

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 1

ANÁLISE DE POTENCIAL LOCAL PARA RECEBER ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS NO SISTEMA
URBANO DE BELO HORIZONTE, USANDO GIS.

AUTORES

RESUMO

O presente artigo compõe parte dos estudos realizados para dissertação de mestrado no programa de Engenharia Urbana pela UFRJ. O conceito sistêmico de planejamento urbano e o engajamento com o modal ferroviário motivaram este estudo. Busca-se, com essa proposta de projeto, indicar a importância de uma análise integrada na etapa do planejamento: escolha de locais em potencial para receber estações ferroviárias. O objetivo desse artigo é analisar e aplicar metodologias integradas para investigar locais em potencial de novas estações ferroviárias numa dada área, preferencialmente em perímetro urbano consolidado, com especial ênfase na utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (GIS). Com o auxílio das ferramentas de estatística espacial foram criados cenários em uma região específica do município de Belo Horizonte e o resultado da análise, através de um indicador estatístico R^2 permitiu concluir que as variáveis explanatórias do modelo conseguem explicar 69% do cenário sugerido pelas 5 cinco estações ferroviárias propostas.

Palavras chave: Regressão Geograficamente Ponderada (GWR), Planejamento Urbano, Sistemas De Informações Geográficas (GIS), Estação Ferroviária.

INTRODUÇÃO

À medida que mais centros urbanos consideram a implementação de sistemas de transporte multimodais, uma atenção significativa tem sido colocada no transporte ferroviário como uma alternativa viável. As cidades estão considerando a ferrovia como um meio para reduzir o uso do automóvel particular, atualmente o principal meio de deslocamento. Busca-se, com essa proposta de projeto, indicar a importância de uma análise integrada na etapa do planejamento: escolha de locais em potencial para receber estações ferroviárias.

O conceito de planejamento urbano e gestão pública evoluiu consideravelmente nas últimas décadas. Essa evolução foi induzida pelo crescimento das cidades que foram afetadas pela expansão urbana e pelo uso excessivo do automóvel. Desta forma, precisou-se considerar no processo de gestão urbana, termos antes não empregados, como mobilidade sustentável, poluição atmosférica e sonora, bem como consumo de energia e tráfego, Ciaffi (2014).

Atualmente, a população tem uma relação estreita com o transporte, devido à necessidade de locomoção no percurso casa-trabalho, principalmente nos horários de pico, tornando-se inconcebível uma sociedade moderna onde não haja vários meios de transportes públicos disponíveis. Esta situação é visível nos grandes aglomerados urbanos que cresceram de forma rápida e muitas vezes sem planejamento, desconsiderando pontos importantes como uso do solo, localização e traçado dos sistemas, o meio ambiente e a

relação do usuário com o meio de transporte e seu entorno, todos relevados á segundo plano.

As viagens pendulares (casa-trabalho casa-escola) podem ser consideradas uma das variáveis de maior importância dentro do planejamento de transportes. Segundo Corrêa et al. (2002), os movimentos pendulares também estão na base da produção econômica e da vida social.

Desta forma, o transporte ferroviário de passageiros se apresenta como solução viável para minimizar os problemas causados pelos movimentos pendulares, uma vez que, quando planejado e retroalimentado por outros modos de transporte, pode transferir a demanda do automóvel para um sistema de alta capacidade.

O Reino Unido é um exemplo de utilização em larga escala deste tipo de modal, comprovado atualmente pelo elevado número de estações ferroviárias recentemente abertas. Para satisfazer adequadamente essa mudança de comportamento da sociedade a rede ferroviária no Reino Unido precisará ser um sistema dinâmico assim como em outros países da Europa como Alemanha e Holanda (Blainey, 2013). Entretanto ainda segundo Blainey não existe um consenso sobre procedimentos e avaliações de escolhas de locais de novas estações ferroviárias. O departamento de transporte do Reino Unido possui um guia de demanda, avaliação e previsão de novas estações, porém muitas vezes é difícil colocá-lo em prática. Para que um grande leque de elementos possam ser considerados nessas avaliações e previsões o uso dos sistemas de informações geográficas (SIG) são elementos chave de ligação desse processo.

OBJETIVO

O objetivo desse artigo é analisar e aplicar metodologias integradas para investigar locais em potencial de novas estações ferroviárias numa dada área, preferencialmente em perímetro urbano consolidado, com especial ênfase na utilização dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Através dessas análises com o auxílio das ferramentas de geoprocessamento e estatística espacial serão criados cenários em uma região específica do município de Belo Horizonte e o resultado da análise permitirá dizer o quanto as variáveis explanatórias são capazes de explicar a escolha dos locais em potencial dessa região.

JUSTIFICATIVA

Muitos esforços no sentido do desenvolvimento sustentável dos transportes e da utilização dos solos promovem estratégias de concentração em torno dos nós em transportes públicos (Verhetsel e Vanelander, 2010). A partir desse conceito, as estações ferroviárias tornaram-se um tema chave no planejamento urbano e sustentável das cidades. (Calthorpe, 1993, Bruinsma et al., 2008, Peek e Louw, 2008). A operação e o desenvolvimento de estações requerem a integração de múltiplos atores e interesses (Bertolini e Spit, 1998; Wolff, 1999; Wucherpfennig, 2006). Trata-se, portanto, principalmente das empresas de infra-estruturas imobiliárias ou ferroviárias responsáveis pela coordenação do desenvolvimento destas estações. Normalmente, essas empresas operam um número significativo de estações. A SBB Infrastructure na Suíça, que opera mais de 700 estações (quase metade de todas as estações na Suíça), a DB Station & Service na

Alemanha operando mais de 5400 estações, a SNCF Gares & Connexions na França operando mais de 3000 estações, China Railway Network operando mais de 3900 estações.

Os impactos gerados da ausência de planejamento atingem principalmente as classes com menor poder aquisitivo. Dado que, contrário dos EUA, as regiões de subúrbio Brasil são ocupadas, em sua maioria, por população de classe baixa que demandam de transporte público para chegar até os grandes centros em busca de trabalho, educação, saúde e lazer. Desta forma, o sistema de transporte ferroviário contribui para a inclusão social, oferecendo as mesmas escolhas se comparado aos indivíduos que moram em áreas mais desenvolvidas.

Segundo Cardozo et al. (2009), o transporte ferroviário funciona como uma ferramenta eficaz para a mobilidade urbana pois apresenta melhores custos de consumo, energia e espaço viário por passageiros, além de taxas de emissão de poluentes menores se comparado ao transporte individual. Assim, a inclusão social é diretamente proporcional aos investimentos na rede urbana, interurbanas e inter-regionais.

No entanto, uma das grandes dificuldades relacionadas à gestão dos transportes públicos é fornecer, aos órgãos administrativos, informações básicas que permitam um conhecimento integrado dos problemas, bem como a utilização de processos efetivos e eficientes de planejamento (SILVEIRA & BARROS FILHO, 2006). Sob esta perspectiva os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), ou, simplesmente, Sistemas de Geoinformação, destacam-se por possibilitarem a análise e simulação de dados comumente dispersos e independentes oriundos de diversas fontes, se mostrando um hábil instrumento de apoio à tomada de decisão.

