

Álerson Falieri Suarez

Modelagem Dinâmica de Paisagem, Estudo de  
Caso da Sub-Bacia do Rio Formiga – MG.

**VIII Curso de Especialização em  
Geoprocessamento  
2005**



UFMG  
Instituto de Geociências  
Departamento de Cartografia  
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha  
Belo Horizonte  
cartografia@igc.ufmg.br

ÁLERTON FALIERI SUAREZ

MODELAGEM DINÂMICA DE PAISAGEM, ESTUDO DE CASO  
DA SUB-BACIA DO RIO FORMIGA – MG.

Monografia apresentada ao curso de Pós Graduação em Geoprocessamento, Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção de título de Especialista em Geoprocessamento.

Orientador: Prof. PHD. Britaldo Silveira Soares Filho

BELO HORIZONTE  
2005

FALIERI, Álerson F. Suarez.

Modelagem Dinâmica de Paisagem, Estudo de caso da Sub-Bacia do Rio Formiga – MG. Belo Horizonte, 2005.

vii, 25 f, il.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2005.

1. Geoprocessamento. 2. Modelagem Dinâmica de Paisagem.

*Dedico este trabalho aos  
meus pais, Yonso e Ângela,  
por todo apoio e confiança  
depositados a minha pessoa.*

*Agradeço todas as pessoas que me ajudaram a desenvolver este trabalho, menção especial à Eliane Voll, Hermann Oliveira Rodrigues, William Leite Araújo, Charles Rezende Freitas, Britaldo Soares Silveira Filho e ao Centro de Sensoriamento Remoto – UFMG.*

**SUMÁRIO**

DEDICATÓRIA .....	iii
AGRADECIMENTOS .....	iv
SUMÁRIO .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vi
RESUMO .....	vii
1. INTRODUÇÃO .....	8
2. OBJETIVOS .....	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	10
3.1. Modelos de Simulação de Mudanças de Paisagem .....	10
3.2. O Software DINAMICA .....	11
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	13
5. RESULTADOS .....	19
6. CONCLUSÃO .....	24
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	25

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Módulos do Software DINAMICA utilizados neste estudo .....	10
Figura 2 – Fluxograma do Desenvolvimento Metodológico .....	13
Figura 3 – Área de Estudo .....	14
Figura 4 – Representação dos mapas de Distância .....	16
Figura 5 – Mapa de uso do Solo em 1995 .....	17
Figura 6 – Mapa de uso do solo em 2002 .....	17
Figura 7 - Mapa de probabilidades de transição Agricultura X Mancha Urbana.....	19
Figura 8 – Mapa de uso do solo em 2002 .....	20
Figura 9 – Mapa gerado pelo modelo de simulação .....	20
Figura 10 – Matriz de transição .....	21
Figura 11 – Tabela da Contagem das células, Uso do Solo 1995, 2002 e Simulação .....	22
Figura 12 – Gráfico da Contagem das Células .....	22

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo desenvolver um modelo dinâmico espaço-temporal para análise das mudanças no uso e ocupação do solo no período de 1995 a 2002. Este trabalho será desenvolvido utilizando o *software* DINAMICA.

A área de estudo selecionada foi a Sub-Bacia do Rio Formiga – MG, por sua importância regional e também por ser um dos importantes colaboradores da manutenção hídrica da Represa de Furnas.

Os resultados foram satisfatórios, alcançando uma simulação interessante, observou-se áreas com tendências ao reflorestamento, desmatamento e crescimento da mancha urbana, concluindo que a utilização de modelos dinâmicos pode ser uma boa ferramenta para o auxílio de estudos ambientais e urbanos.



## 1. INTRODUÇÃO

Os modelos dinâmicos têm a função de realizar simulações matemáticas de processos identificados no mundo real, onde se observa a mudança de variáveis em consequência a variações de suas forças direcionadas.

Os modelos de simulação da dinâmica de paisagem se destacam como campo de pesquisa e atraem a atenção de pesquisadores de diversas áreas.

Um dos significados para o termo modelar, pode ser visto como a tentativa de representar a realidade de forma simplificada. Esta forma de representar a realidade tem seu valor, pois quando alcançado um grau de generalização satisfatório e ocorra a seleção dos aspectos relevantes que se quer observar, torna-se importante para análises, correlações e comportamentos de variáveis ambientais, possibilitando diferentes leituras, adequadas às especificidades ambientais. Por sua sistematização tem seu valor científico, pois pode ser reproduzido.

“Uma maneira conveniente de pensar sobre um modelo espacial consiste em imaginar uma paisagem composta por uma variedade de arranjos de elementos de paisagem – os quais representam ecossistemas ou classes de cobertura e uso do solo -, sobrepostos a uma grade ou matriz, sistema de representação 2D conhecido como *raster* ou matricial. Elementos de paisagem passam a ser representados por *pixels* ou células com o mesmo valor em uma única camada de informação (Soares-Filho, *et al.* 2003).”

Este trabalho objetiva a aplicação de um modelo de simulação da dinâmica de paisagens na Sub-Bacia do Rio Formiga – MG para modelar as mudanças de uso e cobertura do solo.

## **2. OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho é aplicar um modelo da dinâmica de paisagem para simular as mudanças do uso e ocupação do solo na Sub-Bacia do Rio Formiga no período de 1995 a 2002.

Tal simulação será realizada através do software DINAMICA. Os resultados serão comparados e discutidos no decorrer do texto.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As seções secundárias deste capítulo contemplam o levantamento teórico que foi realizado para execução desta monografia.

#### 3.1. Modelos de Simulação de Mudanças de Paisagem

Para entender os modelos de simulação de mudança de paisagem é necessário levantar alguns conceitos de espaço e paisagem.

Segundo Soares Filho *et al.* (1998), os processos naturais ou antrópicos, são, de certa forma, controlados pela organização espacial de seu conjunto ambiental e tal organização espacial é denominada de paisagem.

