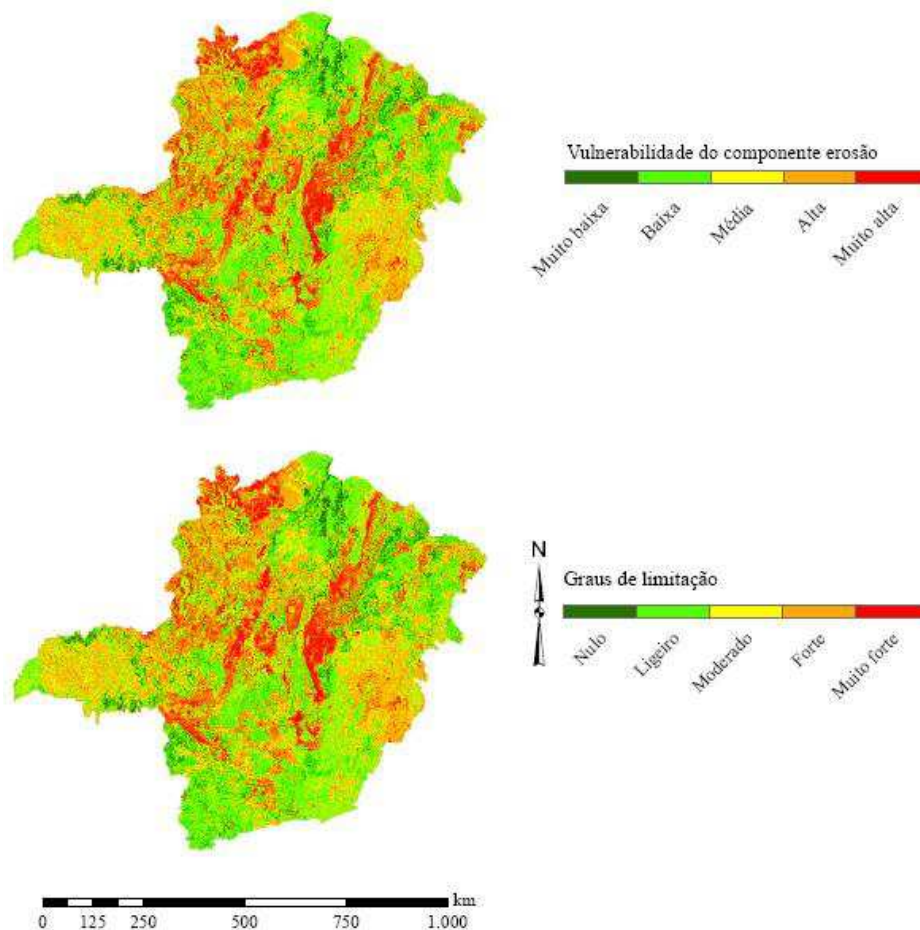


Figura 6 Mapa de vulnerabilidade à erosão (CURI et al., 2008) utilizado para elaborar em SIG o mapa de graus de limitação por erosão das terras de Minas Gerais

No Triângulo Mineiro o caráter mais arenoso da maioria dos solos da região confere maior erodibilidade aos solos o que facilita o processo de pulverização do solo quando submetido a processos mecânicos de preparo e de tratos culturais. Isto, associado ao impacto direto das gotas de chuva, provoca o endurecimento da camada superficial, com sérios reflexos no processo erosivo,

pois a redução na infiltração propiciará maior escoamento superficial das águas de chuva.

Na região do Alto Paranaíba destacam-se os Latossolos argilosos, de menor erodibilidade e os Cambissolos de alta erodibilidade, enquanto os demais solos das chapadas dessa região são semelhantes aos do Triângulo Mineiro.

Tabela 14 Porcentagem das terras do estado de Minas Gerais com seus graus de limitação nos fatores do ambiente usados para erosão

Classe	% do total
Nulo	5,81
Ligeiro	32,30
Moderado	25,12
Forte	24,80
Muito forte	11,97
Total	100,00

As terras de grau ligeiro de limitação por vulnerabilidade à erosão representam 32,3% e localizam-se mais ao sul do estado, onde há domínio das classes de relevo suave ondulado e ondulado e as chuvas são mais distribuídas, proporcionando melhor cobertura do solo durante o ano. Verifica-se, no quadro guia (Tabela 8), a exigência predominante de terras com grau ligeiro ou moderado de limitação por susceptibilidade à erosão para as terras serem utilizadas com lavouras.