A FERROVIA COMO ELEMENTO CONSTITUTIVO DO ESPAÇO GEOGRÁFICO

A ferrovia, que surgiu no início do século XIX, contribuiu para o início de uma nova sociedade, de uma nova relação entre agentes, países e regiões e para uma formação espacial muito mais complexa.

Esta nova realidade alterou profundamente as relações econômicas entre diferentes localidades, reduziu a distância medida em tempo e custo e formou grande parte das cidades que conhecemos atualmente. Com as ferrovias foi o começo do fim do isolamento das pessoas e das regiões.

As trocas mercantis aumentaram e contribuíram para o surgimento de regiões especializadas em determinado tipo de produto. As empresas, até então de abrangência local, passaram a atuar nas escalas nacional e internacional, necessitando, portanto, de novas técnicas e normas para gerir os recursos materiais e imateriais. A organização das empresas foi possível também graças ao surgimento do telégrafo, que evoluiu junto com as ferrovias.

CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS

Uma estação de trem de passageiros é uma construção na qual se pode embarcar ou desembarcar, entrar ou sair do sistema de transporte. Usualmente, consiste em pelo menos um edifício para passageiros mais outras instalações associadas ao funcionamento da ferrovia (Juhnke, 1968).

Inseridas no ambiente urbano, as estações ferroviárias servem como elemento de ligação das duas áreas divididas pela ferrovia. Podem compartilhar o mesmo espaço físico

com outros tipos de transporte, como ônibus, automóveis, exercendo a função de polo de integração modal. Muitas atividades urbanas são executadas no seu espaço interno e no seu entorno. De um modo geral, são alocados na sua vizinhança vários tipos de uso de solo. Com essa configuração, elas se inserem como objeto de estudo da Geografia.

Segue abaixo o resumo exemplificado de alguns modelos conceituais elaborados por estudiosos que contribuíram para o desenvolvimento dos projetos e estudos de estações ferroviárias:

- O modelo de nó de lugar de Bertolini descreve as estações ferroviárias a partir de duas perspectivas: como nós na rede de transporte, e como lugares no sistema de infra-estrutura (Bertolini, 1996, 1999). Representar nó e colocar valores de estações em um diagrama bidimensional descreve a relação de transporte (conectividade de rede) e uso de terra (intensidade e diversidade de usos na área de captação) de cada estação. Os desequilíbrios tornam-se visíveis. Bertolini assume uma tendência para funções de posicionamento e nó equilibradas. O modelo pode assim ser interpretado para identificar potenciais desenvolvimentos futuros das estações. O modelo do nó foi aplicado em vários projetos (Peek et al., 2006). Reusser et al. (2008) aplicaram uma adaptação do modelo para uma comparação de mais de 1600 estações ferroviárias suíças.
- Juchelka (2002) descreve três funções das estações ferroviárias na perspectiva dos potenciais de desenvolvimento urbano: todas as estações ferroviárias são descritas como tendo uma função primária essencial de interligar vários modos de transporte. Nesta base, as funções sinérgicas adicionais são consideradas possíveis dependendo

do tamanho da estação: funções secundárias, como áreas comerciais, de lazer e culturais para estações de médio porte e funções terciárias, como um importante centro da cidade ou centro comercial para grandes estações. Dentro de um projeto de redesenho de estações ferroviárias, essas funções podem ser vistas como pilares para o desenvolvimento da área urbana circundante. As partes interessadas a serem consultadas em um processo de redesenho devem, portanto, ser selecionadas de acordo com a função em foco.

- Wulforth (2003) aplica métodos de modelagem dinâmica do sistema ao caso das estações ferroviárias. Utilizando 24 variáveis, são descritas as interações entre o uso da terra no ambiente da estação, o uso de edifícios de estações, a qualidade da interconexão de transporte e a demanda de transporte ferroviário. Uma vez que o modelo é calibrado para um caso específico, podem ser implementados possíveis cenários de redesenvolvimento. Posteriormente, é possível uma estimativa dos impactos e do desenvolvimento de índices de medição chave (como o desenvolvimento do uso da terra no ambiente da estação, a valorização dos prédios da estação e as melhorias na qualidade da interconexão) para cada cenário de redesenvolvimento.

O modelo do nó também foi aplicado nos Países Baixos (Bertolini, 1998 e 2006). As estradas de ferro holandesas usaram esse modelo para coordenar as estratégias dentro de suas unidades de negócios (passageiros, serviços de estações e imóveis).

Em todas essas situações, a estação ferroviária atua como pólo gerador de viagens (PGV). As variáveis intervenientes na geração de viagens e de demanda de passageiros estão

associadas às funções exercidas pela estação ferroviária no sistema de transporte e na estrutura urbana. Dessa forma, para identificá-las, é importante conhecer as funções da estação no ambiente urbano.

Como referência principal deste estudo foi escolhida as funções definidas por Stefan Zemp em 2011, que baseado em um projeto de pesquisa transdisciplinar aplicado para quatro grupos específicos, 28 entrevistas com especialistas e 2 eventos de workshop, estruturou cinco funções genéricas das estações ferroviárias e suas interdependências. As funções são as seguintes:

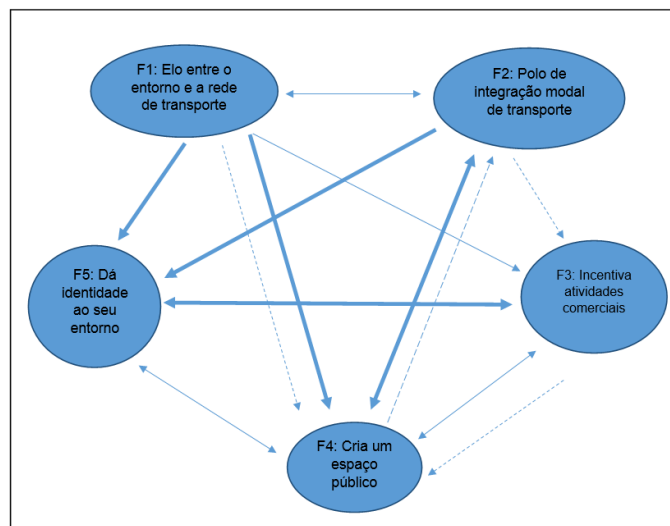


Figura 1 - Interações das funções. Fonte: Zemp et alii (2011)

F1: Conectar a área de influência com a rede de transporte

As estações ferroviárias são elos entre a rede transporte e a área vizinha, cujo limites são estabelecidos pela sua capacidade de atender à demanda. A localização da estação ferroviária define a demanda do seu entorno expressa pela sua área de influência e pelas atividades nelas desenvolvidas. O tamanho da área de influência depende do porte da área

construída da estação ferroviária, que define a sua atratividade, como a sua acessibilidade, que é determinada pela oferta de transporte público.

F2: Dar suporte à integração

Na área interna da estação ferroviária, os passageiros trocam de linhas ou de modo de transporte, usando a caminhada. Para dar suporte a essas atividades, a estação deve ter áreas seguras, baias para transferências, estacionamentos e paradas, locais de espera, bilheterias e serviços diversos para atender aos passageiros. Na função de polo de integração modal, a estação atrai para o sistema usuários de outras linhas e modalidades. Além de aumentar a demanda de passageiros, contribui para a criação de um ambiente com menos viagens de automóveis e menos poluição atmosférica.

