

# CONFLITOS DAS DINÂMICAS DE TRANSFORMAÇÃO URBANA E AMBIENTAL À LUZ DA ECOLOGIA DA PAISAGEM

## CONFLICTS OF URBAN TRANSFORMATION AND ENVIRONMENTAL DYNAMICS ACCORDING TO LANDSCAPE ECOLOGY

Nicole Andrade da Rocha <sup>1</sup>

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, nicarocha@ufmg.br

Junia Lúcio de Castro Borges <sup>2</sup>

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, borgesjunia@gmail.com

Ana Clara Mourão Moura <sup>3</sup>

Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, anaclara@ufmg.br

### Resumo

Atualmente, a taxa de crescimento das cidades é um desafio global para assegurar espaços para habitação, demanda por serviços e lazer, e ao mesmo tempo garantir a manutenção e preservação de áreas verdes que compõe uma paisagem sustentável. Este estudo propõe o uso das análises das métricas de paisagem para guiar decisões, buscando identificar e caracterizar os fragmentos para selecionar unidades em condição para estabelecimentos de corredores em equilíbrio com a ocupação antrópica do território. Assim, a motivação deste artigo é revisar os princípios do uso das métricas da paisagem, com o emprego de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e modelos de análise espacial em geoprocessamento uma vez que os resultados indicam que as métricas de forma e distribuição espacial são muito úteis para caracterização da ocupação antrópica em comparação à cobertura vegetal. A principal contribuição do trabalho é a tabela comparativa entre as métricas aplicadas aos fragmentos de manchas urbanas e aos fragmentos de cobertura vegetal. O processo é ilustrado através de um estudo de caso em uma importante paisagem caracterizada por conflitos de interesses, demonstrando a aplicação das métricas de paisagem e análise morfológica no planejamento regional. Ao revisar os estudos de morfometrias (Ecologia da Paisagem) inova ao aplicar suas lógicas para os estudos de áreas urbanas e manchas urbanas, apresentando uma proposta de como identificar condições de dinamismo, avaliando cada fragmento urbano segundo sua condição de expansão, potencial de influenciar transformações no território ou de estabilidade em termos de transformação.

Palavras-chave: Métricas da Paisagem. Ecologia da Paisagem. Ecologia da Paisagem Urbana. Métricas Urbanas. Conflitos da Paisagem.

### Abstract

*Currently, the growth rates of cities is a global to guarantee spaces for housing, demands for services and leisure while at the same time guaranteeing the maintenance and preservation of green areas that make up a sustainable landscape. This paper proposes the use of landscape metrics analyzes to guide decision-making, striving to identify and characterize fragments in order to select units that are capable of becoming corridors in balance with the territory's anthropic occupation. In this way, the motivation of this article is to revisit the principles in the use of landscape metrics by using Geographic Information Systems (GIS) and spatial analysis models in geoprocessing since results show that spatial shape and distribution metrics are very useful in characterizing anthropic occupation in comparison to the vegetal cover. This paper's main contribution is a comparative table between metrics applied to urban cover fragments and vegetal cover fragments. The process is illustrated through a case study of an important landscape characterized by conflicts of interest and demonstrates the application of landscape metrics and morphological analysis on regional planning. By revisiting morphometric studies (Landscape Ecology), it innovates by applying its logic to urban areas and urban area studies and presents a proposal on how to identify dynamic conditions, evaluating each urban fragment according to its condition for expansion, potential to influence territorial transformations or for stability in terms of transformation.*

Keywords: Landscape Metrics. Landscape Ecology. Urban Landscape Ecology. Urban Metrics. Landscape Conflicts.

---

### How to cite this article:

ROCHA, Nicole Andrade da; BORGES, Junia Lúcio de Castro; MOURA, Ana Clara Mourão. Conflitos das dinâmicas de transformação urbana e ambiental à luz da ecologia da paisagem. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 7, n. 1, p. 23-34, mar. 2016. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8644222>>. Acesso em: 12 ago. 2016. doi:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v7i1.8644222>.

## Introdução

Atualmente, o ritmo de crescimento das cidades desafia arquitetos e urbanistas a assegurar espaços para habitação, serviços e lazer e ao mesmo tempo, garantir a manutenção e conservação das áreas verdes que compõe as paisagens urbanas. Desenvolver parâmetros sustentáveis para harmonizar a relação entre o ambiente construído e a natureza é foco de muitas pesquisas, que buscam na modelagem de dados espaciais, principalmente nas métricas de paisagem a orientação para tomada de decisões. Mas o que são parâmetros sustentáveis? O que são métricas da paisagem? E como a modelagem contribui para a tomada de decisões?

Parâmetros são referências para análises das condições existentes, estabelecidos por lei, a exemplo dos parâmetros urbanos de taxa de permeabilidade, índice de área verde por habitante, ou dos parâmetros morfométricos contidos nas leis de uso e ocupação do solo, tais como afastamentos, coeficientes, tipologias e gabaritos permitidos (MOURA, 2010; MAGALHÃES, 2013).

Métricas são relativas às medidas, limites ou referências do aceitável, estabelecidos através de classificações ou consenso no meio técnico e científico, correspondente às condições ideais de cada realidade. As métricas da paisagem referem-se a medidas ideais de fragmentos no que tange ao tamanho, densidade, isolamento e complexidade da forma das manchas de vegetação. Segundo Couto (2004) a Ecologia da Paisagem envolve o estudo de padrões e a interação entre manchas no interior do mosaico da paisagem.

A métrica é a medida em si e o parâmetro é a referência, de modo que os valores nos permite avaliar o quanto o fragmento está ou não dentro de um padrão. A quantificação e modelagem da conformação da paisagem favorecem melhor entendimento e ganho de informação sobre o arranjo das tipologias da paisagem, podendo apoiar a tomada de decisões (BORGES *et al.*, 2010).

Os estudos das métricas de paisagem proposto pela Ecologia da Paisagem não é algo novo no meio científico, que o utiliza em diversas investigações. Contudo, há pouco emprego em estudos urbanos e, sobretudo, nos estudos da relação entre manchas urbanas e manchas de cobertura vegetal na dinâmica de transformação territorial. Assim, propõe-se a utilização das métricas de paisagem aplicada aos fragmentos urbanos em escala regional, analisando o uso e ocupação do solo em uma visão macro.

As métricas de paisagem foram inicialmente propostas pelos estudos da Ecologia da Paisagem e da Biologia da Conservação. Visando identificar e caracterizar os fragmentos mais adequados para a preservação ambiental e compor os arranjos espaciais necessárias para alcançar a biodiversidade, o equilíbrio de espécies e o de fluxo gênico

(FORMAN; GODRON, 1986). Os fragmentos (ou manchas) de vegetação são escolhidos de modo a formarem corredores ecológicos em equilíbrio com ocupação antrópica no território (METZFER, 2001; FORMAN; GODRON, 1986; FONSECA *et al.*, 2015).

A vegetação é considerada importante indicador da condição ambiental, uma vez que protege o solo, reduz o transporte de sedimentos e assoreamento dos recursos hídricos, bem como por ser habitat para animais selvagens e contribuir para a manutenção da diversidade biológica (CEMIN; REMPEL, 2005).