Agrupando-se as classes nulo (5,81%), ligeiro (32,30%) e moderado (25,12%), temos 63,23 % do estado com condições razoáveis para agricultura quanto ao critério erosão. Boa parte dessas terras encontra-se no Triângulo Mineiro onde, embora o relevo seja mais suavizado, os solos, principalmente os de textura média, são de maior erodibilidade e, quando combinados os índices

pluviométricos de 1534 a 1876 mm que predominam na região (CARVALHO et al., 2008), resultam em maior vulnerabilidade à erosão.

As terras de grau de limitação forte por vulnerabilidade à erosão representam 24,8% e localizam-se mais a leste do estado, onde se sobressai a classe de relevo forte ondulado (20-45% de declividade), que combinada com o uso indiscriminado do fogo e a pouca cobertura do solo, resulta em maior vulnerabilidade à erosão hídrica. O grau muito forte perfaz 11,97% do estado e se relaciona, principalmente, às regiões serranas que combinam solos rasos e de textura grosseira, portanto, de alta erodibilidade, com relevo acidentado, aumentando o risco potencial de erosão.

### **3.5 Impedimentos à mecanização**

O relevo e as fases de pedregosidade e rochosidade são empregados com intuito de dar indicações sobre a possibilidade de mecanização dos solos. Solo pedregoso ou rochoso contém calhaus e matacões ao longo de todo o perfil ou na parte superficial, o que causa forte impedimento à mecanização, principalmente, em relevo mais declivoso. A presença de cascalhos no perfil do solo oferece algum impedimento à mecanização, especialmente quando em teores mais elevados. A textura mais arenosa do solo promove maior desgaste dos implementos agrícolas desfavorecendo a mecanização e solos de maior profundidade são mais favoráveis à agricultura mecanizada.

Examinando-se a figura 7 e a tabela 15, verifica-se que 13,89 % das terras são de graus de desvio nulo ou ligeiro por impedimentos à mecanização e essa condição predomina no Triângulo Mineiro em virtude, principalmente, das condições de relevo suavizado, solos profundos, sem pedregosidade ou rochosidade e de textura favorável à mecanização.