“a paisagem é o conjunto de formas que , num dado momento, exprimem as heranças que representam as sucessivas relações localizadas entre homens e natureza. O espaço são essas formas mais a vida que os anima” (SANTOS, 1996).

Certos fenômenos espaciais, como escoamento de água da chuva, planejamento urbano e mudanças de uso do solo, não são fenômenos espaciais estáticos, mas sim dinâmicos. Por esta especificidade, o desenvolvimento de técnicas e abstrações que sejam capazes de representar adequadamente os fenômenos espaço-temporais, são um grande desafio para a Ciência da Geoinformação (Câmara e Monteiro, 2003).

Modelos dinâmicos foram elaborados e têm a função de realizar simulações matemáticas de processos identificados no mundo real, onde se observa a mudança de variáveis em consequência a variações de suas forças direcionadas.

Segundo Soares Filho (1998), são os modelos mais complexos e detalhados dentre os modelos de paisagem e tem a capacidade de modelar o destino da configuração e divisão da paisagem. É este tipo de modelo que gera os mapas de mudanças.

### 3.2. O Software DINAMICA

Para o desenvolvimento do modelo de simulação espacial, será adotado o software DINAMICA como principal ferramenta.

Alguns módulos do programa como Construtor de estradas, Mapa dinâmico de estradas, modelo externo, tempo mínimo, módulo de difusão e tempo de permanência não serão utilizados. Abaixo está a representação do que será utilizado para este estudo (Figura 1):

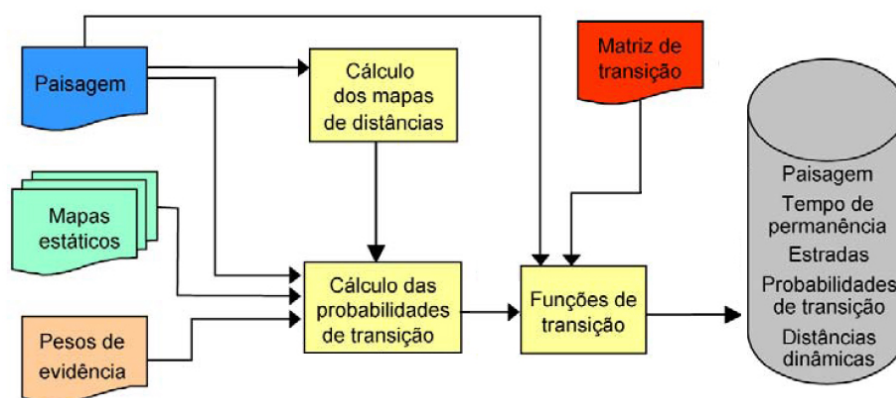


Figura 1 – Módulos do Software DINAMICA utilizados neste estudo

O software DINAMICA utiliza para entrada de dados um conjunto de mapas. Neste estudo o mapa de entrada ou mapa paisagem inicial será o mapa de Uso do Solo em 1995. Outros dados que alimentarão o software são o mapa de tempo de permanência de cada célula em seu estado atual e as variáveis cartográficas que podem ser divididas em estáticas e dinâmicas. Os mapas estáticos são as variáveis supostas de controle da configuração da mudança. Estas variáveis são combinadas, através da definição de seus pesos de evidências, com o objetivo de gerar os mapas de transição, ou seja, a configuração da mudança (Soares-Filho *et al.*, 1998,2003). Os pesos de evidência é um método Bayesiano, probabilístico, utilizado para apontar áreas favoráveis a determinados fenômenos. Com este método é possível identificar as variáveis mais importantes para a análise de mudança e quantificar os respectivos pesos para cada tipo de mudança.

A calibração<sup>1</sup> do modelo deve ser executada para que as simulações alcancem resultados satisfatórios. Este processo pode ser feito a partir da percepção da paisagem pelo pesquisador em conjunto com o conhecimento teórico e os reflexos nos mapas de resultados.

---

<sup>1</sup> Calibração é o ajuste do modelo para melhores resultados.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas deste trabalho compreenderão pesquisa, análise e interpretação dos resultados, para tal será criado um modelo dinâmico de paisagem para análise de mudanças no uso e ocupação do solo, tornando possível à identificação de agentes e indicadores para tais mudanças. A metodologia deste estudo foi desenvolvida conforme o fluxograma a seguir (Figura 2)