F3: Atrair atividades comerciais para sua área de influência

As estações ferroviárias são locais atrativos para atividades comerciais. Compras, negócios e diversas atividades podem ocorrer no tempo livre, tanto para passageiros quanto para residentes próximos ao local.

A função de concentrar atividades na sua área interna permite aumentar a receita das empresas que operam o sistema. Além disso, reforça sua atratividade e pode reduzir o número de viagens, pois em vez de o usuário se deslocar da estação até outro local (alguns desses deslocamentos usando automóvel) para efetuar pequenas compras ou pagar contas, isso pode ser feito enquanto aguarda o trem.

F4: Prover espaço público para atividades culturais

A estação ferroviária é um espaço público e pode ser utilizado para atividades sociais e eventos, como: feiras, exposições, exhibições de shows, pequenas encenações teatrais, entre outros.

Por meio de atividades externas ao setor, a estação ferroviária, como espaço público, pode atrair os usuários de outros sistemas de transporte e aumentar a atratividade para aqueles que estejam dentro do sistema. É uma função que pode propiciar lazer aos cidadãos e, ao mesmo tempo, leva-los a refletir sobre alternativas de deslocamentos, principalmente aqueles que usam automóvel.

F5: Contribuir para identificar sua vizinhança no tempo e no espaço

A estação ferroviária é uma construção que identifica a arquitetura da época. Sua Localização influencia a distribuição de residências e comércios, bem como estabelece fronteiras para expansão da área vizinha.

FATORES ESSENCIAIS E DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS

Para este tópico serão apresentados um resumo dos estudos realizados pelos seguintes pesquisadores: Simon P Blainey , Nahid Mohajeri , Svetla Stoilova, e Stefan Zemp . Os referidos estudos juntamente com a oferta de dados disponibilizados pelo Município de Belo Horizonte e órgãos pertinentes para análise espacial e avaliação do corpo técnico da Companhia Brasileira de Trens Urbanos culminará na definição dos critérios utilizados no tópico, METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.

Simon P Blainey et al (2009) reuniu informações sobre o processo de escolha de local potencial para receber uma estação ferroviária com o auxílio das ferramentas de geoprocessamento. No que diz respeito ao autor, o único procedimento explícito para a identificação de locais possíveis para novas estações, que leva em conta as condições locais, foi delineado por Preston (1987; 2001), e isso envolve as seguintes etapas, que podem ser automatizadas usando um SIG:

1. Definir área de pesquisa;
2. Excluir faixa dentro da distância definida (por exemplo, 1 milha) de estações existentes;
3. Excluir o caminho onde as restrições de engenharia tornariam os custos de construção da estação proibidos (por exemplo, viadutos, túneis);
4. Excluir sites onde a densidade populacional está abaixo de um valor definido definido como sendo a densidade marginal em que uma estação seria viável.

Horner & Grubestic (2001) delinearam uma metodologia baseada em GIS para avaliar locais potenciais para estações de estacionamento e estações de passeio em Columbus, Ohio, onde não havia serviços ferroviários locais pré-existentes. Isso só considerou o acesso por carro e a identificação do site era algo arbitrária, mas ainda ilustra o potencial de SIG para auxiliar na identificação de locais para novas estações. Embora existam outros métodos matemáticos centrados em "distâncias ótimas da estação", com base no trabalho de Vuchic (1966), estes fazem uma série de premissas idealizadas e são pouco úteis em situações da vida real.

Nahid Mohajeri et al (2010) apresentou o problema da seleção do site da estação ferroviária como um modelo hierárquico composto por quatro níveis, cada um com seus próprios critérios principais. Os principais critérios são: Serviços ferroviários, serviços de passageiros, arquitetura e urbanismo e economia.

Cada um desses critérios principais é dividido em vários subcritérios, dando um total de 26 subcritérios. Além disso, o modelo hierárquico possui cinco estações ferroviárias potenciais, como candidatos ou alternativas. Utilizou-se ainda o julgamento perito para realizar as comparações parciais individuais no AHP.

Para Svetla Stoilova et al (2016) a estação ferroviária é avaliada de acordo com o assentamento que serve. Os fatores que servem para caracterizar as estações de acordo com as paradas dos trens rápidos e expressos são escolhidos com base nos parâmetros que caracterizam o potencial da localização, infraestrutura e volumes de transporte. São examinados quatro grupos de fatores associados ao potencial de recursos da localização e infraestrutura da estação ferroviária:

1. Potencial da cidade onde a estação está localizada. Isso inclui dados demográficos, bem como indicadores territoriais e socioeconômicos;
2. Importância da cidade onde a estação está localizada como um centro administrativo, econômico, industrial e cultural;
3. Participação da cidade como unidade administrativa e econômica. Se a cidade não cumprir a função do centro municipal, distrital ou regional;
4. Fatores de infraestrutura;
5. A importância da estação em relação à sua localização na rede ferroviária;

6. Características dos passageiros.

Após definir as cinco funções genéricas das estações já descritas nessa dissertação, Stefan Zemp et al (2011) sugere em seu trabalho 10 indicadores relevantes para as funções respectivas e 14 fatores de contexto também relativos a este tema. Segue abaixo os 10 indicadores e suas respectivas descrições: trabalho, número de postos de trabalho em um raio de 700m, população, número de moradores em um raio de 700m, centralidade, distância média e moradores em um raio de 700m, centro regional, principal estação do centro regional, distribuição de frequência, frequência de passageiros no fim de semana comparado aos dias da semana, turismo, demanda de turista para cada 1000 residentes da região municipal, acessibilidade, número de estações acessíveis em um deslocamento de 20 minutos, trens intermunicipais, número de partida de trens intermunicipais da estação, trens regionais, número de partida de trens regionais da estação, ônibus, número de partida de ônibus da estação.

Os critérios apresentados foram discutidos e apontados para cenários semelhantes ao proposto dessa dissertação. Dessa forma deve ser feita uma calibração através de avaliações dos critérios e fatores utilizados para que se possa adequar a situação proposta.

A etapa de calibração desse fatores e critérios foi feita em conjunto com especialistas do campo ferroviário na Companhia Brasileira de Trens Urbanos e através do conhecimento prático do local de estudo que é o município de Belo Horizonte. Workshops realizados como o II Workshop de Inteligência Geográfica Aplicada ao Planejamento de Transporte, possibilitou ainda o encontro com mais especialistas do assunto e da região de Belo Horizonte.

