Crescimento e Realocação Populacional no Espaço Intra-Urbano de São José dos Campos (1991-2000)

- Análise Espacial -

Mestrado em Sensoriamento Remoto - INPE
Disciplina de Análise Espacial
Prof: Antônio Miguel V. Monteiro
Aluna: Flávia da Fonseca Feitosa
Data: 17/12/03

Motivação

- **Urbanização brasileira nas últimas décadas estruturação territorial urbana caracterizada por:**
  - Planejamento insipiente – expansões desordenadas
  - Força da especulação imobiliária
  - Intensificação do processo de segregação social/espacial.
  - Diminuição da qualidade de vida urbana

- **Importância da compreensão da dinâmica vigente de urbanização**
  - Relacionamentos entre movimentos da estrutura territorial X estruturas sociais
  - Possibilidade de políticas públicas mais efetivas/ investimentos urbanos

Questões a serem trabalhadas

- Buscar avaliar e compreender algumas questões da dinâmica de crescimento e realocação populacional no espaço intra-urbano de São José dos Campos. Como este processo se deu nos últimos anos?

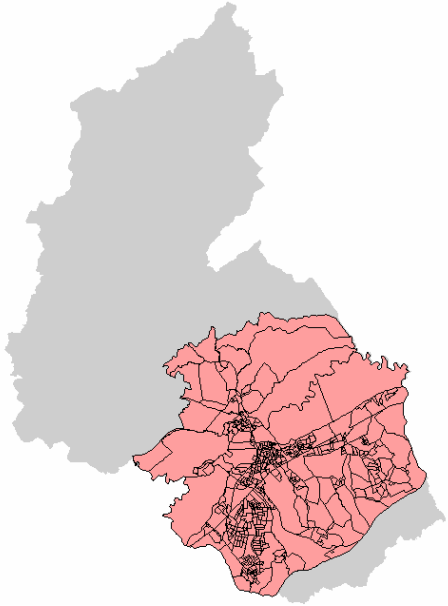
- Quais são as variáveis – mensuráveis - que influenciam o processo de atração/repulsão de determinadas áreas dentro da cidade? Qual a importância relativa de cada uma delas? E qual a relação com a estruturação social da cidade?

- Como são caracterizadas as áreas de atração/repulsão em 1991 e em 2000? Houve uma piora/melhora das condições de vida das áreas de maior crescimento neste período?

- É possível construir um modelo que represente esta dinâmica e simule as mudanças na cidade? Quais ferramentas seriam adequadas para isto?

Crescimento e Realocação Populacional na cidade de São José dos Campos: 1991-2000

- Recorte da área de estudo:



- População em 1991: 435.672
- População em 2000: 531.208
- Saldo Populacional 1991-2000: 95.536
- Crescimento anual de 2,2% ao ano.
  - Perda populacional em áreas consolidadas (Centro)
  - Crescimento acentuado nas áreas periféricas

Crescimento e Realocação Populacional na cidade de São José dos Campos: 1991-2000

- Crescimento populacional de uma cidade implica na reestruturação do território:
  - Adensamento e reestruturação de áreas já ocupadas e/ou
  - Incorporação de novas áreas pelo avanço da urbanização.

- Acompanhando o processo de crescimento existe um outro, o da <u>realocação populacional:</u>
  - relacionado às *externalidades* de determinadas áreas, ou seja, aos fatores sobrepostos a um terreno e que são capazes de motivar sua ocupação (Santos, 1991)
  - Externalidades podem ser positivas ou negativas.
  - Externalidades de uma mesma natureza tendem a se atrair: maior o número de externalidades positivas, mais onerosa é a ocupação da área.

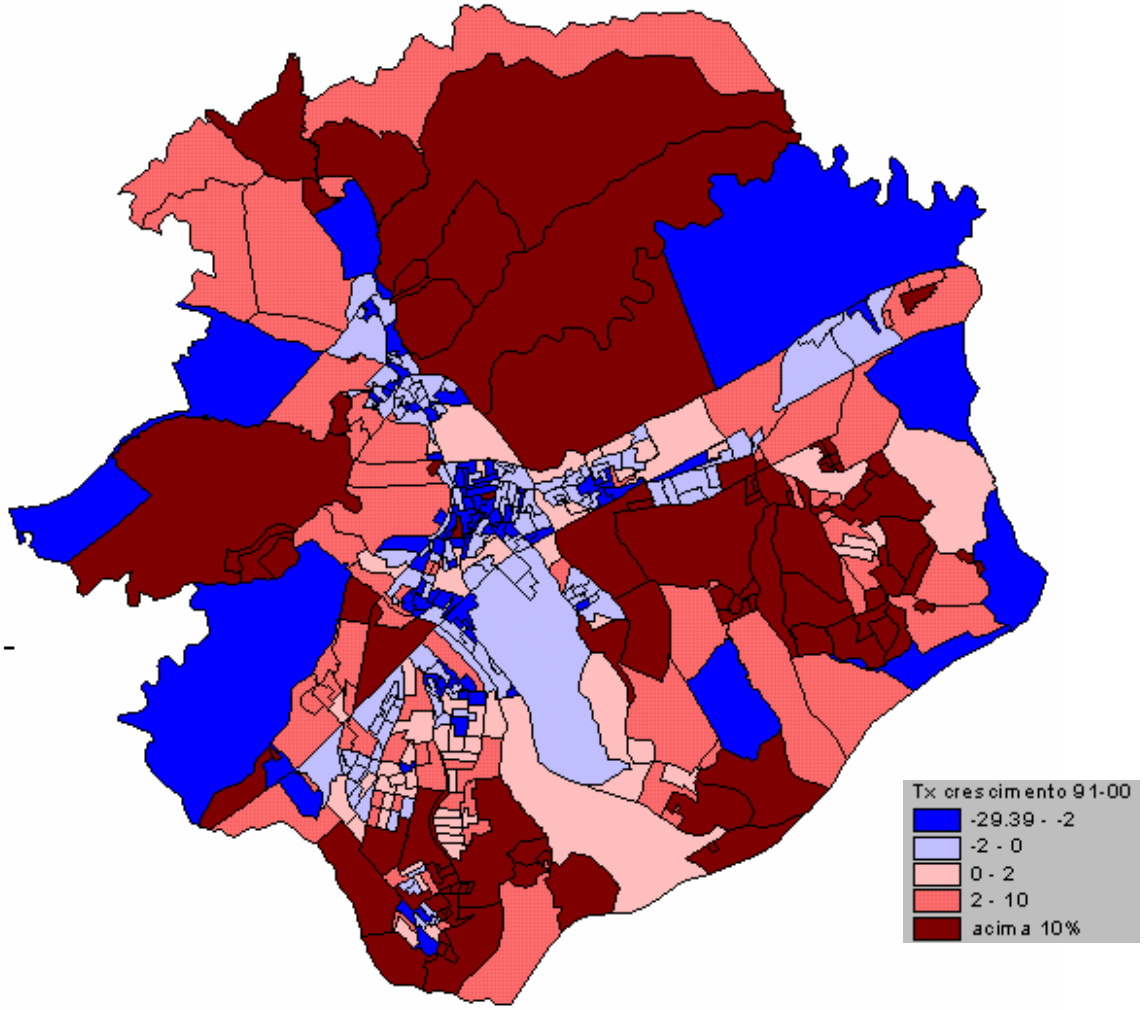
- Ou seja: reestruturação física do território vem associada a uma reestruturação de ordem social.

Crescimento e Realocação Populacional na cidade de São José dos Campos: 1991-2000

- Taxa de Crescimento Populacional (% a.a.)

• Taxas negativas em áreas consolidadas e algumas áreas periféricas que ainda apresentam características rurais.

•Taxas positivas em áreas periféricas em processo de expansão - novos loteamentos.



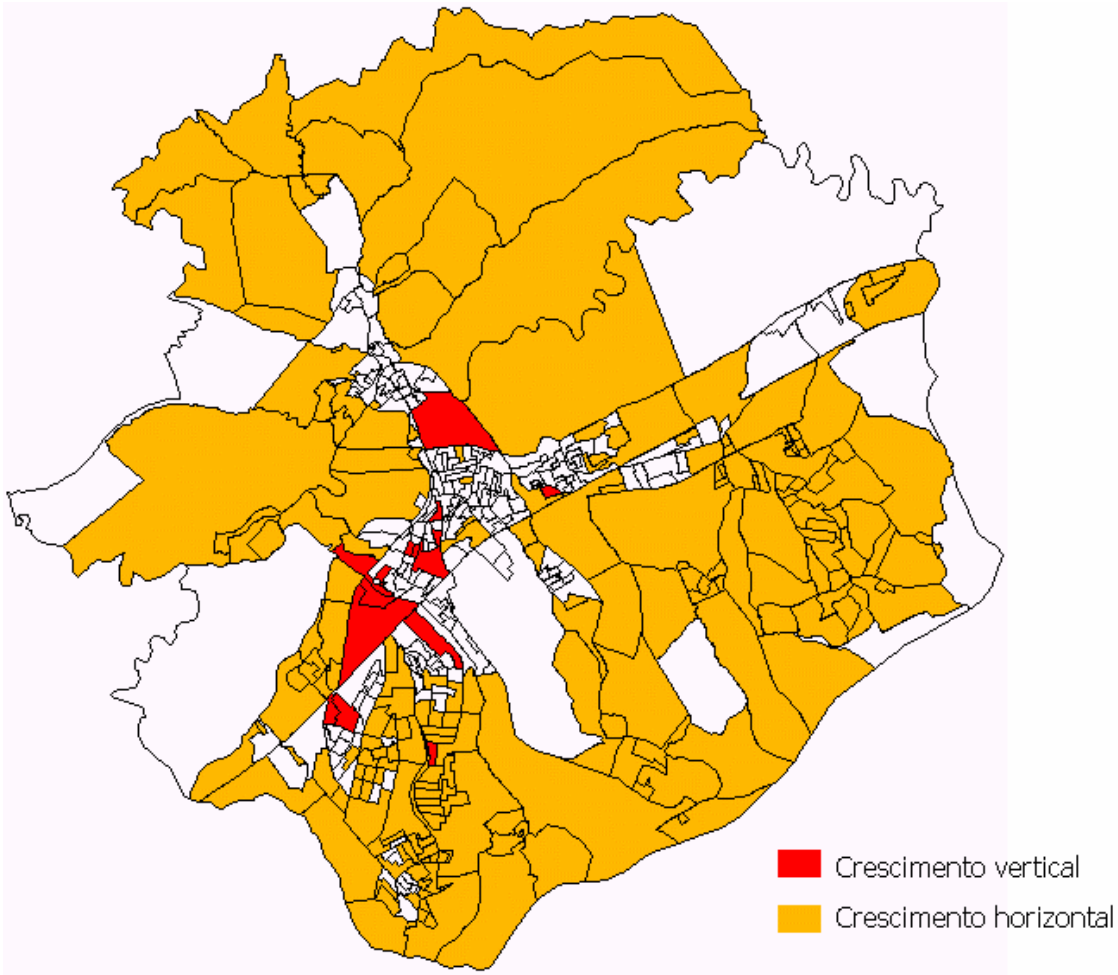
Crescimento e Realocação Populacional na cidade de São José dos Campos: 1991-2000

- Caráter da ocupação nas áreas com crescimento pop. positivo:

  - Região leste: "macrozona de expansão urbana" com crescimento horizontal promovido por novos loteamentos (dirigidos para a população de baixa renda).

  - Região oeste – Urbanova e condomínio Esplanada do Sol – também apresentou um crescimento horizontal significativo (ocupação das classes A e B)

  - Região Oeste - Parque Residencial Aquarius - crescimento vertical voltado para as classes A e B.



Fatores associados ao fenômeno de crescimento e realocação populacional

- Estabelecimento de relações entre crescimento populacional e algumas variáveis pré-estabelecidas.

- Fatores cuja influência sobre o fenômeno de atração/repulsão de determinadas áreas dentro da cidade será avaliada no decorrer do trabalho:
  - **Densidade Populacional** (DEN): relaciona-se com a disponibilidade de terras.
  - **Renda e Educação**: representados, respectivamente, pela porcentagem de chefes com até 2 SM (CHEF2SM) e de chefes com até 3 anos de Estudo (CHEF3AE). Relaciona-se com o valor da terra.
  - **Infra-estrutura**: representado pela porcentagem de domicílios servidos por rede de água (AGUA), rede de esgoto (ESGOTO) e coleta de lixo (LIXO).
  - **Condição de moradia**: representada pela porcentagem de domicílios próprios ou cedidos (PRO_CED).

Fatores associados ao fenômeno de crescimento e realocação populacional

- Variáveis selecionadas em virtude de suas correlações significativas em relação à taxa de crescimento populacional 1991-2000 (TX_CRESC) e pela existência de hipóteses referentes a cada uma delas (apresentadas no decorrer do trabalho).

- Matriz de correlação entre as variáveis: alta correlação.

	TX_CRESC	DEN	CHEF3AE	CHEF2SM	PRO_CED	AGUA	ESGOTO
DEN	-0,589						
CHEF3AE	0,411	-0,520					
CHEF2SM	0,489	-0,397	0,845				
PRO_CED	-0,418	0,563	-0,428	-0,266			
AGUA	-0,434	0,687	-0,513	-0,374	0,517		
ESGOTO	-0,503	0,671	-0,662	-0,516	0,631	0,739	
LIXO	-0,532	0,777	-0,562	-0,479	0,522	0,777	0,723

Correção de flutuações aleatórias

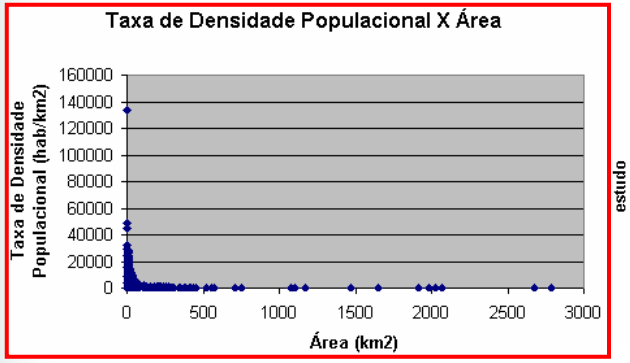
- Dados sobre formas de taxas ou porcentagens: necessidade de correção de flutuações aleatórias. Taxa é menos confiável quanto menor for o denominador que o compõe.

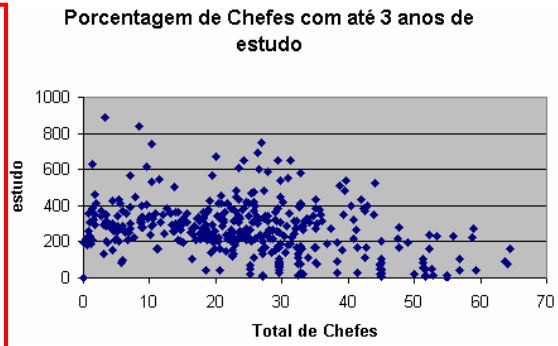
- Estimação bayesiana empírica local: taxa "real" = combinação da taxa observada com a média e variância das observações locais.

