



LUÍS RENATO SILVA TAVEIRA

**ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE CAPACIDADE
DE USO DAS TERRAS AOS NÍVEIS DE
MANEJO DEFINIDOS PELA APTIDÃO
AGRÍCOLA PARA MINAS GERAIS**

LAVRAS – MG

2019

LUÍS RENATO SILVA TAVEIRA

**ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS
AOS NÍVEIS DE MANEJO DEFINIDOS PELA APTIDÃO AGRÍCOLA
PARA MINAS GERAIS**

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 obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Nilton Curi

Coorientador

Dr. João Bosco Vasconcellos Gomes

LAVRAS – MG

2019

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Taveira, Luís Renato Silva.

Adaptação do sistema de capacidade de uso das terras aos níveis
de manejo definidos pela aptidão agrícola para Minas Gerais / Luís
Renato Silva Taveira. - 2018.

210 p. : il.

Orientador(a): Nilton Curi.

Coorientador(a): João Bosco Vasconcellos Gomes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Sistema agrícola. 2. Capacidade de uso da terra. 3. Nível de
manejo. I. Curi, Nilton. II. Gomes, João Bosco Vasconcellos. III.
Título.

LUÍS RENATO SILVA TAVEIRA

**ADAPTAÇÃO DO SISTEMA DE CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS
AOS NÍVEIS DE MANEJO DEFINIDOS PELA APTIDÃO AGRÍCOLA
PARA MINAS GERAIS**

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 obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 21 de dezembro de 2018.

Dr. Sérgio Henrique Godinho Silva	UFLA
Dr. Teotônio Soares de Carvalho	UFLA
Dr. Marcelo Ribeiro Viola	UFLA
Dr. Pablo Vidal Torrado	ESALQ/USP

Dr. Nilton Curi
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

Esta tese é dedicada a Deus, por todas as graças concedidas.

A meus pais, Angelo Murgel Taveira (in memorian) e Marilane Boaretto Silva Taveira, pelos muitos bons exemplos que me deram.

À minha esposa, Shirley Helena Bortolo Taveira, e a meu filho, Angelo Henrique Bortolo Taveira, por sua imensa compreensão.

Às minhas irmãs Célia Regina Silva Taveira e Ana Lúcia Silva Taveira, e à minha afilhada Ana Letícia Taveira Camargo, pelo companheirismo.

A todos os demais familiares, que souberam compreender minhas ausências.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), por sua política de capacitação do corpo funcional, que me permitiu realizar o doutorado. À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela excelência do seu ensino e de sua pesquisa, decisivos para o cumprimento de meus objetivos. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo suporte financeiro às atividades de pós-graduação.

Ao meu orientador, Dr. Nilton Curi, pela amizade e pela inestimável orientação de meus trabalhos. Aos professores Michele Duarte de Menezes, Luis Marcelo Tavares de Carvalho, Marcelo Oliveira e Teotônio Soares de Carvalho, pela colaboração em momentos-chave de meus estudos.

A todos os professores, servidores e pós-graduandos do Departamento de Ciência do Solo que, cada um a seu modo, contribuíram para meu aprimoramento.

Ao meu amigo Vladimir Antônio Silva, que foi uma “ponte” entre mim e meu orientador, abrindo-me a possibilidade de ingressar no doutorado.

Aos colegas de estudos Leandro Campos Pinto, Wharley Pereira dos Santos, Diego Terra Machado, Fábio Arnaldo Pomar Avalos e Josimar Henrique Lessa, pelo companheirismo e colaboração.

RESUMO

Um sistema agrícola é uma forma de organizar os recursos naturais, técnicos e humanos necessários à produção agropecuária, dependendo da disponibilidade local e das demandas sociais. Fatores naturais, culturais, sociais, econômicos e políticos condicionam suas características. Nos países em desenvolvimento há grande variabilidade técnica nos sistemas agrícolas, desde os tradicionais cujo objetivo primordial é a subsistência do agricultor, até os intensivos incluindo capital e tecnologia, integrados ao mercado. Cada sistema agrícola tem distintas possibilidades técnicas para enfrentar os limites impostos pelo ambiente à produção. Por isso, sistemas de classificação de terras precisam ter flexibilidade suficiente para atender às demandas de diferentes agricultores e sistemas agrícolas. O sistema de capacidade de uso foi desenvolvido para atender tão somente aos agricultores com alto ou moderadamente alto nível de manejo. Por essa razão, objetivou-se desenvolver critérios de classificação de terras quanto à capacidade de uso adaptados aos agricultores com nível de manejo mais baixo. Eles foram aplicados em condições de campo e validados por novo método que utiliza a erosão como variável indicadora. Ao final, mapeou-se a capacidade de uso das terras do estado de Minas Gerais considerando três níveis de manejo. Utilizaram-se por fontes de informação levantamentos do meio físico na etapa de validação dos critérios adaptados e o mapa de solos do estado de Minas Gerais, na escala de 1:650.000, na etapa final. Em ambas as etapas foi utilizado um sistema de informações geográficas para a elaboração dos mapas. Verificou-se que a erosão é uma boa variável indicadora da adequação de uso e, indiretamente, da capacidade de uso. A aplicação de critérios de classificação adaptados aumenta a correspondência entre os mapas de adequação de uso e de erosão, quando comparados com os critérios em vigor. Verificou-se ainda que, mesmo sendo o mapa de solos do estado elaborado em pequena escala, a acurácia do mapeamento indica que o mapa de capacidade de uso resultante exibe qualidade suficiente para uso em estudos de planejamento regional, especificamente em etapas iniciais nas quais o nível de detalhe exigido é menor.

Palavras-chave: Sistema agrícola. Capacidade de uso da terra. Nível de manejo. Geoprocessamento. Minas Gerais.

ABSTRACT

A farming system is a way of organizing the natural, technical and human resources needed for agricultural production, depending on local availability and social demands. Natural, cultural, social, economic and political factors condition their characteristics. In developing countries there is great technical variability in farming systems, from the traditional ones whose primary objective is the subsistence of the farmer, to the intensive ones including capital and technology, integrated to the market. Each farming system has different technical possibilities to face the limits imposed by the environment on production. Therefore, land classification systems need to have sufficient flexibility to meet the demands of different farmers and farming systems. The land use capability system was developed to only serve the farmers with high or moderately high level of management. For this reason, the objective of this work was to develop land use capability classification criteria adapted to farmers with a lower management level. They were applied under field conditions and validated by a new method that uses erosion as the indicator variable. At the end, the land use capability of the state of Minas Gerais was mapped considering three levels of management. The source of information in the first phase of the study was the survey of the physical environment and, in the second phase, the soil map of the state of Minas Gerais, at a scale of 1:650,000. In both phases a geographic information system was used to elaborate the maps. It was verified that the erosion is a good indicative of the adequation of use and, indirectly, of the land use capability. The application of adapted criteria increases the correspondence between the maps of adequation of use and erosion, when compared with the criteria currently in use. It was also found that even though the state map of soils is elaborated on a small scale, the accuracy of the mapping indicates that the resulting land use capability map shows sufficient quality for use in regional planning studies, specifically in the initial phases in which the level of detail required is lower.

Keywords: Farming system. Land use capability. Level of management. Geoprocessing. Minas Gerais.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	
1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Os sistemas agrícolas	11
2.2	Classificação de terras	21
2.3	Demandas tecnológicas adaptadas	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1	Adaptação da capacidade de uso a diferentes níveis de manejo	35
3.2	Identificação das áreas de estudo	58
3.3	Levantamento de dados a campo	59
3.4	Mapeamento temático	60
3.5	Validação	61
3.6	Mapeamento da capacidade de uso das terras de Minas Gerais	61
3.7	Acurácia dos mapas de capacidade de uso	62
4	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	65
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	
	ARTIGO 1 Dados de erosão como ferramenta para adaptação da classificação quanto à capacidade de uso a sistemas agrícolas com baixa aplicação de tecnologia	75
1	INTRODUÇÃO	77
2	MATERIAL E MÉTODOS	79
2.1	Caracterização das áreas de estudo	81
2.2	Fases do estudo	85
2.3	Validação dos novos limites de enquadramento	88
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
4	CONCLUSÕES	103
	REFERÊNCIAS	104
	ARTIGO 2 Mapeamento da capacidade de uso da terra em condições tropicais adaptando critérios a diferentes níveis de manejo agrícola	109
	APÊNDICES	153
	APÊNDICE A	153
	APÊNDICE B	159
	APÊNDICE C	169
	ANEXOS	207

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A Ciência do Solo é um ramo do conhecimento cuja sistematização ocorreu principalmente a partir de meados do século XIX. Paralelamente, a expansão do capitalismo e o crescimento populacional aumentaram a demanda por matérias-primas industriais e alimentos. Além disso, a expansão da agricultura acelerou os processos erosivos e a degradação ambiental. Consequentemente, intensificaram-se os esforços conservacionistas, dos quais faz parte o desenvolvimento da classificação técnica de terras. A princípio objetivava-se meramente a classificação para fins agrícolas, por meio da identificação da capacidade de uso ou da aptidão agrícola. Contudo, sistemas de classificação mais recentes avaliam também a aptidão agroecológica e as possibilidades de múltiplos usos das terras. Mas a classificação para fins agrícolas continua a prestar valioso auxílio no planejamento rural, e por isso é necessário aprimorá-la. Entre as características do sistema de capacidade de uso, uma que está a demandar aprimoramento é sua adaptação exclusivamente a sistemas agrícolas com alto ou moderadamente alto nível de manejo. As recomendações técnicas resultantes da classificação não se adaptam às características dos sistemas agrícolas com baixo nível de manejo, típico de agricultores menos capitalizados, particularmente nos países em desenvolvimento.

As novas tecnologias, particularmente o sensoriamento remoto e os sistemas de informação geográfica, tendem a melhorar a qualidade dos procedimentos classificatórios. Mas há desafios a vencer. Ainda não é viável mapear a capacidade de uso das terras em extensões territoriais maiores que microbacias sem que se generalize a informação. A escala dos mapeamentos pedológicos, base da classificação técnica de terras, ainda é pequena em muitos

países. Para detalhá-los, são necessários profissionais qualificados e recursos financeiros. A compreensão da relação solo – paisagem é fundamental nesse esforço e as tecnologias de geoprocessamento são inequivocamente úteis, mas ainda é preciso melhorar a relação entre a escala de mapeamento, a resolução de imagens orbitais e o custo de sua obtenção. Para os próximos anos esperam-se avanços nesse campo, o que deve impactar positivamente tanto os mapeamentos pedológicos quanto os esforços conservacionistas.

Este estudo tem por hipótese que diferentes sistemas agrícolas, com diferentes níveis de manejo, demandam diferentes critérios de classificação da capacidade de uso das terras. Nesse sentido, os objetivos são propor e validar novos critérios de enquadramento das terras no sistema de capacidade de uso, adaptados a sistemas agrícolas com baixo nível de manejo, tendo por referência os três níveis de manejo considerados no sistema de aptidão agrícola. Objetiva também mapear a capacidade de uso das terras de Minas Gerais a partir do mapa de solos do estado, com apoio de um sistema de informações geográficas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O solo é um corpo tridimensional e variável no espaço, cuja formação é resultante da ação conjunta de fatores bióticos e abióticos sobre um substrato rochoso ao longo do tempo. Seu desenvolvimento tende a diferenciá-lo em camadas e horizontes, e seus atributos químicos, físicos e biológicos determinam suas potencialidades (RESENDE et al., 2014). Terra é um conceito mais amplo, que inclui o solo, o substrato rochoso subjacente, a conformação do relevo, os organismos vivos associados e o suprimento hídrico (LEPSCH et al., 2015). Portanto, as possibilidades de aproveitamento das terras dependem não apenas das características dos solos, mas de um conjunto amplo de aspectos que podem favorecê-lo ou prejudicá-lo.

Cada ecossistema impõe ao ser humano uma série de condições para o aproveitamento das terras. E cada grupo humano desenvolve, em função dessas condições e de suas próprias características socioculturais, uma série de sistemas agrícolas que permitem a melhor condição possível para o cultivo das terras.

2.1 Os sistemas agrícolas

Sistemas agrícolas são maneiras de organizar os recursos naturais, técnicos e humanos necessários à produção, dependendo da disponibilidade local e das demandas sociais. Fatores naturais, culturais, sociais, econômicos e políticos condicionam suas características (CARMONA et al., 2010). Em cada região os agricultores ajustam suas estratégias em função de suas possibilidades e limitações particulares, criando imensa diversidade de tipos. Ainda assim, é possível identificar tipologias mais gerais. Kovacic e Salazar (2017) classificaram os sistemas agrícolas da seguinte forma:

- a) sistemas agrícolas de subsistência, nos quais a capacidade produtiva é determinada pela disponibilidade de força de trabalho, o uso de insumos externos é mínimo e as trocas são apenas parcialmente monetarizadas; são usualmente associados ao campesinato e possibilitam o sustento de pequeno número de pessoas.
- b) sistemas agrícolas intensivos em pequena escala, nos quais a capacidade produtiva é determinada tanto pela disponibilidade de terra quanto pela fertilidade do solo, a demanda por força de trabalho é parcialmente suprida fora do grupo familiar, e a produção destina-se, ao menos parcialmente, ao mercado; em muitos aspectos, os sistemas agroecológicos inserem-se nessa categoria, permitindo o sustento de maior número de pessoas que os anteriores.
- c) sistemas agrícolas intensivos em grande escala, nos quais o acesso às mais modernas tecnologias de produção define a capacidade produtiva, o uso de insumos externos é intensivo e o de mão de obra, mínimo, enquanto a produção é usualmente destinada a mercados distantes; as grandes extensões cultivadas são capazes de sustentar grande número de pessoas.

Sistemas agrícolas podem ser classificados de diversas formas. Mas neste trabalho adaptou-se a tipologia acima apresentada: os sistemas de subsistência serão referidos como sistemas tradicionais e os sistemas intensivos em larga escala serão referidos simplesmente como sistemas intensivos. Os sistemas intensivos em pequena escala, por sua vez, serão referidos como sistemas de transição (LAMARCHE, 1998), incluindo sistemas intensivos incompletos, completos e agroecológicos, mas todos de base familiar (ALTIERI; TOLEDO, 2011).

2.1.1 Sistemas agrícolas tradicionais

Os sistemas tradicionais expressam o legado cultural de muitas minorias étnicas (PENG et al., 2014). Estão associados a formas particulares de relacionamento familiar e organização social. O cultivo da terra tem, para essas minorias, caráter que extrapola a simples subsistência alimentar. É pequeno o uso de recursos externos e predomina o trabalho familiar. Cada aspecto desses sistemas é ajustado em função das características da família (KOVACIC; SALAZAR, 2017) e de sua base de recursos (JUNQUEIRA et al., 2016a; VOSTI; WITCOVER, 1996).

Nos países em desenvolvimento é comum a produção de subsistência, em razão das limitadas bases de recursos e das precárias condições de vida. Nesses países há um ambiente cultural que desvaloriza as práticas agrícolas tradicionais. Nos países desenvolvidos, entretanto, a crise ambiental está evidenciando a necessidade de desenvolver sistemas agrícolas que, preservando legados técnicos e culturais, sejam capazes de prover o sustento do agricultor e de produzir para o mercado (BELLETTI, 2015).

Os agricultores detêm conhecimentos práticos cujo valor a Ciência está paulatinamente reconhecendo (NYSSSEN et al., 2008). São cada dia mais comuns as linhas de pesquisa que procuram estabelecer diálogos entre ambas as formas de conhecimento. Entre os ensinamentos dos sistemas tradicionais está a submissão aos ciclos naturais: à sazonalidade climática, à sucessão ecológica e aos ciclos biogeoquímicos. Sua sustentabilidade depende do respeito aos limites ecossistêmicos e de práticas de manejo adequadas.

Entre os sistemas tradicionais, os sistemas itinerantes são tecnicamente os mais rústicos. Estima-se que, apenas na Amazônia brasileira, entre 600 mil e 1 milhão de famílias utilizem-nos para sua subsistência (TREMBLAY et al., 2015). Os sistemas de *coivara* (Brasil), *milpa* (México) e *jhum* (Índia), entre outros, são

variações da mesma técnica (KLEINMAN; PIMENTEL; BRYANT, 1995; SÁNCHEZ, 1982; THOMAZ; ANTONELI; DOERR, 2014): a) abertura de clareiras na mata e queima dos resíduos, para eliminar a competição por luz, água e disponibilizar nutrientes armazenados na biomassa; b) cultivo de pequenas lavouras destinadas à subsistência durante poucos anos, almejando-se a diversidade biológica e a conservação do solo e da água; c) pousio por período longo, para reestabelecer os ciclos naturais e as características do ecossistema perturbado; d) novo ciclo em área próxima.

Essas práticas perturbam a ciclagem de nutrientes, aceleram a mineralização da matéria orgânica, aumentam as emissões de gases de efeito estufa, reduzem a diversidade biológica e aumentam os processos erosivos. O reequilíbrio dessas perturbações, contudo, depende do manejo da dimensão relativa dos períodos de cultivo e pousio. Aspectos como a fertilidade do solo, o tamanho da área cultivada, a riqueza dos remanescentes florestais e a intensidade da perturbação condicionam esse manejo (JUNQUEIRA et al., 2016b; MUKUL; HERBOHN, 2016). Essa prática restringe a produção de alimentos, mas é determinante para a recuperação das características do solo e da cobertura vegetal em períodos máximos de poucas décadas (MCNICOL; RYAN; WILLIAMS, 2015; MORALES-BARQUERO et al., 2015). Sendo assim, o pousio deve ser considerado como mais uma prática de manejo cuja dimensão deve ser ajustada pelo agricultor para o reestabelecimento dos ciclos naturais e para a perpetuação da oferta de serviços ambientais (KLEINMAN; PIMENTEL; BRYANT, 1995; THOMAZ, 2013; WOOD; RHEMTULLA; COOMES, 2016).

Os sistemas itinerantes não sobrevivem ao crescimento populacional e à urbanização, que ameaçam os modos de vida das minorias étnicas e das populações tradicionais (BERMEO; COUTURIER; PIZAÑA, 2014). Somada a essas ameaças, a exclusão social do agricultor itinerante resulta em

sobreexploração de sua base de recursos e em degradação ambiental (VOSTI; WITCOVER, 1996; WAGNER; YAP; YAP, 2015).

Mukul e Herbohn (2016) e Vliet et al. (2012) demonstram como é escassa, em escala global, a pesquisa sobre esses sistemas. Ainda assim, os sistemas itinerantes são o alvo preferencial das políticas de combate ao desmatamento (KLEINMAN; PIMENTEL; BRYANT, 1995). Eles são vítimas da atitude negativa das camadas urbanas da população, que desconhecem sua realidade. Apesar da polêmica sobre esses sistemas agrícolas, observa-se que, longe de desaparecer, eles persistem em muitas regiões da África, América Latina e Ásia (HANSEN; MERTZ, 2006; MERTZ et al., 2012; VLIET et al., 2012). É possível, inclusive, reconhecer a sustentabilidade desses sistemas, desde que sejam observados os limites naturais de cada ecossistema (TINKER; INGRAM; STRUWE, 1996).

A disponibilidade finita de terras cultiváveis, o crescimento populacional e a busca por meios de sobrevivência são, desde sempre, as motivações para a inovação técnica na agricultura. Os sistemas agrícolas foram paulatinamente perenizados e a condição de vida das comunidades melhorou sem que, por muito tempo, isso significasse mudanças na lógica produtiva (PRETTY; BHARUCHA, 2014). Inovações como a drenagem, a coleta de águas pluviais, a tração animal, a adição de resíduos orgânicos ao solo e os tratamentos fitossanitários naturais foram essenciais nesse processo (ALTIERI; NICHOLLS, 2017; GARCÍA-FLORES et al., 2016; MILTNER; COOMES, 2015). Os sistemas agroflorestais, culturas mistas integradas por espécies arbóreas nativas, cultivos alimentícios e forrageiros, também se destacam. Eles também permitiram a intensificação dos sistemas itinerantes sem romper os limites ecossistêmicos (PRETTY; BHARUCHA, 2014; TREMBLAY et al., 2015).

Portanto, os sistemas agroflorestais são considerados atualmente como alternativa apropriada para a intensificação dos sistemas itinerantes (RAHMAN;

RAHMAN; SUNDERLAND, 2012; TREMBLAY et al., 2015). Embora seja uma técnica ancestral, é necessário aprofundar a compreensão sobre sua dinâmica por meio de novos estudos. E é preciso considerar que a padronização de hábitos alimentares desestimula a adoção dessa alternativa. Muitas comunidades tendem a abandonar alimentos nativos, optando por produtos industrializados. Embora traga comodidade, essa prática reduz a segurança alimentar (MORENO-CALLES et al., 2016).

A inovação sempre foi uma característica da agricultura. Há situações em que a inovação e a intensificação dos sistemas tradicionais vêm acompanhadas por mudança na lógica produtiva. Isto não deve ser tomado como negativo se resultante de decisões conscientes dos agricultores. Nos países em desenvolvimento, entretanto, as motivações dessas mudanças costumam ser as precárias condições de vida em que muitos agricultores sobrevivem.

2.1.2 Sistemas agrícolas de transição

O desenvolvimento dos modernos sistemas intensivos pressupõe a existência de agricultores aptos, financeira e culturalmente, à adoção das novas tecnologias. Essa não é a realidade de muitos países, onde o limitado acesso à terra, à educação formal e a recursos técnicos e financeiros restringem a intensificação convencional dos sistemas agrícolas. Isso leva à aplicação apenas parcial das novas tecnologias, nem sempre utilizadas adequadamente.

E os agricultores sem condições de incorporar-se integralmente ao novo paradigma nem sempre alcançam maiores produtividades, mas tendem a comprometer parte de sua renda com a aquisição de insumos. A dependência em relação ao financiamento das novas tecnologias reduz a autonomia das unidades produtivas (GAONA; LÉON; VALVERDE, 2012; KOVACIC; SALAZAR, 2017; PÉREZ-GARCÍA; CASTILLO, 2016; RAHMAN; RAHMAN;

SUNDERLAND, 2012). A intensificação produtiva parcial resulta de estímulos relativos ao crédito rural ou a subsídios, ou de restrições relativas à legislação florestal, à posse da terra, à migração, à capacidade de investimento ou às exigências do mercado (BAUTISTA; SMIT, 2012; GAONA; LÉON; VALVERDE, 2012; LESTRELIN et al., 2012; PÉREZ-GARCÍA; CASTILLO, 2016). Como alternativa, há pesquisadores que defendem a mescla das tecnologias agrícolas tradicionais e modernas (STAVI; BEL; ZAADY, 2016). Opções assim precisam ser analisadas tendo em perspectiva a natureza das limitações que muitos agricultores familiares enfrentam para intensificar seus sistemas agrícolas.

A transição dos sistemas tradicionais para os intensivos é um contínuo em que cada agricultor se posiciona (LAMARCHE, 1998). Nesse contexto, os sistemas agroecológicos são um caminho alternativo particularmente adaptado àqueles agricultores que desejam intensificar a produção, mas não reúnem todas as condições para a adoção dos sistemas intensivos (ALTIERI; TOLEDO, 2011).

A agroecologia é uma ciência que aplica princípios ecológicos ao estudo e desenvolvimento de sistemas agrícolas. Ela é a base conceitual de uma série de práticas que procuram superar a lógica industrial e capitalista de produção agrícola. É adaptada tanto à intensificação produtiva em terras marginais quanto à agricultura familiar (BROWN; GIL, 2003). Ela pressupõe a reciclagem de energia e nutrientes, o estímulo à atividade microbiana do solo, a diversificação e integração de cultivos e criações e o uso de recursos genéticos nativos. Por diversos mecanismos, ela favorece a estabilidade da produção e melhora a condição de vida dos agricultores (ALTIERI; TOLEDO, 2011).

Os sistemas agroecológicos são adaptados a agricultores com baixa capacidade de investimento e pequenas bases de recursos (BROWN; GIL, 2003; MORENO-CALLES et al., 2016). Eles favorecem a proteção aos legados culturais, a inovação em redes horizontais, a produção familiar, a autonomia produtiva, a diversidade biológica dos agroecossistemas, o associativismo, o

comércio justo, o mercado local e a proximidade entre produtores e consumidores, que as mudanças sociais em curso tendem a valorizar (ALTIERI; TOLEDO, 2011; DAROLT et al., 2016). A agricultura biodinâmica, a agricultura orgânica e a permacultura são algumas das correntes agroecológicas (BROWN; GIL, 2003). Todas têm por princípios técnicas pouco agressivas aos seres humanos e ao ambiente. Elas incorporam o conhecimento dos agricultores, aos quais agregam outros, favorecendo sua resistência contra ameaças ao seu modo de vida (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012). A incorporação das demandas sociais e culturais às questões econômicas e ambientais é o diferencial dos sistemas agroecológicos (CASTILLO, 2009).

Há sistemas agrícolas de base orgânica que não rompem a dependência do agricultor em relação a insumos externos e a mercados distantes, como aqueles referidos por Clark e Tilman (2017), e por isso não devem ser confundidos com sistemas agroecológicos (ALTIERI; TOLEDO, 2011). A produtividade de cada cultura, tomada individualmente, é usualmente superior nos sistemas intensivos. Porém, quando ela é analisada a partir do somatório das colheitas em sistemas de policultivo, da diversidade biológica e do balanço energético, os sistemas agroecológicos tendem a apresentar vantagens (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012; CASTILLO, 2009). Esses sistemas são, portanto, uma boa alternativa para superar a pobreza, alcançar a segurança alimentar e a sustentabilidade da agricultura, ainda que a transição agroecológica cause redução na produtividade das lavouras até que seja alcançada nova condição de equilíbrio. Eles ainda dependem, contudo, de mudanças culturais na sociedade para se disseminarem (ALTIERI; FUNES-MONZOTE; PETERSEN, 2012), e isso demanda tempo.

2.1.3 Sistemas agrícolas intensivos

Os modernos sistemas intensivos surgiram em resposta à expansão do capitalismo e à demanda crescente por matérias-primas e alimentos (BROWN; GIL, 2003). Eles permitiram expandir a produção e a produtividade agrícola até patamares inéditos. A disseminação da lógica de produção capitalista e as inovações técnicas, principalmente nos campos da química, genética, irrigação, mecânica (e, mais recentemente, da informática) mudaram a agricultura. No Quadro 1 encontra-se uma breve caracterização dos sistemas tradicionais e intensivos.

Essas mudanças ocorreram primeiramente nos países desenvolvidos. Antes provedora de necessidades humanas, a agricultura tornou-se fornecedora de insumos para os mercados, em escala industrial (BAUTISTA; SMIT, 2012; KOVACIC; SALAZAR, 2017). Mas as novas tecnologias foram desenvolvidas em contextos sociais e ambientais específicos, fora dos quais podem causar impactos negativos (GAONA; LÉON; VALVERDE, 2012). Eles ficaram evidentes nas últimas décadas com a repetição de crises decorrentes da aplicação dessas tecnologias fora de seu contexto. Em anos mais recentes, a crescente consciência global sobre esses desequilíbrios levou a agricultura a outras inovações que, à medida que se generalizem, poderão minimizá-los. São relevantes o cultivo mínimo, o plantio direto, a irrigação por microaspersão e gotejamento, a inoculação de sementes para a fixação biológica de nitrogênio, entre outros avanços importantes. Sob esse aspecto, há possibilidades ainda não exploradas ou pouco exploradas no sentido de tornar os sistemas intensivos mais sustentáveis (STAVI; BEL; ZAADY, 2016).

Quadro 1 Características dos sistemas agrícolas tradicionais e intensivos

Característica	Tradicionais	Intensivos
Energia	Predominantemente renovável.	Combustíveis fósseis.
Escala de produção	Pequena.	Média/Grande.
Objetivo	Foco em necessidades coletivas, pouco dependente de insumos.	Foco em interesses privados, muito dependente de insumos.
Força de trabalho	Familiar ou comunitária.	Assalariada.
Diversidade	Sistemas (policultivo) com grande diversidade biológica.	Sistemas com pequena diversidade biológica.
Produtividade	Baixa produtividade laboral, elevada produtividade ecológica.	Alta produtividade laboral, baixa produtividade ecológica.
Conhecimento	Local, tradicional.	Científico, especializado.
Cosmovisão	Ecocêntrica.	Mercadocêntrica.

Fonte: modificado de Castillo (2008)

A expansão da produção, a redução da insegurança alimentar em escala global e a melhoria na condição de vida dos agricultores são os principais argumentos em defesa dos sistemas intensivos (ZANELLA; MILHORANCE, 2016). Ainda hoje, porém, aproximadamente 850 milhões de pessoas enfrentam a subnutrição, 70% delas em áreas rurais de países em desenvolvimento (GARCÍA-FLORES et al., 2016). As causas desse problema ultrapassam as fronteiras da produção agrícola. Inadequações na regulação dos mercados, desequilíbrios na distribuição de renda e crises políticas e humanitárias são os responsáveis diretos

pela persistência da fome em pleno século XXI (PRETTY; BHARUCHA, 2014). A intensificação dos sistemas agrícolas, portanto, não é capaz de resolvê-la *per si*.

2.2 Classificação de terras

Todo agricultor necessita conhecer os limites de utilização de suas terras, de forma a perpetuar sua capacidade produtiva. Há exemplos de sistemas empíricos de classificação desenvolvidos por agricultores. E desde o século XX, em razão da intensificação da agricultura, surgiram sistemas técnicos de classificação.

Em geral os sistemas técnicos identificam a aptidão agrícola ou a capacidade de uso das terras. Embora haja certa similaridade semântica entre ambas as expressões, para os fins de classificação de terras, a aptidão agrícola refere-se à possibilidade de um dado trato de terra suportar um uso específico sustentavelmente, enquanto a capacidade de uso refere-se aos limites agrônômicos impostos por este mesmo trato de terra para o desenvolvimento de atividades agropecuárias em geral (LEPSCH et al., 2015). Ou seja, o foco da aptidão agrícola é mensurar se um trato de terra se adapta às exigências particulares de uma determinada atividade agropecuária sustentável, enquanto o foco da capacidade de uso é indicar o limite máximo de uso deste trato de terra, além da qual há risco de degradação.

2.2.1 O sistema de capacidade de uso

O sistema de capacidade de uso é o mais difundido e adaptado sistema técnico de classificação de terras (HUDSON, 1977). Desenvolvido nos Estados Unidos durante a primeira metade do século XX, ele agrupa terras com exigências e respostas similares às práticas de manejo e conservação de solos, por meio da

interpretação das características dos solos mapeados em escalas apropriadas (KLINGEBIEL; MONTGOMERY, 1961; LEPSCH et al., 2015). Nas décadas seguintes ele foi disseminado mundo afora e sofreu diversas adaptações regionais.

Uma das características do sistema em países como o Brasil advém da carência de levantamentos pedológicos com o detalhe requerido. Já nas primeiras edições da versão brasileira (MARQUES, 1958, 1971; MARQUES; GROHMANN; BERTONI, 1955) previa-se a necessidade de levantamentos utilitários a campo que inventariassem os atributos das terras capazes de interferir na classificação. Esses atributos são até hoje expressos por códigos criados nos Estados Unidos quando as séries de solos ainda não estavam completamente estabelecidas (GARDNER, 1998; LEPSCH et al., 2015). Segundo Resende et al. (2014), essa adaptação tornou possível a utilização do sistema no Brasil, mas, por outro lado, ao trabalhar com muitas variáveis, transformou seu aperfeiçoamento numa tarefa mais árdua.

O sistema considera a existência de três tipos de atributos que fazem parte dos levantamentos utilitários (KLINGEBIEL; MONTGOMERY, 1961; LEPSCH et al., 2015): a) critérios diagnósticos, que são atributos não necessariamente limitantes, mas condicionantes das práticas de manejo que cada gleba deve receber; b) fatores limitantes, que são critérios diagnósticos com interferência adversa nas possibilidades de uso das terras que, em excesso, não podem ser melhorados por iniciativa individual do agricultor; c) critérios não diagnósticos, que não interferem na classificação da capacidade de uso. Todos eles devem ser identificados nos levantamentos utilitários e devidamente codificados em fórmulas.

Há duas abordagens possíveis nos levantamentos utilitários (LEPSCH et al., 2015). Na primeira, analítica, a área é inicialmente subdividida em função de suas características visíveis e do conhecimento acumulado pelo profissional. Em seguida são feitas descrições morfológicas e coletas de amostras para análises

laboratoriais em pontos que representam cada subdivisão considerada. Na segunda abordagem, sintética, as descrições morfológicas e coletas de amostras são feitas sistematicamente em pontos de uma malha de amostragem. Os resultados são utilizados posteriormente para subdividir as unidades de mapeamento. Ambas apresentam vantagens e desvantagens, mas a primeira consagrou-se como a mais usual em razão da rapidez com que os resultados são obtidos.

Os códigos que representam cada atributo considerado são dispostos em fórmulas não matemáticas do tipo (x/y)*z que sintetizam as características de cada gleba identificada. No numerador posicionam-se os critérios diagnósticos relativos à zona explorada pelas raízes da planta (profundidade, textura e permeabilidade/drenagem). No denominador posicionam-se os critérios diagnósticos característicos do terreno (declividade e erosão). À direita posicionam-se todos os fatores limitantes identificados a campo. A classificação da capacidade de uso é a síntese de todos os critérios considerados e de suas possíveis interações.

São três as categorias consideradas no sistema de capacidade de uso com grau crescente de especificidade: a) classe de capacidade de uso, numerada de I (maior capacidade de uso agrícola) a VIII (sem capacidade de uso agrícola), é a categoria mais genérica e agrupa terras com riscos idênticos de degradação; b) subclasse de capacidade de uso, referida pelas letras a (água), c (clima), e (erosão) e s (solo), indica a natureza da limitação; c) unidade de capacidade de uso, indicada por um numeral arábico que particulariza o problema causador da limitação. Apenas a identificação da última permite a recomendação de práticas específicas de manejo. Para melhor compreensão da estrutura dessas categorias e de sua significação prática, consultar o Anexo A.

Nenhum procedimento classificatório pode ter nível de detalhe maior que o dos dados que lhe dão origem. Por isso, os levantamentos utilitários precisam

ser tão detalhados e precisos quanto possível (LEPSCH et al., 2015). Eles se prestam à elaboração de mapas em grandes escalas, no nível de propriedades rurais ou microbacias, sendo de mais difícil utilização em pequenas escalas, dadas as demandas de tempo e trabalho envolvidas.

O sistema de capacidade de uso foi desenvolvido para as características da agricultura norte-americana, intensiva na aplicação de capital e tecnologia. Seus critérios foram definidos em função dessas características. Por isso, Lepsch et al. (2015) consideram que esse sistema pressupõe nível de manejo alto ou moderadamente alto. Essa não é a realidade da maioria dos agricultores no Brasil e em outros países em desenvolvimento. Isso faz com que o sistema de capacidade de uso não seja capaz de identificar apropriadamente as reais potencialidades e limitações de uso das terras quando utilizadas sob níveis de manejo mais baixos. Ou seja, este sistema de classificação tem pouca utilidade para muitos agricultores brasileiros.

Contudo, Hudson (1977) considera que cada realidade social, cultural e ambiental demanda adaptações na classificação de terras. E é conhecido o efeito que diferentes paradigmas tecnológicos têm sobre as possibilidades de aproveitamento agrícola das terras, conforme verificado quando as terras do Cerrado, antes consideradas marginais, foram tornadas produtivas pela aplicação de determinadas tecnologias (GOEDERT, 1983). Em razão da inadaptação do sistema de capacidade de uso aos sistemas agrícolas que utilizam pouco capital e tecnologia, Sheng (1989) propôs adaptação para considerar o nível técnico comum aos agricultores pobres dos países em desenvolvimento. Como critérios de classificação ele adotou tão somente a declividade e a profundidade efetiva do solo, criando nomenclatura própria e distanciando-se do sistema original.

Muitos agricultores utilizam suas terras mais intensivamente do que o indicado pela capacidade de uso, sem que isso resulte em degradação. Isso é devido ao uso de tecnologias não previstas no sistema. Fernandes et al. (2008)

demonstram que a lógica produtiva e os sistemas agrícolas não intensivos podem contornar determinadas limitações das terras, como a declividade. E contrariamente, podem ser insuficientes para permitir usos na intensidade indicada pela capacidade de uso, como no caso de limitações muito fortes de fertilidade natural do solo.

Fatores socioeconômicos interferem na utilização das terras. Ainda que Lepsch et al. (2015) entendam ser factível adaptar regionalmente o sistema em razão dessas diferenças, a última edição do *Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso* ainda mantém os critérios de enquadramento das terras nas classes de capacidade de uso sem considerar tais diferenças. Essa é uma lacuna ainda não preenchida pelo sistema de capacidade de uso.

2.2.2 A classificação da aptidão agrícola

Embora o sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) não seja o objeto de estudo da presente tese, é necessário apresentar sucintamente suas características pelo que ele tem de inspiração para o desenvolvimento deste estudo. A classificação da aptidão agrícola é feita em referência a algum nível de manejo. O sistema considera a existência de três, procurando refletir minimamente a diversidade técnica da agricultura brasileira. A seguir é apresentada sua caracterização.

Nível de manejo A (primitivo) – Baseado em práticas agrícolas que refletem baixo nível técnico-cultural. Praticamente não há aplicação de capital para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras. As práticas agrícolas dependem fundamentalmente do trabalho braçal, podendo ser utilizada

alguma tração animal com implementos agrícolas simples. É muito dependente das características dos ecossistemas.

Nível de manejo B (pouco desenvolvido) – Baseado em práticas agrícolas que refletem nível tecnológico médio. Caracteriza-se pela modesta aplicação de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras. As práticas agrícolas incluem calagem e adubação orgânica ou química, tratamentos fitossanitários simples, mecanização com base em tração animal ou motorizada, esta última apenas para desbravamento e preparo inicial do solo. A dependência em relação às características dos ecossistemas é menor que no nível anterior.

Nível de manejo C (desenvolvido) – Baseado em práticas agrícolas que refletem alto nível tecnológico. Caracteriza-se pela aplicação intensiva de capital e de resultados de pesquisas para manejo, melhoramento e conservação das condições das terras e das lavouras. A motomecanização está presente em todas as fases da operação agrícola. Entre todos é o que apresenta maior independência em relação às características dos ecossistemas.