Este artigo busca além de estudar as métricas de paisagem aplicada as manchas urbanas, contribuir para a disseminação do uso de *software* de classificação de fragmentos de paisagem a fim de auxiliar arquitetos e urbanistas na tomada de decisão acerca da configuração e distribuição espacial do uso do solo.

Ao revisitar os princípios do uso de métricas de paisagem à luz das novas tecnologias baseadas em SIG (Sistemas de Informações Geográficas), busca-se trazer embasamento teórico-científico na aplicação para os estudos nas áreas urbanas, no que tange a escala regional. O emprego das tecnologias de geoinformação favorece o trabalho de proposição e avaliação de critérios, criando condições para se entender a capacidade de transformação de um território.

## Métricas da paisagem de interesse da pesquisa

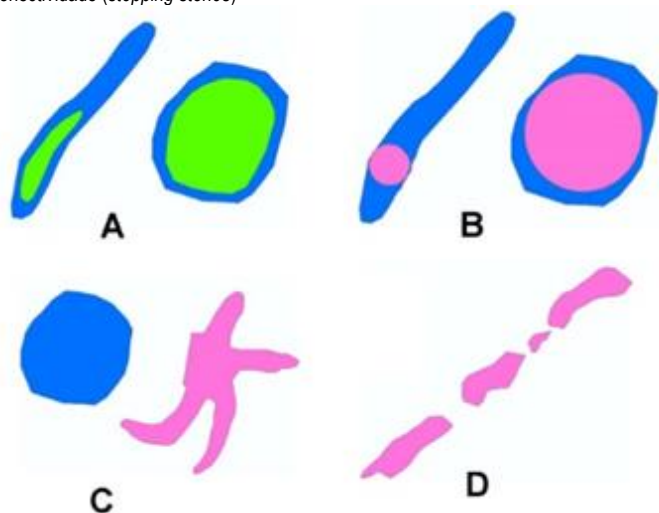
Atualmente existem softwares especialistas desenvolvidos para análise da cobertura vegetal que mensuram os fragmentos da paisagem, os classificando e os comparando aos padrões esperados de acordo com a forma e a distribuição espacial. Podem ser citados os aplicativos Fragstats©, Guidos©, MatrixGreen©, e plug-ins que podem ser usados em SIGs, tais como o V-Late, entre outros. Tais ferramentas apoiam pesquisas que têm o objetivo de analisar a forma e a função de fragmentos de vegetação, buscando oferecer apoio à gestão e escolha dos melhores fragmentos para criar áreas de proteção ou selecionar fragmentos estrategicamente posicionados, com vistas à promoção da conectividade em corredores ecológicos.

Esses instrumentos ajudam também na identificação de fragmentos que se encontram em situação de vulnerabilidade devido a dimensões inexpressivas, posicionamento não integrado a uma rede de fragmentos, ou a condições de forma que os tornam de mais fácil transformação (LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL; CUSHMSN, 2012; COUTO, 2004; CEMIN; REMPEL, 2005; ROCHA *et al.*, 2015).

As métricas de paisagem quantificam as dimensões e mensuram a distribuição espacial das manchas, avaliando tanto o fragmento individualmente como a estrutura geral da área e o papel de cada fragmento no conjunto. No contexto da Ecologia da Paisagem, as principais métricas empregadas são: área núcleo; círculo inscrito; efeito de borda; tamanho, forma, grau de isolamento de fragmentos; e conectividade entre fragmentos (MOURA, 2010).

A área núcleo é uma porção interna do fragmento considerada mais protegida, a uma determinada distância das bordas, especificada pelo pesquisador em função do que ele classifica como faixa da borda em cada situação. Através da métrica “área núcleo” (Figura 1A), pode-se analisar a fragilidade frente a potenciais de transformações ou caráter de estabilidade, pois quanto maior a área núcleo, mais robusto é o fragmento. O número de áreas núcleo existentes também é de interesse, pois um fragmento com maior quantidade de núcleos é mais frágil que um fragmento com uma área núcleo robusto.

Figura 1 - Métricas. (a) dimensão da área núcleo ou número de áreas núcleo. (b) dimensão do círculo inscrito. (c) relação perímetro/área indicando fator de borda. (d) conectividade (*stepping stones*)



Fonte: Os autores

Essa mesma análise pode ser aplicada à métrica de dimensão do “círculo inscrito”, pois quanto maior o círculo inscrito, mais arredondado e concentrado é a forma do fragmento, ao passo que quanto menor o círculo, mais alongada é a sua forma. As formas mais concentradas são mais robustas e protegidas, ao passo que as formas mais alongadas são mais vulneráveis, mas podem cumprir o papel de conectividade entre fragmentos (Figura 1B).

Para analisar os “efeitos de borda”, observa-se a forma do fragmento: se ela apresenta muitas ramificações ou se é mais compacta. Isto é medido pela relação perímetro/área, indicando o grau de complexidade da forma e a presença de bordas. Quanto maior for esta relação, mais contato das bordas ou fronteiras há com outras tipologias de uso do solo. Essa métrica é conhecida como a métrica do índice

de forma, pois calcula o índice de compactação da forma (Figura 1C).

A “distância euclidiana” entre fragmentos vizinhos calcula a distância mais curta em linha reta entre cada fragmento e seu vizinho mais próximo. Na mesma lógica, o “índice de proximidade” considera o tamanho e a proximidade de todos os fragmentos cujas bordas estão dentro de um raio de busca determinado. O “índice de contiguidade” avalia a conexão espacial, ou contiguidade entre os fragmentos (Figura 1D).

As métricas que analisam o tamanho, a forma e as condições dos núcleos dos fragmentos favorecem a identificação dos melhores fragmentos para a criação de unidades de conservação. As que analisam fatores de conectividade e distância entre fragmentos permitem analisar o potencial para favorecer a formação de corredores e trampolins ecológicos (*stepping-stones*) (METZFER, 2001; FORMAN; GODRON, 1986; FONSECA *et al.*, 2015).

Para a Ecologia da Paisagem, o fragmento ideal é aquele que tem um bom índice de forma, isto é, suficientemente grande, com núcleo protegido, e não muito longe de outros fragmentos, de modo a compor um corredor ecológico. Alguns fragmentos não satisfazem todas as condições, mas podem desempenhar um papel específico na rede dos fragmentos.

## Aplicações de métricas de paisagem a fragmentos urbanos

Há vasta literatura científica sobre o tema de métricas de paisagem aplicadas à cobertura vegetal (BENNETT, 2003; NOSS, 1987, 1992; FORMAN; BAUDRY, 1984; LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL *et al.*, 2012; FORMAN; GODRON, 1986; BORGES *et al.*, 2010; MOURA, 2010; FONSECA *et al.*, 2015). Contudo, a inovação é que a essa mesma lógica pode ser aplicada aos estudos urbanos, analisando os fragmentos de forma adaptada às especificidades do uso e ocupação do solo.

