

## **TRABALHO PARA DISCIPLINA SER-301**

# **REGRESSÃO GEOGRAFICAMENTE PONDERADA APLICADA NA ANÁLISE DO INCÔMODO CAUSADO PELO RUÍDO AERONÁUTICO**

**Gustavo Sobreiro Santos**

Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil. [gustavo.sobreiro@gmail.com](mailto:gustavo.sobreiro@gmail.com)

### **RESUMO**

O ruído aeronáutico é um dos principais impactos ambientais causados pelo tráfego aéreo no mundo. Porém o cálculo da área impactada, utilizando os métodos atuais, ainda é pouco correlacionado ao incômodo relatado pela população que reside no entorno aeroportuário. O trabalho descrito teve como objetivo aplicar modelos de regressão linear e geograficamente ponderada para analisar as correlações entre o incômodo relatado pela população de São José dos Campos e variáveis acústicas, físicas e socioeconômicas da região. O modelo linear explicou 63% das observações relacionadas com o incômodo. Os resultados apontam correlações significantes com o valor do nível de ruído em dB, com o grau de arborização dos imóveis, com a verticalização dos imóveis, com a distância das principais avenidas, com a distância de hospitais e com a distância de bancos. O modelo GWR mostrou-se adequado, pois havia correlações espacial nos dados e assim uma análise dos coeficientes locais pode ser feita.

## 1. INTRODUÇÃO

Os modelos que descrevem a área impactada pelo ruído aeronáutico ainda apresentam diferenças quando comparados aos relatos de incômodo reais no entorno de um aeroporto, pois são baseados exclusivamente em fatores acústicos. Um exemplo disso são os dados obtidos da população de São José dos Campos.

