

USO DE SIG COMO SUPORTE AO PLANEJAMENTO FÍSICO-TERRITORIAL: UM ESTUDO DE CASO APLICADO AO MUNICÍPIO DE VIÇOSA-MG

Taciano Oliveira da Silva¹
Felizardo Adenilson Rocha²
Flávio Henrique Eloi³
Daniel de Freitas Rodrigues⁴
Joaquim Moreira da Silva Junior⁴
Márcio Neri Santana⁴
Wilson Gandini Lugão⁵
Tiago de Azevedo Araújo⁶

RESUMO: *Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) permitem a integração de diversos dados espaciais, oriundos de fontes diversas, representados como níveis de informações. Neste estudo aplicou-se o software SIG Idrisi como suporte ao planejamento físico-territorial do município de Viçosa-MG. Foi realizada uma análise multicritério a fim de localizar áreas aptas para o desenvolvimento urbano, com o auxílio da lógica fuzzy. Para a citada análise foram estabelecidos alguns critérios, sendo esses critérios divididos em fatores e restrições para a determinação das possíveis áreas potenciais à expansão urbana. As áreas encontradas com melhor adequabilidade estão próximas da área urbana do município de Viçosa-MG e aproveitam rodovias existentes como forma de reduzir custos e impactos ambientais negativos.*

Palavras-chave: Planejamento urbano; Sistema de Informação Geográfica; Análise multicritério.

INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Informações Geográficas são importantes ferramentas que devem ser utilizadas para a tomada de decisões no planejamento físico-territorial, pois permitem a integração de diversos dados espaciais de fontes e naturezas diversas, representadas como planos de informações.

De acordo com Silva (2004), entende-se que a dinâmica de crescimento de uma cidade implica no conhecimento histórico de seu processo de ocupação. Sob essa ótica surge a oportunidade de discussão ampla, uma vez que a cidade de Viçosa-MG vem criando novas centralidades e diversificando seus vetores de crescimento.

¹ Professor Assistente do Departamento de Estudos Básicos e Instrumentais (DEBI) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB, Itapetinga-BA), Doutorando em Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa.

² Professor Adjunto do Departamento de Estudos Básicos e Instrumentais (DEBI) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB, Itapetinga-BA), Doutor em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa.

³ Professor de Topografia e Desenho Técnico das Faculdades Integradas de Caratinga (FIC, Caratinga-MG), Doutorando em Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa.

⁴ Estudantes do curso de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Viçosa (UFV, Viçosa-MG).

⁵ Estudante de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (UFV, Viçosa-MG).

⁶ Estudante do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB, Itapetinga-BA).

O município de Viçosa-MG sofreu ao longo dos anos com o crescimento desordenado na ocupação física do seu espaço territorial, devido ao súbito crescimento da população urbana, não acompanhada de um sistema de planejamento contínuo, que propiciou o aparecimento prematuro de problemas urbanos, como a circulação concentrada de veículos e pedestres.

Neste estudo visou-se, com o auxílio do software SIG Idrisi, localizar as áreas com maiores aptidões para o desenvolvimento urbano no município de Viçosa-MG. A Figura 1 mostra a localização geográfica da área de estudo.