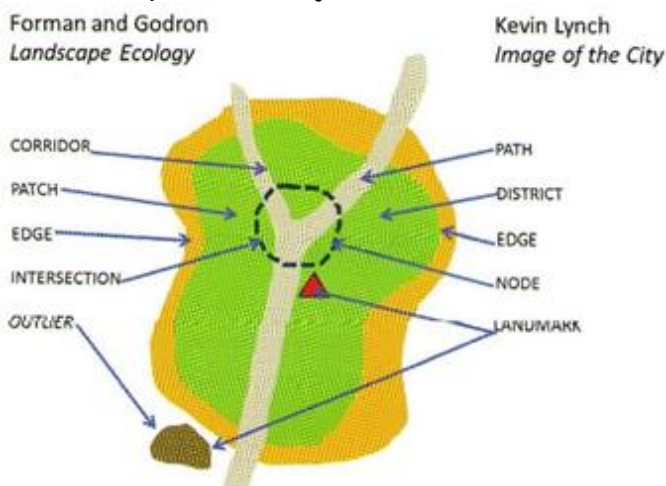
A análise dos fragmentos urbanos torna-se ainda mais interessante se realizada juntamente à análise dos fragmentos de vegetação, observando os seus posicionamentos, bem como suas dimensões e a forma com que cumprem diferentes funções. O estudo de métricas de fragmentos urbanos permite analisar o crescimento territorial das cidades apontando, por exemplo, futuras expansões urbanas e vocações dos fragmentos de uso do solo.

A nova abordagem das métricas possibilita dois tipos de interpretações úteis para o planejamento urbano: a compreensão do papel do fragmento de mancha urbana em relação ao território onde ele está inserido, e a vocação ou

potencialidade daquele fragmento para atender a diferentes funções na rede da ocupação urbana. Por exemplo, é possível apontar fragmentos em processo de transformação e crescimento e sendo influenciados ou influenciando outros fragmentos. Outro exemplo é a interpretação da posição do fragmento e sua forma específica que o coloca em condições estratégicas na conformação de rede de cidades.

A caracterização de elementos morfológicos favorece a compreensão do desenho das cidades, suas estruturas e configurações. Steinitz (2012) argumenta que os modelos elaborados por Lynch (1960), Richard Forman e Michel Godron (1986), amplamente conhecidos, embora aplicados em contextos bem diferentes (urbano e ambiental) possuem interessante semelhança. A contribuição de Lynch (1960) está direcionada a aplicação na forma cidade, na escala intra-urbana. A contribuição de Forman e Godron (1986) é destinada para a escala da ecologia da paisagem, analisando suas estruturas espaciais.

Figura 2 - Comparação proposta por Steinitz: Ecologia da paisagem e imagem da cidade. A semelhança da análise morfológica.



Fonte: Steinitz (2012, p.67)

Steinitz (2012) aponta semelhanças nas análises propostas pelos dois autores, já que ambos são baseados em relações à distância, tamanho, forma ou padrão. Além disso, compara os cinco principais elementos de percepção de uma cidade proposta por Lynch (1960): vias (*path*), bairros (*district*), limites (*edge*), cruzamentos (*node*) e pontos marcantes (*landmark*), com os cinco elementos propostos por Forman e Godron (1986): corredor (*corridor*), fragmento (*patch*), borda (*edge*), interseção (*intersection*), isolamento (*outlier*) e apresenta as semelhanças entre eles (Figura 2).

Os estudos morfométricos sempre foram de interesse dos estudos urbanos, no entanto, foram aplicados apenas no desenho urbano, focando-se na composição das cidades como expressão cultural. O tema do desenho urbano

remete aos primeiros traços do homem ao elaborar os assentamentos de aglomerações planejadas. Na bibliografia, destaca-se o trabalho de Lynch em “*Good City Form*” (1981) que explora os motivos de conformação das cidades segundo valores culturais e suas motivações de existência. Em seu trabalho, Lynch (op. cit.) propõe três eixos teóricos para explicar a cidade como fenômeno espacial: a teoria do planejamento relacionado às decisões públicas; a teoria funcional explicando forma e funções relacionadas; e, finalmente, a teoria normativa, que lida com ligações entre valores e assentamentos humanos, isto é, como reconhecer uma boa forma de cidade.

Contudo, a contribuição da lógica da Ecologia da Paisagem aplicada aos fragmentos de manchas urbanas está em uma escala geralmente não estudada em morfologia urbana: a escala regional. A expectativa é entender a rede de cidades, ou núcleos urbanos, com base nas métricas de fragmentos, sua distribuição espacial e a dinâmica no território.

Deste modo, justifica-se verificar se os procedimentos metodológicos para medir as métricas de paisagem (de acordo com a Ecologia da Paisagem) podem beneficiar os estudos sobre a dinâmica urbana do uso do solo. Acredita-se que as cidades de maior complexidade são mais dinâmicas e menos estáticas e que suas manchas urbanas podem ser caracterizadas como espaços de transformação e ampliação de suas fronteiras. Além disso, cidades caracterizadas por uma área núcleo mais estáveis (de forma mais definida, compacta e sem ramificações estreladas) tem maior estabilidade, no entanto, eles também podem influenciar outras manchas.

### Estudo de caso

Para ilustrar as discussões e análises propostas no artigo, utilizamos como estudo de caso a porção sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, eixo de crescimento urbano caracterizado por conflitos de interesse em uma área de 2.106 km<sup>2</sup> (Figura 3A, 3B). A população é de 5.767.414 habitantes, dos quais 2.502.557 habitam em Belo Horizonte, a terceira maior capital do Brasil.

A região possui cobertura vegetal significativa, recursos hídricos importantes e uma paisagem montanhosa notável. A vegetação da região é composta pela transição entre o bioma Cerrado e Mata Atlântica, com destaque para a vegetação de Campos Rupestres, assentada em cangas típicas do alto de montanhas, presente apenas nessa região e em Carajás (PA) Brasil. A vegetação densa cobre 55,8% da região, pois a área é ainda muito florestada devido à topografia difícil, composta por montanhas de encostas íngremes.



Figura 3A - O estudo de caso: Eixo Sul na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero (Quadrilátero Ferrífero)



Fonte: Os autores

Figura 3B - O estudo de caso: Eixo Sul na Região Metropolitana de Belo Horizonte, Quadrilátero Ferrífero (Quadrilátero Ferrífero)



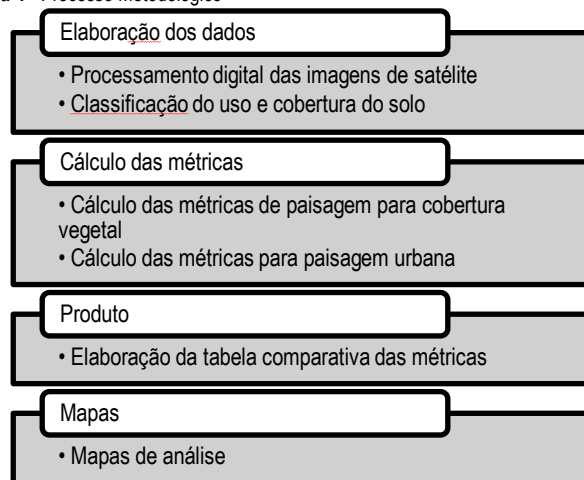
Fonte: Os autores

Além disso, a vegetação existente é protegida ainda em virtude da compensação ambiental praticada pelas mineradoras, pois grandes extensões da região pertencem a empresas de mineração. As áreas não protegidas estão vulneráveis às ameaças de avanço da dinâmica urbana, que tende a se espalhar rapidamente na área.