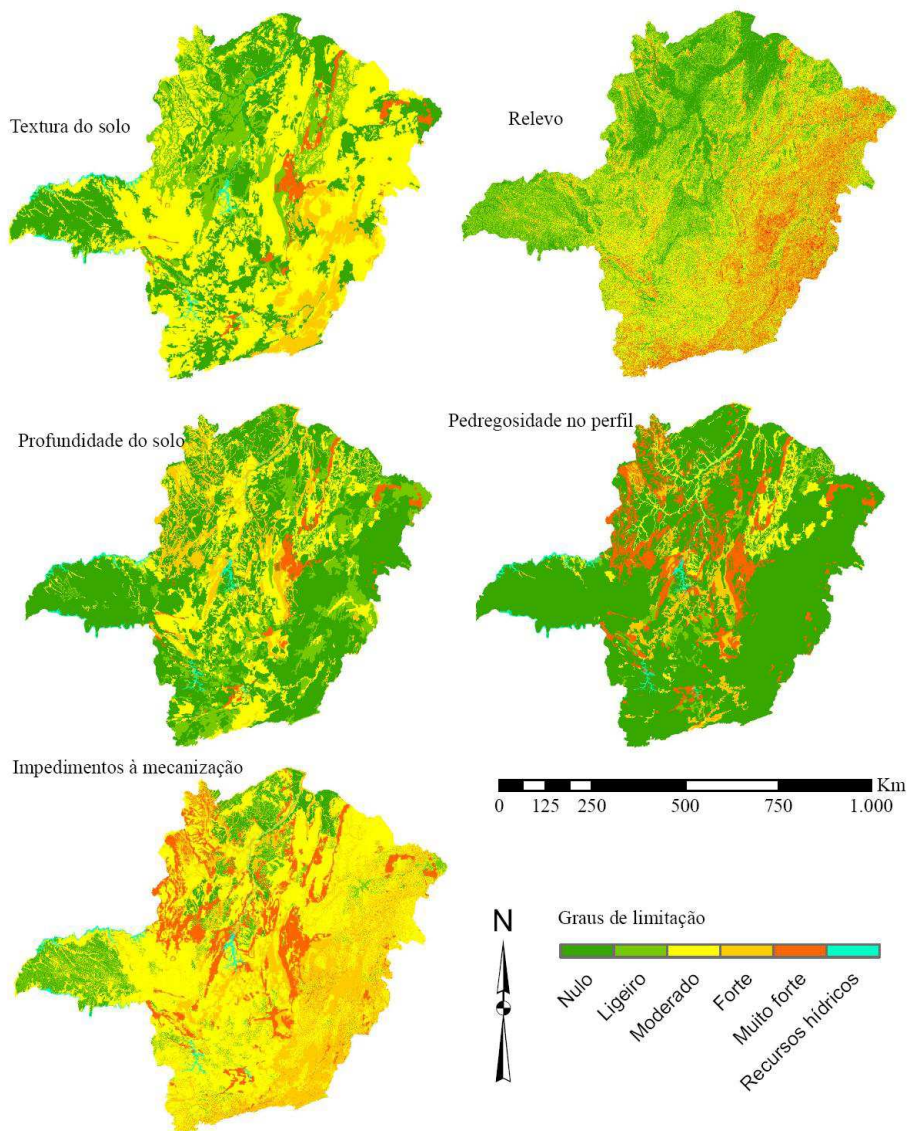


Figura 7 Mapas elaborados em SIG dos atributos do ambiente utilizados para estimar os graus de limitação por impedimentos à mecanização das terras de Minas Gerais

As terras de grau moderado de desvio por impedimentos à mecanização são as de maior expressão, representando 48,58% do total, influenciadas, principalmente, pelas classes de relevo menos declivosas que ondulado, que somadas representam 82,35 % da área de Minas Gerais. O relevo ondulado varia de 8 a 20% de declividade e, embora com menor rendimento operacional das máquinas agrícolas, permite praticar a agricultura mecanizada na maioria das fases das culturas tradicionais.

Tabela 15 Porcentagem das terras do estado de Minas Gerais com seus graus de limitação nos fatores do ambiente usados para impedimentos à mecanização

Fator	Mecanização	Textura	Relevo	Profundidade	Pedregosidade
Grau de limitação					
Nulo	5,34	28,67	19,80	54,87	74,42
Ligeiro	8,55	11,60	30,50	12,30	2,26
Moderado	48,58	51,31	32,05	20,02	6,16
Forte	25,02	5,96	16,40	10,35	5,82
Muito forte	12,51	2,46	1,25	2,46	11,34
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

A distribuição das terras de grau moderado no estado tende acompanhar a da vegetação de cerrado. Nessas terras prevalecem, também, limitações de grau moderado por fertilidade do solo, relacionadas e a menor disponibilidade de nutrientes no solo e saturação elevada do complexo sortivo por alumínio trocável, que produz efeitos tóxicos às raízes das plantas. Tais condições são favoráveis à agricultura no nível de manejo C, que corrige a deficiência de fertilidade com aplicação de fertilizantes e corretivos e desfavoráveis no nível de manejo A, em que se prevê pouca aplicação de tecnologias e de capital para melhoramento das condições das terras e das lavouras.



Quanto à influência restritiva conferida pela textura do solo, que agrupou 51,31 % no grau moderado, há de se destacar que a situação pode ser amenizada pelo fato de que os Latossolos, mesmo de textura argilosa, são de consistência friável em extensa faixa de umidade e, portanto, são mais favoráveis à mecanização. A limitação conferida pela pouca profundidade do solo, do ponto de vista de mecanização, as operações agrícolas podem expor camadas subsuperficiais do solo e provocar processos de erosão em Cambissolos e, no caso dos Gleissolos e Plintossolos, a heterogeneidade do seu material de origem faz com que suas características sejam bastante variáveis, bem como suas limitações ao uso agrícola.