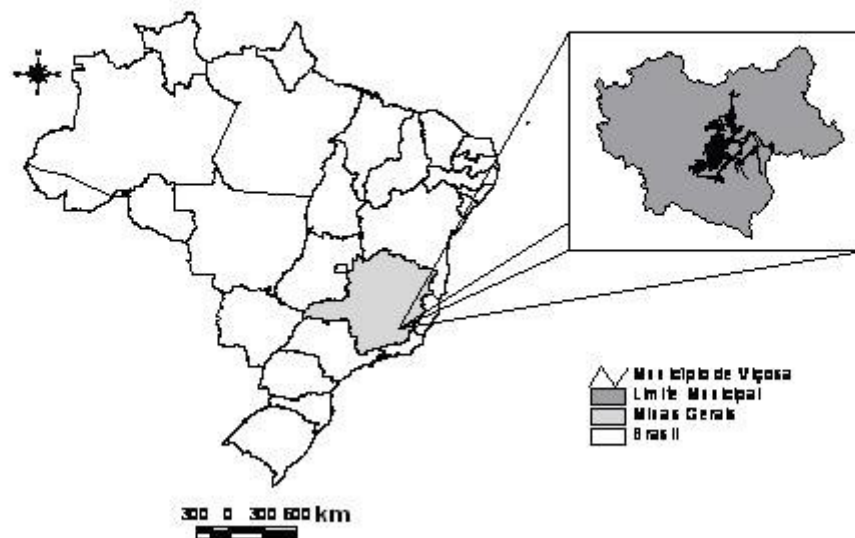


Figura1 – Localização geográfica do município de Viçosa-MG

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo: caracterização

O município de Viçosa-MG está localizado ao norte da Zona da Mata de Minas Gerais, a 229 km de Belo Horizonte. Situado entre as latitudes de 20°41'20"S a 20°49'35"S e entre as longitudes de 42°49'36"W a 42°54'27"W, a uma altitude média de 650 metros, o município abrange uma área de 300,2 km². Limita-se com os municípios de Teixeiras e Guaraciaba ao norte, Paula Cândido e Coimbra ao sul, Cajuri e São Miguel do Anta a leste e Porto Firme a oeste. (SILVA, 2004). Possui uma população de 71.624 habitantes residentes (IBGE, 2006), que se soma a uma população flutuante de aproximadamente 12 mil habitantes, na maior parte, vinculada à Universidade Federal de Viçosa (UFV), totalizando mais de 80 mil habitantes.

Material

Os materiais cartográficos digitais, softwares e equipamentos utilizados no desenvolvimento do presente trabalho foram os seguintes:

- Carta topográfica planialtimétrica do município de Viçosa-MG (2000), com equidistância vertical de 10 metros entre curvas de nível, na escala 1:25.000;
- Carta de hidrografia do município de Viçosa-MG, na escala 1:25.000;
- Carta de solos (1994) do município de Viçosa-MG, na escala 1:25.000;
- Carta de uso e ocupação do solo (2004) do município de Viçosa-MG na escala 1:25.000;
- Carta do sistema viário do município de Viçosa-MG na escala 1:25.000;
- Software AutoCAD 2000, © Autodesk, Inc (1982–1999).
- Software SIG ArcView 3.2a, © Environmental System Research Institute, Inc.
- Software SIG Idrisi 32, Version 132.2, Maio de 2001, © The Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis.
- Microcomputador *Pentium* e periféricos.

Metodologia

A proposta metodológica deste estudo e a utilização de sistemas de informações geográficas para apoio ao planejamento físico-territorial do município de Viçosa-MG compreenderam o levantamento e análise de condicionantes que foram considerados de acordo com os dados existentes nas cartas de hidrografia, declividades, sistema viário e, principalmente, uso e cobertura atual do solo, e posterior análise espacial desses dados georreferenciados.

A Figura 2 apresenta o modelo digital do terreno gerado para visualização da forma e distribuição da superfície topográfica da área de estudo.