## Metodologia

A metodologia baseou-se em quatro etapas principais: a de produção de dados, no qual foi realizado o processamento digital de imagens de satélite para classificar o uso e cobertura da terra com o uso do software livre Spring©; o cálculo de métricas de paisagem com o uso do software livre Fragstats© para analisar os fragmentos de vegetação; o cálculo de métricas de paisagem com o uso de Fragstats© para análise dos fragmentos urbanos; a proposta de uma tabela de comparação das métricas sob a perspectiva da Ecologia da Paisagem e dos Estudos Urbanos a fim de apoiar futuros estudos; e a elaboração dos mapas de análise a partir do estudo de caso com vistas à aplicação dos conhecimentos apresentados (Figura 4).

Figura 4 - Processo metodológico



Fonte: Os autores

O *software* Fragstats© permite quantificar a configuração espacial dos "fragmentos dentro de uma paisagem". A ecologia da paisagem baseia-se na influência dos padrões espaciais sobre os processos ecológicos, assim como muitas questões ecológicas devem ser subsidiadas por uma análise em larga escala e a compreensão das heterogeneidades e suas dinâmicas (COUTO, 2004; McGARIGAL *et al.*, 2012).

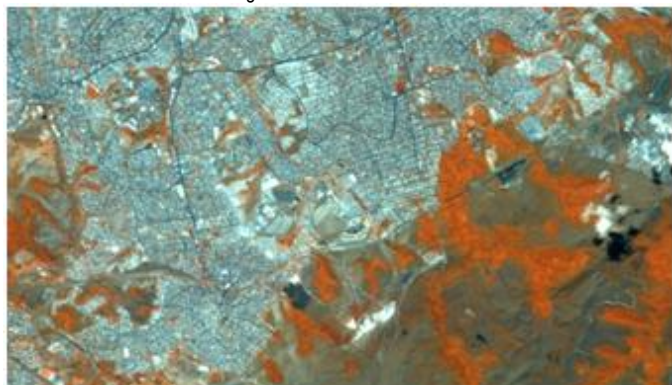
## Classificação das imagens

Os mapas de uso e ocupação do solo e de cobertura vegetal foram obtidos a partir da classificação das imagens do satélite RapidEye coletadas no ano de 2013. Os satélites RapidEye são equipados com sensores REIS (*RapidEye Earth Imaging System*) que operam em cinco faixas, três das quais estão no espectro eletromagnético conhecido como "visível". Outras bandas apresentam diferencial do satélite para o monitoramento da vegetação: Red-Edge (690-730 nm) e infravermelho próximo (760-850 nm), que são capazes de identificar alterações nos níveis de clorofila e estrutura celular das plantas. Devido a essas características, uma imagem RapidEye é adequada para separar vegetação de outros usos do solo, bem como para

classificar diferentes condições da cobertura vegetal (MAGALHÃES, 2013).

A imagem apresenta resolução espacial de 5m e é gerada com 12 bits, ou seja, apresenta 4096 tons de cinza. Tais atributos favorecem a discriminação de vários alvos presentes na superfície. Trabalhou-se com as bandas 345 da composição BGR. O estudo optou por dar ênfase nos fragmentos de vegetação densa (Figura 5).

Figura 5 - Trecho da imagem na composição BGR345 já com contraste aplicado, com vistas a destacar a cobertura vegetal em vermelho



Fonte: Os autores

Para realizar a análise da imagem, utilizou-se o Spring©, (software gratuito brasileiro, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE), através da classificação supervisionada. O primeiro passo foi promover a associação de imagens em forma de mosaico para cobrir toda a área de estudo, etapa necessária para equalizar os histogramas. O segundo passo foi segmentar a imagem em regiões com características semelhantes. O terceiro passo determinou as tipologias que consistiam em amostras espectrais de elementos conhecidos que foram usados para orientar o algoritmo na classificação (Bhattacharya). O último passo avaliou o grau de confusão da classificação e calibração do resultado.

Ao final, foi produzido um mapa de cobertura do solo que permitiu o início da etapa de cálculo de métricas de fragmentos da paisagem, separados em manchas urbanas e manchas de cobertura vegetal.

### Quadro comparativo de métricas urbanas e de vegetação

Neste estudo foram selecionadas as métricas que correspondem à estabilidade, a dinâmica e fator de influência, como estabelecido em estudos realizados por Moura (2010). A condição de estabilidade de um fragmento (forma mais robusta), segundo a definição da autora, significa um estado de ocupação já estabelecida, com um centro de atividade tradicional e uma conformação clara. Essa condição de estabilidade pode ser medida pelas métricas de tamanho e densidade do fragmento. Isto é, obtido pela combinação das métricas:

área, perímetro, área núcleo e fator de forma (grau de compactação da forma).

A condição de um fragmento ser dinâmico e estar em estado de transformação, aponta um potencial de expansão ou de propagação do uso urbano no território. O fragmento com esses potenciais é caracterizado pela forma de tentáculos (ou ramificações, como ilustrado na Figura 1C), no qual se espalha pelo território e favorece o crescimento ao redor desses primeiros eixos. A característica é medida pelo grau de complexidade da forma obtida combinando a relação perímetro/área, o número de áreas núcleos e as métricas de conectividade (contiguidade, distância euclidiana e proximidade).

Há também o estudo da condição de um fragmento influenciar o território ou de fragmentos serem influenciados pelo que acontece ao seu redor. A condição de potencial de mudança varia de acordo com o número, tamanho e dispersão, ou contiguidade de fragmentos da paisagem. O fragmento é analisado pelas métricas de área, perímetro, o índice de área núcleo, círculo inscrito e fatores de distância destes fragmentos mais robustos em relação aos outros (distância euclidiana, contiguidade e proximidade). Propõe-se que o primeiro passo seja selecionar os fragmentos com condição estável. Em seguida, priorizar fatores de potencial de mudança representados em métricas de proximidade e contiguidade.

Quadro 1 - Interpretação dos fragmentos para a área urbana e vegetal

Métrica	Fragmento Urbano	Fragmento Vegetal
Área	Potencial de influência /estável	Robusto
Perímetro	Potencial de influência /estável	Robusto
Relação Perímetro /Área (borda)	Potencial para expansão	Frágil
Índices de área núcleo	Potencial de influência /estável	Robusto
Número de área núcleo	Potencial para expansão	Frágil
Contiguidade, Distância Euclidiana, Proximidade	Potencial de influencia / Potencial para expansão	Robusto
Fator de forma	Potencial de influência /estável	Robusto
Círculo inscrito	Potencial de influência /estável	Robusto

Fonte: Os autores

O quadro comparativo (Quadro 1) propõe um referencial para futuras pesquisas, já que ao comparar as situações de fragmentos de vegetação e de urbanização identificados pela forma, demonstra as interpretações que podem ser

realizadas nas análises e dar bases para elaborar planejamentos.

