

Moura, Ana Clara M. Santa Cecília, Bruno, Pontes, Mateus. **Geoprocessamento na requalificação urbana: evolução e contexto no pensamento urbano e estudo de caso no Hipercentro de Belo Horizonte-MG, Brasil.** XIII CONFIBSIG – Conferencia Iberoamericana de Sistemas de Información Geográfica. Toluca, México. 25 a 28 de maio, 2011. 16 p.

## **GEOPROCESSAMENTO NA REQUALIFICAÇÃO URBANA: EVOLUÇÃO E CONTEXTO NO PENSAMENTO URBANO E ESTUDO DE CASO NO HIPERCENTRO DE BELO HORIZONTE-MG, BRASIL.**

ANA CLARA MOURÃO MOURA<sup>1</sup>, BRUNO SANTA CECÍLIA<sup>2</sup>, MATEUS MOREIRA PONTES<sup>3</sup>

Escola de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Minas Gerais  
Rua Paraíba 697, cep 30130-140, Belo Horizonte, MG - Brasil

<sup>1</sup> anaclara@ufmg.br, <sup>2</sup> bruno@arquitetosassociados.arq.br, <sup>3</sup> mateus.pontes@gmail.com

### RESUMO

O artigo visa apresentar uma experiência do novo currículo do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMG, onde o geoprocessamento é explorado segundo metodologias de modelagem e análise de dados espaciais. Desenvolve estudo de caso aplicado ao hipercentro de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, Brasil. É relatado estudo de caso de emprego da Análise de Multicritérios na identificação e caracterização de áreas de interesse para projetos de requalificação espacial no território. Discute o contexto de desenvolvimento do tema, desde a reflexão sobre a evolução do pensamento urbano até as reflexões das novas lógicas e práticas no planejamento urbano e, sobretudo, como se insere o geoprocessamento e a visão sistêmica favorecida pela análise multicritérios. Apresenta revisões bibliográficas que são base para outros estudos e roteiro metodológico que se aplica ao ensino de diferentes áreas da análise espacial.

Palavras chave: Requalificação urbana, ensino de arquitetura, análise multicritérios, geoprocessamento.

GIS IN URBAN REQUALIFICATION PROCESSES: EVOLUTION AND CONTEXT IN URBAN VALUES AND CASE STUDY OF THE HYPERCENTER OF BELO HORIZONTE-MG, BRAZIL.

### ABSTRACT

The article presents a new experience of the curriculum of Architecture and Urbanism, UFMG, where GIS is operated according to the methods of modeling and analysis of spatial data. Develop case study applied to the area in Belo Horizonte, state capital of Minas Gerais, Brazil. It reports a case study of use of Multicriteria Analysis to identify and characterize areas of interest for spatial regeneration projects in the territory. Discusses the development context of the subject since the debate on the evolution of urban thought until the reflections of the new logics and practices in

urban planning, and especially how it fits into the geoprocessamento and systemic view favored by the multi-criteria analysis. Presents literature reviews that are the basis for further studies and methodological guideline that applies to teaching in different areas of spatial analysis.

Keywords: Urban requalification, architecture teaching, multi-criteria analysis, GIS.

## **1. Introdução**

O novo currículo do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMG apresenta ênfase em planejamento urbano e questões de interesse social. As geotecnologias e as metodologias de modelagem e análise de dados espaciais estão sendo lecionadas nas oficinas integradas de planejamento arquitetônico e urbano.

No presente trabalho inicialmente é proposta reflexão sobre o estado da arte da inserção do geoprocessamento na evolução do pensamento urbano, justificando os motivos que fazem dos modelos de análise espacial baseados em complexa gama de variáveis representantes dos pensamentos vigentes em análise espacial urbana.

É então desenvolvido estudo de caso no hipercentro de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais, Brasil. A área está em processo de esvaziamento residencial e substituição por atividades de comércio e serviços, que resultam em degradação do espaço no período noturno e transformação do perfil de usuários. É proposto aos alunos o emprego do geoprocessamento como ferramenta para análise espacial para indicar os locais ótimos para intervenções espaciais de requalificação urbana, tais como: áreas ótimas para construção de habitações de interesse social, áreas prioritárias para a requalificação urbana, áreas prioritárias no combate aos riscos de segurança urbana, entre outros.

Para a estruturação do modelo de análise espacial são escolhidas variáveis que respondem pelo fenômeno urbano de interesse e elas são mapeadas e espacializadas como superfícies matriciais. As variáveis são combinadas por análise de multicritérios e o resultado é a classificação de todo o hipercentro segundo os graus de pertinência para a implantação da intervenção escolhida pelos grupos de alunos.

A experiência se mostrou muito rica na obtenção de análises espaciais urbanas que apresentem critérios defensáveis e que forneçam características para elaboração das propostas arquitetônicas de requalificação urbana e arquitetônica construídas pelos alunos. Ela motivou os alunos no uso dos SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) como ferramentas de trabalho para o arquiteto urbanista.

O artigo aborda a questão dos pensamentos vigentes no planejamento urbano hoje, para contextualização tanto da proposta de emprego do geoprocessamento no estudo de caso propriamente dito, assim como para compreensão das lógicas que regem o novo curso de Arquitetura e Urbanismo.

Realizado o estudo sobre a evolução do pensamento em planejamento urbano é apresentada a proposta do novo curso de Arquitetura e Urbanismo e a proposta da disciplina na qual foi desenvolvido o estudo de caso em questão.

São apresentadas as bases bibliográficas e conceituais do modelo de análise espacial empregado: Análise Multicritérios para construção de síntese de variáveis.

Uma vez caracterizado o contexto de desenvolvimento do tema, é apresentada a metodologia de trabalho de emprego do geoprocessamento na análise espacial urbana, são discutidos os resultados obtidos e elaboradas as reflexões sobre a experiência.

## **2. Estado da arte / antecedentes / revisão bibliográfica.**

A trajetória da atuação do planejador urbano percorreu etapas em que a elaboração de propostas de novos espaços e as intervenções nos espaços existentes se baseavam no ato de desenhar geometricamente no plano físico. Dominava a crença no papel do projeto, que teria o poder de definir, inclusive, o modo de vida dos usuários do espaço urbano. Neste contexto a realidade era vista de modo linear, e eram feitas previsões, resultantes de generalizações, que raramente se concretizavam. Surge, então, a consciência de que a realidade não é linear, mas absolutamente complexa e resultante da inter-relação de muitas variáveis. Uma consequência é o alerta de que, diante da frenética dinâmica espaço-temporal urbanística, não basta desenhar uma proposta para que ela se materialize.

Para se atuar na complexidade e considerar as muitas variáveis, cujas inter-relações que estão em constante mudança, uma ferramenta bastante útil é o Geoprocessamento. Contudo, é fundamental que as rotinas empregadas pela técnica sejam traduções de bases conceituais. Destaca-se o papel dos modelos de análise e o estudo de suas adequações à nova visão de espaço urbano.

De caráter multidisciplinar, o conjunto de procedimentos metodológicos do Geoprocessamento significa uma forma de diálogo entre diferentes visões sobre a análise espacial, pois permite que profissionais de diferentes formações promovam suas representações e interpretações da realidade. Os urbanistas podem contar com uma ferramenta para conjugar seus estudos com as variáveis de outros profissionais, de modo que o resultado é a síntese que caracteriza o universo espacial enfocado.

### **2.1. Do desenho urbano à abordagem sistêmica de compreensão da complexidade espacial**

As manifestações urbanísticas são a espacialização e a materialização de valores culturais e político-econômicos de uma época. As primeiras tentativas de ordenação do espaço urbano atuavam de forma a *desenhar* uma proposta de ocupação espacial, com pensamentos de época manifestados no traço do urbanista ou do responsável pela intervenção. Traçava-se o uso do espaço segundo fatores físicos, considerando os condicionantes da paisagem e a melhor forma de comunicar os valores vigentes.