O sistema de aptidão agrícola pressupõe que quaisquer práticas de melhoria das características das terras são inviáveis no nível de manejo A, sendo viáveis apenas nos níveis B e C. As práticas de melhoria podem ser enquadradas em quatro classes: na primeira (classe a), elas são simples e com pequeno aporte de capital; na segunda (classe b), elas são mais intensivas e sofisticadas, com maior aporte de capital; existem ainda as classes c e d, ambas fora das possibilidades individuais dos agricultores ou simplesmente inviáveis técnica ou economicamente. Considerando os fatores limitantes à aptidão agrícola, Resende et al. (2014) afirmam que:

a) O melhoramento da deficiência de fertilidade do solo é inviável no nível de manejo A, o que o torna virtualmente dependente da fertilidade natural. Apenas práticas de convivência como a seleção de culturas adaptadas e o cultivo itinerante são previsíveis. Pequenas melhorias na fertilidade natural (classe a) são compatíveis com o nível de manejo B. Aqui são viáveis práticas como a adubação verde, a incorporação de estercos e tortas, correção e adubação química limitadas (até 2 Mg/ha e 200 kg/ha, respectivamente) e rotação de culturas. Grandes melhoramentos na fertilidade natural (classe b) são compatíveis com o nível de manejo C. Neste caso, as práticas mais comuns são as correções e adubações pesadas (mais de 2 Mg/ha e 200 kg/ha, respectivamente), gessagem, aplicação de micronutrientes, adubação foliar, dessalinização e cobertura morta associada às práticas anteriores.

b) O melhoramento da deficiência de água não é um pressuposto do sistema, mas práticas de manejo da umidade são viáveis para todos os níveis de manejo considerados: o nível de manejo A comporta a cobertura morta, a incorporação de resíduos ao solo, o plantio em covas, o ajuste das épocas de plantio e a escolha de cultivos e variedades adaptados. Os níveis de manejo B e C comportam, além destes, o plantio em faixas, as faixas de retenção, os cordões de contorno, os terraços de base estreita, o cultivo mínimo e o plantio direto. A deficiência hídrica é uma característica natural dos ecossistemas, afeta indistintamente todos os níveis de manejo e não serve para diferenciá-los quanto à aptidão.

c) O melhoramento da deficiência de O₂ (excesso de umidade) não é considerado no nível de manejo A, mas a escolha de cultivos adaptados sim. No nível de manejo B são possíveis melhoramentos incluídos na classe a, como a construção de pequenas valas de drenagem. No nível de manejo C são possíveis melhoramentos incluídos na classe b, como projetos de drenagem mais complexos.

d) O melhoramento da suscetibilidade à erosão não é considerado no nível de manejo A, mas práticas de convívio como a semeadura em nível e em faixas, a cobertura do terreno e as capinas alternadas, o consórcio e a agricultura itinerante em pequenas áreas são capazes de permitir o cultivo mesmo em condições de terreno restritivas para os demais níveis. As práticas de melhoramento incluídas na classe a, compatíveis com o nível de manejo B, são o cultivo mínimo, o enleiramento em nível de restos culturais, o cultivo em faixas, as faixas de retenção, o cultivo em contorno, o pastoreio controlado, as capinas alternadas, os cordões de pedra, o pousio em faixas, a cobertura morta e a adubação verde. Já as práticas incluídas na classe b, compatíveis com o nível de manejo C, incluem o terraceamento, os canais escoadouros, a escarificação, a subsolagem, os diques, os interceptadores (obstáculos), o controle de voçorocas e o plantio direto.

e) O melhoramento dos impedimentos à mecanização somente é considerado relevante no nível de manejo C. Por isso, os melhoramentos incluídos na classe a, compatíveis com os níveis de manejo A e B, restringem-se à limpeza do terreno com remoção de pedras e restos vegetais. Os melhoramentos incluídos na classe b são os projetos de drenagem, a sistematização do terreno e a adequada construção de carreadores e estradas.

Considerando o exposto acima, é possível tecer as seguintes considerações a respeito dos requisitos técnicos dos diferentes níveis de manejo:

a) O nível de manejo A não admite práticas de melhoria das deficiências naturais das terras, sendo viáveis unicamente práticas de convivência com estas, tais como o ajuste das épocas de plantio e a escolha de cultivos e variedades adaptados. Isto o torna inteiramente dependente das condições naturais dos ecossistemas. Um bom exemplo são os sistemas agrícolas itinerantes, nos quais não se utilizam fertilizantes nem implementos motomecanizados, o trabalho é quase inteiramente

braçal e não são causas de degradação ambiental enquanto praticados dentro dos limites naturais impostos pelo ambiente. Quando esses sistemas são intensificados para além desses limites e o cultivo é repetido na mesma gleba em prazos mais curtos, a tendência é a degradação das terras.

b) O nível de manejo B, embora considerado pouco desenvolvido, admite um conjunto de tecnologias que denotam, ao contrário, considerável esforço de superação das limitações naturais das terras. Aqui são admitidas, além das práticas de convívio viáveis no nível de manejo A, práticas como a adubação verde, a adubação orgânica, a correção e a adubação químicas dentro de certos limites, a rotação de culturas, o cultivo consorciado, a cobertura morta, o cultivo em faixas, os cordões e o cultivo em contorno, as faixas de retenção, os terraços, a construção de pequenas valas de drenagem, o cultivo mínimo, o enleiramento de restos culturais em nível, o pastoreio controlado, as capinas alternadas, os cordões de pedra e o pousio. Os implementos são em geral tracionados por animais, o que permite que, neste nível de manejo, certos terrenos impróprios a implementos motomecanizados sejam cultivados sem maiores riscos. Essas são tecnologias comuns em sistemas agrícolas de transição, incluindo os agroecológicos, e na agricultura familiar. Elas foram relegadas a um plano secundário em razão das modernas tecnologias, mas vêm sendo paulatinamente resgatadas não apenas pela crescente demanda por alimentos mais saudáveis, mas também por sua adaptabilidade a sistemas agrícolas nos quais os agricultores carecem de recursos técnicos e financeiros.

c) O nível de manejo C admite todas as tecnologias típicas da Revolução Verde e de seus desdobramentos, e é caracterizado pela grande dependência em relação a recursos financeiros. Inclui todas as tecnologias viáveis no nível de manejo B e também as correções e adubações pesadas, a aplicação de micronutrientes, a adubação foliar, a dessalinização, os projetos de drenagem mais complexos, os canais escoadouros, a escarificação, a subsolagem, os diques, os interceptadores

(obstáculos, paliçadas, etc...), o controle de voçorocas e o plantio direto. Aqui a motomecanização é intensa, o que pode provocar compactação e pulverização do solo, aumentando os problemas relacionados à erosão e à conservação da água. O advento do plantio direto veio minimizar esses riscos. Terrenos mais declivosos e pedregosos são impróprios para este nível de manejo.

A respeito das práticas de convivência com as limitações atuais das terras, é importante observar que nem sempre as técnicas destinadas a minimizá-las, por vezes a custos consideráveis, são as melhores alternativas para o agricultor. São muitas as opções técnicas para conviver com as deficiências de fertilidade, de umidade, de oxigenação ou com os impedimentos à mecanização e o risco de erosão.

Cada agricultor adapta seu sistema agrícola às características ambientais, sociais, culturais, econômicas e políticas vigentes em sua região. Isso significa que as modernas tecnologias podem não ser a melhor opção técnica em qualquer situação. Este fato exige que tanto a pesquisa científica quanto as políticas públicas sejam adaptadas para atender a todos os agricultores.

2.3 Demandas tecnológicas adaptadas

O aprimoramento técnico dos sistemas agrícolas conta com o apoio de instituições de pesquisa, de agências de fomento, de grandes empresas e de instituições governamentais. No entanto, as demandas técnicas dos agricultores que ainda desenvolvem sistemas agrícolas tradicionais têm sido deixadas em segundo plano (MUKUL; HERBOHN, 2016).

Esses agricultores possuem comprovada capacidade gerencial, mas utilizam bases de recursos limitadas e, portanto, são sensíveis a quaisquer restrições à sua atividade (JUNQUEIRA et al., 2016a). Os principais obstáculos à

comunicação entre agricultores e cientistas devem-se a diferenças na forma de compreender o mundo. A vivência dos agricultores é importante fonte de conhecimento, traduzida em sistemas agrícolas adaptados (NYSSSEN et al., 2008). É necessário, portanto, melhorar o diálogo com eles, redescobrimo as tecnologias tradicionais, construindo colaborativamente soluções apropriadas e disseminando-as adequadamente (ALTIERI; NICHOLLS, 2017; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ et al., 2011; YENGOH; BROGAARD, 2014). Essa adaptação favorece a sustentabilidade, a coesão das comunidades rurais e a proteção ao seu legado cultural (VLIET et al., 2015), na linha da intensificação sustentável (Quadro 2), possibilidade aberta a qualquer sistema agrícola.

Quadro 2 Formas convencionais e sustentáveis de intensificação da agricultura

	Convencional	Sustentável
Objetivo	Aumentar a produção.	Aumentar a produção, o capital natural e social, e construir conhecimento.
Saber	Criado por especialistas, disseminado em redes convencionais de extensão rural.	Criado por especialistas e agricultores, disseminado em redes colaborativas de extensão rural.
Serviços ambientais	Derivados da paisagem cultivada. Substituição dos serviços de regulação por insumos. Interações com a paisagem natural são externalidades.	Valorização da multiplicidade de serviços ambientais das paisagens cultivadas e naturais, e da interdependência entre elas.

Fonte: modificado de Pretty e Bharucha (2014)

Há crescente demanda por melhores padrões sociais e ambientais na agricultura. Isso inclui os sistemas tradicionais, comumente associados a padrões insustentáveis de exploração ditados pela pobreza. Práticas agrícolas que atendam às demandas da sociedade, melhorem os sistemas agrícolas e as condições de vida do agricultor dependem de políticas públicas adaptadas. Dependem, ainda, da adequação das tecnologias a diversos contextos (ALTIERI; NICHOLLS, 2017; VIGNOLA et al., 2015). Cada comunidade tem condicionantes relativos à oferta e qualificação da mão de obra ou à capacidade de investimento. Não sendo possível atendê-los não será viável a disseminação das inovações (HALBRENDT et al., 2014). As alternativas precisam ser avaliadas em conjunto por cientistas, extensionistas e agricultores, para que as soluções sejam efetivamente adaptadas.

Parte das demandas técnicas dos agricultores relaciona-se a alternativas que favoreçam a intensificação dos sistemas tradicionais sem aumentar a demanda por insumos, como o aproveitamento de microrganismos nativos, o manejo de queimadas, de resíduos orgânicos e de períodos de pousio (JUNQUEIRA et al., 2016a; MILTNER; COOMES, 2015).

A Ciência do Solo tem um papel relevante a desempenhar na adaptação da tecnologia a essas demandas. Considerando que muitas comunidades rurais utilizam sistemas próprios de classificação de solos e de terras, compreender melhor a lógica que governa esse conhecimento empírico permitirá melhorar a comunicação com elas e favorecerá a adaptação de inovações que aumentem a produtividade, a renda e melhorem a dieta (BALCÁZAR et al., 1998; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ et al., 2011; JUNQUEIRA et al., 2016a), como sistemas em rotação e consórcio, inclusive agroflorestal. São técnicas já em uso por muitos agricultores, mas ainda é necessário aprofundar as pesquisas (JUNQUEIRA et al., 2016b; MORENO-CALLES et al., 2016; RAHMAN;

RAHMAN; SUNDERLAND, 2012; VALLEJO et al., 2014; WOOD; RHEMTULLA; COOMES, 2016).

Nesse contexto, a adaptação do sistema de capacidade de uso às características técnicas dos sistemas agrícolas com baixo nível de manejo favorecerá a identificação das terras mais propícias às atividades agrícolas de todos os agricultores (e não apenas daqueles com maiores recursos técnicos e financeiros), tanto em escala local quanto regional.

A adaptação apresentada utiliza todos os critérios de classificação, a nomenclatura e a estrutura do sistema de capacidade de uso, mas adapta o enquadramento das terras às características dos três níveis de manejo utilizados no sistema de aptidão agrícola. Isso traz por vantagens adicionais a fácil comparação entre a classificação feita para diferentes níveis de manejo num mesmo local, e a possibilidade de relacionar mais diretamente a aptidão agrícola e a capacidade de uso de uma mesma gleba.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento deste estudo obedeceu à metodologia sumarizada a seguir e pormenorizada nos artigos apresentados na sequência.

3.1 Adaptação da capacidade de uso a diferentes níveis de manejo

Os critérios de classificação do sistema de aptidão agrícola (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) são características do solo – deficiências de fertilidade, de água, de aeração, riscos de erosão e impedimentos à mecanização – que podem ser modificadas pelo agricultor, segundo suas possibilidades técnicas. Esses critérios são diferentes daqueles utilizados no sistema de capacidade de uso (KLINGEBIEL; MONTGOMERY, 1961; LEPSCH et al., 2015), que utiliza características permanentes das terras – profundidade efetiva, textura, permeabilidade, declividade e processos erosivos.

Em razão desse aspecto, não há comunicação direta entre os dois sistemas. São interpretações diferentes, com objetivos diferentes, sobre as possibilidades de uso agropecuário das terras. Por isso, a análise sobre como esses sistemas se relacionam permite agregar ao de capacidade de uso os diferentes níveis de manejo utilizados na classificação da aptidão agrícola.

É possível estabelecer uma correspondência entre o nível de manejo C do sistema de aptidão agrícola e o nível de manejo alto, pressuposto no sistema de capacidade de uso, ou seja, em tese ambos correspondem ao estado da arte agrícola. Mas diferentes sistemas agrícolas, com diferentes níveis de manejo, são capazes de enfrentar de maneira diferente as limitações e potencialidades de uso das terras.

Nos subitens 3.1.1 a 3.1.19 discute-se a relação entre a capacidade de uso das terras e o nível de manejo agrícola, apresentam-se os critérios de classificação,

as categorias consideradas e seu significado. Para facilitar a leitura, a proposta de adaptação do enquadramento das terras, conforme o nível técnico do agricultor, é detalhada nos artigos que fazem parte desta tese.

Objetivou-se preservar a estrutura do sistema, utilizando todos os critérios e categorias previstos, bem como sua sistemática de análise. Procurou-se também preservar o enquadramento usual para o nível de manejo C, conforme França (1963), Ribeiro e Campos (1999) e Zimback e Rodrigues (1993), ajustando-o apenas quando necessário.

3.1.1 Profundidade efetiva

Considerada como a profundidade útil do solo à expansão do sistema radicular, levando em consideração os impedimentos físicos, tais como rocha consolidada, camadas de impedimento (fragipãs, duripãs, entre outros) e lençol freático sem possibilidade de rebaixamento. Este atributo é importante não apenas pelo impacto que tem sobre as possibilidades de mecanização das operações agrícolas, mas também sobre a capacidade de armazenamento de água e nutrientes na camada de solo explorada pelas raízes.

O nível de manejo A não sofre impacto desse atributo relativamente à mecanização, pois não a utiliza, mas, do ponto de vista do armazenamento de água e nutrientes, seu grau de dependência é maior que o dos demais níveis de manejo, dada sua sujeição às características naturais do solo. Profundidades efetivas inferiores a 1,0 m apresentam restrições crescentes para cultivos nesse nível de manejo. O nível de manejo B também não sofre restrições à mecanização, pois os implementos traçados por animais não trabalham a profundidades muito grandes. Profundidades efetivas inferiores a 1,0 m, no entanto, impactam este nível do ponto de vista do armazenamento de água e nutrientes, menos que o nível de manejo A, porém mais que o nível de manejo C. Este último é o mais

dependente da profundidade sob o aspecto da mecanização e, ao mesmo tempo, o menos dependente sob o aspecto do armazenamento de água e nutrientes, dado o maior nível de aplicação de capital. Considerando a análise acima, consideram-se as seguintes categorias:

- 1 – Solos muito profundos (profundidade > 2,0 m)
- 2 – Solos profundos (profundidade entre 1,0 e 2,0 m)
- 3 – Solos moderadamente profundos (profundidade entre 0,5 e 1,0 m)
- 4 – Solos rasos (profundidade < 0,5 m)

3.1.2 Textura

A textura é um atributo que influi diretamente na capacidade de uso da terra em razão de propriedades que confere ao solo: a) o gradiente textural é capaz de influir na suscetibilidade à erosão, dada a permeabilidade diferencial dos distintos horizontes ou camadas; b) os teores de argila, silte e areia e a forma particular de arranjo estrutural dessas partículas influenciam decisivamente as propriedades físicas relacionadas ao comportamento da água no solo, ou seja, a infiltração, a retenção e a redistribuição no perfil, bem como a capacidade de troca de cátions e a facilidade de preparo do solo; c) a presença de fragmentos grosseiros na composição granulométrica do solo é capaz de interferir na permeabilidade, na capacidade de retenção d'água e nas condições de preparo do solo.

Condições extremas relativas à textura, como o caráter abrupto, a textura arenosa em todo o perfil e o caráter coeso, tendem a impor restrições às atividades agrícolas sob quaisquer níveis de manejo, sendo que solos arenosos tendem a ser muito restritivos sob o nível de manejo A, por sua reduzida capacidade de retenção de umidade, enquanto os solos muito argilosos (principalmente se predominarem a caulinita ou argilas 2:1) tendem a ser muito restritivos sob o nível de manejo C,

principalmente quando cultivadas extensas áreas sob mecanização intensa, em que há pouca flexibilidade para o convívio com os curtos períodos em que, nessa situação, a umidade do solo está adequada para as operações agrícolas. Entre essas situações extremas, os níveis de manejo A e B tendem a adaptar-se melhor a texturas que favoreçam maior retenção de umidade, enquanto o nível de manejo C tende a adaptar-se melhor a texturas que facilitem a operação de máquinas. As categorias consideradas são:

- 1 – Muito argilosa (argila > 60%)
- 2 – Argilosa (argila entre 35 e 60%)
- 3 – Média (argila < 35%, areia > 15%, silte < 50%)
- 4 – Siltosa (argila < 35%, areia < 15%, silte > 50%)
- 5 – Arenosa (argila < 15%, areia > 70%)

Dependendo da composição mineralógica da fração argila, solos argilosos ou muito argilosos poderão ter enquadramento pior caso predominem minerais que originem caráter coeso ou vértico. Da mesma forma, solos arenosos poderão ter comportamentos distintos em relação à retenção de umidade, a depender dos teores de areia fina e de areia grossa: a areia fina favorece a retenção de umidade mais que a areia grossa e, sob este aspecto, é menos restritiva. Nesse caso, entende-se factível enquadramento na Classe III para os três níveis de manejo. De qualquer modo, cabe ao profissional responsável pela classificação modular o enquadramento.

3.1.3 Classe de drenagem

O conceito de permeabilidade diz respeito à facilidade com que a água e o ar infiltram-se no perfil do solo. Trata-se de atributo diretamente relacionado à

textura e à estrutura do solo, cuja manifestação depende da macroporosidade. A permeabilidade influi na capacidade do solo em absorver a água da precipitação: quanto maior, menor será o escoamento superficial, e menor será o risco de erosão. A uniformidade deste atributo em todo o perfil, em níveis moderados a elevados, tende a torná-lo menos suscetível a processos erosivos. A permeabilidade lenta está associada a maiores riscos de perdas por erosão, principalmente em declives mais pronunciados.

A ocorrência de permeabilidade diferencial entre horizontes também tende a aumentar os riscos de perdas por erosão. Esta condição usualmente provoca restrições à livre drenagem e o desenvolvimento de feições tais como mosqueados, plintita e horizonte glei. Isto tende a tornar mais restritivo o enquadramento das terras em relação à condição ideal de permeabilidade uniforme. Os diferentes processos pedogenéticos originam perfis com permeabilidade relativamente uniforme ou ainda com permeabilidade diferencial, maior em superfície e menor em subsuperfície.

Embora não seja um critério original de classificação da capacidade de uso, a classe de drenagem (expressão do processo de redistribuição) pode auxiliar na determinação da permeabilidade. Como a determinação desta última em laboratório não é comum, enquadram-se os perfis descritos nas classes de drenagem a partir de suas características morfológicas (ou mesmo a partir da classe de solo) e, então, infere-se a permeabilidade. A drenagem interna corresponde à rapidez com que a água é transportada através do perfil do solo. Depende da textura e da estrutura do solo e, ainda, da existência de camadas de impedimento, da topografia e da posição na paisagem. Santos et al. (2015) definem oito classes de drenagem, conforme o quadro a seguir, que podem ser utilizadas para a classificação da capacidade de uso:

Quadro 3 Classes de drenagem consideradas na classificação da capacidade de uso

Classe	Características
Excessivamente drenado	Textura arenosa
Fortemente drenado	Textura arenosa a média, permeabilidade rápida
Acentuadamente drenado	Textura média, permeabilidade rápida
Bem drenado	Textura média a argilosa, ausência de mosqueado nos primeiros 150 cm
Moderadamente drenado	Permeabilidade moderada, mosqueado e/ou gradiente textural pronunciado no horizonte B
Imperfeitamente drenado	Permeabilidade lenta, mosqueados e/ou horizonte glei profundos, solo molhado em pequena parte do ano
Mal drenado	Permeabilidade lenta, mosqueados e/ou horizonte glei elevados, solo molhado em parte significativa do ano
Muito mal drenado	Permeabilidade lenta, horizonte glei e acúmulo de matéria orgânica à superfície, áreas planas e depressões, solo molhado a maior parte do ano

Fonte: Santos et al. (2015)

A pequena necessidade de trânsito de máquinas e a tendência ao menor revolvimento do solo (e conseqüentemente menor risco de erosão) tornam os sistemas agrícolas sob níveis de manejo A e B mais aptos do que aqueles sob nível de manejo C, a conviver com solos que apresentem permeabilidade e drenagem interna com algum grau de restrição. Porém, como a água muito rapidamente

drenada do perfil pode fazer falta para o crescimento vegetal, e o convívio com este problema depende de investimento em tecnologia, o nível de manejo A é mais sensível que os demais quando a drenagem é acentuada ou excessiva, e o nível de manejo B é mais sensível que o C. Este último é mais sensível que os demais quando a drenagem é moderada ou imperfeita, pois depende de máquinas cuja utilização pode ficar comprometida em terrenos um pouco mais úmidos. Para todos os níveis de manejo, o ideal é drenagem boa, e drenagem entre ruim e muito ruim é restritiva a todos, basicamente pela restrição ao suprimento de oxigênio durante parte significativa do ano.

Em razão do exposto, é comum adotar por critério de classificação da capacidade de uso a classe de drenagem em lugar da permeabilidade. Consideram-se as seguintes categorias:

- 1 – Solos acentuadamente drenados (ou mais)
- 2 – Solos bem drenados
- 3 – Solos moderadamente drenados
- 4 – Solos imperfeitamente drenados
- 5 – Solos mal drenados
- 6 – Solos muito mal drenados

Santos et al. (2015) estabeleceram relação entre a classe de solo e a classe de drenagem, que serviu à adaptação a seguir:

Drenagem acentuada (ou mais) – Neossolo Quartzarênico e Latossolo com estrutura granular.

Drenagem boa a moderada – Latossolo com estrutura em blocos, Nitossolo, Argissolo, Chernossolo, Luvisolo, Cambissolo, Neossolo Litólico e Neossolo Regolítico.

Drenagem imperfeita – Planossolo, Plintossolo, Vertissolo.

Drenagem ruim – Espodossolo, Gleissolo.

Drenagem muito ruim – Organossolo.

3.1.4 Declividade

A declividade é um atributo da terra que interfere tanto na possibilidade do uso de máquinas quanto na velocidade do escoamento superficial (consequentemente no risco de erosão) e, secundariamente, na aeração (desde que associada à posição na paisagem), se não favorece a drenagem da água que infiltra no solo.

Como utiliza apenas implementos manuais, com mínimo revolvimento do solo, o nível de manejo A é capaz de operar em terras com declividades maiores que os demais níveis. Também o nível de manejo B (que utiliza tração animal) é mais tolerante que o nível de manejo C neste aspecto. Este último pressupõe intensa utilização de máquinas e, em geral, intenso revolvimento do solo, sendo bastante sensível a este atributo, razão pela qual Lepsch et al. (2015) consideram que, muitas vezes, este é o principal definidor da classificação das terras. Tendo a análise acima por perspectiva, consideram-se as seguintes categorias:

- 1 – Terras planas (até 2% de declive)
- 2 – Terras suavemente onduladas (entre 2 e 5% de declive)
- 3 – Terras moderadamente onduladas (entre 5 e 10% de declive)
- 4 – Terras onduladas (entre 10 e 15% de declive)
- 5 – Terras fortemente onduladas (entre 15 e 45% de declive)
- 6 – Terras montanhosas (entre 45 e 70% de declive)
- 7 – Terras escarpadas (acima de 70% de declive)

Esse enquadramento está condizente com aquele sugerido por Sheng (1989), que desenvolveu sistema de classificação da capacidade de uso adaptado aos agricultores pobres de regiões montanhosas de países em desenvolvimento.

3.1.5 Erosão

A erosão é critério de classificação no sistema de capacidade de uso, sendo necessário identificar sua intensidade. Entretanto, França (1980) questiona a subjetividade dessa inferência, recomendando a aplicação do critério erodibilidade, que representa a suscetibilidade às perdas por erosão em razão das características do perfil, mantidas invariáveis as características topográficas, a intensidade das precipitações, a cobertura vegetal e o manejo.

Lepsch et al. (2015) endossam esta argumentação e incluem entre os critérios de enquadramento das terras a erodibilidade do solo como alternativa. O Zoneamento Ecológico-Econômico de Minas Gerais (SCOLFORO; CARVALHO; OLIVEIRA, 2008) estabelece uma relação direta entre as diferentes classes de solo e sua erodibilidade.

Sob este aspecto, o nível de manejo C mostra-se mais sensível que os demais em razão do maior revolvimento e desagregação do solo (embora minimizados nos sistemas agrícolas conservacionistas). Assim, uma gleba cujo solo apresente uma dada erodibilidade, cultivada com diferentes níveis de manejo, tenderá a perder mais solo por erosão com intensa mecanização. Diferentes glebas que apresentem solos diferentes, mas com a mesma erodibilidade, apresentarão a mesma capacidade de uso relativa a esse atributo, dependendo tão somente do nível de manejo adotado. Assim, quando for impraticável identificar a campo as perdas por erosão, propõem-se as seguintes categorias de erodibilidade:

1 – Muito baixa

- 2 – Baixa
- 3 – Média
- 4 – Alta
- 5 – Muito alta

Por outro lado, os processos erosivos significam perdas de nutrientes, carbono orgânico e água que o nível de manejo C suporta melhor que os demais níveis, pois dispõe de mais recursos técnicos para mitigá-las. Nesse caso, o nível de manejo B tem capacidade (para suportar os efeitos) similar ao nível C em processos erosivos iniciais, mas, com a intensificação das perdas, passa a senti-los da mesma forma que o nível A.

Sempre que for factível mensurar objetivamente a campo os processos erosivos, recomenda-se a adoção desse critério, em substituição à erodibilidade. Consideram-se as seguintes categorias:

Erosão laminar

- 0 – Não aparente
- 1 – Ligeira
- 2 – Moderada
- 3 – Severa
- 4 – Muito Severa (ou pior)

Sulcos superficiais

- 0 – Inexistentes
- 1 – Ocasionais
- 2 – Frequentes

3 – Muito frequentes

Sulcos rasos

0 – Inexistentes

1 – Ocasionais

2 – Frequentes

3 – Muito frequentes

Sulcos profundos

0 – Inexistentes

1 – Ocasionais

2 – Frequentes

3 – Muito frequentes

Sulcos muito profundos

Os sulcos muito profundos correspondem às voçorocas, e limitam sobremaneira a capacidade de uso das terras, impossibilitando seu aproveitamento agronômico, qualquer que seja o nível de manejo.

3.1.6 Capacidade de troca catiônica

Corresponde ao montante de sítios de troca de cátions dos colóides em equilíbrio com a solução do solo (T) na camada superficial, indicando o montante de nutrientes que o solo é capaz de armazenar. Esse atributo é limitante para qualquer sistema agrícola, sob qualquer nível de manejo, pois a capacidade do

solo de estocar nutrientes depende de processos pedogenéticos, ainda que sofra interferência do manejo agrícola. Entretanto, os níveis de manejo B e C dispõem de mais recursos técnicos para enfrentar tal limite. Tomando a análise anterior por perspectiva, consideram-se as seguintes categorias:

- 1 – Alta ($CTC > 8 \text{ cmol/dm}^3$ solo)
- 2 – Média (CTC entre 4 e 8 cmol/dm^3 solo)
- 3 – Baixa ($CTC < 4 \text{ cmol/dm}^3$ solo)

Os limites acima propostos são condizentes com os solos profundamente intemperizados dos trópicos. Em qualquer outra condição ambiental onde sejam comuns CTCs mais expressivas, recomendam-se ajustes no enquadramento.

3.1.7 Saturação por bases

Refere-se ao percentual de sítios de troca catiônica ocupados por bases (V%) na camada arável. Está diretamente relacionada ao pH da solução do solo. A aplicação de corretivos e fertilizantes é capaz de alterá-la, e por isso o nível de manejo A é mais sensível que os demais, enquanto o nível de manejo C é o mais capaz de enfrentar essa limitação. Propõe-se as seguintes categorias:

- 1 – Saturação por bases alta ($V \geq 75\%$)
- 2 – Saturação por bases média ($50 \leq V < 75\%$)
- 3 – Saturação por bases baixa ($25 \leq V < 50\%$)
- 4 – Saturação por bases muito baixa ($V < 25\%$)

Se a saturação por bases, média ou alta, estiver associada a uma baixa soma de bases (inferior a 1 cmol/dm^3), ainda assim o solo deverá ser considerado

de fertilidade baixa, bem como o enquadramento correspondente nas classes de capacidade de uso.

Nos mapeamentos utilitários feitos diretamente a partir da reinterpretação de levantamentos pedológicos, é importante considerar que nas legendas dos mapas estão disponíveis informações simplificadas, caráter distrófico ou eutrófico. Por isso, em mapeamentos desta natureza, é necessária a simplificação da categorização proposta.

- 1 – Saturação por bases alta (caráter eutrófico)
- 2 – Saturação por bases baixa (caráter distrófico)

3.1.8 Alumínio

É importante considerar a saturação da solução do solo por Al^{3+} trocável em subsuperfície. Considerando que toda cultura tolera um percentual máximo de Al^{3+} para que não haja prejuízos à produção, variando entre 5 e 30%, recomendam-se as seguintes categorias:

- 1 – Saturação baixa ($m \leq 5\%$)
- 2 – Saturação média ($5\% < m \leq 30\%$)
- 3 – Saturação alta ($30\% < m \leq 50\%$)

Também é necessário considerar o teor de Al^{3+} trocável, e nesse caso recomenda-se o seguinte enquadramento:

- 1 – Teor baixo ($< 0,3 \text{ cmol/dm}^3$)
- 2 – Teor médio ($0,3 \text{ cmol/dm}^3 \leq Al < 1,0 \text{ cmol/dm}^3$)
- 3 – Teor alto ($\geq 1 \text{ cmol/dm}^3$)

O caráter alumínico configura-se sob saturação por alumínio igual ou superior a 50% e teor igual ou superior a 4 cmol/dm^3 em solos com atividade de argila $< 20 \text{ cmol/dm}^3$ solo, e o caráter alítico, configura-se sob saturação por alumínio e teor similares aos anteriores, mas em solos com atividade de argila $\geq 20 \text{ cmol/dm}^3$ solo. Assim sendo, sempre que $m > 50\%$, é grande a probabilidade de o teor de Al trocável estar muito além do limite de toxidez às plantas (1 cmol/dm^3). É possível a minimização desse problema com as práticas de correção, nomeadamente a calagem e a gessagem, e, por isso, o nível de manejo A é o mais sensível a este fator, quase tanto quanto o nível de manejo B, enquanto o nível de manejo C tem maiores possibilidades de superar essa limitação.

3.1.9 Tiomorfismo

Esse caráter se manifesta sempre que solos mal drenados, que contenham compostos de enxofre (geralmente próximos à orla marítima) são drenados. Os sulfetos presentes se oxidam a ácido sulfúrico, o que reduz o pH a valores agronomicamente impraticáveis e, por isso, as terras devem ser mantidas sob vegetação nativa, sem nenhuma destinação econômica.

3.1.10 Sais

Segundo Lepsch et al. (2015), a salinidade se manifesta quando presentes no solo elevados teores de sais solúveis, particularmente cloretos e sulfatos de sódio, de cálcio e de magnésio, em depressões (quando há transporte de partes mais elevadas do terreno) e em climas mais secos (onde o fluxo capilar ascendente transporta sais à superfície). Ela provoca distúrbios fisiológicos consideráveis em plantas sempre que a condutividade elétrica da solução do solo for superior a 4

dS/m a 25°C, o que equivale a mais de 15% de sais na CTC. Os níveis de manejo A e B são mais sensíveis do que o nível de manejo C, detentor de maior capacidade técnica e econômica de prevenção e minimização de danos. Por isso, consideram-se as seguintes categorias:

- 1 – Baixa ($CE < 1$ dS/m)
- 2 – Média ($1 \leq CE < 4$ dS/m)
- 3 – Alta ($CE \geq 4$ dS/m)

3.1.11 Sódio

Segundo Lepsch et al. (2015), a presença de elevados teores de sódio é comum em depressões, áreas costeiras ou regiões áridas ou semiáridas, e confere coloração escurecida ao solo. Percentuais superiores a 15% da CTC são capazes de provocar alterações na estrutura do solo e limitações ao crescimento vegetal. Esse também é um fator limitante mais severo aos níveis de manejo A e B do que ao C, que é capaz de, até certo limite, adotar práticas de redução do problema. A adoção de práticas equivocadas de irrigação, com o uso de águas de alta concentração de sódio e outros sais, pode rapidamente deteriorar a qualidade física de solos sob sistemas irrigados que não disponham de projetos eficientes de drenagem. Por isso, consideram-se as seguintes categorias:

- 1 – Baixa saturação ($Na\% < 6\%$ de sódio trocável)
- 2 – Média saturação ($6 \leq Na \% < 15$)
- 3 – Alta saturação ($Na \% \geq 15\%$)

Teores de sódio acima de $1 \text{ cmol}/\text{dm}^3$ de solução do solo são capazes de deteriorar a qualidade física do solo, mesmo que seu percentual na CTC ainda

esteja abaixo de 15%. Por isso, esses dois aspectos devem ser analisados conjuntamente.

1 – Baixo teor ($\text{Na} < 0,3 \text{ cmol/dm}^3$)

2 – Médio teor ($0,3 \text{ cmol/dm}^3 \leq \text{Na} < 1,0 \text{ cmol/dm}^3$)

3 – Alto teor ($\text{Na} \geq 1,0 \text{ cmol/dm}^3$)

3.1.12 Carbonatos

São comuns em solos sob climas secos, em pH acima de 9,0. Nessa situação, a atividade do íon CO_3^{2-} é considerável e pode provocar distúrbios nutricionais em plantas, seja pela redução na disponibilidade de Fe, Zn e P, seja pela redução na absorção de N, P e K.

Saturação por carbonatos entre 5 e 15% configura nível médio e, acima deste limite, o nível é considerado alto. A forma em que esses compostos se encontram no solo também é importante, pois se eles estiverem precipitados não terão maior influência sobre a produtividade das culturas.

Em geral, níveis moderados de carbonatos no solo não são considerados prejudiciais, pois estão relacionados a faixas de pH favoráveis à máxima disponibilidade de vários nutrientes. Se em excesso, são capazes de prejudicar a disponibilidade e absorção mesmo daqueles nutrientes que são favorecidos por níveis moderados de carbonato. Por esse motivo, o excesso é considerado prejudicial principalmente sob os níveis de manejo A e B, pois demanda medidas corretivas em geral fora do alcance das possibilidades técnicas e financeiras individuais dos agricultores que os praticam. Consideram-se as seguintes categorias:

1 – Nível baixo ($\text{CaCO}_3 < 5\%$)

2 – Nível médio ($5 \leq \text{CaCO}_3 < 15\%$)

3 – Nível alto ($\text{CaCO}_3 \geq 15\%$)

3.1.13 Pedregosidade

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013) diferencia cascalhos (fragmentos < 2 cm) de fragmentos maiores, utilizando os primeiros para qualificar a classe textural do solo. Os últimos são usados para qualificar a constituição esquelética do solo (solos com 35% até 90% de fragmentos > 2 cm), e, quando o percentual ultrapassa 90%, o solo é dito fragmentário.

Já o sistema de capacidade de uso utiliza a presença de fragmentos maiores para estimar em que grau as possibilidades de mecanização serão comprometidas, e diferencia pedras (2 – 20 cm), matacões (> 20 cm) e afloramentos de rocha (blocos não fragmentados). A presença de pedras nos terrenos cultivados dificulta o uso de implementos, acelera seu desgaste e interfere nas condições de drenagem do solo.

O nível de manejo A tende a ser mais tolerante à presença de pedras no terreno, pois os implementos manuais sofrem menos interferências desse atributo. Já o nível de manejo C tende a ser mais prejudicado em razão do uso intenso de implementos mecanizados. O nível de manejo B é intermediário.

A pedregosidade acentuada, entretanto, prejudica todos os níveis de manejo indistintamente, tanto pelo efeito diluição da fertilidade natural quanto pela redução da profundidade efetiva. Consideram-se as seguintes categorias:

0 – Sem pedregosidade

1 – pd1 (pedras, até 15% da massa de solo)

2 – pd2 (pedras, 15 a 50% da massa de solo)

- 3 – pd3 (pedras, + de 50% da massa de solo)
- 4 – pd4 (matacões, 0,01 a 1% da superfície)
- 5 – pd5 (matacões, 1 a 10% da superfície)
- 6 – pd6 (matacões, 10 a 90% da superfície)
- 7 – pd7 (afloramentos, 2 a 15% da superfície)
- 8 – pd8 (afloramentos, 15 a 50% da superfície)
- 9 – pd9 (afloramentos, 50 a 90% da superfície)

3.1.14 Risco de inundação

Terrenos submetidos a risco de inundação estão mais na dependência de sua posição na paisagem, das características do clima e da hidrologia local do que de alguma outra característica intrínseca. Todos os níveis de manejo são igualmente prejudicados pela existência desse risco: os cultivos sentem os efeitos das inundações da mesma maneira.