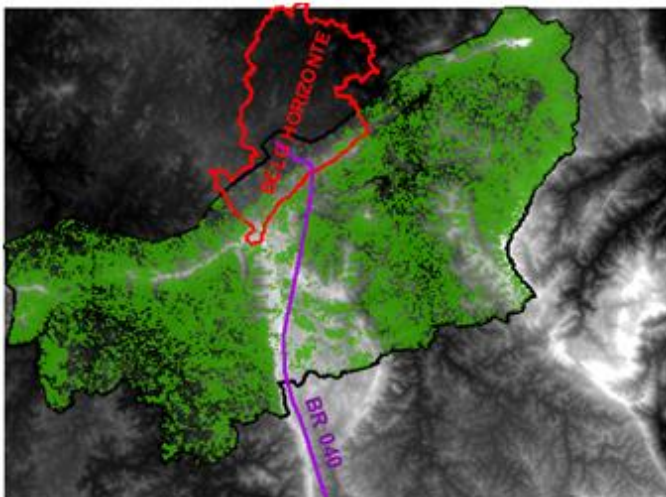
## Resultados

### Métricas aplicadas à cobertura vegetal

A análise de métricas de área núcleo e índice de forma permite observar que a região é caracterizada por dois grupos de excelentes fragmentos, nas partes oriental e ocidental. Essa delimitação entre oriental e ocidental é marcada pela estrada BR-040, principal eixo de ligação entre Belo Horizonte ao Rio de Janeiro (norte / sul) que corta a composição da paisagem (Figura 6).

A área em torno desta estrada representa uma interrupção na paisagem, especialmente na cobertura vegetal. Os fragmentos de vegetação mais frágeis estão neste eixo central, onde a área núcleo é reduzida e os fragmentos apresentam menor índice de forma, o que significa que eles são menos concisos e mais frágeis (Figura 6).

Figura 6 - A topografia acidentada e a cobertura vegetal densa



Fonte: Os autores

Na análise das métricas, observou-se que relação perímetro/área apresentou um baixo fator de borda na maioria dos fragmentos (Figura 7B). Isto significa que os fragmentos não possuem bordas tão fragilizadas, pois não há tanta superfície em contato com outros usos, e as áreas são mais concisas.

A forma e o perímetro também confirmam esta condição nos fragmentos principais de cobertura vegetal qualificada: eles são grandes, com áreas compactas e pouca superfície de borda em contato com outros usos, há alta contiguidade entre os fragmentos (Figura 7A, 7C e 7D).

A análise da área núcleo aponta que os fragmentos da área central são os mais frágeis. Quando esses piores fragmentos são comparados com a distribuição de acessibilidade e capilaridade, observa-se que estão muito perto ou ao longo do eixo da estrada (Figura 8A).

A fragilidade dos fragmentos traz o risco de urbanização, portanto potencializa mudança de tipologia de uso: área preservada (verde) à área urbanizada (ocupação humana). Quando comparamos a distribuição de terras protegidas (segundo leis municipais, estaduais ou federais), podemos observar que os fragmentos frágeis não estão protegidos (mancha cinza) (Figura 8B).

Elaborou-se uma “Análise de Multicritérios” a partir das métricas que permite a diferenciação nas condições dos fragmentos, eliminando aquelas métricas em que quase todos os fragmentos tinham comportamentos semelhantes. Foram selecionadas as camadas de área núcleo, índice de forma e proximidade.

A Análise de Multicritérios (Figura 9) indica que a região é caracterizada por fragmentos qualificados, que apresentam formas compactas, estão próximos entre si e possuem núcleos protegidos. No entanto, há fragmentos frágeis concentrados em áreas de alta capilaridade e acessibilidade e não coincidentes com as áreas de proteção ambiental (mancha cinza).

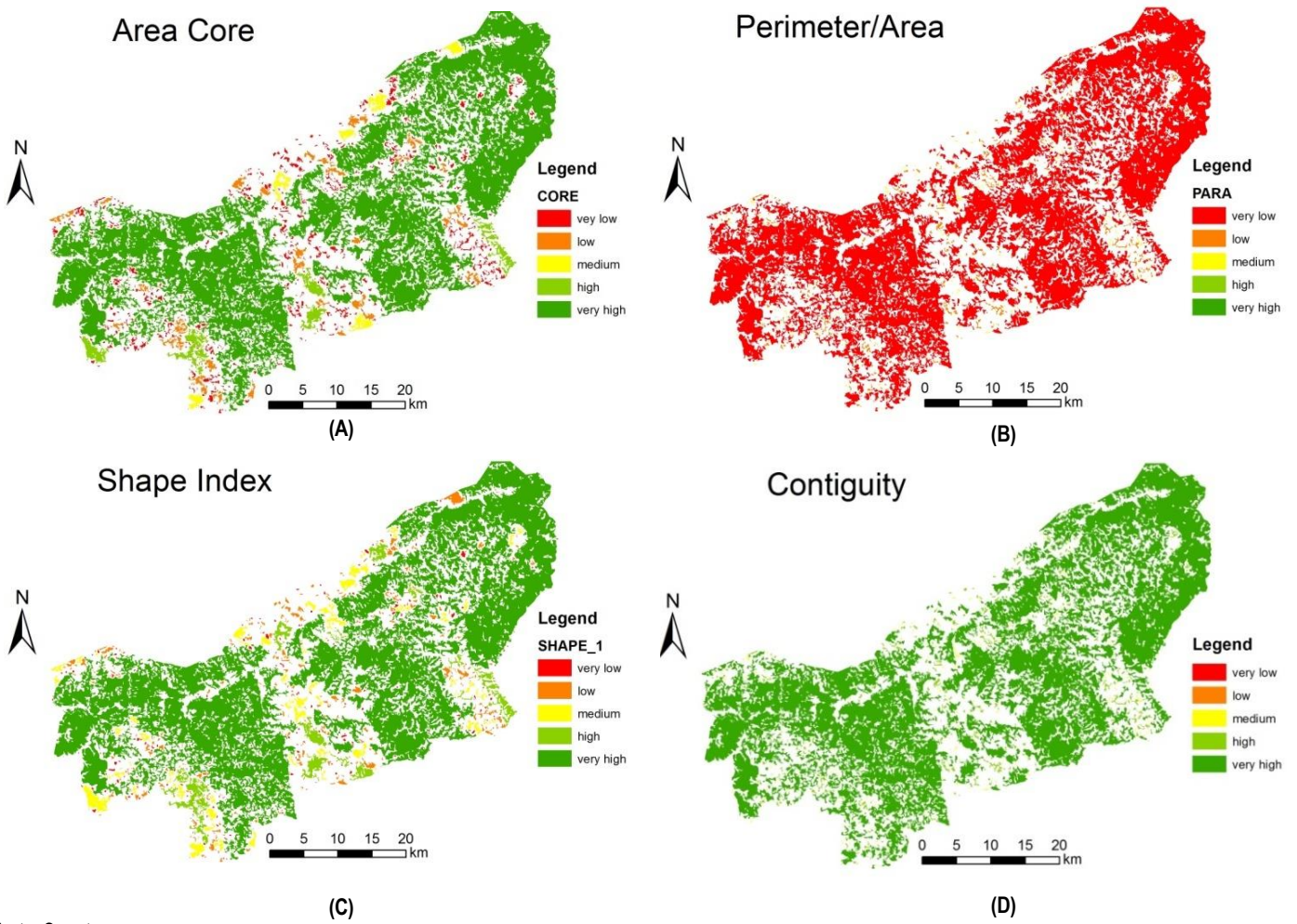
### Métricas aplicadas às manchas urbanas

As métricas aplicadas às manchas urbanas demonstram que, especificamente no estudo de caso trabalhado, as camadas de área núcleo e o número de áreas núcleo não se destacaram por não apresentarem variabilidade de comportamento na área de estudo (Figuras 10A e 10B). Essas métricas em geral são indicativas de condições estáticas ou de capacidade de influenciar outras áreas, pois possuem núcleos robustos, característicos de áreas estáveis. A área em estudo é caracterizada por dinâmica e transformação, por isso os fragmentos apresentaram resultados com índices baixos e homogêneos nas referidas métricas.

