

SEÇÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

APLICAÇÃO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO (ALES - AUTOMATED LAND EVALUATION SYSTEM) NA AVALIAÇÃO DAS TERRAS DAS MICRORREGIÕES DE CHAPECÓ E XANXERÊ, OESTE CATARINENSE, PARA O CULTIVO DE GRÃOS⁽¹⁾

César da Silva Chagas⁽²⁾, Waldir de Carvalho Junior⁽³⁾, Nilson
Rendeiro Pereira⁽²⁾ & Elpidio Inácio Fernandes Filho⁽⁴⁾

RESUMO

A avaliação de terras é o processo que permite estimar o uso potencial da terra com base em seus atributos. Grande variedade de modelos analíticos pode ser usada neste processo. No Brasil, os dois sistemas de avaliação das terras mais utilizados são o Sistema de Classificação da Capacidade de Uso da Terra e o Sistema FAO/Brasileiro de Aptidão Agrícola das Terras. Embora difiram em vários aspectos, ambos exigem o cruzamento de inúmeras variáveis ambientais. O ALES (Automated Land Evaluation System) é um programa de computador que permite construir sistemas especialistas para avaliação de terras. As entidades avaliadas pelo ALES são as unidades de mapeamento, as quais podem ser de caráter generalizado ou detalhado. A área objeto desta avaliação é composta pelas microrregiões de Chapecó e Xanxerê, no Oeste catarinense, e engloba 54 municípios. Os dados sobre os solos e sobre as características da paisagem foram obtidos no levantamento de reconhecimento dos solos do Estado, na escala de 1:250.000. O presente estudo desenvolveu o sistema especialista ATOSC (Avaliação das Terras do Oeste de Santa Catarina) e, na sua construção, incluiu-se a definição dos requerimentos dos tipos de utilização da terra, bem como foi feita a subsequente comparação destes com os atributos de cada unidade de mapeamento. Os tipos de utilização da terra considerados foram: feijão, milho, soja e trigo, em cultivos solteiros, sob condições de sequeiro e de manejo característicos destas culturas no Estado. As informações sobre os recursos naturais compreendem os atributos climáticos, de solos e das condições da paisagem que interferem na produção destas culturas. Para cada tipo de utilização da terra foram especificados, no ATOSC, o código, o nome e seus

⁽¹⁾ Recebido para publicação em setembro de 2003 e aprovado em março de 2006.

⁽²⁾ Pesquisador II da Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico 1024, CEP 22460-000 Rio de Janeiro (RJ) E-mails: cesar@cnps.embrapa.br; nilson@cnps.embrapa.br

⁽³⁾ Pesquisador III da Embrapa Solos. E-mail: waldirej@cnps.embrapa.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). E-mail: elpidio@ufv.br

respectivos requerimentos de uso da terra. Os requerimentos de cada cultura foram definidos por uma combinação específica das características das terras selecionadas, que determina o nível de severidade de cada um deles em relação à cultura. Estabeleceram-se quatro níveis de severidade que indicam aumento do grau de limitação ou diminuição do potencial para determinado tipo de uso da terra, a saber: limitação nula ou ligeira (favorável); limitação moderada (moderadamente favorável), limitação forte (pouco favorável); e limitação muito forte (desfavorável). Na árvore de decisão, componente básico do sistema especialista, são implementadas as regras que permitirão o enquadramento das terras em classes de adequação definidas, baseado na qualidade dos requerimentos de acordo com o tipo de uso. O ATOSC facilitou o processo de comparação entre as características das terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê e os requerimentos de uso considerados, por permitir efetuar automaticamente a avaliação das terras, reduzindo, assim, o tempo gasto neste processo. As terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê foram enquadradas, em sua maior parte, nas classes de adequação pouco favorável (3) e desfavorável (4) para os cultivos considerados. Os principais fatores limitantes identificados nestas microrregiões foram a fertilidade natural e o risco de erosão, para o feijão e o milho, e condições de mecanização e risco de erosão, para a soja e o trigo.

Termos de indexação: sistema especialista, aptidão agrícola, ALES.

SUMMARY: TESTING ALES (AUTOMATED LAND EVALUATION SYSTEM) IN THE MICROREGIONS CHAPECÓ AND XANXERÊ, WESTERN SANTA CATARINA STATE, FOR BEAN CROP

Land evaluation is a process that estimates the land use potential based on its properties. A large variety of analytic models can be used in this process. In Brazil, the two most widely used land evaluation systems are the "Sistema de Classificação da Capacidade de Uso da Terra" and "Sistema FAO/Brasileiro de Aptidão Agrícola das Terras". Although different in several aspects, both require the crossing of countless environmental variables. ALES (Automated Land Evaluation System) is a computer program that allows the construction of specialist systems for land evaluation. ALES evaluates map units of either general or detailed character. The area of this evaluation comprised the Chapecó and Xanxerê microregions, in the west of the state of Santa Catarina, and covered 54 municipal districts. Soil data and landscape characteristics were obtained from the state soil survey, at a scale of 1:250.000. This study developed the specialist system ATOSC (Land Evaluation in western Santa Catarina), which defines the requirements of different land use types, and the subsequent comparison of these requirements with the attributes of each map unit. The land use types considered were: bean, corn, soy and wheat in sole cultivations without irrigation, under the characteristic management of these crops in the state. The information on natural resources comprises climatic, soil and landscape attributes that affect the crop yields. In ATOSC, the code, name and land use requirements were specified for each land use type. The crop requirements were defined by a specific combination of the selected land characteristics that determine the severity level of each one in relation to the crop. We established 4 severity levels that indicate a limitation increase or a potential decrease for a certain land use: none or slight limitation (favorable); moderate limitation (moderately favorable); strong limitation (not very favorable); and very strong limitation (unfavorable). In the decision tree, a basic component of the specialist system, rules are implemented that allow a classification of the regions in defined suitability classes, based on the requirements of each land use type. The ATOSC made the comparison between the regional characteristics of the microregions Chapecó and Xanxerê and the requirements of the considered land use easier. The evaluation is automatic, reducing the time spent in the process. The Chapecó and Xanxerê microregions were fit, for the most part, in the suitability classes not very favorable (3) and unfavorable (4) for the considered crops. The main limiting factors in these microregions were identified as natural fertility and erosion risk for bean and corn; and mechanization conditions and erosion risk for soy and wheat.

Index terms: specialist system, land evaluation, ALES.

INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina apresenta, de modo geral, uma topografia bastante acidentada, desfavorável à atividade agrícola. Com isto, muitas áreas consideradas sem aptidão para o uso com lavouras vêm sendo cultivadas ao longo de décadas, resultando em processos erosivos e degradação ambiental, sobretudo quando as lavouras utilizam a mecanização. Apesar disso, o Estado está entre os seis principais produtores de alimentos do País, apresentando um dos maiores índices de produtividade por área. Neste aspecto, o oeste catarinense e, em particular, as microrregiões de Chapecó e Xanxerê têm-se destacado como os principais produtores de grãos do Estado (Santa Catarina, 1994).

A avaliação de terras é o processo que permite estimar o uso potencial da terra com base em seus atributos. Grande variedade de modelos analíticos pode ser usada neste processo, variando de qualitativos a quantitativos; funcionais a mecanísticos, e específicos a gerais (Rossiter, 1996). Dentre os diferentes sistemas de avaliação das terras utilizados no mundo, o conceito de avaliação da FAO é o mais comumente aplicado (FAO, 1976; 1983). Este se baseia na comparação dos atributos da terra com os principais requerimentos biológicos e físicos dos tipos de usos que estão sendo considerados. O sistema da FAO é um método de avaliação qualitativo, mas que pode ser complementado por métodos quantitativos (Yizengaw & Verheye, 1995).