As cidades barrocas, por exemplo, eram compostas por um conjunto interconectado de eixos divergentes e convergentes, tendo sua estrutura pontuada por centros nodais simbolicamente importantes e visualmente dominantes. Segundo Lynch (1987, p.380), no modelo barroco "um sistema visualmente ordenado pode ser criado em um terreno acidentado, ou em uma cidade de traçado irregular existente." A malha urbana barroca poderia ser obtida pelo roteiro sugerido por pelo autor (op.cit., p.281):

Escolha um conjunto de pontos principais ao longo de um terreno, e estabeleça estruturas simbólicas importantes nestes pontos. Conecte estes nós por vias principais, largas o suficiente para

comportarem o tráfego arterial, e conformadas como alcance visual para os pontos simbólicos ou nós. As laterais dessas ruas devem ser controladas para dar a elas o senso de unidade, através do emprego de paisagismo ou mobiliário especial, assim como as alturas, as fachadas e as restrições de uso. Uma vez feito isto, um arranjo de ruas e edificações menos controladas e de vários tipos podem ocupar o interior dos triângulos entre as ligações das vias arteriais. O modelo é, em sua representação, uma estratégia para a aplicação econômica do poder central. Ele produz forte efeito visual e determina o arranjo espacial para o simbolismo público. Em outras palavras, é um modo útil para se alcançar a sensibilidade, e para a proveitosa separação entre controle público e privado.

O modelo barroco se adaptou perfeitamente às intenções do domínio absolutista no Brasil colonial, e foi a linguagem adotada em cidades como Ouro Preto no estado de Minas Gerais (que data de 1711 e possui arquitetura barroca). Suzy de Mello (1983, p.33) explica o surgimento do urbanismo barroco na Europa como uma proposta que "buscava a integração urbana entre espaços e edificações, criando grandes sistemas viários interligando pontos de especial interesse (monumentos ou edifícios)." O barroco é, para a autora (op.cit., p.13): "A constante unidade como meio de representação formal das duas grandes forças que marcaram sua época: A Contra-Reforma e o Absolutismo que, respectivamente, correspondiam ao poder e à pompa. Assim, a grandiosidade e a magnificência que deveriam simbolizar o domínio dos reis e do catolicismo foram demonstrados com a devida riqueza pelo Barroco que, acima de tudo, valoriza o conjunto da obra artística tanto pela total integração de seus componentes de arquitetura, pintura e escultura quanto pelo seu permanente dinamismo."

Ouro Preto é expressivo exemplo do modelo barroco. A cidade nasceu junto aos locais de exploração mineral, do ouro de aluvião, e se tornou de grande importância para a Coroa. Tendo os portugueses assumido o controle do território, a morfologia barroca se adequou muito bem à modelagem urbana, pois poderia ser empregada em conjuntos já existentes, com a escolha de pontos focais para a instalação de monumentos e criação de eixos expressivos ligando esses pontos. Destaca-se o grande referencial simbólico promovido, pois nos pontos focais, para os quais se dirigiam os principais eixos visuais, foram implantados os principais monumentos da arquitetura institucional e da religiosa.

O emprego da monumentalidade, mas com destaque para as edificações civis (institucionais), em substituição à arquitetura religiosa foi também utilizado por Major Pierre L'Enfant no plano da cidade de Washington (projeto de 1791, inaugurado em 1800), por Baron Haussmann na reforma de Paris (desenvolvida entre 1853 e 1870) e por Aarão Reis no projeto de Belo Horizonte (capital do estado de Minas Gerais, projetada em 1894, inaugurada em 1897). O mais contraditório é que os planos de Washington, a reforma de Paris e o projeto de Belo Horizonte foram concebidos dentro de princípios bastante distintos do barroco: em contraposição aos valores absolutistas de provocar a complexidade de eixos visuais e de promover o desenho barroco na conformação urbana, os novos planos do século XIX objetivavam a materialização da razão: a geometria desenhava o espaço. O ponto comum é a valorização da monumentalidade, obtida pela colocação de espaços e edifícios simbólicos em pontos nodais dos eixos visuais. A grande diferença é que o barroco busca a complexidade; e a nova visão, denominada positivista, busca materializar a razão.

Cidades como Belo Horizonte foram concebidas na época em que três correntes dominavam as discussões filosóficas: o positivismo, o abolicionismo e o republicanismo. Pelos objetivos da república, deveriam ser construídas novas capitais, centralizadas no território, materializando o princípio de federação. Belo Horizonte foi o primeiro exemplo deste objetivo, e o ponto culminante foi a construção de Brasília.

A visão positivista, por sua vez, foi a inserção do pensamento moderno na ordenação urbana, pois a razão e os princípios científicos ditavam o desenho do espaço. As cidades deveriam promover boas condições sanitárias e higiênicas, com eixos de deslocamento claramente traçados, ordenamento hierárquico dos fluxos viários, e distribuição segmentada de usos urbanos. Em Belo Horizonte foi proposto um anel de contorno que demarcaria a ocupação urbana, dentro do qual grandes avenidas conformam eixos monumentais, com destaque para a Av. Afonso Pena ligando a região do Rio Arrudas com a Serra do Curral (marcos referenciais importantes). Os usos foram claramente distribuídos, com a concentração de área verde (Parque Municipal), atividades administrativas, comerciais e residenciais, chegando ao ponto de diferenciar grupos sociais nos assentamentos (como foi o caso do Bairro dos Funcionários, onde se concentraram servidores públicos).

O plano previa que a cidade chegaria a, no máximo, 200.000 habitantes, e a crença de que bastaria o desenho para definir a ocupação da cidade é fruto do pensamento modernista de que a razão controlaria a dinâmica urbana. Um século depois Belo Horizonte já alojava mais de 10 vezes este número de habitantes.

Lima (1994, p.148) assim define o que foi o projeto de Belo Horizonte e destaca o pensamento vigente do poder do desenho na ordenação espacial: "Uma atualidade que se baseava em uma ordenação geométrica, com um risco controlado no papel e onde os riscos da insalubridade seriam contidos. Cidade higiênica e, por isso, bela. Cidade vergel, acúmulo de pensamentos e práticas urbanísticas, prestes a acontecer, a um passo da modernidade."

No barroco e no positivismo, o modo de atuar do planejador urbano refletem a postura de que o desenho teria o poder de definir o *modus vivendi*, e que bastaria a visão do projetista para que fossem materializados os valores de época. Estes conceitos no urbanismo são válidos até meados do século XX e têm seu ápice no denominado "Movimento Moderno", intimamente relacionado à figura de Le Corbusier (1887 - 1965). A proposta tem como ícone a cidade de Brasília.

Para Le Corbusier um novo espírito estava sendo implantado pela era das máquinas, e cabia ao urbanista materializá-lo para responder às expectativas do novo homem e do novo mundo. Acreditava-se no "homem-padrão", no "homem-tipo", independente de valores de época, cultura ou região. O urbanista desenvolvia suas propostas baseado na racionalidade, na estética da linha reta e no uso de traçados reguladores, que seriam uma garantia contra o arbitrário. Acreditava-se ser necessário um novo espírito para habitar a cidade moderna, moldado à padronização, às casas em série e à funcionalidade.

A cidade moderna deveria ser organizada de forma a atender às funções básicas de habitar, trabalhar, recrear e circular, separadas no espaço pelo zoneamento funcional. O zoneamento funcional, ainda vigente em muitos planos diretores urbanos da atualidade, propunha a separação estanque das atividades urbanas: áreas só para o recrear, áreas só para o trabalhar, áreas só para o morar e os grandes eixos de deslocamento interligando os setores urbanos. Um morador da cidade moderna deveria ter cabeça, tronco e rodas, pois é o ritmo do automóvel que desenha os fluxos e os deslocamentos, e não mais o caminhar a pé ou o encontro ao acaso. A razão desenha, mais uma vez, o espaço: é o ápice dessa filosofia.

As propostas de Le Corbusier, materializadas em Brasília (capital do país) e em Chandigarh (na Índia), foram publicadas na "Carta de Atenas", em 1933, e tiveram amplo alcance mundial. Pode-se dizer que até hoje exercem grande fascínio nos planejadores urbanos, sobretudo naqueles que ainda acreditam que o projetista pode controlar a dinâmica espacial pela implantação de um traçado estético.