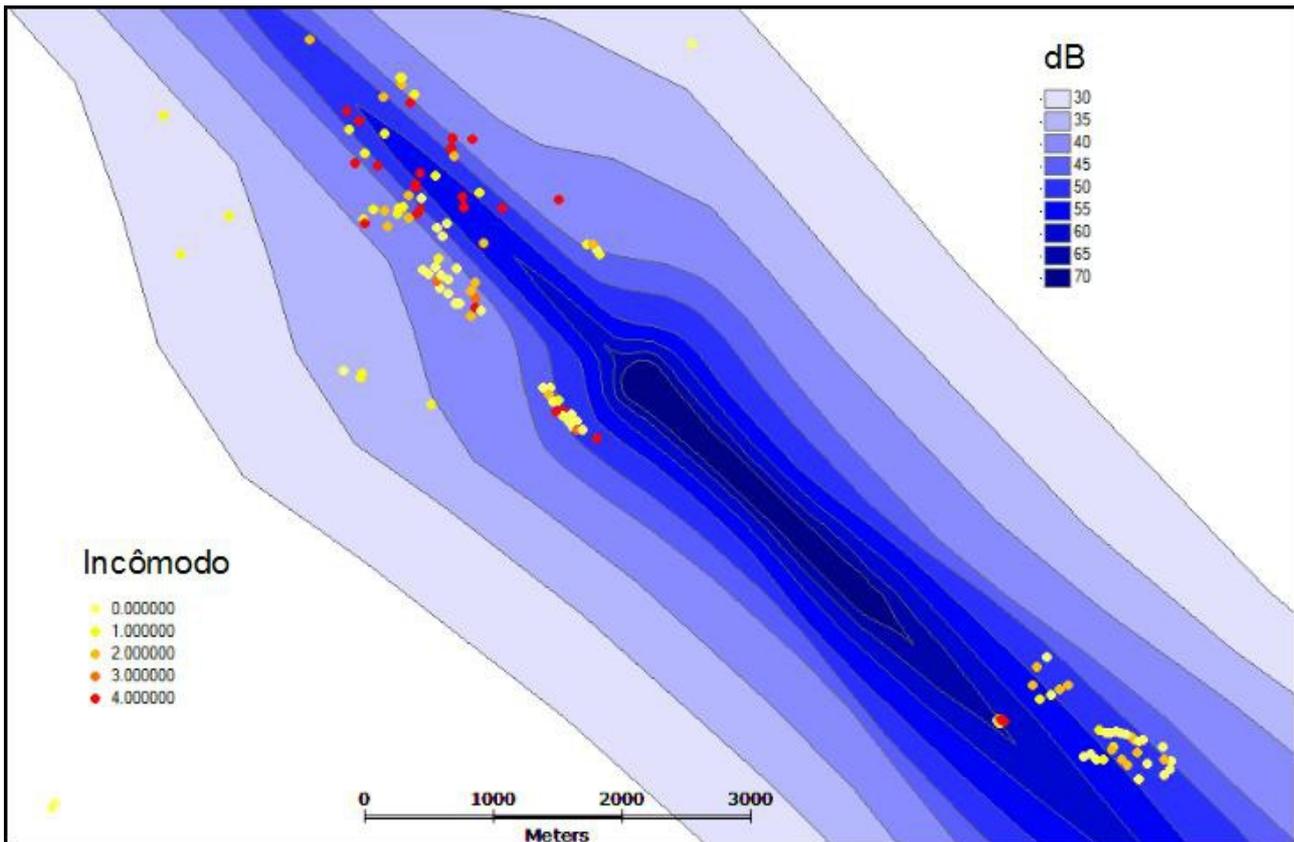


Figura 1: Relatos de Incômodo e curva de ruído de São José dos Campos

Na Figura 1 é possível perceber que a intensidade do incômodo da população não se relaciona de maneira explícita com o aumento no nível de ruído em decibéis. Outra maneira de constatar essa fraca correlação é através do diagrama de dispersão das amostras.

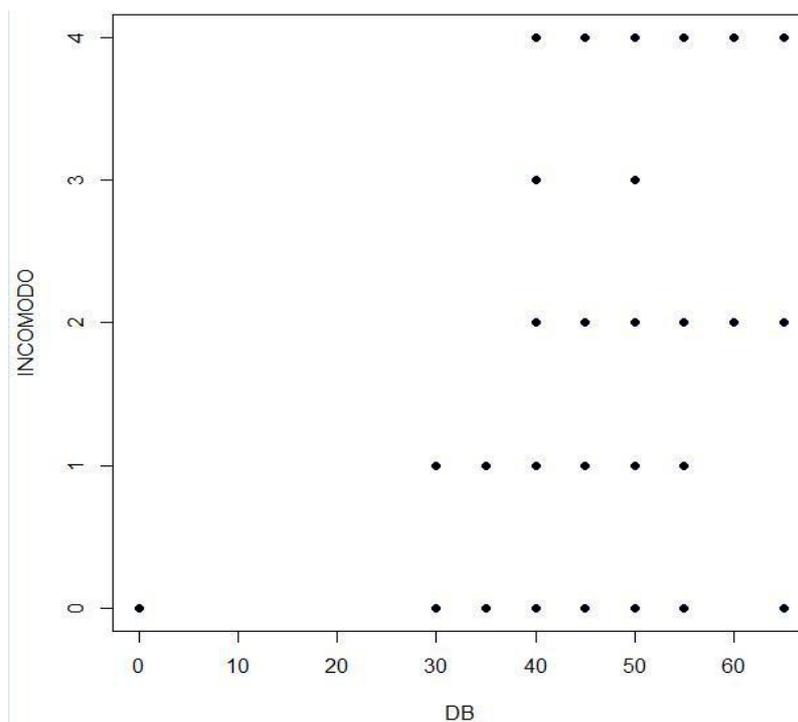


Figura 2: Diagrama de dispersão dB vs Incômodo

As curvas de ruído geralmente correspondem a uma área onde há diferentes usos do solo, com residentes dos mais diversos padrões sociais e culturas diferentes. Esse conjunto de fatores também influencia a percepção do ruído aeronáutico, representando um grau de complexidade na predição da área a ser contemplada por programas de mitigação do impacto sonoro. O fato é que a maneira que o ruído é percebido não depende somente da intensidade e frequência que ele ocorre (Burns, 1968; Smith, Peters & Owen, 1996; Zaporozhets & Tokarev, 1998; Eller, 2009).

