

# **ANÁLISE ESPACIAL DA DISTRIBUIÇÃO DA VEGETAÇÃO OBTIDA POR NDVI NO ESPAÇO URBANO**

**Leonardo Rodrigues de Deus**  
**Doutorado em Sensoriamento Remoto**  
**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**  
**Disciplina: Análise Espacial**

## **1. Introdução**

As cidades têm crescido e se desenvolvido de uma forma muito rápida, sem que os órgãos públicos de administração tenham condições de elaborar e executar planos de planejamento do espaço urbano que acompanhem esse ritmo acelerado.

Dessa forma, as áreas de cobertura vegetal acabam não recebendo a atenção necessária de fiscalização e conservação, e se tornam cada vez mais escassas nas maiorias das cidades.

A cobertura vegetal intra-urbana pode ser definida, segundo Domingos (2009) como toda e qualquer forma de vegetação, quer esteja ela em área pública ou privada, em qualquer forma de disposição que se apresente como bosques, gramados, parques, jardins, quintais e mesmo vegetação silvestre.

A cobertura vegetal nas áreas urbanas desempenha um papel fundamental para a qualidade ambiental nas cidades quando estas são cuidadas pelo governo municipal e pelos cidadãos, uma vez que contribuem para um melhor conforto térmico na cidade, além de terem características relacionadas ao lazer e à beleza da cidade.

Sendo assim, é importante conhecer a distribuição da cobertura vegetal intra-urbana, bem como as características locais relacionadas a esta distribuição, afim de que se possam identificar as áreas onde a cobertura vegetal é escassa e se as características locais influenciam a presença de vegetal, para que dessa forma o governo local possa saber como intervir na região, no sentido de manter ou revitalizar a cobertura vegetal.

## **2. Objetivo**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a se a ocorrência da cobertura vegetal intra-urbana, expressa através do valor médio de NDVI, pode ser explicada pelas características socioeconômicas observadas na cidade por meio dos dados agregados no nível de bairros.

## **3. Materiais e Métodos**

### **3.1 Área de Estudo**

Este estudo foi realizado sobre a área urbana do município de Uberlândia/MG. Esta cidade fica localizada na região conhecida como Triângulo Mineiro, no estado de Minas Gerais, tendo uma importante localização geográfica entre as cidades de Brasília e São Paulo.

### 3.2 Dados Utilizados

Para geração da imagem NDVI da área de estudo foi utilizada uma imagem do sensor TM do satélite LANDSAT 5 do dia 13/10/2000.

Os dados socioeconômicos utilizados foram os dados obtidos pelo Censo de 2000, disponibilizado pelo IBGE em dados agregados por setor censitário, reagrupados para os polígonos de bairros da cidade,

O arquivo vetorial dos bairros utilizado para associar as informações do censo foi fornecido pela Prefeitura Municipal de Uberlândia.

### 3.3 Geração da imagem NDVI

Para obtenção da imagem NDVI da área de estudo, inicialmente as imagens referentes às bandas 3 e 4 do sensor TM, que correspondem as faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo, respectivamente, passaram por um filtro de restauração para corrigir as distorções inseridas pelo sensor óptico no processo de geração das imagens digitais por conta da função de espalhamento pontual do sensor (FONSECA, 1988) e tiveram o tamanho de pixel reamostrados para 10 m, melhorando assim a capacidade de distinção entre os alvos da cena.

Em seguida, as imagens restauradas foram convertidas em imagens radiância, e as imagens radiância, convertidas em imagens reflectância para corrigir os problemas referentes a conversão da energia refletida pelos alvos em um pulso elétrico registrado pelos sensores.

O passo seguinte foi a geração da imagem NDVI da área de estudo. O NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) é calculado pela diferença entre as imagens das bandas 4 e 3 do sensor TM conforme a Fórmula 1 (JENSEN, 2009). Na imagem NDVI as áreas de vegetação são ressaltadas, uma vez que com esse cálculo as áreas que apresentam alta reflectância na banda 4 aparecem com tons mais claros de níveis de cinza.

$$NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3)$$

A Figura 1 mostra a imagem NDVI obtida da área de estudo.

O valor médio de NDVI para cada um dos bairros foi obtido sobrepondo o arquivo vetorial de bairros sobre a imagem e extraindo a estatística dos pixels encontrados dentro dos polígonos dos bairros.

### 3.4 Escolha das variáveis socioeconômicas

Em relação às variáveis socioeconômicas, estas foram fornecidas em um banco de dados ACCESS, contendo todas variáveis de pessoas, domicílios, instrução e responsáveis disponibilizadas pelo Censo 2000, porém reagrupadas para os bairros da cidade. Foi feita então uma consulta para se obter algumas variáveis que possibilitaram geração de variáveis de interesse para o estudo.

A busca pelas variáveis socioeconômicas foi feita no sentido de selecionar variáveis que caracterizassem os bairros quanto à ocupação, escolaridade, renda e infraestrutura (abastecimento de água, rede de esgoto e coleta de lixo). Foram geradas assim nove variáveis de interesse: densidade populacional (hab/km<sup>2</sup>), densidade habitacional (domicílios/km<sup>2</sup>), porcentagem de residentes acima de 60 anos, porcentagem de pessoas com mais de 5 anos alfabetizadas, média de anos de estudo dos responsáveis pelos domicílios, renda média dos responsáveis pelo domicílios,

porcentagem de domicílios com abastecimento de água, porcentagem de domicílios com rede de esgoto, porcentagem de domicílios com coleta de lixo.



Figura 1: Imagem NDVI da área de estudo. Os polígonos vermelhos se referem aos bairros da cidade de Uberlândia.

Com as variáveis socioeconômicas definidas foi gerada uma nova tabela contendo estas variáveis e também o valor médio de NDVI para cada. Esta tabela foi então associada à tabela do arquivo SHAPFILE que trazia as informações de identificadores e nomes dos bairros para a obtenção do arquivo utilizado no trabalho. Esta nova tabela, além de contar com as variáveis de interesse definidas, contou também com as variáveis que utilizadas para gerar tais variáveis de interesse, como por exemplo, a área territorial e o número de habitantes em cada bairro.

### 3.5 Metodologia

De posse do novo arquivo SHAPFILE contendo os vetores dos bairros e as variáveis de interesse associados a eles foi utilizado técnicas de análise espacial para verificar a ocorrência de padrões na distribuição dos valores médios de NDVI e das variáveis socioeconômicos para área

urbana, e para analisar se os valores de NDVI apresentam correlação com as variáveis socioeconômicas.

Inicialmente foi analisado se as variáveis referentes a taxas enfrentavam o problema de flutuação aleatória, problema relacionado ao valor de taxa em áreas pequenas que possuem poucas amostras (CÂMARA et al., 2004).

Em seguida foi realizada uma análise exploratória das variáveis no sentido de verificar o comportamento espacial das mesmas. Para isso foram realizados agrupamentos pelos métodos passo igual e quantil.

Posteriormente foi realizada uma análise para verificar a existência de autocorrelação espacial para a variável NDVI, aplicando índice de Moran Global e local.

Na sequência foi analisada a existência de correlação entre as variáveis buscando saber quais variáveis socioeconômicas apresentam maior correlação com a variável NDVI, e a partir dessa informação foi aplicado um modelo de regressão linear para explicar a variação do índice NDVI no espaço urbano com base nos dados socioeconômicos. Esta etapa foi realizada o software R, com os devidos pacotes necessários para a análise.

Com o modelo de regressão linear definido foi analisada a existência de dependência espacial entre os resíduos da regressão linear.

Na busca por melhores resultados foi aplicado também um modelo de regressão multivariada para tentar explicar a variação do índice NDVI na área de estudo com base nas variáveis socioeconômicas observadas.

## **4. Discussão dos Resultados**

### **4.1 Flutuação aleatória**

A primeira análise realizada sobre as variáveis foi no sentido de detectar a ocorrência de flutuação aleatória para os valores de taxas. A flutuação aleatória se refere à ocorrência de altas taxas para regiões que possuem um número bastante reduzido de observações (CÂMARA et al., 2004). Para analisar a ocorrência de flutuação aleatória foram gerados os gráficos que expressam a taxa observada em função da população de risco para cada uma das variáveis que apresentam valores expressos na forma de taxa.

A Figura 2 mostra os gráficos de dispersão gerados para as variáveis expressas em valores de taxas.

Os gráficos mostrados na Figura 2 não apresentaram a presença de efeito funil característico de problema de flutuação aleatória, eliminando assim a necessidade de utilização de um estimador bayesiano para obtenção de novos valores para as taxas.

### **4.2 Análise exploratória das variáveis**

Como o interesse deste trabalho está relacionado à variação espacial dos dados de cobertura vegetal na área de estudo e se esta variação pode ser explicada pelas características socioeconômicas dos bairros, foram então realizadas seleções por agrupamentos para verificar como ocorre a distribuição espacial de cada uma das variáveis utilizadas no trabalho.

A Figura 3 mostra a distribuição espacial da variável média NDVI, que se refere aos valores médios de NDVI obtidos para cada um dos bairros da cidade.

