



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**

**Pós-graduação em Sensoriamento Remoto**

SER-457-3 – População, Espaço e Meio Ambiente

Professores responsáveis: Dra. Silvana Amaral  
Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro

Discente: Mayumi Cursino de Moura Hirye

RELATÓRIO DE TRABALHO FINAL

**ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE INDICADORES E MÉTRICAS ESPACIAIS  
PARA CARACTERIZAÇÃO DA FORMA INTRA-URBANA**

São José dos Campos  
2015

## **1. Introdução**

Este relatório apresenta o trabalho realizado para a disciplina SER-457, População, Espaço e Meio Ambiente. O objetivo principal do trabalho foi explorar indicadores e métricas espaciais para a caracterização da forma urbana de trechos da cidade de Altamira (PA) entre 2000 e 2010.

A literatura e a prática do planejamento urbano adotam indicadores (como densidade ou taxa de crescimento) e métricas espaciais (como tamanho médio ou dimensão fractal) com o objetivo de, quantitativamente, caracterizar as cidades e diferenciar padrões espaciais e temporais.

Índice ou indicador é uma medida, em geral quantitativa, dotada de significado substantivo e usada para substituir, quantificar ou operacionalizar um conceito (JANNUZZI; PATARRA, 2006). Diversos organismos internacionais propuseram e passaram a adotar sistemas de indicadores para monitorar o desenvolvimento sustentável urbano, tais como: a Agenda Habitat – ONU, Programa de Indicadores Urbanos – ONU/HABITAT, o Sistema de Indicadores de Monitoramento das Metas de Desenvolvimento do Milênio – ONU/PNUD, os Indicadores de Desenvolvimento Sustentável – ONU/CNUDS e os Indicadores Ambientais – OEDC. Especificamente para cidades brasileiras e latino-americanas, podem ser citados, respectivamente, o Programa Cidades Sustentáveis (PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS, 2012), realizado por um conjunto de redes e ONGs, e a Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis, do Banco Interamericano de Desenvolvimento (ICES, 2013).

Dentre os sistemas de indicadores de sustentabilidade urbana citados, os relacionados à forma urbana são, na maioria dos exemplos, calculados a partir de dados censitários (número de habitantes, número de domicílios, número de famílias, condição das habitações), cadastrais (cobertura de serviços públicos) e dados de área (área do município, área urbanizada, áreas verdes, incluindo-se também os de habitantes ou domicílios por unidade de área), estão agrupados em temas como uso do solo, distribuição da população, condições das habitações e dos

assentamentos urbanos e crescimento urbano e, apenas em alguns casos, estão associados a valores de referência.

Métricas espaciais podem ser definidas como medidas derivadas de mapas temático-categóricos que exibem heterogeneidade espacial a uma dada escala e resolução (HEROLD et al., 2005). Desenvolvidas para os estudos de Ecologia de Paisagens, as métricas espaciais são índices numéricos desenvolvidos para quantificar determinada característica espacial de *patches* (manchas), classes de *patches* ou a totalidade da paisagem (MCGARIGAL; MARKS, 1994). Da perspectiva ecológica, *patches* representam áreas relativamente contidas espacialmente ou temporalmente, com condições ecológicas relativamente homogêneas, com limites distinguíveis pela descontinuidade das características ambientais do entorno em magnitude perceptível ou relevante para o organismo em estudo (WIENS, 1976).

O arcabouço teórico e instrumental desenvolvido para a Ecologia de Paisagens foi apropriado para os estudos urbanos. Herold et al. (2002) utilizaram as métricas de paisagem para compor “assinaturas de métricas de paisagem” e diferenciar classes de uso do solo em áreas testes em Santa Bárbara, Estados Unidos. Lowry e Lowry (2014) as utilizaram para caracterizar diferentes bairros residenciais de acordo com a época de sua formação, em Salt Lake City, Estados Unidos. Outros estudos focaram a caracterização da cidade como um todo (SCHWARZ, 2010, HUANG et al., 2007, FINA; SIEDENTOP, 2008), ou processos específicos (WILSON et al., 2002, SCHNEIDER; WOODCOCK, 2008, LI; YEH, 2004).

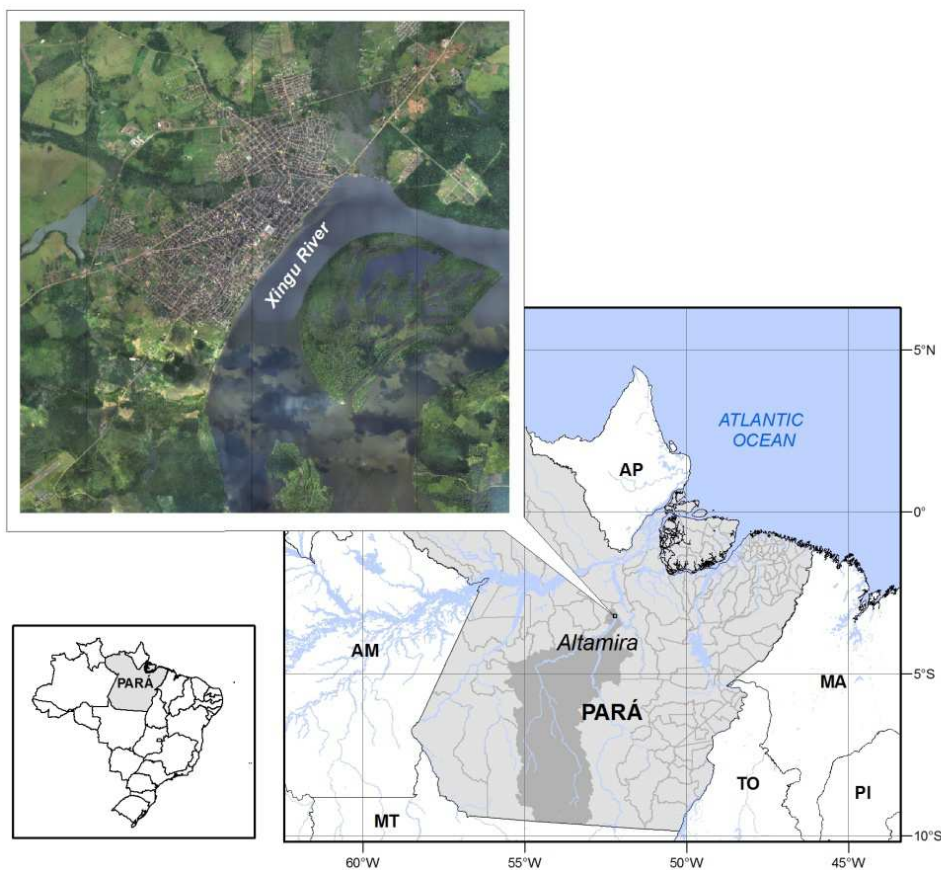
A forma urbana é objeto de estudo que perpassa diversas disciplinas, do planejamento urbano à história das cidades, da ecologia urbana à sociologia, sem que haja, no entanto, um conceito consagrado ou único. De uma maneira ampla, a forma urbana é aqui definida como a “estrutura física da cidade (construções, áreas livres, ruas, quadras etc.) e distribuição da população e suas atividades”. Assim, as formas urbanas caracterizadas neste trabalho são descritas a partir de duas dimensões: a densidade dos assentamentos (capturada pelo indicador de densidade de domicílios por unidade de área) e sua configuração espacial

(expressa pelas métricas espaciais, que consideram os espaços construídos e espaços abertos como *patches*).

## 2. Materiais e métodos

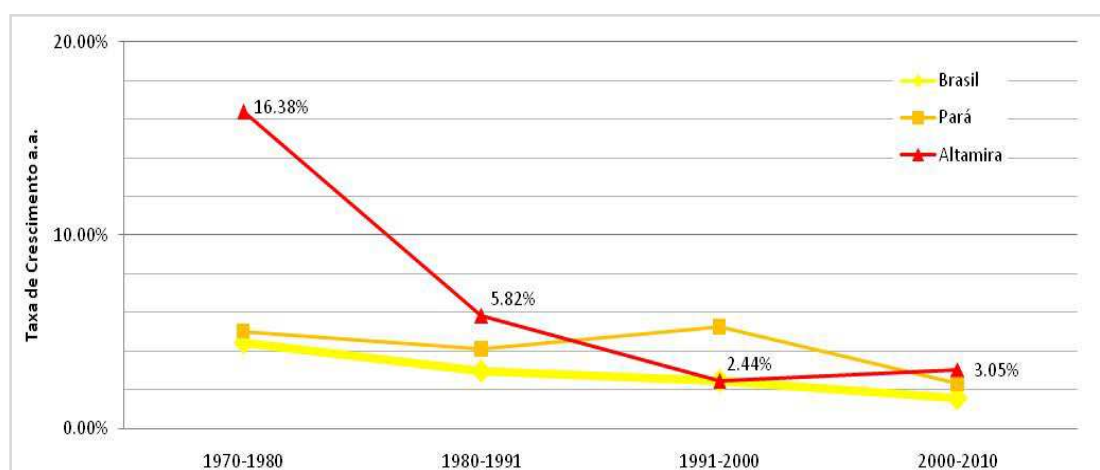
### 2.1 Área de estudo

A cidade de Altamira está situada na porção central do estado do Pará, na margem esquerda do rio Xingu (Fig. 1). Dista 720 km da capital do estado e constitui-se como um centro sub-regional, subordinado à própria capital Belém, polarizando, por sua vez, as cidades de Anapu, Brasil Novo, Medicilândia, Pacajá, Porto de Moz, Senador José Porfírio, Uruará e Vitória do Xingu (IBGE, 2008). A BR-320, rodovia Transamazônica, corta a cidade de Altamira, ligando-a a leste à Marabá e a oeste à Itaituba.



**Fig. 1.** Localização da área de estudo - a cidade de Altamira - Pará.

A ocupação de Altamira data do século XVIII, como um posto avançado para a exploração do interior da Amazônia, empreendida pelos jesuítas. O município de Altamira foi emancipado de Souzel em 1911. Em 1909, contabilizava-se mais de 100 casas na vila de Altamira (UMBUZEIRO, 2012). A partir de 1970, as iniciativas do governo federal para a ocupação da Amazônia foram responsáveis pelo vertiginoso crescimento da cidade. Os dados estatísticos (IBGE, 2013) apontam que, no período de maior crescimento demográfico da cidade, entre 1970 e 1980, a taxa de crescimento foi de 16,38% a.a.: de 6 mil habitantes em 1970, a cidade passou a abrigar em 1980, cerca de 27 mil pessoas. Atualmente, a população da cidade é de pouco mais de 84 mil habitantes. Apenas no período entre 1991 e 2000, Altamira apresentou crescimento menor que a média do estado. No restante do período, entre 1970 e 2010, seu crescimento superou, inclusive, a média do país (Fig. 2).

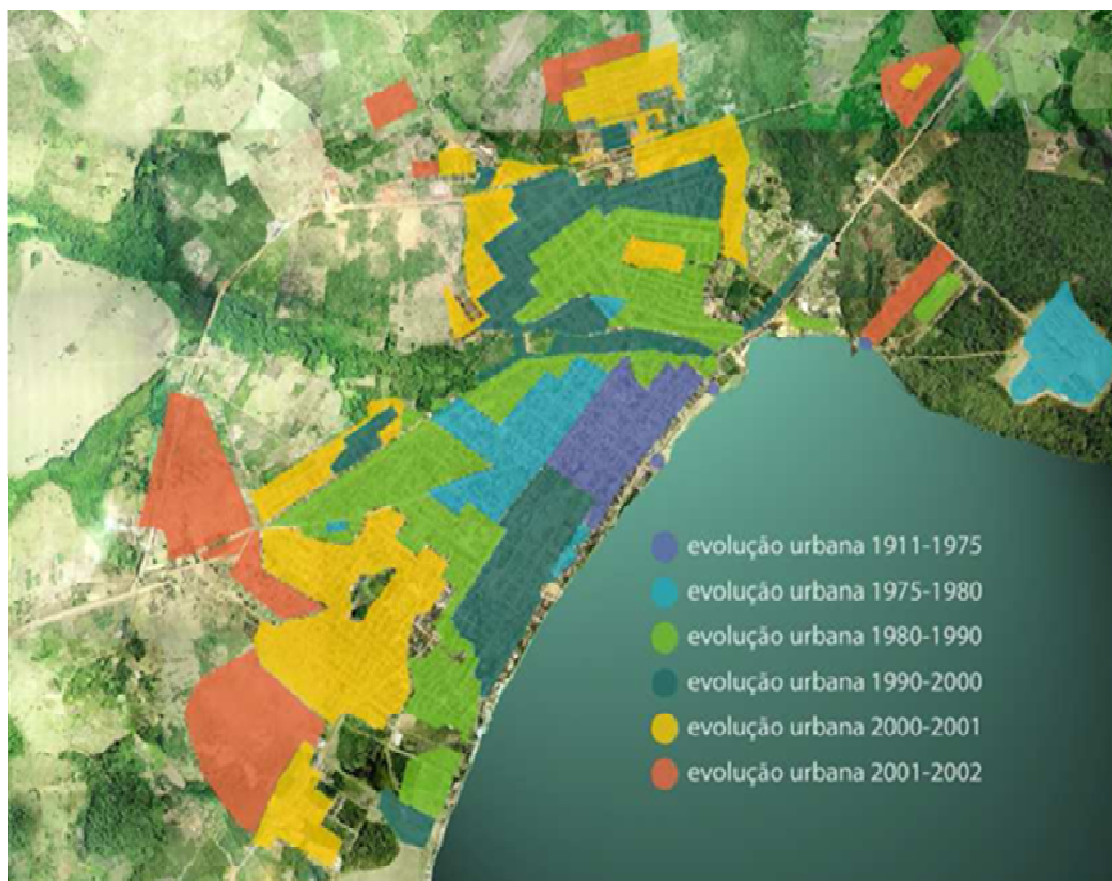


**Fig. 2.** Taxa de crescimento da população urbana de Altamira, do estado do Pará e do Brasil entre 1970 e 2010.

Fonte: Censos Demográficos 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 (IBGE, 2013).