## 2. MATERIAL

Tendo em vista esta série de variáveis que podem influenciar o relato de incômodo, coletou-se os seguintes dados espacializados:

- ⑤ Percentual de idosos por setor censitário (IBGE,2011) ;
- ⑤ Percentual de imóveis do tipo Apartamento (IBGE,2011);
- ⑤ Avenidas de São José dos Campos (PMSJC, 2011);
- ⑤ Hospitais de São José dos Campos (PMSJC, 2011);
- ⑤ Agências Bancárias de São José dos Campos (PMSJC, 2011);
- ⑤ Renda Média por setor censitário (IBGE,2011);
- ⑤ Percentual de imóveis que possuem árvores na face confrontante ou canteiro central (IBGE,2011);

⑤ Valor da variável incômodo expressa pela densidade de Kernel.

Miedema e Vos (1999) encontraram correlação significativa da idade da população e o incômodo causado pelo ruído aeronáutico, assim procurou-se a mesma correlação nos dados de São José dos Campos.

O percentual de apartamentos por setor censitário é testado no estudo pois estes imóveis podem apresentar maior proximidade em relação a rota das aeronaves.

As avenidas de São José dos Campos foram testadas como *Proxy* do ruído de fundo rodoviário, degradando a percepção do ruído aeronáutico das pessoas que relataram o nível de incômodo.

Áreas próximas a Hospitais geralmente são sinalizadas com restrições de ruído, desta forma é provável que sejam áreas mais silênciosas que acentuem o nível de incômodo relatado.

A presença de agências bancárias geralmente caracteriza um uso do solo mais comercial que pode também atenuar a sensibilidade ao ruído aeronáutico por parte da população.

A existência de árvores funciona como uma barreira acústica para o ruído, assim lugares com maior arborização sofrem menos com o impacto sonoro.

Visto que os dados brutos dos relatos de incômodo pela população apresentaram uma aleatoriedade grande quando comparados ao nível de ruído em decibéis, e também o número de amostras ainda é pequeno. Assim utilizou-se o método de estimador de densidade de Kernel adaptativo para uma suavização dos dados de entrada do modelo. A Figura 3 mostra as áreas onde houve uma alta densidade aliada a um alto grau de incômodo relatado.

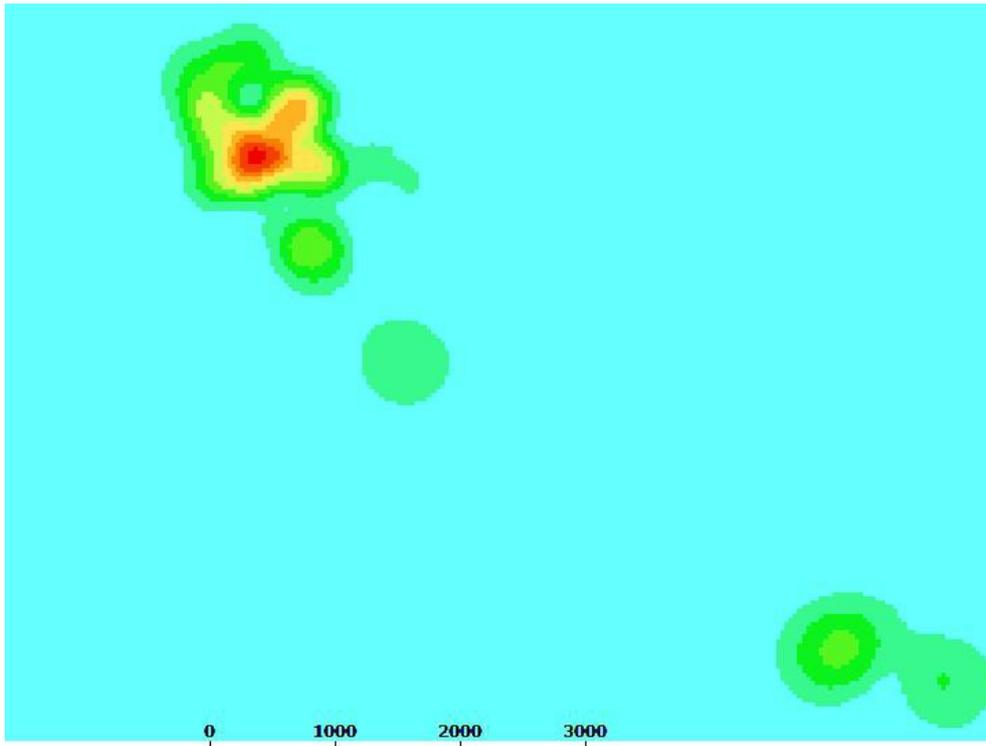


Figura 3: Aplicação da densidade de Kernel para o incômodo

Com os dados obtidos nesse processamento obteve-se uma reamostragem para o valor da variável incômodo expressa pela densidade de Kernel.