As áreas com grau forte e muito forte de impedimentos à mecanização representam 37,53%, relacionadas às partes do estado que apresentam relevo forte ondulado a e à presença de camadas de pedregosidade e rochiosidade. A limitação conferida pelo relevo, além de diminuir o rendimento operacional das máquinas, torna a operação mecanizada insegura e ineficiente. Os impedimentos à mecanização, relacionados à presença de camadas de pedregosidade ou rochiosidade, podem danificar as máquinas agrícolas ou mesmo impedir a operação agrícola mecanizada.

### **3.6 Aptidão agrícola das terras**

Fazendo-se uma análise em conjunto dos graus de desvios (nulo, ligeiro, moderado, forte e muito forte) das qualidades do ambiente, fertilidade, água, oxigênio, erosão e impedimentos à mecanização, percebe-se que, quando não se quer ou não se pode dispender recursos, a fertilidade natural dos solos torna-se um fator limitante na instalação de culturas. Com aplicação de capital, o nível de fertilidade pode ser elevado pelas práticas agrícolas de adubações, calagem e

rotação de culturas ou alternativamente o uso de plantas que se adaptam à escassez de nutrientes.

Para a redução da deficiência de água, a irrigação é de uso muito restrito em razão dos custos envolvidos e da própria disponibilidade de fontes de abastecimento de água, todavia, a manutenção da cobertura do solo, o terraceamento em nível, os ajustes dos cultivos à época das chuvas e a seleção de culturas adaptadas à deficiência de água são práticas de manejo que podem minorar o problema de deficiência de umidade dos solos.

No aspecto erosão, as práticas conservacionistas, o manejo adequado das pastagens e das lavouras e o sistema de cultivo que permita menor exposição do solo são medidas que vão de encontro aos princípios da sustentabilidade.

Os impedimentos à mecanização são tão mais relevantes quanto maior for o nível de tecnologia empregado, tornando-se até fator excluyente, uma vez que são de caráter permanente e de tão difícil redução que torna muitas vezes economicamente inviável a eliminação ou melhoria de tais condições.

O SAAAT procura indicar o uso mais adequado para cada tipo de terra deixando implícito que usos menos intensivos permanecem como alternativas. Considera como classe boa aquelas terras sem limitações significativas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando as condições de manejo considerado. Há um mínimo de restrições que não reduzem a produtividade ou benefícios, expressivamente, e não aumentam os insumos acima de um nível aceitável.

Na classe regular são enquadradas terras que apresentam limitações moderadas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando as condições de manejo considerado. As limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, elevando a necessidade de insumos de forma a aumentar as vantagens globais a serem obtidas do uso. Na classe restrita enquadram-se terras que apresentam limitações fortes para a produção

sustentada de um determinado tipo de utilização, observando as condições de manejo considerado. Essas limitações reduzam a produtividade ou os benefícios ou então aumentam os insumos necessários, de tal maneira que os custos só seriam justificados marginalmente.

Finalmente enquadram-se na classe inadequada aquelas terras não adequadas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização. Por meio da determinação dos graus de limitação ao uso agrícola, ditados pelas cinco qualidades básicas da terra, pode-se visualizar a potencialidade dos solos nos subgrupos de aptidão agrícola.

Foram mapeados os graus de limitação das terras considerando os cinco fatores fundamentais do ambiente (Figura 8). Da análise conjunta da figura 8 e da tabela 16, verifica-se que a maioria das terras mineiras enquadra-se na classe moderada quanto aos graus de limitação por fertilidade, representada, principalmente, pelo domínio de Latossolos (CURI et al., 2008), necessitando, portanto, de aportes consideráveis de corretivos e fertilizantes. O grau nulo representativo das terras mais férteis é o de menor expressão.