Assim como será detalhado na CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, o local de estudo deste trabalho será a região centro-sul de Belo Horizonte, um local já consolidado nos aspectos urbanos de comércio, serviço, moradias, fluxo de viagens e infraestrutura urbana. E nessa região descrita será proposto a inserção de novas estações ferroviárias. A partir desse contexto e da consolidação de critérios e fatores definidos pelos autores citados, segue abaixo uma tabela resumo que apresenta como coluna 7 o resultado e critérios a serem utilizados na metodologia aplicada neste artigo:

Tabela 1 - Resumo de critérios para classificação de estações ferroviárias

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Fatores por				Mix de critérios e subcritérios dos autores	Critérios aplicáveis para o estudo de caso "Belo Horizonte"	Critérios disponíveis para estudo de caso e análise espacial com auxílio de ferramentas SIG
N. Mohajeri, G.R. Amin (2010)		S. Stoilova, R. Nikolova (2016)	Stefan Zemp (2011)			
Relativo à ferrovia	Peso de importância	Fatores de infraestrutura	Trens intermunicipais	Número de partida de trens intermunicipais	Disponibilidade de integração modal	Quantidade de pontos de ônibus
	0,238		Trens regionais	Número de partida de trens regionais		
			Ônibus	Número de partida de ônibus		
Serviço de passageiros	0,172	Características dos passageiros	Distribuição de frequência	Frequência de passageiros no fim de		
Arquitetura e Urbanismo	0,358	Potencial da cidade onde a estação está localizada	População	Densidade demográfica	Densidade demográfica	Densidade demográfica
				Área da cidade	Densidade de domicílios	Densidade de domicílios
			Acessibilidade	Número de estudantes		
			Centro Regional	Número de trabalhadores		
			Trabalho	Número de aposentados		
				Número de escolas		
				Número de universidades		
Econômico	0,232	Importância da cidade onde a estação está localizada como um centro administrativo, econômico, industrial e cultural	Turismo	Centro regional	Estabelecimentos de comércio e serviço	Estabelecimentos de comércio e serviço
			Centralidade	Centro distrital	Renda mensal média	Renda mensal média
				Participação da região como unidade econômica e administrativa	Centralidades da região	Centralidades da região
				Demanda de turista para cada 1000 residentes	Estabelecimentos culturais	Estabelecimentos: áreas culturais, parques, praças, shoppings, escolas, universidades, hospitais.

GEOPROCESSAMENTO E SUAS APLICAÇÕES NA GESTÃO MUNICIPAL

O uso do geoprocessamento na atualidade vem sendo utilizado em diversas áreas do conhecimento, tais como planejamento urbano, recursos naturais, comunicação, transportes, entre outras. Essa diversa aplicabilidade se deve à necessidade de coletar informações sobre a distribuição geográfica nos mais variados estudos. Logo, Câmara e Davis definem: “o termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza

técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica” (CÂMARA; DAVIS, 2001, p. 1).

O geoprocessamento representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, através de tecnologias que envolvem a coleta e tratamento das informações espaciais, buscando uma representação simplificada do mundo real e generalizando suas características e relações para um objetivo específico (Cirilo; Mendes, 2001).

O célebre exemplo do Dr. Snow, quem em 1854 controlou uma epidemia de cólera em Londres mapeando os óbitos, descobrindo sua concentração em torno de um poço e mandando lacrar esse poço, representa o espírito do geoprocessamento e ilustra seu principal objetivo, auxiliar na tomada de decisões.

SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são programas computacionais que processam dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos), unindo a base espacial de referência (mapa) e as informações (banco de dados) em torno de objetos geograficamente representados no mapa. Desta forma, o SIG é o sistema que executa atividades que envolvem o geoprocessamento para cada aplicação, isto é, para cada interpretação da realidade. Todo dado geográfico possui dois componentes essenciais: uma localização no espaço geográfico e um ou mais atributos característicos desta localização.

USO DE SIG NO MODELO DE DEMANDA FERROVIÁRIA

O uso do SIG na modelagem da procura ferroviária até agora tem sido bastante limitado, mas Preston (2001) sugere uma série de áreas potenciais onde podem ser úteis, como na melhoria de modelos agregados, adotando uma abordagem mais flexível para a definição das áreas de captação (Lythgoe , 2004) ou fornecendo uma gama mais ampla de dados geo-demográficos para modelos de taxa de viagem. Alguns aprimoramentos baseados no SIG já foram realizados, com Whelan & Wardman (1999b) usando um SIG para fornecer informações sobre populações e características socioeconômicas para o modelo de soma, e Lane et al. (2006) usando o TransCad para coletar e processar dados para seus modelos de fim de viagem.

ANÁLISE ESTATÍSTICA ESPACIAL

Há algum tempo, os modelos estatísticos vêm influenciando e sendo influenciados pelas representações espaciais, nascendo a chamada geoestatística. O corpo metodológico deste tipo de análise consiste basicamente em um conjunto de instrumentos estatísticos que quantificam a grandeza espacial do objeto de estudo, em modelos de interpolação espacial tendo por base a sua variabilidade estrutural, e em modelos de simulação estocástica que quantificam a incerteza ligada ao fenômeno espacial (Soares, 2000).

As técnicas de análise exploratória aplicadas a dados espaciais são essenciais ao desenvolvimento das etapas da modelagem estatística espacial, em geral sensível ao tipo de distribuição, à presença de valores extremos e à ausência de estacionariedade. As técnicas empregadas são, em geral, adaptações das ferramentas usuais. Será apresentado a seguir

algumas dessas técnicas que serão utilizadas na metodologia e desenvolvimento do trabalho.

MÉTODO KERNEL

As superfícies de densidade são usadas na representação da distribuição de pontos e linhas. Esse tipo de análise pode evidenciar padrões na base de dados que não seriam perceptíveis, se analisados de outras formas. A densidade é calculada pela quantidade de registros por unidade de área, por exemplo, a quantidade de infrações de trânsito em um mês por bairro da cidade. Na maioria dos softwares de geoprocessamento, a densidade pode ser calculada por dois métodos: simples e Kernel. Ambos os métodos empregam uma vizinhança circular ou área de pesquisa para realizar o cálculo de densidade. No presente trabalho, utilizamos o método de densidade Kernel simples. A figura X representa a sobreposição utilizada no método Kernel.

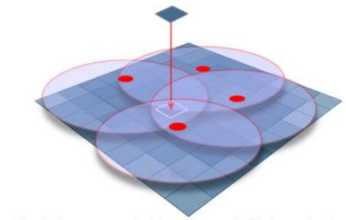


Figura 2 - Sobreposição utilizada no método Kernel

REGRESSÃO GEOGRAFICAMENTE PONDERADA

A regressão linear geograficamente ponderada (RGP) foi inicialmente proposta por Brunsdon et al. (1996) como um método para explorar a não estacionariedade espacial,

sendo esta última uma condição na qual um modelo de regressão espacial global não pode, conforme destacado acima, explicar adequadamente as relações entre alguns conjuntos de variáveis definidas numa região geográfica. Deste modo, uma solução mais adequada seria modificar a natureza do modelo para refletir, ao longo do espaço, a estrutura intrínseca aos dados. A ideia básica da RGP é ajustar um modelo de regressão para cada ponto no conjunto de dados, ponderando as observações por uma função de distância a este ponto. Isto corresponde a considerar que pontos mais próximos ao ponto em estudo tenham maior influência nos parâmetros estimados da regressão do que observações obtidas em pontos mais distantes.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – BELO HORIZONTE

A área de estudo considerada na realização do trabalho foi o município de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais. De acordo com a mais recente estimativa realizada pelo IBGE em 2016, sua população era de 2 513 451 habitantes, sendo o mais populoso município de Minas Gerais, o terceiro da Região Sudeste, depois de São Paulo e Rio de Janeiro, e o sexto mais populoso do Brasil. O município de Belo Horizonte está dividido em nove regionais administrativas. A tabela 2 apresenta dados relativos à área e densidade populacional de cada uma das nove regionais, segundo dados do IBGE - Censo Demográfico, 2010.