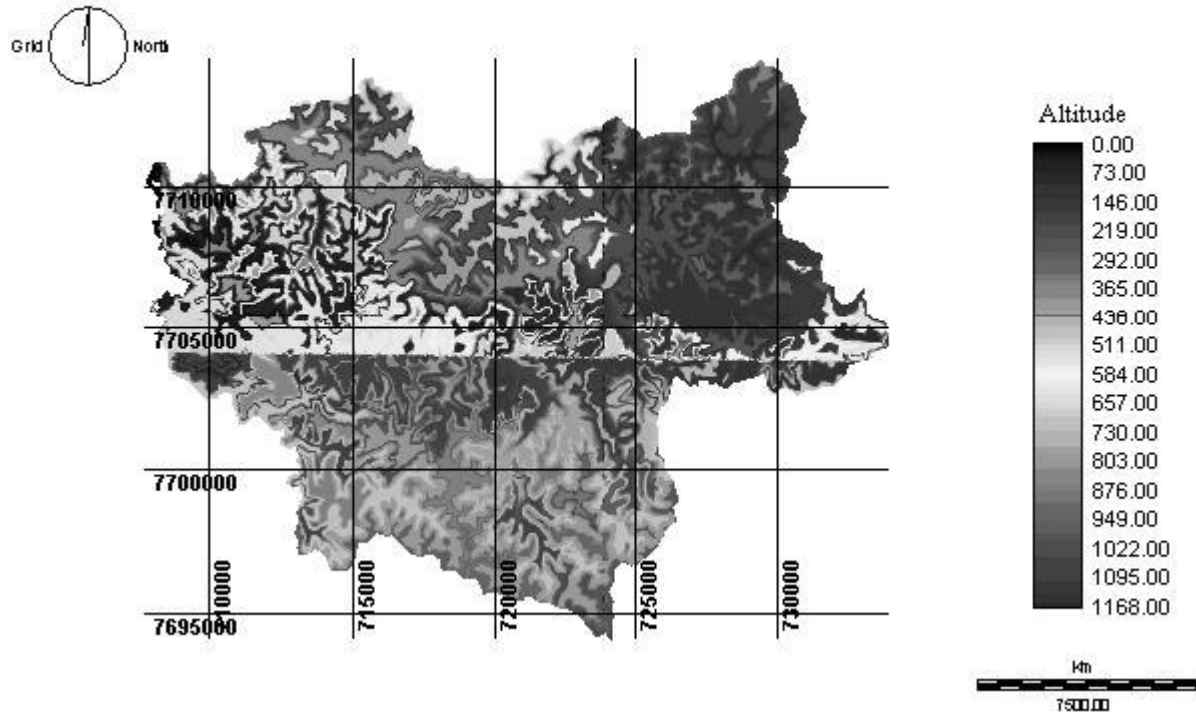


Figura 2 – Modelo digital de elevação do município de Viçosa-MG

A carta de uso e ocupação do solo do município de Viçosa-MG utilizada neste estudo contém as seguintes unidades: agricultura, pastagem, reflorestamento, capoeiras e matas secundárias, solo exposto e outros usos. A Figura 3 apresenta a carta de uso e ocupação do solo do município de Viçosa-MG, segundo a classificação do Instituto Estadual de Floresta - IEF em 2004.