A partir da década de 1970, observa-se o crescimento da mancha urbana para além da ocupação pioneira da margem do Rio Xingu (Fig. 3). A expansão da cidade se deu a partir de assentamentos planejados pela Prefeitura Municipal, pela Prelazia do Xingu e por empresas privadas. Parte da população, entretanto, ocupou, de forma irregular, as baixadas e áreas alagadiças. Assim Altamira apresenta padrões

variáveis de urbanização em termos de infraestrutura urbana e condições das edificações.



**Fig. 3.** Expansão da mancha urbana de Altamira de 1911 a 2002.

Fonte: Modificado de PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA (2003), apud TECHNUM (2010).

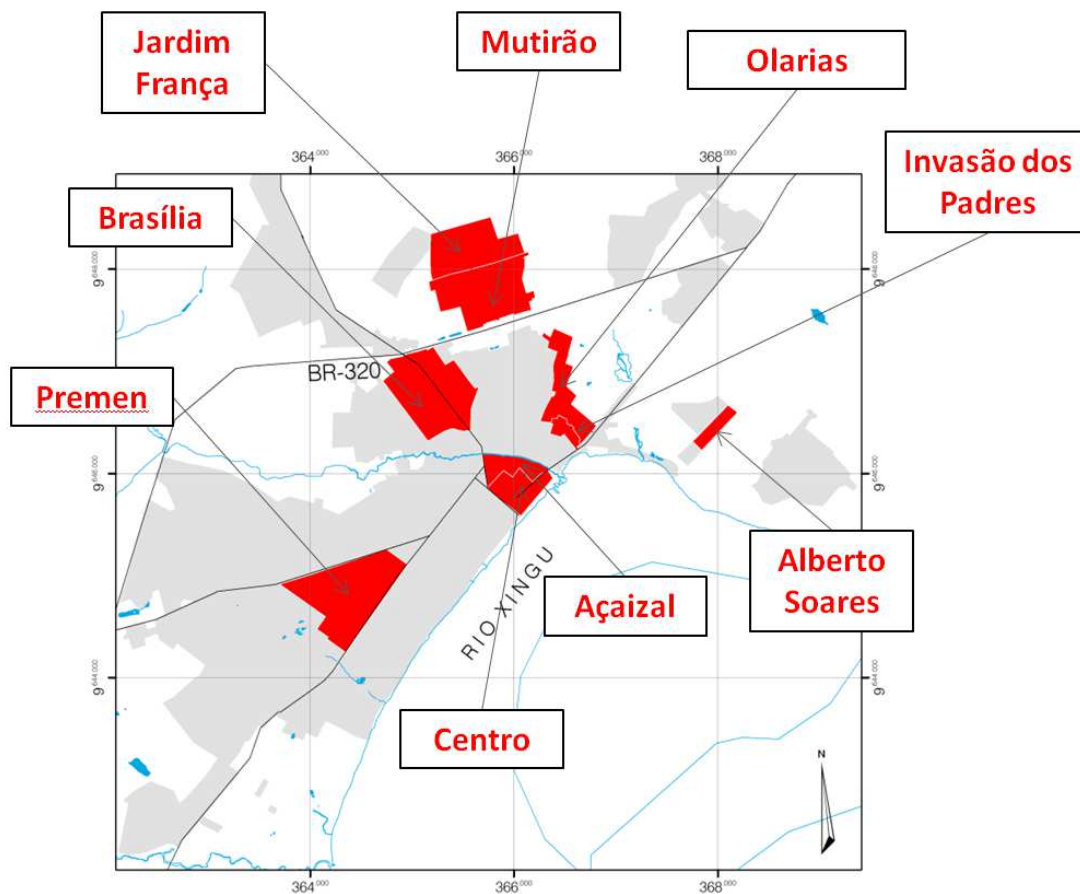
A delimitação dos bairros foi feita a partir de fotos aéreas e ortofotos de Altamira (Quadro 1), de entrevistas realizadas em julho de 2013, apresentadas em Hirye (2014) e de dados de bibliografia (UMBUZEIRO, 1988, 2012; LEME ENGENHARIA, 2009). Trata-se de uma delimitação que busca recompor as unidades de urbanização tal como foram surgindo ao longo do tempo.

**Quadro 1.** Fotos Aéreas e Ortofotos da cidade de Altamira

Ano	Tipo	Escala / Resolução	Formato Original	Órgão Cedente
1979	Foto Aérea	1:5.000	Impressas	Eletronorte
1987	Foto Aérea	1:8.000	Impressas	Eletronorte

Ano	Tipo	Escala / Resolução	Formato Original	Órgão Cedente
1999	Ortofoto	1:8.000	Digital	Eletronorte / CDHU-PA
2010	Ortofoto	0,30m	Digital	Eletronorte

Para este estudo, foram selecionados 9 bairros em Altamira (Quadro 2 e Fig. 4), buscando a diversidade de situações em relação à: período de ocupação, área total ocupada pelos bairros, padrão de arruamento (regular ou irregular), localização na cidade e características gerais da ocupação (padrão construtivo das edificações, pavimentação nas ruas e histórico de ocupação).



**Fig. 4.** Localização dos bairros selecionados.

**Quadro 2. Bairros selecionados**

<b>Bairro</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Uso</b>	<b>Período de ocupação</b>	<b>Origem</b>	<b>Padrão de arruamento / lotes</b>	<b>Recobrimento das vias de circulação</b>	<b>Padrão de recuos das casas</b>	<b>Material construtivo das edificações</b>
Alberto Soares	6,04	Misto (Residencial / Comercial e Serviços)	1980-1990	Loteamento	Regular	Ruas asfaltadas	Regular	Paredes de alvenaria e telhas de barro e fibrocimento
Açaizal	11,15	Residencial	1980-1990	Invasão das áreas alagadiças do igarapé Altamira	Irregular	Estivas de madeira	Irregular	Paredes e chão de madeira e telhas de fibrocimento
Brasília	52,97	Misto (Residencial / Comercial e Serviços)	1980-1990	Loteamento	Regular	Ruas asfaltadas	Irregular	Paredes de alvenaria e telhas de fibrocimento
Centro	15,32	Misto (Residencial / Comercial e Serviços)	1911-1975	Área da ocupação pioneira	Regular	Ruas asfaltadas	Irregular	Paredes de alvenaria e telhas de fibrocimento
Invasão dos Padres	4,57	Residencial	2000-2010	Invasão das áreas alagadiças do igarapé Ambé	Irregular	Estivas de madeira	Irregular	Paredes e chão de madeira e telhas de fibrocimento
Jardim França	34,47	Residencial	2000-2010	Loteamento	Regular	Ruas sem pavimentação	Irregular	Paredes de alvenaria e telhas de barro
Mutirão	45,52	Residencial	1990-2000	Conjunto habitacional construído por mutirão / Loteamento	Regular	Ruas parcialmente asfaltadas	Regular / Irregular	Paredes de alvenaria e telhas de barro e fibrocimento
Olarias	22,08	Residencial	2000-2010	Invasão antiga extração de argil, em área alagadiça do igarapé Ambé	Irregular	Estivas de madeira	Irregular	Paredes e chão de madeira e telhas de fibrocimento
Premen	57,25	Misto (Residencial / Comercial e Serviços)	1980-1990	Loteamento	Regular	Ruas asfaltadas	Irregular	Paredes de alvenaria e telhas de barro e fibrocimento



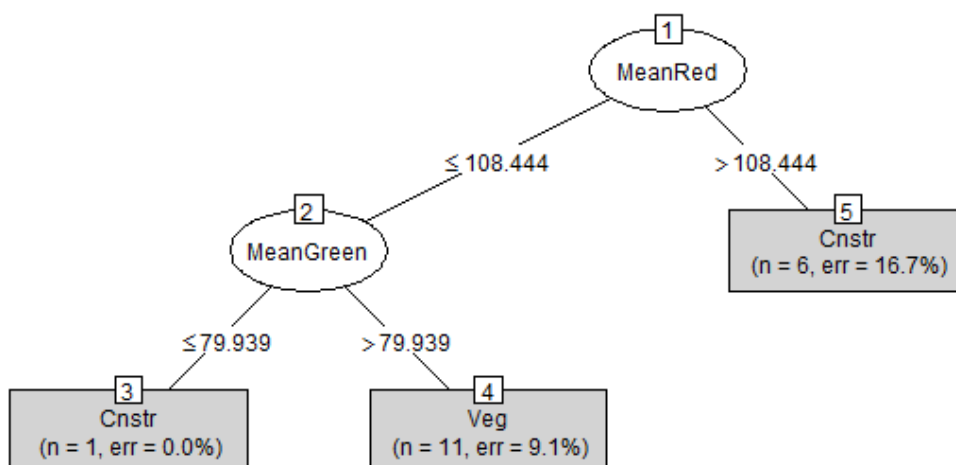
## 2.1 Mapas de cobertura da terra

Para o cálculo das métricas de paisagem, foram utilizados mapas de cobertura da terra com duas classes: vegetação e áreas construídas. Os mapas foram obtidos da classificação de imagens de sensoriamento remoto em duas escalas – alta resolução, 1m e média resolução, 30m – e em datas – 2000 e 2010 (Quadro 3).

**Quadro 3.** Imagens utilizadas

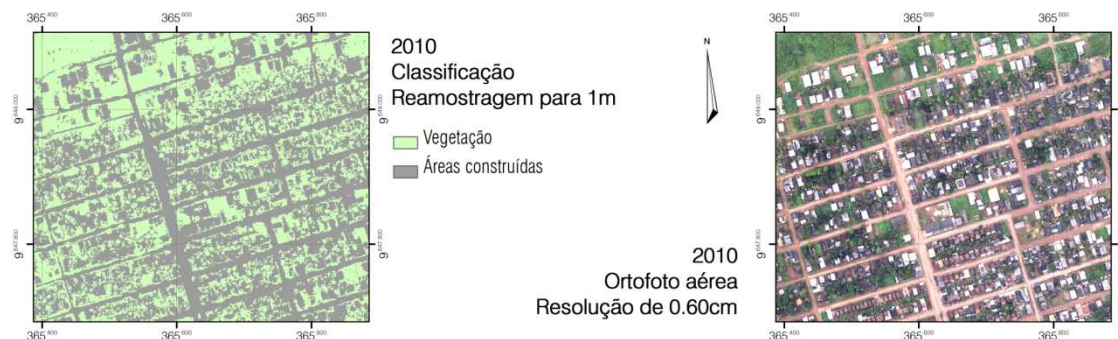
Ano	Tipo	Resolução	Formato Original	Órgão Cedente
2000	Landsat TM	30m	Digital	DGI/INPE
2010	Landsat TM	30m	Digital	DGI/INPE
2010	Ortofoto	0,6m	Digital	Eletronorte

A classificação da ortofoto foi feita a partir da segmentação multiresolução, implementada no software ECognition (parâmetros de escala=10, forma=0.1 e compacidade =0.5) e classificação por árvore de decisão, gerada com a implementação J48 do algoritmo C4.5. Os atributos utilizados na árvore de decisão foram as médias dos valores das bandas do vermelho e verde, em cada segmento (Fig. 5).