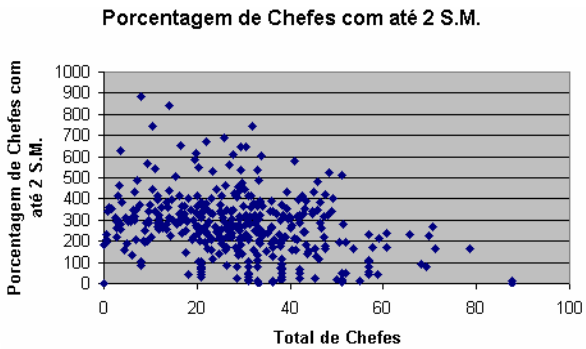
- Primeiro Passo: verificação do gráfico das variáveis do tipo taxa ou porcentagem versus seus denominadores.

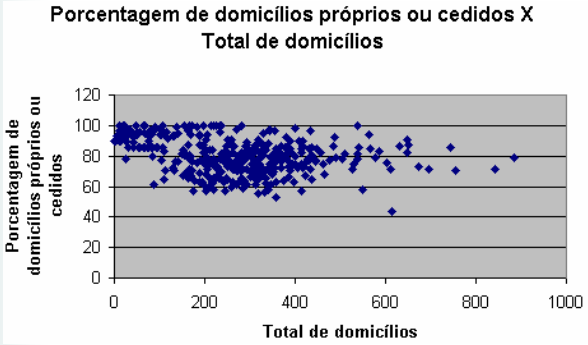
Correção de flutuações aleatórias

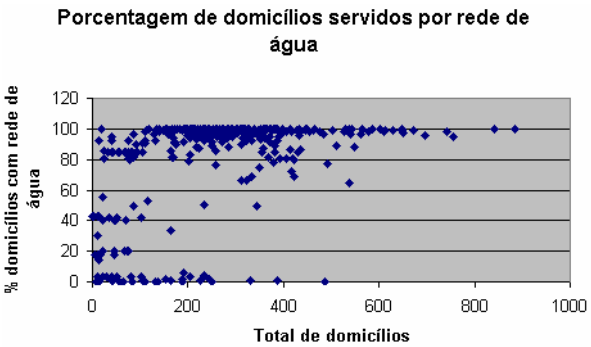
- O gráfico relativo à densidade populacional foi o único que apresentou uma forma de "funil", típica das variáveis que necessitam de ajustes da flutuação

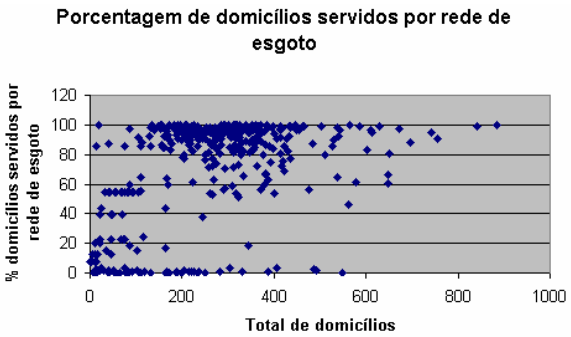








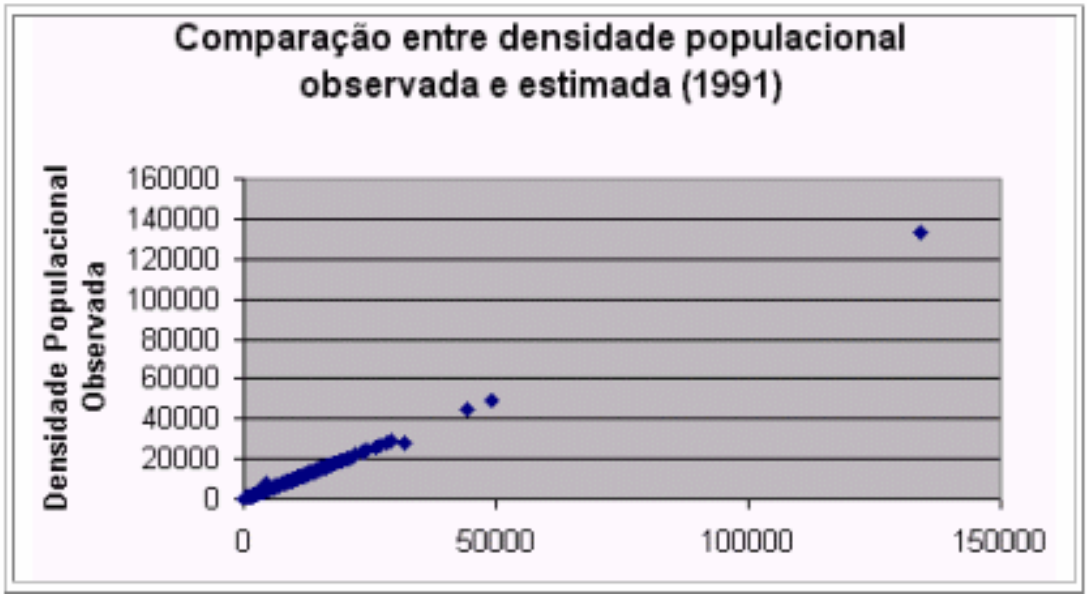




Correção de flutuações aleatórias

- Densidade populacional observada e a estimada pelo método bayesiano empírico local não indicou diferenças significativas.

- Opção pela manutenção da variável original.



Caracterização dos fatores associados ao fenômeno de crescimento e realocação populacional 1991-2000

- Caracterização de cadas uma das variáveis selecionadas, explicitando qual era a situação de cada uma delas no ano de 1991, antes do processo de crescimento 1991-2000, e como a realidade foi alterada após este período

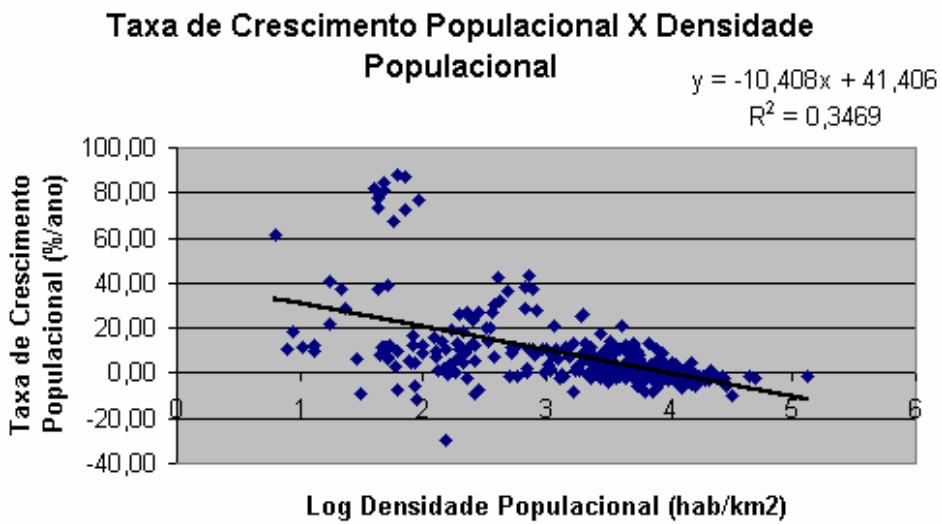
- Objetivos:
  - Investigar a importância destes fatores em relação ao fenômeno de atração/repulsão de determinadas áreas dentro da cidade
  - Verificar se estes nove anos de transformações levaram a uma melhora ou piora das condições de vida das áreas reestruturadas.

Densidade Populacional - 1991

- Hipótese inicial:

As taxas de crescimento mais elevadas ocorreram nas áreas de menor densidade populacional e, por conseguinte, com maior disponibilidade de terras a serem ocupadas.

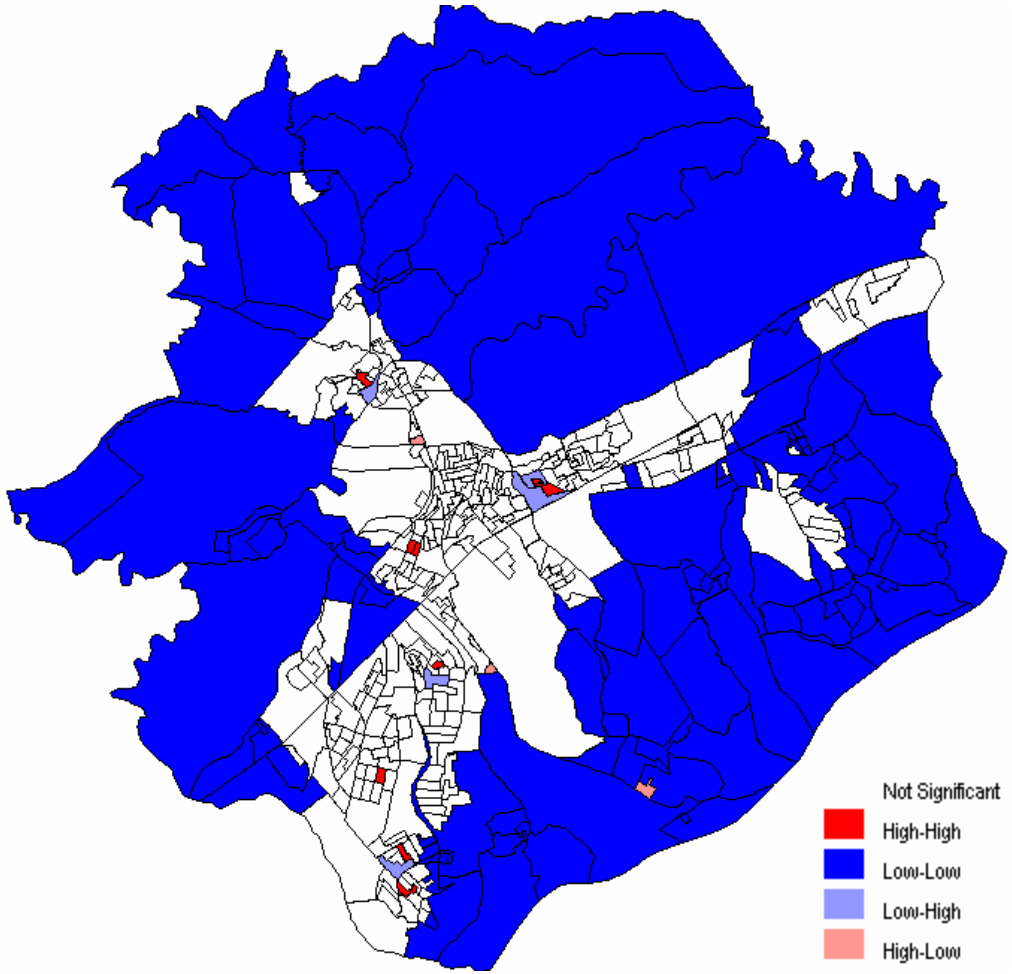
- O gráfico de espalhamento abaixo indica a correlação entre as duas variáveis (R=0,59) e vai ao encontro da hipótese inicial:



Densidade Populacional - 1991

- Índice global de Moran =0,59: significativa dependência espacial da variável.

- LISA map: presença forte de regimes espaciais com valores negativos e médias locais negativas, ou seja, *clusters* de baixa densidade nas áreas periféricas da cidade.



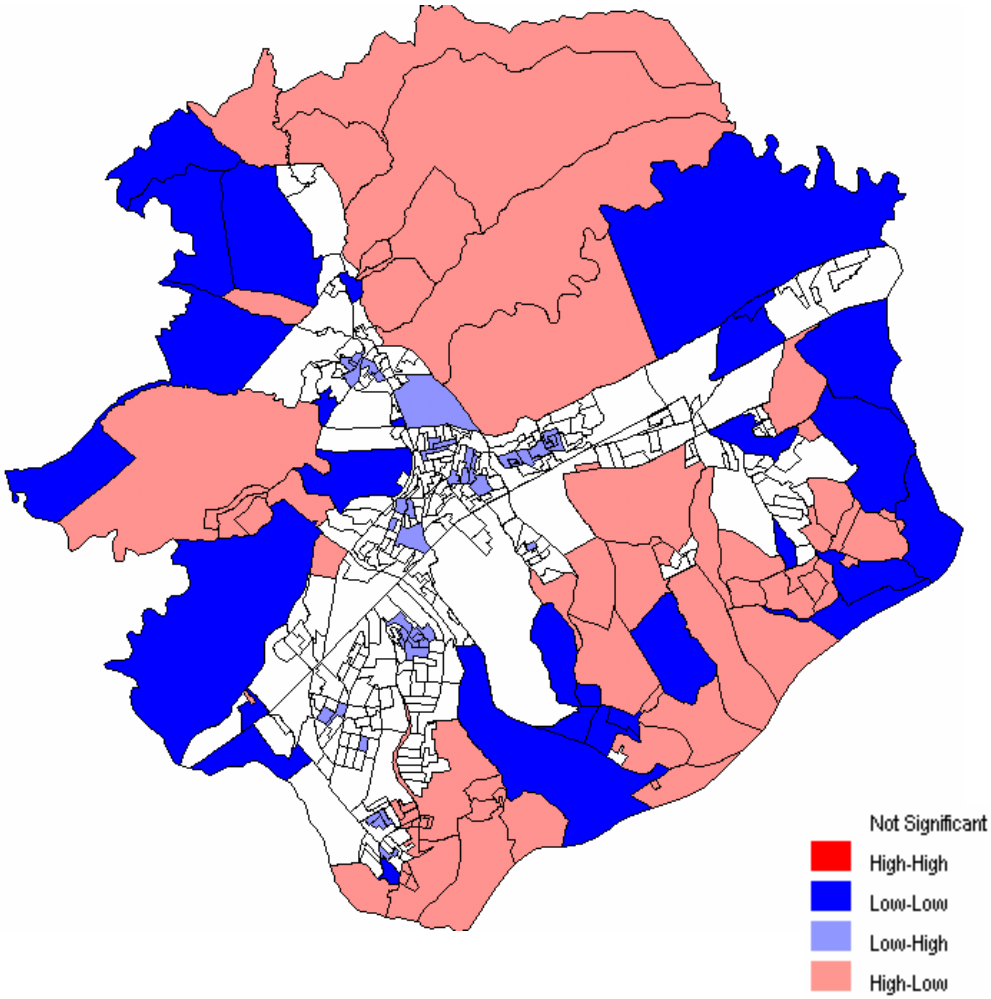
Densidade Populacional - 1991

- LISA MAP MULTIVARIADO: Densidade e Crescimento Populacional

- Salmão e Lilás: *clusters* que vão ao encontro da hipótese inicial.