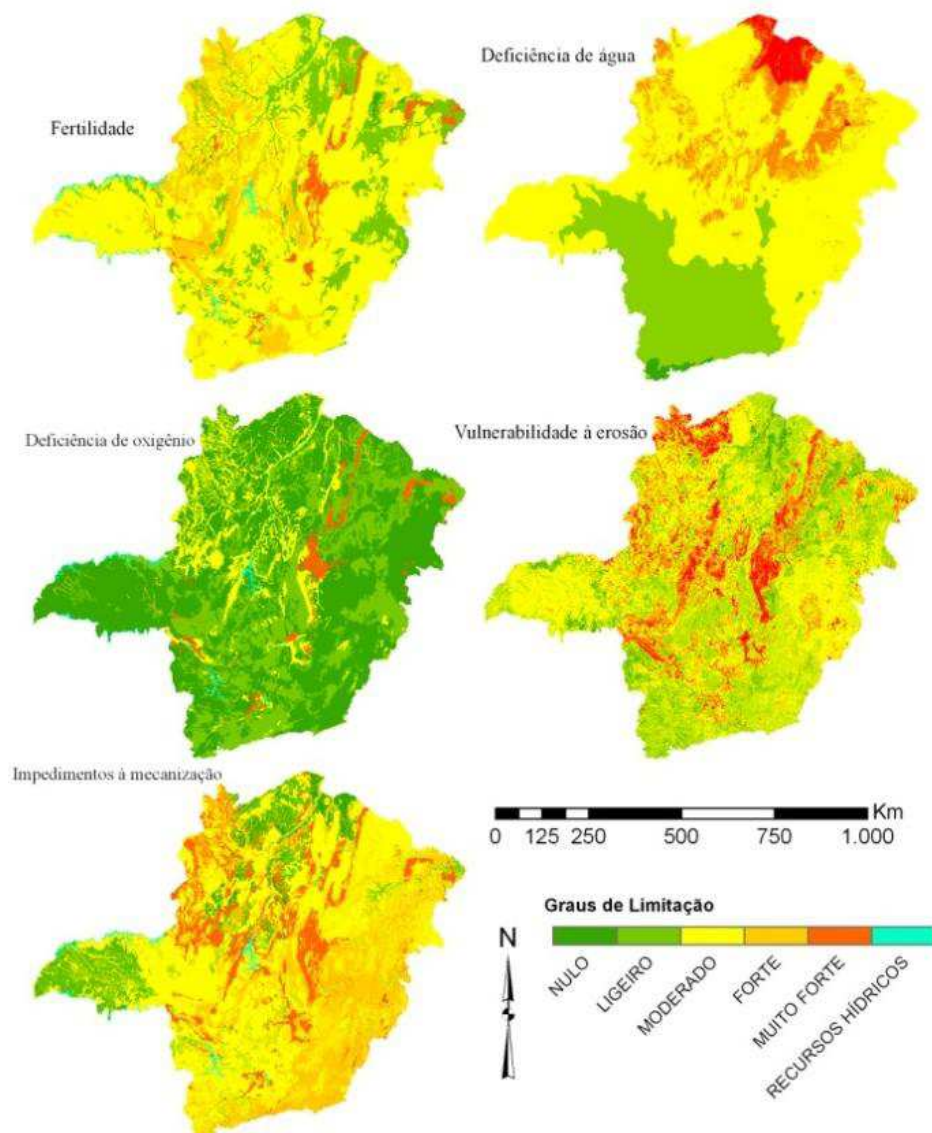


Figura 8 Mapas elaborados em SIG dos graus de limitação por fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio, vulnerabilidade à erosão e impedimentos à mecanização das terras de Minas Gerais

Quanto à vulnerabilidade à erosão, predomina a classe ligeiro influenciada pela erodibilidade do solo, que revela em Minas Gerais dominância da classe baixa na maior parte do estado. Quando a erodibilidade (atributo intrínseco ao solo) é cruzada com a declividade, resulta no risco potencial de erosão, revelando situação amenizada para algumas regiões do estado, em virtude da ampla expressão geográfica de declividades menores que 20%. A vulnerabilidade do solo à erosão considera o risco potencial de erosão, a intensidade das chuvas e a exposição do solo ao impacto direto das gotas de chuva e os indicativos mais graves ocorrem no Leste, Zona Central e Noroeste e condições mais confortáveis no Norte, seguido pelo Sul.