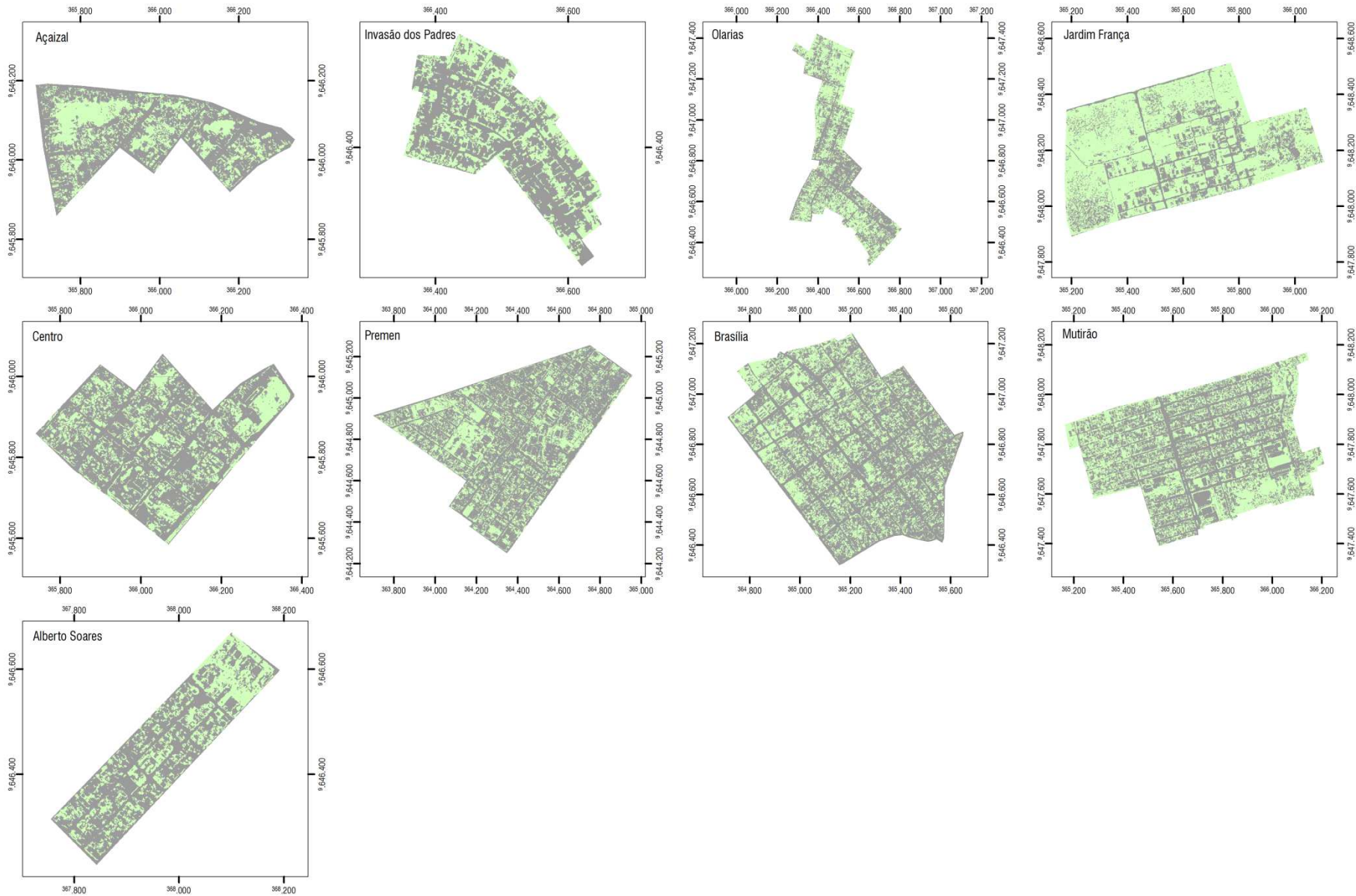
**Fig. 5.** Árvore de decisão gerada para a classificação da ortofoto.

O mapa final de classificação (Figs. 6 e 7) foi reamostrado da resolução original da ortofoto (0,6m) para 1m, utilizando o método do vizinho mais próximo.

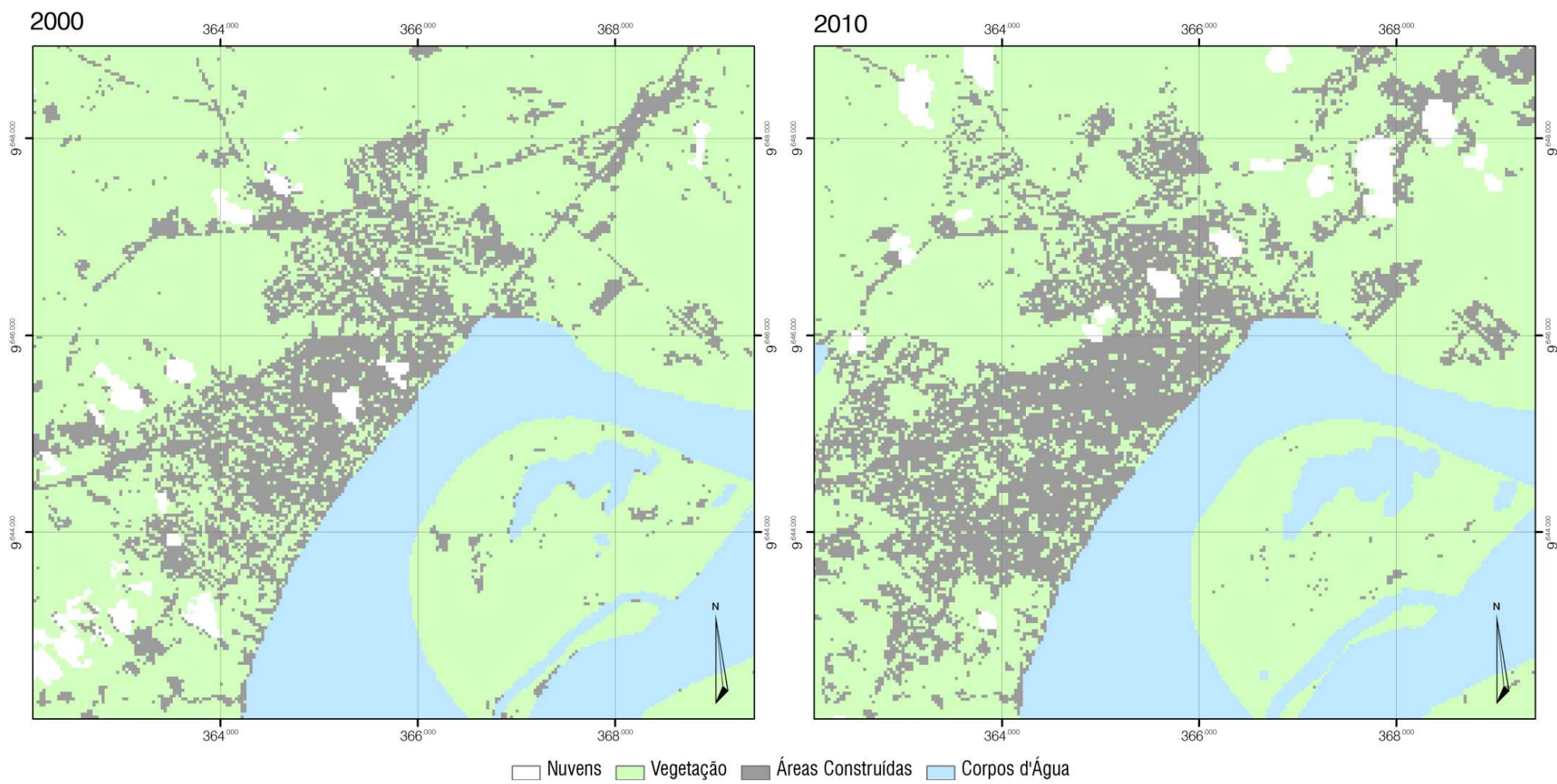


**Fig. 6.** Trecho da classificação e da ortofoto aérea original.

As imagens de média resolução foram classificadas pelo modelo linear de mistura espectral, conforme descrito em Hirye *et. al* (2015). Os dois mapas de cobertura da terra (Fig. 8) apresentaram exatidão global de 85,2% (2000) e 88,1% (2010). O índice *Kappa* foi de 0,668 (2000) e 0,751 (2010), com um intervalo de confiança (95%) de  $\pm 0,120$  (2000) e  $\pm 0,09$  (2010). Para um nível de significância de 5%, o teste Z mostrou que ambos os mapas são melhores que uma classificação casual. As classes “impermeabilização” e “solo” foram reclassificadas para “áreas construídas”, enquanto que a classe “vegetação” permaneceu inalterada.



**Fig. 7.** Mapas de cobertura da terra de 2010, na resolução espacial de 1m, obtidos a partir da classificação das ortofotos.

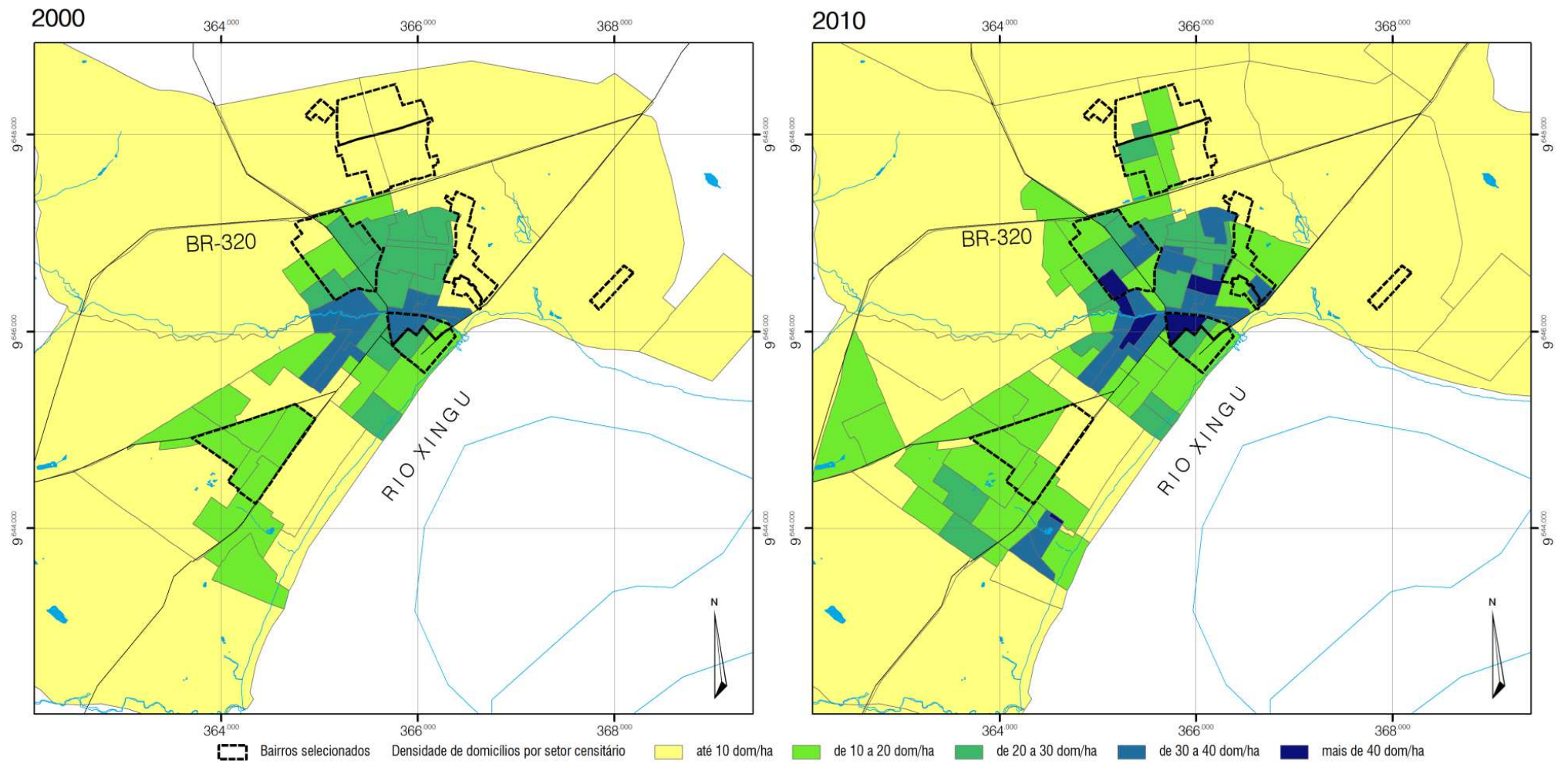


**Fig. 8.** Mapas de cobertura da terra de 2000 (à direita) e de 2010 (à esquerda).

## 2.2 Dados censitários

Dos Censos de 2000 e 2010, foram utilizados os dados de “Domicílios particulares permanentes ou pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes” – Var01 e V001, respectivamente. O método dasimétrico binário foi utilizado para estimar o número de domicílios da cidade de Altamira por bairros, não por setores censitários, como no recorte espacial dos dados originais (Fig. 9). Em linhas gerais, o método envolveu três etapas e foi realizado em linguagem R:

1. **Cálculo da densidade** efetiva de domicílios em cada setor censitário: o total de domicílios do setor foi dividido pela área ocupada em cada setor, de acordo com a área da classe “impermeabilização”, obtida da classificação das imagens de média resolução de 2000 e 2010. A hipótese implícita neste cálculo é a existência de densidade homogênea nas áreas ocupadas em cada setor censitário.
2. **Geração de grade regular de dados censitários:** para cada ponto da grade coincidente com a área ocupada conforme mapeamento de cobertura da terra, calculou-se o número de domicílios. Ou seja, a densidade efetiva de domicílios do setor correspondente ao ponto, foi multiplicada pela área associada a cada ponto (0,09 ha).
3. **Interpolação de dados censitários para bairros** a partir da grade de pontos de dados censitários, pela soma do número de domicílios associado a cada ponto que está inserido nos respectivos bairros.