No Brasil, dois sistemas de avaliação das terras são bastante utilizados, sendo ambos estruturados a partir da interpretação de levantamentos de solos: o Sistema FAO/Brasileiro de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (Bennema et al., 1964; Ramalho Filho & Beek, 1995) e o Sistema USDA-SCS/Brasileiro de Classificação da Capacidade de Uso da Terra (Lepsch et al. 1983). Na busca do conhecimento da aptidão das terras do Brasil, o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (Ramalho Filho & Beek, 1995) tem sido o mais empregado por constituir um importante instrumento para conhecer o potencial e a disponibilidade de terras de acordo com diferentes níveis de tecnologia ou de manejo, sendo o método preconizado pela Embrapa.

Embora difiram em vários aspectos, ambos os sistemas exigem o cruzamento de inúmeras variáveis, obtidas diretamente dos levantamentos pedológicos ou de inferências realizadas a partir de características ambientais. O cruzamento de dados constitui tarefa complexa, que é aumentada à medida que se aumenta o tamanho da base de dados (Assad, 1993).

Os sistemas especialistas incorporam conhecimentos acumulados por cientistas/pesquisadores em um programa de computador e o utilizam como ferramenta para a avaliação do potencial de uma área

para determinados tipos de usos da terra (Yizengaw & Verheye, 1995).

O desenvolvimento de sistemas especialistas para auxiliar a tomada de decisão sobre o uso e manejo da terra é importante, visto que possibilita avaliar grande quantidade de informações a respeito de solos, obtidas nos levantamentos pedológicos, as quais podem produzir estratégias mais adequadas para o aumento da produtividade e para a proteção ambiental (De la Rosa et al., 1993).

Neste sentido, muitos sistemas especialistas têm sido desenvolvidos para auxiliar a tomada de decisão em diferentes áreas das ciências agrárias (Bogges et al., 1989; Plant, 1989; Rossiter, 1990; Fernandes Filho, 1996; Rossiter & Van Wambeke, 1997).

O ALES (Automated Land Evaluation System) é um programa de computador que permite aos pesquisadores construir sistemas especialistas para avaliação de terras de acordo com o método proposto pela FAO (FAO, 1976). As entidades avaliadas pelo ALES são as unidades de mapeamento, as quais podem ser de caráter generalizado (estudos de reconhecimento e estudos de viabilidade geral) ou de caráter detalhado (estudos de levantamentos de recursos detalhados e de planejamento de propriedades rurais). Visto que cada modelo de avaliação pode ser construído por um avaliador diferente para satisfazer as necessidades locais, não existe, no ALES, uma lista fixa de requerimentos de uso da terra, pelos quais elas são avaliadas, e nenhuma lista de características, pelas quais as qualidades das terras são inferidas. Deste modo, estas listas são determinadas pelo avaliador de acordo com as condições locais e objetivos. Assim, o ALES, por si só, não é um sistema especialista, sendo apenas uma estrutura em que os avaliadores podem expressar e documentar seu conhecimento local (Rossiter & Van Wambeke, 1997).

O ALES foi utilizado por De la Rosa et al. (1993) para construir um sistema especialista, denominado ARENAL, para estimar a vulnerabilidade dos solos e do lençol freático de uma região mediterrânea da Espanha à contaminação com agroquímicos, especialmente nitrato e pesticidas. Os autores concluíram que as informações de solos, clima e de manejo podem ser combinadas, usando um sistema especialista para predição desta vulnerabilidade, podendo tal sistema atuar como importante ferramenta na predição dos impactos de práticas agrícolas no meio ambiente.

Yizengaw & Verheye (1995) desenvolveram um sistema especialista para avaliação de terras, baseado no ALES, para estimar a potencialidade das terras de uma área na parte central da Etiópia para três cultivos. Nesse estudo, o sistema especialista desenvolvido (LEV-CET - Land Evaluation System for Central Etiópia) caracterizou-se como uma ferramenta simples e flexível na avaliação do potencial de uso das terras daquela região. O uso do

sistema especialista, em geral, e do ALES, em particular, para o desenvolvimento de um modelo de avaliação da potencialidade das terras, mostrou muitas vantagens e algumas desvantagens.

Wandahwa & Van Ranst (1996) utilizaram o ALES para construir um modelo de avaliação das terras da parte oeste do Quênia (PYCULT - Pyrethrum Cultivation), a partir de dados climáticos, pedológicos e das características da paisagem. Os resultados alcançados permitiram concluir que o sistema desenvolvido foi bastante útil para os planejadores de uso da terra e pesquisadores nacionais. Assim, os resultados puderam ser empregados pelos planejadores de uso da terra, para selecionar áreas favoráveis ao cultivo, e pelos pesquisadores, para focalizar, com mais detalhes, áreas com aptidão variada.

O objetivo deste estudo foi desenvolver um sistema especialista (ATOSC - Avaliação das Terras do Oeste de Santa Catarina), baseado no ALES, para avaliar a potencialidade das terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê no oeste catarinense para o cultivo de grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

O Estado de Santa Catarina apresenta diferentes condições de solo e de clima e, conseqüentemente, distintas aptidões para produção de bens agrícolas. Isso motivou Thomé et al. (1999) a dividir o Estado, de acordo com suas características climáticas, em cinco regiões e onze sub-regiões agroecológicas. A área objeto desta avaliação é composta pelas microrregiões de Chapecó e Xanxerê, no oeste catarinense, e engloba 54 municípios (IBGE, 1999). Segundo Thomé et al. (1999), essas microrregiões apresentam três sub-regiões agroecológicas distintas (Quadro 1). A caracterização completa dessas sub-regiões pode ser encontrada em Thomé et al. (1999).

Os dados sobre os solos e sobre as características da paisagem foram obtidos, por meio de compilação, no levantamento de reconhecimento dos solos do

Estado, na escala de 1:250.000 (Embrapa, 1998). De maneira geral, são encontrados, nestas microrregiões, solos com horizonte B latossólico (Latosolos Vermelhos e Latossolos Brunos); B nítico (Nitossolos), B incipiente (Cambissolos) e com seqüência de horizontes A, R (Neossolos Litólicos). A avaliação foi efetuada para todas as unidades de mapeamento (57), sendo 27 unidades com dois componentes, 18 unidades simples e 12 unidades com três componentes.

O ALES caracteriza-se por apresentar: (a) uma estrutura para uma base de conhecimento, que permite descrever os tipos de uso da terra propostos; (b) uma estrutura para um banco de dados, que permite descrever as áreas por avaliar; (c) um mecanismo de inferência para relacionar os dois componentes anteriores, que permite computar a avaliação física e econômica de um conjunto de unidades de mapas para os tipos de usos da terra propostos; (d) uma facilidade de entendimento, que permite aos avaliadores refinar seus modelos; (e) um módulo de consulta, que permite a um usuário obter dados sobre determinado tipo de uso da terra em qualquer tempo; (f) um gerador de relatório (na tela, em papel ou na forma de arquivo), e (g) um módulo de importação/exportação, que permite que os dados sejam trocados com bancos de dados externos, sistemas geográficos de informação e planilhas eletrônicas.

Na construção do ATOSC, foi utilizada a versão 4.65 do ALES (Rossiter & Van Wambeke, 1997) e os principais passos utilizados na construção deste modelo incluíram a definição dos requerimentos dos tipos de utilização da terra e a subseqüente comparação destes com os atributos de cada unidade de mapa.

Na figura 1, é apresentado o fluxograma que descreve, de modo geral, os passos utilizados, desde a seleção das culturas até à obtenção dos resultados finais. Neste modelo, os tipos de utilização da terra (culturas) e as informações sobre os recursos naturais (dados sobre as unidades de mapeamento) constituem as principais entradas de dados do modelo.