A condição de dinamismo e potencial de transformação e expansão aparece com mais clareza nas análises das métricas de índice de forma, relação perímetro/ área e métricas relacionadas à proximidade e conectividade. Pode-se observar que os fragmentos possuem formas complexas com ramificações que se expandem na área estudada, resultando em uma rede fragmentos (Figuras 10C, 10D, 10E e 10F).

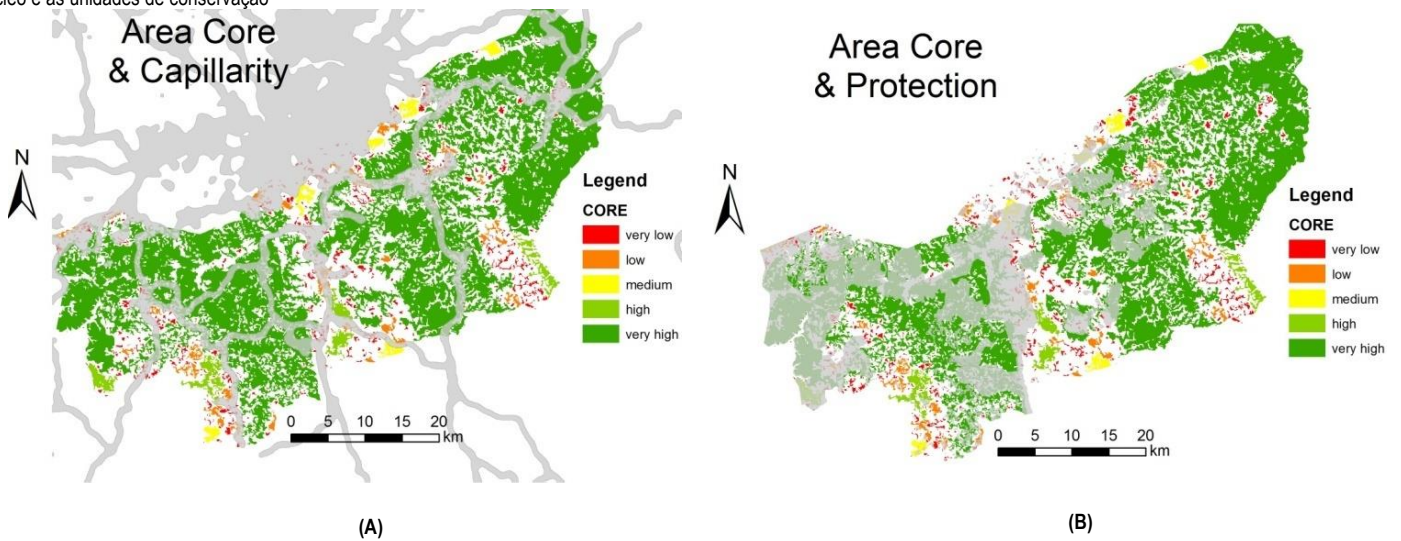


Figura 7 – As métricas de análise das manchas de cobertura vegetal: (A) Área de núcleo, (B) Perímetro/área, (C) Índice de forma e (D) Índice de contiguidade.



Fonte: Os autores

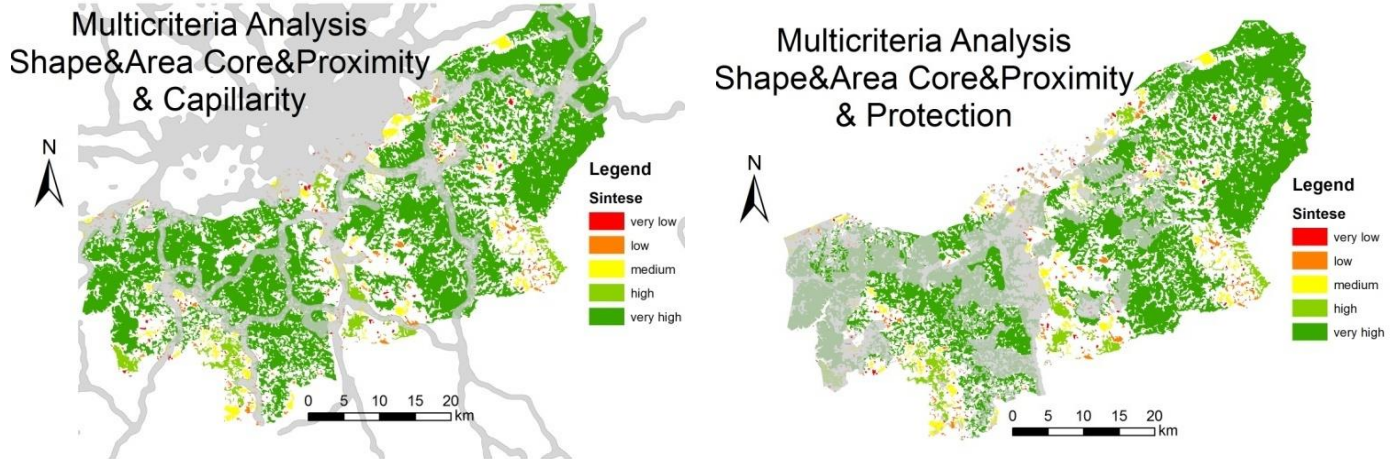
Figura 8 - Área Núcleo em comparação com Acessibilidade e Capilaridade com a presença de Áreas Protegidas: (A) As áreas núcleo e as interrupções pelas estradas e (B) As áreas núcleo e as unidades de conservação