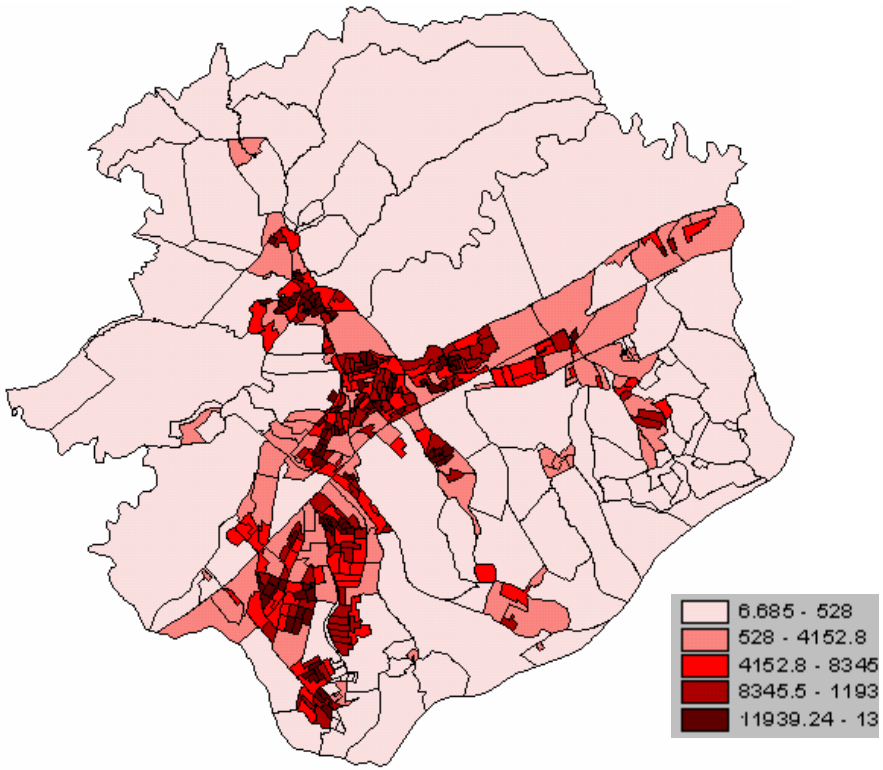
- Azul: clusters que representam áreas de baixa densidade que não tiveram crescimento populacional, ou seja, contrapõe-se à hipótese inicial.

- Não são detectados *clusters* de áreas densas que tiveram crescimento populacional.

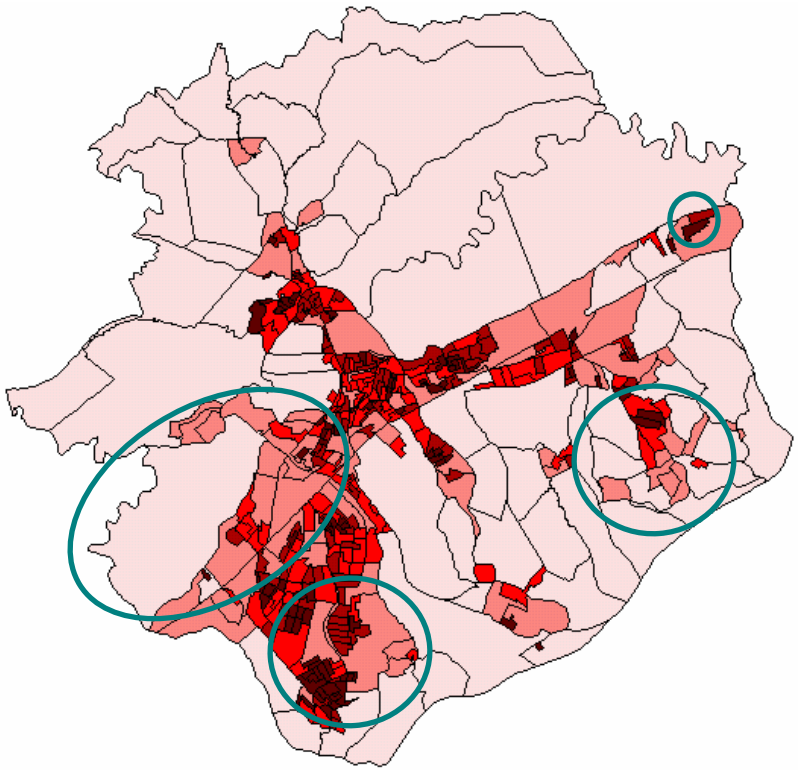


Densidade Populacional 1991 e 2000

- Densidade populacional da área nos anos 1991 e 2000: adensamento em direção a áreas mais periféricas (círculos verdes) - oeste (Urbanova e Aquarius), sul (Jd. Imperial e Jd. Interlagos) e leste (Cajuru, Novo Horizonte e Galo Branco).



Densidade em 1991

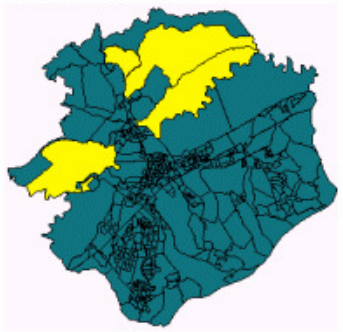


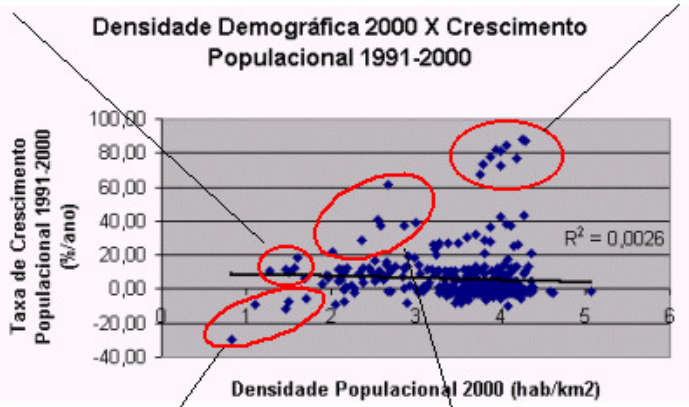
Densidade em 2000

Densidade Populacional 1991 e 2000

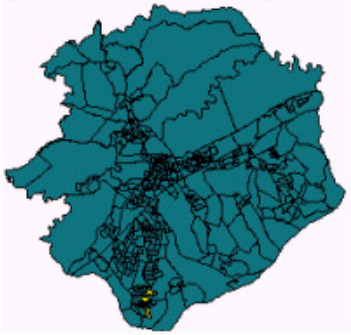
- gráfico de espalhamento da densidade populacional em 2000 e do crescimento 1991-2000: processo de saturação em andamento nas áreas que sofreram grande crescimento no período

Áreas que apresentaram crescimento superior a 10%, mas que permanecem com baixa densidade:

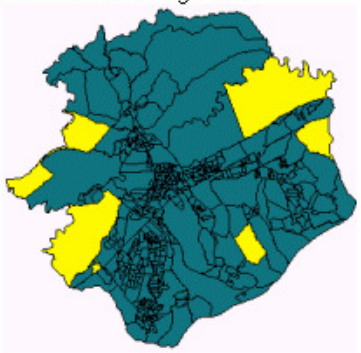




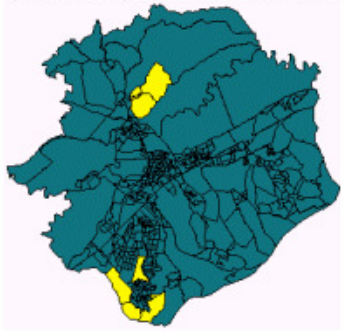
Áreas que apresentaram crescimento muito elevado e jjá praticamente saturadas (extremo sul do município):



Baixa densidade e crescimento negativo:



Áreas de elevado crescimento que ainda podem crescer mais:

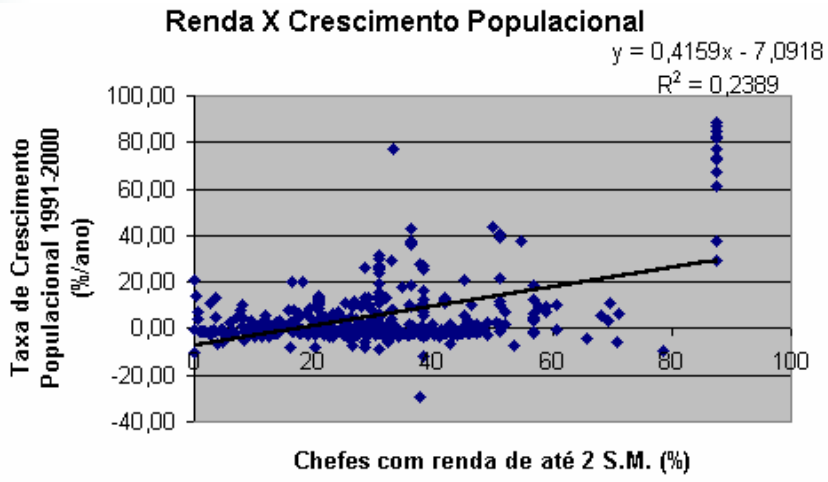


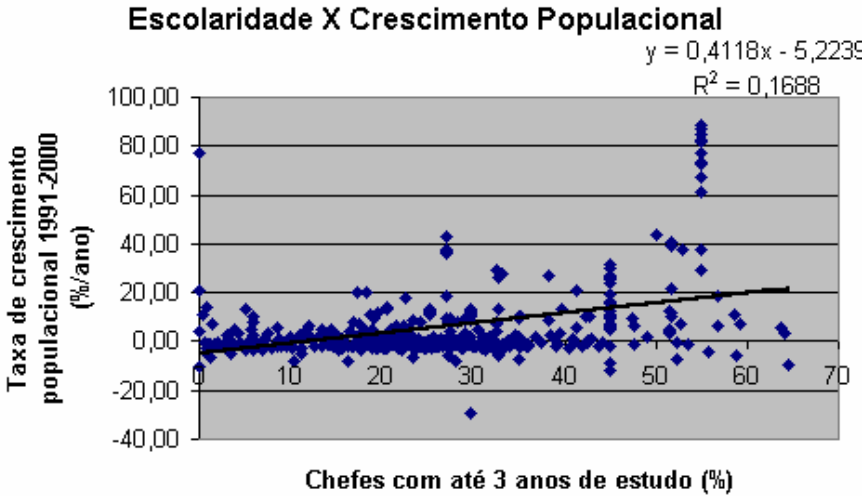
Renda e Escolaridade - 1991

- Hipótese inicial: **quanto menor a renda/escolaridade dos chefes em 1991, menor é o custo da terra e maior será o crescimento populacional na área**.

- Correlações: $R_{renda} = 0,49$

  $R_{escolaridade} = 0,41$

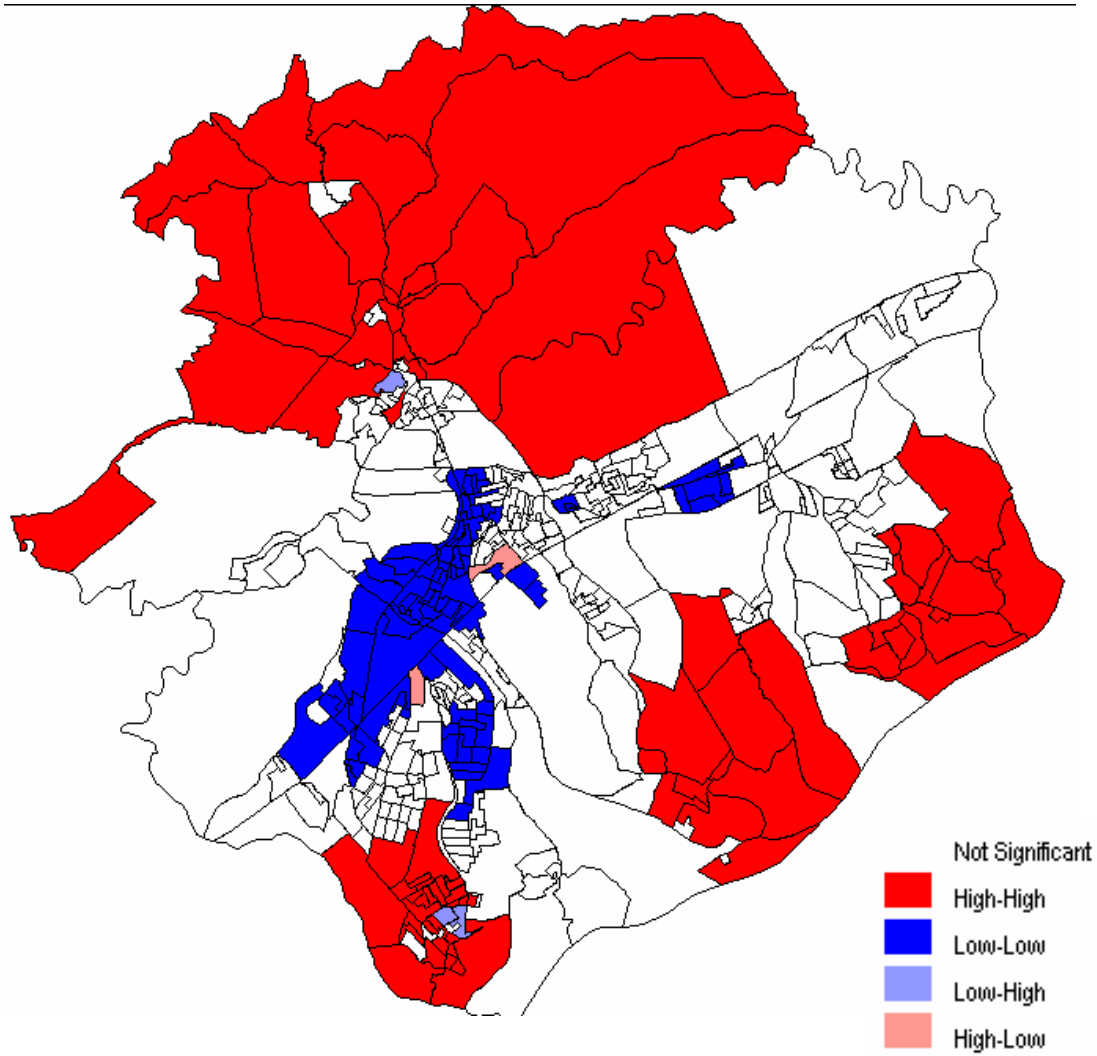




Renda e Escolaridade – 1991

- **Moran Global:**
  - **I_{renda}=0,59**
  - **$I_{escolaridade}$ = 0,66**

- **LISA MAP**
- Azul: clusters de alta renda/escolaridade
- Vermelho: clusters de baixa renda/ escolaridade
- Lilás e salmão: áreas de transição