David Harvey (1992, p.39), ao falar sobre o que representou a época das propostas modernistas, coloca: "A liberdade e a libertação contemporânea dependiam de maneira vital da imposição da ordem racional. O modernismo assumiu no período entre guerras uma forte tendência positivista e, graças aos intensos esforços do círculo de Viena, estabeleceu um novo estilo de filosofia que viria a ter posição central no pensamento social pós-Segunda Guerra. O positivismo lógico era tão compatível com as práticas da arquitetura modernista quanto o avanço de todas as formas de ciência como avatares do controle técnico. Foi nesse período em que casas e as cidades puderam ser livremente concebidas como "máquinas nas quais viver"."

Como reação ao extremo racionalismo dos valores modernos, começam a surgir propostas de se pensar a questão urbana como algo mais complexo, resultante da inter-relação de variáveis e da conjugação de diferentes olhares. Em lugar da setorização estanque das atividades urbanas, discute-se a riqueza da diversidade e propõe-se a mescla de usos. Valorizam-se os lugares que geram fatos urbanos, os espaços simbólicos. O pluralismo na composição do espaço urbano é denominado de "cidade-colagem", assim definida por David Harvey (op.cit., p.53): "Enquanto os modernistas pressupunham uma relação rígida e identificável entre o que era dito (o significado ou "mensagem") e o modo como estava sendo dito (o significante ou "meio"), o pensamento pós-estruturalista os vê separando-se e reunindo-se continuamente em novas combinações."

Esta nova forma de ver as questões urbanas propõe princípios como a holística e a consciência da inter-relação entre variáveis e fenômenos ambientais. A corrente surge na década de 60 do século passado, com os estudos de Percepção Espacial, e amadurece na década de 80, já denominada de visão Pós-moderna.

O planejador sai do posto de grande criador de propostas totalizantes, de aplicação universal, para trabalhar em equipes multidisciplinares, melhor ainda se transdisciplinares, em diferentes interpretações da realidade apresentadas por diferentes profissionais. Realizam-se análises por correlações de variáveis, cruzamento de interpretações, e são considerados diferentes enfoques nas proposições. O urbanismo é uma "obra aberta".

A concretização dos novos valores em projetos de intervenção urbanística carece, contudo, de procedimentos metodológicos que possibilitem sua prática. A visão holística muito se aproxima dos princípios de abordagem sistêmica, proposta ainda na segunda metade do século XX.

Acredita-se que a prática urbanística hoje, ciente da necessidade de conjugação de complexa gama de variáveis, só é possível com o apoio das técnicas de Geoprocessamento. Por outro lado, o Geoprocessamento é uma ferramenta de aplicações de processos metodológicos que devem traduzir um modo de pensar o mundo. É na montagem de modelos de análise que está a chave para a atuação do urbanista contemporâneo. A abordagem sistêmica propõe instrumentos aplicáveis na construção de análises, sínteses e elaboração de propostas para as intervenções urbanas, sendo fundamental a consciência da complexidade da dinâmica espacial.

Destaca-se, ainda, o caráter multidisciplinar do Geoprocessamento, pois ele pode ser compreendido como uma linguagem facilitadora do intercâmbio entre profissionais de diferentes áreas, promovendo a conjugação de complexa gama de variáveis e interpretação da realidade urbana.

## 2.2. Instrumentos na construção de análises, sínteses e propostas para as intervenções urbanas

O início da segunda metade do século XX foi marcado pelo ressurgimento do positivismo, evitando a utilização de juízos de valor e defendendo uma linguagem única entre as ciências,

marcada pela matemática. É a época da Geografia Quantitativa. Essa nova face do positivismo aceita a existência de algum grau de indeterminação nas previsões futuras, passando a trabalhar com o conceito de probabilidade. Merecem destaque os trabalhos de Hettner e de Hartshorne, cujas raízes filosóficas têm caráter neokantista. Hettner elabora estudos das diferenças de porções da superfície da terra, resultantes de inter-relações. O autor, segundo Ferreira e Simões (1986, p.129), defende: “A realidade é um espaço tridimensional que observamos de três pontos de vista diferentes. Em primeiro lugar, vemos as conexões de uma inter-relação material; a partir do segundo ponto de vista, vemos o desenvolvimento no tempo; e, a partir do terceiro, a distribuição e a ordem no espaço. Portanto, devem considerar-se as ciências corológicas, juntamente com as sistemáticas e as cronológicas.”

Hartshorne retoma a obra de Hettner e trabalha os temas "área" e "inter-relações", sendo a área construída no processo de investigação, e não pré-definida. Para Hartshorne, a geografia sistemática busca princípios de relação que possam agrupar fenômenos e traçar leis generalizantes, mas muitos fenômenos são únicos, e o processo de busca de integração é sempre uma forma de moldar a realidade. As classificações promovidas pela integração resultam em perda de informação e imprecisão.

A geografia quantitativa irá se basear na lógica e na matemática. É a época da geração e utilização de modelos espaciais, baseados em métodos dedutivos. Trabalha-se com a noção de *espaço relativo*, definido pelo físico Poincaré em "*Science et méthode*", quando defende que a localização relativa de um ponto depende de sua posição em relação a outros, o que pode variar com o tempo e com a abordagem (1908, *apud* Ruelle, 1993, p.22). Pode-se assim ter uma distância-tempo no espaço absoluto diferente da distância-tempo no espaço relativo.

A consciência da variabilidade dos fenômenos e da validade das análises dentro de situações pré-determinadas é um avanço significativo, mas os modelos gerados são distantes da experiência do homem e são somente simplificações reducionistas. Muitos modelos em geografia vão apresentar caráter corológico, ou seja, interessa a disposição dos fenômenos em uma área, e não os fenômenos em si.

No final da guerra fria, as visões reducionistas da geografia quantitativa passam a ser questionadas por meio das correntes da fenomenologia e do existencialismo, que trazem a abordagem psicológica e as preocupações com os problemas sociais. Surgem, inicialmente, os estudos da geografia da percepção e do comportamento, estudando a relação entre a "imagem mental" que o usuário constrói do ambiente e seu modo de organizar o território. Na mesma época surgem, também, os estudos da geografia radical liberal, acreditando que uma nova ordem espacial poderia resultar em melhoria social.

As propostas de considerar os fatores humanos, de trabalhar com planejamento participativo, e de ter consciência da complexidade e da interatividade dos fenômenos espaciais resultou, nas últimas décadas, no surgimento de estudos baseados na visão holística. São movimentos que têm consciência de que os fenômenos espaciais estão em constante mudança e em estreita inter-relação. Com a nova consciência, caracterizada como pensamento Pós-moderno, a matemática incorpora a indeterminação. Baseia-se em conceitos como a teoria da Catástrofe e do Caos e a geometria dos fractais. Eles são regidos pela lógica Fuzzy, que rejeita as generalizações, as interpretações teóricas de aplicações universalizantes e propõem a fragmentação, as relações em perpétua mudança.

A teoria do Caos estuda os sistemas não-lineares, fenômenos que, para serem enfocados, deve-se avaliar complexa gama de fatores. Antes da conscientização a respeito da matemática do Caos, os sistemas eram vistos como lineares; podiam ser montados e desmontados que as peças se

encaixariam. Seria possível fazer previsões, uma vez que definida a reta (a explicação) você teria todos os possíveis pontos da reta (as ocorrências).

A nova proposta de tratamento matemático substitui a descrição linear pela consciência da complexidade. Na Teoria do Caos a equação se torna um processo em lugar de uma descrição; dinâmica em lugar de estática. Busca-se a "ordem na desordem", e o Geoprocessamento pode ser um importante aliado, pois permite o gerenciamento de significativo banco de dados, assim como a aplicação de algoritmos na análise e integração de variáveis.

Diante desses novos valores, as geotecnologias adquirem papel principal como facilitadoras na estruturação de coleção de dados e como ferramentas de integração das informações. A informação organizada, correta e disponível de forma ágil é um recurso estratégico e indispensável para tomar decisões adequadas e em tempo hábil. Nesse contexto, o Geoprocessamento é importante ferramenta de gestão, pois é um conjunto de tecnologias para processamento da informação cuja localização geográfica é uma característica inerente, indispensável para análise.