Tabela 2 - Características Socioeconômicas de Belo Horizonte

Região Administrativa*	População	Área Km²	Densidade Demográfica
VENDA NOVA	265179	29,1103	9109,4
NOROESTE	268038	29,9359	8953,7
OESTE	308549	35,1570	8776,3
CENTRO-SUL	283776	32,6224	8698,8
LESTE	238539	28,1507	8473,6
NORDESTE	290353	39,5199	7347,0
NORTE	212055	32,7808	6468,9
BARREIRO	282552	53,8987	5242,3
PAMPULHA	226110	51,1929	4416,8
Total geral	2.375.151	332,369	7146,1

Fonte: IBGE - Censo 2010

Como foi apresentado no tópico “Objetivos”, o cenário escolhido foi a região administrativa Centro-Sul do município de Belo Horizonte, uma região já consolidada em todos os aspectos urbanos e com fortes indicadores que caracterizam o potencial para instalação de estações ferroviárias nesse local.

Deve-se ressaltar ainda que o presente estudo analisa regiões já consolidadas urbanisticamente, não sendo esse um pré-requisito indispensável para inserção de uma estação ferroviária. O estudo de um local para inserção de uma estação ferroviária pode por exemplo visar o desenvolvimento urbano de uma região ainda com baixa densidade de comércio, serviços, moradia e populacional no entorno.

A seguir serão apresentados uma sequência de mapas informativos produzidos pela prefeitura de Belo Horizonte disponíveis em seu portal na internet que justificam a escolha pela região administrativa centro-sul como objeto da área de estudo.

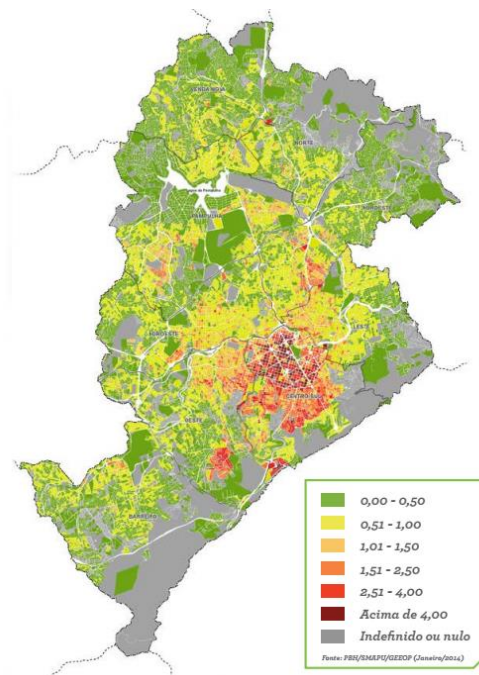


Figura 3 - Densidade construtiva do município de Belo horizonte- Fonte: PBH

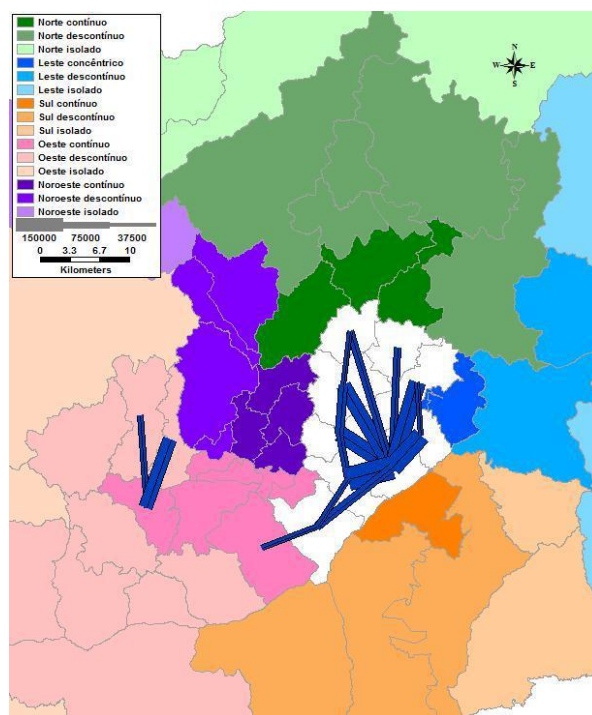


Figura 4 - Principais Linhas de Desejo da RMBH- Fonte: Relatório OD-11/12

O Relatório Completo da Pesquisa de Origem e Destino de 2011/2012 da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) publicado pelo Governo do Estado de Minas

22

Gerais, comprova também através de análises espaciais a escolha da região administrativa centro-sul do município para estudo e aplicação da metodologia para locação de estações ferroviárias nessa região.

METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

As informações geográficas foram obtidas a partir de instituições públicas que disponibilizam os dados coletados através de seus respectivos portais na internet. Alguns dados específicos do município de Belo Horizonte foram obtidos através de solicitações junto a Gerência de Geoinformação – GIGS PRODABEL - Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte S/A. A PRODABEL reuniu e enviou os dados elaborados pela Secretaria Municipal de Finanças da Prefeitura de Belo Horizonte. Segue ainda os demais fornecedores de dados geográficos que contribuíram para este trabalho: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Prefeitura de Belo Horizonte, Infraestrutura Estadual de Dados Espaciais de Minas Gerais (IEDE).

O conhecimento adquirido da região de estudo possibilitou a utilização da ferramenta SIG Google Earth para identificar locais importantes para a aplicação da metodologia GWR.

TRATAMENTO DE DADOS

Para que possa ser feita aplicação adequada do GWR, deve ser feita uma sequência de procedimentos para sua calibração. As etapas de calibração foram seguidas de acordo com o que foi detalhado por Calros Loureiro et al (2015).

Assim como foi definido anteriormente em que a variável dependente é o fenômeno, o objeto ou o que você está querendo relacionar / modelar / prever, foi sugerido através de conhecimento prévio da região centro-sul 5 pontos em potencial para receber estações ferroviárias. Os cinco pontos escolhidos estão inscritos na Av Do Contorno. A Avenida do Contorno é a avenida que circunda a região central de Belo Horizonte. Em consequência do desenvolvimento precoce em relação as demais áreas do município, essa região possui os três primeiros lugares de bairros com maior valor de metro quadrado da cidade de acordo com a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Mais informações sobre os cinco pontos escolhidos serão apresentados a seguir:

Ponto 01: Localização da Praça Sete, a praça mais movimentada da cidade de Belo Horizonte, marco zero do seu hipercentro. Em termos de tráfego de veículos, compete em importância com a Praça Raul Soares e a Praça da Liberdade, na prática, as três mais importantes da cidade. O fluxo de pessoas que passam pela Praça Sete é, no entanto, consideravelmente maior.

Ponto 02: Localização da Praça Raul Soares, uma das principais praças de Belo Horizonte.

Ponto 03: Localização do complexo paisagístico e arquitetônico da Praça da Liberdade. O Circuito Cultural Praça da Liberdade é o maior conjunto integrado de cultura do Brasil.

Ponto 04: Localização da Praça Tiradentes que é um logradouro na cidade de Belo Horizonte.