Relembrando, as limitações das terras por impedimentos à mecanização sofrem marcante influência do relevo, todavia, a ocorrência de pedregosidade, a textura e a profundidade do solo podem influenciar negativamente esse aspecto, notadamente nas regiões serranas. As limitações por deficiência de oxigênio revelam dominância dos graus nulo e ligeiro na maior parte do estado. As limitações por deficiência de água são preponderantemente de grau moderado, todavia, no Norte do estado se concentram as terras com grau muito forte, relacionado à ocorrência do regime climático subúmido seco ou semi-árido.

Tabela 16 Porcentagem das terras do estado de Minas Gerais com seus graus de limitação nos fatores do ambiente usados na aptidão agrícola das terras

Grau de limitação	Fertilidade	Água	Oxigênio	Erosão	Mecanização
Nulo	0,30	0,67	57,04	5,81	5,34
Ligeiro	15,88	23,87	29,56	32,30	8,55
Moderado	65,95	62,91	10,53	25,12	48,58
Forte	14,37	9,82	0,29	24,80	25,02
Muito forte	3,50	2,73	2,58	11,97	12,51
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Considerando os mapas de graus de limitação, foi gerado o mapa de aptidão agrícola das terras de Minas Gerais (Figura 9) e, dentre os grupos de aptidão, o grupo 1 ocupa apenas 0,37% da superfície total (Tabela 17) e corresponde às melhores terras do estado, que, em essência, são representadas concomitantemente por solos eutróficos, relevo dominante plano ou suave ondulado, sem impedimentos à mecanização, sem problemas de encharcamento e ocorrentes em clima úmido a superúmido.