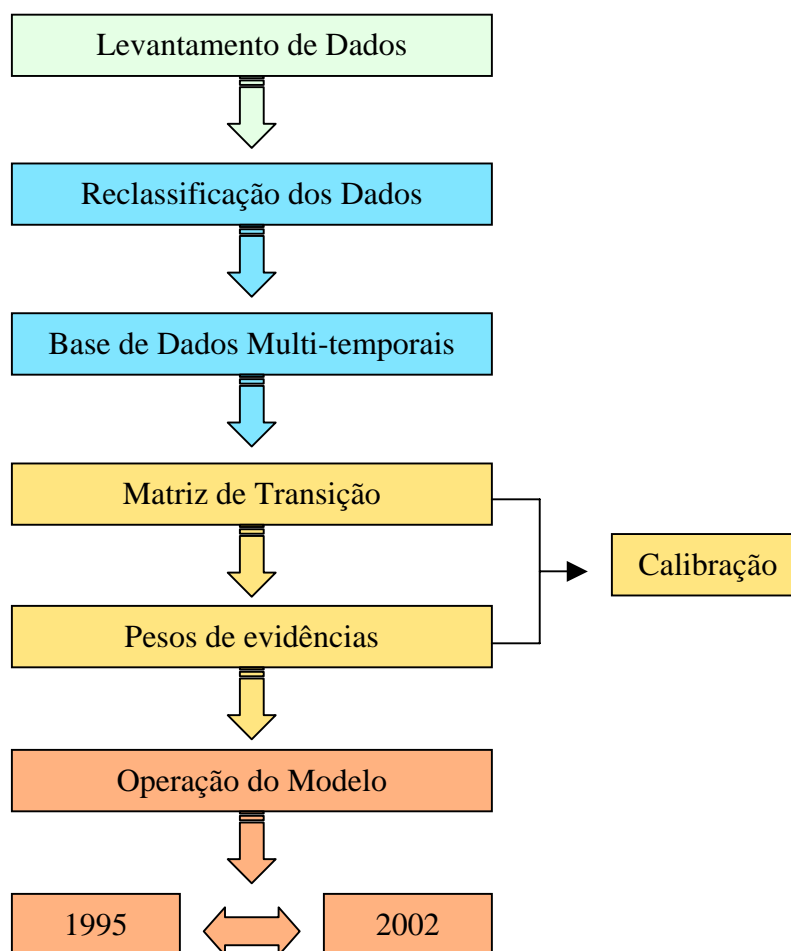


Figura 2 – Fluxograma do Desenvolvimento Metodológico

A área de estudo selecionada foi a Sub-Bacia do Rio Formiga – MG, por sua importância regional e também por ser um dos importantes colaboradores da manutenção hídrica da Represa de Furnas. Localizada no Centro Oeste Mineiro, a Sub-Bacia do Rio Formiga está

contida em sua maior parte no município de Formiga – MG. Outros municípios fazem parte da área do estudo e também da bacia, os municípios de Arcos, Córrego Fundo, Itapecerica, Pains e Pedra do Indaiá (Figura 3). Parte da Represa de Furnas, também faz parte desta bacia.

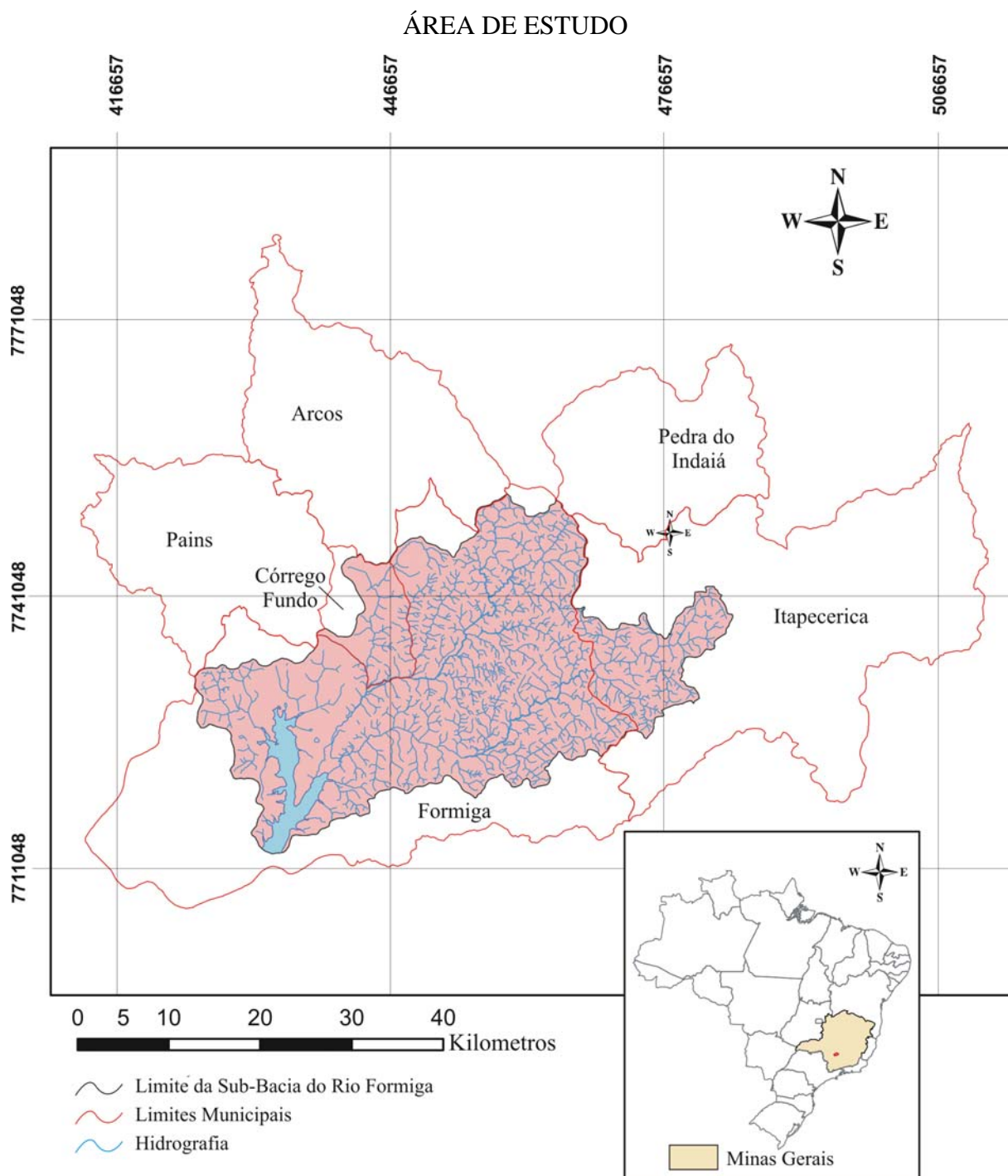


Figura 3 – Área de Estudo

Para este estudo serão utilizados como base de dados, alguns dos mapas temáticos feitos no estudo “Análise da redução do índice de qualidade de água (IQA) utilizando ambientes de Geoprocessamento (TIMBÓ, *et al.*, 2005)” e do Projeto Geominas.

As bases cartográficas utilizadas, fornecidas pelo estudo “Análise da redução do índice de qualidade de água (IQA) utilizando ambientes de Geoprocessamento (TIMBÓ, *et al.*, 2005)” e Geominas, utilizam o sistema de projeção UTM, Zona 23 Sul e Datum de referência SAD 69, os quais não foram alterados.