Mas há características inerentes a cada nível de manejo que permitem conviver de maneira distinta com o fenômeno. Agricultores que adotam nível de manejo C dependem de infraestrutura mais complexa (carreadores, por exemplo) e cultivam extensões relativamente maiores, que naturalmente são menos adequadas a terrenos sujeitos a inundações, por mais eventual que seja o risco.

A única hipótese de eliminar os impactos das inundações é por meio de complexas obras de sistematização, drenagem, construção de represas, diques e pôlderes, investimentos estes que estão em geral acima da capacidade individual de qualquer agricultor.

As inundações estão associadas a eventos climáticos extremos que, em geral, trazem prejuízos materiais a quem vive nas áreas alagadas. Por isso, a mera constatação do risco, ainda que a duração dos eventos não seja longa, é suficiente

para limitar as terras quanto à sua capacidade de uso. Assim, as categorias propostas para o risco de inundação são:

- 1 – Ausente
- 2 – Ocasional (recorrência superior a 5 anos)
- 3 – Frequente (recorrência entre 1 e 5 anos)
- 4 – Muito frequente (recorrência menor que 1 ano)

Se o período anual inundado for normalmente prolongado, a restrição ao enquadramento das terras tende a aumentar. Entende-se que os limites acima são referentes a períodos curtos de inundação, ou seja, poucos dias.

3.1.15 Hidromorfismo

A manifestação do hidromorfismo está, de certa forma, relacionada ao risco de inundação, com a diferença de ser de mais fácil constatação. É certo que terrenos que sofrem inundações frequentes e muito frequentes tenderão a desenvolvê-lo, em razão das próprias características topográficas que levam à incidência do fenômeno. É manifestação clara das condições de saturação de água do perfil e, conseqüentemente, de aeração do solo.

Sua importância para a classificação da capacidade de uso reside no impacto que a baixa aeração do solo tem no desenvolvimento vegetal, dependente de adequado suprimento de O₂ para o metabolismo. Assim, pode-se afirmar que condições extremas de hidromorfismo são igualmente prejudiciais a atividades agrícolas sob quaisquer níveis de manejo. No entanto, sob condições não tão extremas, cultivos desenvolvidos sob os níveis de manejo A e B podem ser viáveis no período mais seco do ano (em que o nível do lençol freático está mais profundo) ou ainda sobre camalhões. Essas mesmas condições tendem a ser mais restritivas

ao nível de manejo C, dado o uso intensivo de equipamentos pesados. Lepsch et al. (2015) identificam quatro classes de incidência. Propõem-se as seguintes categorias de hidromorfismo:

0 – Ausente

1 – h_1 (horizonte glei abaixo de 1,0 m, saturação por período curto)

2 – h_2 (horizonte glei entre 0,5 e 1,0 m, saturação por período médio)

3 – h_3 (horizonte glei entre 0,25 e 0,5 m, saturação por período longo, afloramento por período médio)

4 – h_4 (horizonte glei desde a superfície, saturação na maior parte do ano, afloramento por período longo, acúmulo de material orgânico à superfície)

3.1.16 Caráter vértico

Manifesta-se em solos cuja fração argila apresenta teor significativo de argilominerais do tipo 2:1, que apresentam capacidade de expandir-se e contrair-se intensamente sob variações na umidade. Quando presente, solos com esse caráter exibem horizonte diagnóstico vértico, típico dos Vertissolos.

Na estação chuvosa, a matriz desses solos torna-se muito plástica e muito pegajosa, e na estação seca torna-se muito dura e ressecada, com fendilhamento pronunciado. Eles são entre imperfeitamente a mal drenados. Isto dificulta o preparo do solo e o manejo cultural, pois são bastante curtos os períodos do ano em que a umidade do solo está adequada para as operações agrícolas. Assim, grandes empreendimentos agropecuários são menos viáveis nessas condições. Apesar disso, tendem a exibir alta capacidade de troca de cátions e alta saturação por bases, ou seja, são relativamente férteis.

Agricultores que operam em níveis de manejo A e B, por utilizarem equipamento mais leve, quando cultivam áreas menores, têm maior possibilidade

de conviver com essa limitação. A restrição é mais significativa sob o nível de manejo C.

3.1.17 Gradiente textural

É corriqueira a variação do teor de argila nos perfis de solo. Algumas classes apresentam variação caracteristicamente reduzida, outras apresentam variações mais pronunciadas e há aquelas com variações mais repentinas, que correspondem ao caráter abrupto, ou seja, pelo incremento igual ou superior a 100% no teor de argila em distância vertical inferior a 7,5 cm, até a profundidade de 1,0 m, caso o horizonte superficial tenha menos que 20% de argila, ou por incremento de 20 pontos percentuais no teor de argila se este for igual ou superior a 20% no horizonte superficial (SANTOS et al., 2013).

Gradientes texturais pronunciados tendem a dificultar a movimentação da água no perfil, dando origem a feições redoximórficas e aumentando o risco de erosão. Para os efeitos do presente estudo considerou-se que gradientes texturais iguais ou superiores a 1,4 são suficientes para o enquadramento das terras quanto à textura na classe de capacidade de uso imediatamente mais restritiva. Cabe ao profissional responsável pela classificação verificar se esse limiar deve ser ajustado. No presente estudo, considerou-se que quando:

0 – Gradiente $< 1,4$ – Prevalece o enquadramento relativo à textura superficial.

1 – Gradiente $\geq 1,4$ – Prevalece o enquadramento na classe imediatamente mais restritiva que aquela definida pela textura superficial.

3.1.18 Regime hídrico

O sistema de capacidade de uso utiliza a ocorrência de secas edáficas prolongadas como critério de classificação, sempre que até 1,0 m de profundidade o solo permanecer próximo ao ponto de murcha permanente por mais de 90 dias consecutivos (LEPSCH et al., 2015). Portanto, trata-se de uma medida das condições pedoclimáticas. A duração da estação seca, a posição do terreno na paisagem e as próprias características do solo determinam a magnitude desse fenômeno. Sob tal restrição, cultivos anuais demandam cultivares adaptados ou ajustes na época de plantio, e cultivos perenes dependem de irrigação ou qualquer outra prática de manejo que favoreça o aprofundamento do sistema radicular.

Cultivos sob o nível de manejo A tendem a ser mais sensíveis, posto dependerem quase que exclusivamente da umidade disponível no solo em condições naturais. A seu alcance estão apenas medidas de conservação da matéria orgânica do solo, que tem papel relevante na manutenção da umidade no perfil. Já o nível de manejo B tem melhores recursos técnicos para conviver com essa limitação, não apenas através da conservação da matéria orgânica, mas também pelo manejo que vise à cobertura do solo, à incorporação de resíduos e às práticas mecânicas de conservação da umidade. E o nível de manejo C é o mais aparelhado a enfrentá-la, até mesmo pelo recurso à irrigação, que permite o cultivo ainda que sob condições climáticas inadequadas.

A ocorrência de secas edáficas simultaneamente a outro fator limitante ao adequado suprimento hídrico (profundidade efetiva, por exemplo) restringe ainda mais as opções do agricultor. Consideram-se as seguintes categorias:

Seca edáfica < 60 dias

Seca edáfica entre 60 e 90 dias

Seca edáfica entre 90 e 150 dias

Seca edáfica entre 150 e 210 dias

Seca edáfica maior que 210 dias

Desde que haja à disposição as informações necessárias, é possível associar a cobertura vegetal nativa ao regime hídrico do solo ou, em última análise, ao período de seca edáfica. Dessa maneira, formações vegetais que estejam associadas a períodos de seca edáfica inferiores a 90 dias indicam terras Classe I ou II, enquanto formações vegetais associadas a períodos de seca edáfica superior a 210 dias indicam terras Classes VI ou VII.

Há dois sistemas de classificação da vegetação brasileira mais usuais. O primeiro é utilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em mapeamentos de recursos naturais. O segundo é utilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em mapeamentos de solos. Por esta razão, optou-se pelo segundo no presente estudo. É possível estabelecer as seguintes associações entre formações vegetais e regimes hídricos dos solos, segundo Jacomine (2006) e Resende, Lani e Rezende (2002):

Formações hidrófilas e higrófilas (perfil úmido o ano inteiro) – regime áquico.

Formações perúmidas e perenifólias (< 60 dias secos/ano) – regime perúdico.

Formações subperenifólias (entre 60 e 90 dias secos/ano) – regime údico.

Formações subcaducifólias (entre 90 e 150 dias secos/ano) – regime ústico.

Formações caducifólias (entre 150 e 210 dias secos/ano) – regime perústico.

Formações hipoxerófilas e hiperxerófilas (> 210 dias secos/ano) – regime arídico.

Considerando as fitofisionomias existentes no estado de Minas Gerais, é possível estabelecer as seguintes relações:

1 – Regime áquico – campos brejosos, campos higrófilos, veredas;

- 2 – Regime perúdicico – floresta tropical perenifólia;
- 3 – Regime údicico – floresta tropical subperenifólia, cerradão;
- 4 – Regime ústicico – floresta tropical subcaducifólia, cerrado *strictu sensu*, campo cerrado;
- 5 – Regime perústicico – floresta tropical caducifólia, campo limpo, campo rupestre;
- 6 – Regime arídico – caatinga hipoxerófila, caatinga hiperxerófila.

3.1.19 Geadas

É uma limitação que inclui não apenas este fenômeno específico, mas também ventos frios e mesmo neve, esta última de ocorrência limitada a apenas alguns poucos locais no território brasileiro. A ocorrência desses fenômenos pode limitar a escolha de cultivos. São mais influenciadas por eles as culturas de inverno e as culturas perenes. Sistemas agrícolas com nível de manejo A reúnem poucas condições para enfrentar problemas dessa natureza. Elas melhoram gradativamente nos níveis de manejo B e C. Consideram-se as seguintes categorias quanto às geadas:

- 0 – Ausentes
- 1 – Ocasionais (recorrência > 10 anos)
- 2 – Frequentes (recorrência entre 3 e 10 anos)
- 3 – Muito frequentes (recorrência < 3 anos)

3.2 Identificação das áreas de estudo

Após a adaptação dos critérios de classificação conforme apresentado no item anterior, foram identificadas, em três regiões do estado de Minas Gerais,

quatro áreas representativas dos três níveis de manejo (A, B e C) considerados no sistema de aptidão agrícola. Com nível de manejo C, característico dos sistemas agrícolas intensivos, foram selecionadas duas estações experimentais da Cooperativa Agrícola do Alto Paranaíba (COOPADAP), situadas nos lotes 54 e 70 do Projeto de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba (PADAP). Com nível de manejo B, intermediário, foi selecionado o Projeto de Assentamento Liberdade, criado pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) na região do Médio Rio Doce. E com nível de manejo A, típico de sistemas agrícolas tradicionais e com baixo aporte de tecnologia, foi selecionado o Projeto de Assentamento Campo Novo, também criado pelo INCRA, no Médio Jequitinhonha. A localização precisa e a caracterização pormenorizada das áreas de estudo encontram-se no Artigo 1.

3.3 Levantamento de dados a campo

Antes da coleta de informações a campo, foram obtidos os modelos digitais de elevação (Missão SRTM, pixel de 30 m) das regiões onde se localizam as áreas de estudo. Eles foram inseridos no software Saga GIS para a obtenção de diversos mapas de atributos do terreno. Foram obtidos mapas relativos a altitude, *closed depressions*, *LS factor*, *mrrtf*, *mrvmf*, *relative slope position*, *slope*, *topographic wetness index*, *valley depth* e *vertical distance to channel network*.

Em seguida, esses mapas foram inseridos na extensão *ArcSIE 10.1* (*ArcGIS 10.1*) com o objetivo de delimitar as unidades da paisagem local, por meio de regras de pertinência elaboradas a partir do conhecimento prévio sobre as regiões estudadas. Foram obtidos, então, os mapas de estratificação da paisagem (Apêndice A).

Entre abril e julho de 2017 foram realizadas três campanhas de coleta de dados. Verificou-se a campo se os mapas de estratificação da paisagem

correspondiam à realidade. Os eventuais ajustes foram processados posteriormente. Esses mapas orientaram a descrição de perfis de solo (e a coleta de amostras para análises laboratoriais), um por estrato. Também foram descritos o uso, o manejo e a erosão atuais.

3.4 Mapeamento temático

Na etapa seguinte foram elaborados todos os mapas temáticos necessários. De posse da descrição dos perfis e dos resultados analíticos foi feita a classificação dos solos. E com apoio dos mapas de estratificação da paisagem e de imagens de satélite foram obtidos os mapas de solos. Os mapas de uso atual e de erosão atual foram obtidos a partir da interpretação visual a campo e com apoio de imagens de satélite. Os mapas de declividades foram obtidos por classificação dos modelos digitais de elevação.

Da sobreposição dos mapas de solos, erosão e declividades, devidamente codificados para cada atributo considerado na classificação, obtiveram-se os mapas de capacidade de uso. E da sobreposição destes com os mapas de uso atual, ambos codificados (uso máximo tolerado e uso atual), obtiveram-se os mapas de adequação de uso.

Paralelamente foram obtidos mapas de capacidade de uso pela sobreposição apenas dos mapas de solos (codificados também para erodibilidade) e de declividades. E de sua sobreposição com os mapas de uso atual, obtiveram-se mapas de adequação de uso. A exclusão do critério de erosão da classificação da capacidade de uso foi importante para corroborar os resultados de validação, como pode ser observado no Apêndice B.

O manejo agrícola inadequado também pode causar erosão. Por isso, elaboram-se mapas de adequação de manejo, a partir da sobreposição dos mapas de declividade e de uso atual, estes reclassificados para manejo atual. A

declividade discriminou terras que, mesmo com manejo inadequado, apresentam apenas risco de degradação da fertilidade (declives < 5%), daquelas que apresentam risco de perdas de solo (declives > 5%). Os critérios de reclassificação do mapa de uso atual foram: sistema de preparo de solo, manejo da fertilidade, manejo fitossanitário, manejo de resíduos orgânicos, cobertura do solo e conservação do solo.

3.5 Validação

Após a obtenção dos mapas de erosão atual, adequação de uso e adequação de manejo, validaram-se os critérios de classificação vigentes (nível de manejo C) e adaptados (níveis A e B). Inicialmente foram feitas as sobreposições adequação de uso/erosão, adequação de manejo/erosão e adequação de uso/adequação de manejo/erosão. Em seguida foram aplicados pesos às áreas de cada polígono dos mapas de sobreposição, procedimento inspirado em Laurence (2006). O somatório desses produtos, dividido pela área total dos imóveis e multiplicado por 100, indica a correspondência (%) entre os mapas de adequação e o de erosão.

3.6 Mapeamento da capacidade de uso das terras de Minas Gerais

Após a validação dos critérios de classificação, foram elaborados os mapas de capacidade de uso das terras de Minas Gerais. Para isso, o arquivo vetorial do mapa de solos elaborado por Universidade Federal de Viçosa – UFV, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, Universidade Federal de Lavras – UFLA e Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (2010) foi codificado para oito critérios cuja informação consta de sua legenda ou foi inferida a partir da classe de solo: profundidade, textura, gradiente textural, classe de

drenagem, erodibilidade, saturação por bases, pedregosidade e regime hídrico. Da visualização desses critérios no *ArcMap 10.4 (ArcGIS 10.4)* foram extraídos oito arquivos *raster* que, combinados ao arquivo *raster* de declividade (extraído do MDE da missão SRTM, pixel de 90 m), resultaram em outro arquivo com 564 diferentes sequências de códigos. Esse mapa foi então classificado quanto à capacidade de uso, para os três níveis de manejo.

3.7 Acurácia dos mapas de capacidade de uso

Por fim, foi obtida uma amostra de perfis de solo descritos por todo o estado de Minas Gerais, por ocasião de diversos levantamentos regionais. Esses perfis foram classificados quanto à capacidade de uso para os três níveis de manejo. Da sobreposição deste arquivo de pontos ao mapa de capacidade de uso produzido anteriormente, obtiveram-se as matrizes necessárias ao cálculo da acurácia global, índice *kappa* e erros dos três mapas produzidos.

4 CONCLUSÃO

Nos países em desenvolvimento como o Brasil, a agricultura apresenta enorme diversidade técnica, não apenas em função de diferenças culturais e ambientais, mas também em função de desigualdades socioeconômicas. Há os sistemas agrícolas intensivos cuja produção destina-se ao abastecimento dos mercados. Há outros que perpetuam a lógica de produção camponesa destinada fundamentalmente à subsistência. Entre esses extremos, cada contexto social, cultural, ambiental e econômico leva os agricultores a adaptar seus sistemas agrícolas, cuja diversidade desafia a ciência na tarefa de sistematizar o conhecimento a eles associado. As inovações precisam, portanto, ser desenvolvidas tendo essa diversidade em perspectiva.

Num contexto de crescente demanda global por sustentabilidade, a agricultura deve responder, e está respondendo, com práticas de manejo menos agressivas ao ser humano e ao ambiente. Contudo, os agricultores menos capitalizados ainda carecem do desenvolvimento de tecnologias adaptadas às suas características.

As organizações governamentais e não governamentais que trabalham com planejamento territorial rural e assessoria a agricultores pobres dispõem, hoje, de alguns métodos de análise não totalmente adaptados à sua missão, como sistemas de classificação de terras criados especificamente para sistemas agrícolas intensivos. A adaptação da classificação quanto à capacidade de uso contribuirá para a identificação mais precisa de territórios apropriados aos sistemas agrícolas tradicionais, na perspectiva de valorização dos legados técnicos e culturais das comunidades tradicionais.

REFERÊNCIAS

ALTIERI, M. A.; FUNES-MONZOTE, F. R.; PETERSEN, P. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 32, n. 1, p. 1-13, Jan. 2012.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. **Climatic Change**, Dordrecht, v. 140, n. 1, p. 33-45, Jan. 2017.

ALTIERI, M. A.; TOLEDO, V. M. The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. **Journal of Peasant Studies**, London, v. 38, n. 3, p. 587-612, July 2011.

BALCÁZAR, R. C. et al. Clasificación de tierras campesina para la generación y transferencia de tecnología agrícola entre pequeños productores: caso del maíz en la región central de Veracruz. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 16, n. 1, p. 1-10, ene./mar. 1998.

BAUTISTA, J. A.; SMIT, M. A. Sustentabilidad y agricultura en la “región del mezcal” de Oaxaca. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, México, MX, v. 3, n. 1, p. 5-20, ene./feb. 2012.

BELLETTI, M. The emerging role of the peasant economy at the end of the industrial age: insights from Albania. **Procedia Economics and Finance**, London, v. 33, p. 78-89, 2015.

BERMEO, A.; COUTURIER, S.; PIZAÑA, M. G. Conservation of traditional smallholder cultivation systems in indigenous territories: mapping land availability for milpa cultivation in the Huasteca Poblana, Mexico. **Applied Geography**, Oxford, v. 53, p. 299-310, Sept. 2014.

BROWN, O. L. M.; GIL, R. E. R. Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura. **Interciencia**, Caracas, v. 28, n. 5, p. 252-258, mayo 2003.

CARMONA, A. et al. Linking farming systems to landscape change: an empirical and spatially explicit study in Southern Chile. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 139, n. 1/2, p. 40-50, Oct. 2010.

CASTILLO, R. M. Agricultura tradicional campesina: características ecológicas. **Tecnología en Marcha**, Cartago, v. 21, n. 3, p. 3-13, jul./sept. 2008.

CASTILLO, R. M. Sistemas de producción agrícola sostenible. **Tecnología en Marcha**, Cartago, v. 22, n. 2, p. 23-39, abr./jun. 2009.

CLARK, M.; TILMAN, D. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 12, 2017. Disponível em: <<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa6cd5/meta>>. Acesso em: 13 set. 2018.

DAROLT, M. R. et al. Redes alimentares alternativas e novas relações produção-consumo na França e no Brasil. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 1-22, abr./jun. 2016.

FERNANDES, L. A. et al. Relação entre o conhecimento local, atributos químicos e físicos do solo e uso das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 1355-1365, maio/jun. 2008.

FRANÇA, G. V. A classificação de terras de acordo com sua capacidade de uso como base para um programa de conservação de solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 1., 1960, Campinas. **Anais...** São Paulo: Secretaria de Agricultura/DEMA, 1963. p. 399-408.

FRANÇA, G. V. **Interpretação de levantamentos de solos para fins conservacionistas**. Piracicaba: Ed. ESALQ, 1980. 35 p. Apostila.

GAONA, A. F.; LEÓN, A. C.; VALVERDE, B. R. Cambio tecnológico y tecnología comunitaria en el Valle Morelia-Queréndaro, Michoacán, México. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, México, MX, v. 3, n. 7, p. 1305-1320, sept./oct. 2012.

GARCÍA-FLORES, J. C. et al. Estrategia de vida em el medio rural del Altiplano Central Mexicano: el huerto familiar. **Agricultura, Sociedad y Desarrollo**, Texcoco, v. 13, n. 4, p. 621-641, oct./dic. 2016.

GARDNER, D. R. **The national cooperative soil survey of the United States**. Washington, DC: USDA/NRCS, 1998. 270 p.

GOEDERT, W. J. Management of the Cerrado soils of Brazil: a review. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 405-428, Sept. 1983.

HALBRENDT, J. et al. Implications of conservation agriculture for men's and women's workloads among marginalized farmers in the Central Middle Hills of Nepal. **Mountain Research and Development**, Boulder, v. 34, n. 3, p. 214-222, Aug. 2014.

HANSEN, T. S.; MERTZ, O. Extinction or adaptation?: three decades of change in shifting cultivation in Sarawak, Malaysia. **Land Degradation and Development**, New York, v. 17, n. 2, p. 135-148, Mar./Apr. 2006.

HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, R. M. et al. La integración del conocimiento local y científico en el manejo sostenible de suelos em agroecosistemas de sabanas. **Interciencia**, Caracas, v. 36, n. 2, p. 104-112, Feb. 2011.

HUDSON, N. **Soil conservation**. New York: Cornell University Press, 1977. 320 p.

JACOMINE, P. K. T. **Reflexões sobre o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**. [S.l.: s.n.], 2006. 13 p.

JUNQUEIRA, A. B. et al. The role of Amazonian anthropogenic soils in shifting cultivation: learning from farmers' rationales. **Ecology and Society**, Wolfville, v. 21, n. 1, Mar. 2016a. Disponível em: <<https://www.ecologyandsociety.org>>. Acesso em: 21 out. 2016.

JUNQUEIRA, A. B. et al. Variation in soil fertility influences cycle dynamics and crop diversity in shifting cultivation systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 215, p. 122-132, Jan. 2016b.

KLEINMAN, P. J. A.; PIMENTEL, D.; BRYANT, R. B. The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 52, n. 2/3, p. 235-249, Feb. 1995.

KLINGEBIEL, A. A.; MONTGOMERY, P. H. **Land-capability classification**. Washington, DC: Soil Conservation Service, 1961. 21 p.

KOVACIC, Z.; SALAZAR, O. V. The lose-lose predicament of deforestation through subsistence farming: unpacking agricultural expansion in the Ecuadorian Amazon. **Journal of Rural Studies**, Oxford, v. 51, p. 105-114, Apr. 2017.

LAMARCHE, H. **A agricultura familiar: do mito à realidade**. Campinas: Ed. UNICAMP, 1998. 348 p.

LAURENCE, D. Optimisation of the mine closure process. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 14, n. 3/4, p. 285-298, 2006.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Viçosa, MG: SBCS, 2015. 170 p.

LESTRELIN, G. et al. Challenging established narratives on soil erosion and shifting cultivation in Laos. **Natural Resources Forum**, Hoboken, v. 36, n. 2, p. 63-75, May 2012.

MARQUES, J. Q. A. **Manual brasileiro para levantamento da capacidade de uso da terra: 3ª aproximação**. Rio de Janeiro: Escritório Técnico Brasil-EUA, 1971. 433 p.

MARQUES, J. Q. A. **Manual brasileiro para levantamentos conservacionistas: 2ª aproximação**. Rio de Janeiro: Escritório Técnico Brasil-EUA, 1958. 135 p.

MARQUES, J. Q. A.; GROHMANN, F.; BERTONI, J. **Levantamento conservacionista: levantamento e classificação das terras para fins de conservação do solo**. Campinas: IAC, 1955. 33 p.

MCNICOL, I. M.; RYAN, C. M.; WILLIAMS, M. How resilient are African woodlands to disturbance from shifting cultivation? **Ecological Applications**, Tempe, v. 25, n. 8, p. 2320-2336, Dec. 2015.

MERTZ, O. et al. Changes in shifting cultivation systems on small Pacific islands. **The Geographic Journal**, London, v. 178, n. 2, p. 175-187, June 2012.

MILTNER, B. C.; COOMES, O. T. Indigenous innovation incorporates biochar into swidden-fallow agroforestry systems in Amazonian Peru. **Agroforestry Systems**, Heidelberg, v. 89, n. 3, p. 409-420, June 2015.

MORALES-BARQUERO, L. et al. Identification and quantification of drivers of forest degradation in tropical dry forests: a case study in Western Mexico. **Land Use Policy**, Guildford, v. 49, p. 296-309, Dec. 2015.

MORENO-CALLES, A. I. et al. Ethnoagroforestry: integration of biocultural diversity for food sovereignty in Mexico. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, London, v. 12, n. 1, p. 54, Dec. 2016.

MUKUL, S. A.; HERBOHN, J. The impacts of shifting cultivation on secondary forests dynamics in tropics: a synthesis of the key findings and spatio temporal distribution of research. **Environmental Science and Policy**, Exeter, v. 55, n. 1, p. 167-177, Jan. 2016.

NYSSSEN, J. et al. Soils and land use in the Tigray highlands (Northern Ethiopia). **Land Degradation and Development**, New York, v. 19, n. 3, p. 257-274, May/June 2008.

PENG, L. et al. A review of swidden agriculture in Southeast Asia. **Remote Sensing**, Basel, v. 6, n. 2, p. 1654-1683, Feb. 2014.

PÉREZ-GARCÍA, O.; CASTILLO, R. F. The decline of the itinerant milpa and the maintenance of traditional agrobiodiversity: crops and weeds coexistence in a tropical cloud forest area in Oaxaca, Mexico. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 228, p. 30-37, July 2016.

PRETTY, J.; BHARUCHA, Z. P. Sustainable intensification in agricultural systems. **Annals of Botany**, London, v. 114, n. 8, p. 1571-1596, Dec. 2014.

RAHMAN, S. A.; RAHMAN, M. F.; SUNDERLAND, T. Causes and consequences of shifting cultivation and its alternative in the hill tracts of eastern Bangladesh. **Agroforestry Systems**, Heidelberg, v. 84, n. 2, p. 141-155, Feb. 2012.

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

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 6. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2014. 378 p.

RESENDE, M.; LANI, J. L.; REZENDE, S. B. Pedossistemas da Mata Atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 3, p. 261-269, maio/jun. 2002.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Capacidade de uso da terra no Alto Rio Pardo, Botucatu (SP), através do sistema de informação geográfica. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 14, n. 2, p. 48-60, 1999.

SÁNCHEZ, P. A. Nitrogen in shifting cultivation systems of Latin America. **Plant and Soil**, The Hague, v. 67, n. 1/3, p. 91-103, Feb. 1982.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: CNPS/EMBRAPA, 2013. 353 p.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2015. 102 p.

SCOLFORO, J. R.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, A. D. (Ed.). **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais**: componentes geofísico e biótico. Lavras: Ed. UFLA, 2008. 161 p.

SHENG, T. C. **Soil conservation for small farmers in the humid tropics**. Rome: FAO, 1989. 104 p.

STAVI, I.; BEL, G.; ZAADY, E. Soil functions and ecosystem services in conventional, conservation, and integrated agricultural systems: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, Paris, v. 36, n. 2, June 2016. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-016-0368-8>>. Acesso em: 1 fev. 2017.

THOMAZ, E. L. Slash-and-burn agriculture: establishing scenarios of runoff and soil loss for a five-year cycle. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 168, p. 1-6, Mar. 2013.

THOMAZ, E. L.; ANTONELI, V.; DOERR, S. H. Effects of fire on the physicochemical properties of soil in a slash-and-burn agriculture. **Catena**, Amsterdam, v. 122, p. 209-215, Nov. 2014.

TINKER, P. B.; INGRAM, J. S. I.; STRUWE, S. Effects of slash-and-burn agriculture and deforestation on climate change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 58, n. 1, p. 13-22, June 1996.

TREMBLAY, S. et al. Agroforestry systems as a profitable alternative to slash and burn practices in small-scale agriculture of the Brazilian Amazon. **Agroforestry Systems**, Heidelberg, v. 89, n. 2, p. 193-204, Apr. 2015.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**: legenda expandida. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49 p.

VALLEJO, M. et al. Agroforestry systems in the highlands of the Tehuacán Valley, Mexico: indigenous cultures and biodiversity conservation. **Agroforestry Systems**, Heidelberg, v. 88, n. 1, p. 125-140, Feb. 2014.

VIGNOLA, R. et al. Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: definitions, opportunities and constraints. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 211, p. 126-132, Dec. 2015.

VLIET, J. A. et al. De-mystifying family farming: features, diversity and trends across the globe. **Global Food Security**, London, v. 5, p. 11-18, June 2015.

VLIET, N. et al. Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest-agriculture frontiers: a global assessment. **Global Environmental Change**, Oxford, v. 22, n. 2, p. 418-429, May 2012.

VOSTI, S. A.; WITCOVER, J. Slash-and-burn agriculture: household perspectives. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 58, n. 1, p. 23-38, June 1996.

WAGNER, A.; YAP, D. L. T.; YAP, H. T. Drivers and consequences of land use patterns in a developing country rural community. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 214, p. 78-85, Dec. 2015.

WOOD, S. L. R.; RHEMTULLA, J. M.; COOMES, O. T. Intensification of tropical fallow-based agriculture: trading-off ecosystem services for economic gain in shifting cultivation landscapes? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 215, p. 47-56, Jan. 2016.

YENGOH, G. T.; BROGAARD, S. Explaining low yields and low food production in Cameroon: a farmer's perspective. **GeoJournal**, Berlin, v. 79, n. 3, p. 279-295, June 2014.

ZANELLA, M. A.; MILHORANCE, C. Cerrado meets savannah, family farmers meet peasants: the political economy of Brazil's agricultural cooperation with Mozambique. **Food Policy**, Guildford, v. 58, p. 70-81, Jan. 2016.

ZIMBACK, C. R. L.; RODRIGUES, R. M. **Determinação da capacidade de uso das terras da Fazenda Experimental Botucatu**. Botucatu: FCA/UNESP, 1993.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

Artigo elaborado de acordo com a NBR 6022:2003

DADOS DE EROSÃO COMO FERRAMENTA PARA ADAPTAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CAPACIDADE DE USO A SISTEMAS AGRÍCOLAS COM BAIXA APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA

SOIL EROSION DATA AS A TOOL FOR ADAPTING LAND USE CAPABILITY CLASSIFICATION TO FARMING SYSTEMS WITH LOW APPLICATION OF TECHNOLOGY

Luís Renato Silva Taveira^a

David C. Weindorf^b

Paulo Emílio Ferreira da Motta^c

Teotônio Soares Carvalho^d

Michele Duarte Menezes^e

Nilton Curi^f

RESUMO

A classificação de terras auxilia na identificação de glebas mais apropriadas para cultivos, e a classificação pela capacidade de uso é das mais disseminadas. Entretanto, ela foi criada para sistemas agrícolas que utilizam alto nível de manejo. Por isso, um dos objetivos do presente estudo é adaptar a capacidade de uso da terra a sistemas agrícolas com baixo nível de tecnologia. Outro objetivo é validar os critérios de classificação, adaptados e atualmente em uso, por meio de

um novo método que utiliza a erosão como indicador. Primeiramente, esses critérios foram adaptados a diferentes níveis de manejo. Em seguida, eles foram aplicados em três regiões do estado de Minas Gerais, Brasil, que representam, cada um, um dos níveis. Em todos foi feita a classificação pelos critérios vigentes. E naqueles cujos sistemas agrícolas exibem níveis de manejo mais baixos, foi feita também a classificação pelos critérios adaptados. A erosão é decorrência de inadequações no uso ou manejo das terras. Portanto, foram utilizados os mapas de adequação de uso e de manejo para mensurar a correspondência de cada um com o mapa de erosão. Os critérios adaptados mudaram a distribuição espacial das classes de capacidade de uso. A correspondência entre o mapa de adequação de uso e a erosão aumentou de 71% para 88,5% quando considerados os critérios adaptados ao nível de manejo B. Ainda aumentou de 62,9% para 66,7% quando considerados os critérios adaptados ao nível de manejo A, refletindo melhor a erosão existente.

Palavras-chave: Classificação técnica. Intensificação do uso da terra. Nível de manejo.

ABSTRACT

Land classification assists in identifying field areas more appropriate for crops, and land use capability is one of the most widely used. However, it was created for farming systems managed with high technology. Thus, an aim of the present study was to adapt the land use capability to farming systems managed with a low level of technology. Another aim was to validate the classification criteria, both adapted and currently in effect, by means of a new method that uses erosion as an indicator. First, these criteria were adapted to different levels of management. After that, they were applied to three regions in the state of Minas Gerais, Brazil,

each one representing one of the levels. All were classified by the criteria currently in effect. The locations whose farming systems had lower levels of technological management were also classified by the adapted criteria. Erosion is a result of inappropriate practices in land use or management. Therefore, maps of the adequation of land use and management were used to measure how well each one corresponded to the erosion map. The adapted criteria changed the spatial distribution of the classes of land use capability. Correspondence between the land use adequation map and the erosion map increased from 71% to 88.5% when the criteria adapted to management level B were used. It also increased from 62.9% to 66.7% when the criteria adapted to management level A were considered, better reflecting current erosion.

Keywords: Technical classification. Land use intensification. Management level.

1 INTRODUÇÃO

A classificação de terras para agropecuária é importante mecanismo de planejamento. Muitos modelos empíricos foram desenvolvidos por agricultores com base na observação cotidiana, conhecimento que ainda precisa ser mais valorizado (BALCÁZAR et al., 1998; JUNQUEIRA et al., 2016). Nas últimas décadas foram desenvolvidos também modelos técnico-científicos. Entre eles, o de capacidade de uso identifica terras que suportam a mesma intensidade de uso sem que haja erosão. Esse sistema utiliza diversos critérios (profundidade, textura, declividade, entre outros) na classificação. Em cada um, categorias qualificam-nos (por exemplo, textura muito argilosa, argilosa, média, siltosa, arenosa). E cada categoria determina o enquadramento da terra numa classe (I a VIII) segundo a restrição imposta ao uso (KLINGEBIEL; MONTGOMERY, 1961; LEPSCH et al., 2015).

Esse sistema ajusta-se às características da agricultura dos Estados Unidos (onde foi desenvolvido), que opera em elevados níveis de manejo. Eles são incompatíveis com a realidade de muitos agricultores de países em desenvolvimento como o Brasil, seja pelas limitações em suas bases de recursos, seja por questões socioculturais (KOVACIC; SALAZAR, 2017). Classificação assim tem, portanto, pouca utilidade para esses agricultores.

Há agricultores que utilizam as terras de forma diferente do que seria recomendado pela capacidade de uso, sem que haja erosão. Isso ocorre porque os recursos técnicos utilizados não estão previstos no sistema. Costa, Souza e Jesus (2008) demonstram como a classificação vigente é inapropriada a sistemas agrícolas com baixo nível de manejo. Fernandes et al. (2008) demonstram que os sistemas agrícolas desses agricultores podem superar alguns limites ao uso das terras ou, noutros casos, ser insuficientes para permitir usos intensivos. Ciente disso, Sheng (1989) criou um sistema de capacidade de uso adaptado aos agricultores pobres de regiões montanhosas dos trópicos. Entretanto, esse sistema prevê apenas dois critérios de classificação: declividade e profundidade efetiva. Em condições como a brasileira eles são insuficientes, pois outros critérios como fertilidade natural e regime hídrico do solo são igualmente importantes.

A capacidade de uso é dada por critérios de caráter permanente (profundidade, textura, declividade, entre outros), mas mudanças profundas nas características das terras (eventos catastróficos, por exemplo) ou nos sistemas agrícolas (alteração do paradigma tecnológico) podem mudá-la, conforme observado na conversão de terras marginais em áreas extremamente produtivas (BAKKER et al., 2011; GOEDERT, 1983). E, ainda que diferenças socioeconômicas demandem critérios de classificação adaptados (LEPSCH et al., 2015), o sistema de capacidade de uso mostra-se inflexível sob esse aspecto. Apesar da necessidade de adaptá-lo a outras realidades técnicas (SERAFIM et al., 2011) e de seu caráter subjetivo (GIBOSHI; RODRIGUES; LOMBARDI NETO,

1999), ele é útil ao planejamento e gestão do uso da terra. Portanto, é mais apropriado adaptar o sistema existente que elaborar um novo.

O sistema de aptidão agrícola (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995), ao contrário do sistema de capacidade de uso, reconhece a existência de três níveis de manejo: A, em que há mínima aplicação de capital e tecnologia, no qual o agricultor é fortemente dependente dos limites ambientais; B, em que há modesta aplicação de capital e tecnologia; e C, em que há grande aplicação de capital e tecnologia, e no qual o agricultor é menos dependente dos limites ambientais. Ainda que esses três níveis sejam uma simplificação das múltiplas realidades da agricultura dos países em desenvolvimento, a simples admissão dessa diversidade num sistema de classificação de terras é positiva.

Até o momento, não são conhecidas iniciativas de validação do sistema de capacidade de uso. O objetivo geral do presente estudo foi, portanto, adaptar os critérios classificatórios a sistemas agrícolas com baixo nível de manejo. O objetivo específico foi validar esses critérios – adaptados e vigentes – por meio de novo método que utiliza a erosão como variável indicadora. Como referências foram utilizados o sistema de aptidão agrícola (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995; SILVA et al., 2013) e as condições ambientais do estado de Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Inicialmente foram considerados todos os critérios classificatórios vigentes, suas categorias e o enquadramento delas nas classes de capacidade de uso, desenvolvidos para sistemas agrícolas com nível de manejo C (KLINGEBIEL; MONTGOMERY, 1961; LEPSCH et al., 2015). Três adaptações foram feitas neles. Na primeira, sob alto nível de manejo, áreas que suportam apenas o manejo de pastagens e florestas nativas (classe VII) são comumente deixadas sem uso. Por isso, todas as terras cuja capacidade de uso é, em tese,

classe VII foram, no nível de manejo C, consideradas classe VIII, inapropriadas ao uso. Na segunda, a dificuldade de mensurar a permeabilidade a campo levou à sua substituição pela drenagem do perfil, segundo Santos et al. (2015). Na última, a seca edáfica foi substituída pelo regime hídrico do solo, inferido a partir da vegetação nativa, da seguinte forma: a) vereda, campo higrófilo e hidrófilo – regime áquico; b) floresta tropical perenifólia – regime perúdicico; c) floresta tropical subperenifólia e cerrado – regime údico; d) floresta tropical subcaducifólia, cerrado e campo cerrado – regime ústico; e) floresta tropical caducifólia e campo – regime perústico; f) caatinga hipoxerófila e hiperxerófila – regime arídico. Na eventualidade de ausência de cobertura vegetal nativa a campo, a legenda do mapa de solos de Minas Gerais, elaborado por Universidade Federal de Viçosa – UFV, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, Universidade Federal de Lavras – UFLA e Fundação Estadual do Meio Ambiente FEAM (2010) contém informação sobre a fase de vegetação.