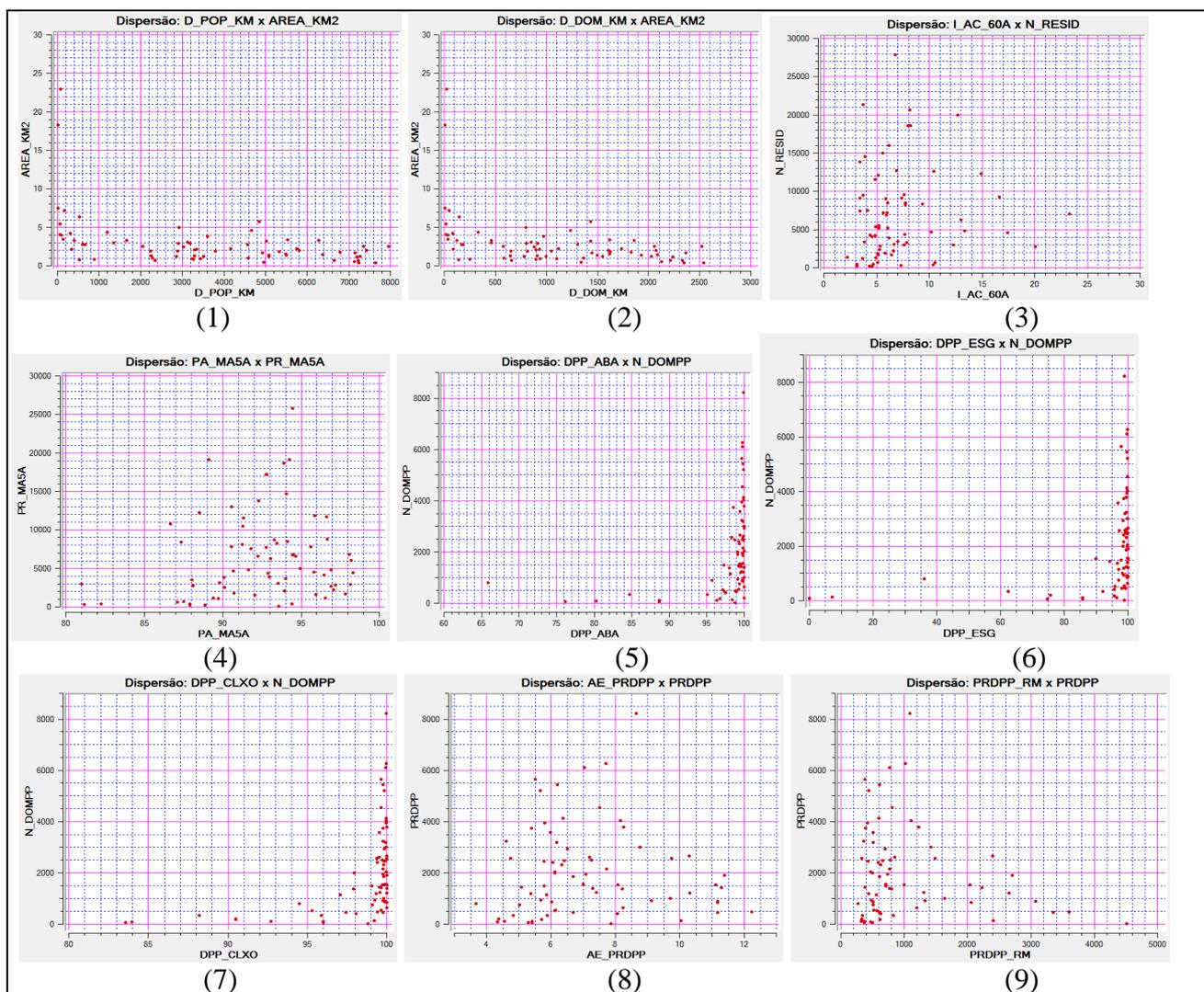


Figura 2: Gráficos de dispersão entre as taxas observadas e a população de risco. 1. Densidade populacional pela área; 2. Densidade domiciliar pela área; 3. Pessoas acima de 60 anos pelo total de pessoas; 4. Pessoas alfabetizadas acima de 5 anos pelo número de pessoas acima de 5 anos; 5. Porcentagem de domicílios com abastecimento de água pelo número total de domicílios; 6. Porcentagem de domicílios com rede de esgoto pelo número total de domicílios; 7. Porcentagem de domicílios com coleta de lixo pelo número total de domicílios; 8. Média de anos de estudos das pessoas responsáveis pelos domicílios pelo número de responsáveis pelos domicílios; 9. Renda média das pessoas responsáveis pelos domicílios pelo número de responsáveis pelos domicílios.

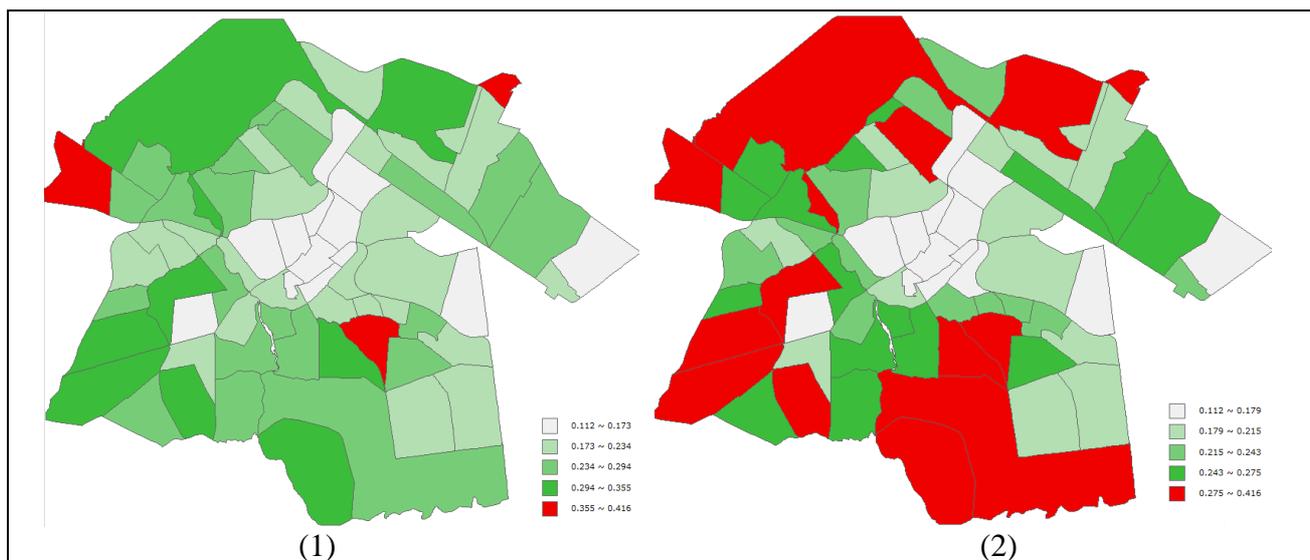


Figura 3: Distribuição espacial da variável média NDVI. 1. Agrupamento por passo igual; 2. Agrupamento por quantil.

A Figura 3 mostra que, independente da forma de agrupamento utilizado, os valores mais baixo de NDVI forma um agrupamento na região central da cidade, indicando que nesta região é onde se tem uma maior escassez de cobertura vegetal.

A Figura 4 mostra a densidade populacional e habitacional para os bairros da área de estudo agrupadas pelo método quantil.

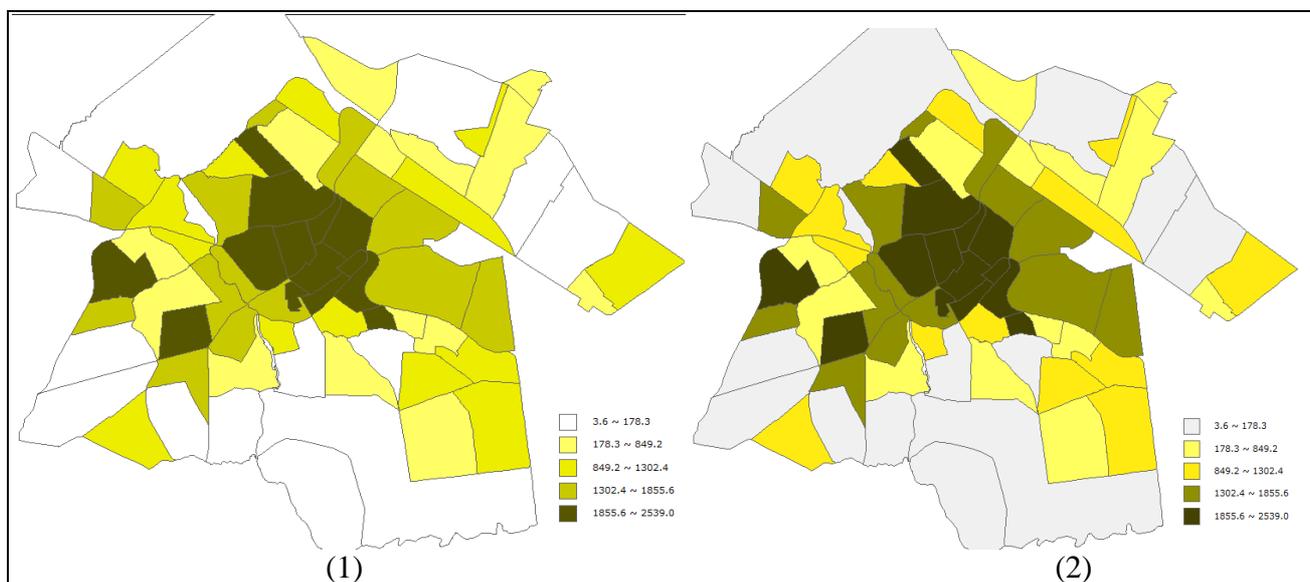


Figura 4: Densidade populacional (1) e densidade habitacional (2) observadas na área de estudo.