Foi adquirida uma base de dados proveniente do estudo “Análise da redução do índice de qualidade de água (IQA) utilizando ambientes de Geoprocessamento (TIMBÓ, *et al.*, 2005)” que se constituem dentre os que foram utilizados para este estudo, em mapas temáticos de uso do solo em 1995, uso do solo em 2002, declividades, hidrografia, sedes municipais, localidades, distritos, pedologia, áreas de preservação permanente e hipsométrico. Do Projeto Geominas, foi utilizado o mapa de estradas.

Inicialmente estes mapas foram re-classificados, uniformizados e algumas das variáveis agrupadas em uma imagem *multi-layer*. O tamanho das células das imagens raster foram definidos como 30 X 30 metros. A uniformização foi necessária para igualar o número de linhas e colunas das imagens *raster*. Nesta etapa também foram gerados: um mapa de tempo de permanência em seu estado atual para cada célula<sup>2</sup> e mapas de distâncias. Para tais aplicações foram utilizados os *softwares* ArcMap v.9.0 e o ERMapper.

Foram geradas as seguintes classes:

Água, que compreende os lagos e parte da Represa de Furnas. Vegetação, que compreende a vegetação consolidada. Reflorestamento áreas recém cultivadas e vegetação não consolidada. Solo Exposto / Agricultura, as áreas de solo exposto e áreas com finalidades agrícolas. Mancha Urbana que compreende a mancha urbana da cidade de Formiga.

---

<sup>2</sup> Célula: *pixel*.



Vale salientar que a classe Água, não será modelada, ou seja, não será analisada, no mapa gerado pela simulação (mapa final), ela será fundida com a classe Fora de análise.

A seguir veremos a representação dos mapas de distâncias que foram gerados, observando que, quanto mais próximo às cores quentes (vermelho), indicam um alto grau de proximidade com a variável observada e quanto mais próximo às cores frias (azul) o contrário (Figura 4).