**Fig. 9.** Limite dos bairros selecionados e dos setores censitários, em 2000 (à direita) e de 2010 (à esquerda).

### **2.3 Cálculo de métricas espaciais**

As métricas foram calculadas para os mapas de resolução de 30m, dos anos de 2000 e 2010, e de resolução de 1m, do ano de 2010, com a utilização do software Fragstats. Foram selecionadas métricas para a escala do bairro (métricas de paisagem), que quantificam a configuração da paisagem considerando as diferentes classes, e métricas das classes (Quadro 4). A paisagem foi aqui entendida como cada bairro, separadamente, e foi considerada a vizinhança de 4 células, ou seja, a vizinhança por aresta, não por ponto.

**Quadro 4.** Métricas selecionadas

Métrica	Forma de cálculo	Unidade	Observações	Intervalo	Utilização
Média das áreas das manchas	$AREA_{MN} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} * \frac{1}{100}$ <p>Onde, <math>a_{ij}</math> é a área da mancha <math>j</math>, classe <math>i</math> e <math>n_i</math> é o número de manchas da classe <math>i</math>.</p>	ha	Cada mancha, independentemente de seu tamanho é igualmente considerada no cálculo. Métrica de estrutura centrada nas manchas.	$AREA_{MN} > 0$	SCHWARZ (2010); TRATALOS <i>et al.</i> (2007); WENG <i>et al.</i> (2007)
Média das áreas das manchas ponderadas pela área	$AREA_{AM} = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \left( \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) * \frac{1}{100}}$ <p>Onde, <math>n_i</math> é o número de manchas da classe <math>i</math> e <math>a_{ij}</math> é a área da mancha <math>j</math>.</p>	ha	Média das áreas das manchas de cada classe do mapa, ponderada pela abundância proporcional da mancha (calculada a partir de sua própria área). Métrica de estrutura centrada na paisagem.	$AREA_{AM} > 0$	
Desvio padrão das áreas das manchas	$AREA_{SD} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n \left[ a_{ij} - \left( \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n_i} \right) \right]^2}{n_i}} * \frac{1}{100}$ <p>Onde, <math>n_i</math> é o número de manchas da classe <math>i</math> e <math>a_{ij}</math> é a área da mancha <math>j</math>.</p>	ha	A variação das áreas das manchas expressa na mesma unidade das áreas (ha). O desvio padrão calculado é o da população, não da amostra.	$AREA_{SD} > 0$	HEROLD <i>et al.</i> (2002)



Métrica	Forma de cálculo	Unidade	Observações	Intervalo	Utilização
Coefficiente de variação das áreas das manchas	$AREA_{CV} = \frac{AREA_{SD}}{AREA_{MN}}$ <p>Onde, <math>AREA_{SD}</math> é o desvio padrão do tamanho das manchas e <math>AREA_{MN}</math> é o tamanho médio das manchas.</p>	%	O coeficiente de variação, por ser expresso em porcentagem, permite comparar a variação das áreas das manchas entre diferentes classes ou paisagens.	$AREA_{CV} > 0$	
Percentual de área por classe	$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A}$ <p>Onde, <math>a_{ij}</math> é a área da mancha <math>j</math>, classe <math>i</math> e <math>A</math> é a área de todas as manchas.</p>	%	A cobertura da terra da classe $i$ em relação à área total do bairro.	$0 < PLAND < 100$	HEROLD <i>et al.</i> (2002); ALBERTI, (2005); DEBBAGE (2014); TRATALOS <i>et al.</i> (2007); WENG <i>et al.</i> (2007)
Densidade de manchas	$PD = \frac{n_i}{A} * 10.0000 * 100$ <p>Onde, <math>n_i</math> é o número de manchas da classe <math>i</math> e <math>A</math> é a área de todas as manchas.</p>	manchas/ 100ha		$PD \geq 0$	HEROLD <i>et al.</i> (2002)
Densidade de bordas	$ED = \sum_{k=1}^m \frac{e_{ik}}{A} * 10000$ <p>Onde, <math>e_{ik}</math> é extensão total das bordas das manchas da classe <math>i</math>, classe <math>i</math> e <math>A</math> é a área de todas as manchas.</p>	m/ha		$ED \geq 0$	HEROLD <i>et al.</i> (2002)

Métrica	Forma de cálculo	Unidade	Observações	Intervalo	Utilização
Dimensão fractal média	$FRAC_{MN} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{2 \log(0,25 p_{ij})}{\log a_{ij}} \right) \left( \frac{1}{A} \right) \right]$ <p>Onde, <math>p_{ij}</math> e <math>a_{ij}</math> são o perímetro e a área, respectivamente, da mancha <math>j</math>, classe <math>i</math>, <math>m</math> é o número de classes, <math>n</math> é o número de manchas da classe <math>m</math> e <math>A</math> é a área de todas as manchas.</p>	Adimensional	O valor da dimensão fractal é próximo de 1 quando o perímetro é semelhante ao de um círculo ou quadrado; quanto mais próximo de 2, o perímetro é mais convoluído.	$1 \leq FRAC \leq 2$	WENG <i>et al.</i> (2007)
Dimensão fractal ponderada pela área	$FRAC_{AM} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \left( \frac{2 \log(0,25 p_{ij})}{\log a_{ij}} \right) \left( \frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$ <p>Onde, <math>p_{ij}</math> e <math>a_{ij}</math> são o perímetro e a área, respectivamente, da mancha <math>j</math>, classe <math>i</math>, <math>m</math> é o número de classes, <math>n</math> é o número de manchas da classe <math>m</math> e <math>A</math> é a área de todas as manchas.</p>	Adimensional	Média da dimensão fractal de todas as manchas de uma determinada classe, ponderada pela área de cada mancha.	$1 \leq FRAC_{AM} \leq 2$	HEROLD <i>et al.</i> (2002); DEBBAGE (2014); HUANG <i>et al.</i> (2007)
Coefficiente de variação da dimensão fractal	$FRAC_{CV} = \frac{FRAC_{SD}}{FRAC_{MN}}$ <p>Onde, <math>FRAC_{SD}</math> é o desvio padrão da dimensão fractal e <math>FRAC_{MN}</math> é a dimensão fractal média.</p>	%	O coeficiente de variação, por ser expresso em porcentagem, permite comparar a variação das áreas das manchas entre diferentes classes ou paisagens.	$AREA_{CV} > 0$	

Métrica	Forma de cálculo	Unidade	Observações	Intervalo	Utilização
Índice de agregação	$\text{Given } G_i = \left( \frac{g_{ii}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right)$ $\text{CLUMPY} = \begin{cases} \frac{G_i - P_i}{1 - P_i} & \text{for } G_i \geq P_i \\ g & \\ \frac{G_i - P_i}{1 - P_i} & \text{for } G_i < P_i; P_i \geq .5 \\ \frac{P_i - G_i}{- P_i} & \text{for } G_i < P_i; P_i < .5 \end{cases}$	%	O índice é igual a 1 quando a classe considerada é desagregada ao máximo; é igual a 0 quando a distribuição é ramdomica; é igual a 1, quando as manchas são agregadas ao máximo (apenas uma mancha).	$-1 \leq \text{CLUMPY} \leq 1$	
Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo	$\text{ENN}_{MN} = \frac{\sum_{j=1}^n h_{ij}}{n_j}$ <p>Onde, <math>h_{ij}</math> é a distância euclidiana da mancha <math>ij</math> à mancha mais próxima da mesma classe <math>j</math> e <math>n_j</math> é o número de manchas da classe <math>j</math>.</p>	m	O índice é baseado na menor distância entre manchas vizinhas de mesma classe. O limite inferior do ENN é restringido pelo tamanho das células do mapeamento.	$\text{ENN} > 0$	
Índice de contágio	$\text{CONTAG} = \left[ 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[ P_i \left( \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right] \left[ \log P_i \left( \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \log m} \right] 100$ <p>Onde, <math>P_i</math> é a abundância proporcional das manchas da classe <math>i</math>, <math>g_{ik}</math> é o número de pixels da classe <math>k</math> adjacentes ao pixel da classe <math>i</math> e <math>m</math> é o número de classes.</p>	%	O índice expressa a probabilidade de que 2 pixels selecionados aleatoriamente pertençam às classes $i$ e $j$ .	$0 < \text{CONTAG} \leq 100$	HEROLD <i>et al.</i> (2002); ALBERTI, (2005); DEBBAGE (2014); WENG <i>et al.</i> (2007)

<b>Métrica</b>	<b>Forma de cálculo</b>	<b>Unidade</b>	<b>Observações</b>	<b>Intervalo</b>	<b>Utilização</b>
Índice de diversidade de Simpson	$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2$ <p>Onde, <math>P_i</math> é a abundância proporcional das manchas da classe.</p>	Adimensional		$0 \leq SIDI \leq 1$	LOWRY; LOWRY (2014)

### 3. Resultados

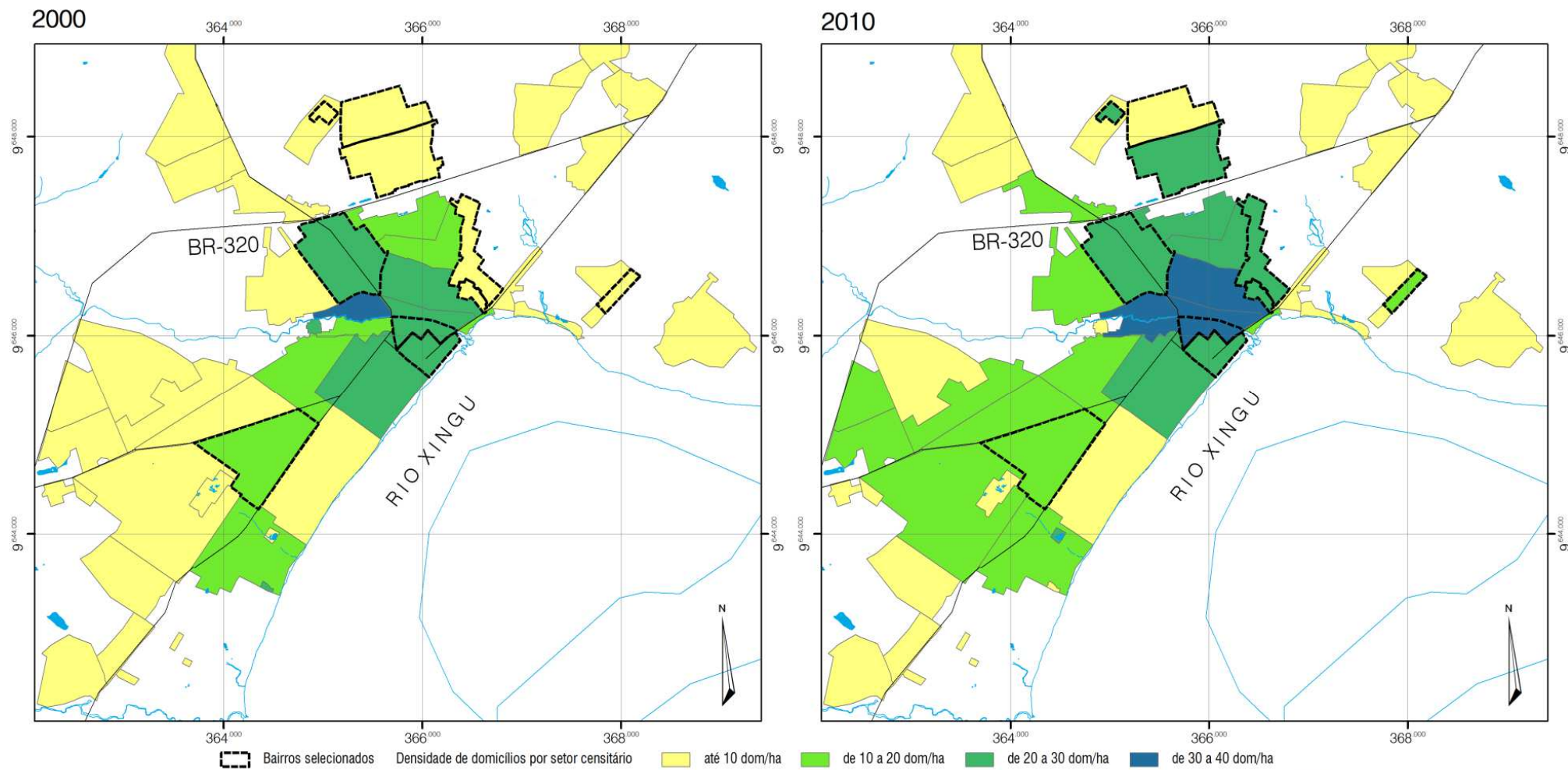
Para cada bairro selecionado, foi estimado o número de domicílios em 2000 e 2010 (Tab. 1 e Fig. 10) e foram calculadas as métricas dos mapas de cobertura da terra gerados a partir da ortofoto com 1 m de resolução espacial, do ano de 2010, e das imagens de média resolução espacial (30m), dos anos de 2000 e 2010, para a escala da paisagem – bairro (Tab. 2) e para as classes consideradas – vegetação e áreas construídas (Tab. 3 a 8).