No ATOSC, os tipos de uso da terra levam em consideração os requerimentos biológicos e físicos

Quadro 1. Regiões e sub-regiões agroecológicas, sua localização, área e percentagem em relação às microrregiões de Chapecó e Xanxerê (SC)

Região	Sub-região	Localização	Área (km ²)	(%)
2	2C	Vale do Rio Uruguai	3.950,60	36,24
3	3C	Noroeste Catarinense	5.819,04	53,39
4	4B	Alto Vale do Rio do Peixe e Alto Irani	1.130,36	10,37
Total das microrregiões			10.900	100

Fonte: Thomé et al. (1999).

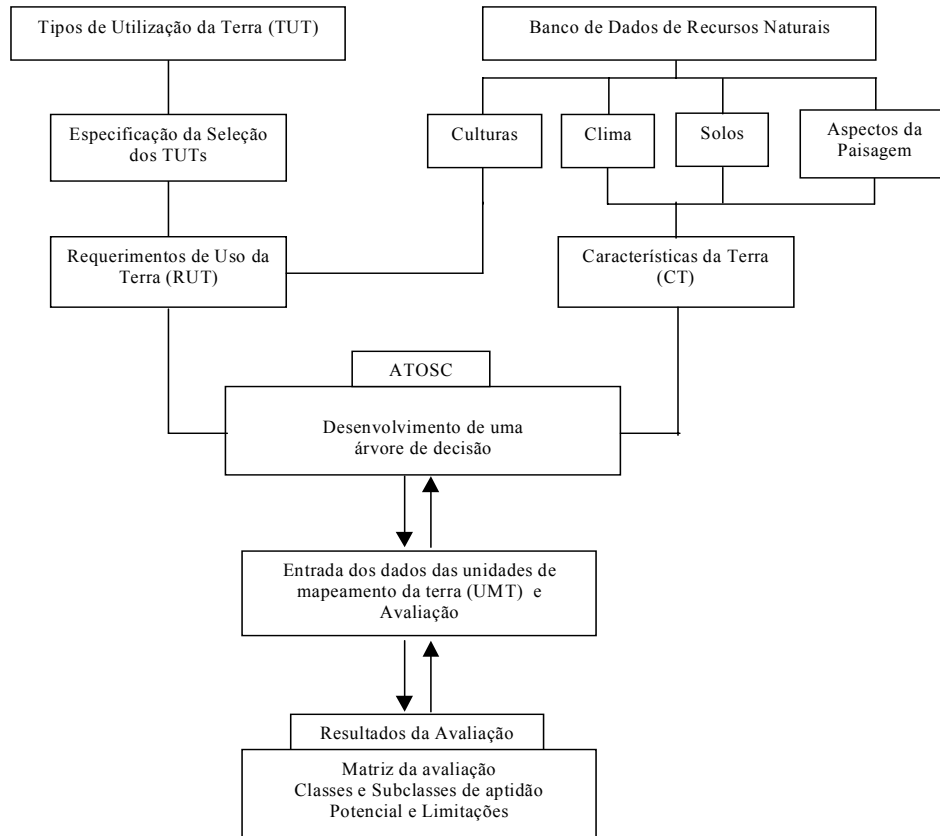


Figura 1. Fluxograma da avaliação das terras utilizando-se o ATOSC (adaptado de Yizengaw & Verheye, 1995).

das culturas selecionadas. Neste caso, os tipos de utilização da terra considerados foram: feijão, milho, soja e trigo. A avaliação considerou a utilização destas culturas em cultivos solteiros e sob condições de sequeiro, de acordo com os níveis tecnológicos normalmente empregados nestas culturas no Estado, que são: feijão - médio nível tecnológico e milho, soja e trigo - alto nível tecnológico (Thomé et al., 1999). Por outro lado, as informações sobre os recursos naturais compreendem os atributos climáticos, de solos e das condições da paisagem que interferem na produção dessas culturas.

Para cada tipo de utilização da terra, foram especificados: o código, o nome e seus respectivos requerimentos de uso da terra (RUT). Os requerimentos de cada cultura foram definidos por uma combinação específica das características das terras selecionadas, que determina o nível de severidade de cada um deles em relação à cultura. Os requerimentos de uso (RUT) e as características das terras (CT) utilizadas para a avaliação das diferentes culturas, bem como suas definições (código e nome das classes) e valores (limites das classes), são apresentados nos quadros 2 e 3.

Conforme se pode observar (Quadro 2), uma mesma característica pode ser empregada para qualificar mais de um tipo de requerimento de uso

da terra, sendo a importância de cada uma determinada de acordo com o tipo de utilização da terra avaliado. Para cada requerimento de uso da terra é construída uma árvore de decisão onde são determinados os níveis de severidade para cada classe das características da terra, de acordo com as especificações do tipo de utilização (culturas) que está sendo avaliado. Nesta avaliação, as características das terras podem ser empregadas em combinação com outra(s) característica(s) ou de maneira isolada.

Foram estabelecidos quatro níveis de severidade que indicam aumento do grau de limitação ou diminuição do potencial para determinado tipo de uso da terra, que são: (1) limitação nula ou ligeira (favorável); (2) limitação moderada (moderadamente favorável); (3) limitação forte (pouco favorável), e (4) limitação muito forte (desfavorável).

A árvore de decisão é o componente básico do sistema especialista (Yizengaw & Verheye, 1995). Nela, são implementadas as regras que permitirão o enquadramento das terras, em classes de adequação definidas, baseado na qualidade dos requerimentos conforme o tipo de uso. São apresentadas, a título de exemplo, árvores de decisão referentes a um requerimento de uso da terra para alguns tipos de utilização (Figuras 2, 3, 4 e 5).

Quadro 2. Requerimentos de uso das terras selecionados no ATOSC

Código	Nome	Característica utilizada
FN	Fertilidade natural	CTC, saturação por bases, saturação por alumínio e textura
RU	Capacidade de retenção de umidade	Textura superficial, textura subsuperficial, profundidade do solo
CE	Condições para enraizamento	Profundidade do solo, textura superficial, textura subsuperficial, gradiente textural e fragmentos grosseiros
RE	Risco de erosão	Relevo, textura superficial, textura subsuperficial e profundidade do solo
CM	Condições para mecanização	Relevo, fragmentos grosseiros e classe de drenagem
CC	Condições climáticas	Temperatura, precipitação e risco de geada
RI	Risco de inundação	Relevo e classe de drenagem

Quadro 3. Características das terras e suas respectivas classes

Código	Característica	Classe ⁽¹⁾
CT	CTC	Alta e baixa
V	Saturação por bases	Alta, média, baixa e muito baixa
M	Saturação por alumínio	Alta, média, baixa e muito baixa
T1	Textura superficial	Arenosa, média, argilosa e muito argilosa
T2	Textura subsuperficial	Arenosa, média, argilosa e muito argilosa
P	Profundidade do solo	Muito profunda, profunda, pouco profunda e rasa
R	Relevo	Plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado
GT	Gradiente textural	Abrupto e não-abrupto
FG	Fragmentos grosseiros	Ausentes, poucos, moderados e abundantes
DR	Drenagem da área	Excessivamente drenada, fortemente drenada, acentuadamente drenada, bem drenada, moderadamente drenada, imperfeitamente drenada e mal drenada

⁽¹⁾ Classes definidas por Molinari & Pundek (1996) e Embrapa (1999).