Também foram adaptados os critérios aos níveis A e B, conforme descrito a seguir e observando a notação *critério (categoria – classificação para nível de manejo A,B,C)*: a) profundidade efetiva (muito profunda – I,I,I; profunda – II,II,II; moderadamente profunda – IV,III,III; rasa – VII,VII,VIII); b) textura (muito argilosa – I,I,I; argilosa – I,I,I; média – II,II,II; siltosa – VI,VI,VI; arenosa – IV,IV,III); c) drenagem (acentuada – III,III,II; boa – I,I,I; moderada – II,II,III; imperfeita – III,III,IV; ruim – V,V,V; muito ruim – VIII,VIII,VIII); d) declividade (plana – I,I,I; suave – I,I,II; moderada – II,II,III; ondulada – III,III,IV; forte – IV,IV,VI; montanhosa – VI,VI,VIII; escarpada – VIII,VIII,VIII); e) erosão laminar (ligeira – III,II,II; moderada – IV,III,III; severa – VIII,VIII,VI; muito severa – VIII,VIII,VIII); f) sulcos superficiais (ocasionais – III,II,II; frequentes – IV,IV,III; muito frequentes – VI,VI,IV); g) sulcos rasos (ocasionais – IV,IV,III; frequentes – VI,VI,IV; muito frequentes – VII,VII,VI); h) sulcos profundos (ocasionais – VI,VI,IV; frequentes – VII,VII,VI; muito frequentes –

VIII,VIII,VIII); j) capacidade de troca de cátions (alta – I,I,I; média – III,II,II; baixa – VII,VI,VI); k) saturação por bases (alta – I,I,I; média – II,I,I; baixa – III,II,II; muito baixa – VII,IV,III); l) teor e saturação por alumínio (baixo – I,I,I; médio – III,II,II; alto – IV,III,III; caráter alítico – VIII,VI,IV; caráter alumínico – VIII,VIII,VIII); m) teor e saturação por sais ou sódio (baixo – I,I,I; médio – IV,IV,III; alto – VII,VII,VIII); n) teor e saturação por carbonatos (baixo – I,I,I; médio – III,III,II; alto – VI,VI,IV); o) pedregosidade (pd1 – II,III,III; pd4 – II,II,III; pd5 – III,III,VI; pd7 – III,IV,VIII; pd2, pd8 – IV,VI,VIII; pd3, pd6, pd9 – VI,VII,VIII); p) risco de inundação (ausente – I,I,I; ocasional – III,III,IV; frequente – IV,IV,V; muito frequente – V,V,VIII); q) hidromorfismo (h1 – III,III,IV; h2 – IV,IV,V; h3 – V,V,VIII; h4 – VIII,VIII,VIII); r) regime hídrico (áquico – observar enquadramento de hidromorfismo; perúxico – I,I,I; úxico – II,I,I; ústico – III,II,II; perústico – IV,IV,III; arídico – VII,VII,VI); s) geadas (ocasionais – II,II,II; frequentes – IV,III,III; muito frequentes – VI,IV,IV); t) tiomorfismo ou voçorocas (presentes – VIII,VIII,VIII); e u) caráter vértico (presente – III,III,V).

2.1 Caracterização das áreas de estudo

Para testar as adaptações propostas foram selecionados quatro imóveis rurais em três regiões do estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). Cada um dos níveis de manejo considerados no sistema de aptidão agrícola (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995) está representado numa das três condições.

Dois áreas situam-se no Projeto de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba, município de Rio Paranaíba, criado na década de 1970. Lá existe a Cooperativa Agropecuária do Alto Paranaíba, que possui uma rede de estações experimentais. Duas delas foram utilizadas no estudo: os lotes 54 (386 hectares) e 70 (269 hectares). A região exibe relevo aplainado conhecido por “chapada”, no

divisor de águas entre as bacias hidrográficas dos rios Paranaíba e São Francisco. Os verões são quentes e úmidos e os invernos, frios e secos. A cobertura vegetal nativa do tipo savânica, conhecida por “cerrado” – foi bastante alterada (MOTTA; BARUQUI; SANTOS, 2004). De acordo com Santos et al. (2013) e Soil Survey Staff (2014), no lote 54 foram identificados Latossolo Vermelho Ácrico típico (*Rhodic Acrudox*) e Gleissolo Háptico Tb Distrófico típico (*Aeric Endoaquent*). No lote 70 há o mesmo Latossolo Vermelho Ácrico típico (*Rhodic Acrudox*), Latossolo Vermelho Ácrico petroplíntico (*Petroferric Acrudox*) e Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico (*Typic Dystrudept*). A produção de soja, milho, trigo, cenoura, batata, café e abacate faz uso intensivo de tecnologia e há adequada conservação do solo, configurando manejo nível C.

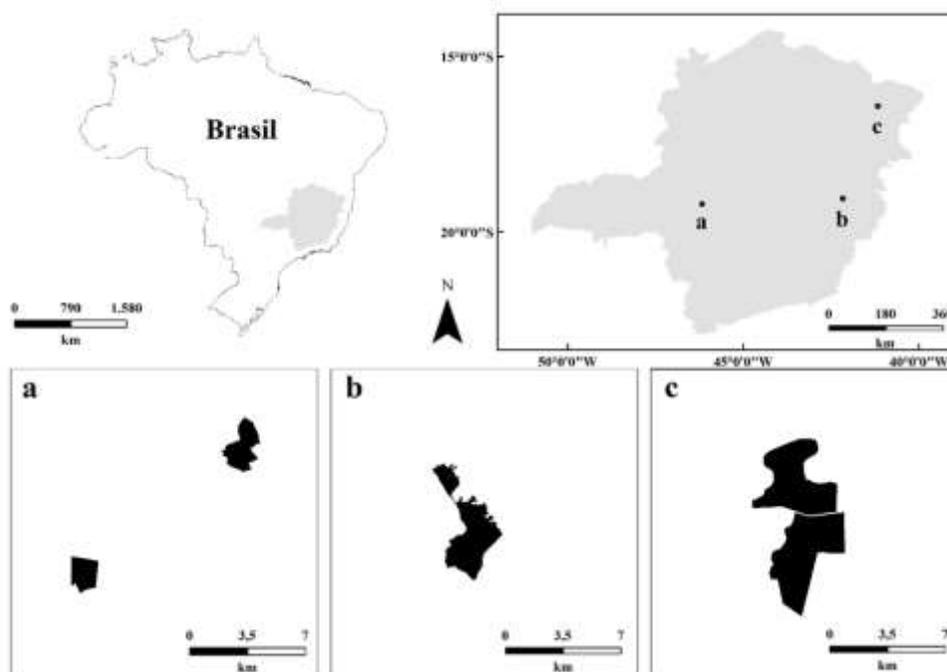


Figura 1 Localização das áreas de estudo, Assentamento Alto Paranaíba (a), Assentamento Liberdade (b) e Assentamento Campo Novo (c)

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em Brasil (2018) e Silva et al. (2013)

O Projeto de Assentamento Liberdade (1.034 hectares), no município de Periquito, foi criado em 2004 pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária na foz de um afluente do Rio Doce (ÁVILA et al., 2005). A paisagem é composta pelo terraço fluvial, onde há, segundo Santos et al. (2013) e Soil Survey Staff (2014), Cambissolo Flúvico Tb Distrófico típico (*Fluventic Dystrudept*) e Cambissolo Flúvico Tb Eutrófico típico (*Fluventic Haplustept*), em dois patamares. A sudoeste encontram-se elevações onde há Argissolo Amarelo Distrófico típico (*Typic Haplustult*). Em meio a elas encontram-se terrenos alagadiços com Gleissolo Háptico Tb Distrófico neofluvíssólico (*Typic Fluvaquent*). Os verões são quentes e úmidos e os invernos, mais frios e secos. A floresta tropical subcaducifólia (SANTOS et al., 1970) foi profundamente alterada, predominando pastagens plantadas com limitados recursos técnicos: algumas operações seguem as recomendações agronômicas, outras não. Cultivam-se roçados de mandioca, milho, cana, hortaliças e pomares domésticos. Alguns programas de inovação técnica indicam o predomínio do manejo nível B.

O Projeto de Assentamento Campo Novo (2.804 hectares), no município de Jequitinhonha, foi criado em 1998 pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (FERREIRA NETO et al., 19--). Ao sul encontra-se uma “chapada” em que há, segundo Santos et al. (2013) e Soil Survey Staff (2014), Latossolo Amarelo Distrófico típico (*Xanthic Haplustox*). Na borda encontram-se afloramentos rochosos e Cambissolo Háptico Tb Eutrófico típico (*Typic Haplustept*). A jusante, Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico (*Ultic Haplustalf*). E no terraço fluvial do Rio Jequitinhonha, afloramentos rochosos, Neossolo Regolítico Distrófico típico (*Typic Ustorthent*), Cambissolo Flúvico Sódico típico (*Typic Haplustept*) e Gleissolo Háptico Ta Eutrófico cambissólico (*Typic Endoaquent*). A vegetação nativa era um ecótono entre cerrado, floresta tropical subcaducifólia e caatinga. Ela foi substituída por

pastagens, mescladas atualmente a cultivos anuais e perenes. O clima é semiárido quente e seco, com precipitações concentradas entre novembro e janeiro. Cultivam-se roçados e pomares domésticos e pequenas hortas comerciais, comumente juntos na mesma gleba. As operações manuais e a limitada aplicação de insumos caracterizam manejo nível A. Na tabela 1 encontram-se as características dos solos identificados a campo, utilizadas na classificação da capacidade de uso das terras.

Tabela 1 Atributos pedológicos¹ utilizados na classificação da capacidade de uso das terras

Local	Solo ³	Argila	Solum ⁴	Drenagem ⁵	Al ³⁺	SB	T	V
		dag/kg		classe		cmol _c /dm ³		%
Lote 54 ²	1a	60	MP	A	0,07	3,66	6,90	52,99
	2	52	P	R	0,17	0,29	5,01	5,76
Lote 70 ²	1b	66	MP	A	0,18	0,53	11,52	4,57
	3	54	MP	A	0,08	0,42	8,29	5,03
	4	50	P	R	0,17	1,24	8,94	13,85
	5	20	M	M	0,10	0,93	3,70	25,09
Liberdade	6	34	M	B	0,04	3,10	4,94	62,76
	7	63	M	R	1,30	2,27	9,97	22,78
	8	44	P	B	1,54	0,77	7,07	10,88
Campo Novo	9	54	MP	A	1,39	0,23	14,11	1,61
	10	30	M	M	0,05	6,22	7,78	79,99
	11	18	P	B	0,06	4,56	6,10	74,72
	12	21	M	B	0,05	3,13	6,03	52,00
	13	32	P	M	0,16	6,19	10,37	59,69
	14	24	M	R	0,06	5,48	8,58	63,88

¹ SB: soma de bases; T: CTC a pH 7; V: saturação por bases;

² Alto Paranaíba;

³ 1a e 1b: Latossolo Vermelho Ácrico típico (LVw); 2: Gleissolo Háplico Tb Distrófico (GXbd); 3: Latossolo Vermelho Ácrico petroplúntico (LVw); 4: Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CXbd); 5: Cambissolo Flúvico Tb Distrófico (CYbd); 6: Cambissolo Flúvico Tb Eutrófico (CYbe); 7: Gleissolo Háplico Tb Distrófico (GXbd); 8: Argissolo Amarelo Distrófico (PAd); 9: Latossolo Amarelo Distrófico (LAd); 10: Cambissolo Háplico Tb Eutrófico (CXbe); 11: Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (PVAe); 12: Neossolo Regolítico Distrófico (RRd); 13: Cambissolo Flúvico Sódico (CYn); 14: Gleissolo Háplico Ta Eutrófico (GXve).

⁴ MP: muito profundo; P: profundo; M: moderadamente profundo.

⁵ A: acentuada; B: boa; M: moderada; R: ruim.

Fonte: Do autor (2018)

Em seguida à definição das áreas de estudo foram obtidos os correspondentes modelos digitais de elevação (MDE), dos arquivos SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* – NASA), e os respectivos perímetros, no website do Cadastro Ambiental Rural (SICAR). Foi, então, mapeada a estratificação da paisagem: por meio da inserção do MDE no *software SagaGIS* foram criados mapas de atributos de terreno. Eles foram, então, sobrepostos na extensão *ArcSIE* do *ArcMap 10.1* (*Environmental Systems Resources Institute*). Diferentes conjuntos desses atributos foram experimentados: por meio de regras que expressam o conhecimento dos autores sobre as características da região, e por lógica *fuzzy*, definiram-se as unidades de paisagem. Ao final, da sobreposição dos mapas de cada unidade de paisagem foi obtida a delimitação entre elas, por meio da ferramenta *harden map*. Então o mapa foi recortado (utilizando como máscara o perímetro de cada imóvel) e convertido em arquivo vetorial. A delimitação foi verificada durante a coleta de dados a campo.

2.2 Fases do estudo

Três campanhas de coleta de dados sobre uso, manejo e erosão das terras foram realizadas entre abril e julho de 2017. Foram descritos morfologicamente perfis de solos (um por estrato da paisagem) e coletadas amostras para análises

laboratoriais. Em seguida, foram elaborados os planos de informação (PI) utilizados posteriormente para a classificação da capacidade de uso e sua validação: arquivos vetoriais do uso atual e da erosão atual foram obtidos por interpretação visual de imagens orbitais disponíveis no *Google Earth* (BOARDMAN, 2016) e com apoio das informações de campo; também foram elaborados arquivos *raster* da declividade a partir dos MDEs, reclassificados em sete categorias conforme indicado em Lepsch et al. (2015), convertidos a seguir em arquivos vetoriais; e de posse da descrição morfológica dos perfis de solo e dos dados analíticos, elaborou-se a classificação dos solos e os correspondentes arquivos vetoriais, utilizando como apoio os mapas de estratificação da paisagem, imagens orbitais e observações de campo. Todos esses mapas foram submetidos à ferramenta *dissolve*, que elimina divisões entre polígonos de codificação idêntica.

Para a classificação de capacidade de uso, cada atributo dos arquivos vetoriais de solos, declividades e erosão foi numericamente codificado em colunas próprias da tabela de atributos, conforme disposto na etapa inicial do estudo. Em seguida, os três arquivos vetoriais foram sobrepostos por meio da ferramenta *union*, obtendo-se um outro no qual cada polígono é caracterizado por conjunto próprio de atributos. Em sua tabela de atributos foram criadas novas colunas para cada classe de capacidade de uso. A elas foi aplicada codificação binária para identificar o cumprimento – ou não – das regras de enquadramento, inseridas por meio da ferramenta *select by attributes*. O código 1 foi aplicado às linhas que as cumpriam, via ferramenta *field calculator*. Em cada linha (um polígono), diferentes critérios determinaram enquadramento simultâneo em diferentes classes de capacidade de uso. A classificação foi definida pelo critério mais restritivo, identificado pelo código (numeral romano) mais elevado. Ela foi sintetizada noutra coluna e os polígonos de mesma classificação foram reunidos por meio da ferramenta *dissolve*.

Na tabela de atributos do mapa de uso atual foram inseridos em cada linha (uma para cada uso) códigos numéricos assim discriminados: 1 (cultivo anual), 2 (cultivo perene), 3 (pastagem plantada), 4 (floresta plantada), 5 (pastagem nativa manejada), 6 (floresta nativa manejada) e 7 (refúgio de vida silvestre). O mesmo foi feito no mapa de capacidade de uso, considerando o código relativo ao uso máximo suportado em cada classe (I,II,III – cultivo anual; IV – cultivo perene; V – pastagem nativa; VI – pastagem plantada; VII – pastagem nativa; VIII – refúgio de vida silvestre). Com a ferramenta *union* foi feita a sobreposição desses dois mapas e na tabela de atributos resultante foi criada coluna correspondente à adequação de uso. Regras de classificação inseridas pela ferramenta *select by attribute* identificaram as linhas correspondentes a uso “adequado” ou “inadequado”. Linhas correspondentes a usos não-agrícolas foram identificadas como “não aplicável”. Os polígonos de mesma classificação foram então reunidos por meio da ferramenta *dissolve*.

Práticas de manejo inadequadas podem desencadear erosão. Por isso, foi elaborado o mapa de adequação de manejo, pela sobreposição dos mapas de uso atual e de declividade (*union*). Codificaram-se as práticas agrícolas identificadas conforme os seguintes critérios e observada a notação *critério – adequação (prática de manejo – nível de manejo)*:

a) preparo do solo – adequado (manual, tracionado por animais ou mecanizado – A,B; convencional, cultivo mínimo, plantio direto – C); inadequado (queimadas – A; qualquer outra técnica, sem medidas conservacionistas – A,B,C); b) manejo da fertilidade – adequado (pousios longos, adição regular de resíduos orgânicos – A; uso regular de corretivos e fertilizantes orgânicos e sintéticos – B; uso regular de corretivos e fertilizantes orgânicos e sintéticos, segundo recomendação – C); inadequado (pousios curtos – A; uso irregular e insuficiente de corretivos e fertilizantes – B,C); c) manejo fitossanitário – adequado (tratamentos naturais – A,B; naturais e sintéticos, segundo recomendação – B,C); inadequado (controle

ausente ou sem acompanhamento técnico – A,B,C); d) manejo de resíduos orgânicos – adequado (sistemas em policultivo, desenvolvimento vegetativo adequado e adição regular de resíduos orgânicos – A,B,C; cultivo adensado – C); inadequado (desenvolvimento vegetativo inadequado ou irregularidade na adição de resíduos orgânicos – A,B,C); e) cobertura vegetal – adequada (intensa ou moderada, com práticas conservacionistas – A,B,C); inadequada (moderada sem práticas conservacionistas, ou fraca – A,B,C); f) práticas conservacionistas – adequadas (uso apropriado e adequada manutenção de práticas culturais ou mecânicas – A,B,C); inadequadas (ausência de práticas conservacionistas ou má conservação das estruturas – A,B,C).

Foram criadas colunas para cada critério na tabela de atributos do arquivo vetorial, inseridos os códigos correspondentes, as regras de enquadramento (*select by attributes*) e a respectiva classificação (*field calculator*). Nas áreas que, apesar de manejadas inadequadamente, são planas ou possuem estruturas de conservação do solo – onde não se esperam processos erosivos – o manejo foi considerado “inadequado df”, indicando apenas risco de degradação da fertilidade do solo; e naquelas com declividade superior a 5%, o manejo foi considerado “inadequado ps”, indicando risco de perdas de solo e água. Nas áreas sem uso agrícola o manejo foi considerado “não aplicável”. E por meio da ferramenta *dissolve* os polígonos de mesma classificação foram reunidos numa única linha da tabela de atributos.

2.3 Validação dos novos limites de enquadramento

Não é conhecida dos autores nenhuma tentativa anterior de validação do sistema de capacidade de uso. Procurou-se, então, validar tanto os critérios de classificação vigentes quanto os adaptados aos níveis de manejo mais baixos. Não é possível, contudo, mensurar com métodos estatísticos convencionais a correspondência entre capacidade de uso das terras, adequação de uso e processos

erosivos. Desenvolveu-se, então, o seguinte método – uma novidade metodológica, cujas premissas são: a) a capacidade de uso não indica diretamente se a erosão ocorrerá, ou não; b) a erosão é provocada por inadequações no uso ou no manejo das terras; c) diferentes critérios de classificação resultam em diferentes mapas de capacidade de uso; d) considerando usos idênticos, diferentes mapas de capacidade de uso produzem diferentes mapas de adequação de uso; e) mapas de adequação de uso que guardam maior correspondência com os processos erosivos indicam que os critérios classificatórios da capacidade de uso utilizados são mais apropriados para o nível de manejo considerado; f) mapas de adequação de manejo dependem apenas das práticas culturais utilizadas; g) o mapa de erosão serve como indicador no processo de validação.

Primeiramente foi feita a classificação da capacidade de uso de todas as áreas de estudo segundo os critérios vigentes, (para nível de manejo C). Então, os mapas de adequação de uso e de manejo foram sobrepostos, isolada e conjuntamente, com o mapa de erosão (ferramenta *union*). Na tabela de atributos dos arquivos vetoriais resultantes foi criada uma coluna “adequação vs. erosão”. E assim classificados, eles foram submetidos à ferramenta *dissolve*. Em seguida, esse procedimento foi repetido para o Assentamento Liberdade, com os critérios adaptados ao nível B, e para o Assentamento Campo Novo, com aqueles adaptados ao nível A. Esse método foi inspirado na técnica de Laurence (2006), de atribuir pesos empiricamente estimados por especialistas aos eventos de cada variável. No presente estudo os pesos ponderam a correspondência entre os mapas de adequação e a erosão a campo (Tabela 2).

Tabela 2 Fatores de ponderação da correspondência entre mapas de adequação e erosão

Adequação	Classe de erosão ¹			
	sem	ll/ss	lm/sr	ls/sp ou +
A – Adequação de uso				
adequado	1,0	0,7	0,3	0,0
inadequado	0,0	0,3	0,7	1,0
B – Adequação de manejo				
adequado	1,0	0,7	0,3	0,0
inadequado df ²	1,0	0,7	0,3	0,0
inadequado ps ³	0,0	0,3	0,7	1,0
C – Adequação de uso vs. adequação de manejo				
adequado/adequado	1,0	0,7	0,3	0,0
adequado/inadequado df ²	1,0	0,7	0,3	0,0
adequado/inadequado ps ³	0,0	0,3	0,7	1,0
inadequado/adequado	0,0	0,3	0,7	1,0
inadequado/inadequado df ²	0,0	0,3	0,7	1,0
inadequado/inadequado ps ³	0,0	0,3	0,7	1,0

¹ ll/ss: laminar ligeira/sulco superficial; lm/sr: laminar moderada/sulco raso; ls/sp: laminar severa/sulco profundo.

² risco de degradação da fertilidade.

³ risco de perda de solo e água.

Fonte: Do autor (2018)

Às áreas (em hectares) com uso classificado como “adequado” e sem processos erosivos foi atribuído peso 1,0 (forte correspondência entre o mapa de adequação de uso e a erosão). Às áreas com uso classificado como “adequado” e com processos erosivos ligeiros (laminar ligeiro – ll ou sulcos superficiais – ss) foi atribuído peso 0,7 (média correspondência); com processos erosivos moderados (laminar moderado – lm ou sulcos rasos – sr), peso 0,3 (baixa

correspondência); e com processos severos (laminar severo – ls, sulcos profundos – sp ou mais), peso 0,0 (correspondência inexistente). A ordem dos pesos inverteu-se no caso de áreas de uso classificado como “inadequado”. O mesmo procedimento foi adotado para a adequação de manejo e para a sobreposição dos dois mapas de adequação. Neste último caso, as áreas classificadas como “uso adequado/manejo adequado” e “uso adequado/manejo inadequado df” foram ponderadas com sequência idêntica de pesos, pois em ambas espera-se inexistir erosão. A soma dos produtos entre área e peso de cada categoria de sobreposição foi dividida pela área total considerada. O resultado – um número entre 0 e 1 – multiplicado por 100 expressa o percentual de correspondência entre os mapas de adequação e a erosão, indicando quão apropriados são os critérios de classificação da capacidade de uso para o nível de manejo considerado.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas figuras 2 a 5 encontram-se os mapas de solos, declividades, erosão e capacidade de uso (pelos critérios relativos ao nível de manejo C) das quatro áreas de estudo.

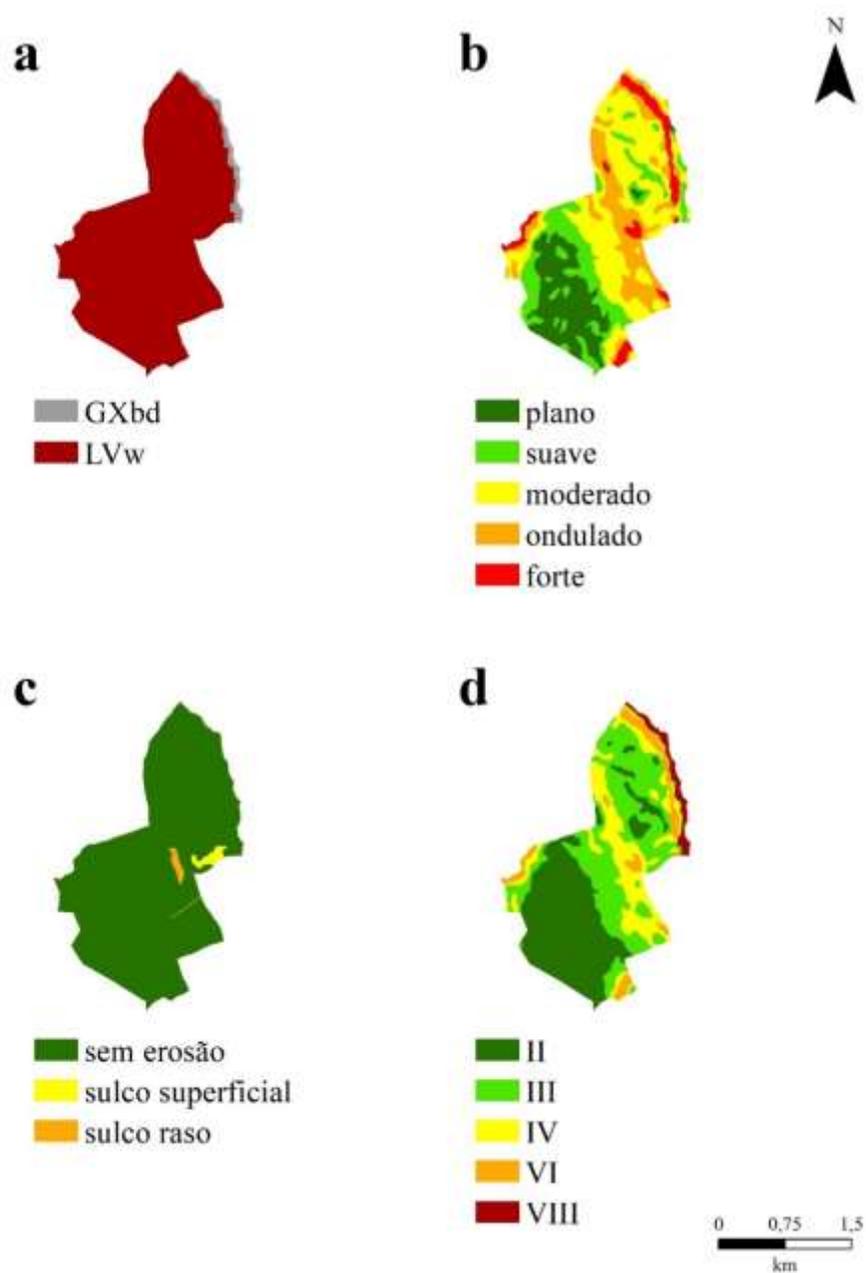


Figura 2 Solos (a), declividades (b), erosão (c) e capacidade de uso (d), Assentamento Alto Paranaíba, lote 54
Fonte: Do autor (2018)

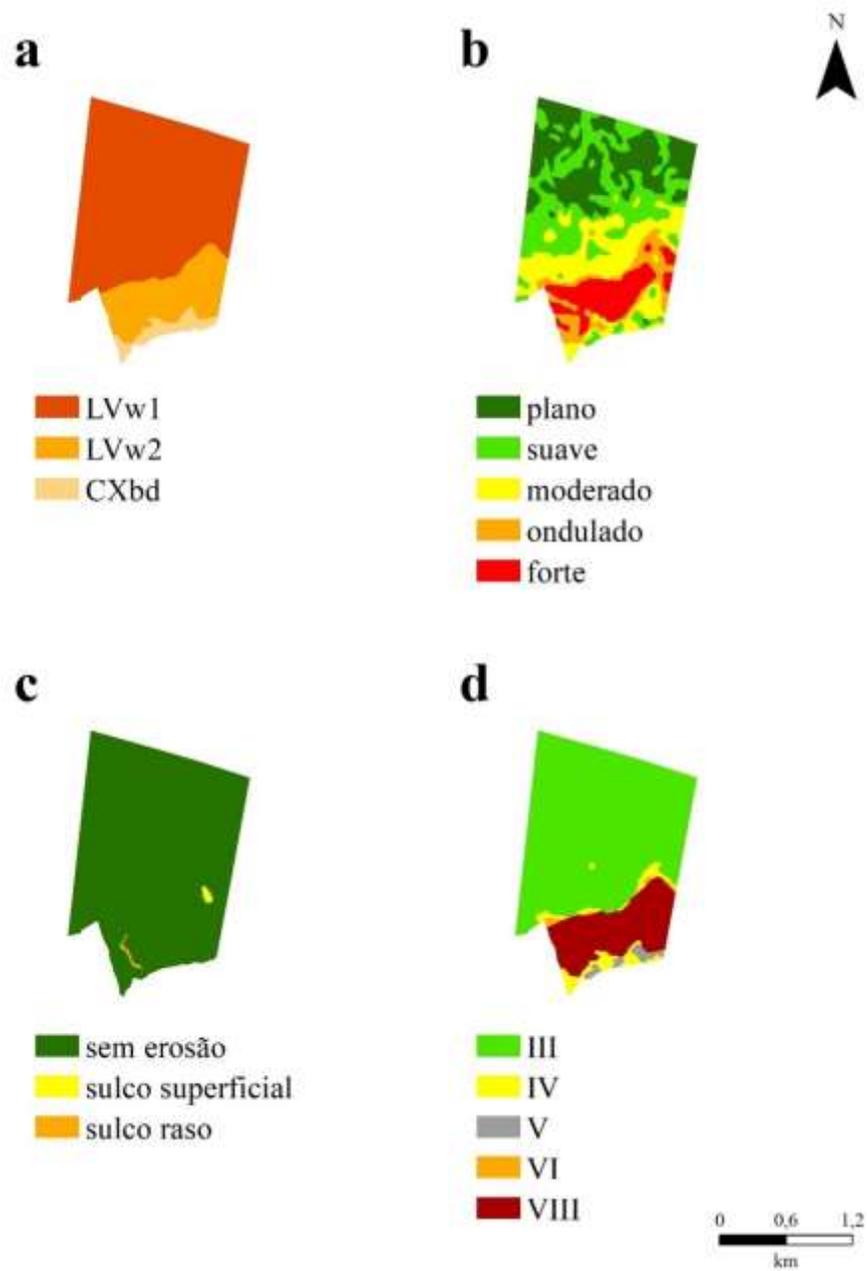


Figura 3 Solos (a), declividades (b), erosão (c) e capacidade de uso (d), Assentamento Alto Paranaíba, lote 70
Fonte: Do autor (2018)

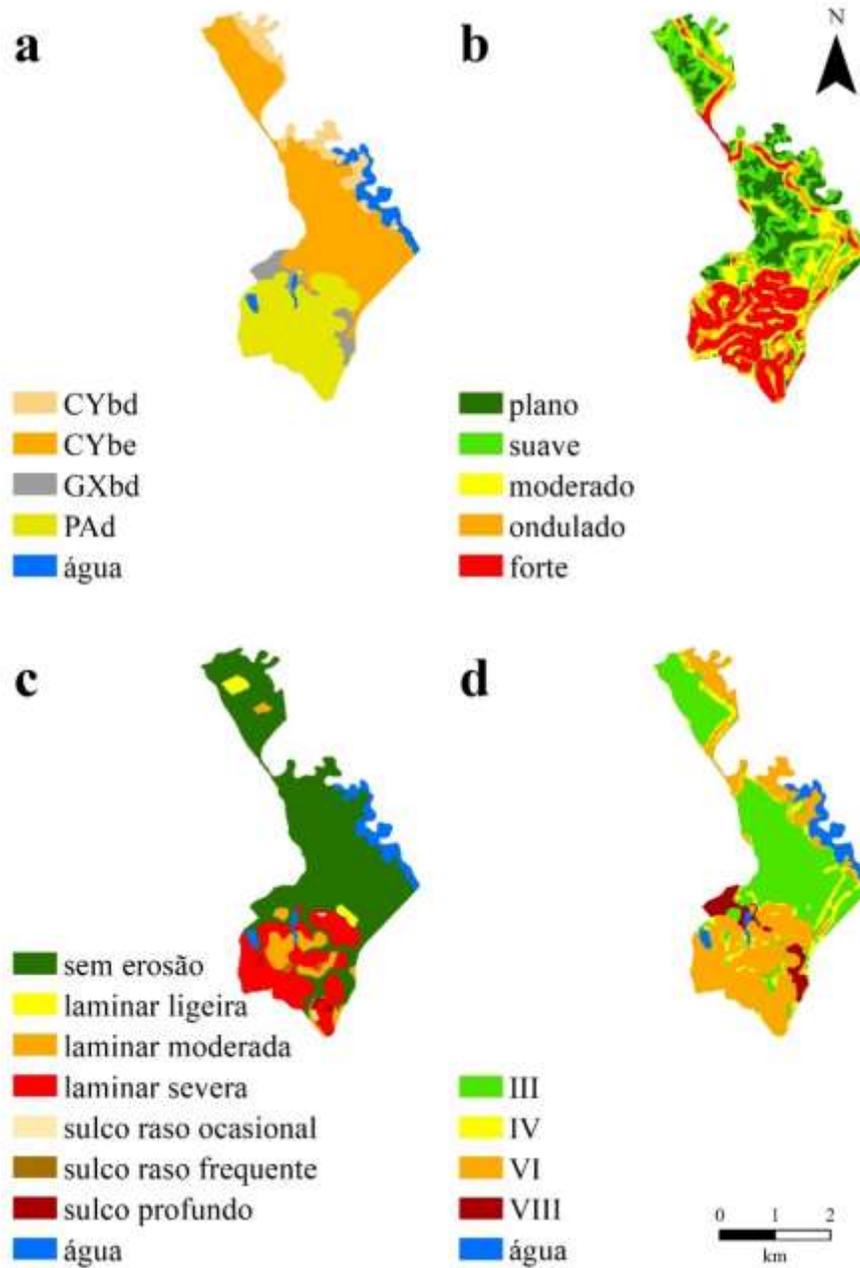


Figura 4 Solos (a), declividades (b), erosão (c) e capacidade de uso (d), Assentamento Liberdade
 Fonte: Do autor (2018)

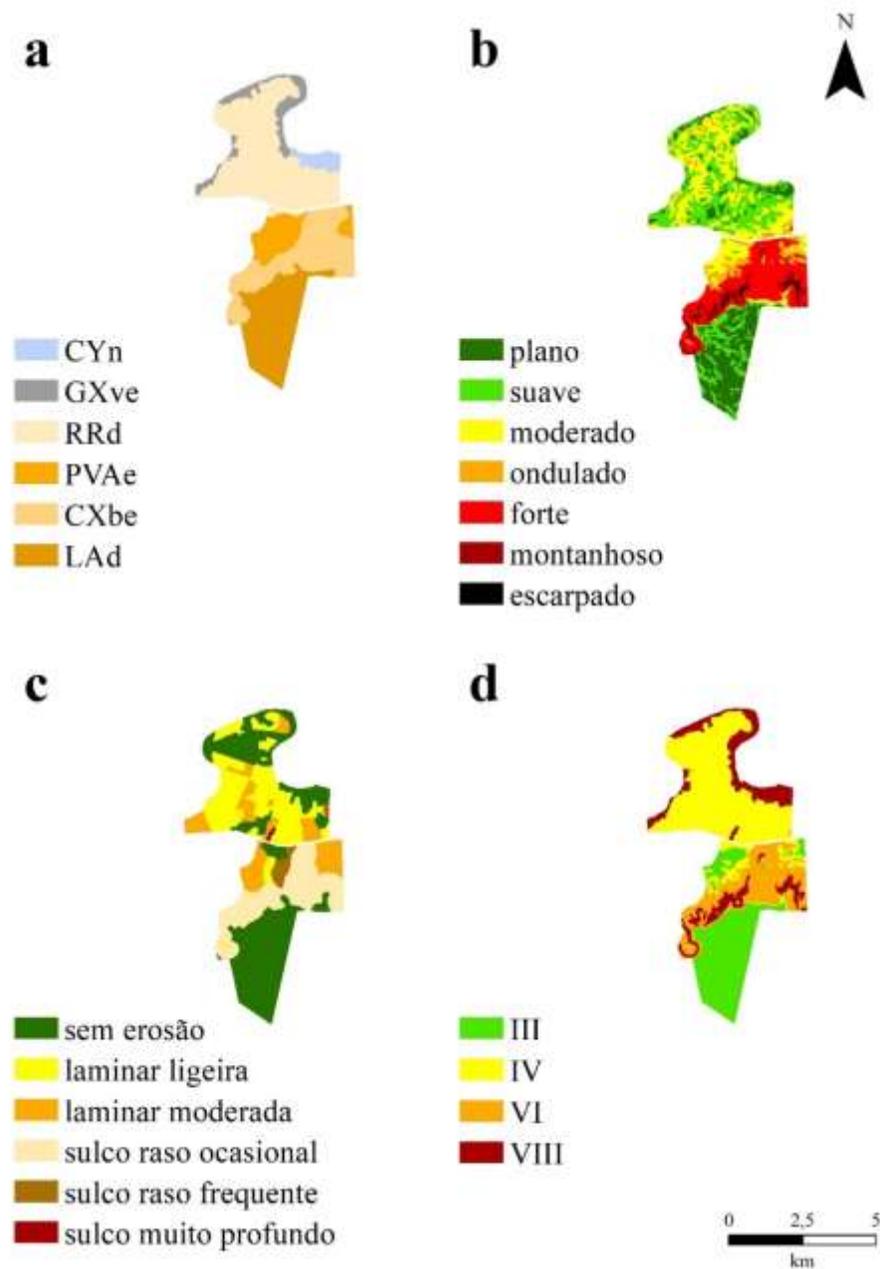


Figura 5 Solos (a), declividades (b), erosão (c) e capacidade de uso (d), Assentamento Campo Novo
 Fonte: Do autor (2018)

No lote 54 (Figura 2), o regime hídrico é a maior limitação das terras classe II; a declividade, das classes III, IV e VI; e o excesso d'água no perfil, da classe VIII. No lote 70 (Figura 3), saturação por bases (classe III), declividade (IV e VI), drenagem e risco de inundação (V) e pedregosidade (VIII) determinaram a classificação. No Assentamento Liberdade (Figura 4), profundidade, pedregosidade, ou ainda fertilidade do solo (classe III), declividade e erosão (IV), fertilidade do solo ou erosão associada a relevo (VI) e excesso d'água no perfil (VIII) foram os critérios mais importantes. No Assentamento Campo Novo (Figura 5), fertilidade do solo, profundidade, textura, drenagem, pedregosidade, declividade ou erosão limitaram, em distintos locais, a capacidade de uso à classe III. Declividade ou regime hídrico associado a profundidade determinaram classe IV. Declividade também foi o principal limitante na classe VI. Na classe VIII, as restrições deveram-se ao teor de sódio em subsuperfície, excesso d'água no perfil ou a declividade e erosão.