O termo Geoprocessamento, surgido do sentido de processamento de dados georreferenciados, significa implantar um processo que traga um progresso, um andar avante, na grafia ou representação da Terra. Não é somente representar, mas é montar um sistema e associar a esse ato um novo olhar sobre o espaço, um ganho de conhecimento, que é a informação.

As tecnologias integradas que dão suporte para a aplicação do Geoprocessamento são a Topografia, a Geodésia, o Sistema de Posicionamento Global (GPS), a Fotogrametria, o Sensoriamento Remoto (SR), a Cartografia, a Ciência da Computação e os Sistemas Informativos Geográficos (SIGs, também conhecidos como Sistemas de Informações Geográficas). Eles são fundamentais para a elaboração de conjuntos de dados, e cabe ao Geoprocessamento, através da aplicação de modelos de análise espacial, a transformação dos dados em informação, com ganho de conhecimento.

Os Sistemas Informativos Geográficos, ao buscarem formas de trabalhar com as relações espaciais ou lógicas, tendem a evoluir do descritivo para o prognóstico. Como um sistema, é um conjunto de partes que interagem; que não estão somente agregadas, mas sim correlacionadas. Em lugar de simplesmente descrever elementos ou fatos, podem traçar cenários, simulações de fenômenos, com base em tendências observadas ou julgamentos de condições estabelecidas, de modo a produzir informações espacializadas antes não perceptíveis.

Observa-se hoje uma grande difusão do SIG na produção de inventários e apoio à prática do planejamento, uma vez que permite a definição física e a análise quantitativa dos componentes sócio-econômicos, mesmo análises qualitativas, atribuindo pesos às características identificadas dentro de uma escala de valores estabelecida. Tem-se tornado o principal instrumento de planejamento urbano por possibilitar um retrato mais fiel da complexidade e permitir a integração de análises por disciplinas diversas.

### 2.3. Modelos na análise espacial

Com o objetivo de organizar os dados ambientais de modo a preparar o raciocínio para a utilização de métodos facilitadores de classificações, tanto no sentido da discretização do território como de organizações taxonômicas, Berry (1959) propôs a "Matriz Geográfica". O processo trata da representação das questões ambientais na forma de matriz x/y, colocando as variáveis nas linhas e as unidades territoriais nas colunas. A organização da matriz exige uma classificação taxonômica (escolha e apresentação das variáveis) e uma resolução espacial (segmentação da área geográfica).

Caso a matriz seja tridimensional (x/y/z), no terceiro eixo, eixo z, podem ser representadas informações sobre razões (taxas) ao longo do eixo taxonômico. Assim, é possível associar a questão tempo às análises espaciais. A matriz em três dimensões constitui a essência conceitual dos Sistemas Informativos Geográficos.

Uma vez montado o sistema, é necessário escolher lógicas de análise e integração de variáveis. Xavier-da-Silva (1999, p.1-3) explica uma delas, a lógica do V ou F, 0 ou 1: a chamada lógica Booleana. Essa lógica é aplicável em casos em que um especialista irá responder a questões sobre conhecimentos específicos, tais como: "A forma é mais importante que a cor na embalagem?". As respostas dadas cabem em um contexto no tempo e no espaço, em uma situação específica.

O autor apresenta, também, a possibilidade de utilização da Perspectiva Bayesiana, baseada no conceito de probabilidade condicional, ou seja, a probabilidade de ocorrência de um fenômeno é medida uma vez constatada a ocorrência de um outro fenômeno a ele associado. Esta lógica não pode ser utilizada em estudos exploratórios de situações ambientais desconhecidas, pois exige conhecimento prévio das possibilidades de relações entre fenômenos.

O mesmo autor defende a adequabilidade do uso da Média Ponderada nas análises ambientais. Na média ponderada, cria-se um espaço classificatório, ordinal, que pode ser também entendido como uma escala de intervalo. Esse processo pode também ser utilizado em escala nominal, desde que os eventos sejam hierarquizados segundo algum critério de valor. A ponderação deve ser feita por *knowledge driven evaluation*, ou seja, por conhecedores dos fenômenos e das variáveis da situação avaliada, ou por *data-driven evaluation*, que se refere ao conhecimento prévio de situações semelhantes.

Outra lógica bastante aplicável à complexidade ambiental é a lógica *Fuzzy*, ou nebulosa. Levine *et al.* (1988, p.97), ao discutirem o uso das probabilidades e da lógica nebulosa, explicam que "as pessoas não conseguem sempre se expressar por meio de respostas exatas." O uso de conceitos inexatos é chamado de lógica nebulosa, que melhor se aproxima da complexidade da realidade, pois permite lidar com conceitos imprecisos dependentes da intuição e avaliações humanas.

Trabalhar com a lógica *Fuzzy* é classificar segundo grau de pertinência. Segundo Bonham-Carter (1994, p. 291) ela é definida por: "Em uma teoria clássica, o grau de membro em um conjunto é definido como falso ou verdadeiro. O grau de membro em um conjunto *Fuzzy*, contudo, é expresso por uma escala contínua que vai de 1 (maior grau de membro, maior pertinência) a 0 (menor pertinência)."

Xavier-da-Silva (1999) acredita que a função de pertinência na análise ambiental é medida pela probabilidade de ocorrência de um fenômeno, como ocorre na lógica *Fuzzy* ou na Média Ponderada. Para dar respostas, ainda que dentro de faixas de probabilidade, elas devem ser geradas em discussões organizadas, como a aplicação do método *Delphi* ou a consulta a especialistas (*experts*).

A complexidade em trabalhar com análise ambiental está, justamente, na capacidade de se perceber as constantes mudanças espaço-temporais e o valor relativo (e não absoluto) das diferentes variáveis que compõem o sistema. Uma realidade percebida aqui e agora não é mais percebida em um momento seguinte ou em outro espaço. Além disso, a distribuição das ocorrências não é homogênea, mas condicionada por rugosidades da composição social e territorial.

Por mais que os encantos da técnica nos seduzam e nos levem a acreditar numa realidade virtual modelada pelo Geoprocessamento, há de se destacar a importância do embasamento conceitual que fornece os pilares para a geração dos modelos de análise. O Geoprocessamento é

caracterizado por técnicas de aplicação de processos metodológicos de análise espacial, em adoção de modelos que são simplificações da complexa realidade.

Entre os modelos de análise espacial existentes, destaca-se o de Análise de Multicritérios. Moura (2007, p. 2900) explica que a metodologia de análise de multicritérios é bastante adequada para o emprego das geotecnologias na criação de sínteses de variáveis cujo objetivo é a identificação de áreas prioritárias para algum fenômeno ou arranjo geográfico. A autora defende: *“O procedimento de análise de multicritérios é muito utilizado em geoprocessamento, pois se baseia justamente na lógica básica da construção de um SIG: seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno, já realizando um recorte metodológico de simplificação da complexidade espacial; representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação; discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados; promoção da combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas.”*

Para a aplicação da metodologia, o primeiro passo é a definição dos objetivos (a síntese que se pretende obter a partir da combinação de variáveis) para a seleção de temas de mapeamento e estruturação da base de dados cartográfica e alfanumérica.

Estruturada a coleção de dados, eles são trabalhados na forma de mapas temáticos ou planos de informação que retratam superfícies potenciais de distribuição da variável. Os planos de informação podem ser armazenados em formato vetorial ou matricial, mas há fortes tendências para o predomínio das operações dos modelos em formatos matriciais (*raster*). A questão se justifica pela relação de topologia implícita ao processo matricial, o que não só otimiza o cruzamento de dados, como também é condição *sine qua non* em alguns modelos.