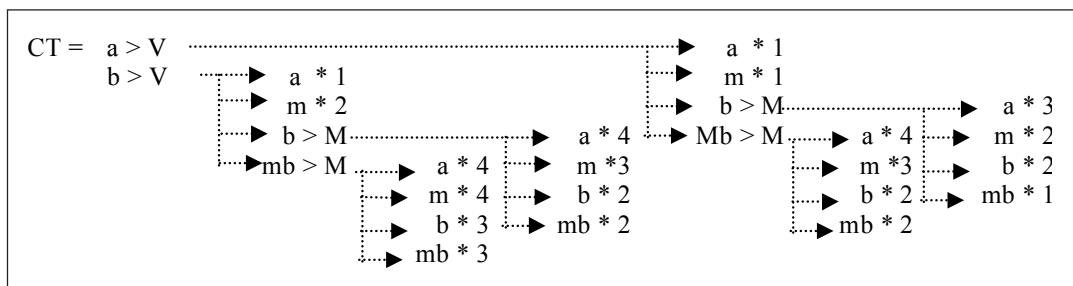


Figura 2. Representação esquemática da árvore de decisão utilizada na avaliação do feijão, considerando o requerimento de uso da terra fertilidade natural. Em que: CT - capacidade de troca de cátions; V - saturação por bases; M - saturação por alumínio; a - alta; m - média; b - baixa; mb - muito baixa; *1 - limitação nula ou ligeira; *2 - limitação moderada; *3 - limitação forte; *4 - limitação muito forte.

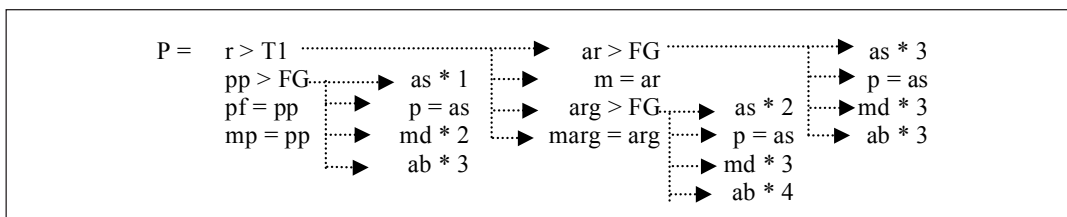


Figura 3. Representação esquemática da árvore de decisão utilizada na avaliação do milho, considerando o requerimento de uso da terra condições de enraizamento. Em que: P - profundidade do solo; T1 - textura superficial; FG - fragmentos grosseiros; r - raso; pp - pouco profundo; pf - profundo; mp - muito profundo; ar - arenosa; m - média; arg - argilosa; marg - muito argilosa; as - ausente; p - pouco; md - moderado; ab - abundante; *1 - limitação nula ou ligeira; *2 - limitação moderada; *3 - limitação forte; *4 - limitação muito forte.

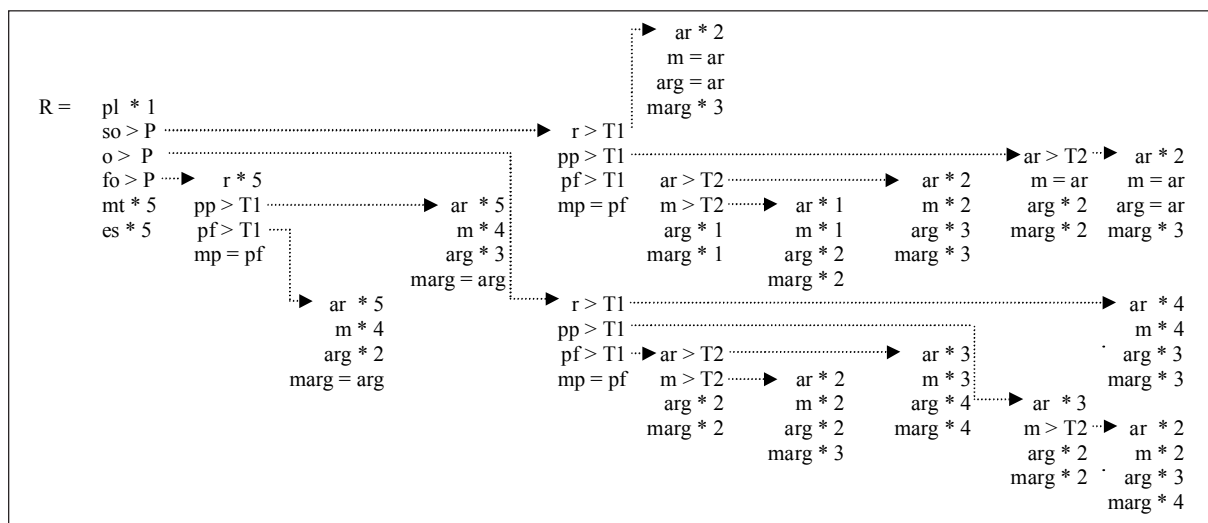


Figura 4. Representação esquemática da árvore de decisão utilizada na avaliação da soja, considerando o requerimento de uso da terra risco de erosão. Em que: R - relevo; P - profundidade do solo; T1 - textura superficial; T2 - textura subsuperficial; pl - plano; so - suave ondulado; o - ondulado; fo - forte ondulado; mt - montanhoso; es - escarpado; r - raso; pp - pouco profundo; pf - profundo; mp - muito profundo; ar - arenosa; m - média; arg - argilosa; marg - muito argilosa; *1 - limitação nula ou ligeira; *2 - limitação moderada; *3 - limitação forte; *4 - limitação muito forte.

Para avaliar as unidades de mapeamento da terra (UMT), foi necessário definir no sistema o formato de entrada dos dados (Templates), o qual especifica as características da terra que serão avaliadas, a ordem destas no formulário de entrada e a ordem de leitura dos dados pelo sistema (Figura 6).

A seguir, as definições e os respectivos dados (características das terras) das unidades de mapeamento da terra foram incorporados ao sistema, pela importação de dois arquivos, originalmente elaborados no formato de planilhas do Excel (definicao.xls e dados.xls) e convertidos em formato (csv - separado por vírgulas) compatível com o sistema. O arquivo definicao.csv contém uma lista das unidades de mapeamento com os respectivos códigos, nomes e indicação de que as unidades são homogêneas (unidades simples) ou unidades compostas (associação). Para facilitar o processo de entrada dos dados no sistema, considerou-se cada

componente da unidade de mapeamento como uma unidade distinta (homogênea). O arquivo dados.csv contém o código das unidades de mapeamento da terra e os respectivos códigos das características da terra ordenados, de acordo com a seqüência estabelecida no formato de entrada dos dados.

Completada esta etapa, procedeu-se, então, à avaliação, propriamente dita, das terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê. Os resultados finais são apresentados em uma matriz, onde cada unidade de mapeamento da terra é enquadrada em um dos quatro níveis de severidade estabelecidos, indicando o grau de limitação para utilização do tipo de uso da terra considerado e seu(s) respectivo(s) fator(es) de limitação(ões).