Com base na Figura 4 observa-se que a região central da cidade é que apresenta as mais altas taxas de ocupação, enquanto que as áreas marginais da cidade são constituídas por bairros ainda pouco adensados.

A Figura 5 mostra a distribuição da população acima de 60 anos de idade.

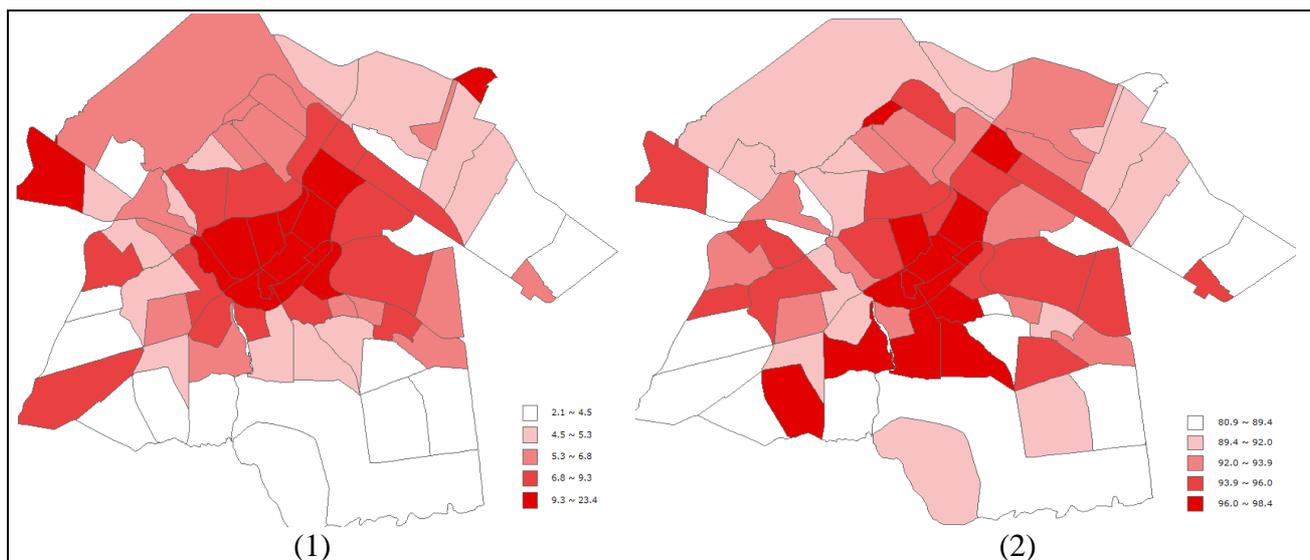


Figura 5: 1. Porcentagem de habitantes com mais de 60 anos de idade; 2. Porcentagem de habitantes alfabetizadas com mais de 5 anos de idade.

A análise da Figura 5 indica que, em relação às pessoas com mais de 60 anos de idade, que os bairros mais ocupados pelas pessoas desta faixa etária encontram-se principalmente na região central da cidade. Já em relação ao número de habitantes alfabetizados com mais de 5 anos de idade, a figura mostra que não se configura a ocorrência de um determinado agrupamento espacial na cidade, estando as pessoas alfabetizadas espalhadas por toda a cidade.

A Figura 6 mostra a atendimentos dos domicílios em relação a abastecimento de água, rede de esgoto e coleta de lixo.

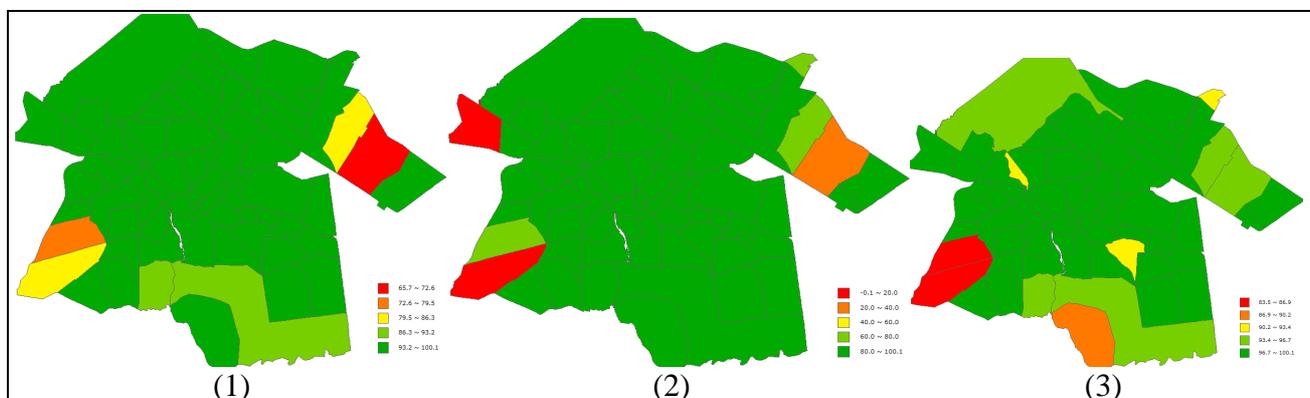


Figura 6: 1. Domicílios atendidos por abastecimento de água; 2. Domicílios atendidos por rede de esgoto; 3. Domicílios atendidos por coleta de lixo.

A Figura 6 mostra que o número de domicílios atendidos por abastecimento de água, rede de esgoto e coleta de lixo na cidade é muito bom, pois praticamente toda a cidade apresenta altas taxas de domicílios atendidos por estes serviços. Como se observa na Figura 6 a grande maioria dos bairros possui mais de 90% dos domicílios com abastecimento de água e coleta de lixo, e mais de 80% dos domicílios atendidos por rede de esgoto.

A Figura 7 ilustra a distribuição espacial da média de anos de estudo dos responsáveis pelos domicílios para cada bairro.

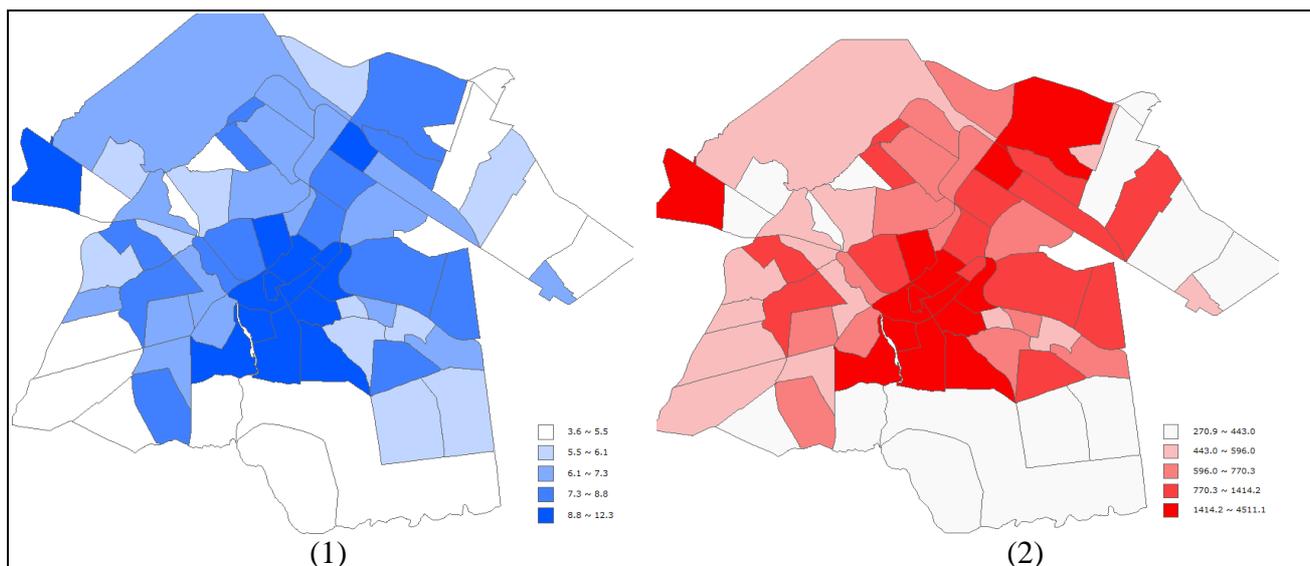


Figura 7: 1. Média de anos de estudo das pessoas responsáveis pelos domicílios; 2. Renda média das pessoas responsáveis pelos domicílios.