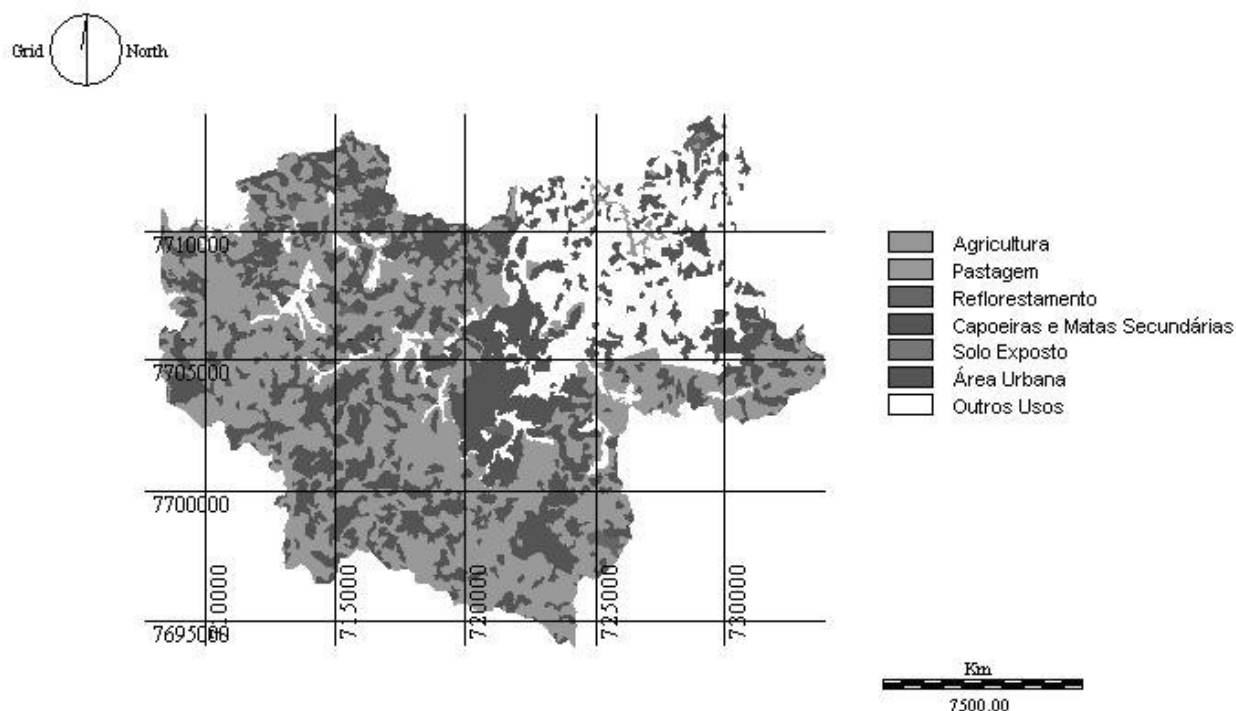


Figura 3 – Uso e ocupação do solo do município de Viçosa-MG

A Tabela 1 mostra a distribuição das unidades da carta de uso e ocupação do solo da área de estudo.

Tabela 1 – Uso e ocupação do solo do município de Viçosa-MG no ano de 2004

USO DA TERRA	ÁREA (ha)	% DA ÁREA
Agricultura	255.700	0,8554
Pastagem	12.758.744	42,6814
Reflorestamento	277.659	0,9288
Capoeiras e Matas Secundárias	10.093.043	33,7639
Solo Exposto	3.269	0,00001
Área Urbana	526.239	1,7713
Outros Usos	5.978.349	19,9992

Avaliação multicritério

A influência dos dados na definição das áreas aptas a expansão urbana no município de Viçosa-MG foi definida considerando os critérios (restrições e fatores) adotados. Como resultado, alguns dados foram classificados em intervalos em função da sua aptidão para o uso desejado, tornando-se fatores, e outros, em barreiras absolutas, impedindo o uso das áreas, tornando-se restrições.

Definição dos critérios e indicadores

Conforme Pomeranz (1992), a maneira mais comum de se traduzir os interesses divergentes da sociedade é determinando critérios por categoria. A avaliação final neste caso requer uma ponderação entre diversos valores da sociedade (econômicos, sociais, políticos, etc.), isto é, a tentativa de encontrar um ponto de equilíbrio satisfatório entre estes valores.

Quanto à formulação de indicadores, Pomeranz (1992) identifica duas ordens de problemas, uma teórica e outra operacional. Do ponto de vista operacional, a autora recomenda restringir os indicadores a um número suficiente para julgamento, reduzir o bastante para não dificultar a montagem do quadro de avaliação e sua utilização. Recomenda, ainda, selecionar indicadores que efetivamente constituam fatores de avaliação; expressar os indicadores em linguagem de significado comum, particularmente no que se refere aos indicadores qualitativos; estabelecer critérios e sistemas de valoração dos indicadores qualitativos, que não dêem margem a dúvidas de interpretação dos resultados.

Do ponto de vista teórico, recomenda-se buscar os fundamentos para a resolução dos problemas operacionais referidos, de maneira a se obter coerência entre a metodologia proposta e sua base teórica. Recomenda-se, ainda, identificar não apenas a magnitude dos efeitos, mas a sua distribuição no tempo, de forma a tornar possível a redução dos efeitos em base temporal compatível (POMERANZ, 1992).

A Tabela 2 mostra os critérios (restrições) e indicadores que foram estabelecidos para fundamentar a metodologia proposta, que considera múltiplos critérios dispostos em níveis hierárquicos. Estes critérios e indicadores foram selecionados como os mais significativos para análise.

Tabela 2 – Critérios (restrições) e indicadores do modelo proposto

CRITÉRIOS (Restrições)	INDICADORES		
	Nível 1	Nível 2	Nível 3
ASPECTO URBANO	▪ Núcleo Urbano		
ASPECTO RELEVO	▪ Classes de Declividades		▪ Áreas com severas restrições
ASPECTO HÍDRICO	▪ Meio Físico		▪ Interferência com recursos hídricos (córregos, ribeirões, rios)

A Tabela 3 mostra os critérios (fatores) e indicadores do modelo proposto.