Fonte: Os autores

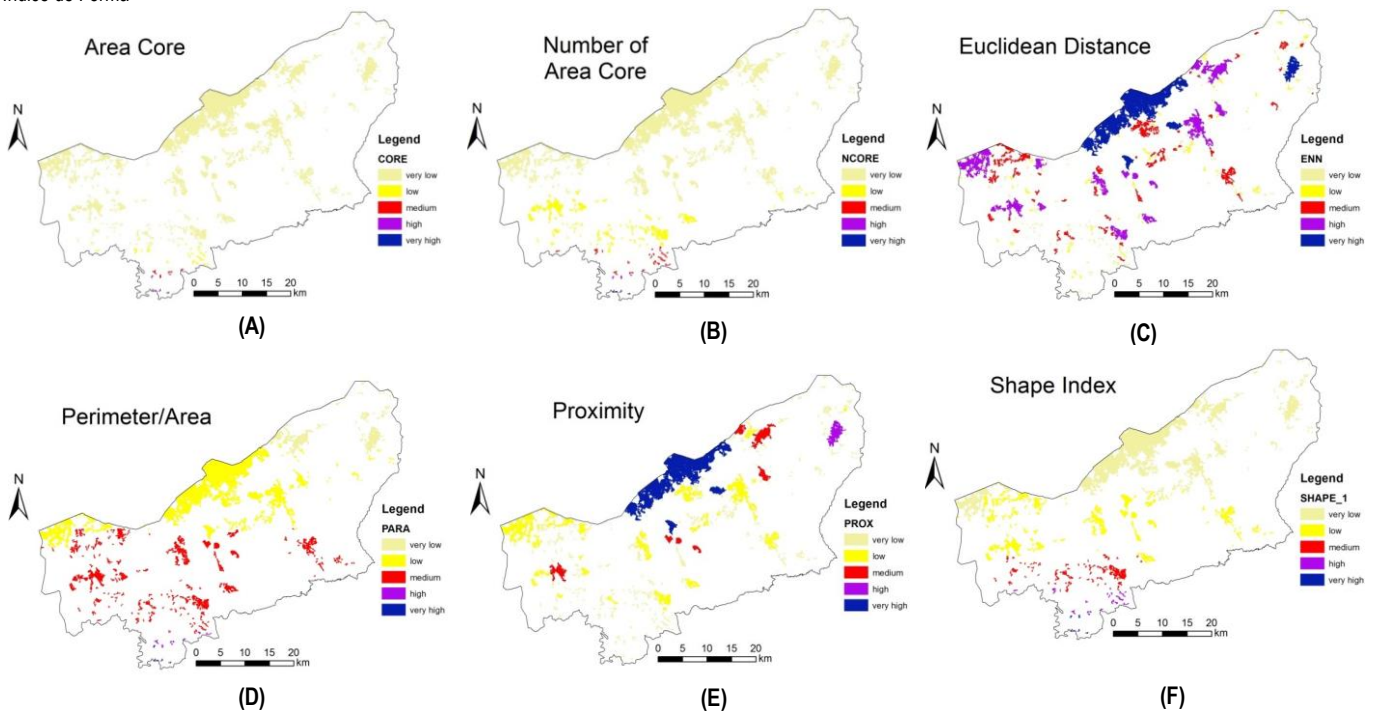


Figura 9 - Análise Multicritérios de métricas da vegetação: Comparação com Acessibilidade e Capilaridade e com Áreas Protegidas



Fonte: Os autores

Figura 10 – As métricas de análise das manchas urbanas: (A) Área Núcleo, (B) Número de Áreas Núcleo, (C) Distância Euclidiana, (D) Relação Perímetro/Área, (E) Proximidade e (F) Índice de Forma

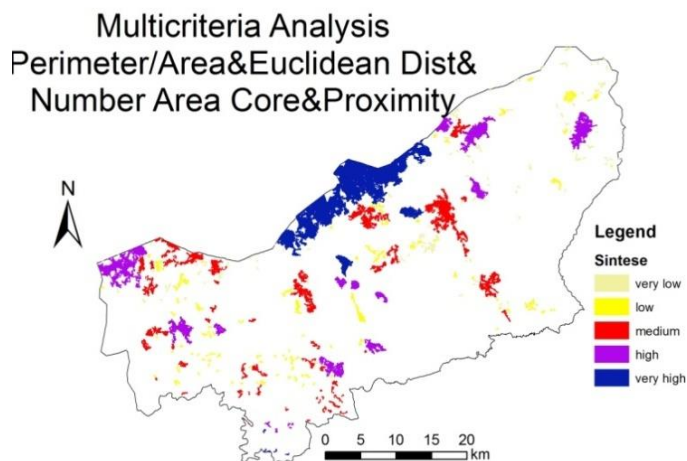


Fonte: Os autores

O dinamismo e potencial de desenvolvimento também foram apresentados na síntese do mapa de “Análise Multicritérios” (Figura 11). A síntese combinou as métricas de Distância Euclidiana, Relação Perímetro/Área, Proximidade e Índice de Forma. Os fragmentos que mais apresentaram a combinação positiva dessas métricas são aqueles que se caracterizam com o maior potencial de transformação e desenvolvimento, com crescimento da atividade urbana.

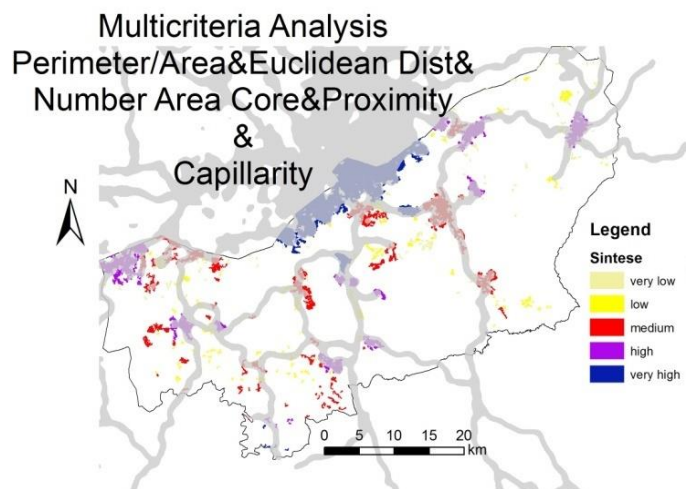
Comparando com a acessibilidade e capilaridade, pode-se constatar que a infraestrutura viária leva ao desenvolvimento de manchas urbanizadas salientando as tendências no sentido de aglomeração na área. (Figura 12).

Figura 11 - Análise Multicritérios das métricas urbanas



Fonte: Os autores

Figura 12 - Análise Multicritérios das métricas urbanas em comparação com Acessibilidade e Capilaridade e Áreas Protegidas



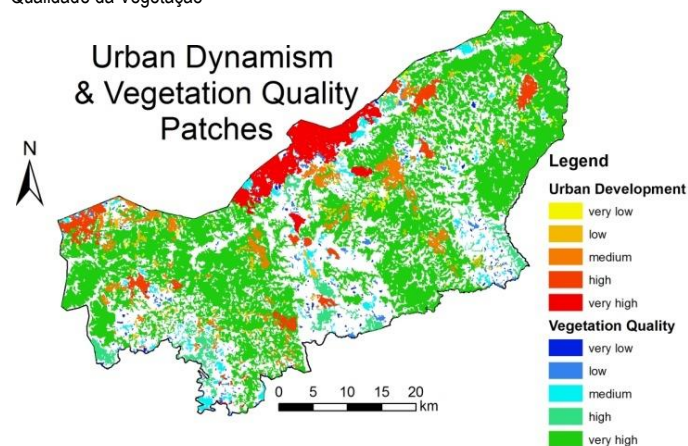
Fonte: Os autores

### Comparação dos resultados: manchas urbanas e manchas de vegetação

A justaposição de manchas de vegetação e manchas urbanas promove a comparação entre usos da terra. Em um mesmo mapa foi apresentado o grau de importância da cobertura vegetal (tons de azul a verde) e o grau de dinamismo e poder de transformação dos fragmentos de uso urbano (tons de amarelo a vermelho) (Figura 13).

Pode-se observar que, no eixo central, onde a condição de fragmentos de vegetação é muito frágil, há uma concentração de manchas urbanas caracterizadas por um potencial de transformação e desenvolvimento. Isto pode levar a uma interrupção total entre as duas partes da cobertura vegetal, reduzindo não apenas a qualidade das condições ambientais, mas também da qualidade das ocupações urbanas.