Devem ser organizadas camadas de informação na forma de mapas temáticos, e elas devem ser convertidas para formato matricial com controle do tamanho da unidade territorial de integração dos dados, o que significa definição da resolução ou do tamanho do pixel da matriz. Quando as camadas de mapeamento das variáveis são resultantes de fontes de diferentes escalas, deve-se optar pela de pior resolução, de menor detalhe, e converter as demais para esta resolução. O critério de escolha da resolução é dado pelo padrão de exatidão cartográfico (0.5 mm na escala do mapa a partir do qual a camada foi gerada, quando ele é de qualidade A) ou pela acurácia visual (0.2 mm na escala da fonte). A resolução pode também ser definida segundo a dimensão de interesse de análise espacial, segundo os objetivos definidos pelo pesquisador. Como exemplo, se um mapa tem como fonte a escala 1:10.000, o pixel mínimo na escolha da resolução é de 5 metros, mas o pesquisador pode optar pelo pixel de 20 metros caso esta dimensão de resposta territorial atenda bem aos seus objetivos de investigação.

Uma vez estruturadas as variáveis em camadas de informação, são propostos modelos de combinação dessas variáveis. Moura (2007, p. 2902) explica a lógica de combinação de variáveis: *“O emprego da Média Ponderada cria um espaço classificatório, ordinal, que pode ser também entendido como uma escala de intervalo. Esse processo pode também ser utilizado em escala nominal, desde que os eventos sejam hierarquizados segundo algum critério de valor. A ponderação deve ser feita por "knowledge driven evaluation", ou seja, por conhecedores dos fenômenos e das variáveis da situação avaliada, ou por "data-driven evaluation" que se refere ao conhecimento prévio de situações semelhantes. Nesse processo, a possibilidade de se ponderar de modo inadequado uma situação é o inverso do número de ponderações atribuídas.”*

A Árvore de Decisões é um fluxograma que demonstra como serão combinadas as variáveis pelo processo de álgebra de mapas. Neste trabalho a álgebra adotada foi de média ponderada, sendo os pesos e notas sugeridos por especialistas que dominavam tanto o fenômeno retratado em cada mapa, como tinham conhecimento específico sobre o território de estudo. É apresentado exemplo de Árvore de Decisões para combinação de variáveis ([figura 1](#)).

### **3. Materiais, dados e métodos**

A metodologia de trabalho é desenvolvida em 4 etapas: A primeira etapa é a apresentação das bases conceituais em geoprocessamento e análise espacial, ilustrada por exemplos de outros estudos de caso de síntese de variáveis para a caracterização de potenciais e limitações em usos do solo. A segunda etapa é a apresentação da coleção de dados cartográficos e alfanuméricos existentes, assim como a orientação sobre a montagem do Sistema de Informações Geográficas. A terceira etapa é a de montagem do modelo de análise espacial por Análise Multicritérios e a obtenção os mapas de síntese de variáveis. A quarta etapa é o trabalho de campo para calibração e validação dos resultados, assim como a definição do projeto de requalificação urbana para a área escolhida para a intervenção.

#### **3.1. Apresentação das bases conceituais para as atividades**

Os alunos recebem como material de leitura artigos sobre o estado da arte em geoprocessamento, sobre um estudo de caso de aplicação do geoprocessamento em projeto de requalificação de favelas em Belo Horizonte, e sobre reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios.

Além do material de leitura, é apresentada aula expositiva sobre o roteiro de aplicação do geoprocessamento na análise espacial ([figura 2](#)), sobre onde e como obter dados para análise espacial e as aplicabilidades desses dados, sobre como estruturar um Sistema de Informações Geográficas, quando e porque trabalhar com dados vetoriais e matriciais, como escolher a resolução da matriz da análise espacial e preparar as camadas de informações, a forma de estruturar uma Árvore de Decisões, e o modo de atribuir pesos e notas às variáveis componentes do sistema.

#### **3.2. Apresentação da coleção de dados cartográficos e alfanuméricos**

Os alunos recebem significativa coleção de dados cartográficos e alfanuméricos da área, entre os quais o detalhamento do uso e ocupação dos lotes. Entre as informações estão tabelas de caracterização por edificação que informam o número de pavimentos, o uso, o estado de conservação, os níveis e tipos de degradação, se existem tombamentos ou níveis de proteção d patrimônio. Recebem informações sobre a distribuição de áreas de lazer, cultura, bancos, comércios, postos de saúde. A base cartográfica é bastante detalhada, apresentando elementos urbanísticos e projeções das edificações. Recebem também imagens de satélite de alta resolução.

Cabe aos alunos analisar a coleção de dados e definir entre as variáveis disponíveis aquelas que respondem ao seu motivo de investigação e devem ser tratadas de modo a serem utilizadas na

análise espacial. Os alunos trabalham em grupos, e nesse momento o grupo deve definir o seu objetivo de análise para a seleção das variáveis.

Se um grupo, por exemplo, opta por identificar lugares ótimos para a implantação de uma habitação de interesse social, pode ser critério do grupo selecionar áreas que possuem infraestrutura de comércio e serviços bem estruturada, áreas cuja condição de conservação permitem investimentos financeiros acessíveis (se já estão mais degradadas é mais fácil obter maiores áreas e a requalificação é um benefício para o entorno), ou mesmo áreas onde seja possível realizar demolições ou que já se encontrem vazias (segundo o número de pavimentos das edificações).

O grupo deve se empenhar com muito cuidado nesta etapa. O geoprocessamento não pode ser visto como mero instrumento de combinação de variáveis e o mapa síntese final como uma verdade sem que os passos da escolha de variáveis sejam muito bem pensados. O grupo precisa ter claro o seu objetivo no projeto de intervenção de requalificação, assim como indicar com segurança as variáveis que melhor respondem por aquele fenômeno investigado.

### 3.3. Montagem do modelo de análise espacial por Análise Multicritérios e a obtenção os mapas de síntese de variáveis.

Os alunos, uma vez escolhidas as variáveis de trabalho, realizaram a conversão de dados vetoriais para dados matriciais, através da definição da resolução (unidade territorial de integração dos dados que corresponde à célula da matriz – [figura 3](#)) e da escolha, muitas vezes, de interpoladores espaciais ([figura 4](#) e [figura 5](#)).

A escolha da unidade territorial de integração, que se traduz no pixel, foi consensuada como de 10 metros, pois assim as respostas saíam em dimensão territorial um pouco menor que os lotes urbanos.

Uma vez prontas todas as camadas de informação em formato raster (matricial), os alunos devem estruturar a Árvore de Decisões e definir o modo de integração das variáveis, os pesos atribuídos a cada variável e as notas para seus componentes de legenda. Por exemplo: se a variável “número de pavimentos” foi escolhida porque era expectativa do grupo localizar áreas onde podem ser realizadas demolições para a construção de uma nova edificação, eles devem atribuir o peso para esta variável em 100%, em relação ao conjunto das demais variáveis na Análise Multicritérios. Além do peso, a legenda do mapa “número de pavimentos” foi dividida em de 0 a 2 pavimentos, de 3 a 5 pavimentos, e acima de 5 pavimentos (justificado pelo fato de que a partir de 5 pavimentos o edifício possui elevador e o custo de compra pode inviabilizar a escolha da área), é necessário atribuir nota de 0 a 10 para cada uma dessas legendas, sendo 0 atribuído à pior condição para o objetivo da análise e 10 a melhor condição.

Para a definição das variáveis, o peso de cada variável e a nota de cada componente de legenda, o grupo aplica uma abordagem de maximização de consenso, através do método Delphi, para obter a síntese das opiniões dos alunos componentes do grupo.

Em seus princípios metodológicos, o método *Delphi* na obtenção dos pesos e notas baseia-se na escolha de um grupo multidisciplinar de especialistas, que conheçam bem o fenômeno e melhor ainda se conhecerem bem a realidade espacial onde ele se localiza. A esses especialistas é solicitado que indiquem e depois hierarquizem as variáveis (ou planos de informação) segundo a ordem de importância para a manifestação ou ocorrência de fenômeno estudado. Exemplo: para a geração do mapa de *Síntese de identificação das áreas mais degradadas*, quais são e qual é a ordem

de importância das variáveis escolhidas? Uma vez recebidas respostas do grupo, realiza-se a seleção da média e a indicação do predomínio nas manifestações.