Ao contrário das estações experimentais do Assentamento Alto Paranaíba, nos assentamentos Liberdade e Campo Novo o uso e o manejo dispensados às terras antes da desapropriação (ÁVILA et al., 2005; FERREIRA NETO et al., 19--)) desencadearam alguns processos erosivos, atenuados ou aprofundados pelo uso e manejo atuais. Os mapas de adequação de uso, obtidos dos mapas de capacidade de uso relativos ao nível de manejo C encontram-se na Figura 6. A maior parte dos lotes 54 e 70 (Assentamento Alto Paranaíba) é utilizada dentro dos limites da capacidade de uso, em razão do fácil acesso à informação. Nos outros dois assentamentos também predominam áreas com uso classificado como adequado. Nesse caso, o acesso limitado dos agricultores a capital dificulta a intensificação produtiva.

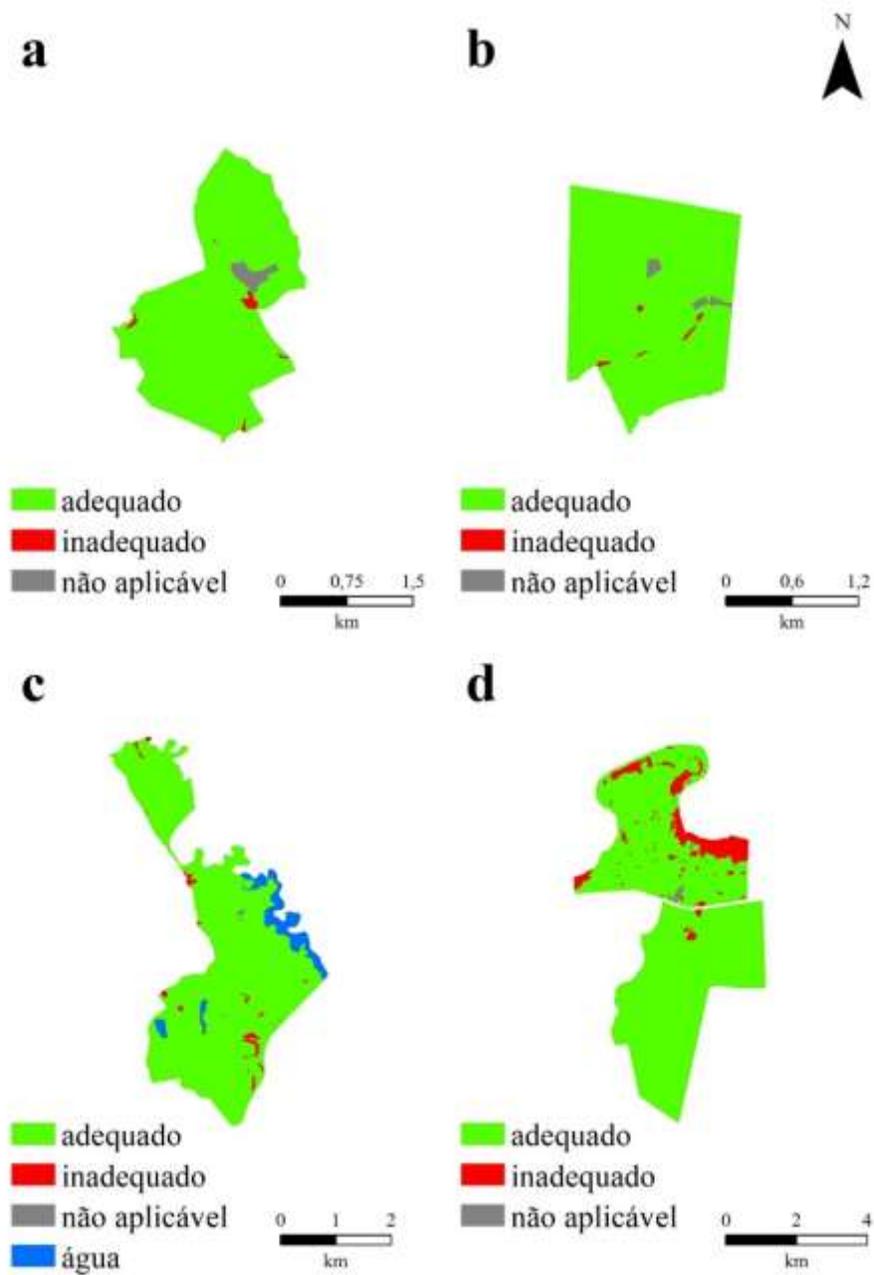


Figura 6 Adequação de uso, Assentamento Alto Paranaíba, lote 54 (a), lote 70 (b), Assentamento Liberdade (c) e Assentamento Campo Novo (d)
Fonte: Do autor (2018)

Os mapas de adequação de manejo encontram-se na Figura 7. Os lotes 54 e 70 (Assentamento Alto Paranaíba) apresentam manejo classificado como adequado na maior parte da área cultivada, resultado do fácil acesso à tecnologia. Nas poucas áreas com uso classificado como inadequado não se verifica a ocorrência de erosão, ou pela topografia suave, ou pela manutenção adequada dos terraços. Nos outros dois assentamentos, entretanto, a quase totalidade das áreas cultivadas exibe manejo classificado como inadequado. Nesse caso, as dificuldades para prover o sustento familiar e para ter acesso a tecnologia apropriada tendem a prejudicar as bases de recursos dos agricultores, depreciando-as conforme verificado por Kovacic e Salazar (2017).

Quando feita a adaptação dos critérios de classificação aos níveis de manejo B e A, respectivamente no Assentamento Liberdade e no Assentamento Campo Novo (Figura 8), a distribuição espacial das classes de capacidade de uso mudou e, conseqüentemente, os respectivos mapas de adequação de uso. No Assentamento Liberdade aumentou a área de uso classificado como inadequado, mas no Assentamento Campo Novo ela diminuiu. Isto corrobora os estudos de Costa, Souza e Jesus (2008), Fernandes et al. (2008), Serafim et al. (2011) e Sheng (1989), no sentido de que os critérios vigentes não refletem a realidade técnica dos agricultores que utilizam sistemas agrícolas com baixo nível de manejo. Nesse caso, a adaptação proposta resulta em mapas de capacidade de uso mais realistas e os mapas de adequação de uso, então, refletem melhor a localização dos processos erosivos.

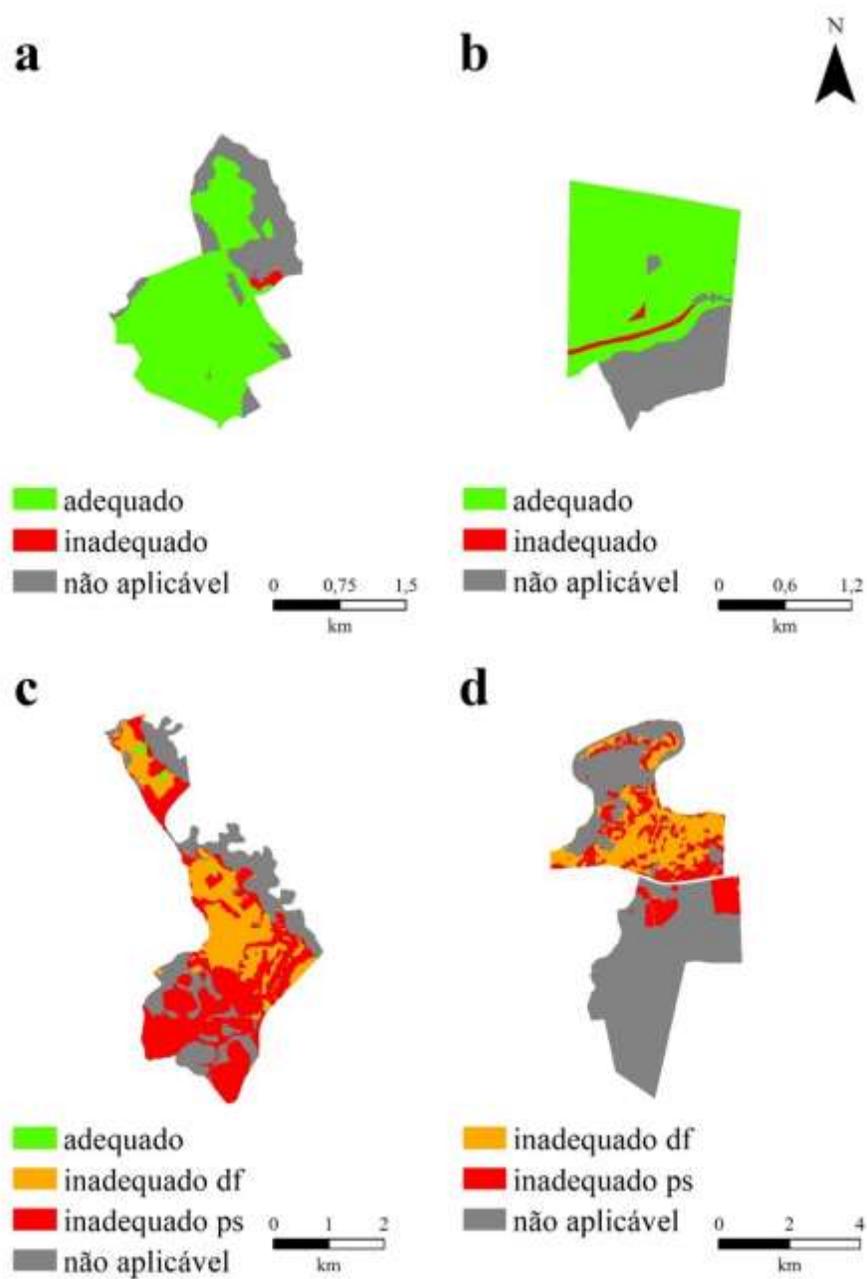


Figura 7 Adequação de manejo, Assentamento Alto Paranaíba, lote 54 (a), lote 70 (b), Assentamento Liberdade (c), Assentamento Campo Novo (d)
 Fonte: Do autor (2018)

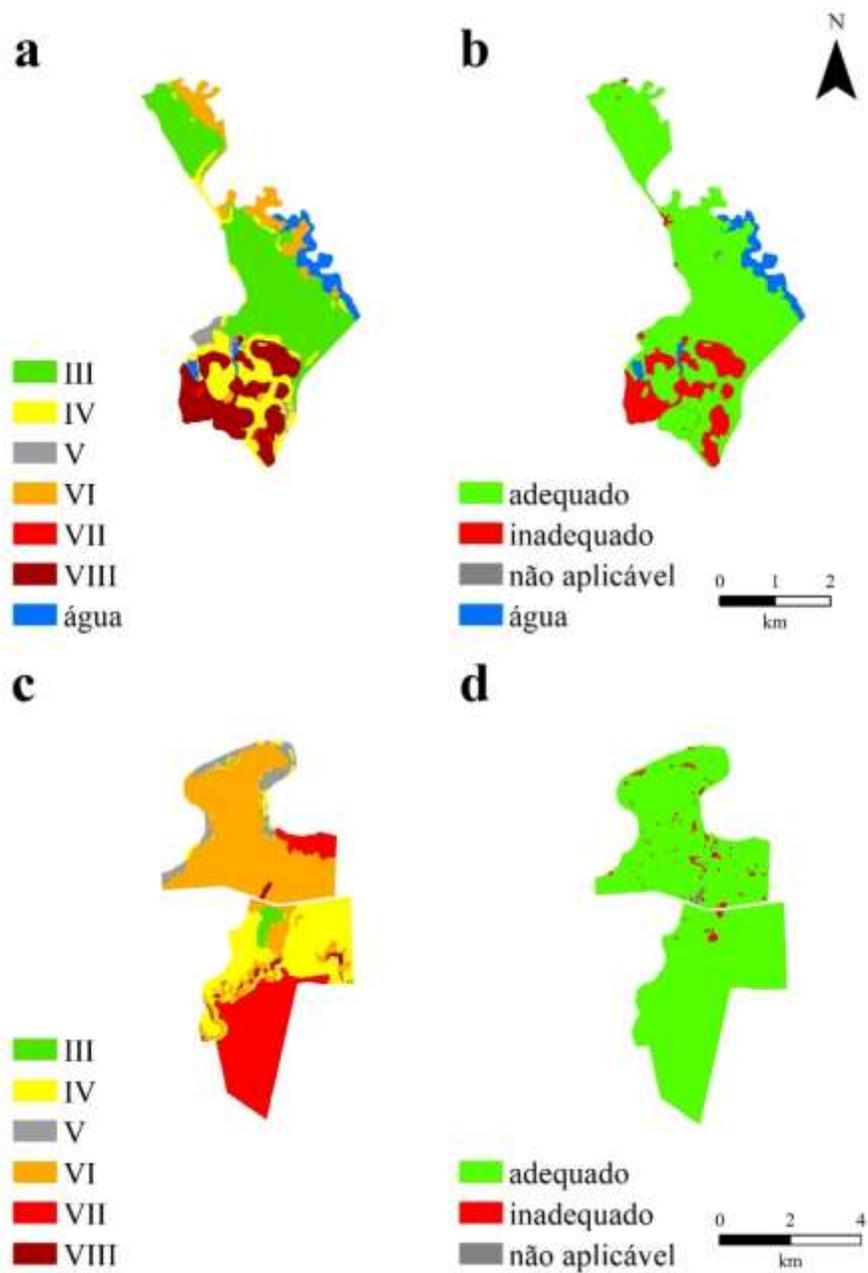


Figura 8 Capacidade e adequação de uso dos assentamento Liberdade (a,b) e Campo Novo (c,d), por critérios adaptados aos níveis de manejo B e A, respectivamente
 Fonte: Do autor (2018)

A classificação da capacidade de uso adaptada a diferentes níveis de manejo resultou em diferentes percentuais de correspondência na mesma área (Tabela 3). Não havendo histórico de erosão nas duas estações experimentais do Assentamento Alto Paranaíba e estando o uso e o manejo quase integralmente dentro das exigências técnicas, a correspondência ficou próxima a 100%, ou seja, os mapas de adequação de uso e de manejo corresponderam à localização da erosão.

No Assentamento Liberdade há relatos de alguns processos erosivos anteriores à desapropriação (ÁVILA et al., 2005), cuja intensidade o uso e o manejo atuais alteraram. Os processos mais intensos concentram-se em terrenos acidentados a sudoeste. A correspondência mostra-se inferior ao observado nos lotes 54 e 70 do Assentamento Alto Paranaíba. Entretanto, os critérios adaptados ao nível de manejo B resultaram em maior correspondência (88,5%) entre o mapa de adequação de uso e o de erosão, que quando utilizados os critérios vigentes (71,0%). Isso é explicado pela mudança na classificação do uso da maior parte das áreas com erosão laminar severa: de “adequado” (correspondência nula) para “inadequado” (forte correspondência), entre os mapas relativos aos níveis C e B. Quando considerados ambos os mapas de adequação – uso e manejo – a correspondência com a erosão manteve-se praticamente igual (66,4% e 66,6%). Nesse caso, a mudança na classificação das áreas com erosão laminar severa ocorreu entre categorias com peso idêntico (de “uso adequado/manejo inadequado ps” para “uso inadequado/manejo inadequado ps”).

Tabela 3 Correspondência (%) entre os mapas de adequação de uso, manejo e erosão, por critérios classificatórios da capacidade de uso vigentes (C) e adaptados (B e A)

		Nível de manejo	%
	Uso vs. erosão		98,1
Lote 54 ¹	Manejo vs. erosão	C	99,5
	Uso vs. manejo vs. erosão		98,3
	Uso vs. erosão		99,1
Lote 70 ¹	Manejo vs. erosão	C	100,0
	Uso vs. manejo vs. erosão		99,2
	Uso vs. erosão		71,0
Liberdade	Manejo vs. erosão	C	66,9
	Uso vs. manejo vs. erosão		66,4
	Uso vs. erosão	B	88,5
	Uso vs. manejo vs. erosão		66,6
	Uso vs. erosão		62,9
Campo	Manejo vs. erosão	C	56,9
	Uso vs. manejo vs. erosão		46,7
Novo	Uso vs. erosão	A	66,7
	Uso vs. manejo vs. erosão		55,7

¹ Alto Paranaíba

Fonte: Do autor (2018).

No Assentamento Campo Novo também há relatos de alguns processos erosivos anteriores à desapropriação (FERREIRA NETO et al., 19--), em menor intensidade que no Assentamento Liberdade. Da mesma maneira que em seu congênere, uso e manejo atuais alteraram a intensidade do fenômeno. A correspondência do mapa de adequação de uso aumentou de 62,9% para 66,7%

quando utilizados os critérios adaptados ao nível de manejo A. Isso ocorreu em razão tanto do aumento das áreas de uso classificado como “adequado” em locais sem erosão (aumentando a correspondência) quanto da redução das áreas de uso classificado como “inadequado” em locais com erosão (diminuindo a correspondência) entre os mapas relativos aos níveis C e A. Quando foram analisados ambos os mapas de adequação – uso e manejo – a correspondência aumentou de 46,7% para 55,7%. Nesse caso, aumentou a área de categorias com elevado fator de ponderação – “uso adequado/manejo inadequado df” em áreas sem erosão – e diminuiu a de outras com pequeno fator – “uso inadequado/manejo inadequado df” e “uso inadequado/manejo inadequado ps”, em áreas sem erosão ou com processos ligeiros.

Sistemas agrícolas nível C possuem mais recursos para adequar uso e manejo aos limites ambientais à produção. Nessas condições a erosão é minimizada. Essa realidade está distante dos agricultores com níveis de manejo A e B (KOVACIC; SALAZAR, 2017). Eles são vitimados por carências que podem provocar inadequações de manejo. Mas é pouco comum que excedam a capacidade de uso das terras. Por fim, cada local exhibe histórico de uso e manejo distinto. Não é apropriado, portanto, comparar distintos locais. A comparação apropriada se dá entre critérios adaptados para diferentes níveis de manejo, num mesmo local.

4 CONCLUSÕES

As regras vigentes do sistema de capacidade de uso consideram apenas as características de sistemas agrícolas com nível de manejo C. A adaptação da classificação aos demais níveis de manejo resulta em mapas de capacidade e de adequação de uso diferentes. A erosão evidencia inadequações no uso ou no manejo da terra. Por isso, a sobreposição dos mapas de adequação de uso e erosão

atual demonstrou aumento no percentual de correspondência quando utilizados os critérios adaptados aos níveis de manejo A e B. A sobreposição dos mapas de adequação de uso, adequação de manejo e erosão atual resultou em correspondência similar entre os mapas relativo aos níveis B (Assentamento Liberdade) e C (em vigor). O mesmo procedimento revelou, no entanto, que a correspondência do mapa relativo ao nível A (Assentamento Campo Novo) aumentou em relação ao do nível C. Recomenda-se, portanto, adotar os critérios classificatórios adaptados no planejamento do uso da terra, em localidades do estado de Minas Gerais onde são comuns sistemas agrícolas com níveis de manejo A ou B. Sua aplicação a outros contextos socioambientais exigirá readaptação e revalidação, como qualquer sistema de classificação de terras pressupõe.

REFERÊNCIAS

ÁVILA, C. A. R. et al. **Plano de desenvolvimento do assentamento liberdade**. Belo Horizonte: INCRA; AESCA, 2005. 149 p.

BAKKER, M. M. et al. Changing environmental characteristics of European cropland. **Agricultural Systems**, Essex, v. 104, n. 7, p. 522-532, Sept. 2011.

BALCÁZAR, R. C. et al. Clasificación de tierras campesina para la generación y transferencia de tecnología agrícola entre pequeños productores: caso del maíz em la región central de Veracruz. **Terra Latinoamericana**, Chapingo, v. 16, n. 1, p. 1-10, ene./mar. 1998.

BOARDMAN, J. The value of Google Earth™ for erosion mapping. **Catena**, Amsterdam, v. 143, p. 123-127, Aug. 2016.

BRASIL. **Cadastro Ambiental Rural (CAR)**. Disponível em: <<http://www.car.gov.br>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

COSTA, G. P.; SOUZA, J. L. M.; JESUS, M. R. G. Contraste entre duas metodologias de determinação do potencial agrícola das terras nas vilas rurais no município de Rio Negro, estado do Paraná. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 30, n. 5, p. 687-695, 2008.

FERNANDES, L. A. et al. Relação entre o conhecimento local, atributos químicos e físicos do solo e uso das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 1355-1365, maio/jun. 2008.

FERREIRA NETO, J. A. et al. **Diagnóstico socioeconômico e ambiental e projeto final de assentamento do PA Campo Novo**. Belo Horizonte: INCRA, [19--]. 103 p.

GIBOSHI, M. L.; RODRIGUES, L. H. A.; LOMBARDI NETO, F. CAP_USO: um sistema especialista para determinação da capacidade de uso da terra. **Acta Scientiarum**. Technology, Maringá, v. 21, p. 909-914, 1999.

GOEDERT, W. J. Management of the Cerrado soils of Brazil: a review. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 34, n. 3, p. 405-428, Sept. 1983.

JUNQUEIRA, A. B. et al. The role of Amazonian anthropogenic soils in shifting cultivation: learning from farmers' rationales. **Ecology and Society**, Wolfville, v. 21, n. 1, Mar. 2016. Disponível em: <<https://www.ecologyandsociety.org>>. Acesso em: 21 out. 2016.

KLINGEBIEL, A. A.; MONTGOMERY, P. H. **Land-capability classification**. Washington, DC: Soil Conservation Service, 1961. 21 p.

KOVACIC, Z.; SALAZAR, O. V. The lose-lose predicament of deforestation through subsistence farming: unpacking agricultural expansion in the Ecuadorian Amazon. **Journal of Rural Studies**, Oxford, v. 51, p. 105-114, Apr. 2017.

LAURENCE, D. Optimisation of the mine closure process. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 14, n. 3/4, p. 285-298, 2006.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Viçosa, MG: SBCS, 2015. 170 p.

MOTTA, P. E. F.; BARUQUI, A. M.; SANTOS, H. G. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2004. 413 p.

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

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília: CNPS/EMBRAPA, 2013. 353 p.

SANTOS, R. D. et al. **Levantamento exploratório dos solos da região sob influência da Cia. Vale do Rio Doce**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura; CVRD, 1970. 154 p.

SANTOS, R. D. et al. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. Viçosa, MG: SBCS, 2015. 102 p.

SERAFIM, M. E. et al. Sistema conservacionista e de manejo intensivo do solo no cultivo de cafeeiros na região do Alto São Francisco, MG: um estudo de caso. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 964-977, nov./dez. 2011.

SHENG, T. C. **Soil conservation for small farmers in the humid tropics**. Rome: FAO, 1989. 104 p.

SILVA, V. A. et al. Soil maps, field knowledge, forest inventory and ecological-economic zoning as a basis for agricultural suitability of lands in Minas Gerais

elaborated in GIS. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 6, p. 538-549, nov./dez. 2013.

SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. 12th ed. Washington, DC: US Department of Agriculture; NRCS, 2014. 372 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais: legenda expandida**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49 p.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) pela licença ao primeiro autor para aprofundamento de seus estudos. Ao Departamento de Ciência do Solo (DCS/UFLA) pelo ambiente adequado à elaboração deste estudo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo suporte financeiro. Aos discentes do DCS/UFLA Leandro Campos Pinto e Wharley Pereira dos Santos, por sua colaboração na coleta de dados a campo.

^a Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras. CP 3037, 37200-000, Lavras – MG, Brasil.

^b Texas Tech University. Department of Plant and Soil Science. 2911 15th Street, Mail Stop 2122, Lubbock TX, 79409-2122.

^c Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024. Rio de Janeiro – RJ, Brasil.

^{d, e, f} Universidade Federal de Lavras. Departamento de Ciência do Solo. CP 3037,
37200-000, Lavras – MG, Brasil.

ARTIGO 2

Artigo elaborado de acordo com as normas do periódico *Ciência e Agrotecnologia*
(versão submetida para publicação)

MAPEAMENTO DA CAPACIDADE DE USO DA TERRA EM CONDIÇÕES TROPICAIS ADAPTANDO CRITÉRIOS A DIFERENTES NÍVEIS DE MANEJO AGRÍCOLA

MAPPING LAND USE CAPABILITY IN TROPICAL CONDITIONS ADAPTING CRITERIA TO DIFFERENT LEVELS OF AGRICULTURAL MANAGEMENT

Luís Renato Silva Taveira

Michele Duarte Menezes

Nilton Curi

RESUMO

O mapa de solos de Minas Gerais foi o ponto de partida para este estudo. Ele foi elaborado em escala 1:650.000, com baixo nível de detalhe. A classificação da capacidade de uso, entretanto, pressupõe mapas de solos

detalhados. Partindo da adaptação dos critérios de classificação aos níveis de manejo com pequena e média aplicação de capital e tecnologia moderna, o objetivo do presente estudo foi mapear a capacidade de uso das terras do estado de Minas Gerais, Brasil, para diferentes níveis de manejo e medir a acurácia dos mapas resultantes. O critério de erosão foi substituído pelo critério de erodibilidade. O tratamento das informações foi feito num sistema de informações geográficas. Para a validação foram amostrados perfis de solos de levantamentos pedológicos regionais. Embora a escala do mapa de solos seja pequena, os mapas de capacidade de uso das terras apresentaram acurácia adequada: 73% (nível de manejo A), 71% (B) e 50% (C). Portanto, sua aplicação é possível em fases iniciais de estudos de planejamento regional, nas quais o nível de detalhe requerido é menor (por exemplo, em zoneamentos ecológico-econômicos). Análises mais detalhadas ainda dependem de levantamentos a campo, conforme preconizado pelo sistema de capacidade de uso das terras.

Termos para indexação: mapa de solos, intensidade de uso das terras, acurácia de mapeamento, sistema de informações geográficas.

ABSTRACT

The soil map of Minas Gerais state was the starting point for this study. It was made on a 1:650.000 scale, with a low level of detail. Classification of land use capability depends, however, on detailed soil maps. Based on the adaptation of the classification criteria to management levels with small and medium application of capital and modern technology, the aim of the present study was to map land use capability for Minas Gerais state, Brazil, following the criteria adapted to different levels of management and measure the accuracy of the resulting maps. Erosion criterion was replaced by erodibility. The information was handled in a geographic information system. For validation, soil profiles from regional pedological surveys were sampled. Although the scale of the soil map is small, the maps of land use capability exhibited adequate accuracy: 73% (management level A), 71% (B), and 50% (C). Therefore, it can be applied in initial phases of regional planning studies, in which the level of detail required is less (for example, in ecological-economic zoning). More detailed analyses still depend on detailed field surveys, as advocated by the system of land use capability.

Index terms: soil map, land use intensity, mapping accuracy, geographic information system.

INTRODUÇÃO

A classificação de solos é indispensável para o desenvolvimento da agricultura. A expansão das fronteiras agrícolas exigiu, também, a classificação técnico-interpretativa das restrições de natureza pedológica à produção. Ela depende de mapas detalhados de solos. O conhecimento pedológico, todavia, ainda é limitado em muitos países tropicais em desenvolvimento. No estado de Minas Gerais, Brasil, o mapa de solo elaborado por Universidade Federal de Viçosa – UFV, Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, Universidade Federal de Lavras – UFLA e Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (2010) foi feito em escala 1:650.000, na qual é impossível representar detalhadamente a variabilidade espacial das classes. Isso demandou a delimitação de unidades de mapeamento que incluem duas ou mais classes de solos associadas na paisagem.

A obtenção de mapas pedológicos em grandes escalas, mesmo em extensas áreas já mapeadas em escalas menores, é um grande desafio da Ciência do Solo. Quanto mais detalhada for a informação pedológica, mais detalhado será qualquer mapa temático dela resultante. Considerando as atuais limitações no investimento estatal para a produção de mapas pedológicos detalhados, duas linhas de pesquisa podem contribuir mais efetivamente para esse esforço: as técnicas de mapeamento digital de solos (Machado et al., 2018; Menezes et al., 2014; Silva et al., 2016) e a incorporação do conhecimento empírico do agricultor, agilizando e barateando os levantamentos (Correia et al., 2007; Fernandes et al., 2008).

Um dos mais disseminados sistemas de classificação técnico-interpretativa é o da capacidade de uso (Klingebiel; Montgomery, 1961; Lepsch et al., 2015). De origem norte-americana, ele agrupa terras com restrições similares ao uso agrícola sem que haja erosão. Entre as suas adaptações regionais, no Brasil há necessidade de levantar a campo os atributos que interferem na capacidade de uso das terras.

Embora seja comum a convicção de que, em quaisquer tipos de terras usos mais intensivos exigem a tecnologia mais avançada, três considerações são aqui necessárias. Primeiro, nem todo agricultor utiliza a

moderna tecnologia agrícola, por questões socioeconômicas ou culturais. Segundo, há situações em que os sistemas agrícolas tradicionais estão melhor aparelhados para conviver com as restrições impostas pelo ambiente (Pandey; Sirothia; Singh, 2006). Em terrenos acidentados, por exemplo, não é recomendável a mecanização das operações agrícolas. Mas o uso de implementos manuais ou tracionados por animais permite o cultivo sem, necessariamente, provocar erosão. Terceiro, o conceito de intensificação produtiva não deve ser compreendido da mesma maneira por todo agricultor: cada um é capaz de intensificar seu sistema agrícola de diferentes formas, cultural, ambiental e economicamente determinadas (Pretty; Bharucha, 2014). Entretanto, o sistema de capacidade de uso foi elaborado com foco nos modernos sistemas agrícolas (Klingebiel; Montgomery, 1961; Lepsch et al., 2015). Isso limita sua capacidade de atender às demandas de todos os agricultores.

Diversos autores têm questionado essa e outras limitações do sistema, como sua inerente subjetividade (Giboshi; Rodrigues; Lombardi Neto, 1999). Alguns desenvolveram sistemas de classificação da capacidade de uso diferentes do original (Pandey; Sirothia; Singh, 2006; Sheng, 1989). Sua disseminação, no entanto, tende a dificultar a

transferência de conhecimentos, por associar caráter regional, critérios e codificação próprios. Por isso, preservando a estrutura do sistema original, foi elaborada adaptação que consiste em ajustar a classificação da capacidade de uso a sistemas agrícolas com níveis de manejo mais baixos, adaptação inspirada no sistema de aptidão agrícola (Ramalho Filho; Beek, 1995). Os critérios originalmente propostos para os sistemas agrícolas com nível de manejo alto foram preservados. Manteve-se, portanto, a capacidade de transferência de conhecimentos.

Trabalhos como o mapeamento da capacidade de uso das terras do estado de São Paulo (Chiarini; Donzeli, 1973) demonstram ser possível obter mapas temáticos mesmo em escalas generalizadas. Contudo, as limitações dos dados pedológicos desafiam iniciativas como essa. Além disso, a ocorrência de erosão é outro atributo – essencial à classificação – indisponível no mapa de solos e que precisa ser obtida por outros meios. O tempo e o custo demandados para a obtenção dessas informações em grandes territórios representam obstáculos importantes. Portanto, torna-se relevante analisar se os mapas temáticos obtidos em diferentes escalas, mesmo nas menores, são apropriados. É possível mensurar sua capacidade de representar a realidade por meio de ferramentas estatísticas. Assim, o

presente estudo teve por objetivos mapear a capacidade de uso das terras do estado de Minas Gerais, Brasil, e medir a acurácia dos mapas resultantes. Um sistema de informações geográficas foi utilizado como ferramenta. As características de sistemas agrícolas com diferentes níveis de manejo e as informações constantes do mapa de solos de Minas Gerais serviram como referências.

MATERIAL E MÉTODOS

A classificação elaborada nesta fase do estudo utilizou os critérios adaptados anteriormente aos níveis de manejo A, B e C, considerados por Ramalho Filho e Beek (1995): eles correspondem, respectivamente, a sistemas agrícolas com pequena (nível A), média (nível B) e grande (nível C) aplicação de capital e de tecnologia moderna. Os critérios de classificação para o nível C correspondem àqueles aplicados a sistemas agrícolas com alto nível de manejo (Klingebiel; Montgomery, 1961; Lepsch et al., 2015). Em razão da escala do mapa de solos e da impossibilidade de mapear a campo as feições erosivas, adaptou-se a codificação dos atributos, conforme detalhado a seguir.

Muitas unidades de mapeamento de solos (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010) referem-se a associações com mais de uma classe, nas quais o nível de detalhe da informação é limitado. Convencionou-se considerar para a classificação apenas os atributos do solo dominante em cada associação – o primeiro descrito na legenda.

Ainda não é possível mapear erosão por sensoriamento remoto através de métodos que compatibilizem o custo, a resolução espacial e o tamanho da área imageada em grandes territórios. Mas ocorreram avanços nos últimos anos (Assefa et al., 2015; Chen et al., 2011; Karami et al., 2015; Mararakanye; Nethengwe, 2012; Saadat et al., 2014; Tahir; Kääb; Xu, 2010; Torkashvand, 2010). E seria inviável mapear a campo a erosão em território tão extenso como Minas Gerais, por limitações de tempo e de recursos. Por isso, os critérios erosão laminar, sulcos superficiais, sulcos rasos, sulcos profundos e sulcos muito profundos (Lepsch et al., 2015) foram substituídos pelo critério erodibilidade (intrínseco a cada classe de solo), assim categorizado: a) muito baixa – Latossolo (*Oxisol*) com textura argilosa, Gleissolo (*Entisol*), Cambissolo Flúvico (*Inceptisol*), Neossolo Flúvico (*Entisol*), Nitossolo (*Alfisol*) com teor mais elevado de matéria orgânica; b) baixa – Latossolo (*Oxisol*) com textura média, Argissolo

(*Ultisol*) com textura argilosa, Planossolo (*Alfisol*), Nitossolo (*Alfisol*) com teor médio de matéria orgânica; c) média – Argissolo (*Ultisol*) com textura média, Plintossolo (*Alfisol*), Luvisso (*Alfisol*); d) alta – Cambissolos (*Inceptisols*) em geral, Espodossolo (*Spodosol*); e) muito alta – Cambissolo (*Inceptisol*) com textura siltosa, Neossolos Quartzarênicos em geral, Neossolo Litólico (*Entisols*).

A classe de solo também serviu de base à codificação do critério profundidade efetiva, exceto quando havia menção expressa à profundidade do solo na legenda: a) muito profunda – Latossolo (*Oxisol*), Espodossolo (*Spodosol*), Neossolo Quartzarênico (*Entisol*); b) profunda – Argissolo (*Ultisol*), Nitossolo (*Alfisol*), Gleissolo (*Entisol*), Plintossolo (*Alfisol*), Planossolo (*Alfisol*), Chernossolo Argilúvico (*Mollisol*), Cambissolo Flúvico (*Inceptisol*), Neossolo Flúvico (*Entisol*); c) moderadamente profunda – Luvisso (*Alfisol*), Organossolo (*Histosol*), Vertissolo (*Vertisol*), Neossolo Regolítico (*Entisol*), demais Cambissolos (*Inceptisols*), demais Chernossolos (*Mollisols*); d) rasa – Neossolo Litólico (*Entisol*).

Para o critério gradiente textural – que piora o enquadramento da textura superficial quanto à capacidade de uso, salvo havendo menção

expressa a ele na legenda, considerou-se sua presença nas seguintes classes: Argissolo (*Ultisol*), Planossolo (*Alfisol*), Luvisolo (*Alfisol*), Plintossolo Argilúvico (*Alfisol*), Chernossolo Argilúvico (*Mollisol*).

Para codificar o critério drenagem, adotou-se o seguinte: a) acentuada ou maior – Latossolo (*Oxisol*), Neossolo Quartzarênico (*Entisol*); b) boa – Argissolo (*Ultisol*), Nitossolo (*Alfisol*), Chernossolo (*Mollisol*), Luvisolo (*Alfisol*), Cambissolos (*Inceptisols*) em geral, Neossolo Litólico (*Entisol*) e Neossolo Regolítico (*Entisol*); c) moderada – Neossolo Flúvico (*Entisol*) e Cambissolo Flúvico (*Inceptisol*); d) imperfeita – Planossolo (*Alfisol*), Plintossolo (*Alfisol*), Vertissolo (*Vertisol*), Neossolo Quartzarênico (*Entisol*) hidromórfico; e) ruim – Espodossolo (*Spodosol*), Gleissolo (*Entisol*); f) muito ruim – Organossolo (*Histosol*).

Na legenda do mapa de solos, a pedregosidade é mencionada sem detalhe. Por isso, o número de categorias foi reduzido de dez para três. As informações sobre capacidade de troca de cátions, teor de alumínio, sódio, sais, carbonatos ou materiais sulfídricos inexistem ou são incompletas. Por isso, a única informação disponível sobre fertilidade do solo – saturação por bases – foi convertida em critério.

Embora o caráter hidromórfico possa ser inferido a partir da classe de solo, a profundidade em que ele ocorre não está disponível na legenda, impossibilitando sua utilização. Também não há como extrair da legenda informações sobre risco de inundação ou ocorrência de geadas. Por isso esses critérios não foram considerados no presente estudo.