Ponto 05: Localização da Praça Diogo de Vasconcelos, popularmente chamada de Praça da Savassi que é um logradouro da cidade de Belo Horizonte. Com o passar do tempo, a Savassi se firmou como centro comercial sofisticado, transformando-se, mais tarde, em point da juventude e de grande concentração de bares, restaurantes e comércio.

ANÁLISE DE RESULTADOS COM USO DO SIG

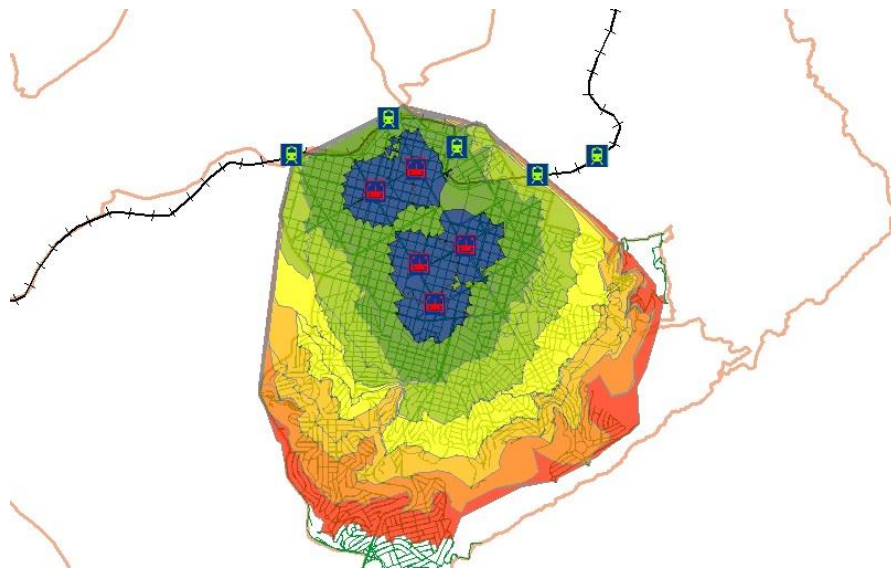


Figura 5 - Service area na região centro-sul de BH

O mapa acima representa o resultado de umas das ferramentas do *Network Analyst* do ArcGis chamada de *Service Area*, onde foram geradas zonas de potencial das estações proposta na região centro-sul. As zonas geradas representam tempo percorrido de caminhada que variam entre 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56 minutos.