**Tab. 1.** Área, número de domicílios e densidade de domicílios por bairros selecionados – 2000 e 2010

Bairro	Área (ha)	Área (m <sup>2</sup> )	Número de domicílios (dom)		Densidade de domicílios (dom/ha)	
			2000	2010	2000	2010
Açaizal	11,15	111.500	261	372	23,41	33,36
Alberto Soares	6,04	60.400	54	92	8,94	15,23
Brasília	52,97	529.700	1.208	1.328	22,81	25,07
Centro	15,32	153.200	345	333	22,52	21,74
Invasão dos Padres	4,57	45.700	0	113	0,00	24,73
Jardim França	34,47	344.700	0	31	0,00	0,90
Mutirão	45,52	455.200	277	1.206	6,09	26,49
Olarias	22,08	220.800	34	559	1,54	25,32
Premen	57,25	572.500	859	837	15,00	14,62

**Tab. 2.** Métricas de paisagem por resolução do mapa de cobertura da terra e por bairros selecionados –2000 e 2010

Bairro	Índice de Contágio (CONTAG)			Índice de diversidade de Simpson (SIDI)		
	1m 2010	30m 2010	30m 2000	1m 2010	30m 2010	30m 2000
Açaizal	24,07	4,08	5,41	0,46	0,50	0,50
Alberto Soares	21,14	16,19	28,07	0,46	0,41	0,29
Brasília	21,47	20,71	4,08	0,47	0,37	0,49
Centro	25,37	38,02	30,44	0,44	0,29	0,31
Invasão dos Padres	19,45	5,33	98,30	0,47	0,46	0,00
Jardim França	32,13	37,12	88,55	0,40	0,29	0,04
Mutirão	17,87	7,25	4,70	0,50	0,48	0,50
Olarias	18,26	18,03	28,66	0,50	0,41	0,32
Premen	24,30	25,05	17,43	0,45	0,36	0,40



**Fig. 10.** Densidade dos domicílios por bairros, em 2000 (à direita) e de 2010 (à esquerda).

**Tab. 3.** Métricas da classe “vegetação” do mapa de cobertura da terra de resolução de 1m, por bairros selecionados – 2010

Bairro	Percentual da classe (PLAND) (%)	Número de manchas (NP)	Densidade de manchas (PD) (un/ 100ha)	Densidade de bordas (ED) (m/m2)	Área média das manchas (AREA_MN) (m <sup>2</sup> )	Área média das manchas ponderada pela área (AREA_AM) (m <sup>2</sup> )	Desvio padrão da área das manchas (AREA_SD) (m <sup>2</sup> )	Coefficiente de variação da área das manchas (AREA_CV) (%)
Açaizal	36,58	1.149	10.309,46	2.753,50	35	4.373	392	1.105,66
Alberto Soares	36,15	674	11.171,70	3.264,49	32	2.819	300	927,97
Brasília	37,05	5.337	10.079,78	3.150,72	37	1.671	245	666,78
Centro	32,04	1.788	11.675,90	2.952,73	27	1.174	177	646,45
Invasão dos Padres	38,10	505	11.056,13	3.399,38	34	806	163	473,28
Jardim França	72,32	1.051	3.050,18	2.388,51	237	33.547	2.810	1.185,31
Mutirão	45,54	3.428	7.533,37	3.320,97	60	7.980	692	1.144,61
Olarias	50,20	1.620	7.339,32	3.187,71	68	6.966	687	1.004,19
Premen	34,45	6.138	10.724,96	2.896,61	32	3.644	341	1.060,37

**Tab. 3.** Métricas da classe “vegetação” do mapa de cobertura da terra de resolução de 1m, por bairros selecionados – 2010 (cont.)

Bairro	Dimensão fractal média (FRAC_MN)	Dimensão fractal ponderada pela área (FRAC_AM)	Desvio padrão da dimensão fractal (FRAC_SD)	Coefficiente de variação da dimensão fractal (FRAC_CV) (%)	Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN_MN) (m)	Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo ponderada pela área (ENN_AM) (m)	Coefficiente de variação da distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN_CV) (%)	Índice de agregação (CLUMPY)
Açaizal	1,21	1,39	0,15	12,27	1,83	1,52	12,11	0,71
Alberto Soares	1,20	1,43	0,16	13,07	1,68	1,52	13,43	0,65
Brasília	1,19	1,42	0,16	13,04	1,73	1,50	13,40	0,66
Centro	1,19	1,37	0,16	13,11	1,77	1,54	13,08	0,66
Invasão dos Padres	1,21	1,44	0,15	12,47	1,71	1,51	12,74	0,63
Jardim França	1,17	1,47	0,15	12,92	1,70	1,43	13,47	0,70
Mutirão	1,21	1,47	0,16	13,15	1,74	1,46	13,55	0,66
Olarias	1,19	1,47	0,15	12,91	1,72	1,46	13,31	0,68
Premen	1,19	1,40	0,16	13,05	1,82	1,51	12,80	0,68

**Tab. 4.** Métricas da classe “áreas construídas” do mapa de cobertura da terra de resolução de 1m, por bairros selecionados – 2010

Bairro	Percentual da classe (PLAND) (%)	Número de manchas (NP)	Densidade de manchas (PD) (un/ 100ha)	Densidade de bordas (ED) (m/m2)	Área média das manchas (AREA_MN) (m <sup>2</sup> )	Área média das manchas ponderada pela área (AREA_AM) (m <sup>2</sup> )	Desvio padrão da área das manchas (AREA_SD) (m <sup>2</sup> )	Coefficiente de variação da área das manchas (AREA_CV) (%)
Açaizal	63,42	490	4.396,55	2.753,50	144	63.703	3.028	2.099,14
Alberto Soares	63,85	383	6.348,31	3.264,49	101	27.663	1.665	1.655,42
Brasília	62,95	3.227	6.094,71	3.150,72	103	275.468	5.333	5.163,32
Centro	67,96	756	4.936,79	2.952,73	138	95.689	3.627	2.634,63
Invasão dos Padres	61,90	367	8.034,85	3.399,38	77	21.578	1.287	1.670,60
Jardim França	27,68	3.379	9.806,43	2.388,51	28	22.957	805	2.849,85
Mutirão	54,46	3.257	7.157,58	3.320,97	76	155.698	3.441	4.522,42
Olarias	49,80	1.926	8.725,63	3.187,71	57	66.493	1.947	3.411,78
Premen	65,55	2.726	4.763,15	2.896,61	138	317.614	6.610	4.803,08

**Tab. 4.** Métricas da classe “áreas construídas” do mapa de cobertura da terra de resolução de 1m, por bairros selecionados – 2010 (cont.)

Bairro	Dimensão fractal média (FRAC_MN)	Dimensão fractal ponderada pela área (FRAC_AM)	Desvio padrão da dimensão fractal (FRAC_SD)	Coefficiente de variação da dimensão fractal (FRAC_CV) (%)	Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN_MN) (m)	Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo ponderada pela área (ENN_AM) (m)	Coefficiente de variação da distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN_CV) (%)	Índice de agregação (CLUMPY)
Açaizal	1,21	1,39	0,15	12,27	1,83	1,52	12,11	0,71
Alberto Soares	1,20	1,43	0,16	13,07	1,68	1,52	13,43	0,65
Brasília	1,19	1,42	0,16	13,04	1,73	1,50	13,40	0,66
Centro	1,19	1,37	0,16	13,11	1,77	1,54	13,08	0,66
Invasão dos Padres	1,21	1,44	0,15	12,47	1,71	1,51	12,74	0,63
Jardim França	1,17	1,47	0,15	12,92	1,70	1,43	13,47	0,70
Mutirão	1,21	1,47	0,16	13,15	1,74	1,46	13,55	0,66
Olarias	1,19	1,47	0,15	12,91	1,72	1,46	13,31	0,68
Premen	1,19	1,40	0,16	13,05	1,82	1,51	12,80	0,68



**Tab. 5.** Métricas da classe “vegetação” do mapa de cobertura da terra de resolução de 30m, por bairros selecionados – 2010

Bairro	Percentual da classe (PLAND) (%)	Número de manchas (NP)	Densidade de manchas (PD) (un/ 100ha)	Densidade de bordas (ED) (m/m2)	Área média das manchas (AREA_MN) (ha)	Área média das manchas ponderada pela área (AREA_AM) (ha)	Desvio padrão da área das manchas (AREA_SD) (ha)	Coefficiente de variação da área das manchas (AREA_CV) (%)
Açaizal	47,58	7	62,72	228,49	0,76	1,60	0,80	105,52
Alberto Soares	29,23	7	119,66	200,00	0,24	0,57	0,28	116,03
Brasília	24,01	38	72,42	177,82	0,33	0,73	0,37	110,19
Centro	17,65	10	65,36	115,69	0,27	0,72	0,35	129,10
Invasão dos Padres	36,73	7	158,73	224,49	0,23	0,36	0,17	74,54
Jardim França	82,29	6	17,36	118,92	4,74	25,99	10,04	211,75
Mutirão	39,60	40	88,01	212,54	0,45	3,13	1,10	244,13
Olarias	68,80	5	22,22	169,33	3,10	14,42	5,92	191,28
Premen	23,58	30	52,41	157,76	0,45	2,54	0,97	215,47

**Tab. 5.** Métricas da classe “vegetação” do mapa de cobertura da terra de resolução de 30m, por bairros selecionados – 2010 (cont.)

Bairro	Dimensão fractal média (FRAC_MN)	Dimensão fractal ponderada pela área (FRAC_AM)	Desvio padrão da dimensão fractal (FRAC_SD)	Coefficiente de variação da dimensão fractal (FRAC_CV) (%)	Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN_MN) (m)	Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo ponderada pela área (ENN_AM) (m)	Coefficiente de variação da distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN_CV) (%)	Índice de agregação (CLUMPY)
Açaizal	1,03	1,06	0,04	3,57	44,94	43,62	0,52	0,46
Alberto Soares	1,02	1,04	0,02	2,36	55,53	47,25	0,36	0,32
Brasília	1,03	1,06	0,03	3,23	53,10	49,50	0,33	0,30
Centro	1,02	1,06	0,03	2,96	77,99	74,50	0,25	0,38
Invasão dos Padres	1,03	1,05	0,03	2,96	57,45	55,10	0,24	0,06
Jardim França	1,05	1,15	0,05	5,07	45,36	42,76	0,52	0,31
Mutirão	1,03	1,11	0,04	4,16	47,80	45,94	0,34	0,23
Olarias	1,05	1,23	0,09	8,68	45,94	42,53	0,49	0,11
Premen	1,03	1,11	0,04	4,07	67,07	54,90	0,28	0,40

**Tab. 6.** Métricas da classe “áreas construídas” do mapa de cobertura da terra de resolução de 30m, por bairros selecionados – 2010

Bairro	Percentual da classe (PLAND) (%)	Número de manchas (NP)	Densidade de manchas (PD) (un/ 100ha)	Densidade de bordas (ED) (m/m2)	Área média das manchas (AREA_MN) (ha)	Área média das manchas ponderada pela área (AREA_AM) (ha)	Desvio padrão da área das manchas (AREA_SD) (ha)	Coefficiente de variação da área das manchas (AREA_CV) (%)
Açaizal	52,42	14	125,45	220,43	0,42	1,37	0,63	150,90
Alberto Soares	70,77	4	68,38	189,74	1,04	2,78	1,34	129,78
Brasília	72,90	8	15,25	185,82	4,78	36,13	12,24	256,04
Centro	82,35	2	13,07	111,76	6,30	12,42	6,21	98,57
Invasão dos Padres	63,27	2	45,35	278,91	1,40	1,40	0,05	3,23
Jardim França	17,71	15	43,40	125,00	0,41	1,15	0,55	134,99
Mutirão	60,40	12	26,40	211,22	2,29	19,85	6,34	277,10
Olarias	27,20	18	80,00	169,33	0,34	0,91	0,44	128,94
Premen	76,42	11	19,22	157,76	3,98	39,05	11,81	296,98

**Tab. 6.** Métricas da classe “áreas construídas” do mapa de cobertura da terra de resolução de 30m, por bairros selecionados – 2010 (cont.)