Os resultados obtidos foram exportados para um arquivo no formato Excel e incorporados à tabela de atributos do mapa de solos das microrregiões de Chapecó e Xanxerê, no aplicativo de SIG ArcView

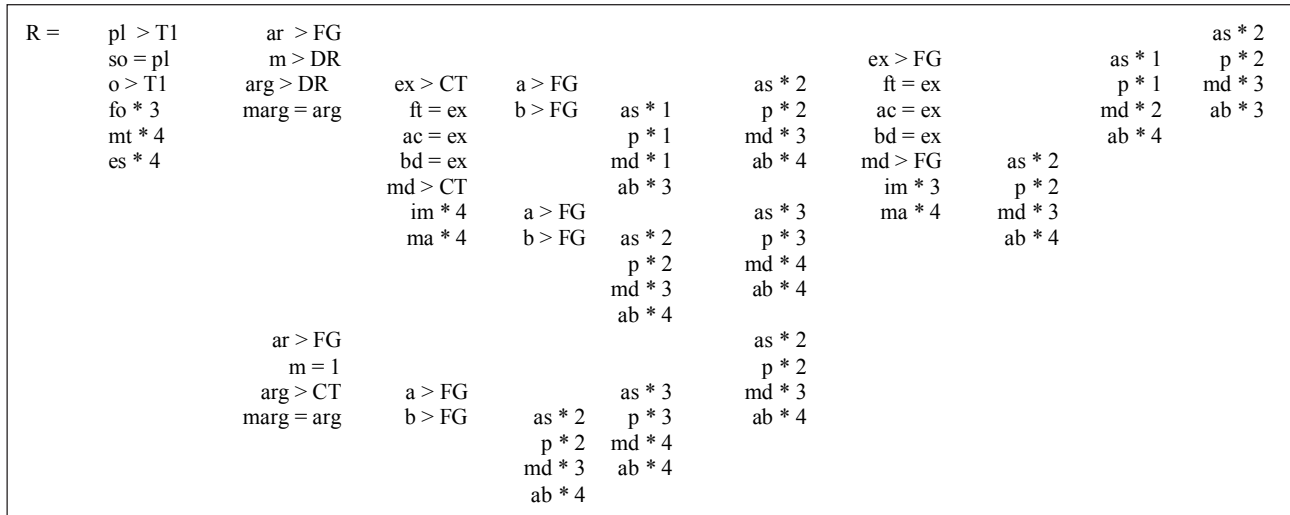


Figura 5. Representação esquemática da árvore de decisão utilizada na avaliação do trigo, considerando o requerimento de uso da terra condições de mecanização. Em que: R - relevo; FG - fragmentos grosseiros; DR - classe de drenagem; CT - capacidade de troca de cátions; T1 - textura superficial; pl - plano; so - suave ondulado; o - ondulado; fo - forte ondulado; mt - montanhoso; es - escarpado; ar - arenosa; m - média; arg - argilosa; marg - muito argilosa; as - ausente; p - pouco; md - moderado; ab - abundante; ex - excessivamente drenado; ft - fortemente drenado; ac - acentuadamente drenado; bd - bem drenado; md - moderadamente drenado; im - imperfeitamente drenado; ma - mal drenado; a - alta; b - baixa; *1 - limitação nula ou ligeira; *2 - limitação moderada; *3 - limitação forte; *4 - limitação muito forte.

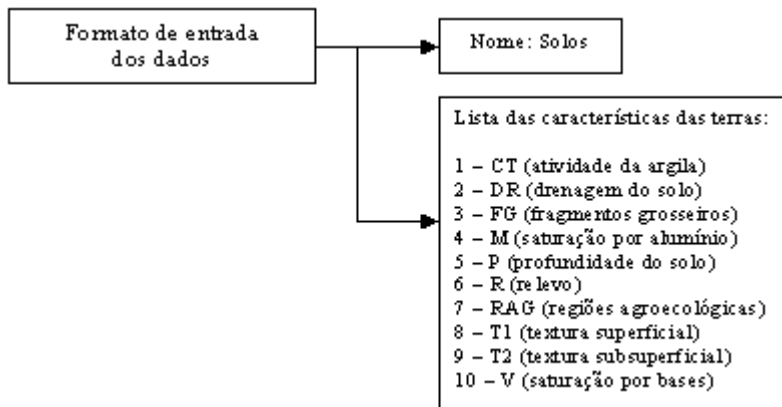


Figura 6. Descrição do formato de entrada dos dados no ATOSC.

(ESRI, 1996). Finalmente, pela reclassificação deste mapa, foram obtidos os mapas de aptidão das culturas do feijão, milho, soja e trigo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da avaliação das terras das microrregiões estudadas são apresentados como classes de adequação física, em que as unidades de mapeamento da terra estão enquadradas em um dos níveis de severidade estabelecidos no modelo do ATOSC; e como subclasses de adequação, além dos níveis de severidade, são apresentados os principais fatores limitantes que levaram ao enquadramento

da unidade de mapeamento da terra em determinada classe de adequação. Além desses, o ALES permite a apresentação dos resultados, individualmente, de cada requerimento de uso da terra considerado (valores de qualidade das terras), possibilitando, assim, a realização de ajustes no processo de avaliação.

Durante a elaboração das árvores de decisão para os tipos de utilização da terra, determinou-se que os requerimentos de uso da terra seriam avaliados de acordo com o método de avaliação pela limitação máxima (lei do mínimo), exceto para o requerimento fertilidade natural, nos casos do milho, da soja e do trigo, já que o uso de corretivos e fertilizantes é uma prática prevista e bastante comum no manejo destas culturas na região (Quadro 4).

Quadro 4. Resultados obtidos com a avaliação das terras das microrregiões estudadas

Unidade de mapeamento	Tipo de utilização da terra			
	Feijão	Milho	Soja	Trigo
CXa1	3fn/re + 4re	3cm + 4ce	3cc/cm + 4ce/re	3cm + 4ce/re
CXa2 e CXa3	4re + 4re	4re + 4ce/re	4re + 4ce/re	4re + 4ce/re
CXa4	3fn/re + 4re + 3fn	3cm + 4ce/re	3cc + 4cc/re + 3cc	3cm + 4ce/re + 2re
CXa5	3fn/re	2fn/re	3cc	2cm/re
CXa6	3fn + 4cm	2fn/re + 4cm	3cc + 4ce/cm	2re + 4cm
CXvd1 e CXvd2	4re + 4ce/re + 2fn/re	4re + 4re + 2cm/re	4re + 4ce/re + 2cm/re	4re + 4re + 2cm/re
CXve1 e CXve2	4re + 4ce/re	4cm/re + 4cm/re	4re + 4cm/re	4re + 4ce/re
CXve3 e CXve4	4re + 4ce/re + 2fn/re	4re + 4re + 2cm/re	4re + 4ce/re + 2cm/re	4re + 4re + 2cm/re
CXve5 e CXve6	4re + 4ce/re + 2fn/re	4re + 4re + 2cm/re	4re + 4ce/re + 2cm/re	4re + 4re + 2cm/re
CXve7	4re + 4ce/re + 2fn/re	4re + 4re + 2cm/re	4re + 4ce/re + 3cc	4re + 4re + 2cm/re
LBd1	2fn + 3fn	1 + 2fn/re	1 + 2cm/re	1 + 2cm/re
LBd2	2fn + 3fn	1 + 2fn/re	3cc + 3cc	1 + 2cm/re
LBd3	2fn	1	1	1
LBd4	2fn	1	3cc	1
LBd5	2fn	1	1	1
LBd6	2fn + 3fn/re	1 + 2fn/re	1 + 2cm/re	1 + 2cm/re
LBd7	2fn + 3fn/re	1 + 2fn/re	3cc	1 + 2cm/re
LBd8	2fn	1	1	1
LBd9	2fn	1	1	1
LBd10	2fn	1	1	1
LBd11	2fn + 3fn	1 + 2fn/re	1 + 2cm/re	1 + 2cm/re
LBd12	2fn + 3fn	1 + 2fn/re	1 + 2cm/re	1 + 2cm/re
LBd13	2fn + 3fn/re	1 + 2fn/re	1 + 2cm/re	1 + 2cm/re
LBd14	2fn + 3fn/re	1 + 2fn/re	3cc + 3cc	1 + 2cm/re
LVdf1	2fn	1	1	1
LVdf2	2fn	1	1	1
LVdf3	2fn + 3fn	1 + 2fn/re	1 + 2cm/re	1 + 2cm/re
LVdf4	2fn + 3fn	1 + 2fn/re	1 + 2cm/re	1 + 2cm/re
RL1	4ce/re + 3fn/re	4ce/fn + 3cm	4ce/cm + 3cc/ce/cm	4ce/cm + 3cm
NXd1	2fn/re	2re	2cm/re	2cm/re
NXd2	2fn/re	2re	3cc	2cm/re
NXd3	2fn/re + 3fn	2re + 2fn	2cm/re + 1	2cm/re + 1
NXd4	2fn/re + 3fn	2re + 2fn	3cc	2cm/re + 1
NXd5	2fn + 3fn/re	1 + 3cm	3cc + 3cc/ce/cm	1 + 3cm
NXd6	2fn	1	1	1
NXd7	2fn	1	3cc	1
NXd8	2fn/re	2cm/re	2cm/re	2cm/re
NXd9	2fn/re	2cm/re	2cm/re	2cm/re
NXd10	2fn + 3fn	1 + 2fn/re	1 + 2re	1 + 2re
NXd11	2fn/re + 4re	2cm/re + 4re	2cm/re + 4re	2cm/re + 4re
NXd12	2fn + 4re	1 + 4re	1 + 4ce/re	1 + 4re
NXd13	2fn + 4re	1 + 4re	1 + 4ce/re	1 + 4re
NXd14	2fn + 4re	1 + 4re	3cc + 4ce/re	1 + 4re
NXe1	2fn	1	1	1
NXe2	2fn + 4re + 3re	1 + 4re	1 + 4re + 3ce/cm/re	1 + 4re + 3ce/re
NXe3	2fn + 4re + 3re	1 + 4re + 3cm/re	1 + 4re + 3ce/cm/re	1 + 4re + 3ce/re
NXe4	2fn + 4re + 3re	1 + 4re + 3cm/re	3cc + 4ce/re + 3cc/re	1 + 4re + 3ce/re
NVef1	3fn/re	2re	2cm/re	2cm/re
NVef2	3fn/re	2re	2cm/re	2cm/re
NVef3	3fn/re + 3re	2re + 3cm	2cm/re + 3cm	2cm/re + 3cm
NVef4	3fn/re + 3re	2re + 3cm	2cm/re + 3cm	2cm/re + 3cm
NVef5	2fn + 4cm + 4ce/cm	1 + 4cm + 4ce/cm	1 + 4cm + 4ce/cm	1 + 4cm + 4ce/cm