Observando a Figura 7 nota-se que as pessoas que possuem mais anos de estudo e renda média mais alta estão agrupadas na região central da cidade, tendendo um pouco para o sul, com apenas dois bairros no caso dos anos de estudo e três bairros no caso da renda, fora desse agrupamento. E excluindo-se este terceiro bairro de renda alta fora do agrupamento, observa-se que todos os bairros de renda alta são exatamente os mesmos bairros onde as pessoas têm mais anos de estudo, o que vem confirmar a relação direta entre anos de estudo e renda média.

### 4.3 Análise de autocorrelação espacial da variável Média NDVI

Como a variável média NDVI é a variável dependente deste trabalho, a qual espera-se saber se ela é influenciada pelas ocorrência das variáveis socioeconômicas, foi realizada para esta variável uma análise de autocorrelação espacial para determinar se a média NDVI apresenta uma dependência espacial entre os bairros da cidade.

Para analisar a existência de autocorrelação espacial foram empregados os Índices de Moran Global e Moran Local, implementados no software TerraView.

O resultado da aplicação do Índice de Moran Global para a variável média NDVI foi de 0,365904, com um valor de significância de 0,001. Este resultado indica a existência de dependência espacial entre os bairros da área de estudo, visto que o resultado aponta para uma autocorrelação direta para os valores médios de NDVI associados aos bairros. Este resultado acaba por confirmar o que já havia sido visto na análise exploratória por agrupamentos, que é a presença de grupos de bairros com valores semelhantes de NDVI.

Em relação ao Índice de Moran Local, o diagrama de espalhamento de Moran para a variável Média\_NDVI, apresentado na Figura 8 mostra que existe um espalhamento dos valores da variável por todos os quadrantes, porém com uma maior concentração dos valores nos quadrantes 1, que indica que se um bairro tem valor alto para a variável, seus vizinhos tem valores semelhantes, e no quadrante 2, que indica que se um bairro tem valor baixo para a variável, seus vizinhos tem valores semelhantes a ele. O Diagrama de Moran reafirma os resultados obtidos anteriormente da existência de autocorrelação espacial.

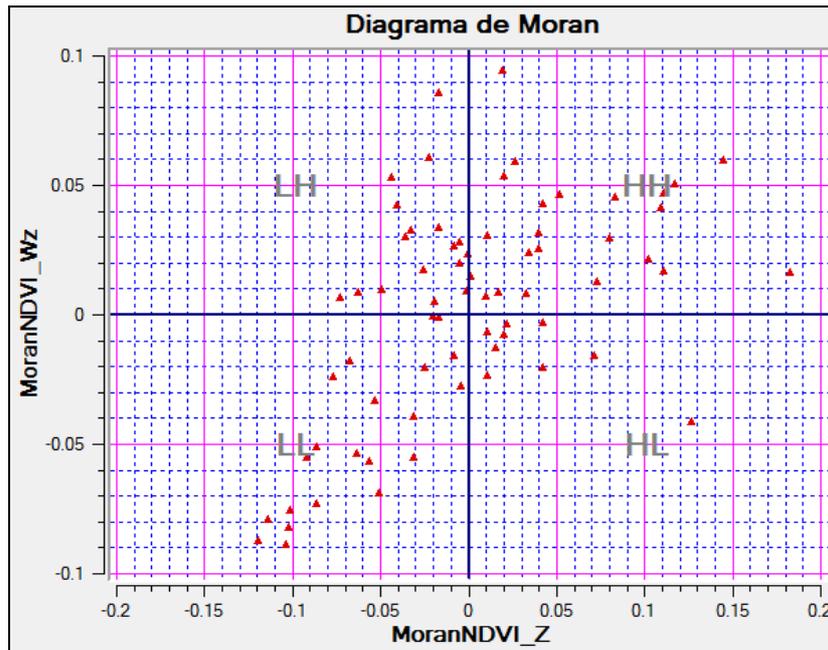


Figura 8: Diagrama de Moran para a variável média NDVI.

A Figura 9 mostra a espacialização do Diagrama de Moran, destacando as duas regiões que apresentam maior autocorrelação espacial. As áreas em vermelho representam os bairros que tem alto índice médio de NDVI e os vizinhos também tem alto índice, e em verde os bairros que possuem baixo índice médio de NDVI e os vizinhos também com baixo índice médio de NDVI.

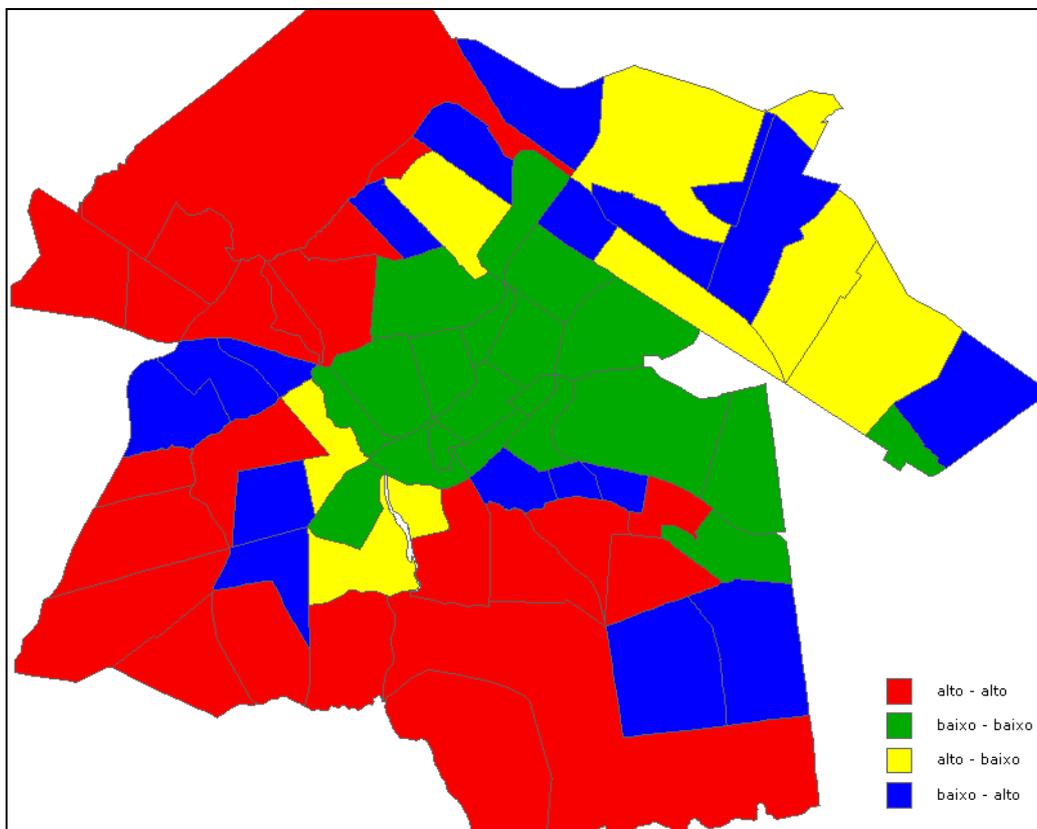


Figura 9: Diagrama de Moran espacializado da variável média NDVI.

Com base no p\_valor do indicador local de autocorrelação é também possível detectar as áreas que apresentam autocorrelação espacial. A Figura 10 mostra em vermelhos os bairros que apresentam um p\_valor significativo (menor 0.05), e que, portanto possuem uma autocorrelação espacial entre eles. A figura reafirma a existência de um agrupamento espacial na região central da cidade, a qual segundo a figura anterior (Figura 9) corresponde à região de baixo índice médio de NDVI.

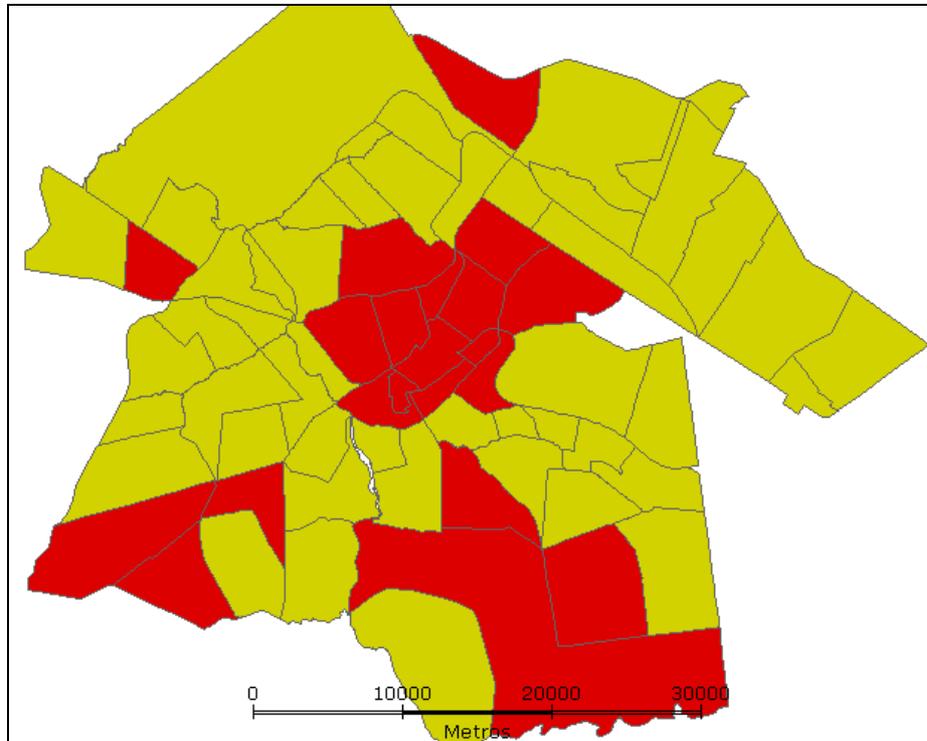


Figura 10: Consulta por atributos das áreas com valores significante de autocorrelação espacial (as áreas em vermelho são as áreas significantes com p\_valor < 0.05).