Bairro	Dimensão fractal média (FRAC_MN)	Dimensão fractal ponderada pela área (FRAC_AM)	Desvio padrão da dimensão fractal (FRAC_SD)	Coefficiente de variação da dimensão fractal (FRAC_CV) (%)	Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN_MN) (m)	Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo ponderada pela área (ENN_AM) (m)	Coefficiente de variação da distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN_CV) (%)	Índice de agregação (CLUMPY)
Açaizal	1,03	1,10	0,05	4,66	42,43	42,43	0,33	0,00
Alberto Soares	1,05	1,11	0,06	5,23	48,59	46,18	0,48	0,08
Brasília	1,04	1,23	0,08	7,32	48,59	42,66	0,42	0,24
Centro	1,07	1,15	0,07	6,86	42,43	42,43	0,83	0,25
Invasão dos Padres	1,11	1,11	0,02	1,77	42,43	42,43	0,09	0,18
Jardim França	1,04	1,10	0,05	4,58	56,66	47,85	0,32	0,39
Mutirão	1,03	1,19	0,06	6,07	43,89	42,48	0,52	0,41
Olarias	1,02	1,05	0,03	2,90	56,27	53,60	0,34	0,35
Premen	1,04	1,21	0,07	6,37	44,02	42,46	0,51	0,25

**Tab. 7.** Métricas da classe “vegetação” do mapa de cobertura da terra de resolução de 30m, por bairros selecionados – 2000

Bairro	Percentual da classe (PLAND) (%)	Número de manchas (NP)	Densidade de manchas (PD) (un/ 100ha)	Densidade de bordas (ED) (m/m2)	Área média das manchas (AREA_MN) (ha)	Área média das manchas ponderada pela área (AREA_AM) (ha)	Desvio padrão da área das manchas (AREA_SD) (ha)	Coefficiente de variação da área das manchas (AREA_CV) (%)
Açaizal	52,00	6	53,33	210,67	0,98	2,93	1,38	141,65
Alberto Soares	17,91	4	66,34	84,58	0,27	0,63	0,31	115,47
Brasília	42,33	29	54,34	239,46	0,78	3,81	1,54	197,16
Centro	19,41	14	91,50	152,94	0,21	0,34	0,17	77,91
Invasão dos Padres	100,00	1	14,43	4,33	6,93	6,93	0,00	0,00
Jardim França	98,15	2	5,88	13,23	16,70	33,21	16,61	99,46
Mutirão	52,36	36	72,73	209,70	0,72	5,92	1,94	268,77
Olarias	79,76	7	31,49	165,99	2,53	5,41	2,70	106,61
Premen	27,54	46	79,99	198,75	0,34	0,91	0,44	128,19

**Tab. 7.** Métricas da classe “vegetação” do mapa de cobertura da terra de resolução de 30m, por bairros selecionados – 2000 (cont.)

Bairro	Dimensão fractal média (FRAC_MN)	Dimensão fractal ponderada pela área (FRAC_AM)	Desvio padrão da dimensão fractal (FRAC_SD)	Coefficiente de variação da dimensão fractal (FRAC_CV) (%)	Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN_MN) (m)	Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo ponderada pela área (ENN_AM) (m)	Coefficiente de variação da distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN_CV) (%)	Índice de agregação (CLUMPY)
Açaizal	1,04	1,10	0,05	4,35	45,36	42,70	0,57	0,47
Alberto Soares	1,02	1,05	0,03	2,72	83,06	55,97	0,26	0,50
Brasília	1,05	1,12	0,05	4,67	50,93	45,65	0,39	0,31
Centro	1,02	1,04	0,03	2,57	59,33	53,33	0,25	0,22
Invasão dos Padres	1,07	1,07	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA
Jardim França	1,03	1,06	0,03	2,87	42,43	42,43	0,98	-0,46
Mutirão	1,03	1,13	0,05	4,49	44,58	42,84	0,43	0,28
Olarias	1,07	1,10	0,04	3,90	44,94	46,71	0,53	-0,02
Premen	1,03	1,06	0,03	3,37	52,60	48,28	0,36	0,29

**Tab. 8.** Métricas da classe “áreas construídas” do mapa de cobertura da terra de resolução de 30m, por bairros selecionados – 2000

Bairro	Percentual da classe (PLAND) (%)	Número de manchas (NP)	Densidade de manchas (PD) (un/ 100ha)	Densidade de bordas (ED) (m/m2)	Área média das manchas (AREA_MN) (m)	Área média das manchas ponderada pela área (AREA_AM) (m)	Desvio padrão da área das manchas (AREA_SD) (m)	Coefficiente de variação da área das manchas (AREA_CV) (%)
Açaizal	48,00	8	71,11	202,67	0,68	1,40	0,70	103,71
Alberto Soares	82,09	3	49,75	218,91	1,65	4,27	2,08	125,99
Brasília	57,00	25	46,84	237,21	1,22	17,09	4,40	361,23
Centro	80,59	1	6,54	160,78	12,33	12,33	0,00	0,00
Invasão dos Padres	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Jardim França	1,85	3	8,82	17,64	0,21	0,24	0,08	40,41
Mutirão	47,64	18	36,36	214,55	1,31	13,78	4,04	308,54
Olarias	20,24	15	67,48	144,40	0,30	0,52	0,26	86,02
Premen	72,46	9	15,65	196,66	4,63	39,19	12,65	273,23

**Tab. 8.** Métricas da classe “áreas construídas” do mapa de cobertura da terra de resolução de 30m, por bairros selecionados – 2000 (cont.)

Bairro	Dimensão fractal média (FRAC_MN)	Dimensão fractal ponderada pela área (FRAC_AM)	Desvio padrão da dimensão fractal (FRAC_SD)	Coefficiente de variação da dimensão fractal (FRAC_CV) (%)	Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN_MN) (m)	Média da distância euclidiana ao vizinho mais próximo ponderada pela área (ENN_AM) (m)	Coefficiente de variação da distância euclidiana ao vizinho mais próximo (ENN_CV) (%)	Índice de agregação (CLUMPY)
--------	----------------------------------	--	---	--	--	--	---	------------------------------

Açaizal	1,05	1,09	0,05	4,29	51,21	50,92	0,38	0,26
Alberto Soares	1,04	1,08	0,03	3,31	50,65	65,29	0,51	0,18
Brasília	1,04	1,20	0,06	5,71	47,79	43,19	0,42	0,22
Centro	1,17	1,17	0,00	0,00	NA	NA	NA	0,20
Invasão dos Padres	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Jardim França	1,02	1,03	0,02	1,68	90,99	73,28	0,14	0,49
Mutirão	1,04	1,19	0,06	5,67	45,36	42,83	0,41	0,41
Olarias	1,03	1,06	0,03	3,21	66,49	60,48	0,26	0,31
Premen	1,04	1,25	0,08	7,48	42,43	42,43	0,44	0,19

#### 4. Discussão

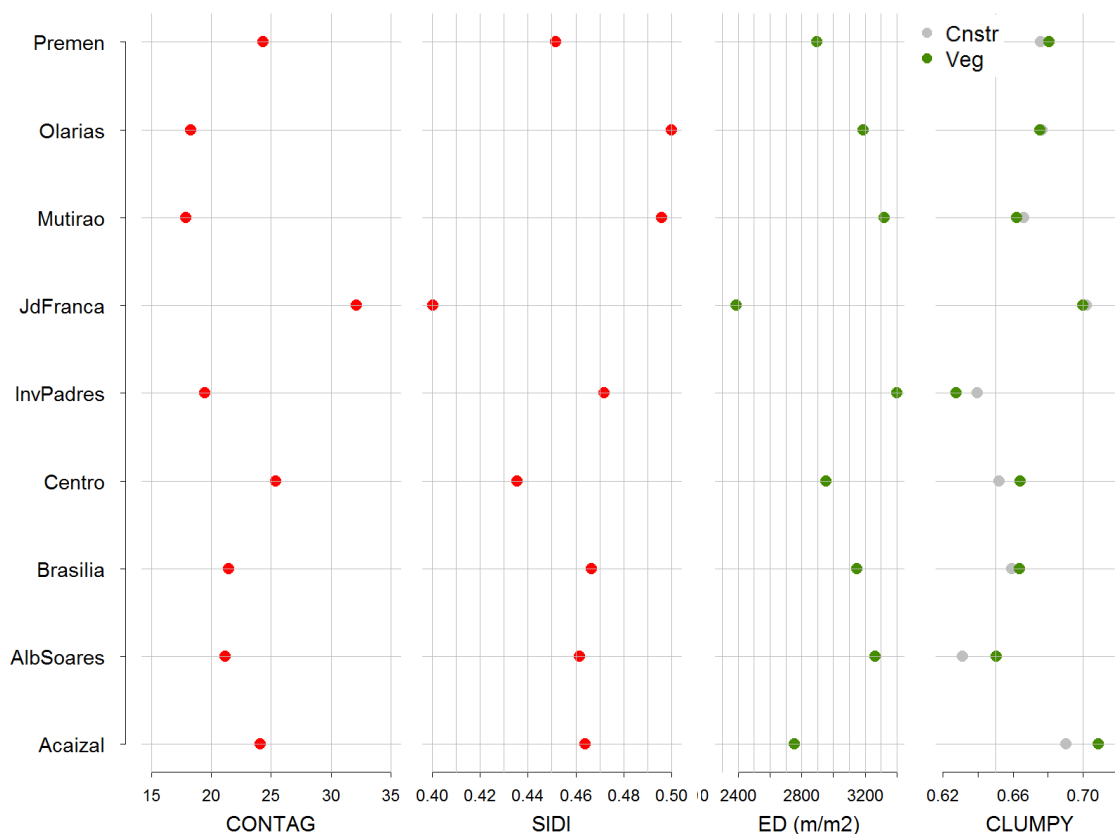
##### *Métricas com base no mapa de cobertura da terra de resolução de 1m*

O índice de contágio (CONTAG) mede o grau de fragmentação de cada paisagem, sendo dependente da dominância das classes, da área média de manchas de cada classe e da configuração espacial das manchas. Paisagens dominadas por um grande número de manchas de pequena área apresentam CONTAG mais baixo, enquanto que paisagens com manchas relativamente grandes e contíguas, apresentam CONTAG alto. Os resultados mostraram que esse índice é capaz de diferenciar os bairros selecionados em Altamira (Fig. 11). O Jardim França, ainda em processo de ocupação, é o bairro que apresentou o maior valor de CONTAG, decorrente da predominância de grandes manchas de vegetação nas áreas ainda não ocupadas. Em seguida, estiveram os bairros centrais – Centro, Açaizal e Premem – devido ao equilíbrio entre as manchas das duas classes consideradas (vegetação e áreas construídas). Os demais bairros apresentaram CONTAG mais baixo, refletindo uma maior fragmentação – pequenas áreas entremeadas de cada classe.

O índice de diversidade de Simpson's (SIDI) mede a probabilidade de dois pixels contíguos pertencerem a classes distintas: quanto maior o SIDI, maior essa probabilidade. Considerando duas classes, o índice de diversidade de Simpson's apresentou o comportamento inverso do índice de contágio, ou seja, quanto menor o valor do CONTAG, maior a probabilidade de pixels de diferentes classes. Embora a interpretação do SIDI seja intuitiva e direta, considerou-se que o CONTAG tem uma melhor capacidade de diferenciar a paisagem urbana. Os bairros Açaizal e Alberto Soares apresentaram valor muito semelhante para o SIDI, enquanto que o valor para o CONTAG foi distinto (Fig. 11). A diferença entre os dois bairros está na configuração das maiores manchas de vegetação: no bairro de Açaizal estão concentradas nos interiores das quadras, e no Alberto Soares, onde existe apenas uma única grande mancha de vegetação, correspondente a um lote não ocupado conectado ao fundo dos lotes maiores.

A densidade de borda (ED) relaciona a soma das bordas de todas as manchas de determinada classe com a área total da paisagem. Na situação de apenas duas classes, a métrica é igual para ambas. Sua interpretação leva a conclusões semelhantes à do SIDI: quanto maior o índice, maior a fragmentação, pois maior a relação entre borda e área (Fig. 11).

O índice de agregação (CLUMPY) tem a mesma interpretação do índice de contágio: quanto maior seu valor, maior a agregação das manchas. Entretanto, este índice é calculado separadamente para cada classe. (Fig. 11)



**Fig. 11.** Resultados por bairros para as métricas de: índice de contágio (CONTAG), índice de diversidade de Simpson (SIDI) e índice de agregação (CLUMPY).