DISTÂNCIA À: ESTRADAS, HIDROGRAFIA, SEDES MUNICIPAIS E LOCALIDADES

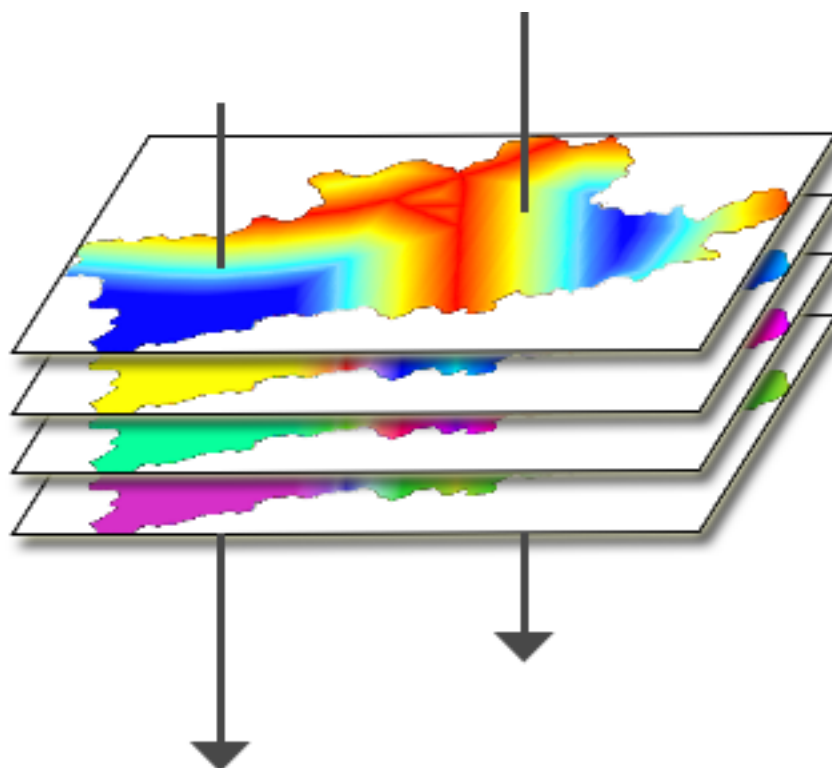


Figura 4 – Representação dos mapas de Distância

## MAPA DE USO DO SOLO EM 1995

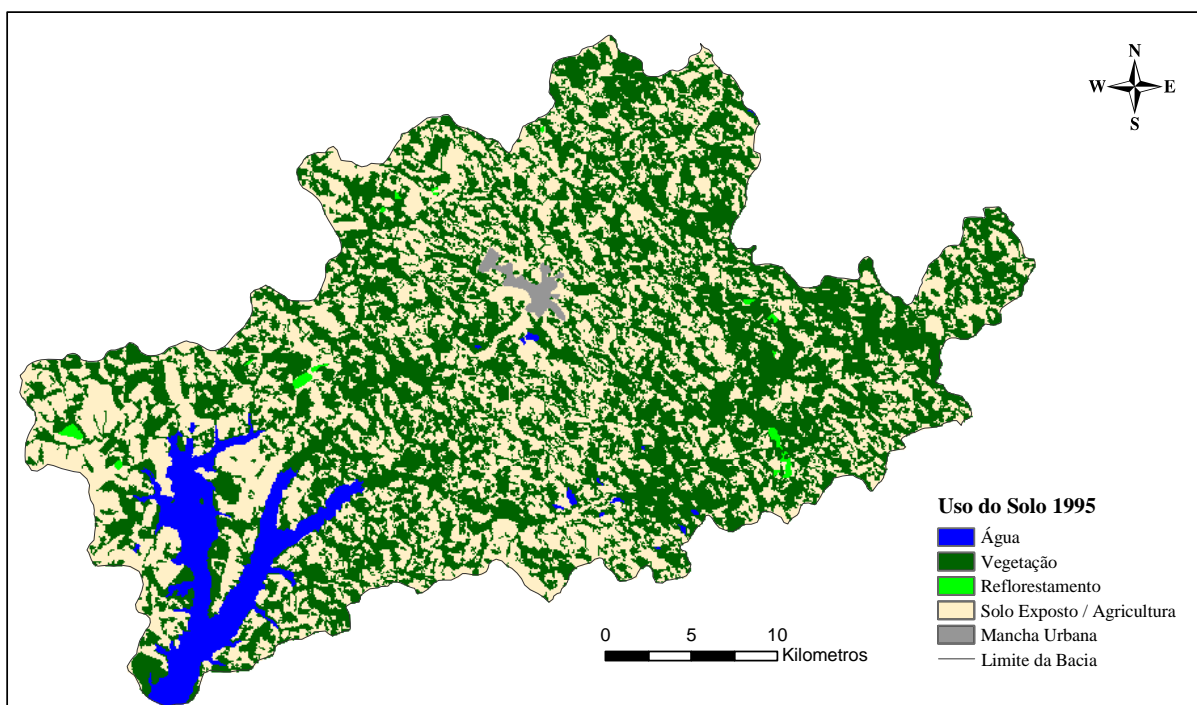


Figura 5 – Mapa de uso do Solo em 1995

## MAPA DE USO DO SOLO EM 2002

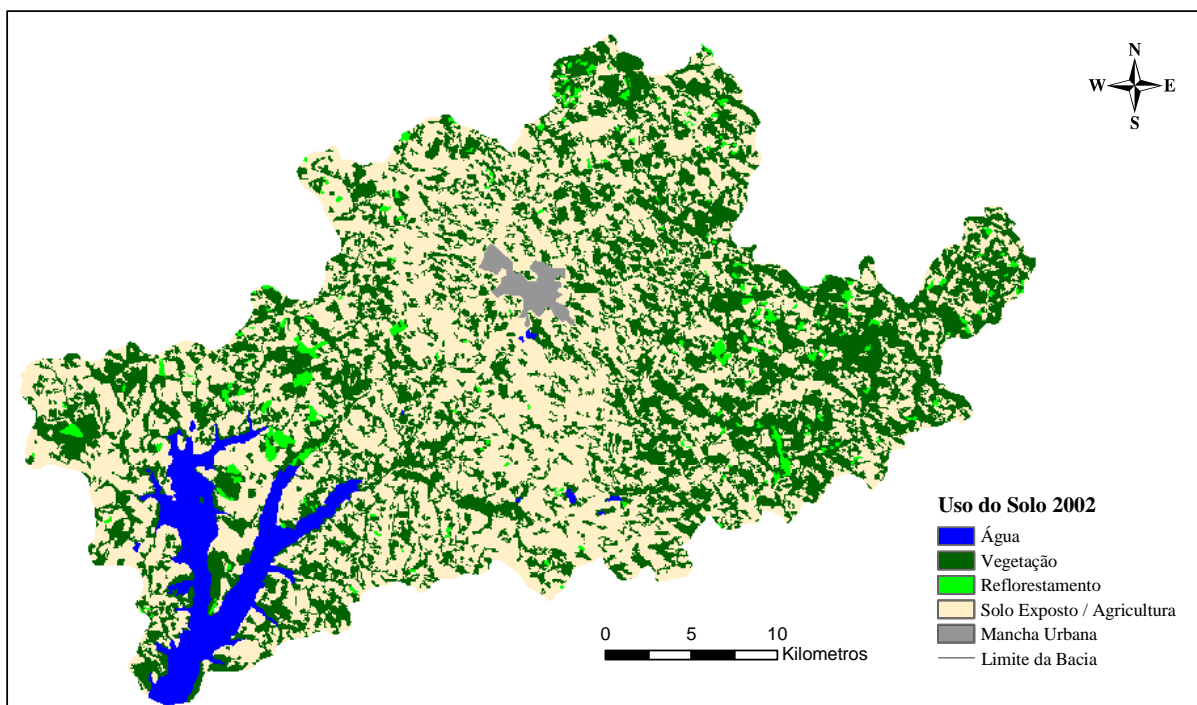


Figura 6 – Mapa de uso do solo em 2002

O *software* DINAMICA foi alimentado com o mapa de uso do solo 1995 como o mapa de entrada inicial ou mapa de paisagem, com o mapa de tempo de permanência em seu estado atual e com a imagem *multi-layer*<sup>3</sup> que é composta dos mapas de distâncias representados pela figura 4, área de preservação permanente, pedologia, hipsométrico e declividades.

Com um pacote de ferramentas disponibilizado pelo DINAMICA, foram calculados, a matriz de transição e o peso de evidência das variáveis que farão parte do modelo. O programa possibilita configurações para calibração do modelo para que as configurações de mudança se tornem satisfatórias.

O modelo então foi aplicado diversas vezes, com diversas configurações, a fim de ajustar e calibrar o mesmo. Nesta etapa o software gera mapas de probabilidades e o mapa simulado, ou seja, o resultado do modelo.

---

<sup>3</sup> *Multi-layer*: No DINAMICA são os mapas de variáveis estáticas ou mapas estáticos.

## 5. RESULTADOS

Na próxima figura (Figura 7) Podemos ver um dos mapas de probabilidades gerado pelo DINAMICA, observando que, quanto mais próximo às cores quentes (vermelho), indicam um alto grau de proximidade com a variável observada e quanto mais próximo às cores frias (azul) o contrário.