A análise do LISA Map mostra o grau de confiança dos bairros em ter autocorrelação espacial. A Figura 11 mostra o LISA Map gerado para a variável Média\_NDVI.

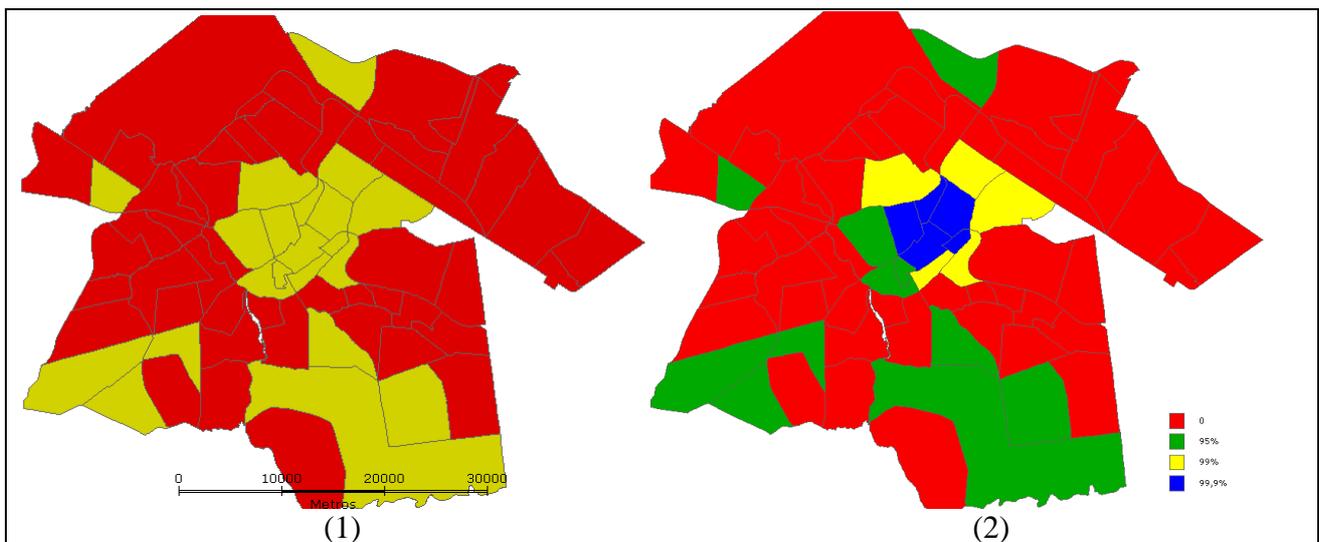


Figura 11: 1.Lisa Map destacando as áreas significantes de autocorrelação, em amarelo; 2. Lisa Map mostrando o grau de significância para os bairros analisados.

Na Figura 11.1 as áreas em vermelho não apresentam significância e portanto não apresentam correlação espacial. Já as áreas em amarelo são os bairros que apresentam confiança acima de 95% e indicam a existência de autocorrelação espacial.

A Figura 11.2 mostra que a região de central da cidade é que apresenta os maiores nível de confiança. Os bairros mais centrais, em azul, são os que apresentam autocorrelação espacial com o mais alto grau de confiança, 99,9%.

Para finalizar a análise de autocorrelação espacial a Figura 12 mostra os mapas gerados a partir do atributo Moran Map.

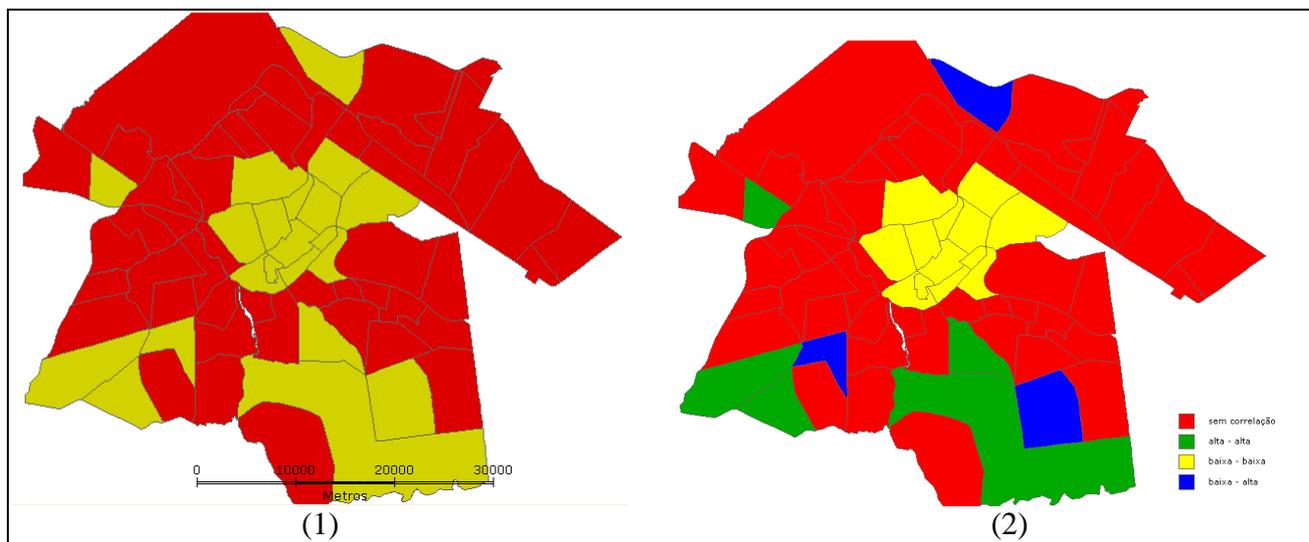


Figura 12: Moran Map para a variável média NDVI. 1. Áreas significantes em amarelo; 2. Espacialização dos valores de Moran Local.

A Figura 12.1 mostra as áreas da cidade onde se observa autocorrelação espacial. A análise da figura apenas confirma o que tem sido observado nos mapas anteriores, destacando a região central da cidade como a região onde se observa o principal agrupamento em relação à variável média NDVI.

A Figura 12.2 mostra também que na região central da cidade estão os bairros com baixo índice médio de NDVI e os seus vizinhos também tem baixo índice e NDVI, reforçando a informação que já tinha sido observada com a análise do Diagrama de Moran.

#### 4.4 Análise de Regressão Linear

Na segunda etapa deste trabalho foi realizada uma análise de regressão com intuito de descobrir se a variabilidade espacial do índice NDVI na área urbana pode ser explicada pelas características socioeconômicas da cidade.

Foi gerada então uma matriz de correlação entre as variáveis, mostrada na Tabela 1, pra saber qual das variáveis socioeconômicas apresenta maior correlação a variável Média\_NDVI.

A matriz de correlação mostrou que todas as variáveis socioeconômicas utilizadas no trabalho apresentaram correlação inversa com a variável Média\_NDVI. A variável renda e a variável escolaridade foram as variáveis socioeconômicas que apresentaram menor correlação com a variável Média\_NDVI, enquanto que as variáveis relacionadas a taxa de ocupação (Densidade Populacional e Densidade de Domicílios) foram os que apresentaram maior correlação negativa com a variável Média\_NDVI, indicando que quanto mais ocupado é o bairros menos cobertura vegetal existe nele.

Com base neste resultado a variável Densidade de Domicílios, a qual apresentou a maior correlação negativa com a variável Média\_NDVI (-0.77804927), foi então utilizada como variável independente para tentar se ajustar um modelo de regressão linear que explique a variável Média\_NDVI.

Tabela 1: Matriz de correlação entre as variáveis analisadas

	D_POP_KM	D_DOM_KM	I_AC_60A	PA_MASA	DPP_ABA	DPP_ESG	DPP_CLXO	AE_PRDPP	PRDPP_RM	NDVI_MED
D_POP_KM	1									
D_DOM_KM	0.99015745	1								
I_AC_60A	0.51339401	0.61185821	1							
PA_MASA	0.39261970	0.43034201	0.4797971	1						
DPP_ABA	0.45625288	0.43302280	0.1975284	0.5591507	1					
DPP_ESG	0.43732800	0.42070477	0.0535471	0.4476704	0.6587555	1				
DPP_CLXO	0.54811930	0.52841435	0.2058730	0.5989112	0.6616932	0.54555126	1			
AE_PRDPP	0.19407235	0.25484940	0.5054907	0.8394467	0.3330690	0.19414993	0.4248036	1		
PRDPP_RM	-0.03485659	0.02530018	0.3924320	0.5965000	0.1600079	0.04703814	0.2529930	0.8282251	1	
NDVI_MED	-0.75811577	-0.77804927	-0.5188239	-0.4482536	-0.3361202	-0.43768521	-0.6373580	-0.2645813	-0.06187495	1

A Figura 13 mostra o gráfico de dispersão entre a Média\_NDVI e a Densidade de Domicílios, indicando tendência de correlação negativa entre estas duas variáveis.