Tabela 3 - Critérios (fatores) e indicadores do modelo proposto

CRITÉRIOS (Fatores)		INDICADORES	
Nível 1	Nível 2	Nível 3	
ASPECTO RELEVO	▪ Classes de declividade	▪ Áreas favoráveis	▪ Áreas com algumas restrições
ASPECTO SOCIOECONÔMICO	▪ Uso e cobertura do solo	▪ Áreas de agricultura	▪ Áreas de pastagem
		▪ Áreas de reflorestamento	▪ Áreas de solo exposto
		▪ Áreas com outros usos	
ASPECTO VIÁRIO	▪ Distância das rodovias		
ASPECTO AMBIENTAL	▪ Meio Biótico	▪ Áreas de capoeiras e matas secundárias	

Padronização dos critérios (fatores)

Após o estabelecimento da estrutura hierárquica dos critérios e indicadores, as atenções foram voltadas para existência de uma diversidade de escalas em que os diversos critérios são medidos. Neste ponto, é essencial um processo de conversão dos valores dos dados originais em intervalos de aptidão ao propósito desejado, aplicando-se os critérios preestabelecidos através de expressões de pertinência a conjuntos de decisão.

Além de permitir a transformação das unidades dos critérios (fatores) para uma única base de mensuração, a padronização também serve para hierarquizar internamente cada critério (fator). Neste estudo, os valores de todos os fatores foram escalonados para o intervalo de um byte (0 a 255).

A Tabela 4 mostra os indicadores associados aos critérios (fatores) utilizados neste estudo, as funções *fuzzy* adotadas e seus respectivos pontos de controle.

Tabela 4 – Indicadores associados aos critérios (fatores) deste estudo, as funções *Fuzzy* adotadas e seus respectivos pontos de controle.

Critérios (fatores)	Indicadores	Função Fuzzy	Ponto de Controle			
			a	b	c	d
Aspecto Relevô	▪ Classes de declividade	Escala [0 – 255]	-----			
Aspecto Socioeconômico	▪ Uso e cobertura do solo	Escala [0 – 255]	-----			
Aspecto Viário	▪ Distância das rodovias (m)	J-Shaped Monotônica Decrescente	-----	-----	100	3.500
Aspecto Ambiental	▪ Meio Biótico	Escala [0 – 255]	-----			

Descrição dos critérios (restrições)

- I. **Aspecto urbano** – Núcleo Urbano: o núcleo urbano foi individualizado. Área do núcleo urbano: adequabilidade zero.
- II. **Aspecto relevo** – Classes de declividades: evitaram-se essas áreas, visto que as mesmas apresentam condições topográficas problemáticas e encostas bastante recortadas por linhas de drenagem natural. Áreas com Severas Restrições: 31-50% (17,3-26,6°). Adequabilidade zero.
- III. **Aspecto hídrico** – Meio Biótico: determinou-se faixa marginal de 100 m com o propósito de proteger as áreas de matas ciliares, em que se determinou a adequabilidade da área igual zero.

Descrição dos critérios (fatores)

- I. **Aspecto relevo** – Classes de declividade: foram estabelecidas duas categorias de área fundamentadas nas classes de declividades do terreno da área de estudo, de acordo com Cunha (1991). As adequabilidades das classes de declividades foram adotadas considerando a máxima inclinação longitudinal tolerável. Deste modo, nas áreas topograficamente desfavoráveis foram adotados valores de adequabilidade menores. Como observado:
 - Áreas com Algumas Restrições: 16-30% (9,1-16,7°). Adequabilidade: 125;
 - Áreas Favoráveis: 0-15% (0-8,5°). Adequabilidade: 255.
- II. **Aspecto socioeconômico** – Uso e cobertura do solo: os tipos de uso e ocupação do solo considerados como critério (fator) socioeconômico foram as áreas de agricultura, pastagem, reflorestamento, solo exposto e outros usos.