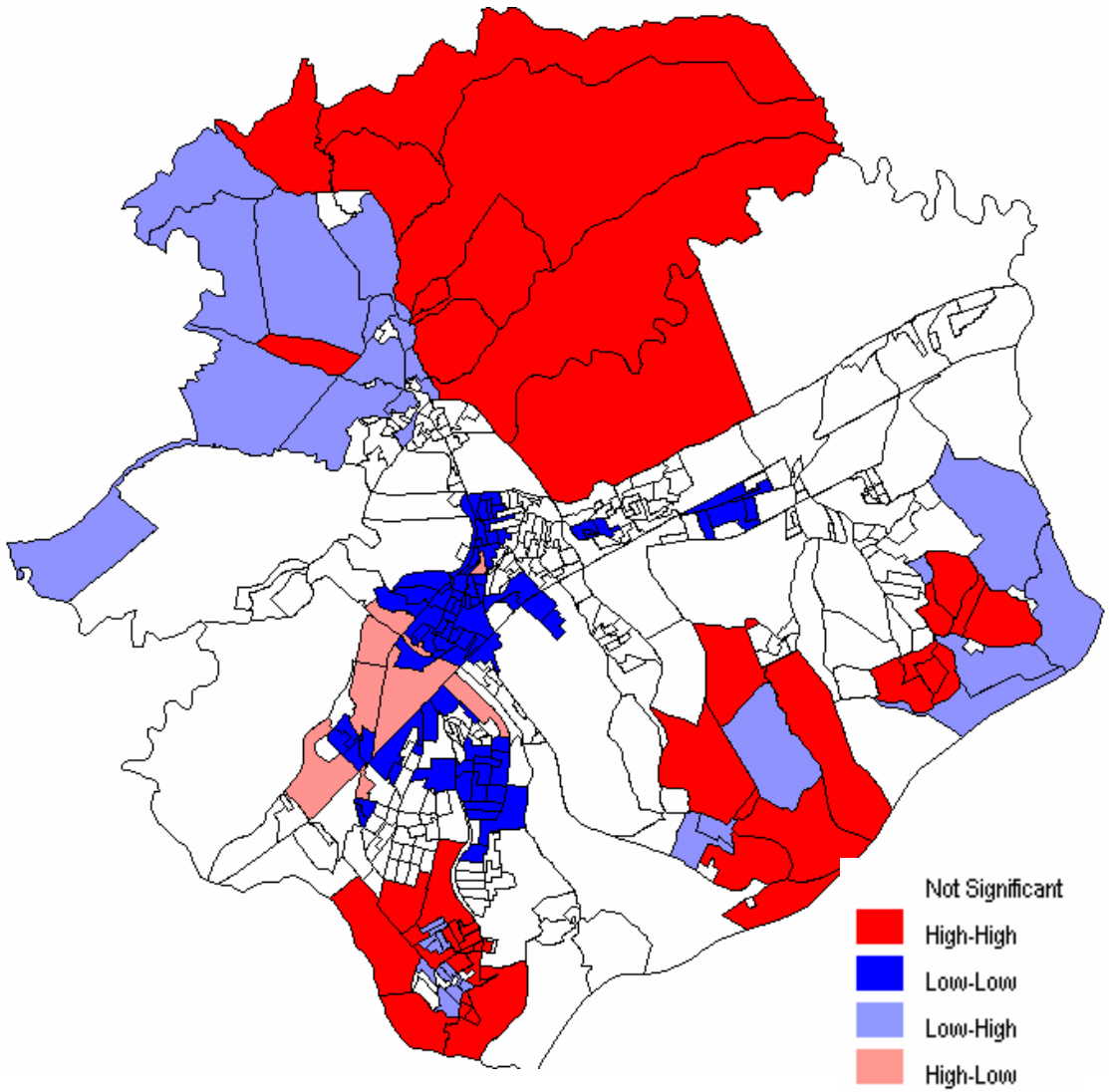
Renda e Escolaridade - 1991

- **LISA MAP MULTIVARIADO:** renda/escolaridade X crescimento populacional

- Vermelho e Azul: confirmam hipótese (baixa renda, alto crescimento e vice versa)

- Lilás: refuta a hipótese. Áreas de baixa densidade que não se desenvolveram.

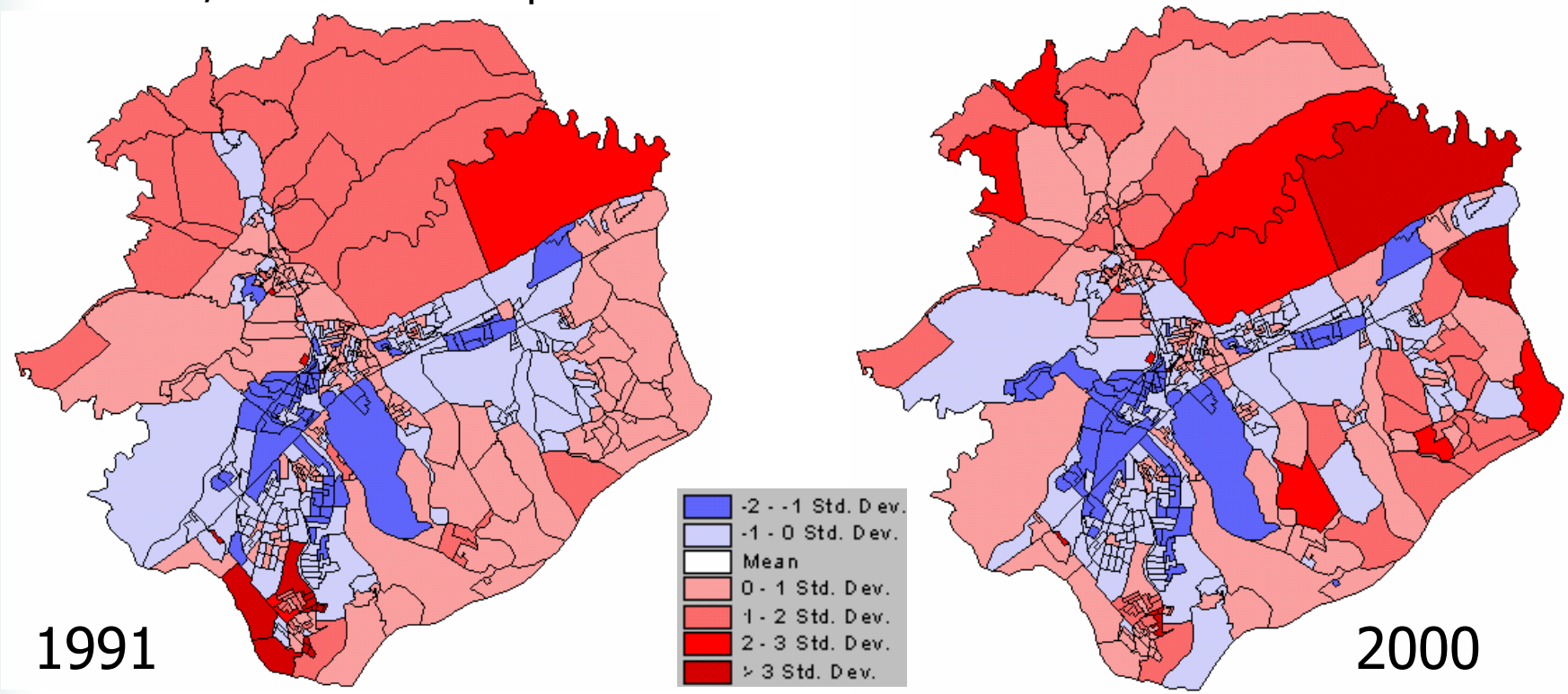
- Salmão: refuta a hipótese. *Clusters* de áreas de alta renda/escolaridade que cresceram muito.



Renda - Situação 1991 X Situação 2000

Crescimento Populacional X
Mobilidade Relativa das Condições de Renda

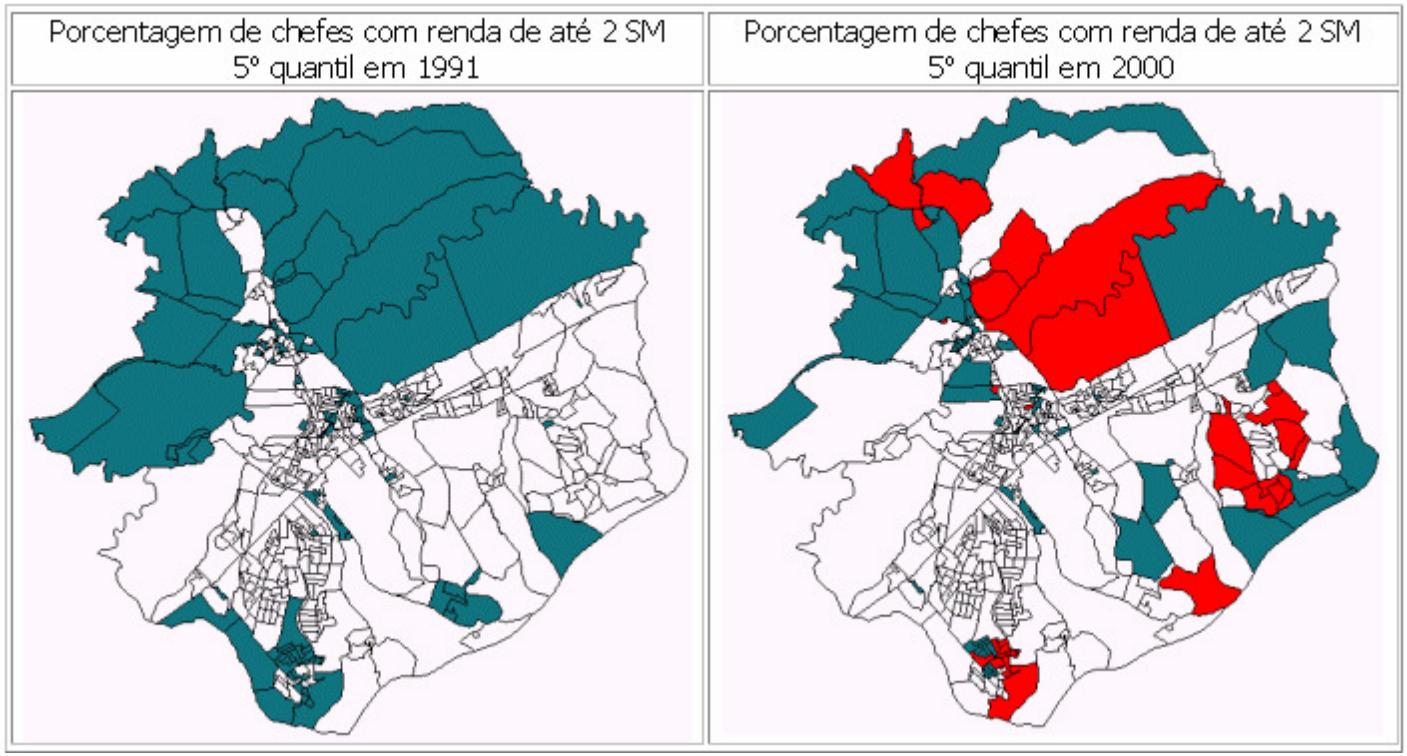
- Mapas da porcentagem de chefes com até 2 S.M em 1991 e 2000 – por desvio padrão – não indicam grande mobilidade de população com menor/maior renda no período 1991-2000



Renda - Situação 1991 X Situação 2000

- Porcentagem de chefes com até 2 S. M. dividido em quantis – facilidade de interpretação dos dados
  - Estabelecimento dos 20% com menor renda, 20% com melhor renda e níveis intermediários

- Áreas pertencentes ao 5º quantil (menor renda) em 1991 e 2000.

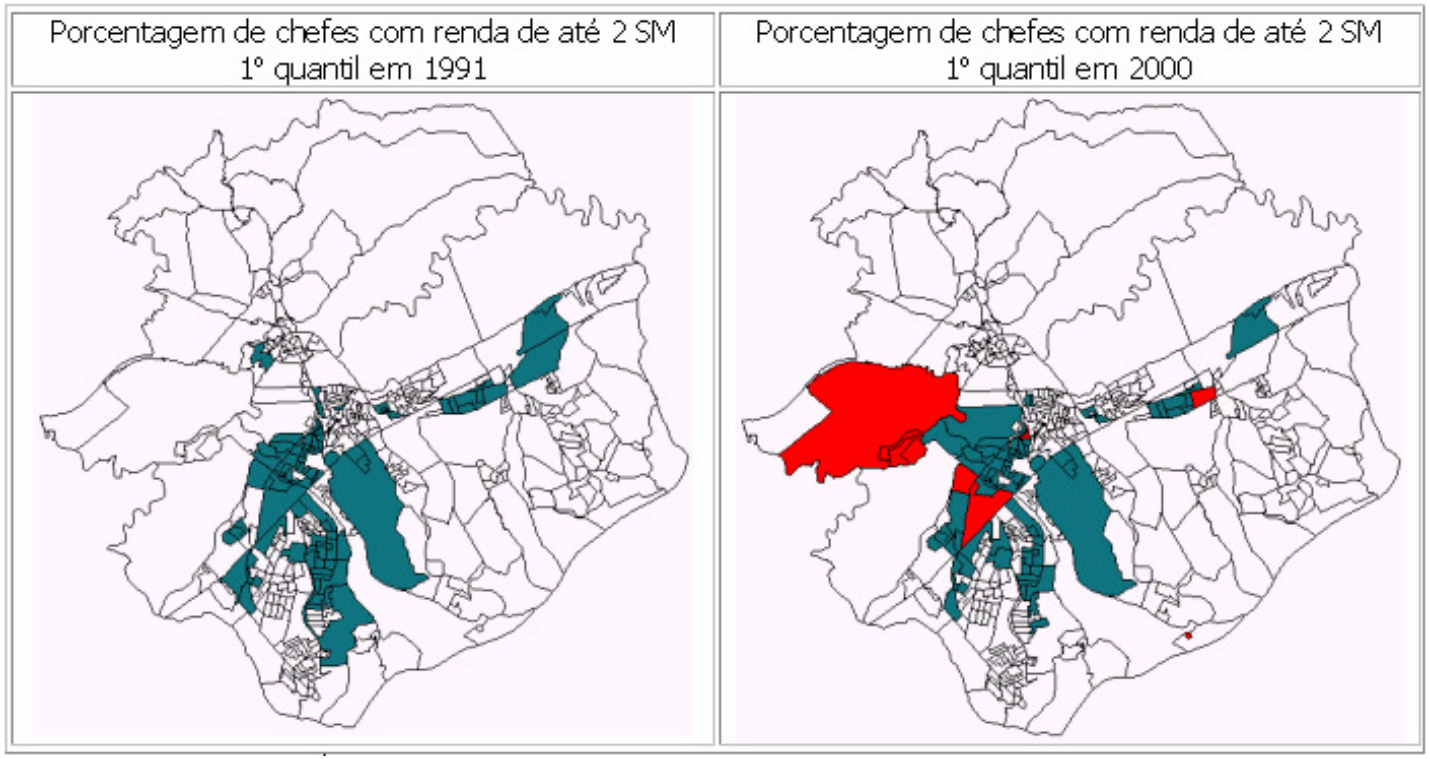


Renda - Situação 1991 X Situação 2000

- **5º quantil (menor renda) – análise dos mapas**:
  - mantêm-se nas áreas periféricas, com um certo deslocamento para a região leste, onde o crescimento de algumas áreas foi superior a 10% ao ano no período 1991-2000 (em vermelho).
  - A região norte e extremo sul, já caracterizadas por uma população de baixa renda em 1991, também apresentaram taxas de crescimento muito elevada.