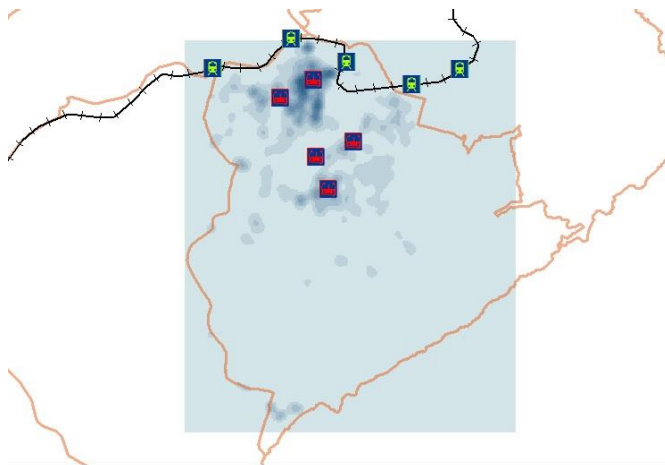


Figura 6 - Kernel referente à todas atividades econômicas da região centro-sul

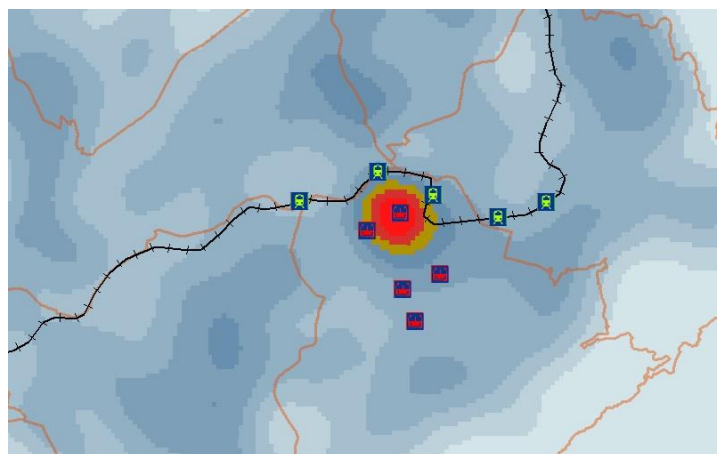


Figura 7 - kernel referente ao número de paradas de ônibus em BH

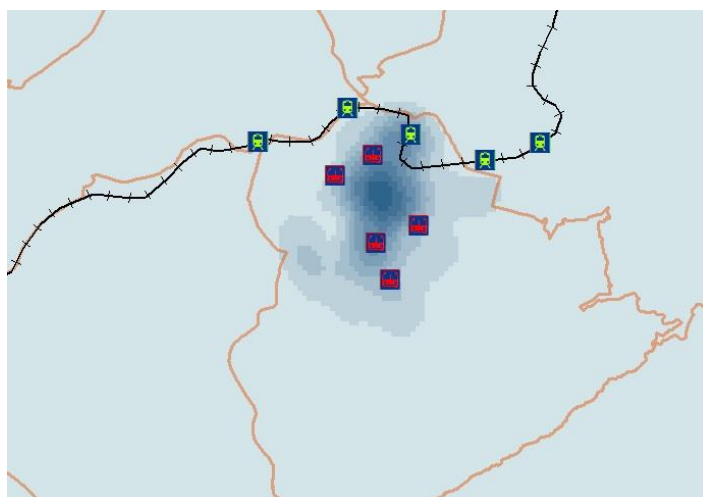


Figura 8 - kernel referente aos espaços para atividades culturais em BH

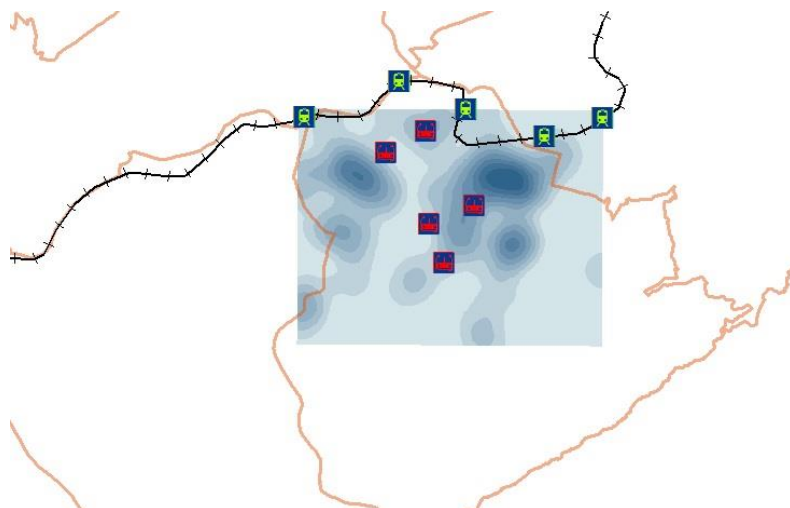


Figura 9 - kernel referente ao número de hospitais na região centro-sul BH

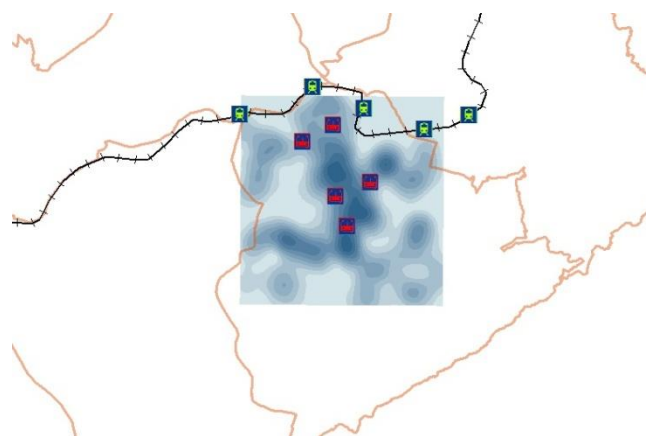


Figura 10 - Kernel referente ao número de escolas e universidades na região centro-sul de BH

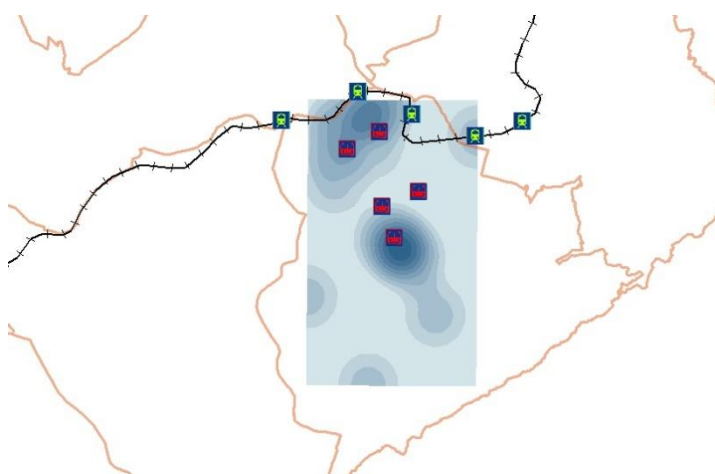


Figura 11 - Kernel referente ao número de shoppings centers e centros comerciais na região centro-sul de BH

Nota-se através dos mapas de densidade Kernel apresentados a correlação direta dos critérios propostos para explicarem a variável dependente que são os cinco pontos de estações. A seguir serão apresentados os resultados do modelo proposto analisado pela ferramenta de Regressão Geograficamente Ponderada (GWR).

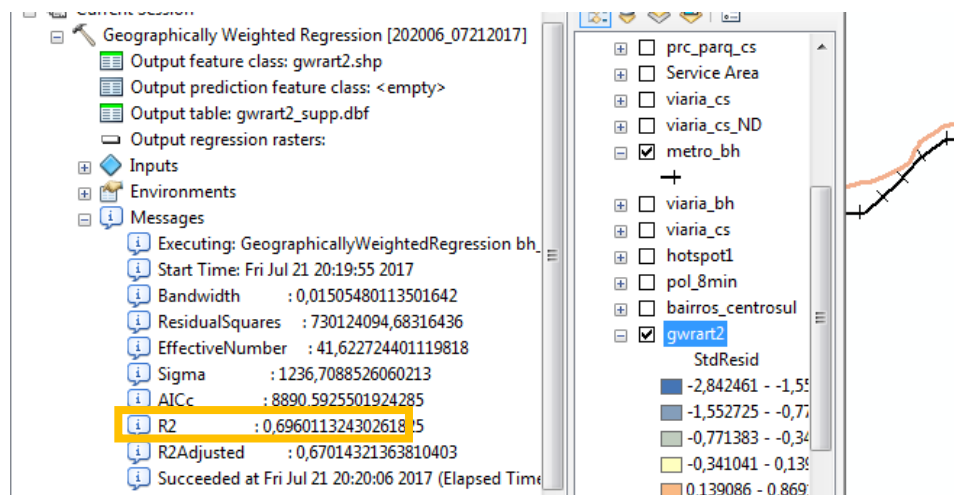


Figura 12 - Resultados da ferramenta GWR pelo programa ArcGis

A aplicação da ferramenta de análise espacial GWR (Regressão Geograficamente Ponderada) apresenta a um resultado satisfatório através do indicador $R^2 = 0,696$, que pode ser interpretado como um bom modelo para explicar o potencial local de uma região receber estações ferroviárias. O valor de R^2 indica que as variáveis explanatórias conseguem explicar 69% dos locais potencialmente escolhidos para receber estações ferroviárias.

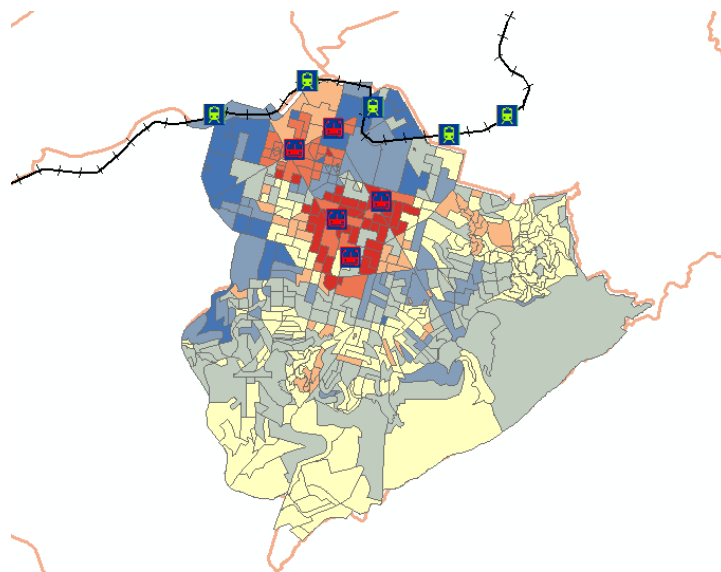


Figura 13 - Mapa gerado pela ferramenta GWR do ArcGis, com StdResid

Pode-se concluir ainda através do mapa gerado pelo GWR na quantificação dos *standart residuals* (StdResid) que as cores mais quentes (em vermelho) indicam que os valores estão acima do que foi previsto pela equação com as variáveis explanatórias e os valores mais frios (em azul) indicam valores que estão abaixo do que foi previsto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em reuniões com especialistas no transporte ferroviário brasileiro e representantes do poder público em participações à Workshops, nota-se a dificuldade do Brasil em tomar decisões relativas a investimentos em transporte de passageiros sobre trilhos. A justificativa de que o investimento inicial é maior em relação a outro tipo de modal como BRT, não apresenta coerência na comparação já que investimentos em transporte públicos de alta capacidade não devem ser analisados somente com um horizonte de 2 ou 4 anos dentro de um mandato político que é o que geralmente ocorre no Brasil.

Os resultados gerados pela ferramenta GWR comprovaram a eficiência do modelo proposto e que o geoprocessamento pode sim, ser mais integrado ao processo de análise e estudos de viabilidade para implantação de estações ferroviárias.