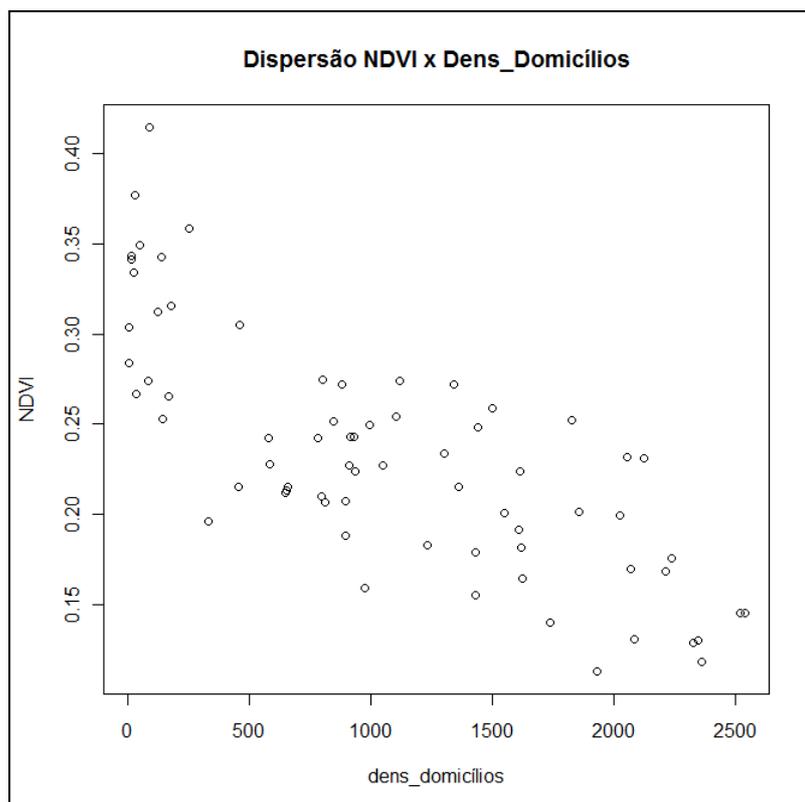


Figura 13: Dispersão entre a variável Densidade de Domicílios e a variável Média\_NDVI.

A Figura 14 apresenta o resumo dos resultados da aplicação da regressão linear clássica.

```

Call:
lm(formula = ndvi ~ d_dom)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.086149 -0.032960  0.000043  0.027424  0.115919

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  3.049e-01  8.633e-03   35.32 < 2e-16 ***
d_dom       -6.744e-05  6.603e-06  -10.21 2.29e-15 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.04172 on 68 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.6054,    Adjusted R-squared:  0.5996
F-statistic: 104.3 on 1 and 68 DF,  p-value: 2.291e-15

```

Figura 14: Resultados da regressão linear clássica.

A Figura 14 mostra que os p\_valores obtidos da regressão linear foram todos significativos (menores que 0,05), o que indica a correlação entre as variáveis utilizadas no processo. O  $r^2 = 0.60$  indica que 60% da variável Média\_NDVI pode ser explicada pela variável Densidade de Domicílios.

Dessa forma o modelo de regressão linear foi ajustado pela seguinte fórmula:

$$\text{Média\_NDVI} = (0,3049 + (-0,00006744 * \text{Densidade de Domicílios}))$$

Os valores da variável Média\_NDVI estimados pelo modelo de regressão linear foram espacializados (Figura 15), e pode-se observar que a região central da cidade continua a apresentar um agrupamento de bairros onde o valor médio do índice NDVI é baixo, e à medida que se afasta da região central os valores de NDVI aumentam.

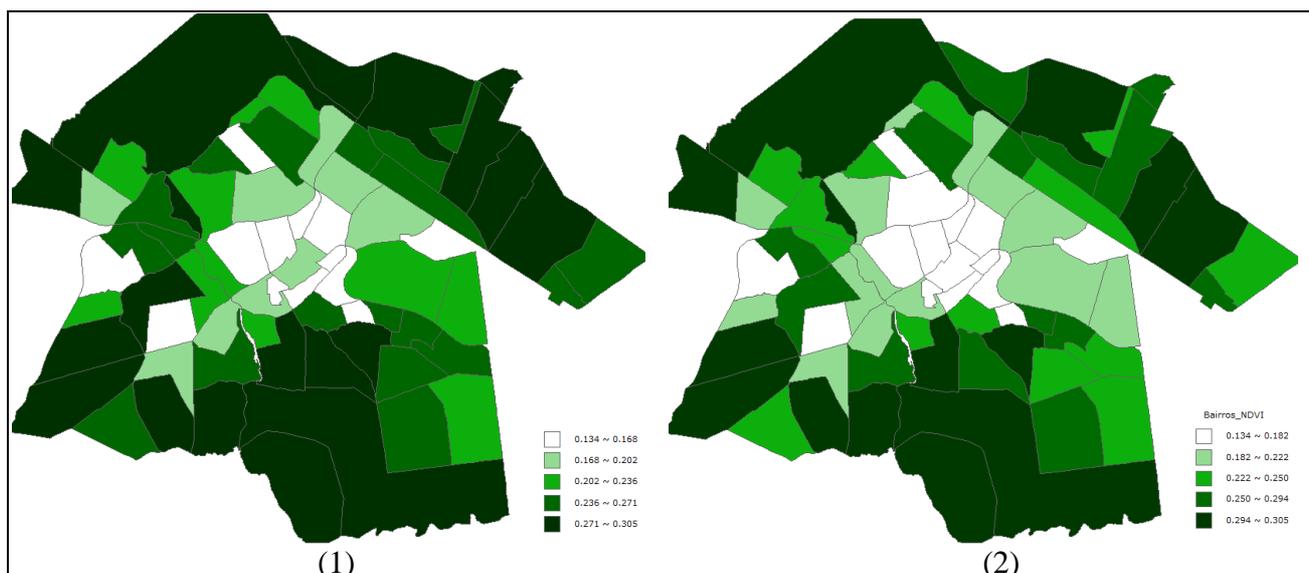


Figura 15: Distribuição espacial da variável média NDVI estimada pela regressão linear. 1. Agrupamento por passo igual; 2. Agrupamento por quantil.

A fim de avaliar a existência de autocorrelação espacial entre as variáveis Media\_NDVI estimada pela regressão linear e a Densidade de Domicílios, foi aplicada uma análise de Moran para os resíduos da regressão clássica.

O índice Global de Moran para os resíduos da regressão clássica apresentou os seguintes resultados:

$$I = 0.197195 \quad p\_valor = 0,014$$

Estes valores indicam que existe uma leve autocorrelação espacial direta entre as variáveis, uma vez que o p\_valor é significativo.

Analisando os resíduos de forma localmente, o Diagrama de Moran para os resíduos (Figura 16) mostra que existe uma concentração de ocorrências nos quadrantes 1 e 2, indicando respectivamente, que quando um bairro tem alto valor para os resíduos seus vizinhos também tem, e quando um bairro tem baixo valor para os resíduos seus vizinhos também são baixos.

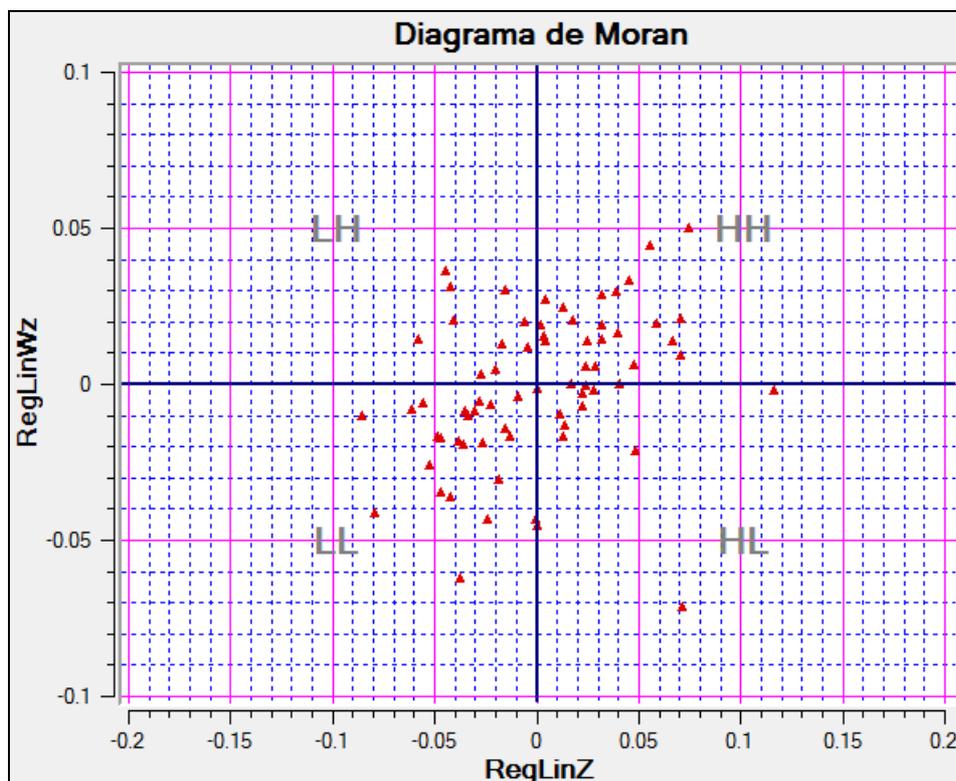


Figura 16: Diagrama de Moran para os resíduos da regressão linear clássica.