Renda - Situação 1991 X Situação 2000

- **1º quantil** (maior renda) em 1991 e 2000: deslocamento em direção a região oeste, que apresentou um crescimento acima de 10% no período
- Região oeste destaca-se pelas mudanças sofridas entre o ano de 1991, quando pertencia ao 5º quantil, e o ano de 2000, quando passou a pertencer ao 1º quantil: valorização da região

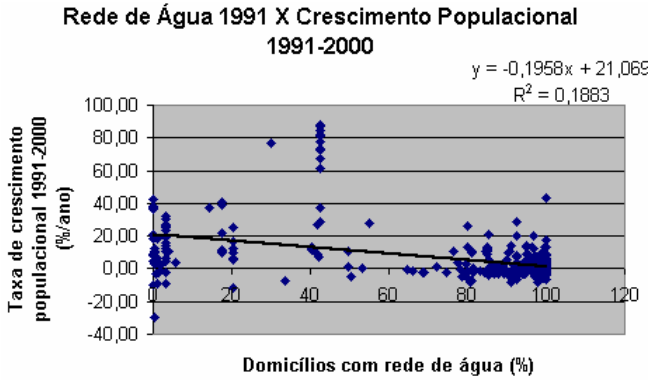


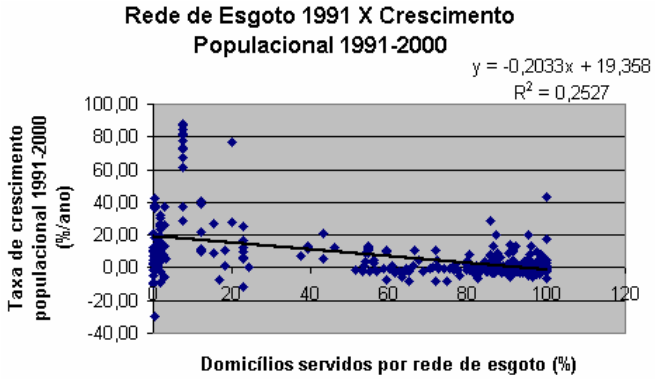
Infra-Estrutura - 1991

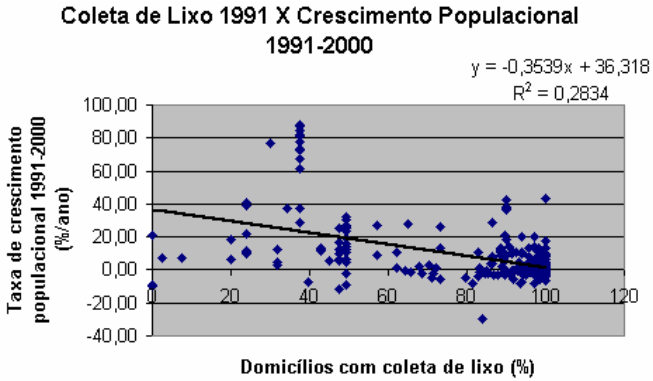
- Hipótese inicial:

o crescimento populacional é maior nas áreas menos servidas de infra-estrutura

- Todos os indicadores apresentaram correlação significativa com o crescimento populacional 1991-2000:
  - Rede de Água em 1991: R = 0,43
  - Rede de Esgoto em 1991: R = 0,50
  - Coleta de Lixo em 1991: R = 0,53





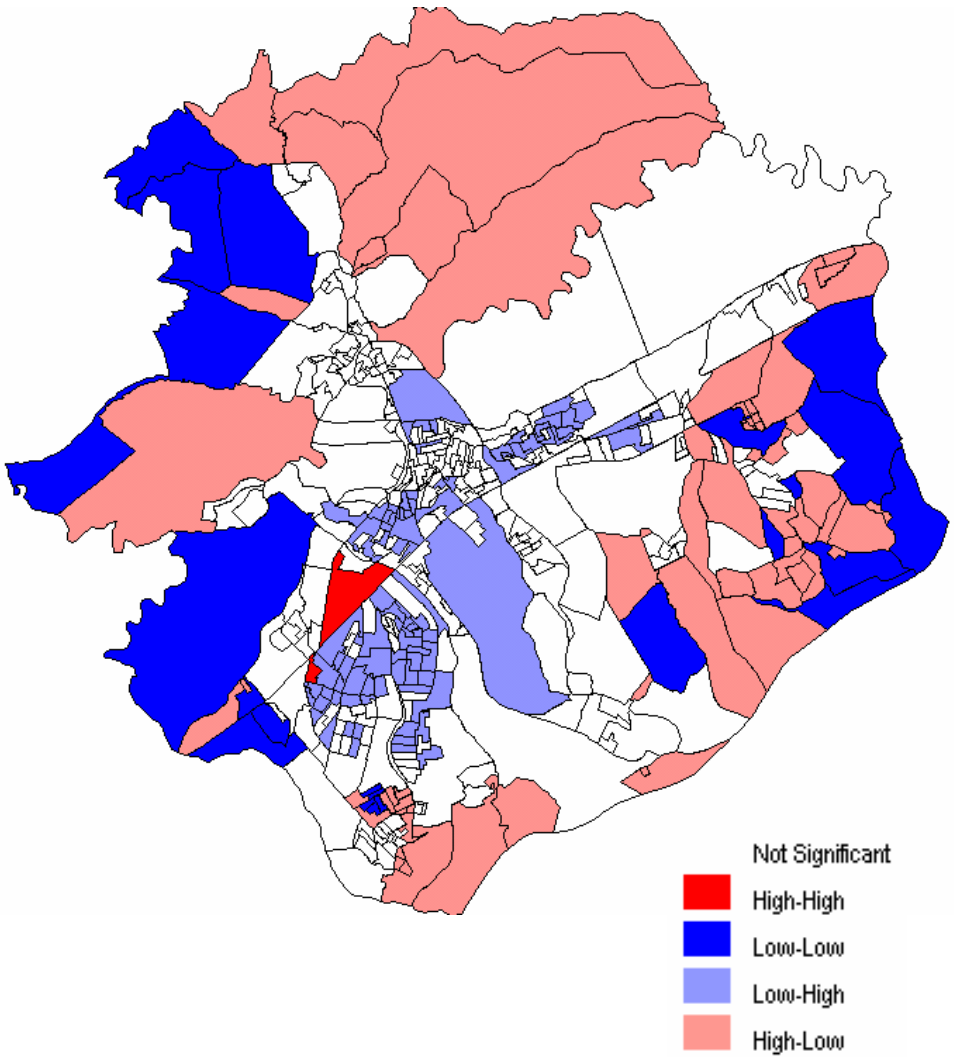


Infra-estrutura - 1991

- **LISA MAP MULTIVARIADO**
  infra-estrutura X crescimento populacional

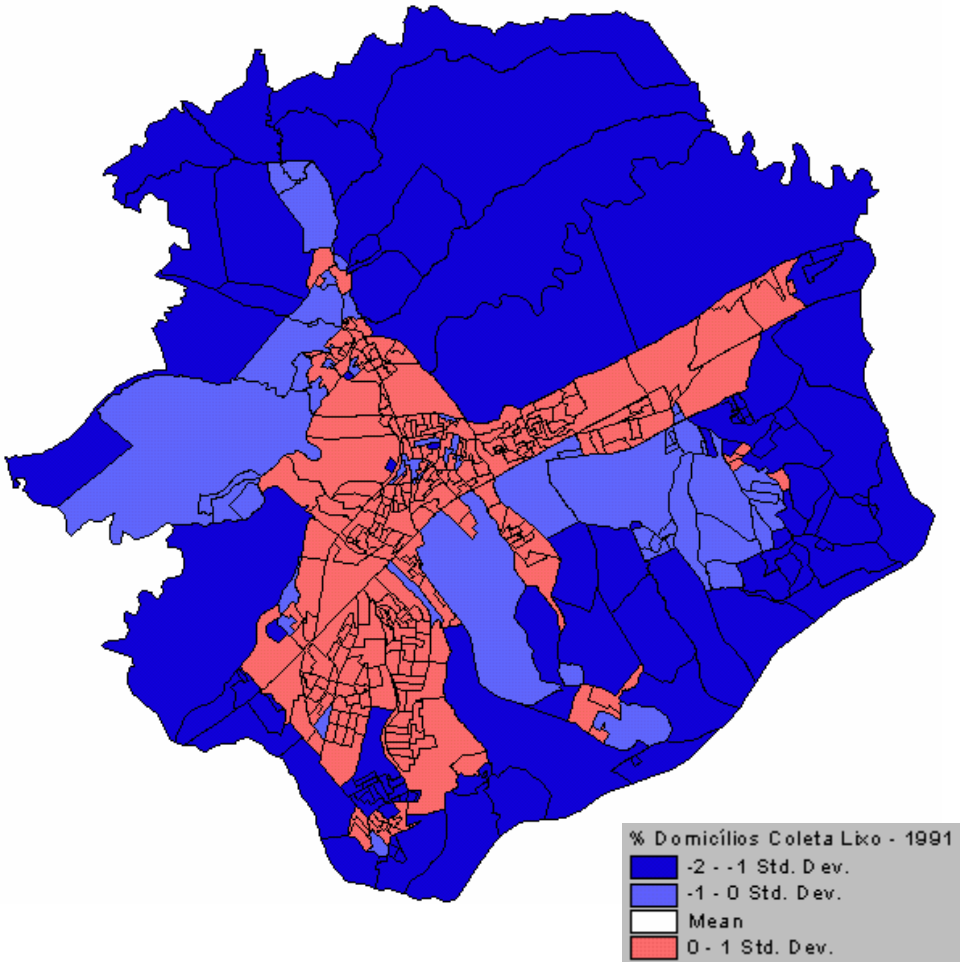
- salmão e lilás: clusters que comprovam a hipótese inicial (pouca infra-estrutura e alto crescimento, muita infra-estrutura e baixo crescimento)

- vermelho e azul: clusters que refutam a hipótese inicial.



Infra-Estrutura – Situação 1991 X Situação 2000

- O mapa da % de domicílios com esgoto (1991) classificado de acordo com o desvio padrão da variável mostra uma nítida separação centro-periferia. Ou seja, em 1991, **quanto mais periférico o setor, menor era % de domicílios servidos de esgoto.**



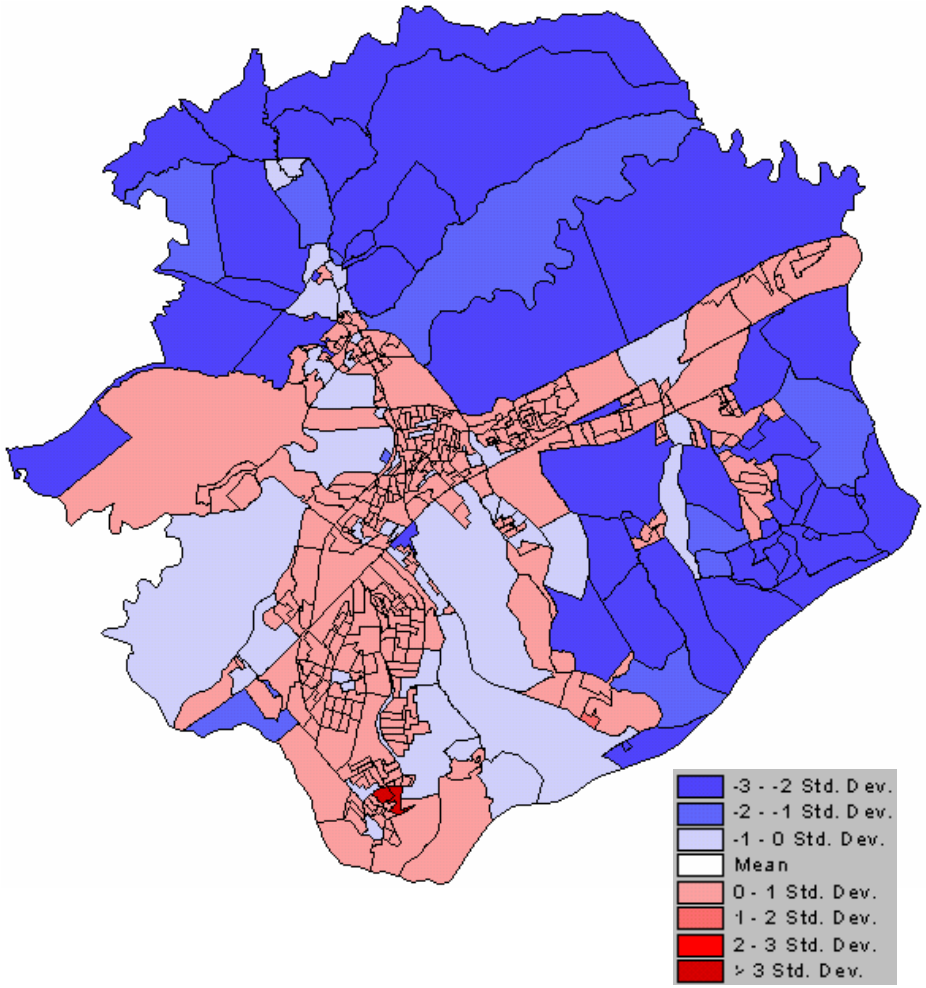
% Domicílios com Esgoto – 1991

(Desvio Padrão)

Infra-Estrutura – Situação 1991 X Situação 2000

- A dinâmica de crescimento populacional no período 1991-2000, contribuiu para a quebra da estanqueidade "centro-periferia" observada em 1991, com relação à infra-estrutura

- Mapa ao lado: No ano de 2000, já é possível observar que algumas áreas periféricas passaram a apresentar um desvio padrão positivo, ou seja, com uma porcentagem maior de domicílios servidos por esgoto do que a média municipal.



% Domicílios com Esgoto – 2000

(Desvio Padrão)

Infra-Estrutura – Situação 1991 X Situação 2000

- A quebra da "estanqueidade centro-periferia" veio acompanhada de um processo de democratização do acesso a serviços de infra-estrutura.

- Em 1991 era possível observar uma correlação significativa entre a renda dos chefes de família e infra-estrutura:
  - $R_{água1991}$ =0,43
  - $R_{esgoto1991}$=0,50
  - $R_{lixo1991}$=0,53

- Em 2000, com a expansão dos serviços, esta correlação apresentou uma queda significativa:
  - $R_{água2000}$ = 0,22
  - $R_{esgoto2000}$=0,32
  - $R_{lixo2000}$= 0

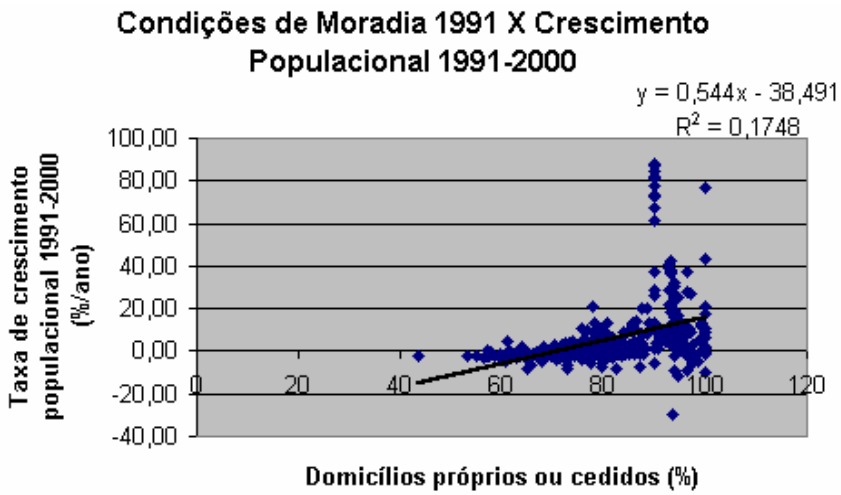
- Destaque para a coleta de lixo, onde a correlação desapareceu totalmente.

Condições de Moradia - 1991

- Hipótese inicial:

  taxas de crescimento mais elevados se dão em áreas cujos domicílios são próprios ou cedidos, respondendos às aspirações de aquisição da casa própria e fuga dos aluguéis.