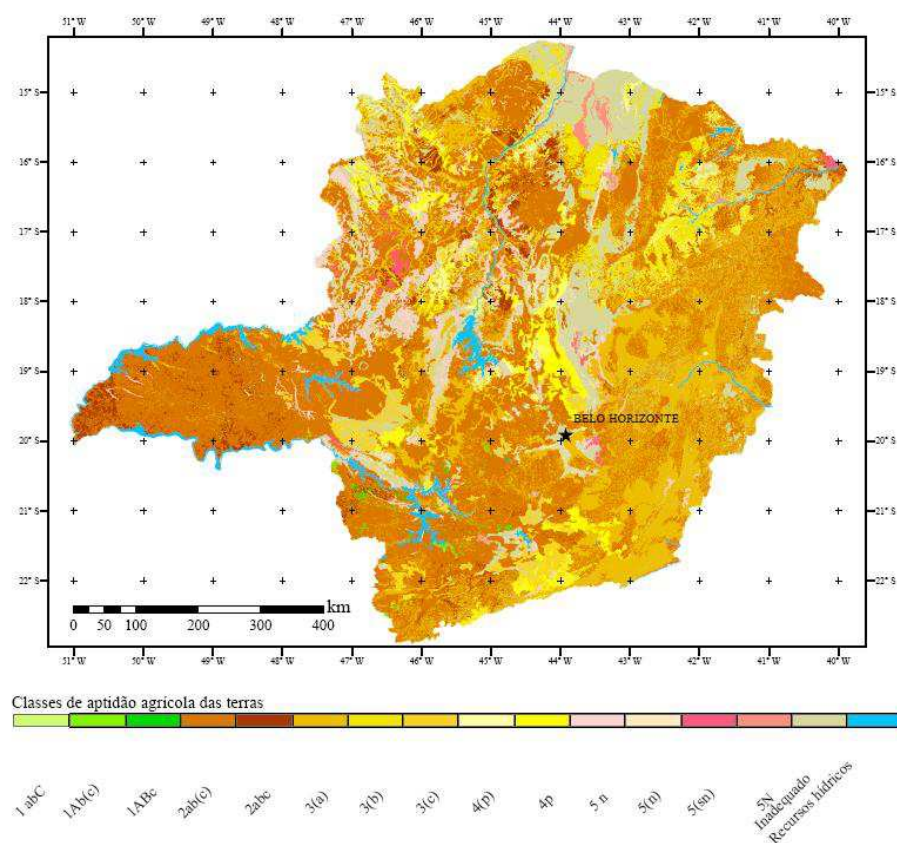


Figura 9 Mapa de aptidão agrícola das terras de Minas Gerais elaborado em SIG

O grupo 2 é o de maior abrangência, representando 45,13%, apresentando, predominantemente, subgrupo de aptidão 2ab(c). O grupo 3 totaliza 30,50% e é representado, principalmente, pelas terras em relevo ondulado a forte ondulado, normalmente com problemas para a mecanização, em decorrência tanto do relevo mais movimentado quanto da presença de pedregosidade ou mesmo rochoso. O grupo 4 com 5,27% e o grupo 5 com 5,31% são pouco expressivos e o grupo 6 representa 12,60% do estado.

Tabela 17 Extensão e percentual dos grupos e subgrupos de aptidão agrícola das terras do estado de Minas Gerais

GRUPO	SUBGRUPO	AREA (ha)	% DO TOTAL
1 215.658,93 ha; 0,37%	1ABc	41.193,44	0,07
	1Ab(c)	129.899,74	0,22
	1abC	44.565,75	0,08
2 26.472.237,72 ha; 45,13%	2abc	1.470.501,08	2,50
	2ab(c)	25.001.736,64	42,63
3 17.888.203,08 ha; 30,50%	3(a)	13.166.850,98	22,45
	3(b)	2.850.184,50	4,86
	3(c)	1.871.167,61	3,19
4 3.091.055,08 ha; 5,27%	4p	1.935.314,72	3,30
	4(p)	1.155.740,36	1,97
5 3.112.828,43 ha; 5,31%	5(sn)	278.962,96	0,48
	5N	374.985,69	0,64
	5n	2.070.060,31	3,53
	5(n)	388.819,47	0,66
6	Não adequada	7.389.138,88	12,60
Recursos hídricos	Recursos hídricos	483.090,07	0,82
<b>TOTAL</b>		<b>58.652.212,20</b>	<b>100,00</b>

Analisando-se o estado de Minas Gerais de uma maneira geral, sob condições naturais, ou seja, para o nível de manejo A, tem-se como classe de aptidão mais abrangente, conforme tabela 18, a regular (48,74%), seguida da classe restrita (23,11%) e, por último, a classe boa (0,93%), em razão, principalmente, da baixa fertilidade natural dos solos e da inviabilidade econômica de sua correção neste nível de manejo.

Ao se prever adoção de práticas de manejo que visam ao melhoramento das condições das terras, verifica-se que, para o nível de manejo B, também, a classe de maior ocorrência é a regular (48,73%), seguida da restrita (7,31%) e, por último, a classe de aptidão boa (0,07%), em consequência tanto das limitações de fertilidade natural quanto do alto grau de impedimentos ao uso de implementos agrícolas em condições satisfatórias. Para o nível de manejo C, caracterizado por alto nível tecnológico, a classe mais expressiva é a restrita (46,04%), enquanto as classes regular (2,58%) e boa (0,08%), relacionadas, essencialmente, às dificuldades de mecanização intensiva de grande parte das terras do estado.

Considerando o manejo, percebe-se que no nível A as áreas com aptidão para lavouras representam 67,95%, todavia, com incremento moderado de tecnologia (nível B) resulta em 50,36%. No manejo ainda mais tecnificado (nível C), este valor é 48,69%.

Também na Tabela 18, subtraindo as terras com aptidão para pastagem plantada (5,27%), pastagem natural e silvicultura (5,31%), terras inadequadas (12,60%), e áreas com recursos hídricos (0,82%) da área total, 76% da área do estado podem ser utilizadas com lavouras em condições sustentáveis, dependendo do nível de manejo.