Assim como foi explanado no início do artigo o processo clássico de estudo de demanda ferroviária, o modelo de 4 etapas, pode receber o modelo de análise espacial por ferramentas de geoprocessamento para um refinamento na tomada de decisão para locação de estações ferroviárias no perímetro urbano.

Pode-se concluir ainda a partir da revisão bibliográfica apresentada pelos estudos realizados na Europa, que nessa região a importância e consciência do transporte público sobre trilhos está inerente na sociedade e os respectivos governos investem fortemente na disseminação desse modal. Diferentemente do Brasil que ao analisar um estudo de viabilidade para escolha de um modal utiliza um período curto de análise e insere nos respectivos custos toda infraestrutura para avaliação do modal ferroviário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTOLINI, L. Spatial development patterns and public transport: the application of an analytical model in the Netherlands. *Planning, Practice and Research*. 1999. No. 14. P. 199–210.
- BERTOLINI, L., 1999. Spatial development patterns and public transport: the application of an analytical model in the Netherlands. *Planning Practice and Research* 14(2), 199–210.
- BERTOLINI, L., Spit, T., 1998. *Cities on Rails: The Redevelopment of Station Areas*. Spon, London; New York.
- BERTOLINI, L., 1996. Nodes and places: complexities of railway station redevelopment. *European Planning Studies* 4 (3), 331–345.
- BLAINEY, S.P., 2009. *b Forecasting the Use of New Local Railway Stations and Services Using GIS*, Ph.D. thesis, University of Southampton.

- BRUINSMA, F., Pels, E., Priemus, H., Rietveld, P., Van Wee, B. (Eds.), 2008. Railway Development: Impacts on Urban Dynamics. Physica-Verlag HD, Heidelberg.
- CALTHORPE, P., 1993. The Next American Metropolis: Ecology, Community and the American Dream. Princeton Architectural Press, New York.
- CARLOS FELIPE GRANGEIRO LOUREIRO. 2015, METODOLOGIA DE ANÁLISE DE REGRESSÃO GEOGRAFICAMENTE PONDERADA APLICADA AO FENÔMENO DAS VIAGENS INTERMUNICIPAIS.
- CARVALHO, L. E. X.; Silva H. N. e Loureiro, C. F. G. (2006) Regressão Geograficamente Ponderada em Ambiente SIG. *Trabalho submetido ao XX Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes*, ANPET, Brasília.
- CONNOLLY, K., Payne, M., 2004. Bay area rapid transit's comprehensive station plans: integrating capacity, access, and land use planning at rail transit stations. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1872 (1), 1–9.
- JUCHELKA, R., 2002. Bahn hofundBahnhofsumfeld–ein Standort komplexim
- JUHNKE, K. J. (1968) – *A eficiência das ferrovias no transporte metropolitano* – Tradução coordenada por BORBA, F. A. P. – Ed. Edgard Blucher Ltda. – S. Paulo.
- KOLBL, R., Niegl, M., Knoflacher, H., 2008. A strategic planning methodology. Transport Policy 15 (5), 273–282.
- LAGONEGRO, Marco Aurélio – Metrôpole sem metrô; tese de doutoramento, FAUUSP, 2003.
- MOURA, Ana Clara Mourão. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. 2ª edição. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2005. p.55.
- Nahid Mohajeri a, Gholam R. Amin. Railway station site selection using analytical hierarchy process and data envelopment analysis , 2010.
- PEEK, G. & Bertolini, L. Gaining insight in development potential of station areas: A decade of Node-Place modelling in the Netherlands. *Planning, Practice and Research*. 2006. Vol. 21. No. 4. P. 443-462.
- PEEK, G.-J., Bertolini, L., De Jonge, H., 2006. Gaining insight in the development potential of station areas: a decade of node-place modelling in The Netherlands. *Planning Practice and Research* 21 (4), 443–462.
- PEEK, G.-J., Louw, E., 2008. Integrated rail and land use investment as a multidisciplinary challenge. *Planning Practice and Research* 23 (3), 341–361.
- REUSSER, D.E., Loukopoulos, P., Stauffacher, M., Scholz, R.W., 2008. Classifying railway stations for sustainable transitions – balancing node and place functions. *Journal of Transport Geography* 16 (3), 191–202.
- ROSS, J. (Ed.), 2000. Railway Stations: Planning, Design and Management. Architectural Press, Oxford, Auckland, Boston, Johannesburg, Melbourne, New Delhi.
- RUSS HAYWOOD, 2005. Co-ordinating Urban Development, Stations and Railway Services as a Component of Urban Sustainability: An Achievable Planning Goal in Britain?

SILVA, E. A. M., FORTES, J. A. A. S., 2001, “Metodologia para análise e avaliação dos impactos de terminais de integração sobre o uso do solo”. In Anais do Congresso Latino-americano de Transporte Público y Urbano, Havana - Cuba.

SIMON P. BLAINEY N, John M. Preston A GIS-based appraisal framework for new local railway stations and services, 2013.

STEFAN ZEMP A, Michael Stauffacher a, Daniel J. Lang a,b, Roland W. Scholz. Classifying railway stations for strategic transport and land use planning: Context matters! , 2011.

STEFAN ZEMP A,N, Michael Stauffacher a, Daniel J.Lang a,b, Roland W.Scholz a Generic functions of railway stations — A conceptual basis for the development of common system understanding and assessment criteria , 2011.

SVETLA STOILOVA*, Radina NIKOLOVA Technical University of Sofia Boulevard Kliment Ohridski 8, Sofia, Bulgaria CLASSIFYING RAILWAY PASSENGER STATIONS FOR USE TRANSPORT PLANNING – APPLICATION TO BULGARIAN RAILWAY NETWORK, 2016.

VERHETSEL, A., Vanelander, T., 2010. What location policy can bring to sustainable commuting: an empirical study in Brussels and Flanders, Belgium. Journal of Transport Geography 18 (6), 691–701.

WANDEL. Standort–Zeitschrift für angewandte Geographie 26(1), 12–16.

WOLFF, R., 1999. Popular Planning in King’s Cross, London. Kommunikative Vernunft im Stadtentwicklungsprozess. ETH Zurich, Zurich.

WUCHERPFENNIG, C., 2006. Bahnhof–(stadt) gesellschaftlicher Mikrokosmos im Wandel. Eine neue kulturgeographische Analyse. BIS-Verlag Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg, Germany.

WULFHORST, G., 2003. Flächennutzung und Verkehrsverknüpfung an Personenbahnhöfen – Wirkungsabschätzung mit systemdynamischen Modellen. Institut für Stadtbauwesen und Stadtverkehr ISB. RWTH Aachen, Aachen, Germany.

LINKS UTILIZADOS:

http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pldPlc=ecpTaxonomiMenuPortal&app=estatisticaseindicadores&lang=pt_br&pg=7742&tax=34222

https://geodadosbh.pbh.gov.br/pre_download.php

<http://www.ibge.gov.br/home/>

<http://servicosbhtrans.pbh.gov.br/bhtrans/e-servicos/S43F01-extracao.asp>

<http://www.inpe.br/>

<http://mapaculturalbh.pbh.gov.br/busca/>

<http://geosiurbe.pbh.gov.br/webmap/>