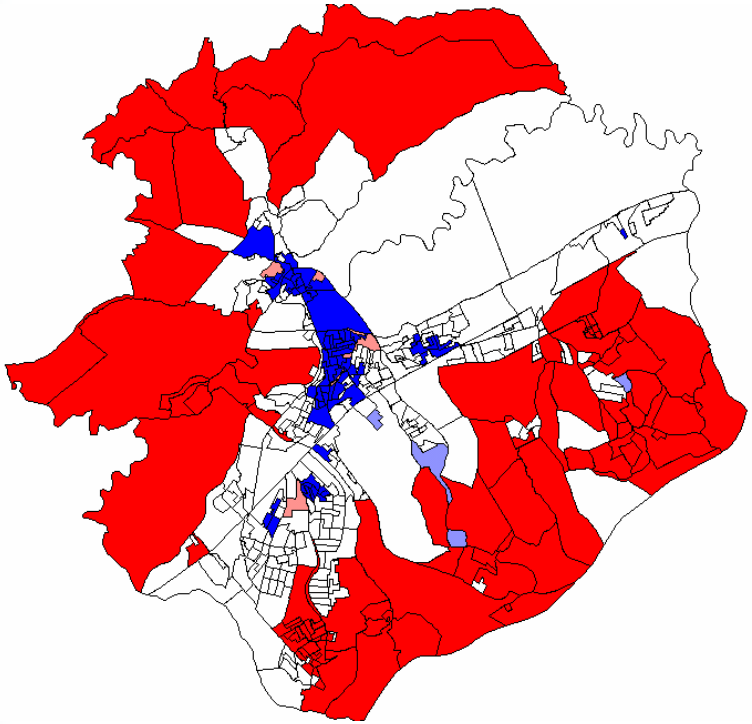
- Correlação Taxa de crescimento X Domicílios próprios/cedidos:
  - R = 0.42



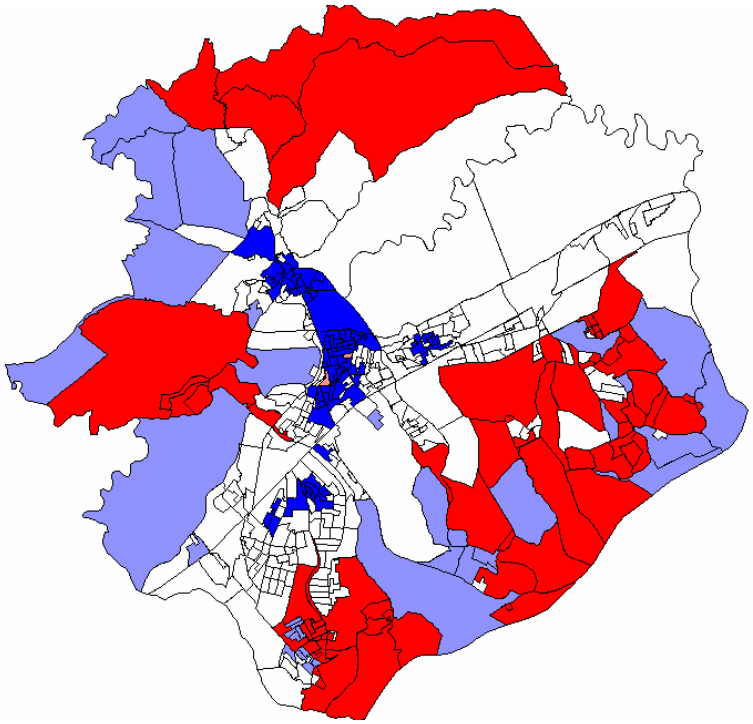
Condições de Moradia - 1991

- Significativa correlação espacial segundo o índice de Moran global (I = 0,58) e LISA Map indica clusters com alta concentração de domicílios próprios/cedidos nas áreas periféricas.

- LISA Map multivariado mostra em vermelho e azul as áreas que confimam a hipótese inicial e em lilás as que a refutam.



LISA MAP



LISA MAP MULTIVARIADO

Modelos de Regressão

- **Modelos de regressão**: explicam o comportamento de uma variável, chamada dependente, através de sua relação com uma ou mais variáveis explicativas.

$$\mathbf{Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \ldots + \beta_1 X_1 + \varepsilon}$$

  Y é a variável dependente, X_i é a variável explicativa, β_i é o coeficiente de regressão da variável X_i e ε é o resíduo da modelagem.

- Apesar dos inúmeros indícios de dependência espacial entre as variáveis tratadas, antes da aplicação de regressões espaciais foram realizados modelos de regressão clássica.

- Finalidade: diagnóstico de condições postuladas como premissas básicas em uma regressão.

Regressão Clássica

- Regressão linear simples:
  - Variável independente Y = taxa de crescimento populacional 1991-2000
  - Variável dependente X = densidade populacional 1991

- Equação de regressão :

$$TX_CRESC = 41{,}42 - 10{,}41\ LOGDEN \quad (R_a^2=0{,}34)$$

Regressão Clássica

- Output SpaceStat:
  - medidas de ajuste como o R2, R2-ajustado, Akaike (AIC) e Schwartz (SC).
  - testes t e F realizados para a falta de ajuste, cuja hipótese nula foi rejeitada (p<0,05) e portanto a variável densidade foi considerada significativa.

```
ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
DATA SET  REGRESS
DEPENDENT VARIABLE   TXCRESC       OBS 431      VARS   2      DF 429
R2          0.3470     R2-adj      0.3455
LIK        -1679.02    AIC         3362.05    SC         3370.18
RSS         61054.9    F-test      228.014    Prob  2.23961e-14
SIG-SQ      142.319  (     11.9298 ) SIG-SQ(ML)      141.659  (     11

VARIABLE    COEFF       S.D.       t-value        Prob
CONSTANT     41.4283     2.45173   16.897594    0.000000
  LOGDEN    -10.4128    0.689585  -15.100139    0.000000
```

Regressão Clássica

- Output SpaceStat:
  - teste para verificação de multicolinearidade, cujo resultado não deve ultrapassar o valor 30 (Anselin, 1999).
  - teste para a normalidade dos resíduos que, no caso da densidade, foi rejeitada ($p<0.05$). Neste caso, a estimação dos parâmetros pode ter sido afetada, pois a estimação pelo método dos mínimos quadrados é feita sob a hipótese de normalidade.
  - testes para a homocedasticidade dos resíduos, que neste caso foi rejeitada ($p<0,05$). Cabe ressaltar, porém, que a indicação de heterocedasticidade pode estar indicando apenas a dependência espacial do fenômeno (Anselin, 1999).

```
REGRESSION DIAGNOSTICS
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER      8.414295
TEST ON NORMALITY OF ERRORS
TEST                    DF       VALUE         PROB
Jarque-Bera              2   2566.215644     0.000000
DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                    DF       VALUE         PROB
Koenker-Bassett test     1     83.779171     0.000000
SPECIFICATION ROBUST TEST
TEST                    DF       VALUE         PROB
White                    2     99.598357     0.000000
```

Regressão Clássica

- Output SpaceStat:
  - testes para a dependência espacial que, neste caso, mostraram-se significativos (p<0,05), exceto o teste Robust LM (lag). Quando a dependência espacial é ignorada, a estimação por mínimos quadrados é tendenciosa e as inferências são prejudicadas.

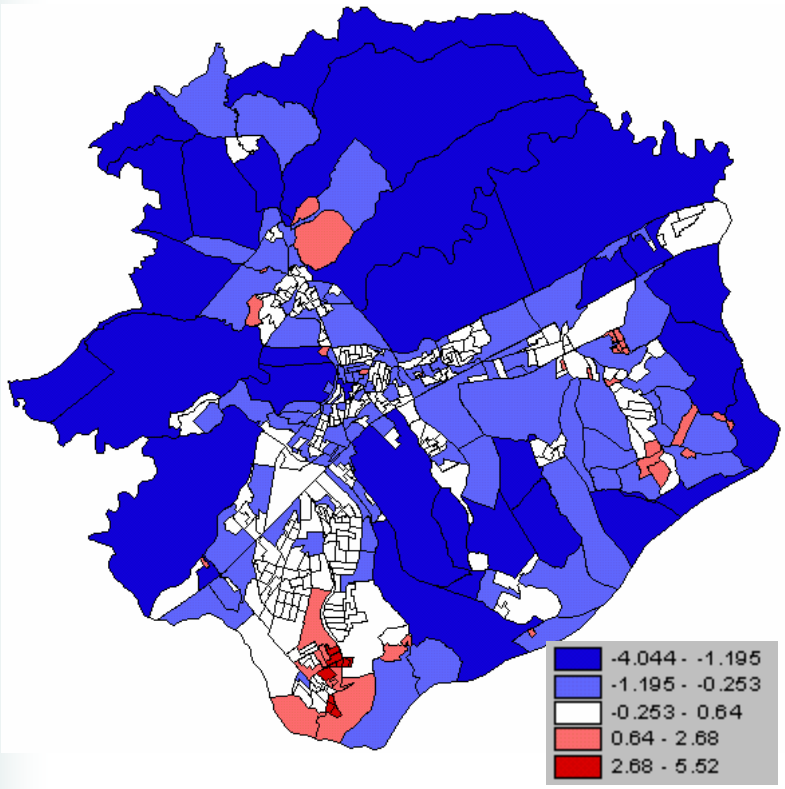
DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHTS MATRIX REGRESS (row-standardized weights)

TEST	MI/DF	VALUE	PROB
Moran's I (error)	0.458625	15.960758	0.000000
Lagrange Multiplier (error)	1	245.750811	0.000000
Robust LM (error)	1	46.192784	0.000000
Kelejian-Robinson (error)	2	168.046315	0.000000
Lagrange Multiplier (lag)	1	201.508185	0.000000
Robust LM (lag)	1	1.950158	0.162570
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	247.700969	0.000000

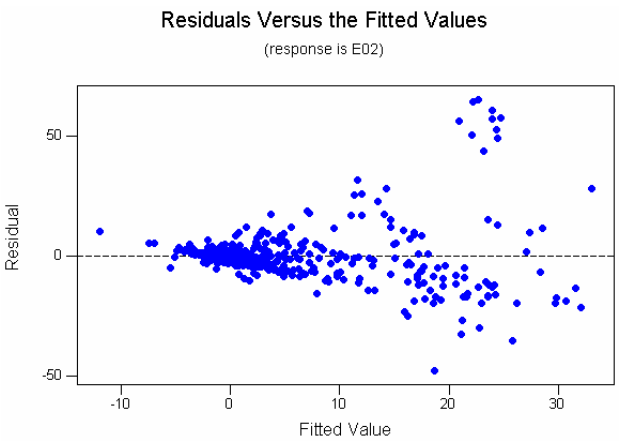
  - testes oferecem indicações de que um modelo de regressão espacial do tipo *Spatial Error* (atribui a autocorrelação espacial ao resíduo) é mais apropriado do que o do tipo *Spatial Lag* (atribui a autocorrelação espacial à variável dependente Y) .

Regressão Clássica

- Mapa de Resíduos (I=0,45):
  - Autocorrelação espacial



- Gráfico dos resíduos versus valores ajustados:
  - Heterocedasticidade
  - Quanto mais elevado o crescimento populacional, menor o ajuste do modelo



Regressão Clássica

- Procedimento repetido para as demais variáveis.

- Síntese dos resultados:
  - Equações de regressão (simples):

TX_CRESC = 41,42 – 10,41 LOGDEN (R_a^2=0,34)

TX_CRESC = -7,1 + 0,41 CHEF2SM (R_a^2=0,24)

TX_CRESC = -5,22 + 0,41 CHEF3AE (R_a^2=0,17)

TX_CRESC = 19,36 - 0,20 ESGOTO (R_a^2=0,25)

TX_CRESC = -38,5 + 0,54 PROPCED (R_a^2=0,17)

X	R_a^2	Testes F e t	normalidade erros	Homoced.	Depend. Espacial	Modelo Indicado pelos testes
LOGDEN	0,34	ok	não	não	sim	*Spatial Error*
CHEF2SM	0,24	ok	não	não	sim	*Spatial Lag*
CHEF3AE	0,17	ok	não	não	sim	*Spatial Lag*
ESGOTO	0,25	ok	não	não	sim	*Spatial Lag*
PROPCED	0,17	ok	não	não	sim	*Spatial Lag*

Regressão Clássica

- **Síntese dos resultados (cont.)**
  - Equações de regressão (múltiplas): variáveis explicativas menos correlacionadas entre si foram as escolhidas.

TX_CRESC = 26,33 – 8,29 LOGDEN + 0,26 CHEF2SM (R_a^2=0,42)

TX_CRESC = 33,17 – 9,1 LOGDEN + 0,14 CHEF3AE (R_a^2=0,36)

TX_CRESC = - 37,57 – 0,40 PROPCED + 0,34 CHEF2SM (R_a^2=0,33)

TX_CRESC = - 33,09 – 0,38 PROPCED + 0,28 CHEF3AE (R_a^2=0,24)

TX_CRESC = 11,54 – 7,25 LOGDEN + 0,25 CHEF2SM + 0,14 PROPCED (R_a^2=0,43)

TX_CRESC = 20,04 – 8,26 LOGDEN + 0,12 CHEF3AE + 0,13 PROPCED (R_a^2=0,36)

- O modelo com melhor ajuste foi o que considera a densidade e renda como variáveis explicativas.

- A introdução de uma terceira variável no modelo não aumentou o poder explicativo – excesso de multicolinearidade.

Regressão Clássica

- **Síntese dos resultados (cont.)**

X	R_a^2	Testes F e t	Multicolin.	Normalidade Erros	Homoced.	Depend. Espacial	Modelo Indicado
LOGDEN CHEF2SM	0,42	ok	12,1	não	não	sim (I=0,43)	*Spatial Error*
LOGDEN CHEF3AE	0,36	ok	13,4	não	não	sim (I=0,45)	*Spatial Error*
PROPCED CHEF2SM	0,33	ok	17,3	não	não	sim (I=0,37)	*Spatial Lag*
PROPCED CHEF3AE	0,25	ok	18,1	não	não	sim (I=0,40)	*Spatial Lag*
LOGDEN CHEF2SM PROPCED	0,43	ok	30	não	não	sim (I=0,42)	*Spatial Error*
LOGDEN CHEF3AE PROPCED	0,36	ok	29,7	não	não	sim (I=0,44)	*Spatial Error*

Regressão Espacial

- Modelos de regressão que incorporam efeitos espaciais:
  - *Globais:* utilizam um único parâmetro para capturar a estrutura de correlação espacial
  - *Locais:* parâmetros variam continuamente no espaço

- Modelos de regressão com efeitos espaciais globais:
  - *Spatial Lag Models*: atribuem a autocorrelação espacial à variável dependente Y.
  - *Spatial Error Models:* atribuem a autocorrelação ao resíduo.

- Modelos de regressão com efeitos espaciais locais:
  - *Modelos de Regressão com Regimes Espaciais:* variações espaciais modeladas de maneira discreta.
  - *Modelos de Regressão com Efeitos Espaciais Contínuos*: que modelam variações espaciais modeladas de forma contínua, com parâmetros variando no espaço. Ex: "*Geographically Weighted Regression*" – GWR.

Spatial Lag Models

- Falta de normalidade dos resíduos: estimação dos modelos Spatial Lag foi realizada por variáveis instrumentais (IV)
  - Segundo Anselin (1991), a estimação por variáveis instrumentais é uma alternativa robusta à estimação MAXVER, já que a hipótese de erros normalmente distribuídos não é requisitada.