O especialista então recebe o resultado da consulta e é solicitado a rever suas posições – caso ele tenha firmeza das suas escolhas, mantém suas respostas, mas caso ele decida ajustar suas avaliações diante da resposta do grupo, ele manifesta nova opinião. A partir da média das respostas do grupo são determinadas as variáveis a serem mapeadas, para posteriormente combiná-las por processo de álgebra de mapas.

No estudo de caso do hipercentro muitos grupos realizaram a combinação de variáveis em duas etapas: a primeira através da síntese, por média ponderada e empregando os valores obtidos no Delphi, e na segunda etapa aplicando fatores de exclusão, na forma de álgebra de mapas de multiplicação das matrizes para recorte de condições que não poderiam sequer ser cogitadas. Exemplo: uma vez identificadas as áreas ótimas para a proposição de instalação de habitações de interesse social, foram excluídas aquelas edificações que eram caracterizadas como patrimônio tombado e nas quais haveria restrições de uso e intervenções.

### 3.4. Trabalho de campo para calibração e validação dos resultados

Nessa etapa os alunos avaliam os resultados obtidos na Análise de Multicritérios e vão a campo para validação dos resultados ou para a proposição de calibração do modelo. Uma vez realizado esta observação, eles propõe o projeto de requalificação urbana para a área escolhida para a intervenção, inclusive justificando a escolha da área.

## 4. Descrição e análise dos resultados

Como cada grupo define seus objetivos, escolhe suas variáveis, e realiza a Análise de Multicritérios segundo pesos e notas que caracterizam o pensamento e os valores do grupo, há diferentes respostas dos estudos realizados. Há uma grande diversidade das análises realizadas, de modo que apresentamos algumas delas.

Foram muitos os grupos que já fizeram esta prática n Laboratório de Geoprocessamento da Arquitetura. Selecionamos aleatoriamente alguns exemplos de promoção de síntese de variáveis segundo diferentes objetivos. Demonstramos exemplos de indicação de lugares para indicados para a instalação de área de habitação de especial interesse social ([figura 6](#)), lugares mais indicados para a construção de um hotel com vistas à requalificação urbana ([figura 7](#)) e lugares mais propensos à degradação espacial ([figura 8](#)).

## 5. Discussão e resultados da avaliação

A atividade de síntese de variáveis para seleção de lugares ótimos para as intervenções de requalificação no hipercentro de Belo Horizonte cumpre vários propósitos do processo pedagógico da disciplina.

Inicialmente, o de instrumentalizar alunos para utilizarem as geotecnologias, através do emprego de softwares comerciais e de softwares livres mais conhecidos no mercado.

Cumpra também o papel de apresentar aos alunos uma situação bastante real e complexa, na qual eles devem ter clareza de seus objetivos e se posicionarem frente a suas escolhas. Para definir os motivos, o como, e o onde fazer um projeto de requalificação de edificações e áreas urbanas eles devem construir muitas reflexões. Devem se posicionar sobre questões sociais, ambientais, normativas e leis, valores vigentes e, sobretudo, devem compreender como se insere o processo metodológico de análise espacial realizado hoje frente à evolução dos princípios de planejamento urbano, conforme apresentado no início do presente artigo.

Os alunos aprendem a trabalhar em grupos, mas aprendem também uma técnica de maximização de consensos para integração de variáveis, o método Delphi, que será muito útil quando eles tiverem que lidar com sínteses de opiniões em projetos com planejamento participativo.

Finalmente, os alunos compreendem que não há verdades absolutas e respostas únicas. Toda análise espacial apresenta resultados que são recortes que traduzem os valores do pesquisador e de sua cultura, dentro de um recorte temporal e espacial. Eles aprendem a lidar com a visão sistêmica e a ponderar as muitas possibilidades na compreensão e caracterização de um território.

## **6. Conclusões**

Foi um desafio e uma conquista levar o geoprocessamento para o curso de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Arquitetura da UFMG. A temática tem sido explorada em cursos de Geografia, de Engenharia Ambiental, de Cartografia e em alguns outros, mas na maioria em estudos de caso inseridos em disciplinas, em projetos de pesquisa. Poucos são aqueles que apresentam a temática de Geoprocessamento como disciplina.

Na Escola de Arquitetura o tema ainda não é uma disciplina individual, mas é abordado em algumas disciplinas de caráter instrumental e de caráter prático, como é o caso das oficinas. Os alunos têm o primeiro contato com o tema na Oficina de Cartografia e Topografia, no primeiro semestre do curso. Depois o geoprocessamento é amplamente empregado na Oficina de Planejamento Urbano e dá apoio ao estudo de caso aqui apresentado na Oficina Integrada de Arquitetura e Urbanismo.

O interesse tem crescido significativamente, pois o tema é muito bem aceito pelos alunos e já existe um movimento de interesse por parte dos professores que ainda não utilizam as ferramentas. O arquiteto é um profissional que tem muito interesse por todos os recursos de expressão gráfica para o seu trabalho, e está sempre apto a inovações. Da mesma maneira que os projetos arquitetônicos são hoje apresentados em tratamentos gráficos de alta qualidade, os projetos urbanísticos também devem investir nesse sentido.

É tarefa do urbanista conseguir comunicar à comunidade a sua proposta de projeto, e as ferramentas de geoprocessamento favorecem a compreensão dos motivos de escolha que levam o projetista a realizar as suas proposições. Favorecem também a comunicação das propostas e a simulação das mudanças que ocorrerão a partir da implantação do plano de intervenção.

Destaca-se que a qualquer momento a comunidade pode questionar as variáveis escolhidas, o valor atribuído a cada variável e os objetivos definidos pelo urbanista. O geoprocessamento proporciona a revisão de cada etapa de trabalho, através da calibração do modelo e geração de novos resultados que se adaptem melhor aos valores dos usuários.

O geoprocessamento se apresenta como significativo apoio à tomada de decisões, como uma ponte de comunicação entre projetistas e comunidade, e como um conjunto de ferramentas que busca ganho de conhecimento através das análises espaciais. Os resultados obtidos têm o poder de

inquietar o projetista e de exigir que ele tenha muita segurança conceitual e metodológica para realizar as suas investigações e torná-las públicas à comunidade.

### Referências bibliográficas

- BERRY, Brian. (1959) : A note concerning methods of classification. *Annals of the Association of American Geographers*, Washington, v. 48, pp. 300-303.
- BONHAM-CARTER, Graeme F. (1994): *Geographic Information Systems for Geoscientists; modelling with GIS*. Ottawa: Pergamon.
- FERREIRA, Conceição C., SIMÕES, Natércia N. (1986): *A evolução do pensamento geográfico*. Lisboa: Gradiva.
- HARVEY, David. (1993): *Condição pós-moderna*. São Paulo: Loyola. pp. 69-96.
- LEVINE, Robert I., DRANG, Diane E., EDELSON, Barry. (1988): *Inteligência artificial e sistemas especialistas*. São Paulo: McGraw-Hill. pp.97-128.
- LIMA, Fábio J. M. (1994): Memória, identidades e utopia; a um passo da modernidade na Belo Horizonte do final do século XIX. *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, Belo Horizonte: PUC-MG, n. 2, pp.137-148.
- LYNCH, Kevin. (1987): *Good city form*. Massachusetts: MIT Press.
- MELLO, Suzy de. (1983): *Barroco*. São Paulo: Brasiliense.
- MOURA, Ana Clara M. (2003): *Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano*. Belo Horizonte: Ed. da Autora.
- MOURA, Ana Clara M. (2007): Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. *Anais do XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis, INPE. pp. 2899-2906.
- RUELLE, David. (1993): *Acaso e Caos*. São Paulo: UNESP, pp.17-23.
- XAVIER-DA-SILVA, Jorge. (1999): *Estruturas lógicas de análise e integração*. Rio de Janeiro: Lageop.
- ZEVI, Bruno. (1978): *Saber ver a arquitetura*. São Paulo: Martins Fontes.