O regime hídrico foi inferido a partir da fase de vegetação informada na legenda do mapa de solos (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010): a) vereda, campo higrófilo e hidrófilo – regime áquico; b) floresta tropical perenifólia – regime perúdicico; c) floresta tropical subperenifólia e cerrado – regime údico; d) floresta tropical subcaducifólia, cerrado e campo cerrado – regime ústico; e) floresta tropical caducifólia e campo – regime perústico; f) caatinga hipoxerófila e hiperxerófila – regime arídico. Nas unidades de mapeamento sem menção a este atributo foi usado como referência o arquivo vetorial do mapa de solos codificado para fase de vegetação (Silva et al., 2013). Em algumas unidades de mapeamento de solos com ocorrência simultânea tanto ao norte quanto ao sul de Minas Gerais, a legenda indica a existência de caatinga hipoxerófila. Essa vegetação restringe-se, entretanto, à porção norte do estado, inexistindo na porção sul. Ao norte ela ocorre, comumente, em mosaico com a floresta

tropical caducifolia (que também ocorre ao sul). Por isso, todos os polígonos cuja fase de vegetação é – segundo a legenda – caatinga hipoxerófila foram codificados como floresta tropical caducifolia.

A seguir encontram-se os critérios, categorias e respectivos enquadramentos nas classes de capacidade de uso aplicados no presente estudo, observando-se a notação *critério (categoria – classificação para nível de manejo A,B,C)*: a) profundidade efetiva (muito profunda – I,I,I; profunda – II,II,II; moderadamente profunda – IV,III,III; rasa – VII,VII,VIII); b) textura (muito argilosa – I,I,I; argilosa – I,I,I; média – II,II,II; siltosa – VI,VI,VI; arenosa – IV,IV,III); c) drenagem (acentuada – III,III,II; boa – I,I,I; moderada – II,II,III; imperfeita – III,III,IV; ruim – V,V,V; muito ruim – VIII,VIII,VIII); d) declividade (plana – I,I,I; suave – I,I,II; moderada – II,II,III; ondulada – III,III,IV; forte – IV,IV,VI; montanhosa – VI,VI,VIII; escarpada – VIII,VIII,VIII); e) erodibilidade (muito baixa – I,I,I; baixa – I,I,II; média – II,II,III; alta – III,III,IV; muito alta – IV,IV,VI); f) saturação de bases (caráter eutrófico – II,I,I; caráter distrófico – III,II,II); g) pedregosidade (inexistente – I,I,I; pedregosa e rochosa – VI,VII,VIII); h) regime hídrico (áquico – V,V,VIII; perúdicico –

I,I,I; údico – II,I,I; ústico – III,II,II; perústico – IV,IV,III; arídico – VII,VII,VI).

A área de estudo compreende o estado de Minas Gerais (Figura 1), situado na Região Sudeste do Brasil. Sua superfície territorial é de 586.752 km² e a população estimada era, em 2017, de 21.119.536 habitantes (<https://www.ibge.gov.br>). Ele faz fronteira com os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia, Goiás e Mato Grosso do Sul, além de possuir pequena faixa fronteiriça com o Distrito Federal.

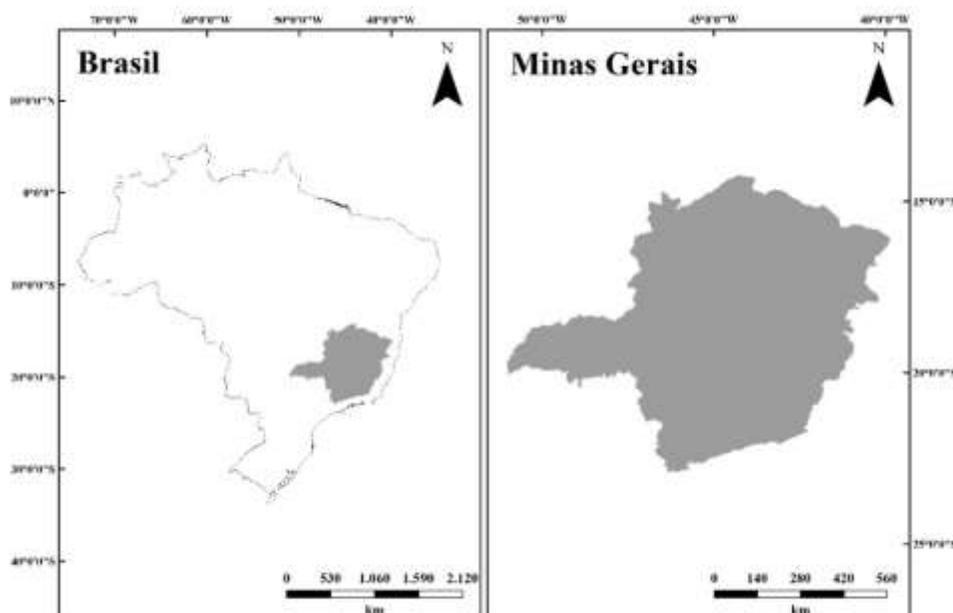


Figura 1 – Localização do estado de Minas Gerais.

No presente estudo foram utilizados: o arquivo vetorial com o mapa de solos de Minas Gerais (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010) e o arquivo matricial – pixel de 90 m – com o modelo digital de elevação (MDE) extraído dos arquivos SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* – NASA). Eles são os mesmos que Silva et al. (2013) utilizaram para mapear a aptidão agrícola do estado. Optou-se pela imagem SRTM porque sua resolução é compatível com a escala do mapa de solos.

Primeiramente o MDE foi submetido à ferramenta *slope* no *ArcMap 10.4*, obtendo-se o arquivo matricial de declividades. Ele foi categorizado (ferramenta *reclassify*), utilizando-se os intervalos 0 a 2% (plano), 2 a 5% (suavemente ondulado), 5 a 10% (moderadamente ondulado), 10 a 15% (ondulado), 15 a 45% (fortemente ondulado), 45 a 70% (montanhoso) e > 70% (escarpado), conforme Lepsch et al. (2015). Esses intervalos são mais apropriados para estudos sobre manejo agrícola por dividir a faixa de declives entre 0 e 20% – mais intensamente cultivados – em cinco categorias. Aplicaram-se, então, as ferramentas *majority filter*, para suavizar as feições obtidas, e *extract by mask*, para recortar o MDE, utilizando-se por máscara o arquivo vetorial com o mapa de solos.

A tabela de atributos do arquivo vetorial com o mapa de solos de Minas Gerais foi editada em seguida. Foram criadas 8 colunas para a codificação numérica dos demais critérios de classificação. Após inseridos os códigos, foram obtidos 8 arquivos matriciais relativos aos critérios derivados do mapa de solos (*feature to raster*). Eles e o arquivo matricial de declividade foram, então, sobrepostos (*combine*). Na tabela de atributos do arquivo resultante – com 564 feições de diferentes sequências de códigos – foram criadas novas colunas para cada classe de capacidade de uso, em cada nível de manejo. A elas foi aplicada codificação binária para identificar o cumprimento – ou não – das regras de enquadramento, inseridas por meio da ferramenta *select by attributes*. O código 1 foi aplicado às linhas que as cumpriam (*field calculator*). Em cada linha (polígonos da mesma unidade de mapeamento) diferentes critérios determinaram enquadramento simultâneo em diferentes classes de capacidade de uso. A classificação final foi determinada pelo critério mais restritivo, identificado pelo código (numeral romano) mais elevado. Ela foi então sintetizada noutras colunas, uma para cada nível de manejo.

Para validar o mapa de capacidade de uso de Minas Gerais foram consultados o Sistema de Informação de Solos Brasileiros

(<https://www.bdsolos.cnptia.embrapa.br>) e o Repositório Brasileiro Livre para Dados Abertos do Solo (<http://www.ufsm.br/febr>). Diversos perfis de solos descritos e analisados no estado de Minas Gerais foram organizados em planilha *Microsoft Office Excel*. Apenas aqueles com coordenadas geográficas, dados de localização consistentes e descrição morfológica suficientemente completa foram inicialmente aproveitados. Em seguida, criou-se um arquivo de pontos com esses perfis (ferramenta *export*). Ele foi sobreposto ao mapa de solos (UFV; CETEC; UFLA, FEAM, 2010). Diversos perfis divergiam do correspondente polígono do mapa quanto à classificação pedológica. Por isso, apenas aqueles com classe de solo idêntica (em segundo nível categórico) à classe dominante no polígono foram finalmente aproveitados. Restaram 118 perfis provenientes de levantamentos regionais e locais de solos (Baruqui et al., 2006; Brasil, 1982; Brasil, 1983a; Brasil, 1983b; Gomes et al., 1982; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1987; Jacomine et al., 1979; Motta; Baruqui; Santos, 2004; Naime et al., 1998; Panoso; Ramos; Brandão, 2002; Reunião de Classificação, Correlação de Solos e Interpretação de Aptidão Agrícola, 1983; Reunião de Classificação, Correlação de Solos e Interpretação de Aptidão Agrícola, 1988; Santos et al., 1970; Santos et al., 2004). O

esquema de amostragem por *cluster* foi consequência da existência – ou não – de levantamentos de solos. Foi criado, então, novo arquivo vetorial (ferramenta *export*) e, na tabela de atributos, foram criadas colunas correspondentes à codificação dos critérios utilizados na classificação, elaborada pelo mesmo procedimento descrito acima para o mapeamento da capacidade de uso das terras.

A classificação dos perfis amostrais enfrentou duas questões. Primeiro, apenas em quatro dos quatorze levantamentos de solos consultados (Baruqui et al., 2006; Reunião de Classificação, Correlação de Solos e Interpretação de Aptidão Agrícola, 1983; Reunião de Classificação, Correlação de Solos e Interpretação de Aptidão Agrícola, 1988; Santos et al., 2004) as coordenadas geográficas apresentam precisão de um segundo. Nos demais, ela é de apenas um minuto (correspondente a uma distância de 1,85 km), o que agrega incerteza quanto à localização dos perfis. Segundo, nos levantamentos de solos o relevo local é descrito em percentagem. Num dos levantamentos (Jacomine et al., 1979), entretanto, há referência apenas à classe de declive, cuja categorização difere da utilizada neste estudo: 0 – 3% (plana), 3 – 8% (suavemente ondulada), 8 – 20% (ondulada), 20 – 45% (fortemente ondulada), 45 – 75% (montanhosa)

e > 75% (escarpada). Essa diferença também agregou incerteza à classificação dos seis perfis amostrais extraídos desse levantamento.

Após a classificação dos perfis amostrais foi criado arquivo vetorial de intersecção com o mapa de capacidade de uso, por meio da ferramenta *extract values to point*. Aplicou-se a ferramenta *join*, relacionando os atributos, códigos e classificações nos pontos amostrais e no mapa. Então aplicaram-se as ferramentas *frequency* e *pivot table*, que resultaram em três matrizes de confusão, uma para cada mapa de capacidade de uso – relativos aos níveis de manejo, A, B e C. Os dados foram transferidos para uma planilha *Microsoft Office Excel*, na qual foram elaborados os cálculos relativos à exatidão do mapeamento. A acurácia global é o mais simples desses cálculos, consistindo na divisão do somatório de elementos da diagonal principal da matriz de confusão pelo número total de elementos da amostra, tudo multiplicado por 100 (equação 1):

$$Ag = \frac{\sum x_i}{N} \times 100 \quad (1)$$

onde:

A_g = acurácia global; x_i = número de elementos na diagonal principal da matriz; N = número de elementos amostrais.

O índice *kappa* representa um coeficiente para escalas nominais que mede a proporção de concordância após eliminada a concordância atribuída ao acaso (equação 2):

$$k = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (2)$$

onde:

k = índice *kappa*; P_o = acurácia global; P_e = somatório dos produtos entre os totais das linhas e colunas marginais, dividido pelo quadrado do número de elementos da amostra.

A classificação do índice *kappa*, proposta por Landis e Kock (1977) indica o desempenho do processo de mapeamento da seguinte forma: < 0,20 (ruim); 0,20 – 0,40 (razoável); 0,40 – 0,60 (bom); 0,60 – 0,80 (muito bom); $\geq 0,80$ (excelente).

Os valores nas células da linha marginal permitem calcular o número de pontos amostrais que, pertencendo a uma determinada categoria, foram sobrepostos a outras categorias no mapa. São os erros por omissão (equação 3):

$$EO = \frac{x_{i+} - x_{ii}}{x_{i+}} \quad (3)$$

onde:

EO = erros por omissão; x_{i+} = somatório de elementos na linha marginal;
 x_{ii} = elementos do somatório da linha marginal que pertencem à diagonal principal da matriz.

Os valores nas células da coluna marginal permitem calcular os erros por comissão, ou a quantidade de pontos amostrais de outras categorias que foram sobrepostos a polígonos de uma determinada categoria (equação 4):

$$EC = \frac{x_{+i} - x_{ii}}{x_{+i}} \quad (4)$$

onde:

EC = erros por comissão; x_{+i} = somatório de elementos na coluna marginal;

x_{ii} = elementos do somatório da coluna marginal que pertencem à diagonal principal da matriz.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 exhibe os mapas de capacidade de uso das terras de Minas Gerais para os níveis de manejo A, B e C.

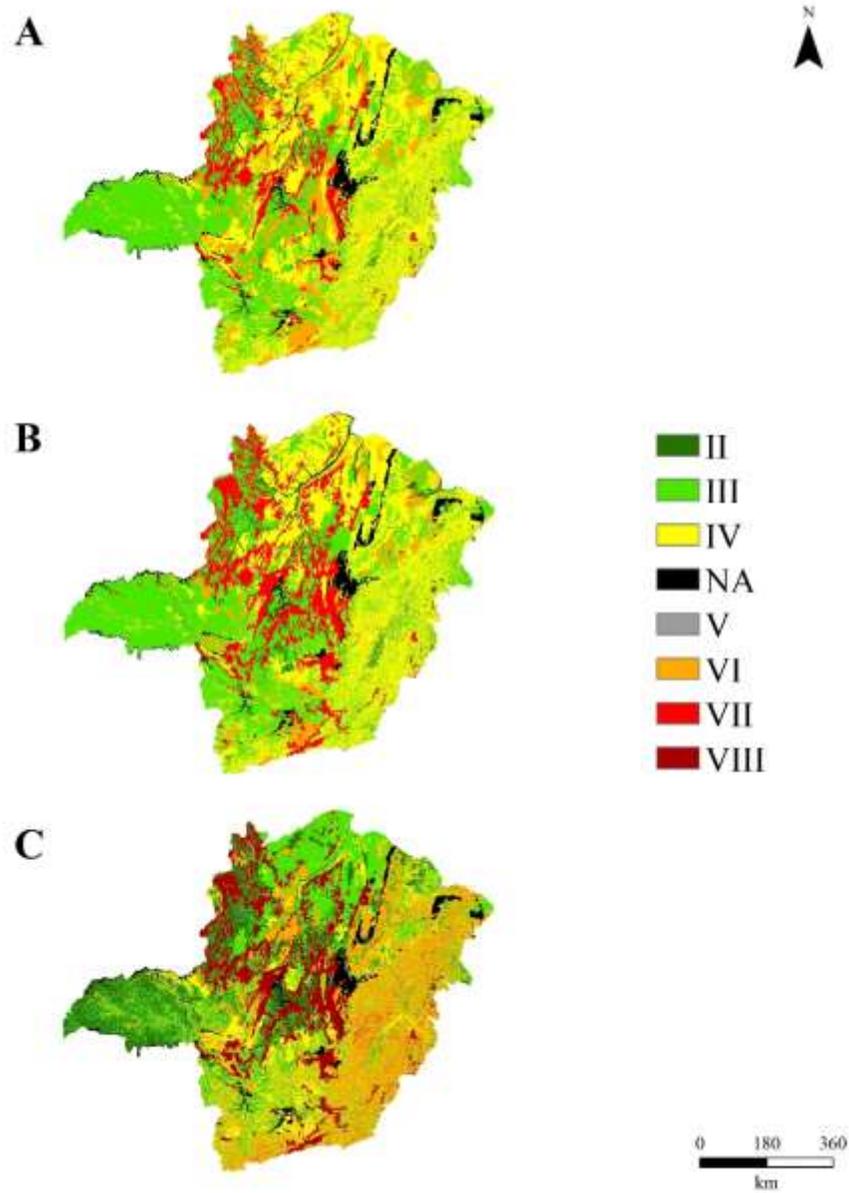


Figura 2 – Capacidade de uso das terras de Minas Gerais (para níveis de manejo A, B e C).

Na Tabela 1 encontra-se uma síntese da superfície e da distribuição percentual de cada classe, em cada nível de manejo.

Tabela 1 – Área das classes de capacidade de uso em Minas Gerais.

Classe	Nível de manejo					
	A		B		C	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
II	8.874,1	1,5	20.218,6	3,5	85.399,5	14,6
III	206.526,2	35,2	214.604,7	36,6	145.768,4	24,9
IV	232.096,8	39,6	212.673,7	36,2	82.827,7	14,1
V	1.858,0	0,3	1.858,0	0,3	1.858,0	0,3
VI	67.516,3	11,5	31.640,0	5,4	161.193,2	27,5
VII	49.685,9	8,5	85.562,3	14,6	-	-
VIII	412,0	0,1	412,0	0,1	89.922,5	15,3
NA ^a	19.783,3	3,3	19.783,3	3,3	19.783,3	3,3
Total	586.752,6	100,0	586.752,6	100,0	586.752,6	100,0

^a Correspondente a áreas intensamente urbanizadas, massas d'água e afloramentos rochosos.

Primeiramente, 76,3% das terras suportam cultivos anuais e perenes – classes II a IV – quando utilizados sistemas agrícolas sob níveis de manejo A e B. O percentual diminui para 53,6% quando utilizados sistemas agrícolas sob nível C. No entanto, as terras classe II – de maior capacidade de uso – são poucas sob níveis A (1,5%) e B (3,5%), mas totalizam 14,6% sob nível C. As terras que suportam apenas pastagens e florestas, plantadas ou nativas – classes VI e VII – são 20,0% sob níveis A e B, aumentando para 27,5% sob nível C. E as terras que não suportam nenhum uso agropecuário – classe VIII – são raras sob níveis A e B (0,1%), mas representam 15,3% do território estadual sob nível C.

No extremo oeste do estado (Alto Paranaíba e Triângulo Mineiro), a baixa fertilidade natural dos solos leva ao predomínio de terras classe III nos níveis de manejo A e B. Entretanto, a topografia suavizada leva ao aumento da classe II no nível C, o que é compatível com sistemas agrícolas mecanizados. Ao norte, sob climas mais secos, as terras classe IV predominam nos níveis A e B. Mas no nível C predomina a classe III, refletindo sua maior capacidade técnica para enfrentar condicionantes climáticos. Na faixa leste do estado, região dos “mares de morros”,

predominam as classes III e IV nos níveis A e B. Já no nível C predomina a classe VI, refletindo a dificuldade que sistemas agrícolas mecanizados enfrentam nessa condição topográfica. Outra diferença importante é a mudança das áreas classe VII (níveis A e B) para classe VIII (nível C) nas terras onde seja possível apenas o manejo de pastagens e florestas nativas, opção técnica usualmente descartada em sistemas agrícolas intensivos.

A distribuição percentual das classes é relativamente semelhante entre os níveis de manejo A e B, mas diferente entre esses e o nível C. Entre as razões para isso está a topografia mais acidentada do estado de Minas Gerais, que aumenta as áreas das classes VI a VIII quando considerado nível de manejo C, principalmente na faixa leste do estado. A oeste e noroeste, a existência de áreas mais planas aumenta o percentual de terras na classe II sob nível C, que é menos limitado que os demais níveis de manejo por outros atributos pedológicos comuns nessa porção do estado: caráter distrófico e regime hídrico ústico. Nas porções sul, central e noroeste do estado observam-se grandes áreas nas classes VI e VII (níveis A e B) e VIII (nível C), limitadas principalmente pela textura arenosa, pequena profundidade ou pedregosidade dos solos.

Considerando as limitações de escala do mapa de solos (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010), cada polígono classificado quanto à capacidade de uso possui, efetivamente, terras de menor ou mesmo maior capacidade de uso. Isso é inerente a mapeamentos feitos em escalas pequenas. Na Tabela 2 encontra-se a distribuição percentual das classes de capacidade de uso nos perfis de solos utilizados no procedimento de validação. Considerando a forma de obtenção da amostra, ela mantém similaridade com a distribuição percentual das classes no território mapeado (Tabela 1) maior que o esperado, ainda que haja algumas discrepâncias (classe II, nível C e classes III e IV, níveis A e B).

Observa-se que 80,5% dos perfis amostrais pertencem às classes II a IV quando considerados sistemas agrícolas sob níveis de manejo A e B. Esse percentual diminui para 72,9% quando considerados sistemas agrícolas sob nível C. No entanto, os perfis amostrais de classe II – com maior capacidade de uso – inexistem sob nível A, são poucos sob nível B (0,8%), mas totalizam 37,3% sob nível C. Perfis enquadrados nas classes VI e VII são 18,7% sob níveis A e B e 15,3% sob nível C. E os perfis enquadrados na classe VIII, inexistentes sob níveis de manejo A e B, representam 11,0% sob nível C.

Tabela 2 – Classes de capacidade de uso, por nível de manejo, entre os perfis de solos utilizados no procedimento de validação.

Classe	Nível de manejo					
	A		B		C	
	perfis	%	perfis	%	perfis	%
II	0	0,0	1	0,8	44	37,3
III	73	61,9	75	63,6	19	16,1
IV	22	18,6	19	16,1	23	19,5
V	1	0,8	1	0,8	1	0,8
VI	14	11,9	8	6,8	18	15,3
VII	8	6,8	14	11,9	-	-
VIII	0	0,0	0	0,0	13	11,0
Total	118	100,0	118	100,0	118	100,0

Para analisar os resultados da validação, é preciso considerar alguns aspectos. Primeiro, a informação generalizada do mapa de solos (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010) naturalmente eliminou da representação muitos detalhes. Segundo, para a classificação da capacidade de uso das

terras extraíram-se apenas os atributos da classe de solo predominante em cada unidade de mapeamento, atribuindo-os a todo o polígono. Os demais solos de cada uma podem apresentar atributos diferentes dos utilizados para avaliar a capacidade de uso, e exibir classificação melhor ou pior que a consignada no mapa. Terceiro, dada a natureza multicritério do sistema de capacidade de uso (Klingebiel; Montgomery, 1961; Lepsch et al., 2015), uma única mudança de categoria num único critério é capaz de alterar a classificação. Quarto, a precisão das coordenadas geográficas dos perfis amostrais em diversos levantamentos de solos (Brasil, 1982; Brasil, 1983a; Brasil, 1983b; Gomes et al., 1982; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1987; Jacomine et al., 1979; Motta; Baruqui; Santos, 2004; Naime et al., 1998; Panoso; Ramos; Brandão, 2002; Santos et al., 1970) pode prejudicar a correspondência entre as declividades, mapeada e amostrada, e a sobreposição dos pontos às unidades de mapeamento. Por último, as diferenças na categorização de atributos como a declividade e a fase de vegetação, entre o mapa e a amostra (Jacomine et al., 1979; UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010), podem induzir classificações divergentes.

Ainda que os aspectos acima mencionados indiquem os limites do mapeamento elaborado, é mister salientar que, ante tais limites, os mapas

aqui apresentados representam o melhor resultado possível. Mapeamentos futuros em escalas maiores poderão detalhar a informação por ora disponibilizada, por si só uma ferramenta útil ao planejamento do uso da terra.

Na Tabela 3 encontra-se um comparativo entre acurácias globais e índices kappa dos mapas de capacidade de uso das terras de Minas Gerais, considerando os níveis de manejo A, B e C.

Tabela 3 – Acurácia global e índice *kappa* dos mapas de capacidade de uso das terras de Minas Gerais, considerando os níveis de manejo A, B e C.

	Nível de manejo		
	A	B	C
Acurácia global (%)	73	71	50
Índice <i>kappa</i>	0,54	0,48	0,37

Os resultados indicam que os mapas relativos aos níveis de manejo A e B são bons e o relativo ao nível C é razoável, segundo a classificação de Landis e Koch (1977). Ante as limitações impostas ao mapeamento pela escala do mapa de solos, pelas características do método de classificação e

pela forma de obtenção da amostra de validação, eles são melhores que o inicialmente esperado. Não são conhecidos pelos autores mapeamentos da capacidade de uso dessa magnitude nos quais tenha sido analisada a acurácia. Sabe-se que em recentes mapeamentos digitais de solos, alguns em escalas substancialmente maiores que a do presente estudo, a acurácia global variou entre 39 e 80% (Machado et al., 2018). Isso indica a pertinência dos mapas ora elaborados.

A Tabela 4 exhibe os erros de omissão, ou de delimitação das unidades de mapeamento, e os erros de comissão, correspondentes à classificação errônea de polígonos, indicada pela amostra. Ela permite explicar melhor a acurácia global e o índice kappa. A magnitude dos erros, mesmo dos menores, é compatível com a generalização da informação pedológica (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010) e com a incerteza associada ao mapeamento e à sua validação. Nas classes de capacidade de uso sem elementos amostrais – II no nível de manejo A, VIII nos níveis A e B – a análise dos erros de omissão foi prejudicada. Nas classes com poucos pontos amostrais – II no nível B e V nos três níveis – os erros de omissão de 0% são devidos ao fato de que um único elemento amostral pode indicar apenas erro (100%) ou acerto (0%).

Tabela 4 – Erros de omissão e de comissão (%) do mapa de capacidade de uso das terras de Minas Gerais, considerados três níveis de manejo.

Erros	Classe	Nível de manejo		
		A	B	C
Omissão (%)	II	-	0	48
	III	16	16	37
	IV	32	37	65
	V	0	0	0
	VI	71	75	50
	VII	38	64	-
	VIII	-	-	54
	Comissão (%)	II	100	50
Comissão (%)	III	8	14	73
	IV	59	60	60
	V	0	0	0
	VI	43	60	50
	VII	0	29	-
	VIII	-	-	25

Há mais falhas de delimitação dos polígonos (omissão) nas classes IV (nível C), VI (níveis A e B) e VII (nível B). Entre os atributos mais importantes para a capacidade de uso, nesses casos, estão a declividade, a pedregosidade e o regime hídrico. A precisão das coordenadas geográficas dos perfis (um minuto para a maioria, ou 1,85 km) tende a elevar esses erros porque, assumindo-se correta sua classificação, a incerteza quanto à sua localização sobre o mapa permite supor que haverá casos de sobreposição a locais cujos atributos são diferentes dos amostrados. E isso é mais relevante ainda no caso da declividade: os códigos dos demais critérios são únicos dentro de uma unidade de mapeamento de solos, mas há diversos códigos de declividade dentro da mesma unidade. O ajuste na interpretação da fase de vegetação (de caatinga hipoxerófila para floresta tropical caducifólia) da legenda do mapa de solos parece, igualmente, limitar a correspondência entre o regime hídrico mapeado e o amostrado. E a pedregosidade é um atributo restrito a alguns solos e, portanto, mais sujeito às incertezas do processo de mapeamento e de validação.

Os erros de comissão (classificação) foram mais expressivos nas classes III (nível C), IV (A, B e C) e VI (B). Eles indicam que essas classes

foram mapeadas em diversos locais onde efetivamente há outras. A esse respeito, o grau de generalização do mapa de solos suprimiu da representação classes com menor expressão territorial. E a metodologia de classificação considerou apenas os atributos da classe de solo predominante em cada unidade de mapeamento. Esses dois aspectos contribuíram para aumentar os erros de classificação.

No mapa relativo ao nível de manejo A, os menores erros de omissão foram cometidos nas classes III, IV, V e VII. Os de comissão, nas classes III, V, VI e VII. No mapa do nível B, os menores erros de omissão foram cometidos nas classes II, III, IV e V. Os de comissão, nas classes III, V e VII. No mapa do nível C, as classes II, III e V exibiram os menores erros de omissão e as classes II, V e VIII, os menores erros de comissão.

Portanto, na amostra classificada para os níveis de manejo A e B, a classe de capacidade de uso predominante (III) é também a que exibe os menores erros. Já na amostra classificada para o nível C os erros da classe de capacidade de uso predominante (II), embora relativamente pequenos, somam-se aos de outras classes (III, IV, VI e VIII), relativamente elevados. É importante destacar, ainda, que a forma dos polígonos das classes de capacidade de uso é mais compacta nos mapas dos níveis de manejo A e B,

e mais recortada no mapa do nível C. Isso é devido aos critérios que determinam o enquadramento em cada classe conforme o nível de manejo. Nos níveis A e B os critérios mais importantes são atributos pedológicos cujos limites relacionam-se aos polígonos do mapa de solos. No nível C ganha importância na definição das classes a declividade, oriunda do MDE com pixel de 90 m, ou seja, a curtas distâncias é possível haver mudanças de classe de declividade e, conseqüentemente, de capacidade de uso. Dessa forma, aumentou a probabilidade de perfis situarem-se próximos a bordas de polígonos, aumentando a probabilidade de ocorrência de erros no mapa do nível C. Esses aspectos permitem entender porque a acurácia dos mapas dos níveis A e B é maior.

A escala do mapa de solos de Minas Gerais (UFV; CETEC; UFLA; FEAM, 2010) condiciona seu poder de representação da realidade, assim como o de qualquer mapa temático dele resultante. Futuramente, a elaboração de levantamentos pedológicos mais detalhados com abrangência estadual permitirá obter classificação da capacidade de uso com maior acurácia. Nessa tarefa, novas abordagens tendem a agilizar e reduzir os custos dos levantamentos (Correia et al., 2007; Fernandes et al., 2008; Machado et al., 2018; Menezes et al., 2014; Silva et al., 2016).

Nos próximos anos a tecnologia de mapeamento da erosão por sensoriamento remoto (Assefa et al., 2015; Chen et al., 2011; Karami et al., 2015; Mararakanye; Nethengwe, 2012; Saadat et al., 2014; Tahir; Kääb; Xu, 2010; Torkashvand, 2010) tende a evoluir. Isso permitirá o uso desse critério – e não a erodibilidade – em mapeamentos feitos em pequenas escalas, mais fielmente à metodologia original.

Nenhum mapa pedológico com escala semelhante à do mapa de solos de Minas Gerais substitui levantamentos locais quando exigido elevado nível de detalhe do trabalho. O mapa de capacidade de uso elaborado no presente estudo também não substitui os levantamentos a campo preconizados por Lepsch et al. (2015) se o nível de detalhe exigido for alto. Sua utilidade é, portanto, municiar estudos regionais de planejamento do uso da terra que, em fases iniciais, admitem maior grau de generalização da informação.

CONCLUSÕES

Os mapas de capacidade de uso indicam que 76,3% das terras de Minas Gerais suportam cultivos anuais e perenes (classes II, III e IV)

quando utilizados os níveis de manejo A e B. Quando utilizado o nível C, o percentual cai para 53,6%. A classe de maior capacidade de uso (II), contudo, representa apenas 1,5% das terras no nível A e 3,5% no nível B, mas 14,6% no nível C. As terras que suportam apenas pastagens e florestas, plantadas ou manejadas (classes VI e VII) representam 20,0% nos níveis A e B, e 27,5% no nível C. E as terras sem possibilidade de aproveitamento agrônômico (classe VIII) são raras nos níveis A e B (0,1%), mas totalizam 15,3% no nível C. Essas diferenças são devidas às características das terras e aos recursos técnicos de cada sistema agrícola para conviver com elas.

Em cada classe indicada nos mapas há terras com capacidade de uso maior ou menor, mas a limitação de escala imposta pelo mapa de solos impede maior nível de detalhe. A acurácia dos mapas foi considerada boa nos níveis de manejo A e B, razoável no nível C. Os mapas elaborados no presente estudo destinam-se a auxiliar estudos regionais de planejamento do uso da terra, em fases iniciais, nas quais o nível de detalhe requerido é menor. Fases subsequentes em que aumente a exigência quanto ao detalhe das análises demandam a aplicação da metodologia aqui exposta a mapas regionais de solos em escalas maiores, ou continuam a depender de levantamentos locais de atributos.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), pela licença ao primeiro autor para aprofundamento de seus estudos. Ao Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras (UFLA), pelo ambiente propício à elaboração deste estudo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ASSEFA, T. T. et al. Identification of erosion hotspot area using GIS and MCE technique for Koga Watershed in the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. **American Journal of Environmental Sciences**, 11(4):245-255, 2015.

BARUQUI, A. M. et al. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da zona Campo das Vertentes – MG**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 325p, mapa.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil:** levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: MMESG, 1982. v.29, 660p, mapa.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil:** levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: MMESG, 1983a. v.31, 768p, mapa.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Projeto Radambrasil:** levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: MMESG, 1983b. v.32, 780p, mapa.

CHEN, S. H. et al. Estimating soil erosion using MODIS and TM images based on support vector machine and *à trous wavelet*. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 13(4):626-635, 2011.

CHIARINI, J. V.; DONZELI, P. L. **Levantamento por fotointerpretação das classes de capacidade de uso das terras do estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1973. 20p.

CORREIA, J. R. et al. Relações entre o conhecimento de agricultores e de pedólogos sobre solos: estudo de caso em Rio Pardo de Minas, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31(5):1045-1057, 2007.

FERNANDES, L. A. et al. Relação entre o conhecimento local, atributos químicos e físicos do solo e uso das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32(3):1355-1365, 2008.

GIBOSHI, M. L.; RODRIGUES, L. H. A.; LOMBARDI NETO, F.
CAP_USO: um sistema especialista para determinação da capacidade de uso da terra. **Acta Scientiarum**, 21:909-914, 1999.

GOMES, I. A. et al. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1982. 526p, mapa.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.
Projeto Radambrasil: levantamento de recursos naturais. Rio de Janeiro: IBGE, 1987. v.34, 548p, mapa.

JACOMINE, P. K. T. et al. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do norte de Minas Gerais; área de atuação da SUDENE**. Recife: Embrapa, 1979. 408p, mapa.

KARAMI, A. et al. Gully erosion mapping using object-based and pixel-based image classification methods. **Environmental and Engineering Geoscience**, 21(2):101-110, 2015.

KLINGEBIEL, A. A.; MONTGOMERY, P. H. **Land-capability classification**. Washington, DC: Soil Conservation Service, 1961. 21p.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, 33(1):159-174, 1977.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Viçosa: SBCS, 2015. 170p.

MACHADO, I. R. et al. Spatial disaggregation of multi-component soil map units using legacy data and a tree-based algorithm in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 42:1-14, 2018.

MARARAKANYE, N.; NETHENGWE, N. S. Gully features extraction using remote sensing techniques. **South African Journal of Geomatics**, 1(2):109-118, 2012.

MENEZES, M. D. et al. Solum depth spatial prediction comparing conventional with knowledge-based digital soil mapping approaches. **Scientia Agricola**, 71(4):316-323, 2014.

MOTTA, P. E. F.; BARUQUI, A. M.; SANTOS, H. G. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2004. 413p, mapa.

NAIME, U. J. et al. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da região Geoeconômica de Brasília – Minas Gerais**. Belo Horizonte: Epamig, 1998. 2v em 1.

PANDEY, A. C.; SIROTHIA, N. N.; SINGH, R. S. A proposed land use capability classification system for Indian Sub-continent. **Journal of Agricultural Engineering**, 43(4):1-8, 2006.

PANOSO, L. A.; RAMOS, D. P.; BRANDÃO, M. **Solos do campo experimental da Embrapa Milho e Sorgo: suas características e classificação no novo sistema brasileiro**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2002. 93p, mapa.

PRETTY, J.; BHARUCHA, Z. P. Sustainable intensification in agricultural systems. **Annals of Botany**, 114(8):1571-1596, 2014.

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

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 2., 1983, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa/SLNCS-SBCS, 1983. 138p, mapa.

REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., 1988, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1988. 425p, mapa.

SAADAT, H. et al. A new approach for regional scale interrill and rill erosion intensity mapping using brightness index assessments from medium resolution satellite images. **Catena**, 113:306-313, 2014.

SANTOS, H. G. et al. **Levantamento semidetalhado dos solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2004. 81p, mapa.

SANTOS, R. D. et al. **Levantamento exploratório dos solos da região sob influência da Cia. Vale do Rio Doce**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1970. 154p, mapa.

SHENG, T. C. **Soil conservation for small farmers in the humid tropics**. Rome: FAO, 1989. 104p.

SILVA, S. H. G. et al. Retrieving pedologist's mental model from existing soil map and comparing data mining tools for refining a larger area map under similar environmental conditions in Southeastern Brazil. **Geoderma**, 267:65-77, 2016.

SILVA, V. A. et al. Soil maps, field knowledge, forest inventory and ecological-economic zoning as a basis for agricultural suitability of lands in Minas Gerais elaborated in GIS. **Ciência e Agrotecnologia**, 37(6):538-549, 2013.

TAHIR, M. H.; KÄÄB, A.; XU, C. Y. Identification and mapping of soil erosion areas in the Blue Nile, Eastern Sudan using multispectral ASTER and MODIS satellite data and the SRTM elevation model. **Hydrology and Earth System Sciences**, 14(7):1167–1178, 2010.