### 3. MÉTODOS

Para tentar explicar a variável relacionada ao incômodo foi utilizado uma regressão linear multivariada simples conforme a formulação:

$$Y_i = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon,$$

onde,

- ⑤  $Y_i$  é a variável incômodo;
- ⑤  $\alpha$  é uma constante;
- ⑤  $X_1, X_2, \dots, X_n$  as variáveis de previsão utilizadas;
- ⑤  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  os coeficientes;
- ⑤  $\varepsilon$  e  $\varepsilon$  são os resíduos.

Porém a regressão linear pressupõe uma estacionaridade nos dados. Para verificar se existe correlação espacial no modelo é possível aplicar o teste Global de Moran nos resíduos.

Os valores do índice Global de Moran variam de -1 a 1. Valores positivos correspondem a uma autocorrelação direta, valores negativos a uma autocorrelação inversa, e a hipótese nula significa independência espacial.

O modelo GWR (*Geographically Weighted Regression*) pode ser aplicado para explorar os locais onde os coeficientes  $\beta_n$  assumem valores maiores ou menores de acordo com a localização. A GWR foi desenvolvida com o intuito de se estudar fenômenos que sofrem variação de acordo com a área que é estudada, desta forma é uma maneira de observar a chamada heterogeneidade espacial.

É possível também observar os locais onde esses coeficientes são significantes.

#### 4. RESULTADOS

Os resultados da regressão linear mostrou que o modelo explicou 62,5% da variação dos dados que correspondem à densidade de Kernel do Incômodo. Na tabela 1 têm-se os resultados detalhados da regressão.

*Tabela 1: Resultados da Regressão Linear*

<b>Resíduos ( <math>\varepsilon</math> )</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Médio</b>	<b>Máximo</b>	
	-6.78e-005	2.23e-006	5.39e-005	
<b>Coefficientes</b>	<b>Estimado</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>t valor</b>	<b>P &gt;  t </b>
<b><math>\alpha</math></b>	1.458e-05	1.766e-05	0.826	0.410547
<b><math>\beta_1</math> (dB)</b>	1.414e-06	2.583e-07	5.472	2.28e-007***
<b><math>\beta_2</math> (Idosos)</b>	4.064e-05	4.329e-05	0.939	0.349644
<b><math>\beta_2</math> (Ap.)</b>	4.120e-05	1.174e-05	3.508	0.000626***
<b><math>\beta_2</math> (Avenidas)</b>	-3.607e-08	1.546e-08	-2.333	0.021193*
<b><math>\beta_2</math> (Hospitais)</b>	-3.611e-08	4.310e-09	-8.378	8.58e-14***
<b><math>\beta_2</math> (Bancos)</b>	4.119e-08	5.235e-09	7.869	1.36e-12***
<b><math>\beta_2</math> (Renda Média)</b>	-3.754e-09	2.586e-09	-1.452	0.148999
<b><math>\beta_2</math> (Árvores)</b>	-2.350e-05	8.432e-06	-2.787	0.006143**
<b>Signif.</b>	<b>0 ‘***’</b>	<b>0.001 ‘***’</b>	<b>0.01 ‘**’</b>	<b>0.05 ‘.’</b>
<b>Desvio padrão dos resíduos: 2.139e-05 com 127 graus de liberdade</b>				
<b>R<sup>2</sup>: 0,6472</b>		<b>R<sup>2</sup> ajustado: 0,625</b>		

Observa-se que o intercepto, o percentual de idosos, e a renda média não tiveram significância estatística. Analizando os sinais dos coeficientes que obtiveram significância chegamos aos seguintes resultados:

- ⑤ O valor do nível de ruído se relaciona de maneira direta com o nível de incômodo, assim o sinal positivo está dentro do resultado esperado.
- ⑤ O coeficiente do percentual de imóveis do tipo apartamento também é positivo e está dentro do resultado esperado.