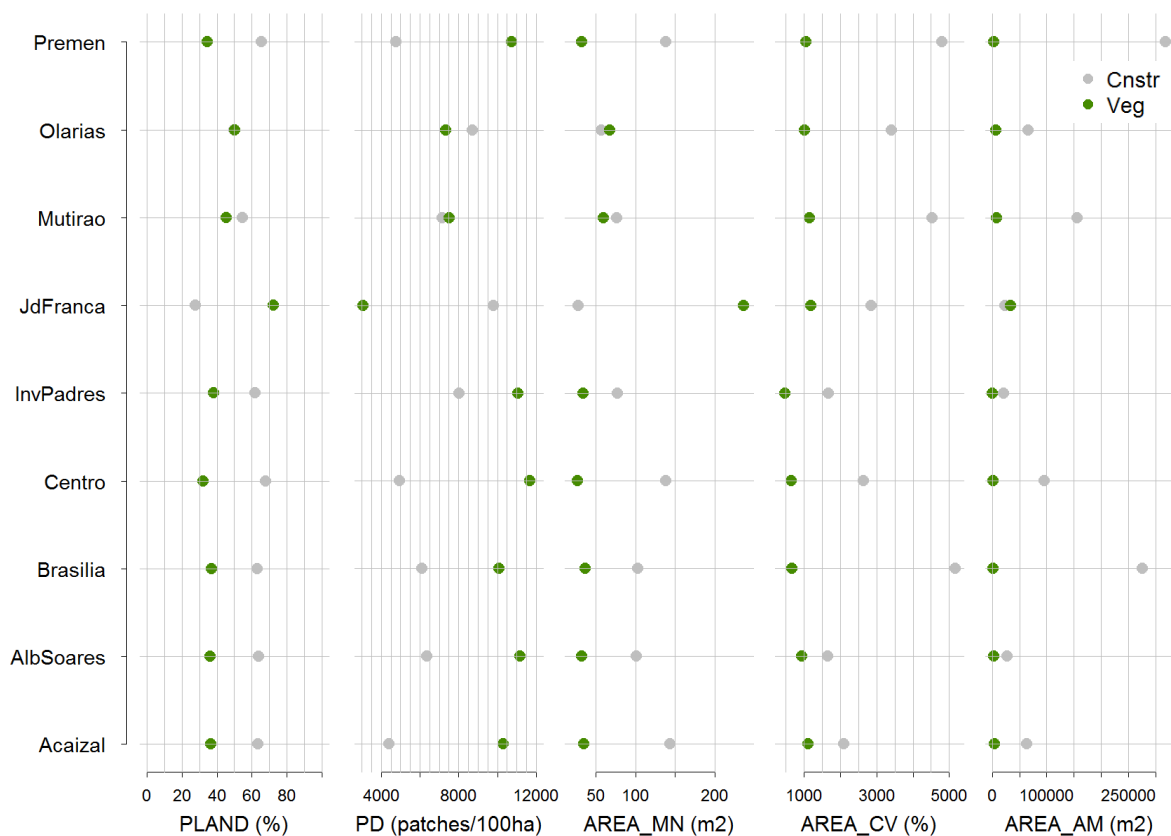
O percentual de cada classe na paisagem (PLAND) é uma métrica básica da participação de cada classe na paisagem (bairro) e, por se tratar de um percentual, pode ser utilizada para comparar paisagens de tamanhos distintos. O maior

percentual de áreas construídas denota, diretamente, a maior ocupação do bairro. O Centro é o bairro mais ocupado (68%) enquanto que o Jardim França é o menos ocupado (28%), seguido do Olarias (50%) e Mutirão (55%); o restante dos bairros têm ocupação entre 60% e 65% (Tab. 4).

O número de manchas (NP) refere-se ao número absoluto de manchas em cada paisagem. Para a comparação entre paisagens de diferentes tamanho, a densidade de manchas (PD) é mais apropriada, pois considera o número de manchas por unidade de área constante (100ha). Entretanto, a densidade de manchas é uma informação parcial a respeito da estrutura da paisagem: é necessário considerar também uma medida da área das manchas.

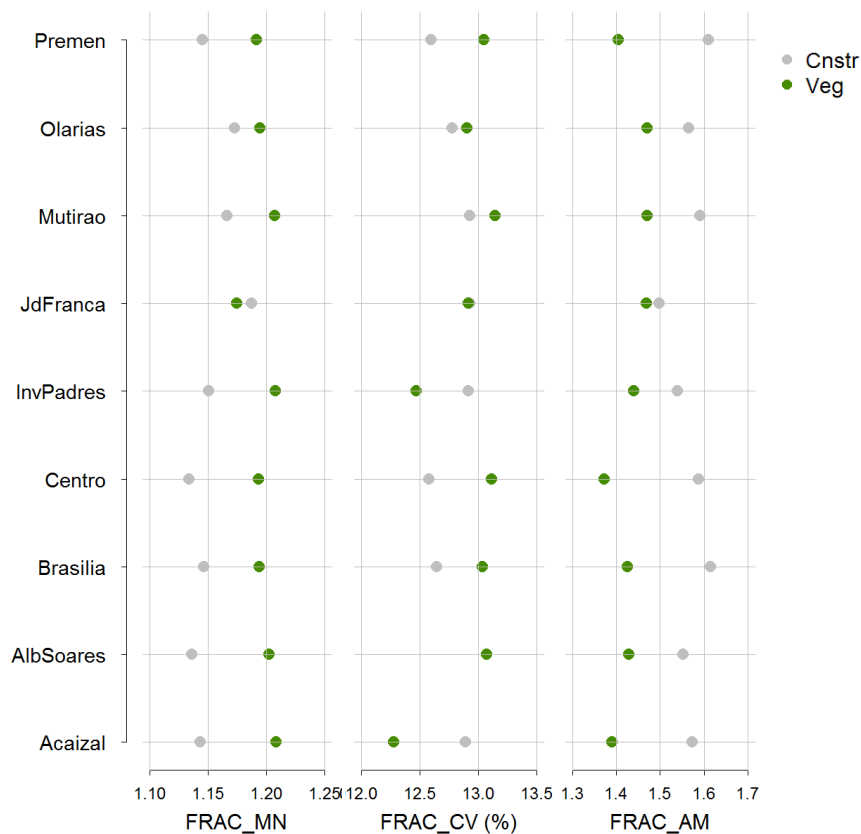
O mapeamento realizado, sem distinguir pavimentação de edificações, acaba por produzir algumas manchas grandes em área, resultado da contiguidade desses dois alvos. Dessa maneira, a média das áreas ponderada (AREA\_AM) é distorcida pela presença dessas grandes manchas. Das métricas de variação, o coeficiente de variação (AREA\_CV) é mais adequado, pois permite a comparação entre bairros com áreas médias de manchas distintas. A análise conjunta de PLAND, PD, AREA\_MN, AREA\_AM e AREA\_CV permite captar a estrutura dos bairros e diferenciá-los (Fig. 12).





**Fig. 12.** Resultados por bairros para as métricas de: percentual de classe (PLAND), densidade de manchas (PD), área média das manchas (AREA\_MN), coeficiente de variação das manchas (AREA\_CV) e área média ponderada pela área (AREA\_AM).

A dimensão fractal relaciona o perímetro da mancha com sua área. Trata-se de uma medida de complexidade da forma, quanto mais próximo de 1, mais complexa é a forma da mancha. A média das dimensões fractais das manchas, a média ponderada pela área e seu coeficiente de variação permitem diferenciar os bairros de Altamira (Fig. 13).



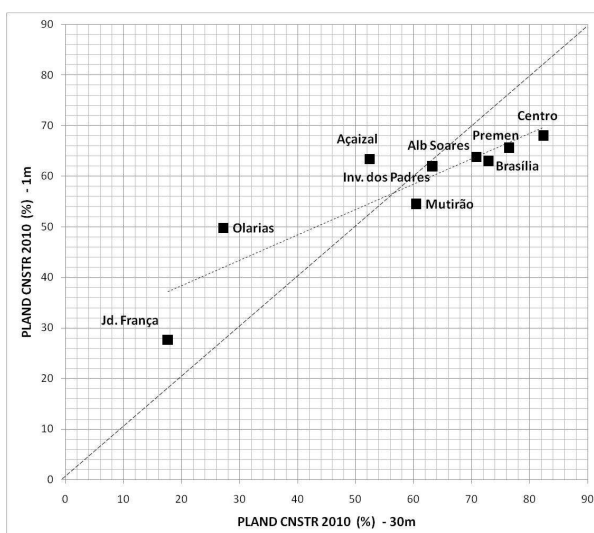
**Fig. 13.** Resultados por bairros para as métricas de: índice fractal médio (FRAC\_MN) e coeficiente de variação do índice fractal (FRAC\_CV).

A distância euclidiana ao vizinho mais próximo é uma medida que poderia revelar a distância entre as edificações. Entretanto, com a limitação do mapeamento em apenas duas classes, esse índice perde significado.

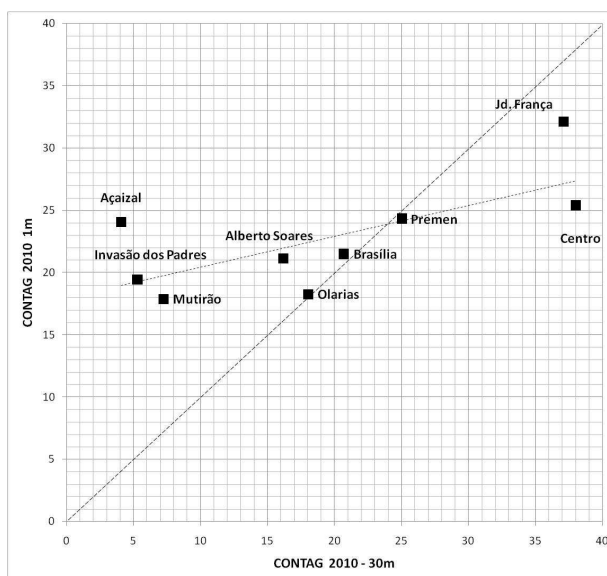
Em conclusão, as métricas que melhor caracterizam e diferenciam os bairros de Altamira são: índice de contágio (CONTAG), índice de agregação (CLUMPY), percentual da classe (PLAND), densidade de manchas (PD), área média das manchas e coeficiente de variação (AREA\_MN e AREA\_CV) e a dimensão fractal (FRAC\_MN, FRAC\_AM e FRAC\_CV).

### **Comparação das métricas calculadas com base no mapa de cobertura de 1m e de 30m de resolução espacial**

Na comparação entre as métricas calculadas a partir de mapeamentos com resolução de 1m e 30m, para a mesma data (2010), observa-se a influência da área dos bairros: quando esta é pequena, há maior variação entre as escalas; para áreas suficientemente grandes, métricas como o índice de contágio (CONTAG) e o percentual de classe (PLAND) apresentam comportamento similar (Tab. 1 e Fig. 14 e 15).



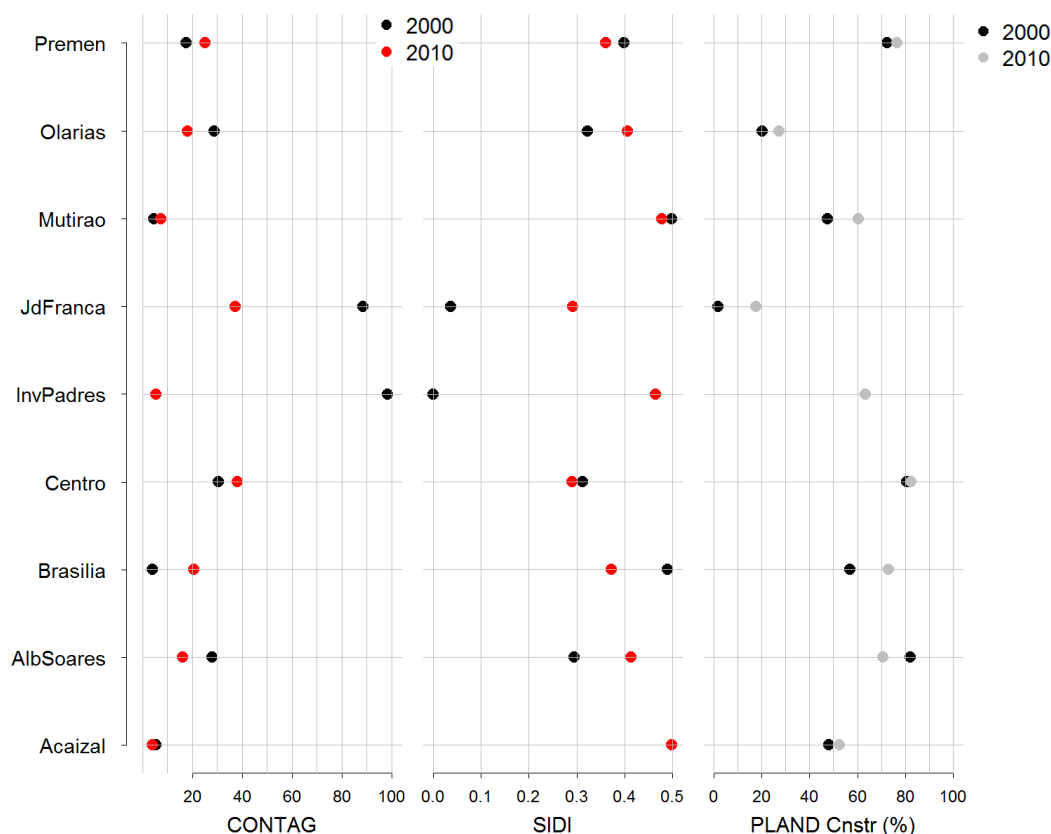
**Fig. 14.** Relação entre o percentual de área construída (PLAND) calculado nas resoluções 1m e 30m, para o ano de 2010.