Neste caso, as adequabilidades dos tipos de uso e cobertura do solo foram adotadas considerando os mesmos como critérios (fatores) relacionados a possíveis áreas para a expansão urbana na área de estudo. Deste modo, as áreas socialmente e economicamente desfavoráveis foram consideradas com valores menores de adequabilidade. A seguir os valores de adequabilidade adotados:

 - Áreas de agricultura: adequabilidade 100;
 - Áreas de pastagem: adequabilidade 255;
 - Áreas de reflorestamento: adequabilidade 150;
 - Áreas solo exposto: adequabilidade 200;
 - Áreas com outros usos: adequabilidade 50;
- III. **Aspecto viário** – Distância das rodovias: apresenta como característica principal a distância mínima de 100 m das principais rodovias da área de estudo. A função *fuzzy* utilizada para a padronização contínua de adequabilidade foi a J-Shaped monotônica decrescente, para a qual determinado acréscimo na distância em relação às rodovias, o valor da adequabilidade decresce.
- IV. **Aspecto ambiental** – Meio biótico: o indicador “Áreas de Capoeiras e Matas Secundárias” apresenta a necessidade de minimização dos impactos ambientais negativos, para tanto a padronização contínua de adequabilidade dessas áreas foi adotada considerando a baixa aptidão das mesmas para a proposta metodológica em estudo. Desta forma, estas áreas, ambientalmente desfavoráveis, foram consideradas com o valor de adequabilidade de 125.

Avaliação dos pesos para os critérios (fatores)

Para a valoração dos fatores foi utilizado o método de comparação par-a-par. Embora seja um método mais complexo e demorado, que por vez impõe a interação para garantir um grau de consistência aceitável, os resultados e o próprio procedimento adequam-se perfeitamente ao problema de se estabelecer subsídios ao planejamento físico-territorial do município de Viçosa-MG. O módulo *Weight* do software SIG Idrisi utiliza esta técnica de comparação de pares para desenvolver um conjunto de pesos cujo somatório é a unidade.

Nesta etapa, foi proposta uma relação de importância entre os fatores envolvidos no processo. Essa relação envolveu um conjunto de suposições sobre os fatores que permitiu qualificar o grau de importância de um fator em detrimento do outro, como também quantificar essa importância. Isso se sucedeu da necessidade de atribuir diferentes valores relativos a cada um dos fatores no processo de agregação.

Agregação dos critérios (restrições e fatores) do 1º nível

Os critérios (restrições e fatores) do 1º nível foram agregados através do método de análise multicritério por combinação de média ponderada ordenada (OWA), no qual foram considerados os respectivos pesos ponderados e ordenados dos critérios (fatores).

No método OWA cada critério (fator) é multiplicado pelo seu respectivo peso. Esses pesos são somados e divididos pelo número de critérios (fatores). A média ponderada é calculada para cada pixel da imagem.

Utilizando o método OWA é possível controlar a posição da análise nos eixos de risco e compensação, o que permite a variação do nível de risco assumido na análise e o grau em que a ponderação dos critérios (fatores) influencia a imagem de adequabilidade final.

Antes da agregação foi realizada a ponderação relativa entre os critérios (fatores), utilizando o módulo *Weight*, em que os fatores foram comparados dois a dois em termos de sua importância relativa.

Os critérios (fatores) do 1º nível (Aspecto Relevância, Aspecto Socioeconômico, Aspecto Viário e Aspectos Ambientais) foram agregados após a atribuição de suas importâncias relativas, e conseqüente cálculo dos pesos ponderados.

A Tabela 5 apresenta a distribuição das importâncias relativas atribuídas aos fatores do 1º nível.

Tabela 5 – Matriz de comparação pareada entre os critérios (fatores) padronizados do 1º nível com os valores de importância definidos para o objetivo proposto

	Aspecto Relevância	Aspecto Socioeconômico	Aspecto Viário	Aspecto Ambiental
Aspecto Relevância	1	-	-	-
Aspecto Socioeconômico	1/5	1	-	-
Aspecto Viário	1/7	1/3	1	-
Aspecto Ambiental	1/3	3	5	1

A Tabela 6 apresenta o autovetor dos pesos ponderados calculados para os critérios (fatores) do 1º nível.