TX_CRESC = 34,51 + 0,27 W_TXCRESC – 8,8 LOGDEN (R_a^2 = 0,51)

TX_CRESC = -5,7 + 0,45 W_TXCRESC + 0,3 CHEF2SM (R_a^2 = 0,52)

TX_CRESC = -3,39 + 0,67 W_TXCRESC + 0,21 CHEF3AE (R_a^2=0,57)

TX_CRESC = -14, 47 + 0,85 W_TXCRESC + 0,19 PROPCED (R_a^2=0,59)

TX_CRESC = 13,30 + 0,43 W_TXCRESC - 0,15 ESGOTO (R_a^2=0,51)

TX_CRESC = 23,6 + 0,19 W_TXCRESC – 7,48LOGDEN+ 0,22 CHEF2SM (Ra2 = 0,52)

TX_CRESC = 30,34 + 0,18 W_TXCRESC – 8,3 LOGDEN+ 0,11 CHEF3AE (Ra2 = 0,47)

TX_CRESC = -20,48 + 0,62 W_TXCRESC + 0,2 PROPCED + 0,15CHEF2SM (R_a^2=0,58)

TX_CRESC = -16,05 + 0,7 W_TXCRESC + 0,18 PROPCED + 0,15CHEF3AE (R_a^2=0,57)

  - Em vermelho estão os modelos que apresentaram problemas de significância do parâmetro autoregressivo espacial → inclusão da variável <u>densidade</u>.

Spatial Lag Models

X	R_a^2 Regres. Clássica	R_a^2 Spatial Lag	α coefic. espacial	I Moran Regres. Clássica	I Moran Spatial Lag
LOGDEN	0,34	0,51	não	0,45	0,32
CHEF2SM	0,24	0,52	ok	0,44	0,12
CHEF3AE	0,17	0,57	ok	0,44	0,09
ESGOTO	0,25	0,51	ok	0,44	0,05
PROPCED	0,17	0,59	ok	0,40	0,02
LOGDEN CHEF2SM	0,42	0,52	não	0,43	0,31
LOGDEN CHEF3AE	0,36	0,47	não	0,45	0,37
PROPCED CHEF2SM	0,33	0,58	ok	0,37	0,1
PROPCED CHEF3AE	0,25	0,57	ok	0,40	0,006

- Foram realizados testes com o modelo *spatial error*, porém os resultados não foram satisfatórios (Ra2 baixo e dependência espacial dos resíduos. Provável justificativa: falta de um estimador que lide com as peculiaridades dos dados (não normalidade dos erros, por ex.)

Geographically Weighted Regression – GWR

- **Regressão Espacialmente Ponderada**
  (Geographically Weighted Regression – GWR)

  - Modela as variações espaciais de forma contínua, com parâmetros variando no espaço.

  - É realizada uma regressão para cada região/ponto. O princípio básico é o de ponderação das observações: pesos são atribuídos em função da distância entre a região para a qual o coeficiente está sendo estimado e as demais regiões.

$$\mathbf{Y(i) = \beta_0(i) + \Sigma\beta_\kappa(i)x_k + \varepsilon(i)}$$

Y(i): variável dependente representando o processo no ponto i

β(i): parâmetros estimados no ponto i

Geographically Weighted Regression – GWR

- **Regressão Espacialmente Ponderada**
  (Geographically Weighted Regression – GWR)

  - Modela as variações espaciais de forma contínua, com parâmetros variando no espaço.

  - É realizada uma regressão para cada região/ponto. O princípio básico é o de ponderação das observações: pesos são atribuídos em função da distância entre a região para a qual o coeficiente está sendo estimado e as demais regiões.

$$\mathbf{Y(i) = \beta_0(i) + \Sigma\beta_k(i)x_k + \varepsilon(i)}$$

Y(i): variável dependente representando o processo no ponto i

β(i): parâmetros estimados no ponto I

  - Em virtude desta grande variabilidade dos parâmetros, optou-se por elaborar modelos GWR simples, com apenas uma variável explicativa.

Geographically Weighted Regression – GWR

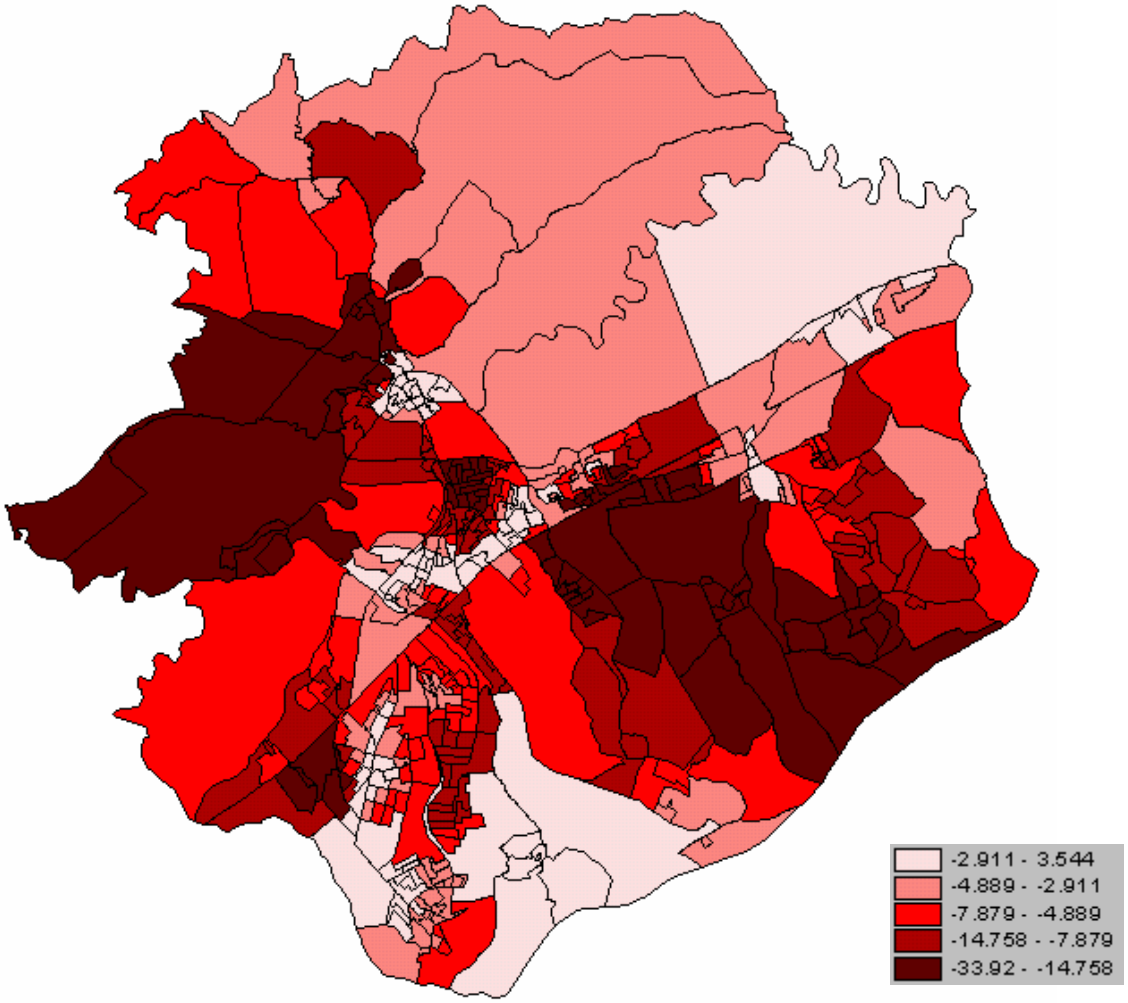
- GWR utilizando a **densidade** como variável explicativa:
  - Parâmetros locais estimados:

Parâmetros	Mínimo	Média	Máximo
Intercepto	-11,77	26,88	129,64
Densidade	-33,92	-6,57	3,54

  - $\mathbf{R_a^2 = 0,70}$ – aumento significativo em relação aos demais modelos elaborados.
  - A autocorrelação espacial dos resíduos desapareceu: **I = 0,04**
  - Teste de Monte Carlo: significância da variabilidade espacial dos parâmetros estimados. As coordenadas dos registros são permutadas aleatoriamente para verificar se há um padrão espacial dos parâmetros. Significância confirmada, ou seja, parâmetros locais estimados tem um comportamento **não-estacionário**.

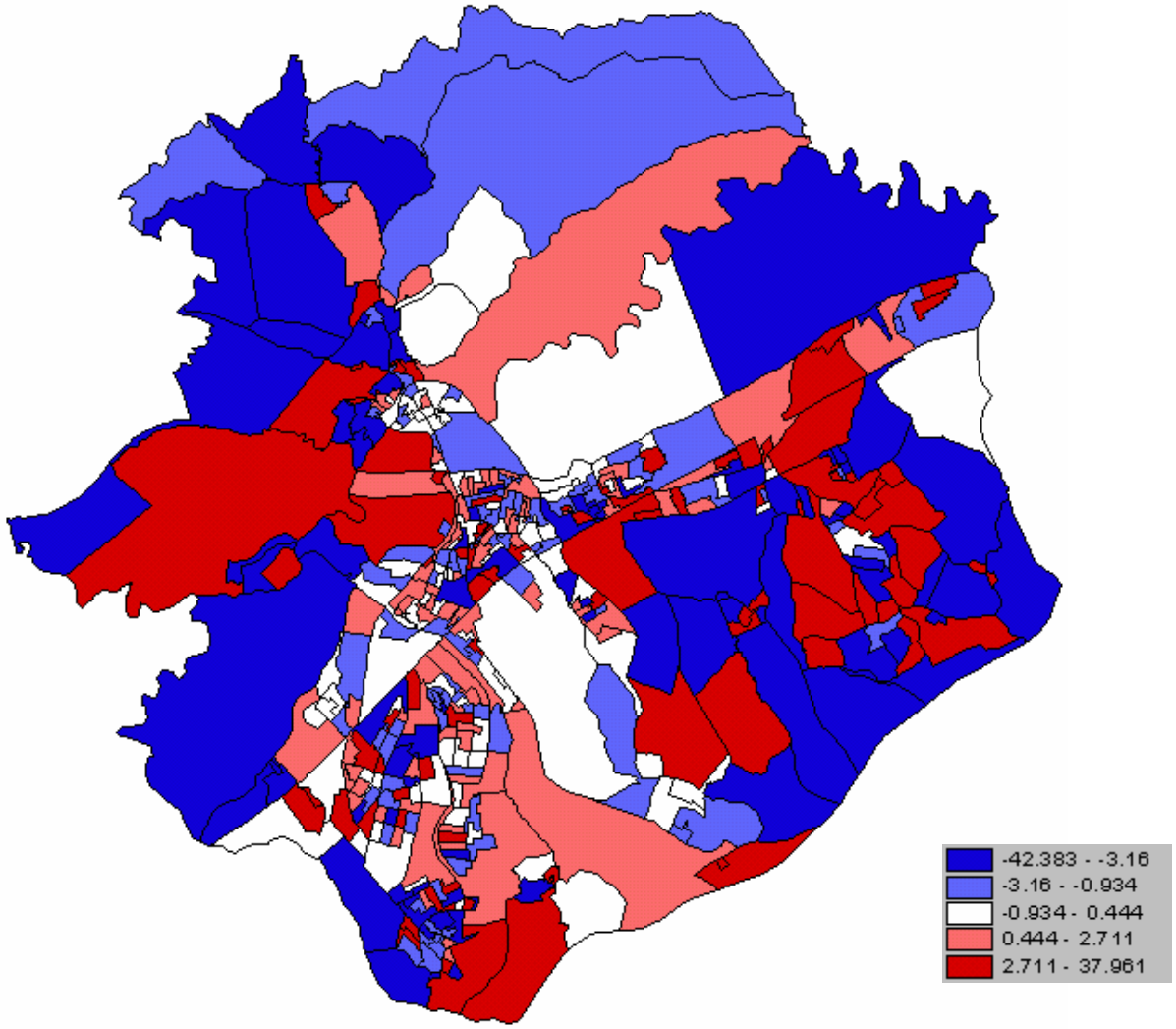
Geographically Weighted Regression – GWR

- Parâmetros estimados para a variável densidade:



Geographically Weighted Regression – GWR

- Mapa de resíduos (I = 0,04) :



Geographically Weighted Regression – GWR

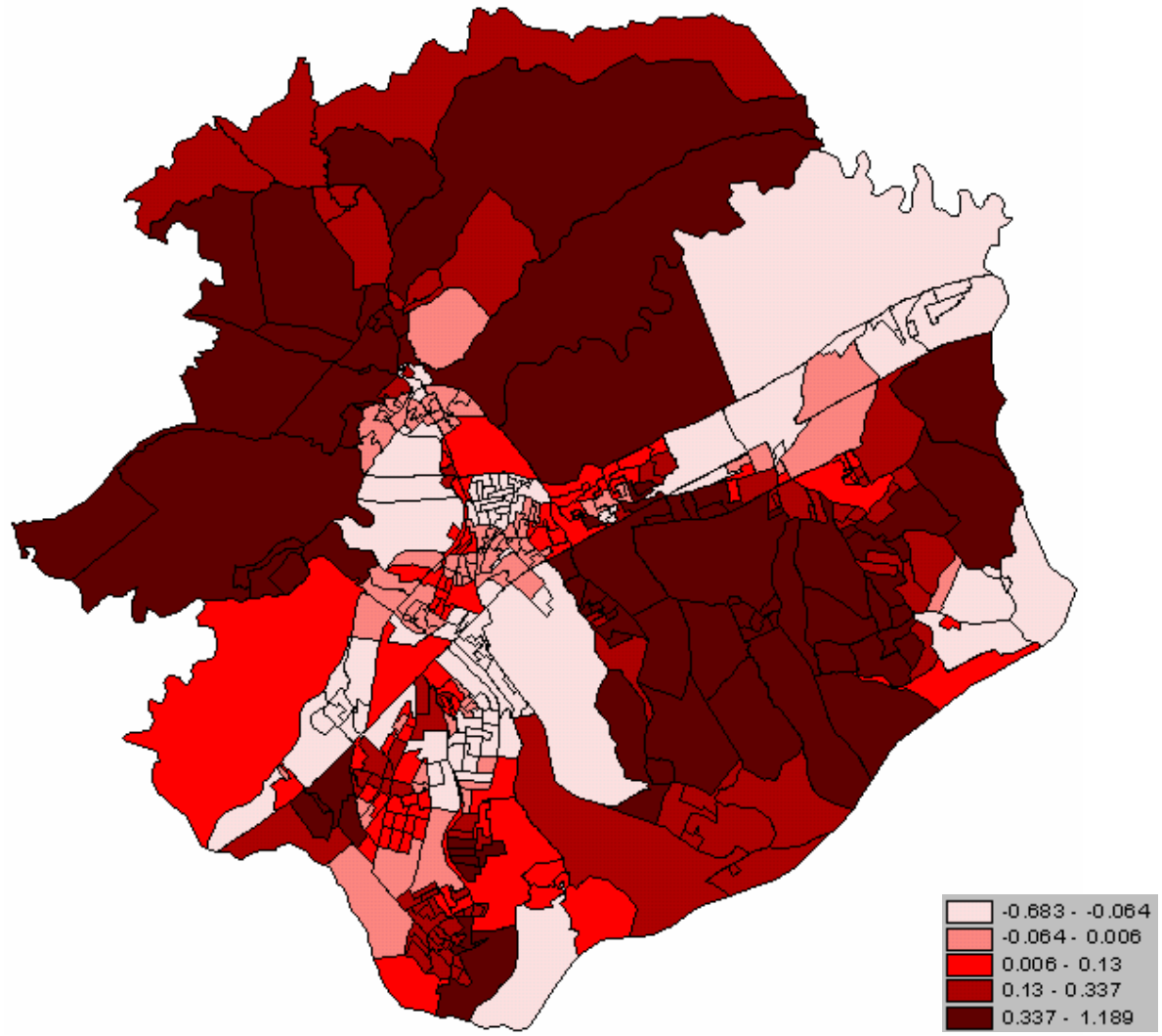
- GWR utilizando a **renda** como variável explicativa:
  - Parâmetros locais estimados:

Parâmetros	Mínimo	Média	Máximo
Intercepto	-43,21	-0,47	36,81
Renda	-0,68	0,05	1,19

  - $\mathbf{R_a^2 = 0,76}$ – aumento significativo em relação aos demais modelos elaborados.
  - A autocorrelação espacial dos resíduos desapareceu: **I = 0,06**
  - Teste de Monte Carlo: significância da variabilidade espacial dos parâmetros estimados. Significância **não** confirmada, ou seja, parâmetros locais estimados tem um comportamento **estacionário**.