- ⑤ A distância de avenidas não está com sinal positivo esperado, pois quanto menor a distância até elas esperava-se menor valor do incômodo.
- ⑤ Já a distância de hospitais mostrou sinal negativo esperado, mostrando que quanto mais próximos de hospitais maior é o valor do incômodo relatado.
- ⑤ A distância de bancos também está com sinal esperado, pois perto desses locais há um menor incômodo.
- ⑤ A quantidade de árvores é inversamente correlacionado ao incômodo, pois estas funcionam como barreiras acústicas para o ruído.

Para saber se existe correlação espacial nos 38% dos dados que não foram explicados pelo modelo, observou-se a distribuição espacial dos resíduos, mostrados na Figura 4.

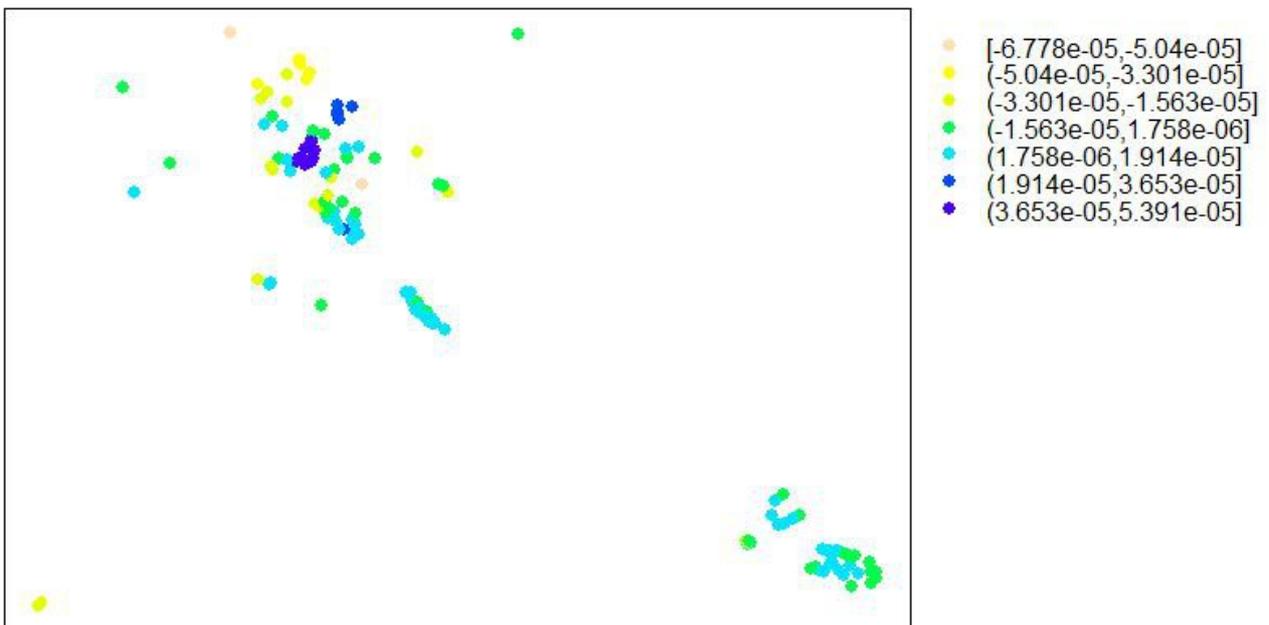


Figura 4: Distribuição dos resíduos da regressão linear

Com os resíduos devidamente espacializados aplica-se então o teste de Moran Global para saber se há correlação espacial.

Tabela 2: Teste Global de Moran

Teste Moran	Estimado	Variância	p valor
	0.586205416	0.0021727	2.2e-16

Em seguida as mesmas variáveis foram inseridas no modelo GWR, assim observa-se com mais detalhes o comportamento dos coeficientes e seu devido nível de significância nos diferentes locais da cidade de São José dos Campos. Os resultados são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Variação dos coeficientes na Regressão Geograficamente Ponderada