1 - favorável; 2 - moderadamente favorável; 3 - pouco favorável; 4 - desfavorável; fn - limitação por fertilidade natural; re - limitação por risco de erosão; cm - limitação por condições de mecanização; ce - limitação por condições de enraizamento; cc - limitações por condições climáticas.

Os resultados mostram que a fertilidade natural, o risco de erosão das terras, as condições para o enraizamento e as condições para mecanização das lavouras são os fatores que mais afetam o crescimento e produção das culturas (Quadro 4). A maioria das unidades de mapeamento foi enquadrada nas classes 3 (pouco favorável) e 4 (desfavorável) para todas as culturas avaliadas. Neste sentido, das 57 unidades de mapeamento de solos identificadas nas microrregiões de Chapecó e Xanxerê, 25 ocorrem em condições de relevo ondulado (14) e forte ondulado (11), onde são encontrados os Cambissolos e os Nitossolos. Embora apresentem características distintas, determinadas pelo tipo de horizonte diagnóstico, estes solos, principalmente aqueles que ocorrem em relevo forte ondulado, apresentam comportamento semelhante com relação ao risco de erosão, que é elevado. Quanto à fertilidade natural, a maioria apresenta fertilidade baixa ou muito baixa, sendo este um dos principais fatores limitantes, principalmente para a cultura do feijão, que é cultivado por pequenos produtores sob condições de médio nível tecnológico.

Dentre as culturas avaliadas, apenas a soja apresenta limitações climáticas em uma das regiões

agroecológicas (4B) identificadas nas microrregiões de Chapecó e Xanxerê, que são: soma térmica no ciclo da cultura (graus-dia) menor que 600, deficiência hídrica nas fases de semeadura e emergência maior que 10 mm e deficiência hídrica na fase de enchimento dos grãos maior que 20 mm, não sendo, portanto, recomendado o seu cultivo (Thomé et al., 1999). Para as demais culturas não existem restrições significativas do ponto de vista climático (Figuras 7 a 10 e Quadro 5).

Os resultados mostram que a classe 1 (favorável) para o cultivo de feijão, nessas microrregiões, não foi identificada, estando este resultado relacionado, principalmente, com a baixa fertilidade natural dos solos (Latosolos e alguns Nitossolos distróficos), já que a cultura é tradicionalmente cultivada em um nível tecnológico médio (manejo B), com aplicação de fertilizantes e corretivos modesta e com o elevado risco de erosão dos solos (Cambissolos e Nitossolos, que ocorrem em áreas muito declivosas). De maneira geral, predominam as terras das classes 3 (pouco favorável) e 4 (desfavorável) para o cultivo do feijão. A média de área plantada com feijão nestas microrregiões (1990–2002), de acordo com os dados da Produção Agrícola Municipal do IBGE, é de apro-

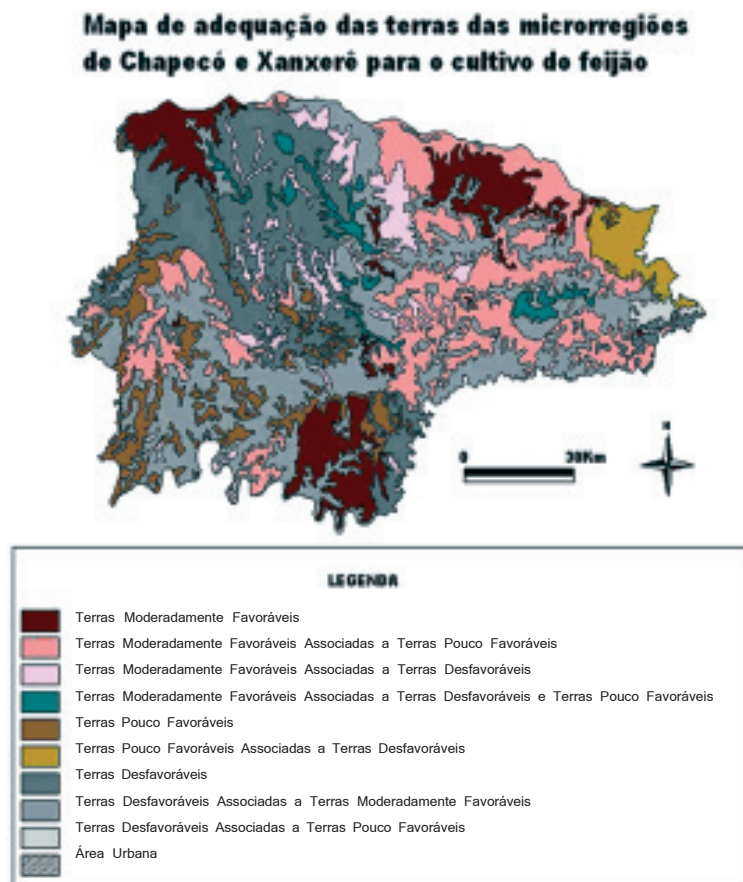


Figura 7. Classes de adequação das terras para o cultivo do feijão.