### FIGURAS

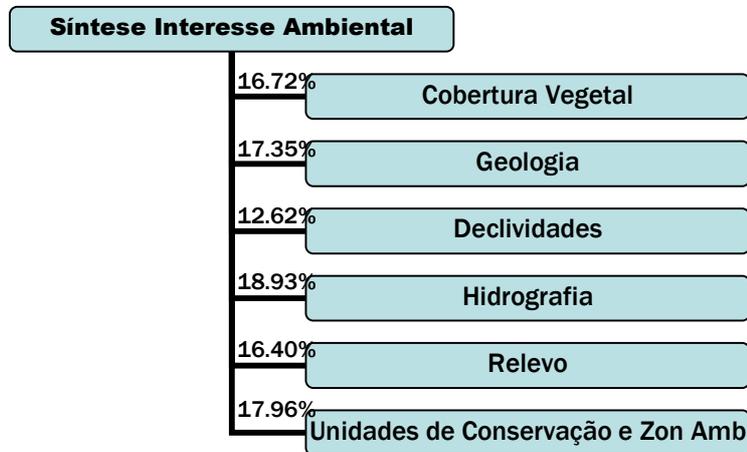


Figura 1 - Árvore de Decisões no exemplo de estruturação de Síntese de Interesse Ambiental

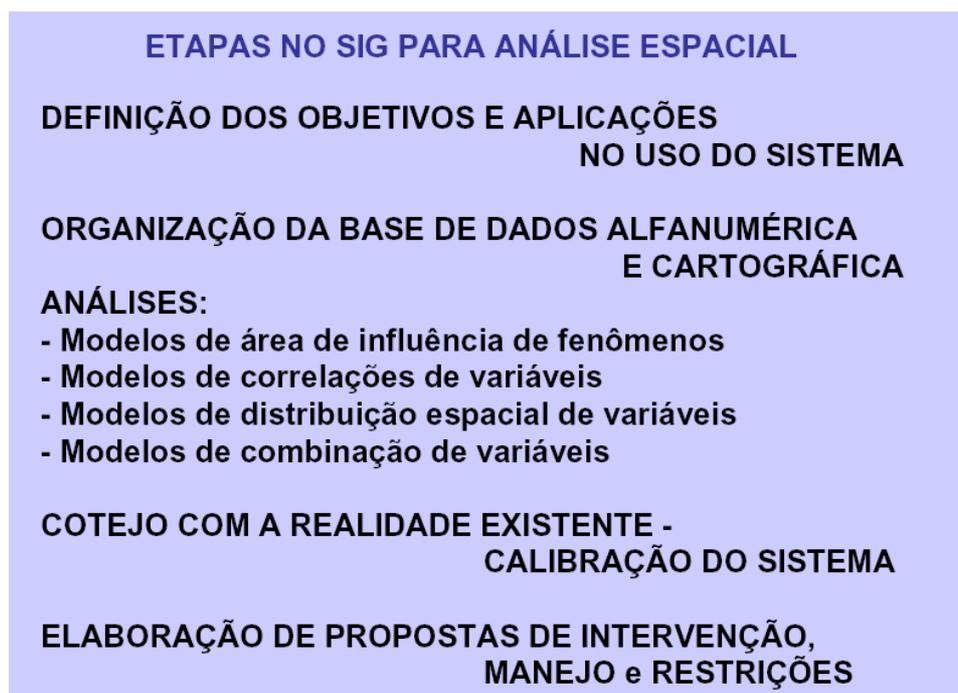


Figura 2 – Roteiro e etapas na estruturação do SIG para análise espacial

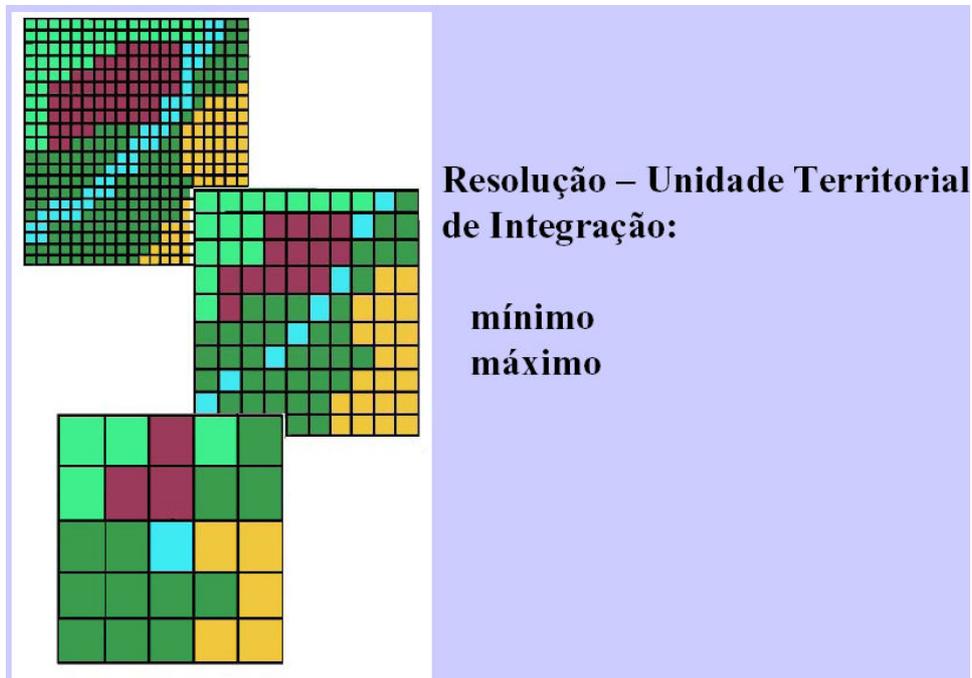


Figura 3 – Escolha da resolução ou tamanho do pixel da matriz de análise espacial

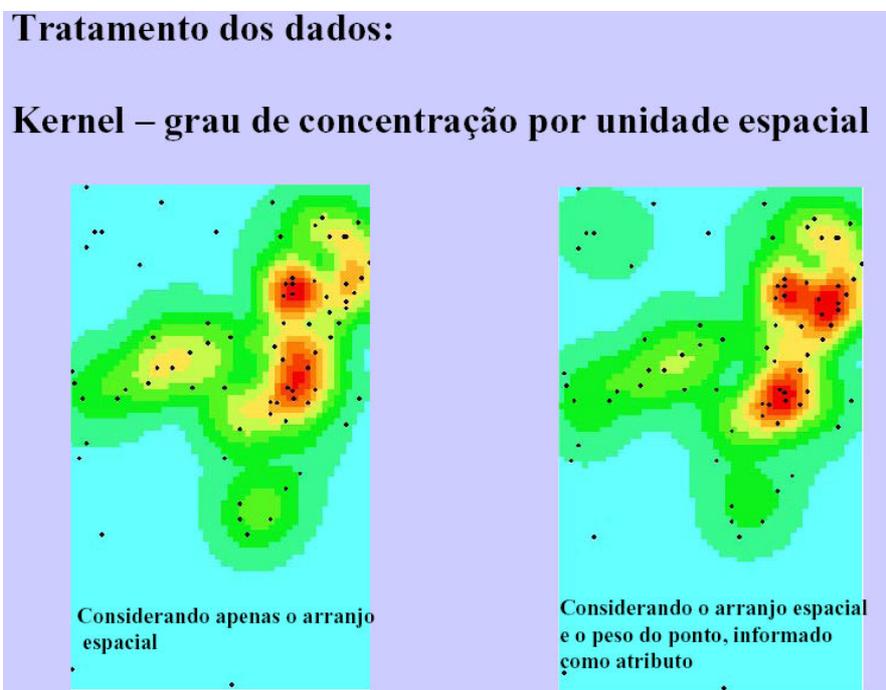
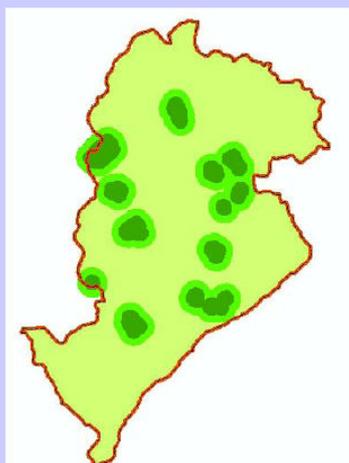