TORKASHVAND, A. M. The possibility in providing soil surface erosion map by the supervised classification of ETM+ satellite images in a mountainous basin (Roodbar sub-basin, Guilan, Iran). **Scientific Research and Essays**, 5(3):343-348, 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA; FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS; UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS; FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do estado de Minas Gerais: legenda expandida**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 49p, mapa.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Mapas dos estratos da paisagens e regras de pertinência

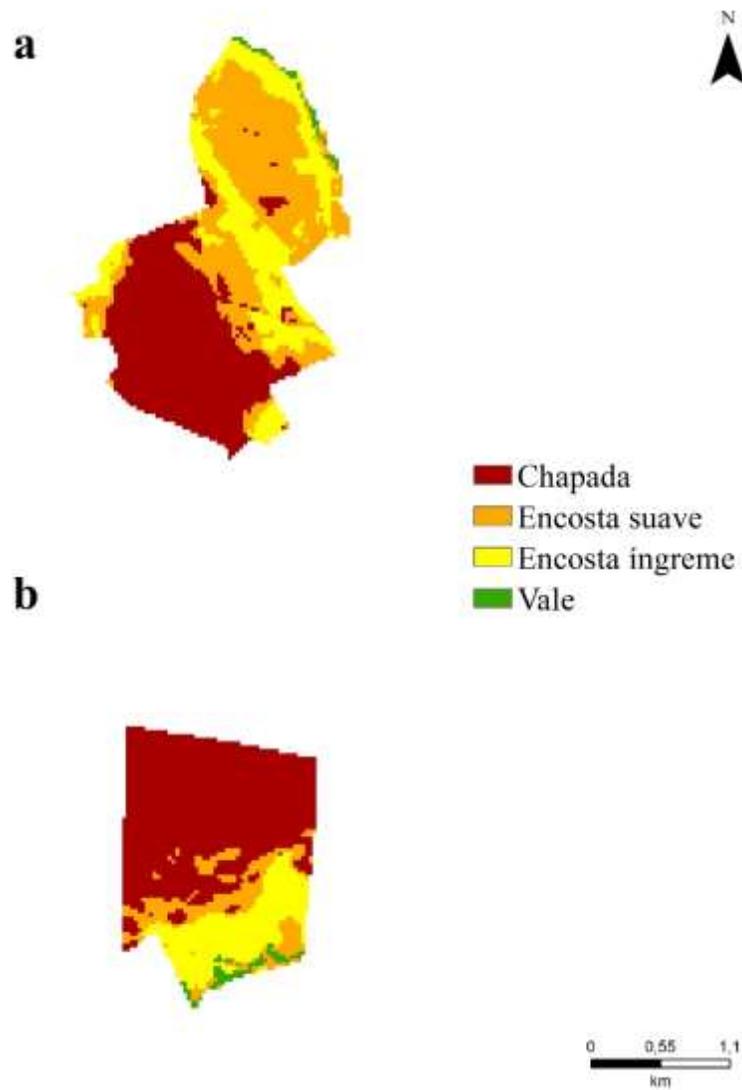


Figura 1 Estratos da paisagem dos lotes 54 (a) e 70 (b) do Assentamento Alto Paranaíba

Tabela 1 Regras de pertinência dos estratos de paisagem do lote 54

Unidade	Atributo	Curva	Limites de pertinência
Chapada	altitude	s	1120 (100%); 1100 (50%); 1047 (0%)
	declividade	z	0,05 (100%); 0,07 (50%); 0,123 (0%)
Encosta suave	fator LS	b	0,65 – 1,50 (100%); 0,52 – 1,63 (50%); 0,176 – 1,974 (0%)
	declividade	b	0,08 – 0,10 (100%); 0,06 – 0,12 (50%); 0,007 – 0,173 (0%)
Encosta íngreme	fator LS	s	1,75 (100%); 1,62 (50%); 1,28 (0%)
	declividade	s	0,15 (100%); 0,12 (50%); 0,04 (0%)
Vale	altitude	z	982 (100%); 992 (50%); 1018 (0%)
	índice topográfico de umidade	s	12 (100%); 10 (50%); 4,71 (0%)
	distância vertical à rede de canais	z	2,0 (100%); 3,2 (50%); 6,37 (0%)

Fonte: Do autor (2018)

Tabela 2 Regras de pertinência dos estratos de paisagem do lote 70

Unidade	Atributo	Curva	Limites de pertinência
Chapada	altitude	s	1130 (100%); 1110 (50%); 1083 (0%)
	declividade	z	0,05 (100%); 0,07 (50%); 0,123 (0%)
Encosta suave	fator LS	b	0,65 – 1,50 (100%); 0,52 – 1,63 (50%); 0,176 – 1,974 (0%)
	declividade	b	0,08 – 0,10 (100%); 0,06 – 0,12 (50%); 0,007 – 0,173 (0%)
Encosta íngreme	fator LS	s	1,75 (100%); 1,62 (50%); 1,28 (0%)
	declividade	s	0,15 (100%); 0,12 (50%); 0,04 (0%)
Vale	altitude	z	1030 (100%); 1040 (50%); 1066 (0%)
	índice topográfico de umidade	s	12 (100%); 10 (50%); 7,26 (0%)
	profundidade do vale	s	100 (100%); 80 (50%); 52,6 (0%)

Fonte: Do autor (2018)

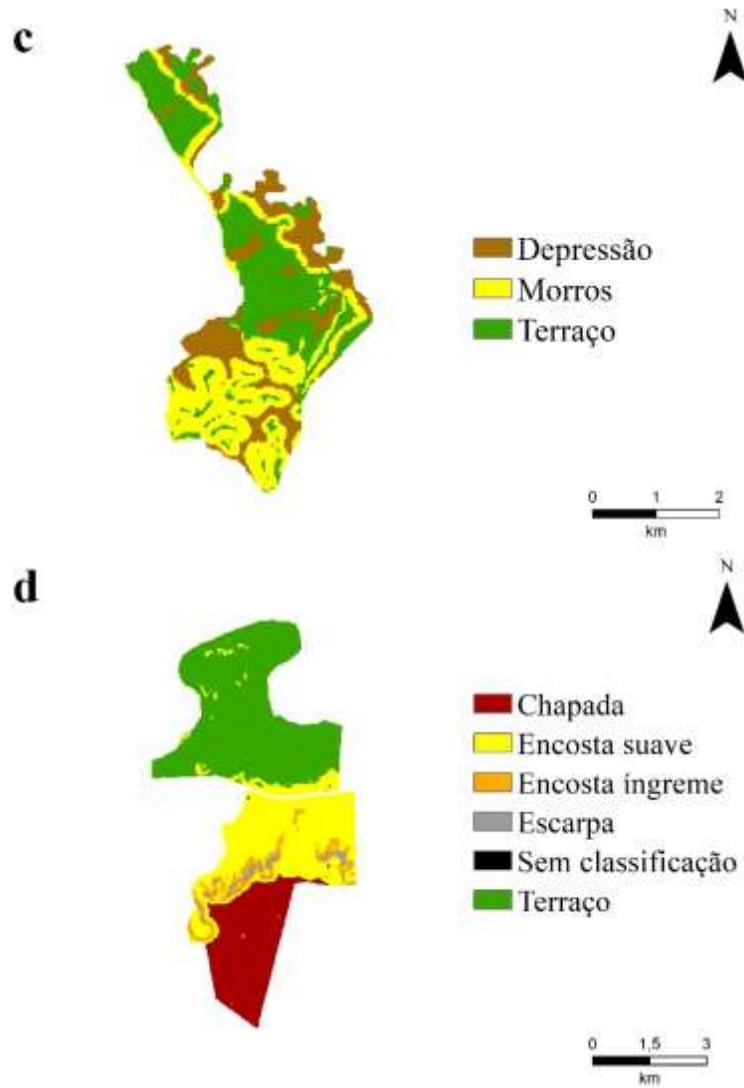


Figura 2 Estratos da paisagem dos assentamentos Liberdade (c) e Campo Novo (d)

Tabela 3 Regras de pertinência dos estratos de paisagem do Assentamento Liberdade

Unidade	Atributo	Curva	Limite de pertinência
Morro	fator LS	s	2,5 (100%); 2,0 (50%); 0,68 (0%)
	mrvmf	z	0,4 (100%); 0,8 (50%); 1,86 (0%)
	declividade	s	0,11 (100%); 0,08 (50%); 0,04 (0%)
Terraço	fator LS	z	0,7 (100%); 1,2 (50%); 2,52 (0%)
	declividade	z	0,03 (100%); 0,05 (50%); 0,103 (0%)
Depressão	distância vertical à rede de canais	z	1,5 (100%); 2,0 (50%); 3,323 (0%)

Fonte: Do autor (2018)

Tabela 4 Regras de pertinência dos estratos de paisagem do Assentamento Campo Novo

Unidade	Atributo	Curva	Limite de pertinência
Chapada	altitude	b	710 – 730 (100%); 700 – 740 (50%); 673,5 – 766,5 (0%)
	fator LS	z	0,45 (100%); 0,50 (50%); 0,63 (0%)
	declividade	z	0,03 (100%); 0,05 (50%); 0,078 (0%)
Escarpa	declividade	s	0,60 (100%); 0,56 (50%); 0,45 (0%)
Encosta Íngreme	declividade	b	0,42 – 0,56 (100%); 0,40 – 0,58 (50%); 0,347 – 0,633 (0%)
Encosta Suave	declividade	b	0,15 – 0,35 (100%); 0,1 – 0,4 (50%); 0,032 – 0,468 (0%)
Terraço	altitude	b	225 – 255 (100%); 220 – 260 (50%); 206,8 – 273,2 (0%)
	declividade	z	0,08 (100%); 0,12 (50%); 0,226 (0%)

Fonte: Do autor (2018)

APÊNDICE B – Validação da classificação elaborada sem o critério erosão

As figuras 1 a 4, exibidas a seguir, apresentam a classificação da capacidade de uso das quatro áreas de estudo pelos critérios em vigor, ou seja, considerando nível de manejo C, permutando-se no conjunto de critérios a erosão pela erodibilidade.

O critério erodibilidade, considerado intrínseco a cada classe de solo, foi categorizado da mesma maneira que no mapeamento da capacidade de uso das terras de Minas Gerais, como explicado no Artigo 2:

a) muito baixa – Latossolo (*Oxisol*) com textura argilosa, Gleissolo (*Entisol*), Cambissolo Flúvico (*Inceptisol*), Neossolo Flúvico (*Entisol*), Nitossolo (*Alfisol*) com teor mais elevado de matéria orgânica; b) baixa – Latossolo (*Oxisol*) com textura média, Argissolo (*Ultisol*) com textura argilosa, Planossolo (*Alfisol*), Nitossolo (*Alfisol*) com teor médio de matéria orgânica; c) média – Argissolo (*Ultisol*) com textura média, Plintossolo (*Alfisol*), Luvisolo (*Alfisol*); d) alta – Cambissolos (*Inceptisols*) em geral, Espodossolo (*Spodosol*); e) muito alta – Cambissolo (*Inceptisol*) com textura siltosa, Neossolos Quartzarênicos em geral, Neossolo Litólico (*Entisols*).

O procedimento aqui apresentado teve por intuito corroborar os resultados de validação dos critérios de classificação da capacidade de uso, apresentados no Artigo 1, conforme visto a seguir.

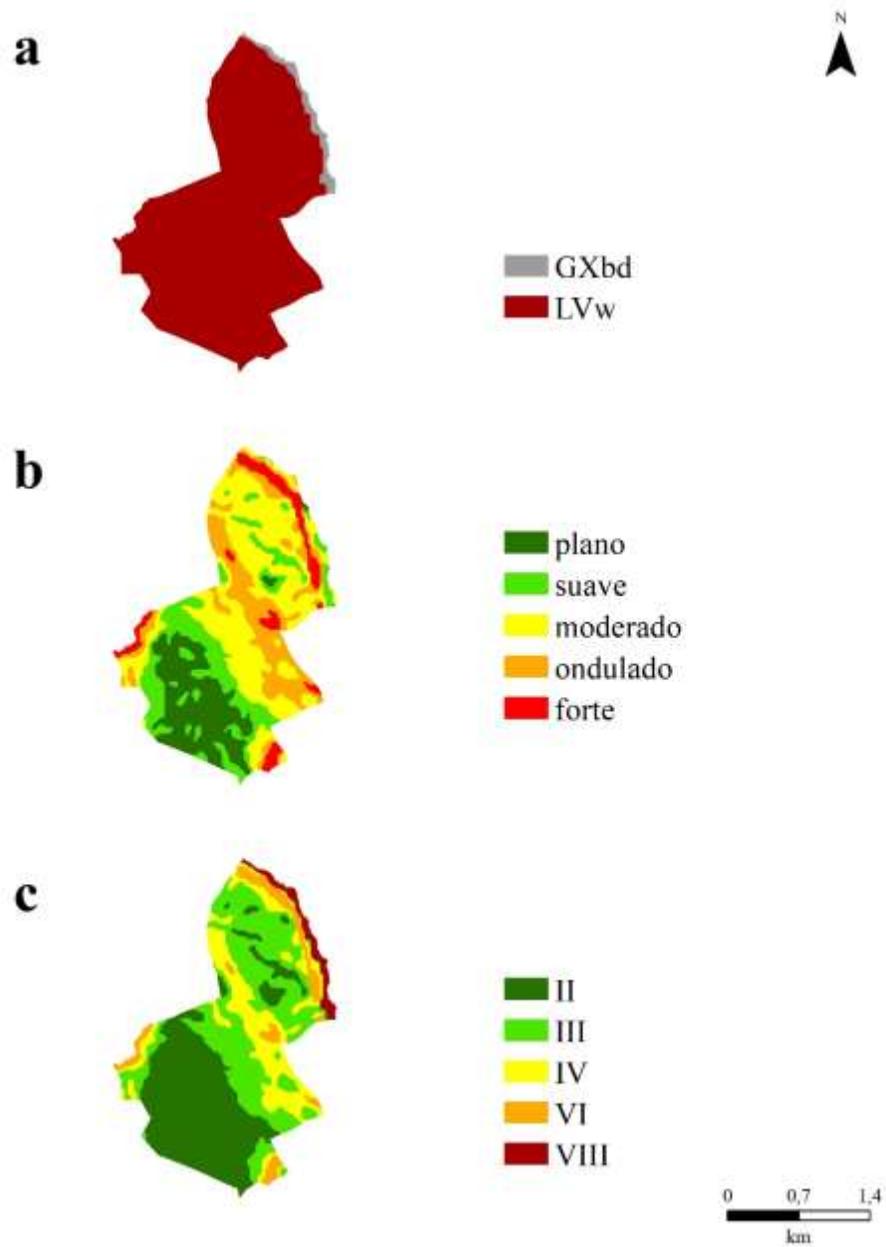


Figura 1 Solos (a), declividades (b) e capacidade de uso com base no critério de erodibilidade (c), do lote 54 do Assentamento Alto Paranaíba

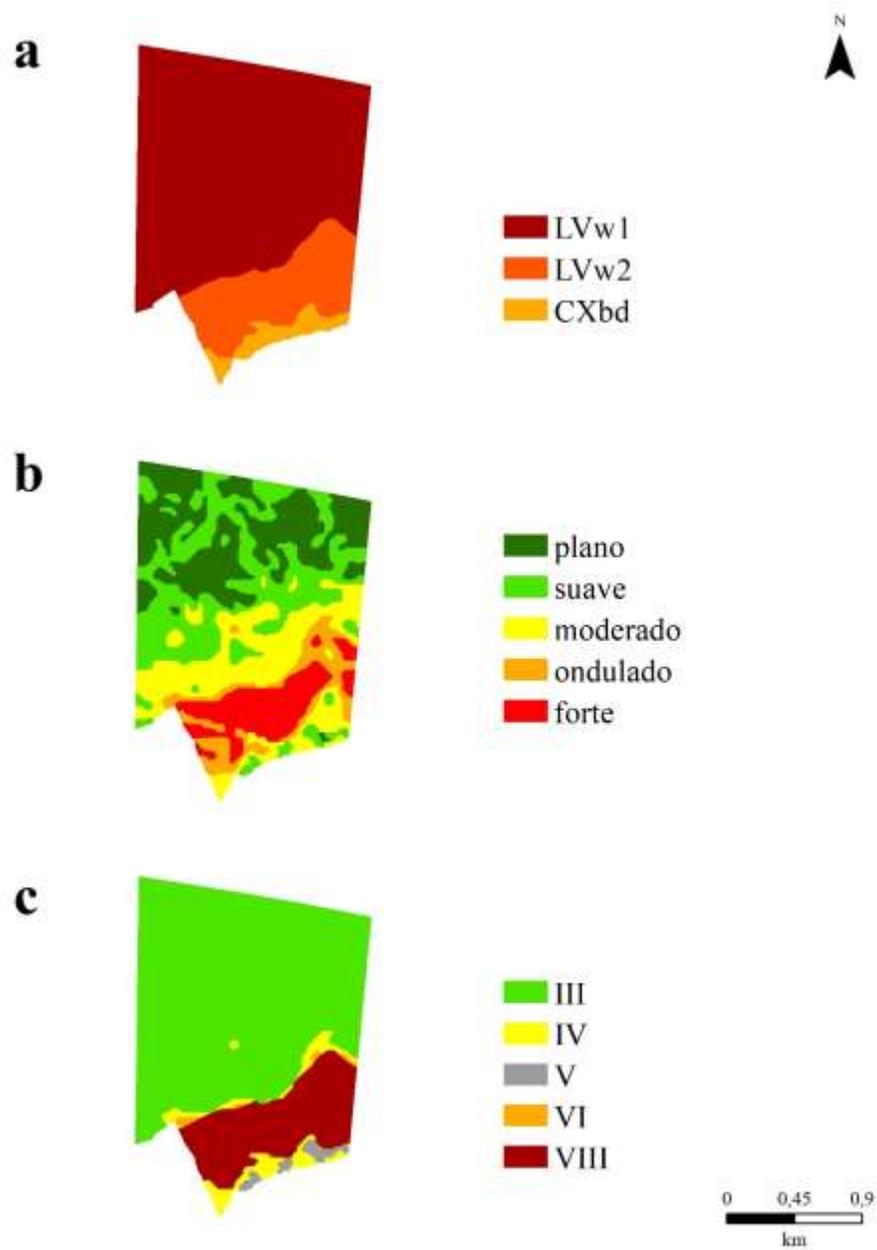


Figura 2 Solos (a), declividades (b) e capacidade de uso com base no critério de erodibilidade (c), do lote 70 do Assentamento Alto Paranaíba

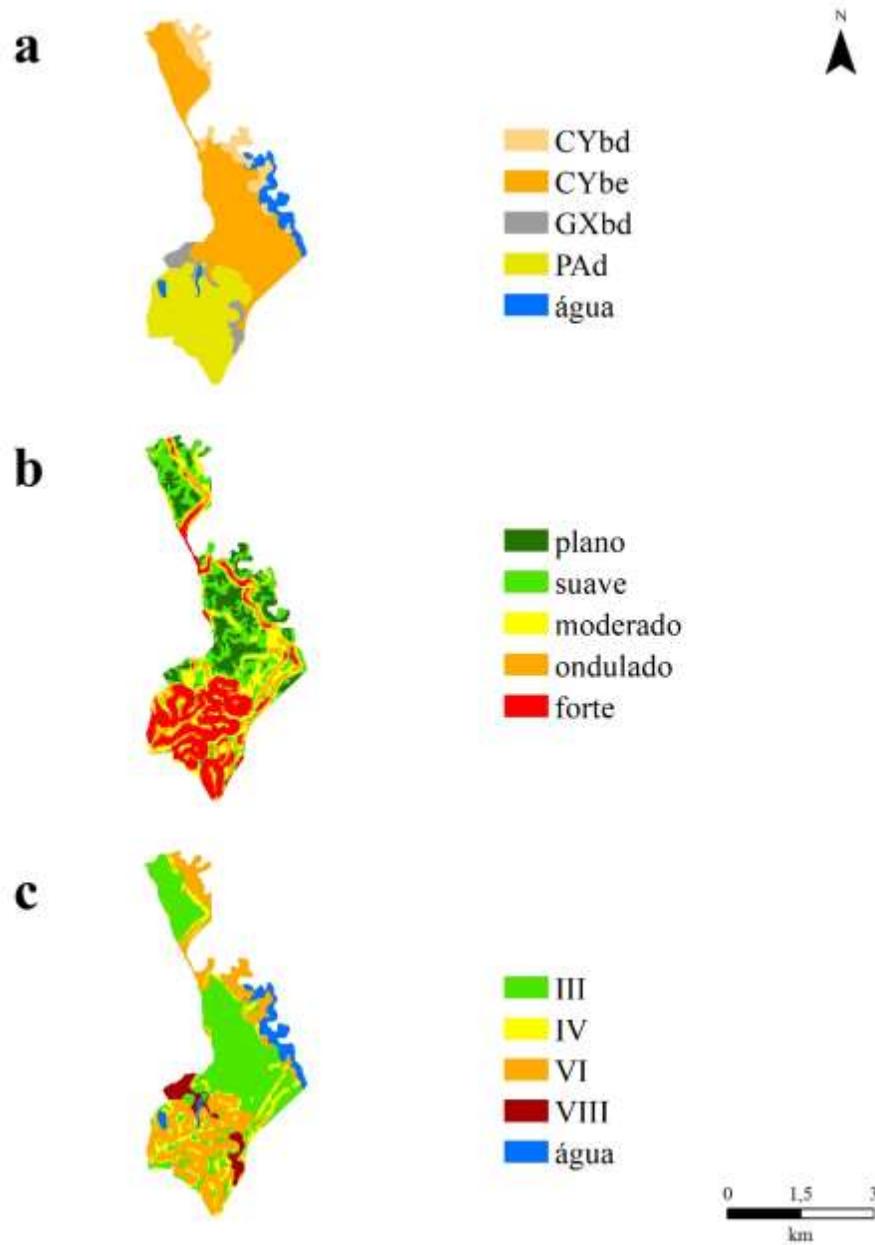


Figura 3 Solos (a), declividades (b) e capacidade de uso com base no critério de erodibilidade (c), do Assentamento Liberdade

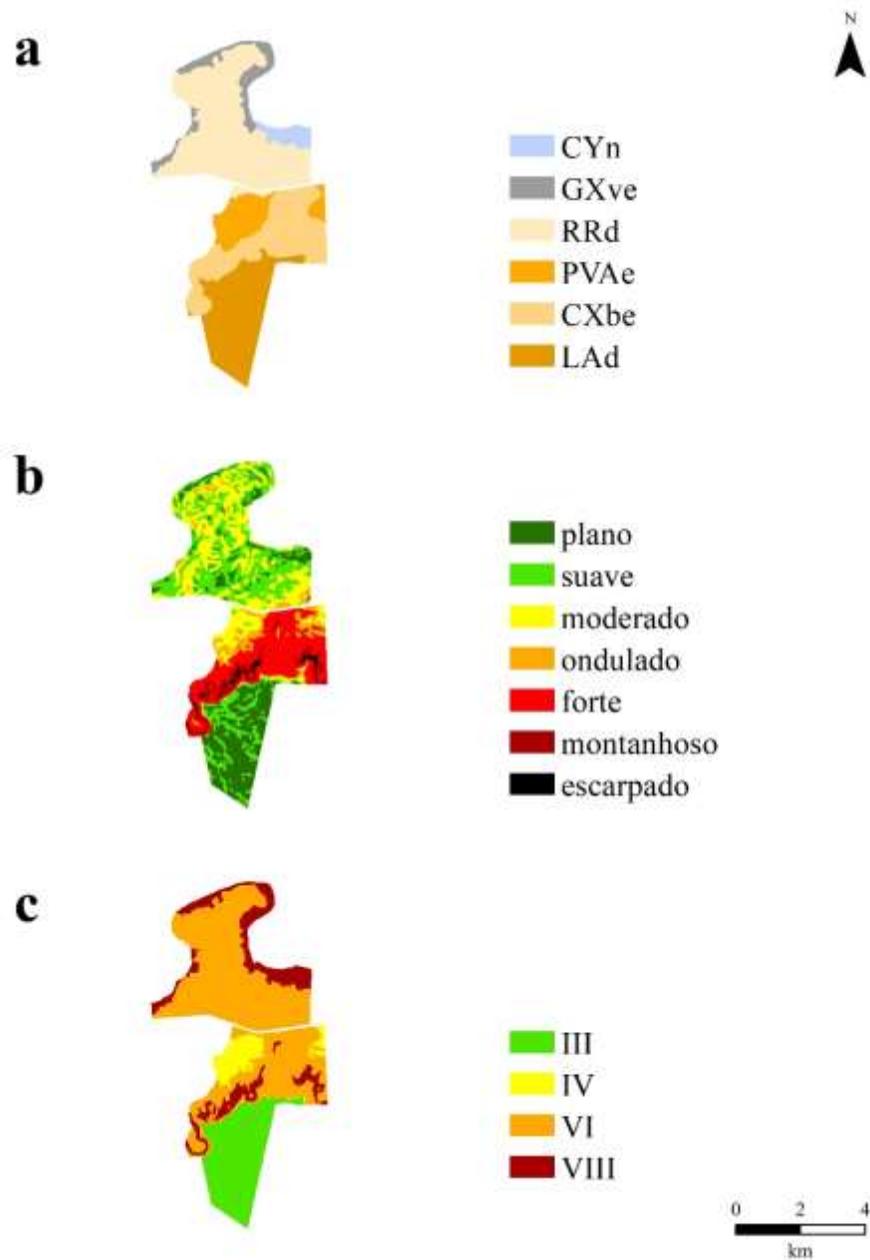


Figura 4 Solos (a), declividades (b) e capacidade de uso com base no critério de erodibilidade (c), do Assentamento Campo Novo

A capacidade de uso das terras, com o critério erodibilidade, dos lotes 54 e 70 do Assentamento Alto Paranaíba, é virtualmente idêntica à inferida com o critério erosão, para nível de manejo C. Nesse nível técnico esses atributos não são os mais restritivos ao aproveitamento agrônômico das terras das áreas mencionadas. No Assentamento Liberdade, a permuta entre os dois critérios redundou no aumento das classes III e IV ao sul do imóvel, em detrimento da classe VI, pois os processos erosivos intensos ali presentes deixaram de interferir na classificação. E no Assentamento Campo Novo, a permuta ampliou a classe VI em detrimento das classes III e IV, sobre Neossolo Regolítico e Argissolo Vermelho-Amarelo, de elevada erodibilidade.

A figura 5 apresenta a adequação de uso para o nível de manejo C, permutando-se a erosão pela erodibilidade: observa-se que, com qualquer dos dois critérios, ela foi a mesma nos lotes 54 e 70 do Assentamento Alto Paranaíba, e virtualmente a mesma nos assentamentos Liberdade e Campo Novo. A figura 6 apresenta o resultado da aplicação dos critérios adaptados (aos níveis de manejo A e B) de classificação da capacidade de uso, substituindo-se a erosão pela erodibilidade.

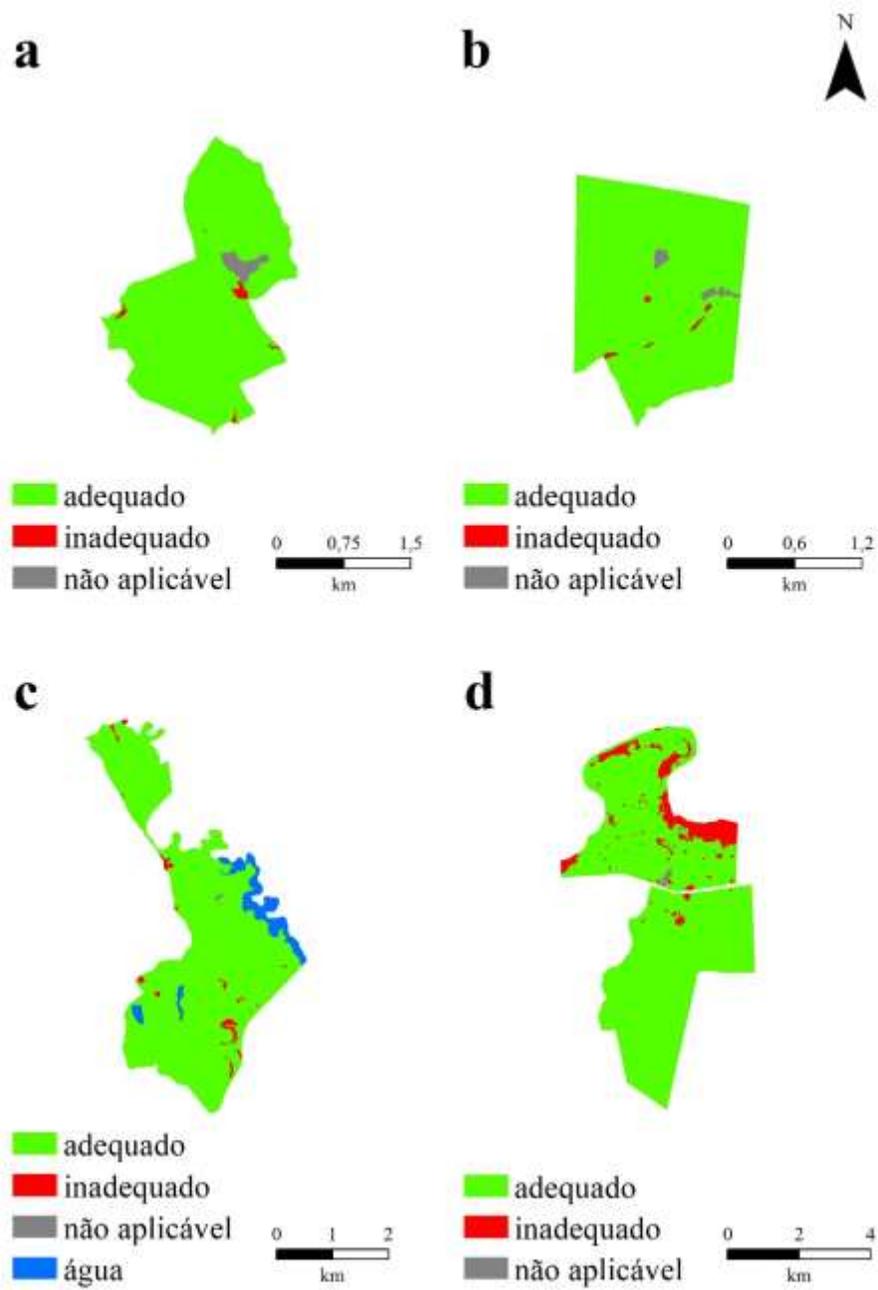


Figura 5 Adequação de uso, com base na capacidade de uso inferida com o critério de erodibilidade, dos lotes 54 (a) e 70 (b), do Assentamento Alto Paranaíba, do Assentamento Liberdade (c) e do Assentamento Campo Novo (d)

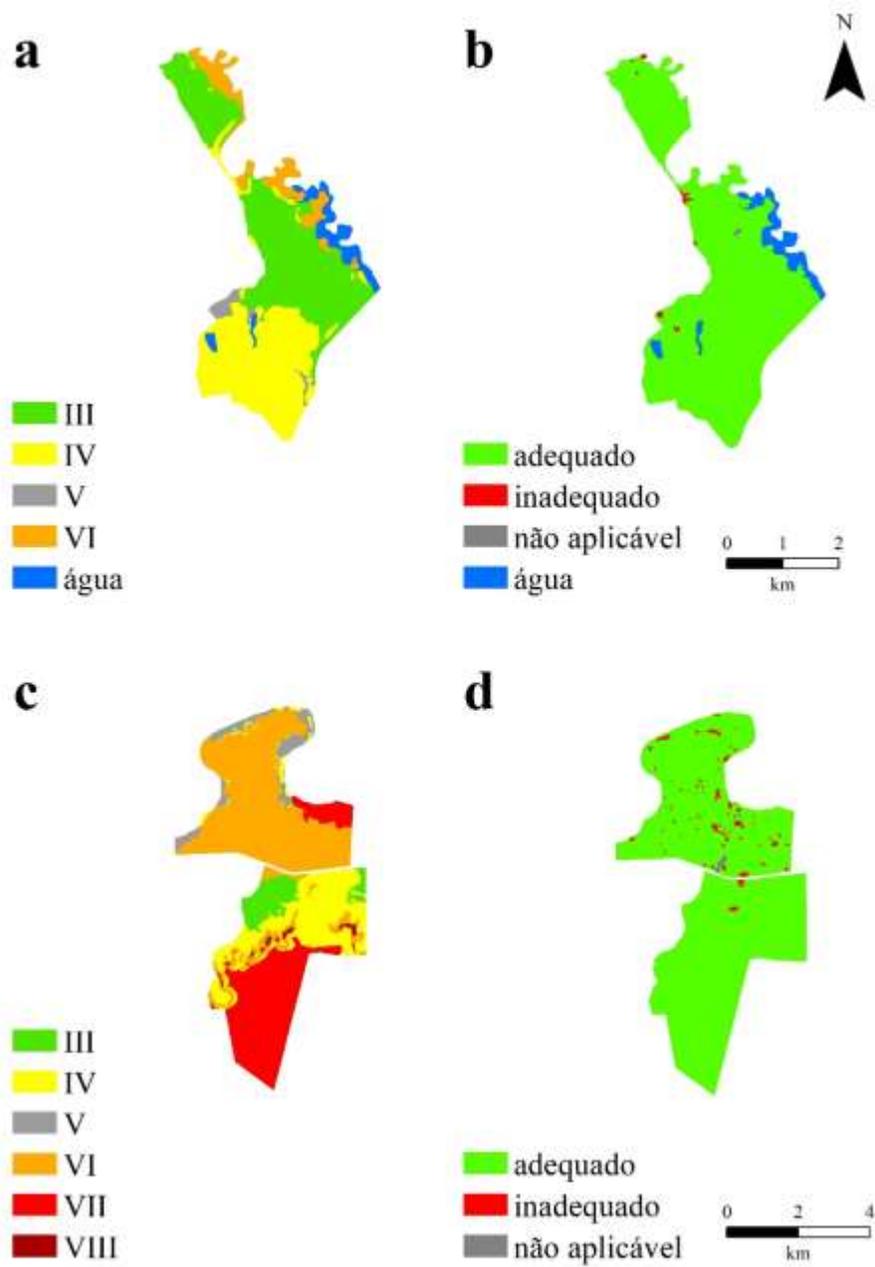


Figura 6 Capacidade e adequação de uso das terras dos assentamentos Liberdade (a,b) e Campo Novo (c,d), por critérios adaptados aos níveis de manejo B e A, respectivamente (incluída a erodibilidade)

No Assentamento Liberdade (classificado pelos critérios adaptados ao nível de manejo B), a inclusão da erodibilidade como critério diminuiu a área da classe VI, eliminou as classes VII e VIII, aumentando a área total da classe IV. Nesse caso, desaparece o efeito dos processos erosivos intensos na classificação. Como resultado, aumentaram as áreas de uso adequado e diminuíram as áreas de uso inadequado. No Assentamento Campo Novo (classificado conforme os critérios adaptados ao nível de manejo A) mudou a configuração espacial das classes, mas com pequenas variações na distribuição percentual, exceto nas classes III e IV. Como resultado, o mapa de adequação de uso sofreu pequenas modificações. A Tabela 1 apresenta a síntese dos resultados de validação dos critérios de classificação, a partir dos mapas de capacidade de uso elaborados com o critério de erodibilidade.

Tabela 1 Correspondência (%) entre os mapas de adequação de uso (resultantes da capacidade de uso elaborada com o critério de erodibilidade), de manejo e erosão, pelos critérios classificatórios da capacidade de uso vigentes e adaptados

	Lote 54	Lote 70	Liberdade		Campo Novo	
Nível de manejo	C	C	C	B	C	A
Uso/Erosão	98,1	99,1	71,0	71,8	62,9	66,6
Uso/Manejo/Erosão	98,3	99,2	66,4	66,6	46,6	55,7

Fonte: Do autor (2018)

Esses resultados reforçam a tese de que a adaptação dos critérios de classificação da capacidade de uso aos níveis de manejo A e B foi apropriada. Além de propiciar alterações na distribuição espacial das classes, resultou em

percentuais de correspondência (entre os mapas de adequação e de erosão) superiores aos obtidos com os critérios vigentes (adaptados ao nível de manejo C), ainda que no caso do Assentamento Liberdade o ganho tenha sido ligeiro.

Observa-se ainda que os resultados da Tabela 1, relativos aos lotes 54 e 70 do Assentamento Alto Paranaíba, ao Assentamento Liberdade (nível de manejo C) e ao Assentamento Campo Novo (níveis A e C) são da mesma magnitude daqueles apresentados na Tabela 3 do Artigo 1, relativos ao mapeamento da capacidade de uso com o critério de erosão. Ou seja, nesses casos a erosão não foi determinante para a classificação. O resultado relativo ao nível de manejo B do Assentamento Liberdade (71,8%) foi menor que o apresentado quando feita a classificação com o critério de erosão (88,5%). Isso se explica porque a presença de processos erosivos intensos interfere na classificação quando o critério considerado é a erosão, mas não quando o critério é a erodibilidade.

O único resultado que, entretanto, fragilizaria o argumento desta tese seria um percentual de correspondência relativo aos critérios adaptados menor que o relativo aos critérios vigentes, na mesma área. Como isso não ocorreu, os resultados aqui apresentados para os mapas obtidos com o critério erodibilidade corroboram os resultados obtidos com o critério erosão.

APÊNDICE C – Descrição dos perfis de solo identificados a campo.**Perfil 1**

Data: 18/05/2017

Classificação SiBCS: GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico

Classificação Soil Taxonomy: Aeric Endoaquent

Ponto de amostragem em campo: P1

Localização, município, estado e coordenadas: Margem de córrego a nordeste do lote 54, Estação Experimental Rio Paranaíba, município de Rio Paranaíba – MG, Coordenadas UTM 23K 378.576/7.877.536 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta em terreno plano, em meio ao cerrado arbóreo.

Elevação: 955 m.

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Ondulado.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Mal drenado.

Vegetação primária: Cerrado.

Uso atual: Reserva Legal.

Descrito por: Luís Renato, Warley.

Descrição morfológica

A (0 – 40 cm) – 7,5YR 5/8 (úmida); textura argilosa; estrutura forte, granular pequena a blocos subangulares pequenos; consistência friável, plástica e muito pegajosa.

Bg (+ 40 cm) – 10YR 5/3 (úmida); mosqueado comum em canais, textura argilosa; consistência plástica e muito pegajosa.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
			(mg/dm ³)			(cmolc/dm ³)			
2951	0 – 40	5,0	18,91	1,78	0,0	0,14	0,1	0,35	4,72
2952	40+	5,7	12,52	4,04	0,0	0,13	0,1	0,17	4,99

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	(cmolc/dm ³)			(%)		dag/kg	Mg/L	(mg/dm ³)
2951	0,29	0,64	5,01	5,76	54,69	2,60	8,36	204,93
2952	0,26	0,43	5,25	4,99	39,53	3,39	5,57	21,99

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
2951	52	25	13	10	23
2952	57	32	8	3	11

Observações:

- Local distante aproximadamente 10 m da margem do córrego. Vegetação nativa de cerrado com exemplares arbóreos cujas copas se tocam, mas há clareiras mais ou menos esparsas.
- Solo estava úmido, particularmente no horizonte B, pois havia chovido três dias antes e também na véspera, e por esta razão não foram feitas a consistência seca e úmida no horizonte A, e estas e também a estrutura no horizonte B.
- Atividade de argila menor que 10 cmol/dm³.
- Horizonte A moderado.

Perfil 2

Data: 18/05/2017

Classificação SiBCS: LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico

Classificação Soil Taxonomy: Rhodic Acrudox

Ponto de amostragem em campo: P2

Localização, município, estado e coordenadas: Talhão de café, lote 54, Estação Experimental Rio Paranaíba, município de Rio Paranaíba – MG, Coordenadas UTM 23K 377.616/7.876.726 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta em entrelinha do plantio, terreno moderadamente ondulado.

Elevação: 1.120 m.