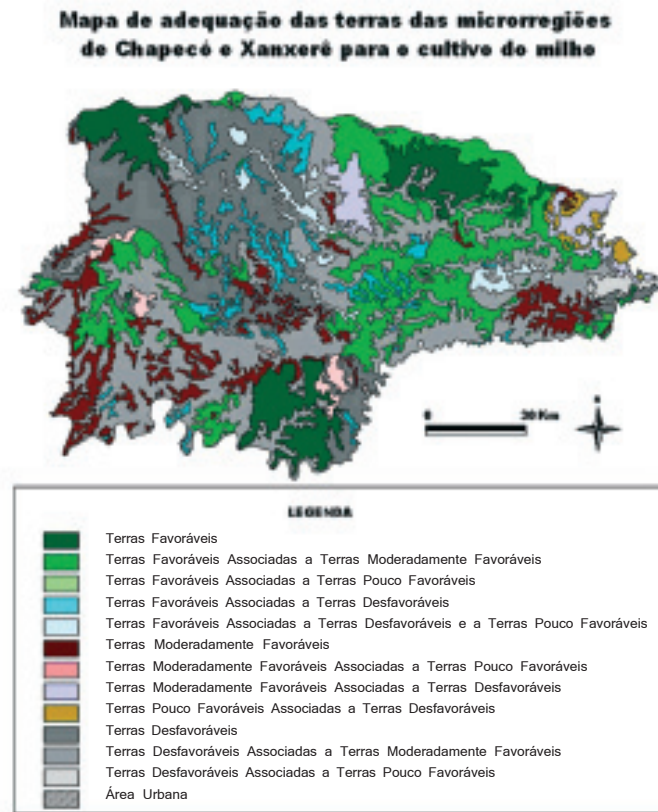


Figura 8. Classes de adequação das terras para o cultivo do milho.

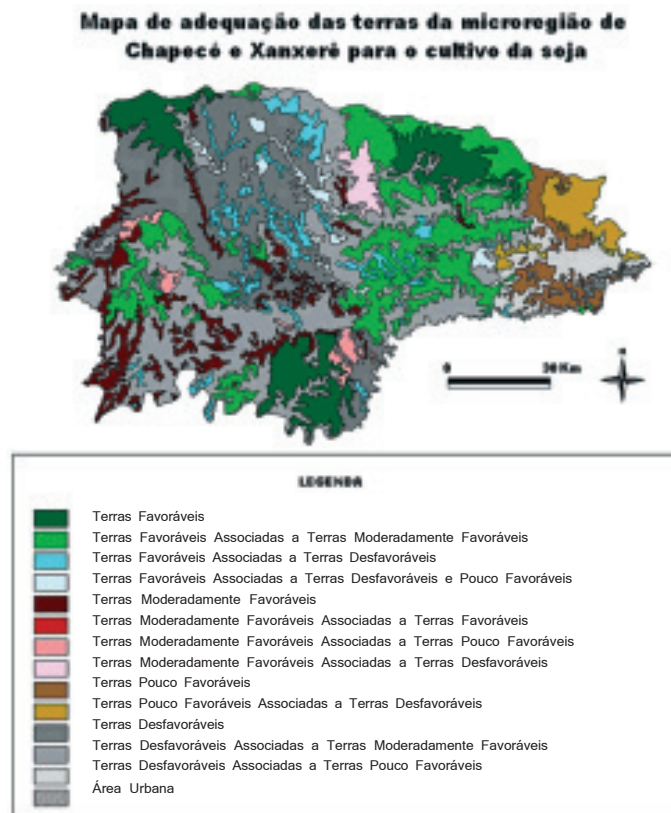


Figura 9. Classes de adequação das terras para o cultivo da soja.

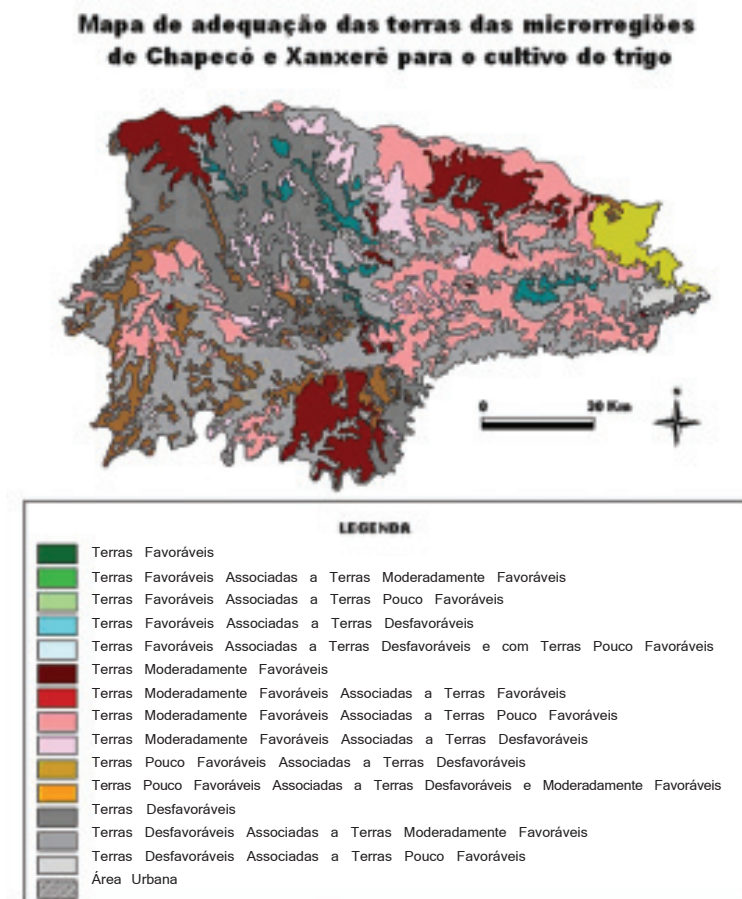


Figura 10. Classes de adequação das terras para o cultivo do trigo.

Quadro 5. Resultados quantitativos obtidos com a avaliação das terras das microrregiões estudadas

Classe de adequação	Tipo de utilização da terra							
	Feijão		Milho		Soja		Trigo	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
1	-	0,00	1.093,20	10,03	1.077,82	9,89	1.093,20	10,03
1 & 2	-	0,00	2.005,18	18,40	1.851,63	16,99	2.005,18	18,40
1 & 3	-	0,00	8,59	0,08	-	0,00	8,59	0,08
1 & 4	-	0,00	589,67	5,41	588,31	5,40	589,67	5,41
1 & 4 & 3	-	0,00	296,34	2,72	247,84	2,27	296,34	2,72
2	1.168,72	10,72	995,05	9,13	826,13	7,58	842,62	7,73
2 & 1	-	0,00	-	0,00	-	0,00	152,44	1,40
2 & 3	2.166,20	19,87	146,98	1,35	146,98	1,35	146,98	1,35
2 & 4	740,36	6,79	331,98	3,05	150,69	1,38	331,98	3,05
2 & 4 & 3	296,34	2,72	-	0,00	-	0,00	-	0,00
3	914,08	8,39	-	0,00	217,16	1,99	-	0,00
3 & 4	286,35	2,63	105,06	0,96	336,2	3,08	105,05	0,96
4	2.080,32	19,09	2.080,32	19,09	2.080,32	19,09	2.080,32	19,09
4 & 2	3.122,24	28,64	3.122,24	28,64	2.953,10	27,09	3.122,24	28,64
4 & 3	72,35	0,66	72,35	0,66	370,78	3,40	72,35	0,66
Área urbana							53,04 km ²	
Área total							10.900 km ²	

1 - terras favoráveis; 2 - terras moderadamente favoráveis; 3 - terras pouco favoráveis; 4 - terras desfavoráveis; & -indica a ocorrência de duas ou mais classes de adequação em uma mesma unidade de mapeamento de solos.

ximadamente 116.000 ha, enquanto a produtividade média para o mesmo período atinge cerca de 700 kg ha⁻¹. As terras enquadradas na classe de adequação moderadamente favorável perfazem 437.162 ha (40 %), sendo suficiente para atender à demanda da cultura, considerando a baixa produtividade média alcançada nestas microrregiões.