	Mínimo	1st Qu.	Médio	3rd Qu.	Máximo
$\alpha$	-6.884e-05	-2.771e-06	8.099e-05	1.303e-04	4.799e-04
$\beta_1$ (dB)	-1.626e-06	-2.892e-07	7.957e-08	6.244e-07	2.138e-06
$\beta_2$ (Idosos)	-5.495e-04	-1.425e-04	1.630e-05	1.687e-04	4.070e-04
$\beta_2$ (Ap.)	-1.376e-04	2.711e-06	4.542e-05	1.372e-04	2.119e-03
$\beta_2$ (Avenidas)	-1.917e-07	-4.577e-08	3.118e-08	7.869e-08	1.315e-07
$\beta_2$ (Hospitais)	-2.567e-07	-7.680e-08	-2.460e-08	1.029e-08	1.223e-07
$\beta_2$ (Bancos)	-1.398e-07	-1.319e-09	3.887e-08	6.260e-08	2.330e-07
$\beta_2$ (Renda Média)	-3.424e-08	-1.438e-09	6.923e-09	1.794e-08	1.826e-07
$\beta_2$ (Árvores)	-1.555e-04	-7.795e-05	-2.534e-05	5.224e-06	4.822e-05

A melhor forma de interpretação dos resultados na regressão geograficamente ponderada é com o mapeamento dos coeficientes para cada ponto. Da mesma forma também é possível ver onde os coeficientes são significativos ou não. A Figura 5 mostra um exemplo para o caso da variável que representa o nível de arborização dos imóveis.

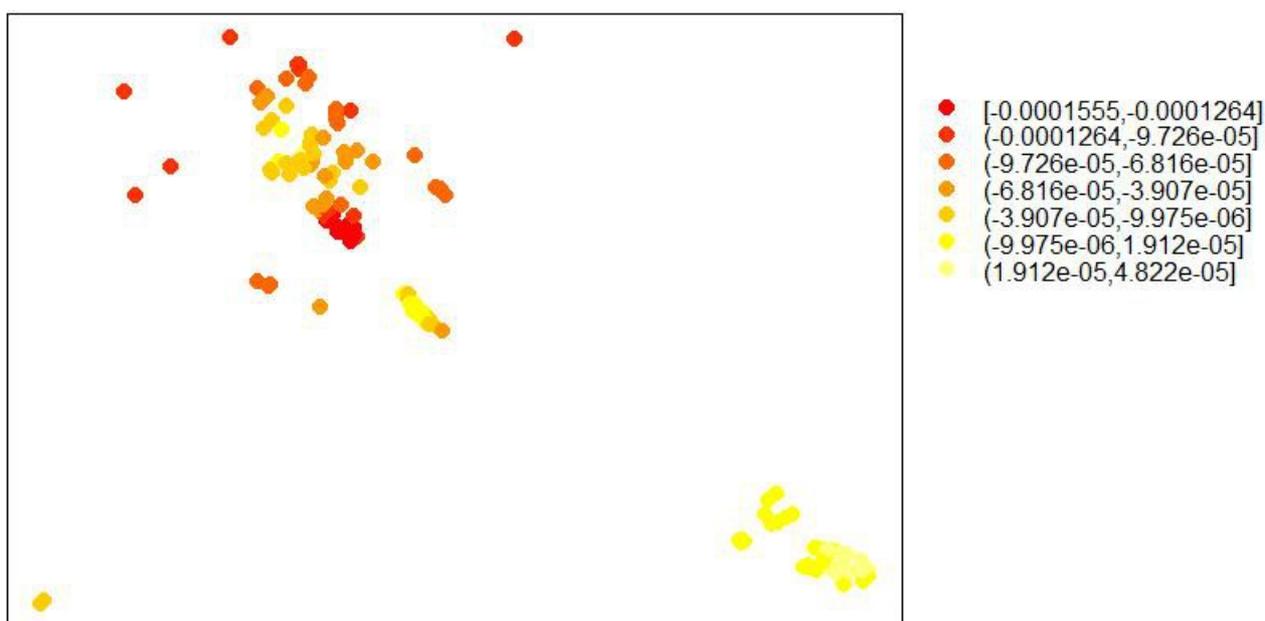


Figura 5: Localização dos Coeficientes do GWR

Nos pontos mais vermelhos o valor do coeficiente é mais negativo, isso significa que nesses pontos o nível de arborização contribuiu em um grau maior para que as pessoas não relatassem um nível incômodo elevado causado pelo ruído aeronáutico.