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Moderadamente ondulado.

Relevo regional: Ondulado.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Acentuadamente drenado.

Vegetação primária: Cerrado.

Uso atual: Cultura de café.

Descrito por: Luís Renato, Warley.

Descrição morfológica

A (0 – 25 cm) – 2,5YR 4/8 (seca); 2,5YR 4/4 (úmida); textura muito argilosa; estrutura forte, granular pequena a blocos subangulares pequenos; consistência macia, friável, muito plástica e pegajosa.

BA (25 – 40 cm) – camada adensada pelo intenso tráfego de máquinas, cor mais próxima daquela observada abaixo.

B_w (+ 40 cm) – 2,5YR 4/6 (seca); 2,5YR 3/6 (úmida); textura muito argilosa; estrutura forte, granular muito pequena a pequena, consistência macia, friável, muito plástica e pegajosa.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
			(mg/dm ³)			(cmolc/dm ³)			
2953	0 – 25	6,0	99,94	2,73	0,0	2,72	0,68	0,07	3,24
2954	40+	5,7	25,31	0,51	0,0	0,88	0,21	0,07	3,00

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	(cmolc/dm ³)			(%)		dag/kg	Mg/L	(mg/dm ³)
2953	3,66	3,73	6,90	52,99	1,88	2,40	16,92	25,21
2954	1,15	1,22	4,15	27,83	5,74	1,28	8,97	16,42

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
2953	60	34	3	3	6
2954	75	21	2	2	4

Observações:

- Apesar das chuvas dos dias anteriores, solo já se encontrava seco;
- Não foi identificado magnetismo nas amostras;
- Horizonte A moderado.

Perfil 3

Data: 18/05/2017

Classificação SiBCS: LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico

Classificação Soil Taxonomy: Rhodic Acrudox

Ponto de amostragem em campo: P3

Localização, município, estado e coordenadas: Talhão de café, lote 54, Estação Experimental Rio Paranaíba, município de Rio Paranaíba – MG, Coordenadas UTM 23K 377.081/7.876.409 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta em falha na linha do plantio, terreno plano.

Elevação: 1.130 m.

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Plano.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Acentuadamente drenado.

Vegetação primária: Cerrado.

Uso atual: Cultura de café.

Descrito por: Luís Renato, Warley.

Descrição morfológica

A (0 – 25 cm) – 2,5YR 4/8 (seca); 2,5YR 3/6 (úmida); textura muito argilosa; estrutura forte, granular muito pequena; consistência macia, friável, ligeira/e plástica e pegajosa.

B (+ 25 cm) – 2,5YR 5/6 (seca); 2,5YR 4/6 (úmida); textura muito argilosa; estrutura forte, granular muito pequena, consistência macia, muito friável, plástica e pegajosa.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³			cmolc/dm ³			
2955	0 – 25	4,3	57,3	3,14	0,0	0,28	0,10	1,61	10,99
2956	25+	4,7	50,9	0,33	0,0	0,38	0,12	0,18	4,94

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	Prem	Fe
	cmolc/dm ³			%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³
2955	0,53	2,14	11,52	4,57	75,23	2,96	10,86	34,88
2956	0,63	0,81	5,57	11,32	22,22	1,68	6,97	16,10

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
2955	66	28	3	3	6
2956	76	20	2	2	4

Observações:

- a) Apesar das chuvas dos dias anteriores, solo já se encontrava seco.
- b) Não foi identificado magnetismo nas amostras.
- c) Local plano no alto da chapada.
- d) Horizonte A moderado.

Perfil 4

Data: 19/05/2017

Classificação SiBCS: LATOSSOLO VERMELHO Ácrico petroplúntico

Classificação Soil Taxonomy: Petroferric Acrudox

Ponto de amostragem em campo: P5

Localização, município, estado e coordenadas: Reserva Legal, lote 70, Estação Experimental Rio Paranaíba, município de Rio Paranaíba – MG, Coordenadas UTM 23K 368.477/7.868.291 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Corte de terreno ao lado de estrada interna, terreno ondulado, campo cerrado.

Elevação: 1.013 m.

Pedregosidade: Pedregoso.

Rochosidade: Rochoso.

Relevo local: Ondulado.

Relevo regional: Ondulado.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Acentuadamente drenado.

Vegetação primária: Cerrado.

Uso atual: Reserva Legal.

Descrito por: Luís Renato, Warley.

Descrição morfológica

A (0 – 20 cm) – 7,5YR 4/6 (seca); 7,5YR 3/4 (úmida); textura argilosa cascalhenta; concreções ferruginosas médias a grandes, frequentes e duras; estrutura fraca, granular muito pequena; consistência não plástica e ligeira/e pegajosa.

BA (20 – 40 cm) – camada com presença de raízes bem menos intensa que a de cima.

B_w (+ 40 cm) – 2,5YR 4/8 (seca); 2,5YR 3/6 (úmida); textura muito argilosa; concreções ferruginosas médias a grandes, frequentes e duras; estrutura fraca, granular muito pequena, consistência não plástica e pegajosa.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³			cmolc/dm ³			
2959	0 – 20	5,1	57,30	0,71	0,0	0,17	0,1	1,18	7,87
2960	40 – 100	5,3	12,52	0,28	0,0	0,11	0,1	0,08	3,31

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	cmolc/dm ³			%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³
2959	0,42	1,60	8,29	5,03	73,75	4,02	17,49	120,97
2960	0,24	0,32	3,55	6,82	25,00	1,88	5,91	29,30

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
2959	54	15	11	20	31
2960	62	19	6	13	19

Observações:

- Meia hora antes da coleta houve pancada de chuva relativamente intensa – ainda assim, o solo já se encontrava quase seco;
- Verificou-se presença frequente de concreções desde a superfície, área próxima é utilizada como cascalheira; predomina a petroplintita;
- Observou-se a ocorrência de matações abaixo de 1,0 m de profundidade; não foi possível selecionar torrões para fazer a consistência seca e úmida;
- Horizonte A moderado.

Perfil 5

Data: 19/05/2017

Classificação SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico

Classificação Soi Taxonomy: Typic Dystrudept

Ponto de amostragem em campo: P6

Localização, município, estado e coordenadas: Reserva Legal, lote 70, Estação Experimental Rio Paranaíba, município de Rio Paranaíba – MG, Coordenadas UTM 23K 368.681/7.868.189 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira em terreno suave/e ondulado, ao lado da adutora do sistema de irrigação, vegetação secundária (capoeira).

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Suave/e ondulado.

Relevo regional: Ondulado.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Mal drenado.

Vegetação primária: Campo cerrado.

Uso atual: Reserva Legal.

Descrito por: Luís Renato, Warley.

Descrição morfológica

A (0 – 25 cm) – 10YR 4/4 (úmida); textura argilosa; estrutura forte, granular pequena a blocos subangulares pequenos; consistência friável, ligeira/e plástica e ligeira/e pegajosa.

AB (25 – 50 cm) – 10YR 5/6 (úmida); textura argilosa; estrutura forte, blocos subangulares pequenos; consistência plástica e muito pegajosa.

BA (50 – 100 cm) – horizonte com tonalidade mais amarela que os superiores, sem mosqueados.

Bi (100 – 130 cm) – horizonte com mosqueados comuns.

Bg (130+) – 2,5Y 8/2 (seca), 10YR 8/1 (úmida); textura argilosa pouco cascalhenta; estrutura moderada, blocos subangulares pequenos a grandes; consistência ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³			cmolc/dm ³			
2961	0 – 25	5,4	131,93	0,94	0,0	0,59	0,31	1,33	7,70
2962	25 – 50	5,3	27,44	0,28	0,0	0,14	0,10	0,17	3,87
2963	130+	5,5	8,25	0,28	0,0	0,10	0,10	0,84	2,90

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	cmolc/dm ³			%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³
2961	1,24	2,57	8,94	13,85	51,75	3,97	14,22	105,33
2962	0,31	0,48	4,18	7,42	35,42	1,79	5,55	37,15
2963	0,22	1,06	3,12	7,09	79,25	0,0	8,15	29,18

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
2961	50	29	10	11	21
2962	54	26	11	9	20
2963	39	23	18	20	38

Observações:

- a) Uma hora antes da coleta houve pancada de chuva relativamente intensa – o solo estava úmido até 0,5 m e molhado abaixo desse limite, o que impediu a análise de cor e consistência secas no momento (posteriormente foi feita a análise de cor e consistência secas na amostra de 130+ cm trazida para a universidade);
- b) Até 1,0 m a massa de solo exhibe matriz de tonalidades amarelas; abaixo deste limite aparecem mosqueados intensos, e a 1,3 m a cor muda abruptamente para cinza, e no momento da descrição, o lençol freático estava nessa profundidade (o período seco já perdurava por um mês, mas havia chovido durante a semana a na manhã daquele dia – foi retirada amostra molhada desta camada saturada); torrão retirado da amostra trazida ao laboratório e deixado ao ar durante 40 dias manteve a tonalidade acinzentada na matriz, e mosqueados avermelhados;
- c) Horizonte A moderado.

Perfil 6

Data: 14/07/2017

Classificação SiBCS: CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Distrófico típico

Classificação Soil Taxonomy: Fluventic Dystrudept

Ponto de amostragem em campo: P1

Localização, município, estado e coordenadas: Margem do Rio Correntes, nas proximidades do lago da UHE Baguari, P.A. Liberdade, município de Periquito – MG, Coordenadas UTM 23K 798.760/7.893.724 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta em várzea, 2,0 m acima do nível do rio, em terreno com declividade inferior a 2%, coberto por vegetação secundária.

Elevação: 184 m.

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Plano.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Moderadamente drenado.

Vegetação primária: Floresta tropical subperenifólia.

Uso atual: Cobertura vegetal nativa secundária.

Descrito por: Luís Renato, Leandro.

Descrição morfológica

A (0 – 15 cm) – 10YR 5/6 (seca), 10YR 4/4 (úmida); textura média; estrutura fraca, blocos subangulares pequenos; consistência macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

AB (15 – 37 cm) – 10YR 5/8 (seca), 10YR 4/6 (úmida); textura média; estrutura fraca, blocos subangulares pequenos a médios; consistência macia, muito friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Bi1 (37 – 59 cm) – 7,5YR 5/8 (seca), 7,5YR 5/6 (úmida); textura argilosa; estrutura moderada, blocos subangulares médios; consistência macia, friável, plástica e ligeiramente pegajosa.

Bi2 (59 – 81 cm) – 7,5YR 5/8 (seca), 7,5YR 5/6 (úmida); textura argilosa; estrutura moderada, blocos subangulares muito pequenos a pequenos; consistência ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

C (+81 cm) – camada cascalhenta sem agregação.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³		cmolc/dm ³			
6166	0 – 15	4,9	30,6	2,02	0,57	0,28	0,36	2,77
6167	15 – 37	4,8	14,22	1,5	0,32	0,12	0,43	2,74
6168	37 – 57	5,4	8,08	1,67	0,50	0,14	0,10	2,62
6169	57 – 81	6,0	8,08	4,33	0,71	0,10	0,04	2,29

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	cmolc/dm ³			%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³
6166	0,93	1,29	3,70	25,09	27,91	0,86	49,66	27,17
6167	0,48	0,91	3,22	14,80	47,25	0,57	45,35	34,73
6168	0,66	0,76	3,28	20,14	13,16	0,73	26,55	23,40
6169	0,83	0,87	3,12	26,63	4,60	0,44	26,40	33,45

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
6166	20	3	3	74	77
6167	26	7	6	61	67
6168	40	10	5	45	50
6169	38	11	4	47	51

Observações:

- a) Raízes são frequentes até 60 cm de profundidade;
- b) Em meio à massa de solo há diversos nichos de materiais de aspecto diferenciado, inclusive materiais orgânicos não decompostos, como madeira;
- c) Não há sinais de mosqueados até a profundidade investigada (100 cm);
- d) Horizonte A moderado.

Perfil 7

Data: 14/07/2017

Classificação SiBCS: GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico neofluvisólico

Classificação Soil Taxonomy: Typic Fluvaquent

Ponto de amostragem em campo: P2

Localização, município, estado e coordenadas: Depressão do terreno às margens da estrada de divisa com a propriedade da CENIBRA S/A, P.A. Liberdade, município de Periquito – MG, Coordenadas UTM 23K 797.430/7.892.097 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta em várzea, 2,0 m abaixo do nível da estrada, em terreno com declividade inferior a 2%, coberto por vegetação secundária.

Elevação: 185 m.

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Plano.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Mal drenado.

Vegetação primária: Floresta tropical subperenifólia.

Uso atual: Cobertura vegetal nativa secundária.

Descrito por: Luís Renato, Leandro.

Descrição morfológica

A (0 – 10 cm) – 5Y 4/1 (úmida); transição irregular; textura muito argilosa; estrutura forte, blocos subangulares pequenos a médios; consistência firme, plástica e pegajosa.

Bg (10 – 43 cm) – 5Y 7/1 (úmida), mosqueados pequenos e comuns, 7,5 YR 6/8; transição plana; textura muito argilosa; estrutura forte, blocos subangulares médios a grandes; consistência friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

BC (43 – 70 cm) – 5Y 7/1 (úmida), mosqueados pequenos e comuns, 7,5YR 6/4; transição irregular; textura média; estrutura maciça pouco coerente que se desfaz em moderada, blocos subangulares médios; consistência friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

C (+70 cm) – 5Y 7/1 (úmida), mosqueados pequenos e comuns, 7,5YR 6/6; textura arenosa; estrutura moderada, blocos subangulares médios a grandes; consistência friável, não plástica e não pegajosa.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³		cmolc/dm ³			
6170	0 – 10	5,2	133,0	3,48	1,02	0,91	0,67	7,70
6171	10 – 43	4,9	12,17	1,62	0,20	0,16	1,30	4,04
6172	43 – 70	5,1	8,08	1,59	0,16	0,26	0,56	1,74
6173	70+	5,4	8,08	3,41	0,19	0,24	0,45	1,47

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	cmolc/dm ³			%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³
6170	2,27	2,94	9,97	22,78	22,79	4,50	19,52	542,94
6171	0,39	1,69	4,43	8,83	76,92	0,57	38,00	28,06
6172	0,44	1,00	2,18	20,22	56,00	0,22	49,66	5,79
6173	0,45	0,90	1,92	23,47	50,00	0,18	51,64	4,74

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
6170	63	26	6	5	11
6171	60	28	6	6	12
6172	20	24	31	25	56
6173	13	19	43	25	68

Observações:

- a) O solo encontrava-se ligeiramente úmido por ocasião da descrição, e por isso não foram feitas cor e consistência secas;
- b) Horizonte A moderado;
- c) Variação decrescente do teor de argila indica tratar-se de material originado de camadas de deposição fluvial.

Perfil 8

Data: 14/07/2017

Classificação SiBCS: CAMBISSOLO FLÚVICO Tb Eutrófico típico

Classificação Soil Taxonomy: Fluventic Haplustept

Ponto de amostragem em campo: P3

Localização, município, estado e coordenadas: Antigo terraço fluvial na parte central do P.A. Liberdade, município de Periquito – MG, Coordenadas UTM 23K 798.337/7.892.224 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta em pastagem, em terreno com declividade inferior a 2%.

Elevação: 193 m.

Pedregosidade: Pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Plano.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Bem drenado.

Vegetação primária: Floresta tropical subcaducifólia.

Uso atual: Pastagem de braquiária.

Descrito por: Luís Renato, Leandro.

Descrição morfológica

A (0 – 20 cm) – 10YR 5/8 (seca), 10YR 4/6 (úmida); transição plana; textura média cascalhenta; estrutura moderada, blocos subangulares pequenos a médios; consistência ligeiramente dura, firme, plástica e pegajosa.

Bi (20 – 50 cm) – 7,5 YR 5/8 (seca), 7,5YR 5/8 (úmida); transição descontínua; textura argilosa cascalhenta; estrutura fraca, blocos subangulares muito pequenos; consistência ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e pegajosa.

BC (50 – 55 cm) – 10YR 5/6 (seca), 10YR 4/6 (úmida); transição descontínua; textura média muito cascalhenta; estrutura fraca, blocos subangulares muito pequenos a pequenos; consistência ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

C (+55 cm) – 7,5YR 5/8 (seca), 7,5YR 5/6 (úmida); textura arenosa; estrutura em grãos simples não coerentes; consistência não plástica e não pegajosa.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³		cmolc/dm ³			
6174	0 – 20	6,6	128,90	2,29	2,21	0,56	0,04	1,84
6175	20 – 50	6,4	69,51	2,41	0,99	0,21	0,04	1,32
6176	50 – 55	6,1	14,22	4,49	0,68	0,13	0,04	1,18
6177	55+	6,2	18,32	4,98	0,34	0,10	0,04	0,96

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	cmolc/dm ³		%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³	
6174	3,10	3,14	4,94	62,76	1,27	1,39	35,75	26,10
6175	1,38	1,42	2,70	51,05	2,82	0,42	29,61	28,01
6176	0,85	0,89	2,03	41,70	4,49	0,13	44,50	22,98
6177	0,49	0,53	1,45	33,58	7,55	0,02	55,90	32,41

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
6174	34	11	5	50	55
6175	38	5	3	54	57
6176	18	1	3	78	81
6177	8	3	1	88	89

Observações:

a) Amostra de C foi retirada com auxílio de trado, na camada entre 95 e 115 cm; entre 55 e 85 cm de profundidade há camada descontínua de concreções escurecidas, cimentadas com consistência dura quebradiça; feito o teste com peróxido de hidrogênio, houve efervescência intensa, denunciando a presença de óxido de manganês. Terreno não é alagadiço, e as explicações para o fenômeno são sucessivos ciclos de umedecimento e secagem em eras pregressas, causando a solubilização e reoxidação do Mn (e do Fe a ele misturado) junto à superfície, o que causou a formação de concreções; a posterior sedimentação de camadas aluvionares enterrou este material e o leito do rio sofreu paulatino rebaixamento, formando novo patamar em nível inferior;

b) Horizonte A moderado.

Perfil 9

Data: 15/07/2017

Classificação SiBCS: ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico

Classificação Soi Taxonomy: Typic Haplustult

Ponto de amostragem em campo: P4

Localização, município, estado e coordenadas: Encosta a sudoeste do P.A. Liberdade, em área sem uso agrícola, município de Periquito – MG, Coordenadas UTM 23K 797.821/7.891.461 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta em terço inferior de encosta ondulada, coberta com pastagem espontânea degradada.

Elevação: 202 m.

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Ondulado.

Relevo regional: Ondulado.

Erosão: Laminar moderada (nas proximidades há intensa manifestação de erosão laminar severa).

Drenagem: Bem drenado.

Vegetação primária: Floresta tropical subcaducifólia.

Uso atual: Reserva legal.

Descrito por: Luís Renato, Leandro.

Descrição morfológica

A (0 – 11 cm) – 10YR 5/4 (seca), 10YR 3/4 (úmida); transição plana; textura argilosa; estrutura moderada, blocos subangulares muito pequenos a pequenos; consistência dura, firme, plástica e pegajosa.

Ab (11 – 41 cm) – 10YR 4/6 (seca), 10YR 3/4 (úmida); transição plana; textura argilosa; estrutura moderada, blocos subangulares muito pequenos a pequenos; consistência ligeiramente dura, friável, plástica e ligeiramente pegajosa.

BA (41 – 61 cm) – 7,5YR 5/8 (seca), 7,5YR 5/6 (úmida); transição plana; textura argilosa; estrutura moderada, blocos subangulares muito pequenos a pequenos; consistência ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa; cerosidade pouca e fraca.

Bt (+61 cm) – 7,5YR 5/8 (seca), 7,5YR 5/6 (úmida); textura argilosa; estrutura moderada, blocos subangulares pequenos a médios; consistência ligeiramente dura, friável, plástica e muito pegajosa; cerosidade fraca e comum.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³		cmolc/dm ³			
6178	0 – 11	4,7	116,62	1,64	0,30	0,17	1,11	6,30
6179	11 – 41	4,5	42,89	1,44	0,20	0,10	1,58	7,12
6180	41 – 61	4,6	10,12	0,84	0,19	0,10	1,54	4,94
6181	61+	4,5	3,98	0,70	0,20	0,10	1,04	3,42

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	cmolc/dm ³			%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³
6178	0,77	1,88	7,07	10,88	59,04	1,56	44,50	50,61
6179	0,41	1,99	7,53	5,44	79,40	1,10	40,56	168,73
6180	0,32	1,86	5,26	6,01	82,80	0,73	36,47	140,53
6181	0,31	1,35	3,73	8,32	77,04	0,36	32,66	14,94

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
6178	44	5	24	27	51
6179	43	4	25	28	53
6180	52	6	22	20	42
6181	53	5	22	20	42

Observações:

- a) A quantidade de raízes diminui visivelmente abaixo de 40 cm (limite entre Ab e BA).
- b) A amostra de Bt foi retirada com auxílio de um trado, na profundidade entre 80 e 100 cm.
- c) Horizonte A moderado.

Perfil 10

Data: 24/04/2017

Classificação SiBCS: LATOSSOLO AMARELO Distrófico típico

Classificação Soil Taxonomy: Xanthic Haplustox

Ponto de amostragem em campo: PA_1

Localização, município, estado e coordenadas: Alto da Chapada do Bom Jardim, P.A. Campo Novo, município de Jequitinhonha – MG, Coordenadas UTM 24K 270.095/8.178.679 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta ao lado de estrada interna, em terreno com declividade inferior a 2%, coberto por vegetação secundária.

Elevação: 713 m.

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Plano.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Acentuadamente drenado.

Vegetação primária: Cerrado.

Uso atual: Cobertura vegetal nativa secundária.

Descrito por: Luís Renato, Warley.

Descrição morfológica

A (0 – 50 cm) – 10YR 3/4 (seca), 10YR 3/2 (úmida); textura argilosa; estrutura moderada, granular, muito pequena; consistência macia, muito friável, plástica e ligeiramente pegajosa.

B_w (+70 cm) – 10YR 6/6 (seca), 10YR 4/6 (úmida); textura muito argilosa; estrutura moderada, granular pequena a blocos subangulares médios; consistência ligeiramente dura, friável, plástica e pegajosa.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³			cmolc/dm ³			
2274	0 – 50	4,5	10,44	1,54	1,58	0,10	0,10	2,62	13,88
2275	+ 70	4,6	3,86	0,82	1,58	0,10	0,10	1,39	5,40

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	cmolc/dm ³			%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³
2274	0,23	2,85	14,11	1,61	91,93	3,04	14,02	114,11
2275	0,21	1,60	5,61	3,74	86,88	0,77	7,86	75,39

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
2274	54	7	10	29	39
2275	60	3	10	27	37

Observações:

- A amostra de superfície limitou-se à profundidade 0 – 30 cm;
- A amostra de subsuperfície, com trado, à profundidade 70 – 90 cm;
- Entre 50 e 80 cm de profundidade encontra-se um horizonte de transição AB com cor intermediária;
- Vegetação local apresenta arbustos com até 2,5 – 3,0 m de altura, cujas copas normalmente se tocam.

Perfil 11

Data: 25/04/2017

Classificação SiBCS: CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Eutrófico típico

Classificação Soil Taxonomy: Typic Haplustept

Ponto de amostragem em campo: PA_2

Localização, município, estado e coordenadas: Sopé da escarpa da Chapada do Bom Jardim, P.A. Campo Novo, município de Jequitinhonha – MG, Coordenadas UTM 24K 269.942/8.179.788 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta em área de reserva legal, em terreno forte ondulado, coberto por vegetação herbácea secundária.

Elevação: 471 m.

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Forte ondulado.

Relevo regional: Montanhoso.

Erosão: Laminar moderada e sulcos frequentes e rasos.

Drenagem: Moderadamente drenado.

Vegetação primária: Floresta tropical sucaducifólia.

Uso atual: Cobertura vegetal nativa secundária.

Descrito por: Luís Renato, Warley.

Descrição morfológica

A (0 – 20 cm) – 10YR 5/3 (seca), 10YR 3/4 (úmida); textura média cascalhenta; estrutura moderada, blocos angulares pequenos; consistência ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

B_i (+20 cm) – 10YR 5/8 (seca), 10YR 5/6 (úmida); textura argilosa cascalhenta; estrutura moderada, blocos angulares pequenos a médios; consistência ligeiramente dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³			cmolc/dm ³			
2276	0 – 20	6,6	207,87	10,50	1,58	4,43	1,26	0,04	1,56
2277	+20	6,3	159,61	2,54	1,58	2,01	0,64	0,05	1,72

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	cmolc/dm ³			%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³
2276	6,22	6,26	7,78	79,99	0,64	2,11	43,66	7,06
2277	3,06	3,11	4,78	64,00	1,61	0,63	43,92	10,79

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
2276	30	8	13	49	62
2277	46	11	16	27	43

Observações:

- a) A jusante do ponto amostrado, em terreno com declividade menor, há sulcos de erosão; vegetação rala no local;
- b) Embora o local seja de uso restrito (reserva legal), há sinais de acesso do gado dos lotes vizinhos;
- c) Horizonte A moderado.

Perfil 12

Data: 25/04/2017

Classificação SiBCS: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico típico.

Classificação Soil Taxonomy: Ultic Haplustalf

Ponto de amostragem em campo: PA_3

Localização, município, estado e coordenadas: Encosta ao norte da escarpa da Chapada do Bom Jardim, PA Campo Novo, município de Jequitinhonha – MG, Coordenadas UTM 24K 269.795/8.180.210 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta em pastagem espontânea, em terreno ondulado, coberto por vegetação herbácea secundária.

Elevação: 380 m.

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Ondulado.

Relevo regional: Ondulado.

Erosão: Sulcos frequentes e profundos.

Drenagem: Bem drenado.

Vegetação primária: Floresta tropical subcaducifólia.

Uso atual: Pastagem espontânea.

Descrito por: Luís Renato, Warley.

Descrição morfológica

Ap (0 – 5 cm) – 5YR 4/2 (seca), 5YR 3/2 (úmida); textura média; estrutura fraca, blocos subangulares muito pequenos a pequenos; consistência ligeiramente dura, firme, não plástica e não pegajosa.

B_t (+40 cm) – 5YR 5/8 (seca), 5YR 4/4 (úmida); textura média; estrutura fraca, blocos subangulares muito pequenos; consistência macia, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; cerosidade pouca e fraca.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³			cmolc/dm ³			
2286	0 – 5	6,5	190,32	13,21	1,58	3,01	1,06	0,05	1,54
2287	40+	7,0	319,74	2,96	1,58	1,25	0,50	0,06	1,26

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	cmolc/dm ³			%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³
2286	4,56	4,61	6,10	74,72	1,08	2,28	50,20	9,17
2287	2,57	2,63	3,83	67,10	2,28	0,29	39,60	20,46

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
2286	18	7	13	62	75
2287	30	6	12	52	64

Observações:

- a) Há uma camada de cascalho entre 5 e 10 cm de profundidade;
- b) O local exhibe muitos murunduns e é bastante erodido;
- c) Horizonte A moderado.

Perfil 13

Data: 26/04/2017

Classificação SiBCS: NEOSSOLO REGOLÍTICO Distrófico típico

Classificação Soil Taxonomy: Typic Ustorthent

Ponto de amostragem em campo: PA_5

Localização, município, estado e coordenadas: Meia-encosta a leste do P.A. Campo Novo, município de Jequitinhonha – MG, Coordenadas UTM 24K 271.007/8.182.064 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta ao lado de estrada interna e de cultivo de palma forrageira, em terreno colinoso com ocorrência de microrrelevo de murunduns, declividade moderadamente ondulada.

Elevação: 249 m.

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Moderadamente ondulado.

Relevo regional: Moderadamente ondulado.

Erosão: Sulcos ocasionais superficiais.

Drenagem: Bem drenado.

Vegetação primária: Floresta tropical subcaducifólia.

Uso atual: Cultivo de palma forrageira.

Descrito por: Luís Renato, Warley.

Descrição morfológica

A (0 – 20 cm) – 10YR 5/3 (seca), 10YR 3/2 (úmida); textura média; estrutura moderada, blocos subangulares pequenos; consistência dura, friável, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

AC (20 – 50 cm) – 10YR 6/4 (seca), 10YR 4/6 (úmida); textura argilosa; estrutura fraca, blocos subangulares pequenos; consistência dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³			cmolc/dm ³			
-	0 – 20	5,8	83,00	2,96	9,90	2,08	0,80	0,02	2,90
2280	20 – 50	6,0	82,83	1,71	1,58	1,54	0,48	0,05	1,68

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	cmolc/dm ³			%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³
-	3,13	3,15	6,03	52,00	0,60	2,42	-	12,30
2280	2,23	2,28	3,91	57,09	2,19	0,67	47,86	42,19

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
-	21	11	24	44	68
2280	28	12	26	34	60

Observações:

- Os resultados relativos à profundidade 0 – 20 cm foram retirados da tese “Avaliação ambiental em áreas de assentamento de reforma agrária: o caso do P.A. Campo Novo, Jequitinhonha – MG”, de Elaine de Souza Trindade (2004), que amostrou, analisou e descreveu ponto da mesma classe de solo 40 m distante;
- Abaixo de 50 cm de profundidade foi feita tradagem, e o material removido apresenta-se com textura média, cor mais amarela que nos horizontes acima e também com grãos soltos;

- c) Horizonte A moderado;
- d) Há grande quantidade de grãos soltos na amostra entre 20 e 50 cm.

Perfil 14

Data: 27/04/2017

Classificação SiBCS: GLEISSOLO HÁPLICO Ta Eutrófico cambissólico

Classificação Soil Taxonomy: Typic Endoaquent

Ponto de amostragem no campo: PA_7

Localização, município, estado e coordenadas: Terraço fluvial a norte do P.A. Campo Novo, município de Jequitinhonha – MG, Coordenadas UTM 24K 269.602/8.184.523 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta em terreno plano com vegetação herbácea espontânea, cultivado em anos anteriores.

Elevação: 222 m.

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Plano.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Mal drenado.

Vegetação primária: Floresta tropical subcaducifólia.

Uso atual: Cobertura vegetal secundária.

Descrito por: Luís Renato, Warley.

Descrição morfológica

A (0 – 7 cm) – 2,5Y 6/4 (seca), 2,5Y 4/2 (úmida); textura média; estrutura moderada, blocos subangulares médios; consistência dura, friável, plástica e pegajosa.

B_{lig} (7 – 37 cm) – 10YR 5/3 (seca), 10YR 3/3 (úmida); mosqueado comum e pouco nítido, textura média; estrutura forte, blocos subangulares médios; consistência dura, firme, plástica e ligeiramente pegajosa.

B2ig (+37 cm) – 2,5Y 6/2 (seca), 2,5Y 4/2 (úmida); mosqueado comum e intenso; textura média; estrutura forte, blocos subangulares médios; consistência muito dura, firme, plástica e pegajosa.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³			cmolc/dm ³			
2281	0 – 7	6,0	394,33	5,96	3,82	3,06	1,41	0,06	3,10
2282	7 – 37	5,8	109,15	2,54	19,50	2,52	1,27	0,06	2,35

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	cmolc/dm ³		%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³	
2281	5,48	5,54	8,58	63,88	1,08	2,23	40,81	451,30
2282	4,07	4,13	6,42	63,39	1,45	1,02	40,56	235,03

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
2281	24	52	23	1	24
2282	20	46	33	1	34

Observações:

- a) No período chuvoso é comum o alagamento do local por períodos curtos;
- c) No momento da amostragem não havia umidade proveniente do lençol freático até 70 cm;
- d) Foi feita tradagem a 50 – 70 cm, e o material removido é mais arenoso que nas camadas superiores;
- f) Horizonte A moderado.

Perfil 15

Data: 29/04/2017

Classificação SiBCS: CAMBISSOLO FLÚVICO Sódico típico

Classificação Soil Taxonomy: Typic Haplustept

Ponto de amostragem no campo: PA_8

Localização, município, estado e coordenadas: Terraço fluvial a leste do P.A. Campo Novo, município de Jequitinhonha – MG, Coordenadas UTM 24K 271.106/8.182.805 (Datum WGS84).

Situação, declive e cobertura vegetal: Minitrincheira aberta em depressão com vegetação herbácea espontânea, outrora cultivada com arroz.

Elevação: 224 m.

Pedregosidade: Não pedregoso.

Rochosidade: Não rochoso.

Relevo local: Plano.

Relevo regional: Plano.

Erosão: Não aparente.

Drenagem: Moderadamente drenado.

Vegetação primária: Campo.

Uso atual: Pastagem espontânea.

Descrito por: Luís Renato, Warley.

Descrição morfológica

A (0 – 40 cm) – 10YR 6/3 (seca), 10YR 3/2 (úmida); textura média; estrutura moderada, blocos subangulares grandes; consistência dura, firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Bi (40 – 70 cm) – 7,5YR 5,5/4 (seca), 7,5YR 3/4 (úmida); textura argilosa; estrutura forte, blocos subangulares grandes; consistência muito dura, firme, plástica e pegajosa.

BC (+70 cm) – 7,5YR 4/6 (seca), 5YR 4/6 (úmida); textura argilosa; estrutura forte, blocos subangulares grandes; consistência muito dura, firme, muito plástica e muito pegajosa.

Resultados analíticos

Cod	Prof (cm)	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al
			mg/dm ³			cmolc/dm ³			
2283	0 – 40	4,9	157,41	3,70	28,46	3,64	2,03	0,11	4,18
2284	40 – 70	4,9	19,21	0,99	380,15	1,93	5,25	0,16	3,27
2285	70+	5,3	19,21	0,82	411,51	1,31	4,63	0,11	2,32

Cod	SB	t	T	V	m	M.O.	P-rem	Fe
	cmolc/dm ³			%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³
2283	6,19	6,30	10,37	59,69	1,75	2,19	42,53	136,42
2284	8,88	9,04	12,15	73,09	1,77	0,89	31,55	108,30
2285	7,78	7,89	10,10	77,03	1,39	0,63	30,82	152,71

Cod	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	Areia total
	dag/kg				
2283	32	56	10	2	12
2284	35	49	12	4	16
2285	36	46	14	4	18

Observações:

- Não havia sinais da presença próxima do lençol freático até 1,2 m de profundidade, nem mesmo mosqueados;
- A cor do horizonte A tende a tons mais amarelados, tendendo a mais avermelhados em profundidade;

- c) Há relatos de que o gado lambe o solo em busca de sal;
- d) Local é depressão próxima ao Rio Jequitinhonha;
- e) Observou-se cerosidade pouca e fraca em profundidade, insuficiente para caracterizar horizonte B_t;
- f) Teor de silte é considerável em todos os horizontes descritos.

ANEXOS

ANEXO A – Categorias analíticas do sistema de capacidade de uso

As classes de capacidade de uso e o uso mais intensivo que comportam, conforme Lepsch et al. (2015) estão expressas a seguir.

Classe I – terras virtualmente sem limitações permanentes ao uso agrícola e com risco mínimo de degradação, podendo ser destinadas a cultivos anuais intensivos.

Classe II – terras com poucas limitações permanentes ou com risco moderado de degradação, em função de problemas conservacionistas simples, podendo ser destinada a cultivos anuais intensivos, desde que tomadas as medidas necessárias.

Classe III – terras com muitas limitações permanentes ou com risco severo de degradação, em função de problemas conservacionistas complexos, podendo ser destinadas a cultivos anuais intensivos, desde que tomadas as medidas necessárias.

Classe IV – terras com muitas limitações permanentes ou com risco muito severo de degradação, devendo ser destinadas a cultivos anuais intensivos apenas eventualmente, e preferencialmente a cultivos perenes ou pastagens plantadas.

Classe V – terras sem risco de degradação por erosão, mas com limitações permanentes de remoção impossível, limitando o uso a pastagens naturais manejadas e refúgios de vida silvestre.

Classe VI – terras com muitas limitações permanentes ou risco severo de degradação, devendo ser destinadas apenas a cultivos perenes protetores, pastagens plantadas ou reflorestamentos, desde que tomadas as medidas necessárias.

Classe VII – terras com muitas limitações permanentes ou risco muito severo de degradação, devendo ser destinadas apenas a ao manejo de pastagens e florestas naturais.

Classe VIII – terras totalmente impróprias para usos agrícolas, devendo ser destinadas ao refúgio da vida silvestre e à recreação controlada.

As subclasses de capacidade de uso são quatro, e discriminam a natureza da limitação ao uso. A letra distintiva de cada subclasse segue o algarismo romano distintivo da classe.

Subclasse e – terras cujos principais problemas estão relacionados ao risco de erosão ou à efetiva presença de feições erosivas.

Subclasse s – terras cujos principais problemas estão relacionados às características do perfil do solo, particularmente na zona explorada pelas raízes.

Subclasse a – terras cujos principais problemas relacionam-se ao excesso de água no perfil, reduzindo a aeração.

Subclasse c – terras cujos principais problemas relacionam-se ao clima, incluindo secas, ventos e geadas.

Na identificação de uma subclasse, quando dois problemas de naturezas diferentes contribuem para limitar a capacidade de uso, é possível identificar a subclasse com as duas letras correspondentes ou adotar apenas uma, conforme a seguinte ordem de prioridades: e > s > a > c.

As unidades de capacidade de uso particularizam o problema, ou o fator limitante que determina a classificação, indicando que práticas de manejo devem ser adotadas. Peralta (1963), apud Lepsch et al. (2015) propôs uma série de unidades de capacidade de uso, cuja codificação é a seguinte:

Na subclasse e:

- 1 – Declive acentuado.
- 2 – Rampas longas.
- 3 – Gradiente textural.
- 4 – Erosão laminar.
- 5 – Erosão em sulcos.
- 6 – Voçorocas.
- 7 – Erosão eólica.
- 8 – Depósito de sedimentos.
- 9 – Baixa permeabilidade.
- 10 – Horizonte A arenoso

Na subclasse s:

- 1 – Pequena profundidade.
- 2 – Pedregosidade
- 3 – Argilas expansivas.
- 4 – Excesso de alumínio.
- 5 – Presença de sulfetos.
- 6 – Excesso de sais.
- 7 – Excesso de sódio.
- 8 – Excesso de carbonatos.
- 9 – Textura arenosa em todo o perfil

Na subclasse a:

- 1 – Lençol freático elevado.
- 2 – Risco de inundação.
- 3 – Subsidência de solos orgânicos.
- 4 – Deficiência de oxigênio no perfil.

Na subclasse c:

1 – Seca prolongada.

2 – Geadas.

3 – Ventos frios.

4 – Granizo.

5 – Neve.