Tabela 6 – Autovetor dos pesos ponderados calculados para os critérios (fatores) do 1º nível

O autovetor dos pesos é:	
• Aspecto Relevô	0.5650
• Aspecto Socioeconômico	0.1175
• Aspecto Viário	0.0553
• Aspectos Ambientais	0.2622
Razão de Consistência = 0,04 (considerada aceitável)	

O valor da razão de consistência (CR - Consistency Ratio) foi 0,04, mostrando que a matriz de julgamento não estava inconsistente, visto que valores de razão de consistência inferiores a 0,10 não necessitam de reavaliação.

Combinação dos critérios (restrições e fatores)

Na combinação dos critérios (restrições e fatores) foram encontradas novas áreas para expansão urbana no município de Viçosa-MG.

Cenário de avaliação

Uma vez obtidos os pesos, os mesmos foram usados como coeficientes e multiplicados pela imagem do respectivo critério (fator), sendo posteriormente feita a adição dos produtos. Desta forma, na imagem final cada pixel representa a nota recebida considerando todos os critérios (fatores) escolhidos e os pesos atribuídos a eles na análise conjunta. As áreas de maiores valores foram aquelas que, segundo os critérios (fatores) preestabelecidos, foram as melhores para o desenvolvimento urbano no município de Viçosa-MG. Foi utilizada a rotina MCE (Multi Criteria Evaluation) para a aplicação dos pesos a cada um dos critérios (fatores), empregando-se o método de Média Ponderada Ordenada.

RESULTADOS

As áreas encontradas como as mais adequadas para a expansão urbana no município de Viçosa-MG têm 20,46 hectares e foram obtidas considerando as melhores localizações que correspondem às áreas com o valor de adequabilidade igual 220, respeitando-se as restrições que possuem adequabilidade nula.

A Figura 4 mostra o cenário de avaliação resultante da análise multicritério realizada, ou seja, as áreas aptas à expansão urbana dentro da área de estudo.