### MAPA DE PROBABILIDADES AGRICULTURA / SOLO EXPOSTO X MANCHA URBANA

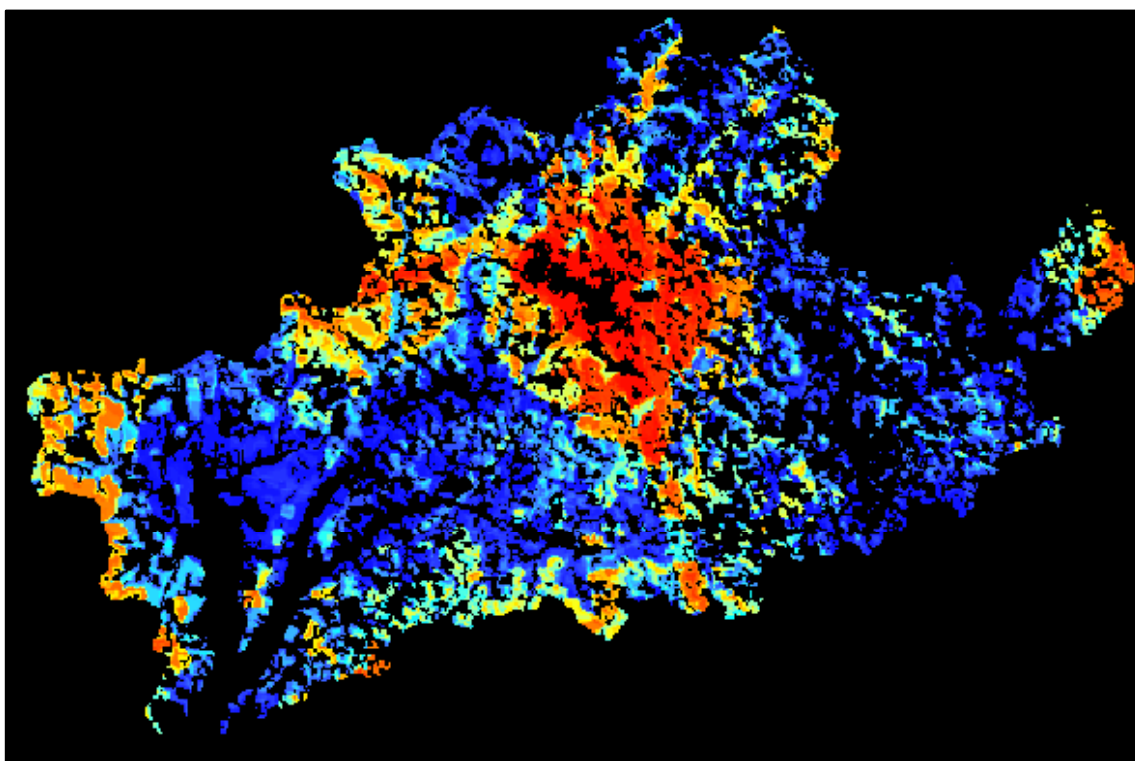


Figura 7 - Mapa de probabilidades de transição Agricultura X Mancha Urbana

Para melhor visualização dos resultados, serão apresentados na seqüência do texto, o Mapa de Uso do Solo 2002 (Figura 8) e o resultado obtido com o modelo (Figura 9).