A Figura 17 mostra a espacialização do Diagrama de Moran para resíduos da regressão clássica. Como observado no gráfico do Diagrama de Moran (Figura 16), a Figura 17 ressalta a concentração de bairros pertencentes às classes alto-alto e baixo-baixo para os resíduos da regressão clássica. Espacialmente falando pode-se notar a porção leste da cidade é dominada por um agrupamento baixo-baixo, enquanto a porção oeste concentra bairros com valores alto-alto.

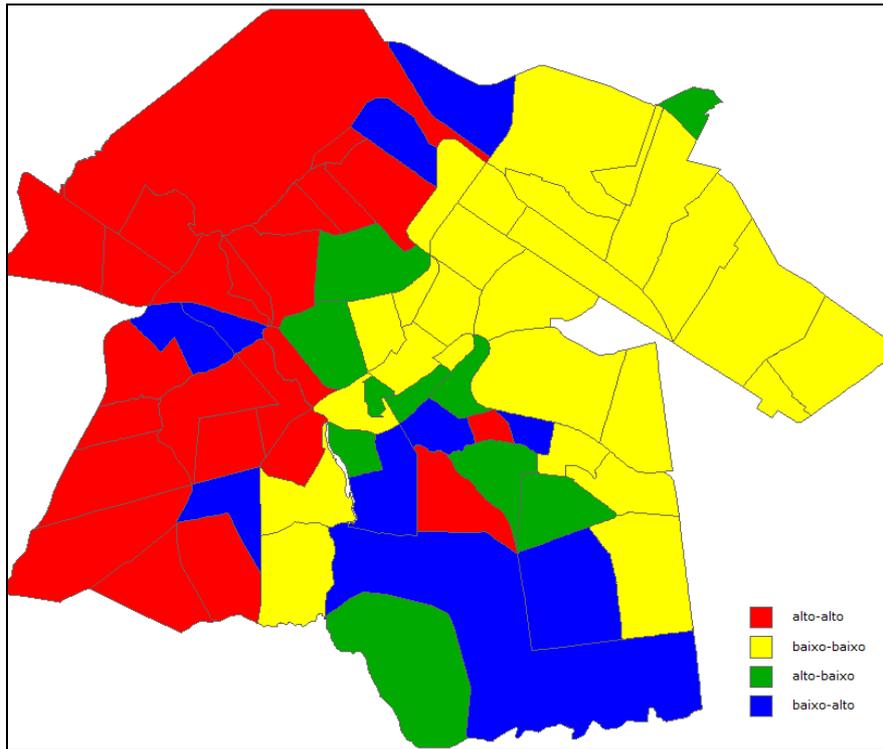


Figura 17: Diagrama de Moran espacializado para os resíduos da regressão clássica.

Com base no valor de significância para resíduos, a Figura 18 mostra em vermelho as áreas que possuem valores significantes, menores que 0.05, e que, portanto possuem autocorrelação espacial. A figura mostra que pouca áreas são significantes e não é possível observar a ocorrência de uma concentração espacial em relação ao valores dos resíduos da regressão clássica.

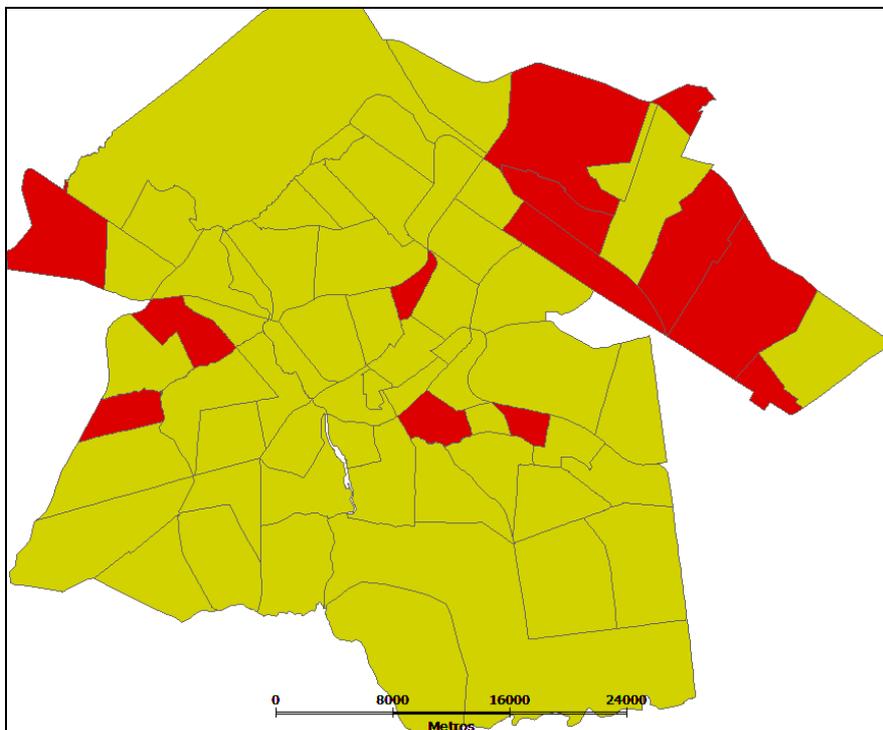


Figura 18: Consulta por atributos das áreas com valores significante de autocorrelação espacial para os resíduos da regressão clássica (as áreas em vermelho são as áreas significantes com  $p\_valor < 0.05$ ).

A Figura 19 mostra o Lisa Map para os resíduos da regressão clássica.

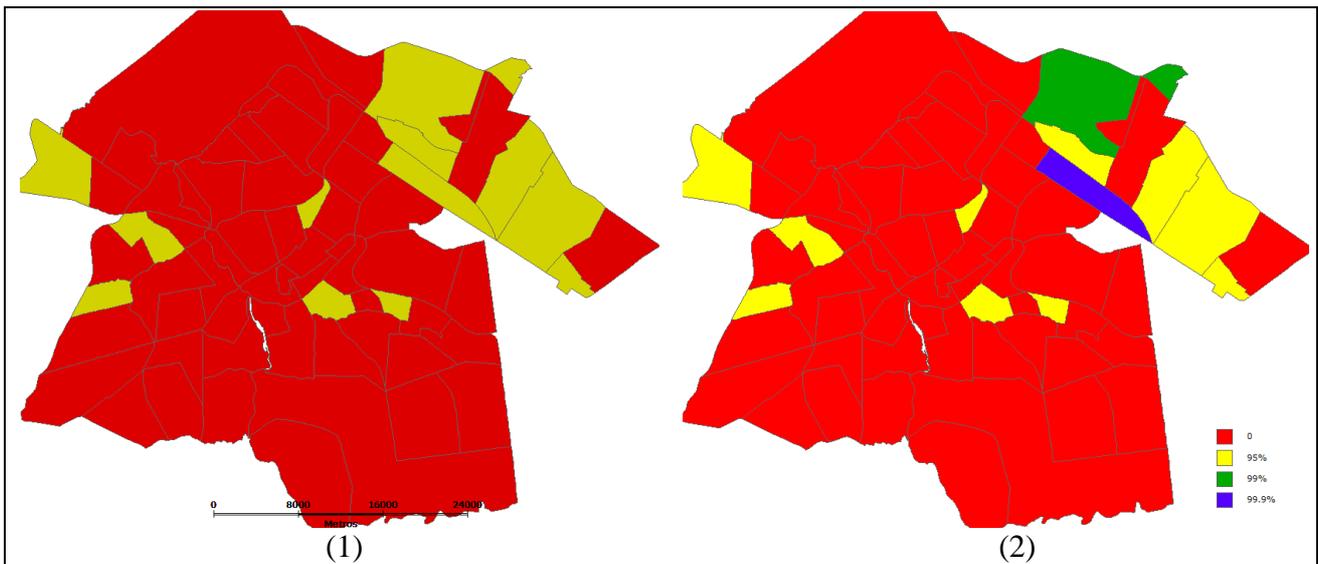


Figura 19: Lisa Map para os resíduos da regressão clássica. 1. Lisa Map destacando as áreas significantes de autocorrelação, em amarelo; 2. Lisa Map mostrando o grau de significância para os bairros analisados.

Analisando a Figura 19 observa-se que não existe ocorrência de agrupamentos espaciais para os resíduos da regressão, assim como já havia sido observado com a análise da Figura 18.

A Figura 20 apresenta os mapas relacionados ao Moran Map para os resíduos da regressão clássica.