Uma vez que a Regressão Geograficamente Ponderada gera para cada ponto um desvio padrão do coeficiente encontrado, é possível encontrar o nível de significância através do t-valor. Assim,

para os resultados encontrados na Figura 5, apenas os pontos mostrados na Figura 6 obtiveram t-valor acima de 2 em módulo.

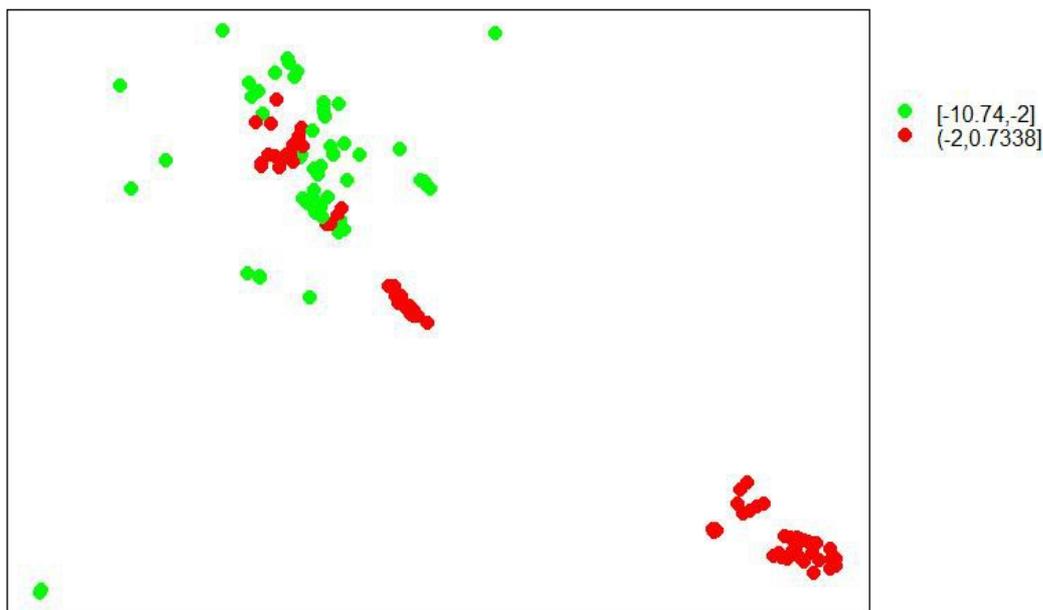


Figura 6: Pontos com coeficiente significantes a um t-valor  $> |2|$

Nas observações de incômodo do setor Sudeste da Figura 6 a variável que representa o percentual de imóveis com arborização não foi significativo a um t-valor  $> |2|$ . Não coincidentemente esses locais apresentaram coeficientes mais próximos de zero, sugerindo que naqueles locais o nível de arborização não influa no incômodo da população.

## 5. CONCLUSÕES

Apesar de apresentar pouca correlação com o valor do nível de ruído aeronáutico, os dados de relatos de incômodo de São José dos Campos podem ser explorados nesse trabalho. A variável secundária de incômodo por densidade Kernel mostrou ser válida para estabelecer relações com outros fatores que influenciam a percepção do ruído.

Dentre os fatores analisados, o nível de ruído em dB, o grau de arborização dos imóveis, a verticalização dos imóveis, a distância das principais avenidas, a distância de hospitais e a distância de bancos, mostraram ser significantes em um modelo linear.

O modelo GWR mostrou ser uma ferramenta de análise importante para localizar os locais onde os coeficientes das variáveis apresentam problemas quanto ao nível de significância.

Os resultados ainda não são representativos, pois o número de amostras para o entorno do Aeroporto de São José dos Campos ainda é reduzido. Porém a utilização de metodologias de Regressão Espacial nesta fase ajuda a nortear os próximos passos de trabalhos futuros.

## 6. REFERENCIAS

Miedema, H. M. E.; Vos, H. (1998) Exposure-response relationships for transportation noise. Journal of the Acoustical Society of America. Volume 105. Issue 6

Fotheringham, A. S., Brunson, C., and Charlton, M. E. (2002). Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships. Wiley, Chichester.

IBGE (2011) Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário Documentação do Arquivo. Rio de Janeiro.

PMSJC (2011) Prefeitura Municipal de São José dos Campos - Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente. Banco de Dados Geográfico Cidade Viva. São José dos Campos, 2011. CD-ROM.