## MAPA DE USO DO SOLO EM 2002

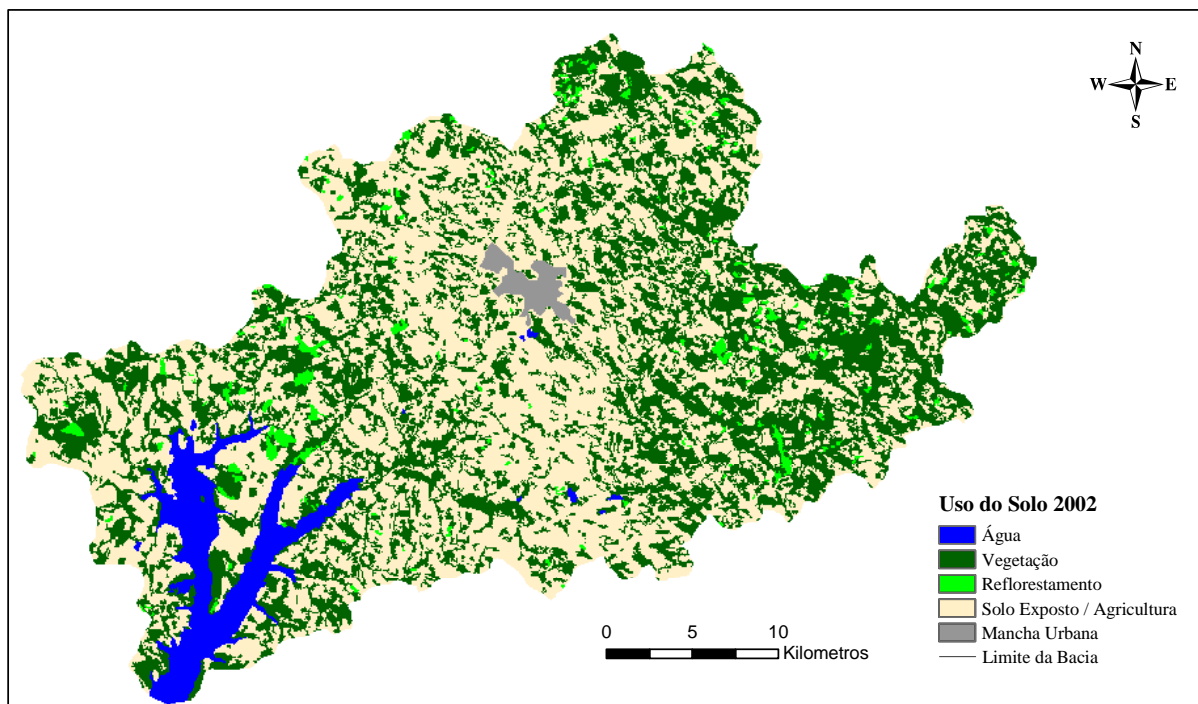


Figura 8 – Mapa de uso do solo em 2002

## MAPA GERADO PELO MODELO DE SIMULAÇÃO

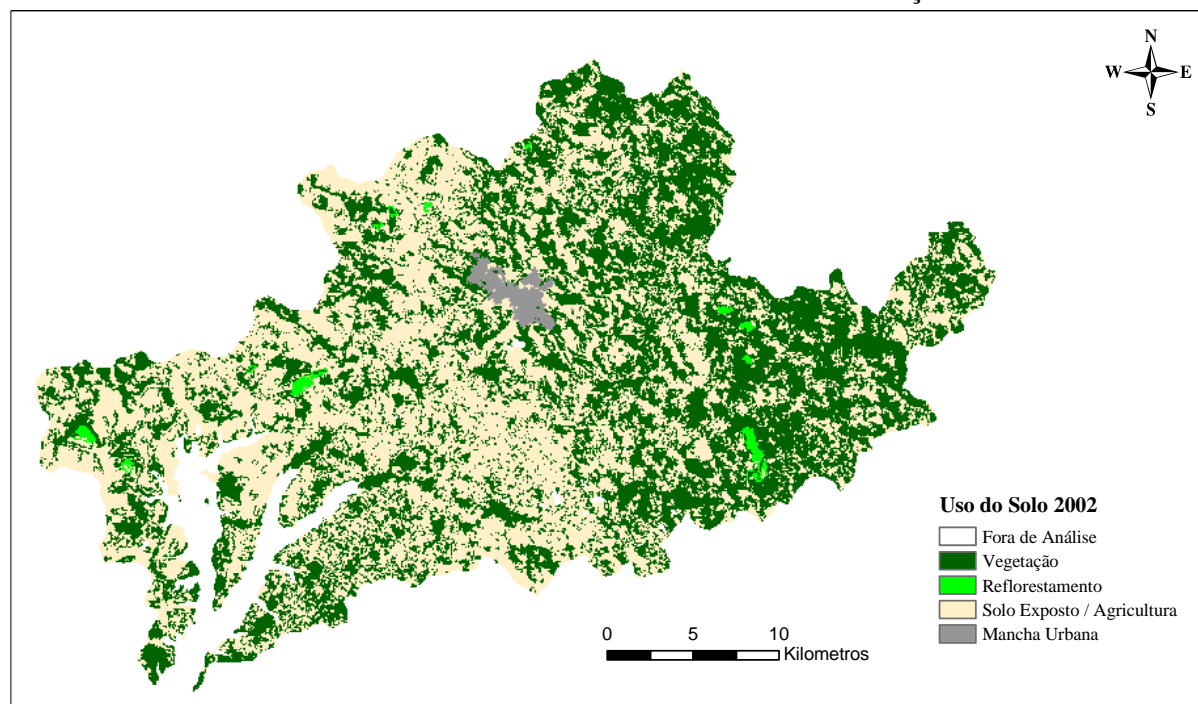


Figura 9 – Mapa gerado pelo modelo de simulação

A matriz de transição gerada pelo software DINAMICA pode ser observada na Figura 10.

#### MATRIZ DE TRANSIÇÃO

	Água	Vegetação	Refloresta- mento	Solo Exp. / Agricultura	Mancha Urbana
Água	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Vegetação	0,00%	61,68%	1,63%	36,53%	0,14%
Reflorestamento	0,00%	19,62%	69,70%	10,67%	0,00%
Solo Exposto /Agricultura	0,00%	19,54%	2,20%	77,53%	0,71%
Mancha Urbana	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	100,00%

Figura 10 – Matriz de transição

A matriz de transição nos mostra a porcentagem de células que foram conservadas e também a possibilidade de cada categoria se transformar em outra. A constante assinalada com fundo cinza na Figura 10 é a quantidade de células de cada categoria que não sofrerão alterações. Lembrando que a variável água não foi modelada, ou seja, foi descartada do estudo, sua taxa de permanência no mesmo estado são 100 %. Na categoria Mancha Urbana, também tem uma taxa de permanência de 100 %, porque não houve mudança da categoria Mancha Urbana para nenhum outro tipo de categoria.

Já as outras porcentagens observadas na Figura 10, são as possíveis taxas de mudanças entre as categorias, Por exemplo: As células da categoria Vegetação tem 36,53 % de chance de se modificar para células de Solo Exposto / Agricultura ao rodar a simulação. Esta análise pode ser estendida para toda a tabela da figura 10.

A seguir, veremos uma tabela (Figura 11) que nos mostra a proporção relativa entre as categorias, oriundas da contagem das células das seguintes imagens: Uso do Solo 1995, Uso do Solo 2002 e a imagem resultante da Simulação.

### CONTAGEM DAS CÉLULAS: USO DO SOLO 1995, 2002 E SIMULAÇÃO

	Vegetação (%)	Reflorestamento (%)	Solo exp./ Agric. (%)	Man. Urb. (%)
1995 (%)	54,23%	0,34%	44,83%	0,60%
2002 (%)	42,35%	2,12%	54,56%	0,97%
Simulação (%)	42,18%	2,11%	54,74%	0,98%