Tabela 18 Aptidão agrícola das terras de Minas Gerais, estratificada por nível de manejo, para os diferentes tipos de utilização indicados

Tipo de utilização	Classe de aptidão por nível de manejo (%)								
	Nível de manejo A			Nível de manejo B			Nível de manejo C		
	A	a	(a)	B	b	(b)	C	c	(c)
Lavouras	0,29	45,21	22,45	0,07	45,43	4,86	0,08	2,58	46,04
Pastagem plantada					3,30	1,97			
Silvicultura						0,48			
Pastagem natural	0,64	3,53	0,66						
Total	0,93	48,74	23,11	0,07	48,73	7,31	0,08	2,58	46,04

Conforme a tabela 17, 0,48% das terras apresentam aptidão para silvicultura e pastagem natural, classe restrita 5(sn), todavia, terras pertencentes a classes de aptidão de uso econômico potencialmente mais intensivo podem ser destinadas àqueles usos (Tabela 9), o que apenas caracteriza a subutilização da terra. Pela intensidade dos problemas que apresentam, as terras inadequadas para agricultura são mais indicadas para serem usadas como áreas de preservação de flora e fauna, totalizando 12,60% do estado. Entretanto, aqui não foram considerados os aspectos relacionados à legislação ambiental, que devem aumentar a abrangência desse tipo de uso.

#### **4 CONCLUSÕES**

O principal grupo de aptidão agrícola das terras de Minas Gerais é o grupo 2 (aptidão regular para lavouras) que representa 45,13% da área total do estado.

76% das terras do estado podem ser usadas com lavouras em condições sustentáveis.

O geoprocessamento em SIG permitiu substancial agilidade na análise espacial da aptidão agrícola das terras de Minas Gerais.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Incra, à Fapemig e ao CNPq, pelo apoio financeiro ao projeto.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, F. C. S. do et al. **Mapeamento de solos e aptidão agrícola das terras do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 95 p.

CARVALHO FILHO, A. de; CURI, N.; FONSECA, S. da. **Sistema informatizado e validado de avaliação da aptidão silvicultural das terras dos Tabuleiros Costeiros brasileiros para eucalipto**. Lavras: Editora UFLA, 2013. 138 p.

CARVALHO, L. G. de et al. Clima. In: SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, L. M. T. (Ed.). **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: zoneamento e cenário exploratórios**. Lavras: Editora UFLA, 2008. p. 89-101.

CARVALHO, L. M. T.; SCOLFORO, J. R. **Inventário florestal de Minas Gerais: monitoramento da flora nativa 2005-2007**. Lavras: Editora UFLA, 2008. 357 p.

CURI, N. et al. Problemas relativos ao uso, manejo e conservação do solo em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 5-16, 1992.

CURI, N. et al. Solos, geologia, relevo e mineração. In: SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, L. M. T. (Ed.). **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: zoneamento e cenário exploratórios**. Lavras: Editora UFLA, 2008. p. 73-88.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006. 306 p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos de Minas Gerais: legenda expandida**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente/UFV/CETEC/UFLA/FEAM, 2010. 49 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/>>. Acesso em: 21 maio 2013.

LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: SBCS, 1996. 83 p.

MOURA, L. do C. et al. A aptidão agrícola das terras do município de Machado/MG e a cafeicultura. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 17, n. 28, p. 141-162, jan/jun 2007.

NAIME, U. J. et al. **Avaliação da aptidão agrícola das terras da Zona Campos das Vertentes-MG**. 1. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 58 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 91).

NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E.; INDA JÚNIOR, A.V. Aptidão de uso dos solos e meio ambiente. In: AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A. (Ed.). **Solos & ambiente: I fórum solos & ambiente**. Santa Maria: Pallotti, 2004. p. 41-57.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1995. 65 p.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras do Brasil: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA – SOLOS, 1999. 36 p.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. Lavras: UFLA, 2007. 322 p.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, D. A.; CARVALHO, L. M. T. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais: zoneamento e cenário exploratórios**. Lavras: Editora UFLA, 2008. 136 p.

SILVA, E. B.; NOGUEIRA, R. E.; UBERTI, A. A. A. Avaliação da aptidão agrícola das terras como subsídio ao assentamento de famílias rurais, utilizando sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 6, p. 1977-1990, nov./dez. 2010.