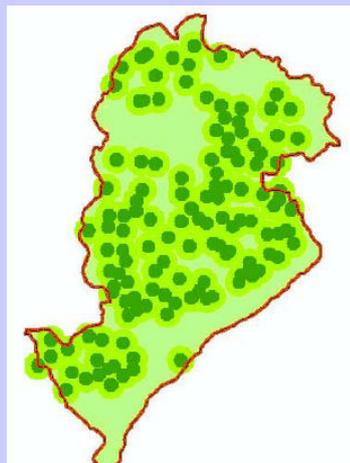
Figura 4 – Escolha de interpoladores para o mapeamento das variáveis – Exemplo do Kernel

## Tratamento dos dados

### Buffer – Áreas de influência regulares

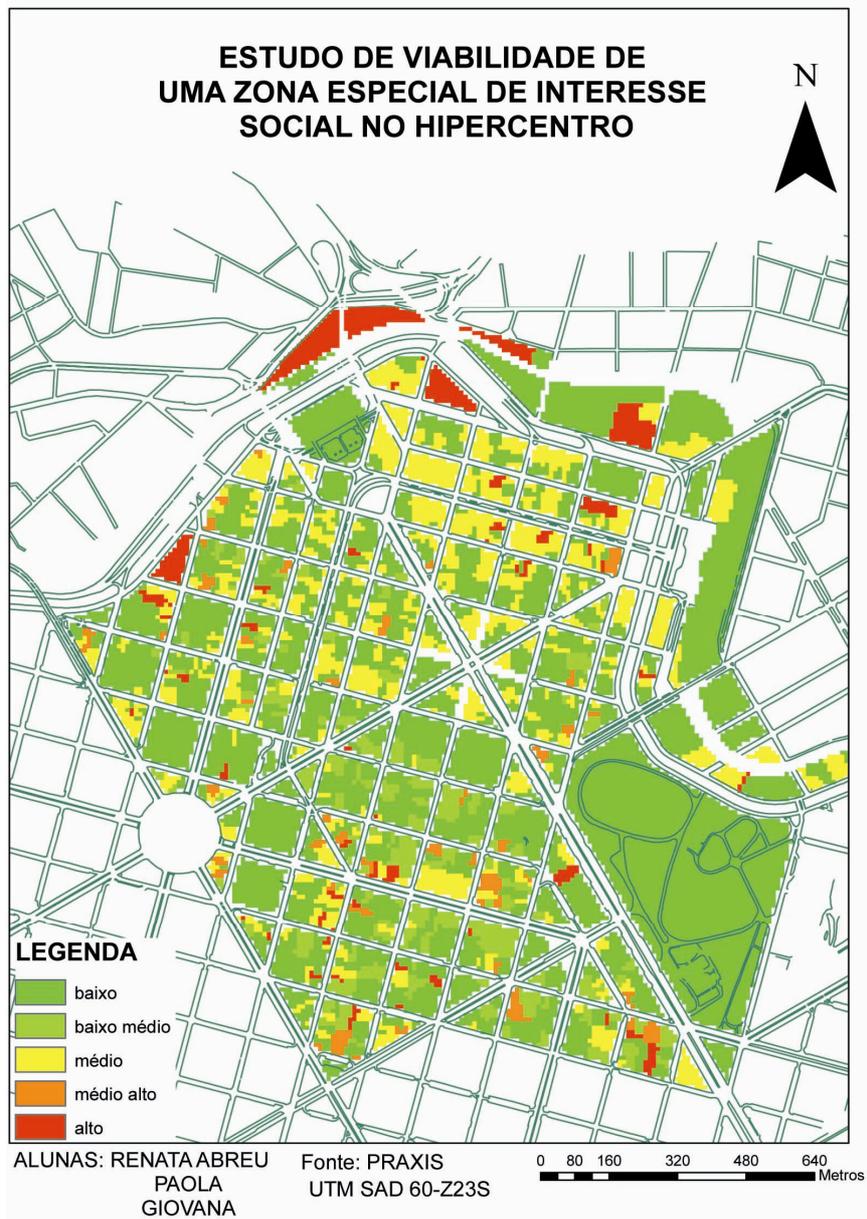


Proximidade a áreas de lazer (pontuais)

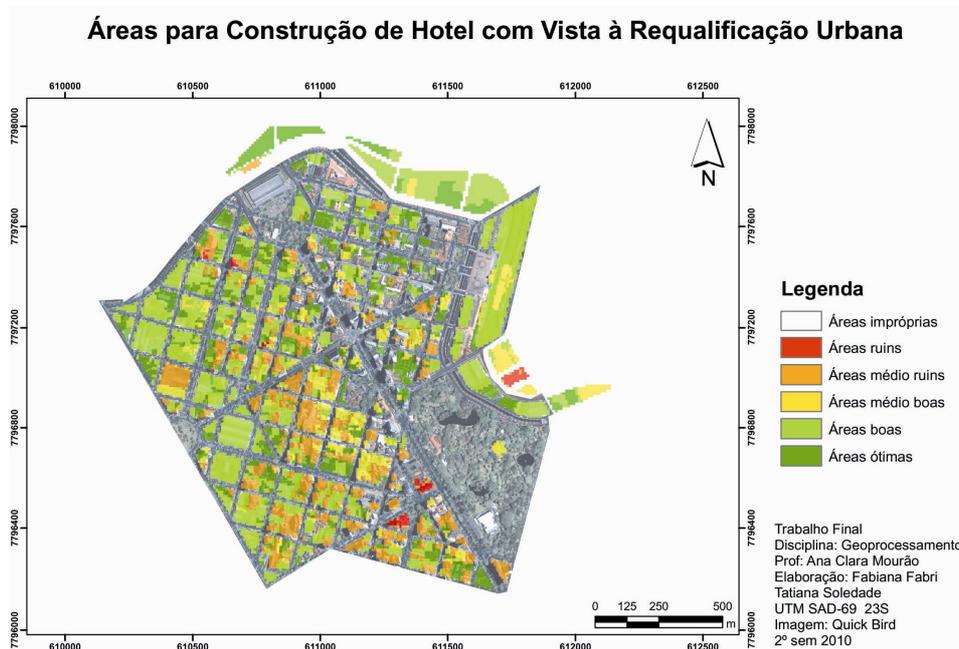


Proximidade a centros de saúde

Figura 5 – Escolha de interpoladores para o mapeamento das variáveis – Exemplo do Buffer

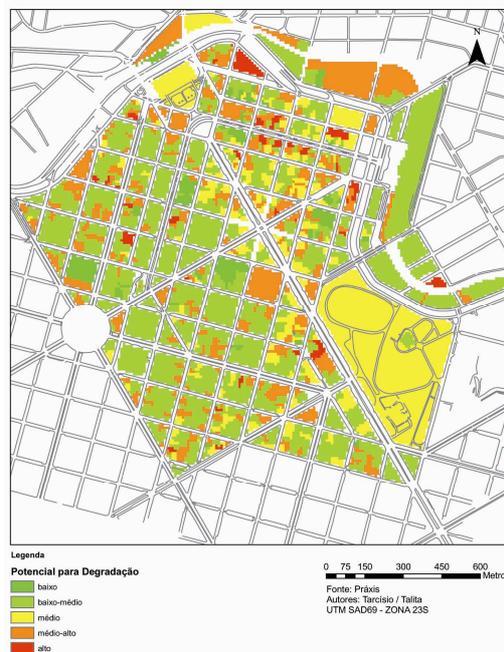


**Figura 6 – Exemplo de análise espacial para identificação de áreas propícias para a instalação de ocupações de interesse social.**



**Figura 7 – Exemplo de análise espacial para identificação de áreas propícias para a instalação de hotel com vistas à requalificação urbana.**

**Áreas Propensas à Degradação Espacial no Hipercentro de Belo Horizonte**



**Figura 8 – Exemplo de análise espacial para identificação de áreas com propensão à degradação espacial.**