Figura 11 – Tabela da Contagem das células, Uso do Solo 1995, 2002 e Simulação

### GRÁFICO ILUSTRATIVO DA CONTAGEM DAS CÉLULAS

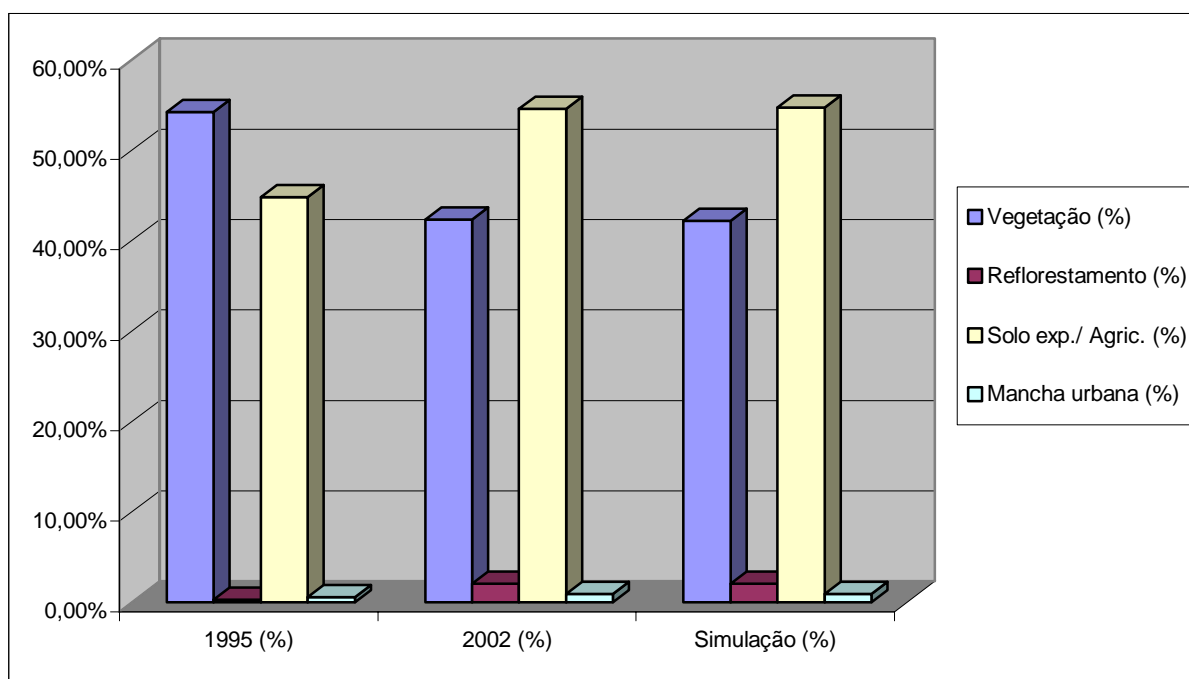


Figura 12 – Gráfico da Contagem das Células

Ao observar a tabela e sua representação acima ilustrada (Figura 11), fica claro a similaridade obtida pela simulação, ao comparar com a contagem das células da Imagem de uso do solo 2002, no que se diz respeito à quantidade de células que foram modificadas e também mantidas. Isso nos mostra que a simulação alcançou seu objetivo satisfatoriamente.

Do esperado para esta simulação os resultados obtidos foram satisfatórios. A etapa de calibração do modelo é a mais demorada e a que exige um alto conhecimento das variáveis

que influenciam os fenômenos estudados. Possivelmente, uma maior atenção e tempo para realização do estudo, poderiam melhorar bastante o resultado obtido.

É possível observar nos resultados que este tipo de simulação, nos mostra as tendências da dinâmica espacial para alguns fenômenos, como o crescimento da mancha urbana e áreas com maior probabilidade de desmatamento.

Quanto ao reflorestamento, o resultado do modelo, observou-se que o fenômeno aconteceu de forma mais esparsa e em maior quantidade do que no obtido pelo mapa simulado, onde se apresentou mais agrupado.

Os mapas de probabilidades nos mostram as tendências de relacionamento entre as variáveis. A Figura 8 que é um dos exemplos de mapa de probabilidade nos mostra as áreas mais prováveis de solo exposto / agricultura, virem a se tornar expansão urbana, isto nos mostra as tendências de crescimento da mesma.



## 6. CONCLUSÃO

Os modelos de simulação e a análise dinâmica permitem realizar avaliações distintas da paisagem e do espaço geográfico. É uma ferramenta para tomada de decisões, para simulação de cenários e tendências futuros dado um conjunto de variáveis que afetam os fenômenos estudados, tanto fenômenos urbanos quanto ambientais.

O objetivo deste trabalho foi alcançado já que foram aplicadas diversas técnicas e conhecimentos adquiridos ao longo do curso de Especialização. Foi desenvolvido um modelo dinâmico de simulação onde foi possível comparar os resultados obtidos com a proposta deste estudo.

Com base nos resultados obtidos, fica aberta a possibilidade de explorar melhor os modelos de simulação, calibrando adequadamente o modelo, podem ser criado cenários futuros para área do estudo. Como não foi o objetivo deste trabalho a simulação de cenários futuros, pode ser realizada em estudos mais avançados, fica a sugestão para os pesquisadores e interessados a continuação deste estudo.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÂMARA, Gilberto, MONTEIRO, A.M, MEDEIROS, J.S, **Representações Computacionais do Espaço: Fundamentos Epistemológicos da Ciência da Geoinformação**. Revista Geografia (UNESP), 28 (1) : 83-96, jan/abril 2003. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/epistemologia.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2005.

CÂMARA, Gilberto, MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira, **Introdução à modelagem da dinâmica Espacial**. São José dos Campos, 2003.

GODOY, Marcela Maria Guimarães, **Modelagem da Dinâmica de Ocupação do solo no Bairro Savassi**. Belo Horizonte, 2004. f. 84. Dissertação de Mestrado, Geografia – Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais.

SANTOS, Milton, **A Natureza do Espaço: espaço e tempo: razão e emoção**. São Paulo: Hucitec, 1996.

SOARES-FILHO, Britaldo Silveira, **Análise de Paisagem: Fragmentação e Mudanças**. Departamento de Cartografia. Centro de Sensoriamento Remoto. Instituto de Geociências. UFMG. Belo Horizonte, 1998.

SOARES-FILHO, Britaldo Silveira, CERQUEIRA, Gustavo Coutinho, ARAÚJO, William Leite, VOLL, Eliane, **Modelagem de Dinâmica de Paisagem: Concepção e Potencial de Aplicação de Modelos de Simulação baseados em Autômato Celular**, 2003.

TIMBÓ, M.A.E., FREITAS, Charles Rezende, DUTRA, Luciano Vieira, ROSA, Gilmar: **Análise da redução do índice de qualidade de água (IQA) utilizando ambientes de Geoprocessamento**, 2005.