**Fig. 15.** Relação entre o índice de contágio (CONTAG) calculado nas resoluções 1m e 30m, para o ano de 2010.

### ***Transformações nos bairros selecionados de Altamira entre 2000 e 2010***

Com as ressalvas feitas na análise das métricas na resolução de 1m, as transformações em Altamira em 2000 e 2010 podem ser caracterizadas com base nas métricas calculadas a partir do mapeamento com base em imagens de média resolução (30m), conforme é exemplificado a seguir (Fig. 16).

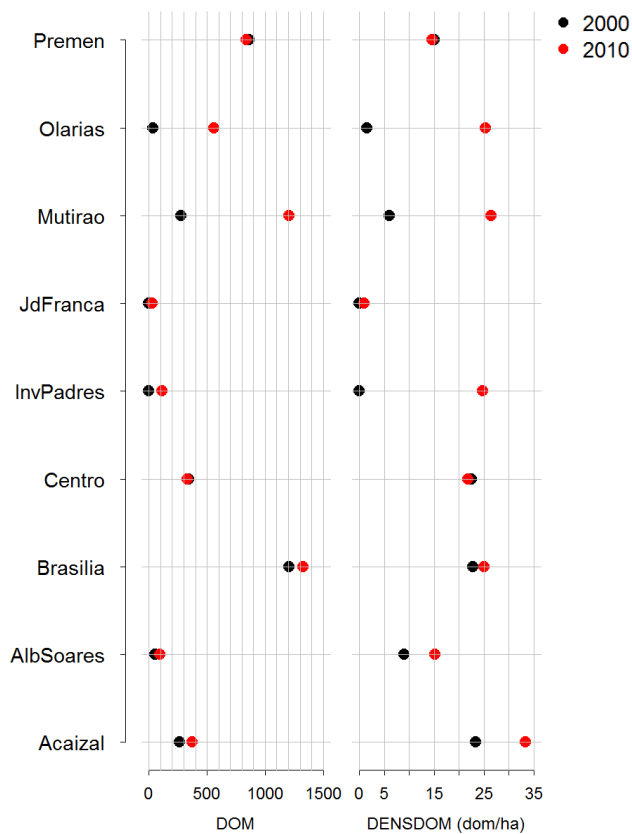


**Fig. 16.** Resultados por bairros para as métricas de: índice de contágio (CONTAG), índice de diversidade de Simpson e percentual de áreas construídas (PLAND), para 2000 e 2010, com base em mapeamento com resolução espacial de 30m.

### ***Dados de domicílios***

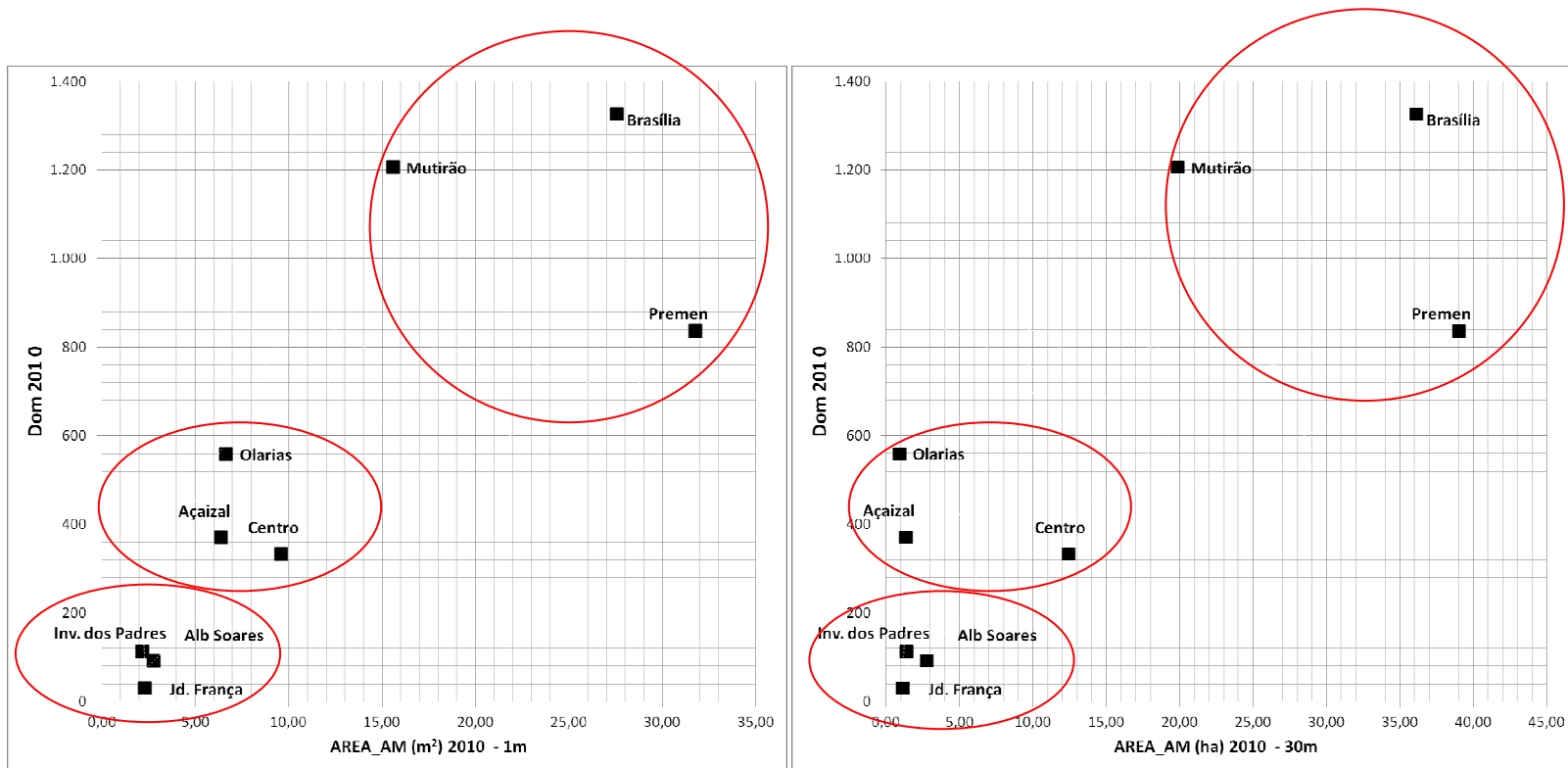
Observou-se o aumento do número de domicílios em todos os bairros, à exceção dos bairros mais centrais, Centro e Premen (Tab. 1 e Fig. e 17). Isso indica que poder estar acontecendo a substituição do uso residencial pelo de comércio e

serviços na área central de Altamira. Entretanto, é a densidade de domicílios permite a comparação dos bairros (Tab. 1 e Figs. 10 e 17).



**Fig. 17.** Número de domicílios e densidade de domicílios em 2000 e 2010, por bairros.

A análise conjunta das métricas com os dados de domicílios torna possível diferenciar claramente os bairros (Fig. 18).



**Fig. 18.** Área média ponderada pela área e número de domicílios.

#### **4. Conclusões**

Como conclusão, observa-se que:

- As métricas exploradas até agora mostram as diferenças da forma urbana, em termos das manchas de cobertura do solo. Essas manchas não correspondem à área das edificações.
- As métricas de paisagem usualmente encontradas na literatura são voltadas aos problemas ecológicos. As métricas voltadas especificamente a problemas urbanos são adaptações dessas métricas.
- A mudança de resolução da imagem altera as métricas – as transformações continuam perceptíveis, mas outras inferências são prejudicadas.
- Ainda que com ressalvas, as métricas captaram e sintetizaram em índices as transformações na cobertura do solo na resolução de 30 m.
- Somente as métricas não permitem a diferenciação da forma urbana – é necessária a conjugação com dados de população.
- A análise deve ser feita, não somente a partir do valor de uma única métrica, mas em conjunto com outras métricas e dados.

## 5. Referências

ALBERTI, M. The effects of urban patterns on ecosystem function. **International regional science review**, v. 28, n. April, p. 168–192, 2005.

DEBBAGE, N. A. **Quantifying urban form via spatial metrics and its climatic implications**. 2014. University of Georgia, Athens. Thesis (Master of Science). 2014.

FINA, S.; SIEDENTOP, S. Urban sprawl in europe – identifying the challenge. In: REAL CORP 008. 2008, Vienna. **Anais...** Vienna: [S.N.], p. 489–501, 2008.

HEROLD, M.; HEMPHILL, J.; DIETZEL, C.; CLARKE, K. C. Remote sensing derived mapping to support urban growth theory. **Joint symposia urban - urs 2005**, Chapter 10. Remote Sensing and Urban Growth Theory, n. September 2015, p. 7, 2005.

HEROLD, M.; SCEPAN, J.; CLARKE, K. C. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. **Environment and planning a**, v. 34, p. 1443–1458, 2002.

HIRYE, M. C. DE M. **Análise da expansão urbana com utilização do modelo linear de mistura espectral: estudo de caso em altamira (PA) entre 2000 e 2010**. 2014. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2014.

HUANG, J.; LU, X. X.; SELLERS, J. M. A global comparative analysis of urban form: applying spatial metrics and remote sensing. **Landscape and urban planning**, v. 82, p. 184–197, 2007.

INICIATIVA CIDADES EMERGENTES E SUSTENTÁVEIS (ICES). **Anexo 2 - Indicadores da Iniciativa Cidades Emergentes e Sustentáveis - Guia metodológico**. [S.l: s.n.] , 2013.

(LEME ENGENHARIA). **Aproveitamento hidrelétrico (ahe) belo monte - estudo de impacto ambiental (eia)**. Disponível em: <<http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidreletricas/BeloMonte/EIA/>>. Acesso em: 30 jul. 2015.

LI, X.; YEH, A. G.-O. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and gis. **Landscape and urban planning**, v. 69, n. 4, p. 335–354, out. 2004.

LOWRY, J. H.; LOWRY, M. B. Comparing spatial metrics that quantify urban form. **Computers, environment and urban systems**, v. 44, p. 59–67, mar. 2014.



MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure**. Colorado: USDA Forest Service General, 1994.

PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS. **Metas de Sustentabilidade para os Municípios Brasileiros (Indicadores e Referências)**. São Paulo: [S.N.], 2012.

SCHNEIDER, A.; WOODCOCK, C. E. Compact, dispersed, fragmented, extensive? a comparison of urban growth in twenty-five global cities using remotely sensed data, pattern metrics and census information. **Urban studies**, v. 45, n. March, p. 659–692, 2008.

SCHWARZ, N. Urban form revisited-selecting indicators for characterising european cities. **Landscape and urban planning**, v. 96, n. 1, p. 29–47, 2010.

TRATALOS, J.; FULLER, R. A.; WARREN, P. H.; DAVIES, R. G.; GASTON, K. J. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. **Landscape and urban planning**, v. 83, p. 308–317, 2007.

UMBUZEIRO, U. M. **Altamira e sua história**. 2a. ed. Altamira: Grupo Cultural, 1988.

UMBUZEIRO, U. M. **Altamira e sua história**. 4a. ed. Altamira: Grupo Cultural, 2012.

WENG, Q.; LIU, H.; LU, D. Assessing the effects of land use and land cover patterns on thermal conditions using landscape metrics in city of indianapolis, united states. **Urban ecosystems**, v. 10, p. 203–219, 2007.

WIENS, J. A. Population responses to patchy environments. **Annual review of ecology and systematics**, v. 7, p. 81–120, 1976.

WILSON, E. H.; HURD, J. D.; CIVCO, D. L. Development of a model to quantify urban growth. In: ASPRS-ACSM ANNUAL CONFERENCE AND FIG XXII CONGRESS. 2002, **Anais...** . [S.l: s.n.], 2002.