Figura 13 - Justaposição das Análises Multicritérios das métricas de fragmentos urbanos e de métricas de fragmentos de vegetação: Potencial de Desenvolvimento Urbano e de Qualidade da Vegetação



Fonte: Os autores

## Conclusões

Este artigo visou apresentar o emprego de metodologia de classificação de métricas de fragmentos de paisagem, clássica em estudos de cobertura vegetal, para a classificação de fragmentos de manchas urbanas. A comparação das duas classificações favoreceu entender conflitos de interesse e abordar o uso do solo de modo integrado. Permitiu identificar os fragmentos vulneráveis e os robustos para a cobertura vegetal, mas também os fragmentos dinâmicos que interferem nas transformações e expansões da ocupação urbana. Analisou o conjunto de fragmentos quanto à presença de fatores de proteção (unidades de conservação) e quanto a fatores de transformação (eixos rodoviários).

O estudo integrado de métricas permitiu a compreensão e análise da dinâmica urbana e da cobertura vegetal em escala regional, colaborando para visão mais ampla do espaço e sua caracterização quanto à dinâmica do território, de forma a auxiliar gestores urbanos.

Usando as ferramentas de geoprocessamento que facilitam o processamento digital das imagens, o cálculo de métricas, e sua combinação em Análise de Multicritérios foi possível desenvolver um estudo em curto espaço de tempo para apoiar à tomada de decisões sobre políticas e projetos no planejamento da paisagem.

Os cálculos de processamento e métricas digitais foram realizados utilizando softwares livres (Spring© e Fragstats ©). Seria possível trabalhar todo o processo em softwares gratuitos e desenvolver também a Análise de Multicritérios no software Spring©, mas foi utilizado o ArcGIS© devido à sua boa qualidade gráfica.

Tendo em vista o acesso autorizado de pesquisadores às imagens de satélite RapidEye no Brasil, com resolução de 5 metros e com bandas espectrais muito favoráveis à classificação de cobertura vegetal, todo o processo pode

ser realizado de modo gratuito. Esta condição significa a possibilidade de emprego da metodologia em ensino e no suporte técnico de apoio à tomada de decisões no planejamento regional. Favorece as etapas de caracterização da realidade e de escolha de vocações dos fragmentos de uso do solo, assim como de identificação de fragilidades a serem enfrentadas.

Comprovou-se que a análise do conjunto de métricas de fragmentos de cobertura vegetal e de manchas urbanas é útil para análise em escala regional, pois apoia a identificação de potencial de transformação e torna

possível comparar tendências com necessidades de proteção ambiental. Ao revisitar os estudos de morfometria propostos pela Ecologia da Paisagem, foi possível verificar que suas aplicações cabem não só para as investigações das áreas verdes com também para as investigações que envolvem as áreas urbanas, isto é, que contempla a paisagem em um contexto mais amplo, onde as dinâmicas se complementam.

O quadro referencial de emprego de métricas e seus significados e interpretações é uma contribuição científica para o planejamento da paisagem regional.

---

## Agradecimentos

As bolsas de doutorado CAPES/DS e CAPES/PDSE. Com o apoio do CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico: Chamada MCTI / CNPq / MEC / CAPES 22/2014, Processo: 471089 / 2014-1; e projeto "Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais: Impactos da atividade de mineração no planejamento urbano-regional e na paisagem e patrimônio cultural", Processo: 483536/2013-0. Agradecemos FAPEMIG pelo apoio através do PPM IX, 02/2015, Processo TEC - PPM - 00059-15.

## Referências

- BENNETT, A. F. **Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation**. 2. ed. Cambridge: International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, 2003, 262 p.
- BORGES, J.; CARVALHO, G.; MOURA, A.C.M.. Estudo da conformação da paisagem de Sabará-MG para compreensão das métricas do Fragstats em padrões de uso do solo. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA*, 24. 2010, Aracaju. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2010. p. 1473-1481.
- CEMIM, G.; PÉRICO, E.; REMPEL, C. Uso de sistemas de informação geográfica para análise da estrutura da paisagem do município de Arvorezinha, RS. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12. 2005. Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE. 2015, p. 2113-2120.
- COUTO, Paula. Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS. **Inv. Op.**, Lisboa, v. 24, n. 1, p. 109-137, jun. 2004. Disponível em <[http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0874-51612004000100007&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0874-51612004000100007&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em 10 de fev. 2010.
- FONSECA, B.M.; RIBAS, R.P; MOURA A.C.M. **Applying Ecological Landscape Concepts and Metrics in Urban Landscape Management**. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHANGING CITIES II: Spatial, Design, Landscape & Socio-economic Dimensions*, 2. 2015. Porto Heli. **Anais...**, Porto Heli: Univesity Thessaly, 2015. p. 661-620.
- FORMAN, R.T.T; GODRON, M. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley& Sons, 1986.
- FORMAN R.T.; BAUDRY J. Hedgerows and hedgerow networks in landscape ecology. **Environmental Management**, n. 8, p.499-510, 1984.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Tradução Hermann Kux, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- LYNCH, K. **A boa forma da cidade**. MIT Press, 1981, 514 p.
- LYNCH, K. **The image of the city**. MIT Press, 1960.
- MAGALHÃES, D. M. **Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte - MG apoiada por métricas da paisagem**. 2013. 163 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Geraiil, Belo Horizonte.
- McGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A.; ENE, E. **Fragstats: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps**. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. 2012.



METZGER, J. P. **O que é Ecologia de Paisagens?** Biota Neotrópica. n.1, p. 1-9, 2001.

MOURA, A. C. M. Aplicações de modelos de mensuração de métricas de paisagem nos estudos da dinâmica de ocupação urbana no Quadrilátero Ferrífero e região metropolitana de Belo Horizonte – MG. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA*, 24. 2010, Aracaju. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2010. p. 1545 – 1554.

NOSS R.F . Protecting natural areas in fragmented landscapes. **Natural Areas Journal**, n. 7, p. 2-13, 1987.

NOSS R.F . The wildlands project: land conservation strategy. **Wild Earth** (Special Issue), p.10–25, 1992.

ROCHA N. A.; AMARAL B.A.; MOURA, A. C. M. Tecnologia da Geoinformação na identificação das vocações dos fragmentos de cobertura vegetal urbana. Poster. XIX Congresso Brasileiro de Arborização Urbana São Paulo, Editora, 2015.

STEINITZ, C. **A Framework for Geodesign: Changing Geography by Design**. ESRI Press: Redlands. 2012.

---

<sup>1</sup> **Nicole Andrade da Rocha**

Arquiteta e Urbanista. Doutoranda em Arquitetura e Urbanismo. Endereço postal: Sala 410A, Rua Paraíba, 697, Funcionários, Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, CEP 30130-140

<sup>2</sup> **Júnia Lúcio de Castro Borges**

Turismóloga. Doutoranda em Arquitetura e Urbanismo. Endereço postal: Sala 410A, Rua Paraíba, 697, Funcionários, Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, CEP 30130-140

<sup>3</sup> **Ana Clara Mourão Moura**

Arquiteta e Urbanista. Doutora em Arquitetura e Urbanismo. Docente da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. Endereço postal: Sala 410A, Rua Paraíba, 697, Funcionários, Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, CEP 30130-140