Com relação ao milho, a maioria das terras está enquadrada na classe 3 e 4, portanto, não adequadas. Entretanto, diferentemente do feijão, são identificadas terras na classe de adequação favorável (aproximadamente 36 %), já que a cultura do milho é menos dependente da fertilidade natural do que o feijão, e práticas de manejo como o plantio direto são mais utilizadas, fazendo com que terras que apresentam alguma limitação quanto ao risco de erosão possam ser incorporadas ao processo produtivo.

As terras não adequadas (classes 3 e 4) para o plantio de soja são dominantes nestas microrregiões; no entanto, como no caso do milho, as terras adequadas (classes 1 e 2) são também bastante significativas. Sendo a soja uma cultura bastante tecnificada, as principais limitações para o seu cultivo são as condições para mecanização da lavoura e o risco de erosão dos solos. Os Cambissolos e Nitossolos que ocorrem em relevo movimentado (ondulado e forte ondulado) são, normalmente, os que se enquadram nestas classes. Outra limitação, já destacada anteriormente, é a condição climática restritiva na parte leste das microrregiões (região agroecológica 4B).

As terras destas microrregiões, com relação ao trigo, apresentam comportamento semelhante ao da soja, já que também é uma cultura que demanda o uso de tecnologia mais avançada para o seu cultivo. Sendo assim, as principais limitações também são o risco de erosão e as condições para mecanização das lavouras. Diferentemente da soja, as condições climáticas não são limitantes.

A aplicação do ATOSC para a avaliação das terras destas microrregiões facilitou sobremaneira o processo de comparação entre as características das terras (condições dos solos e condições climáticas) e os requerimentos de uso das culturas avaliadas, facilitando também a identificação dos principais fatores limitantes ao desenvolvimento destas culturas, quando comparado à avaliação das terras realizada do modo convencional (Ramalho Filho & Beek, 1995), onde a avaliação é demorada, qualitativa e subjetiva.

Segundo Yizengaw & Verheye (1995), limitações importantes, como a fertilidade natural, no caso da cultura do feijão, podem ser parcial ou totalmente eliminadas por meio de práticas de calagem e adubação, respeitando-se sempre outras possíveis limitações; e o risco de erosão, nos casos da soja e do trigo, pela utilização do plantio direto. Outras alternativas podem ser utilizadas para contornar

estas limitações, tais como: o cultivo de variedades adaptadas, o uso de outras culturas mais adaptadas a tais limitações, a utilização como áreas de preservação ou, ainda, a destinação das áreas com limitações severas ou degradadas para recuperação da vegetação original.

CONCLUSÕES

1. O sistema automatizado de avaliação de terras (ALES) facilitou o processo de comparação entre as características das terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê e os requerimentos de uso considerados por permitir efetuar automaticamente a avaliação das terras, reduzindo, assim, o tempo gasto neste processo.

2. O sistema especialista (ATOSC) estruturado a partir do ALES tem como característica principal a sua flexibilidade, que permite a incorporação de novas variáveis para avaliação das terras, a utilização de vários níveis de informação e a possibilidade de avaliação de outros tipos de utilização da terra.

3. As terras das microrregiões de Chapecó e Xanxerê foram enquadradas, em sua maior parte, nas classes de adequação pouco favorável (3) e desfavorável (4), para as culturas de feijão e soja, as quais, somadas, perfazem 59,41 e 54,65 % (respectivamente) e as culturas de milho e trigo, nas classes favorável (1) e moderadamente favorável (2) que, juntas, perfazem 50,17 % para ambas as culturas.

4. Os principais fatores limitantes identificados nestas microrregiões foram a fertilidade natural e o risco de erosão, para o feijão e o milho, e condições de mecanização e risco de erosão, para a soja e o trigo.

LITERATURA CITADA

- ASSAD, M.L.L. Sistema de informações geográficas na avaliação da aptidão agrícola de terras. In: ASSAD, E.D. & SANO, E.E., eds. Sistema de Informações geográficas: aplicações na agricultura. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1993. p.174-199.
- BENNEMA, J.; BEEK, K.J. & CAMARGO, M.N. Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamentos de reconhecimento de solos. Rio de Janeiro, DPFS/DPEA/MA/FAO, 1964. Não publicado.
- BOGGES, W.G.; Van BLOKAND, P.J. & MOSS, S.D. FINARIS: a financial analysis review expert system. *Agric. Syst.*, 31:19-34, 1989.
- De LA ROSA, D.; MORENO, J.A. & GARCIA, L.V. Expert evaluation system for assessing field vulnerability to agrochemical compounds in Mediterranean regions. *J. Agric. Eng. Res.*, 56:153-164, 1993.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro, 1998. (Embrapa-CNPS. Boletim de Pesquisa, 6) CD-ROM
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro, Embrapa Produção da Informação, 1999. 412p.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. ArcView GIS. The Geographic Information System for everyone. New York, 1996. Conjunto de software. CD-ROM
- FAO. A framework for land evaluation. Rome, 1976. 72p. (FAO. Soils Bulletin, 32)
- FAO. Guidelines: land evaluation for rainfed agriculture. Rome, 1983. 237p. (FAO. Soils Bulletin, 52)
- FERNANDES FILHO, E.I. Desenvolvimento de um sistema especialista para determinação da aptidão agrícola de duas bacias hidrográficas. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 71p. (Tese de Doutorado)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (Rio de Janeiro, RJ). Malha municipal digital do Brasil (situação em 1997). Rio de Janeiro, 1999. 1 CD-ROM
- LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; BERTOLINI, D. & ESPÍNDOLA, C.R. Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. 175p.
- MOLINARI, A.J. & PUNDEK, M. Curso de solos de Santa Catarina. Florianópolis, EPAGRI, 1996. 145p. Não publicado.
- PLANT, R.E. An integrated expert decision support system for agricultural management. *Agric. Syst.*, 29: 49 - 66, 1989.
- RAMALHO FILHO, A. & BEEK, K.J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3.ed. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1995. 65p.
- ROSSITER, D.G. A theoretical framework for land evaluation (with discussion). *Geoderma*, 72:165-190, 1996.
- ROSSITER, D.G. Automated land evaluation system, version 4.6. Ithaca, Cornell University, 1995. Conjunto de software: 2 Disquetes 3 1/2.
- ROSSITER, D.G. & van WAMBEKE, A.R. Automated land evaluation system version 4.65 user's manual. Ithaca, Cornell University, 1997. 280p.
- ROSSITER, D.G. ALES: A framework for land evaluation using a microcomputer. *Soil Use Manag.*, 6:7-20, 1990.
- SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. Manual de uso, manejo e conservação da água: Projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. 2.ed. Florianópolis, EPAGRI, 1994. 384p.
- THOMÉ, V.M.R.; ZAMPIERI, S.; BRAGA, H.J.; PANDOLFO, C.; SILVA JÚNIOR, V.P.; BACIC, I.L.Z.; LAUS NETO, J.A.; SOLDATELI, D.; GEBLER, E.F.; DALLE ORE, F.A.; ECHEVERRIA, L.C.R.; RAMOS, M.G.; CAVALHEIRO, C.N.R.; DEEKE, M.; MATTOS, J.F. & SUSKI, P.P. Zoneamento agroecológico e socioeconômico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, EPAGRI, 1999. CD-ROM.
- WANDAHWA, P. & van RANST, E. Qualitative land suitability assessment for pyrethrum cultivation in west Kenya based upon computer-captured expert knowledge and GIS. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 56:187-202, 1996.
- YIZENGAW, T. & VERHEYE, W. Application of computer captured knowledge in land evaluation, using ALES in central Ethiopia. *Geoderma*, 66:297-311, 1995.