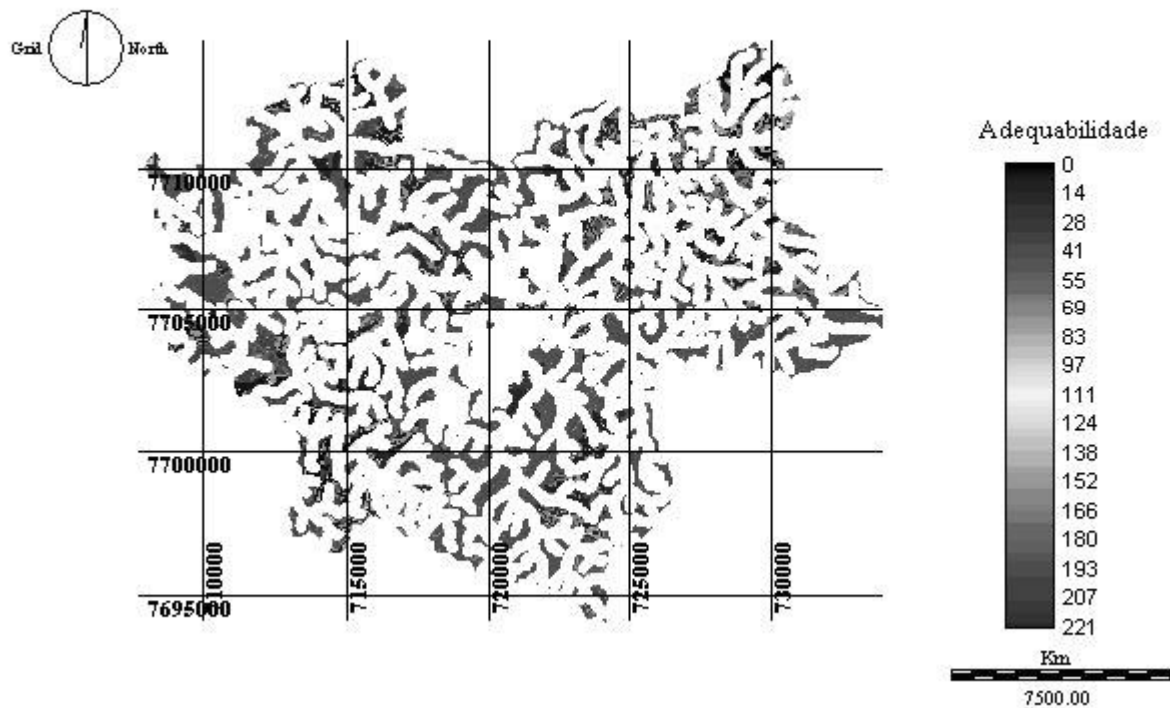


Figura 4 – Cenário de avaliação resultante da análise multicritério realizada

A Figura 5 mostra as áreas com a maior adequabilidade para a expansão urbana na área de estudo.

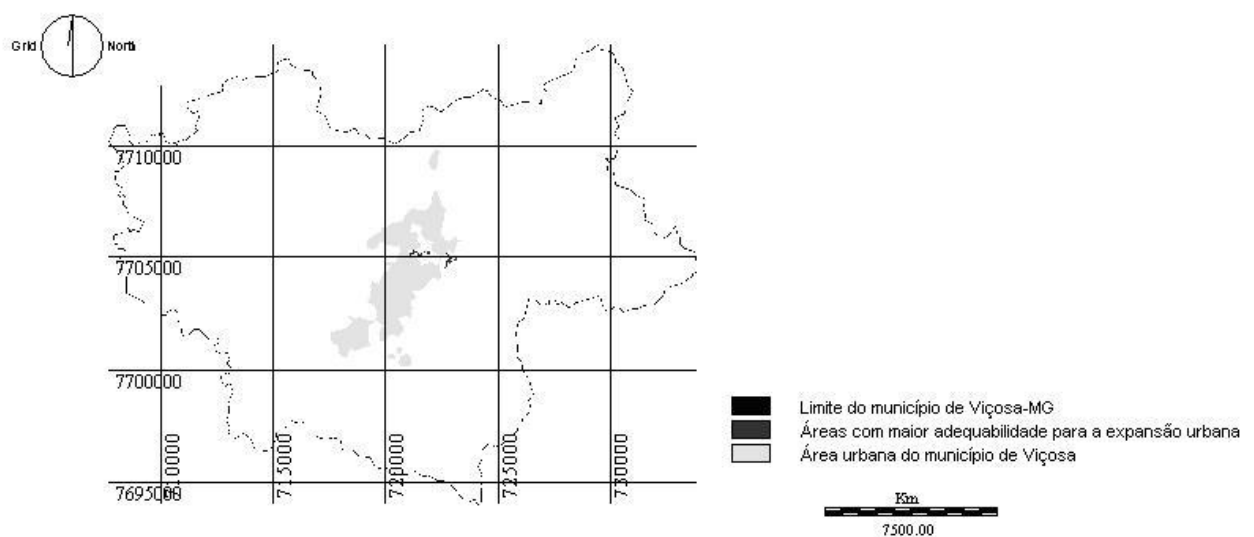


Figura 5 – Áreas com maior adequabilidade para a expansão urbana na área de estudo

CONCLUSÕES

As áreas encontradas com a melhor adequabilidade estão próximas da área urbana do município de Viçosa-MG e aproveitam rodovias existentes como forma de reduzir custos e impactos ambientais negativos.

A metodologia apresentada e testada enseja o início de uma avaliação de critérios em nível estratégico e preliminar. Assim o resultado obtido do cenário de avaliação tem o propósito de indicar ao tomador de decisão, o empreendedor, qual área é a mais adequada para o propósito estudado, considerando os critérios relevo, socioeconômico, viário e ambiental.

REFERÊNCIAS

CUNHA, M. A. **Ocupação de encostas**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991. 216 p. (IPT – Publicação, 1831).

[IBGE] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Informações sobre a população**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 abr. 2006.

POMERANZ, L. **Avaliação de projetos públicos: metodologia alternativa**. São Paulo: IPE/USP, 1992. 141 p.

SILVA, T. O. da. **Alternativas de traçado do anel viário urbano da cidade de Viçosa-MG, através da integração SIG – Análise Multicritério**. 2004. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.