Geographically Weighted Regression – GWR

- Parâmetros estimados para a variável renda:



Geographically Weighted Regression – GWR

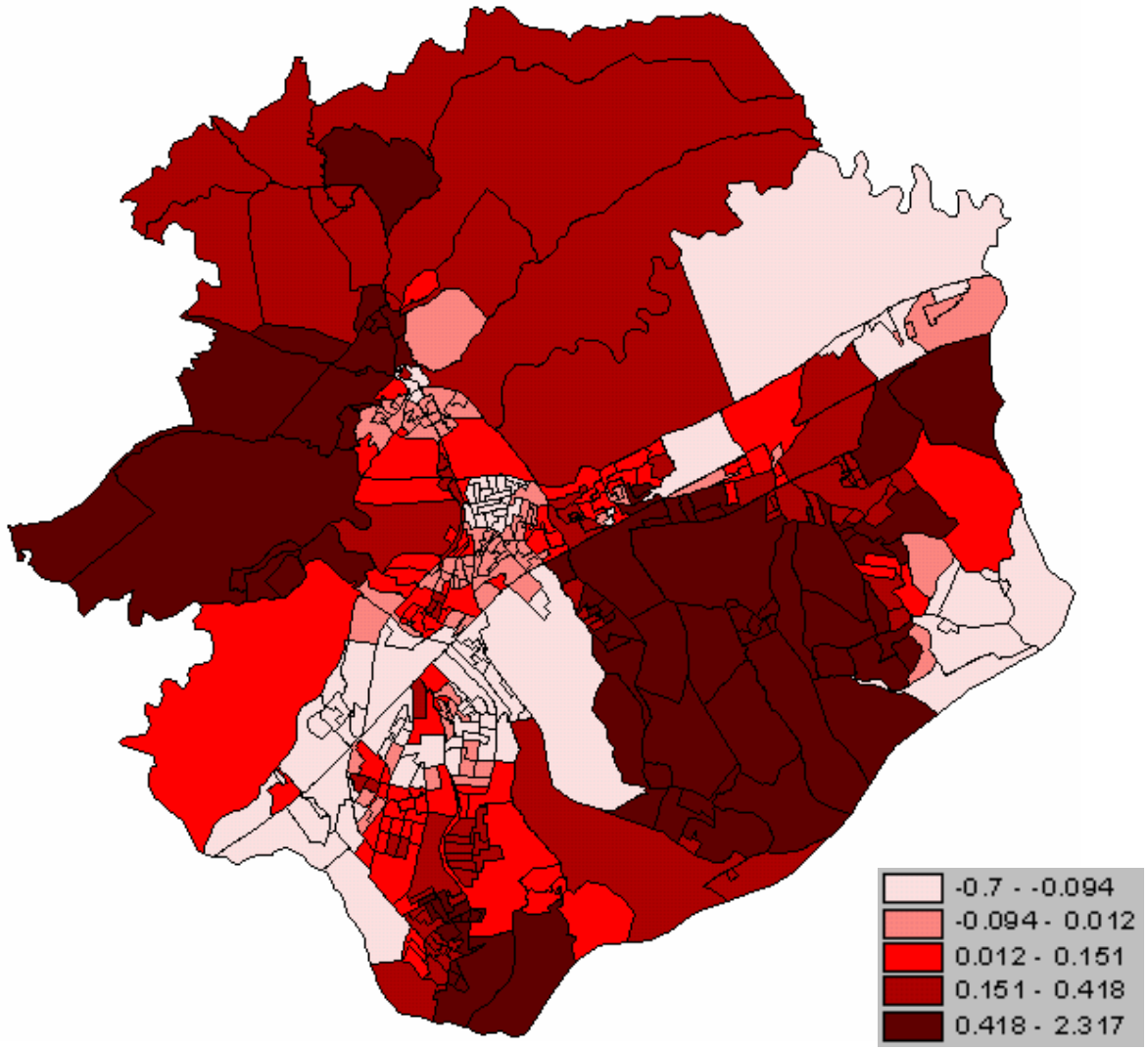
- GWR utilizando a **escolaridade** como variável explicativa:
  - Parâmetros locais estimados:

Parâmetros	**Mínimo**	**Média**	**Máximo**
Intercepto	-57,52	-0,86	41,73
Renda	-0,7	0,07	2,32

  - $\mathbf{R_a^2 = 0,72}$ – aumento significativo em relação aos demais modelos elaborados.
  - A autocorrelação espacial dos resíduos desapareceu: **I = 0,03**
  - Teste de Monte Carlo: significância da variabilidade espacial dos parâmetros estimados. Significância **não** confirmada, ou seja, parâmetros locais estimados tem um comportamento **estacionário**.

Geographically Weighted Regression – GWR

- Parâmetros estimados para a variável escolaridade:



Geographically Weighted Regression – GWR

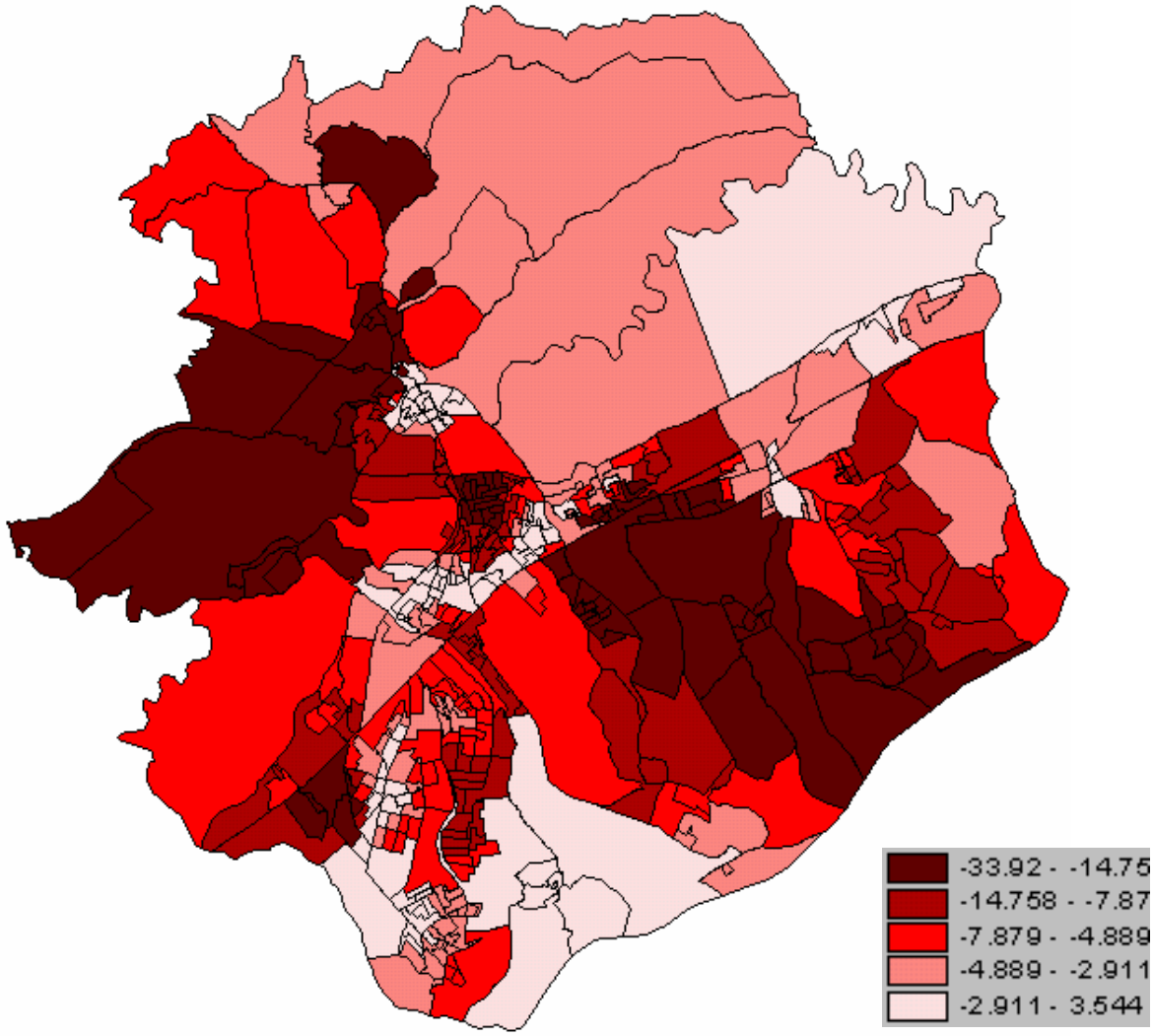
- GWR utilizando o **esgoto** como variável explicativa:
  - Parâmetros locais estimados:

Parâmetros	Mínimo	Média	Máximo
Intercepto	-21,02	10,59	85,77
Esgoto	-0,99	-0,11	0,20

  - $\mathbf{R_a^2 = 0,70}$ – aumento significativo em relação aos demais modelos elaborados.
  - A autocorrelação espacial dos resíduos desapareceu: **I = 0,04**
  - Teste de Monte Carlo: significância da variabilidade espacial dos parâmetros estimados. Significância confirmada, ou seja, parâmetros locais estimados tem um comportamento **não-estacionário**.

Geographically Weighted Regression – GWR

- Parâmetros estimados para a variável esgoto:



Geographically Weighted Regression – GWR

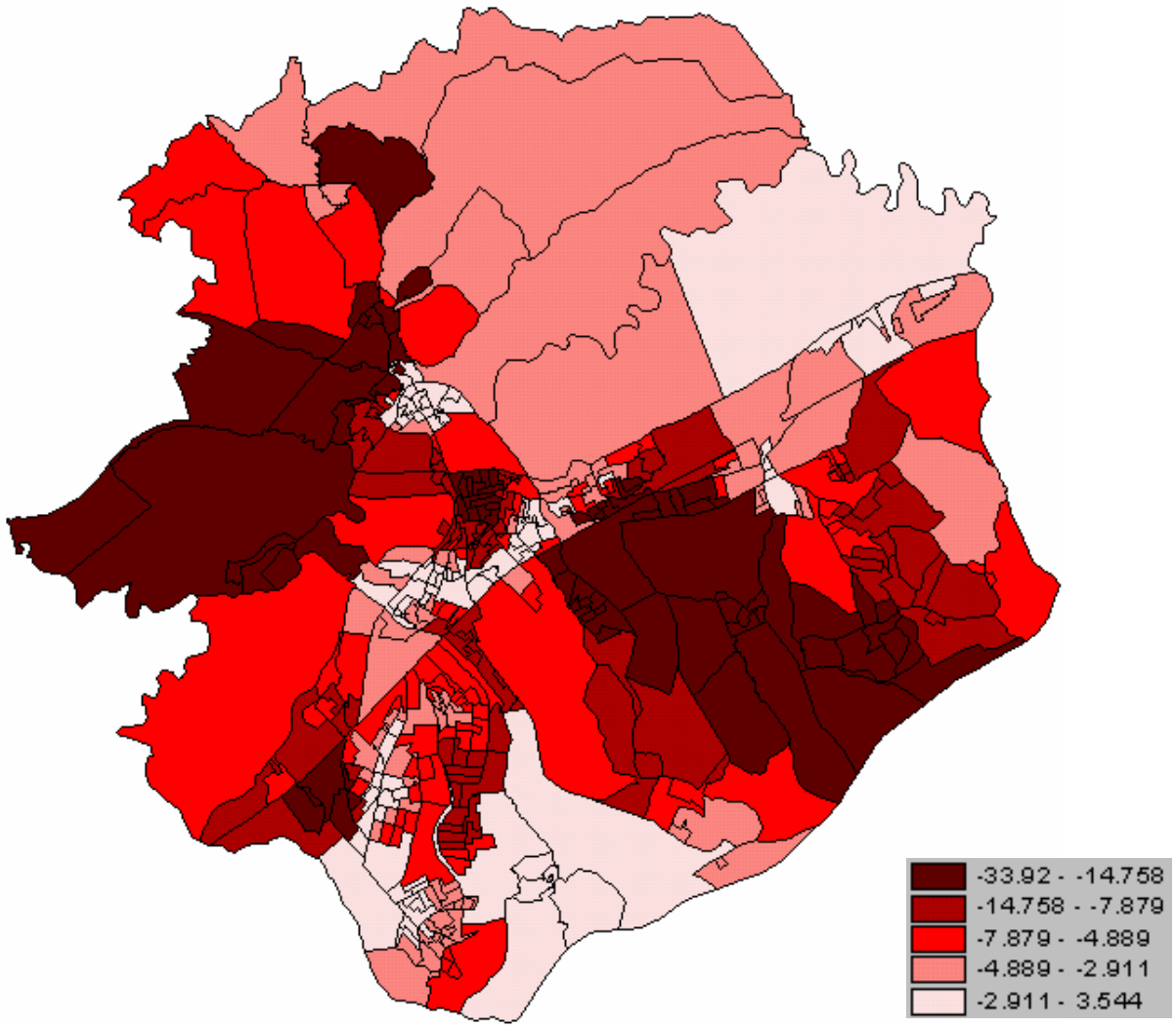
- GWR utilizando **domicílios próprios/cedidos** como variável explicativa:
  - Parâmetros locais estimados:

Parâmetros	Mínimo	Média	Máximo
Intercepto	-175,98	-26,09	44,71
Propced	-0,13	-0,37	2,43

  - $\mathbf{R_a^2 = 0,52}$ – aumento significativo em relação aos demais modelos elaborados.
  - A autocorrelação espacial dos resíduos desapareceu: **I = 0,04**
  - Teste de Monte Carlo: significância da variabilidade espacial dos parâmetros estimados. Significância confirmada, ou seja, parâmetros locais estimados tem um comportamento **não-estacionário**.

Geographically Weighted Regression – GWR

- Parâmetros estimados para a variável domicílios próprios/cedidos:



Geographically Weighted Regression – GWR

- **Comparação dos resultados obtidos com os diferentes modelos de regressão:**

X	R_a^2 Regres. Clássica	R_a^2 Spatial Lag	R_a^2 GWR	I Moran Regres. Clássica	I Moran Spatial Lag	I Moran GWR	Estacion. parâmet.
LOGDEN	0,34	0,51	0,70	0,45	0,32	0,04	não
CHEF2SM	0,24	0,52	0,76	0,44	0,12	0,06	sim
CHEF3AE	0,17	0,57	0,72	0,44	0,09	0,03	sim
ESGOTO	0,25	0,51	0,70	0,44	0,05	0,04	não
PROPCED	0,17	0,59	0,52	0,40	0,02	0,04	não