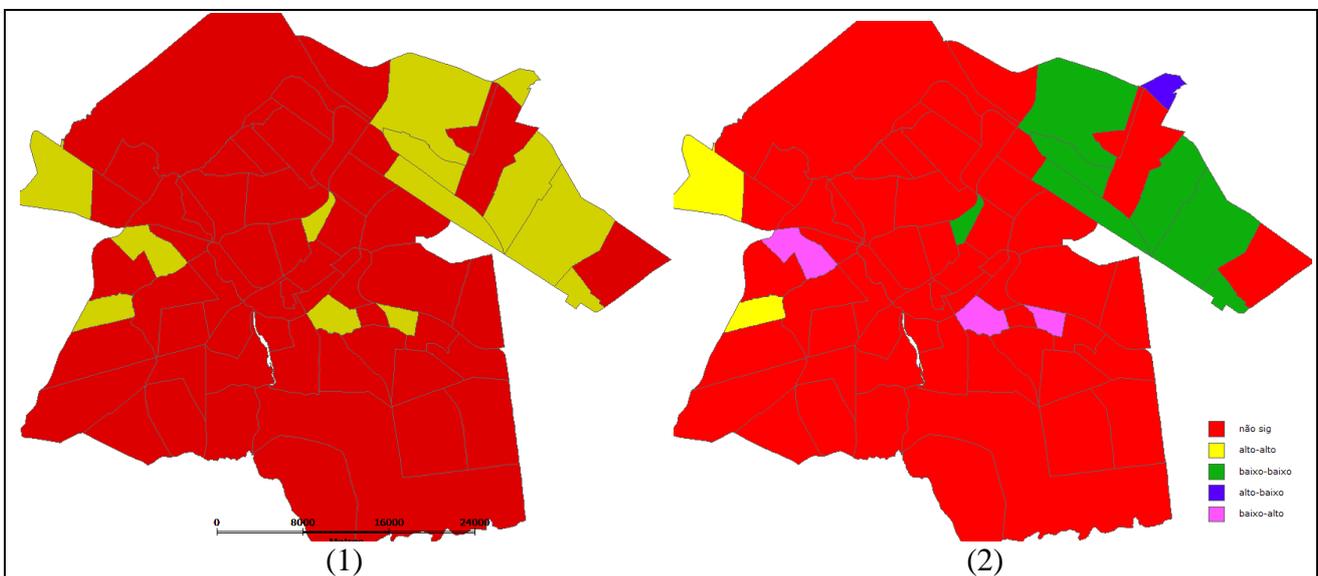


Figura 20: Moran Map para os resíduos da regressão linear clássica. 1. Áreas significantes em amarelo; 2. Espacialização dos valores de Moran Local.

A análise dos mapas mostrados na Figura 20 reafirma a não existência de agrupamentos espaciais para os resíduos da regressão linear clássica, indicando que não existe dependência espacial entre as variáveis utilizadas na regressão clássica, que foram a Densidade de Domicílios e Média do Índice NDVI.

## 4.5 Análise de Regressão Multivariada

Na busca por melhores resultados para explicar a variação da ocorrência de cobertura vegetal na cidade de Uberlândia foi feita uma regressão multivariada, para saber se todas as variáveis socioeconômicas juntas explicavam melhor a variável média do índice NDVI. A Figura 21 mostra os resultados da regressão multivariada.

Regression			
SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION			
Data set	: Geoda_pol		
Dependent Variable	: NDVI_MED	Number of Observations:	: 70
Mean dependent var	: 0,232942	Number of Variables	: 10
S.D. dependent var	: 0,0654604	Degrees of Freedom	: 60
R-squared	: 0,758972	F-statistic	: 20,9927
Adjusted R-squared	: 0,722818	Prob(F-statistic)	: 1,87066e-015
Sum squared residual	: 0,0722972	Log likelihood	: 141,316
Sigma-square	: 0,00120495	Akaike info criterion	: -262,631
S.E. of regression	: 0,0347124	Schwarz criterion	: -240,146
Sigma-square ML	: 0,00103282		
S.E of regression ML	: 0,0321375		

Figura 21: Resultados da regressão multivariada

Os resultados apresentados na Figura 21 mostram que a regressão apresentou um  $r^2$  alto, igual a 0.758972, indicando que as variáveis socioeconômicas explicam a maior parte da ocorrência da variável Média NDVI.

A fim de verificar a existência de dependência espacial entre estas variáveis independentes e a variável depende, os resíduos da regressão multivariada foram espacializados utilizando uma consulta por agrupamento (Figura 22).

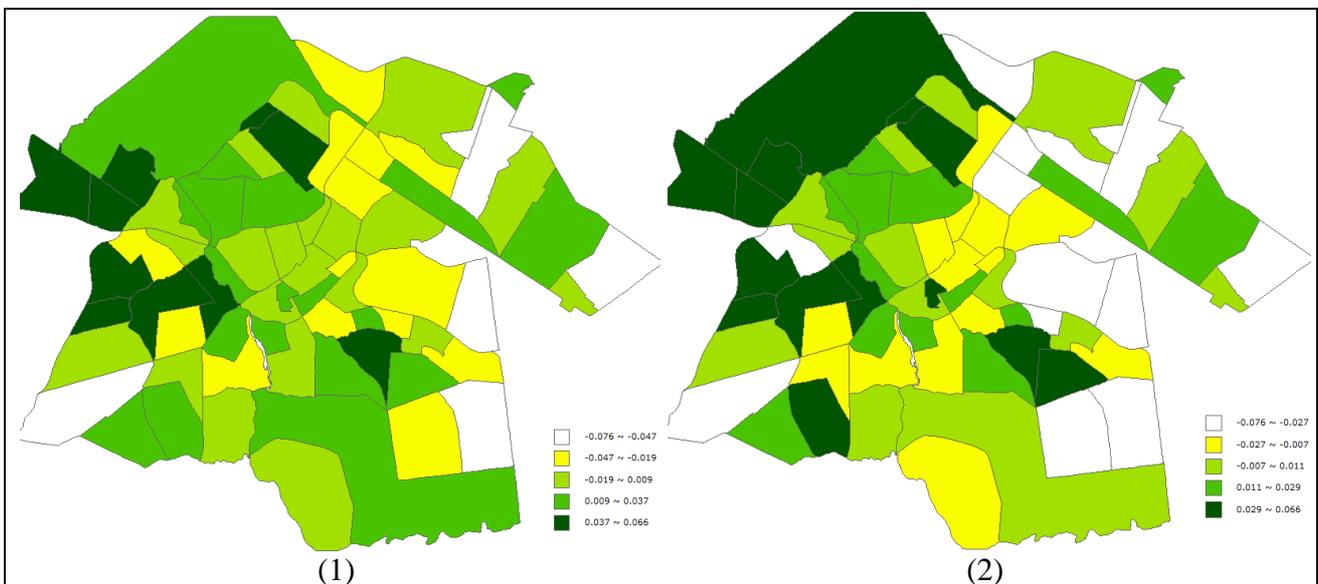


Figura 22: Espacialização dos resíduos da regressão multivariada. 1. Agrupamento Passo Igual; 2. Agrupamento por quantis.

A Figura 22 mostra que não ocorre agrupamento espacial para os resíduos da regressão multivariada, indicando que existe dependência espacial entre as variáveis empregadas para realizar a análise de regressão.

## 5. Considerações Finais

Os resultados obtidos neste estudo mostraram que os valores médios de NDVI obtidos para a área urbana do município de Uberlândia são muito baixos, o que indica que existe pouca cobertura vegetal espalhada pela cidade.

Em relação à dependência espacial com base nos valores médios de NDVI, ficou comprovado que existe a ocorrência de uma sutil dependência global, mas que localmente existe uma dependência espacial mais forte entre bairros da área central que apresentam os valores médios mais baixos de NDVI.

Ficou comprovado também que os valores médios de NDVI têm alta correlação negativa com os valores de densidade de domicílios, sendo bem explicados por um modelo de regressão linear simples. Contudo os resíduos mostram que não há dependência espacial entre as duas variáveis.

Os resultados obtidos a partir de uma regressão multivariada, utilizando todas as variáveis socioeconômicas como variáveis independentes, mostrando que o conjunto de variáveis socioeconômicas explica melhor a variável média do índice NDVI do que somente a variável Densidade de Domicílios, a qual apresentou maior correlação. Mas a análise dos resíduos da regressão multivariada também mostraram que não ocorre dependência espacial entre as variáveis socioeconômicas e a variável NDVI.

É importante considerar neste trabalho que, embora o NDVI tenha sido um bom estimador de cobertura vegetal na cidade, estas áreas podem ter sido subestimadas, uma vez que áreas de vegetação mais baixa que os edifícios da cidade podem estar sombreadas pelos prédios e também pelo fato da resolução espacial do sensor não ser a mais adequada para estudos urbanos.

## 6. Referência Bibliográficas

DOMINGOS, P. L. H. **Aplicação de dados de sensoriamento remoto orbital de alta resolução à análise da cobertura vegetal intra-urbana e seu estado de conservação.** 2009, 127p. (INPE-14210-TDI/1111). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2009.

Fonseca, L.M.G. **Restauração e interpolação de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR.** 1988, 148 p.(INPE-6628-TAE/30). Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, 1988.

Jensen, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** 2ª ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 598 p.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; CORREA, V. Análise Espacial de Áreas. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos.** Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2004. 209 p.