

Guilherme Pereira de Vargas

Capacidade de suporte para
adensamento urbano:
proposta de análise multicritério
para avaliação

XIV Curso de Especialização em
Geoprocessamento



UFMG
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
Belo Horizonte
cartografia@igc.ufmg.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE CARTOGRAFIA
ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO
ALUNO: GUILHERME PEREIRA DE VARGAS

Capacidade de suporte para adensamento urbano:
proposta de análise multicritério para avaliação

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Geoprocessamento do Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento.

Belo Horizonte
Dezembro de 2013



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Curso de Especialização em Geoprocessamento

Monografia defendida e aprovada em 5 de dezembro de 2013 pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

M^a Márcia M Machado

Prof.^a Dra. Maria Márcia Magela Machado – IGC/UFMG - Orientadora

U^a Úrsula Ruckys de Azevedo

Prof.^a Dra Úrsula Ruckys de Azevedo. – IGC/UFMG

V297c Vargas, Guilherme Pereira de.
2013 Capacidade de suporte para adensamento urbano [manuscrito] :
proposta de análise multicritério para avaliação / Guilherme Pereira de
Vargas. – 2013.
viii, 50 f. : il. (algumas color.)

Monografia (especialização em Geoprocessamento) – Universidade
Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2013.

Orientadora: Maria Márcia Magela Machado.

Bibliografia: f. 47-50.

1. Qualidade ambiental. 2. Planejamento urbano – Aspectos
ambientais. 3. Gestão ambiental. I. Machado, Maria Márcia Magela. II.
Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. III.
Título.

CDU: 711.4:656.1/.5

Sumário

1 - Introdução	1
1.1 - Objetivos	2
2 - Referencial Teórico	3
2.1 - Conceitos relacionados ao desenvolvimento urbano: capacidade de suporte e cidades compactas	3
2.2 - Instrumentos urbanísticos e adensamento urbano	5
2.3 - Qualidade ambiental e indicadores	7
2.4 - SIG, geoprocessamento, modelagem conceitual, análise multicritério.....	14
3 - Área de estudo:.....	17
4 - Materiais e métodos:	20
4.1 - Transformações das bases vetoriais em <i>raster</i>	20
4.1.1 - Variáveis pontuais	20
4.1.2 - Variável linear: nível de saturação das vias	27
4.1.3 - Variáveis poligonais.....	29
4.2 - Reclassificação das variáveis	39
4.3 - Análise multicritério.....	41
5 - Resultados e discussões.....	43
6 - Considerações Finais.....	45
7 - Referências Bibliográficas	47

Lista de tabelas, gráficos e quadros

Tabela 1: Relação densidade demográfica e infraestrutura.....	13
Gráfico 1: Concentração de material particulado.....	21
Tabela 2: médias ponderadas dos pontos de coleta de material particulado.....	21
Tabela 3: Parâmetro de altimetria.....	35
Quadro I: Notas atribuídas às variáveis.....	39
Tabela 4: Peso das variáveis multicritério.....	41

Lista de mapas

Mapa 1 - Área de estudo.....	19
Mapa 2: Concentração de material particulado	22
Mapa 3: Nível de ruído (dB)	24
Mapa 4: Temperatura (°C)	26
Mapa 5: Saturação viária	28
Mapa 6: Áreas inundáveis	30
Mapa 7: Coleta de resíduo sólido domiciliar.....	31
Mapa 8: Esgotamento Sanitário.....	32
Mapa 9: Drenagem Urbana	33
Mapa 10: Densidade demográfica	34
Mapa 11: Altimetria – número de pavimentos construídos.....	36
Mapa 12: Áreas verdes	38
Mapa 13: Síntese Capacidade de suporte	42

Resumo

A questão ambiental é um das grandes preocupações do mundo contemporâneo. A interface entre as questões urbanas e ambientais tem se ampliado com expansão dos modelos de desenvolvimento econômico sustentados na urbanização da sociedade. O conceito de capacidade de suporte é parte deste debate e está cada vez mais recorrente nos estudos urbanos. O objetivo geral da monografia é avaliar as possibilidades presentes nas técnicas de geoprocessamento para a aplicação do conceito de capacidade de suporte para o adensamento urbano. O desenvolvimento de um método baseado em análise multicritério foi realizado para validar a hipótese de que as técnicas de geoprocessamento podem contribuir no estudo da capacidade de suporte em meio urbano. A construção desse tipo de metodologia possui baixo custo operacional e grande possibilidade de difusão na atualidade com os recursos existentes no campo das geotecnologias. Os resultados indicam a viabilidade da utilização das técnicas do geoprocessamento para esse tipo de estudo urbano. O método consolidado aponta para o grande potencial das geotecnologias no atendimento às demandas do planejamento e gestão urbano-ambiental. Portanto, conclui-se que a metodologia apresentada pode atuar como um subsídio a rotina de gestão das políticas públicas urbanas.

1 - Introdução

A questão ambiental no Brasil tem se mostrado um importante campo de debates com participação de diversos setores da sociedade. Grande volume de estudos e trabalhos técnicos e acadêmicos são desenvolvidos rotineiramente para atender a demandas científicas e institucionais em campos como o licenciamento ambiental, planejamento urbano e ambiental. Esses trabalhos ressaltam a importância dos componentes do meio ambiente nas mais diversas escalas geográficas de análise.

A degradação da qualidade ambiental deve ser compreendida no contexto do modelo de desenvolvimento adotado, caracterizado pela expansão da agricultura e da indústria e por crescimento urbano, mas que também é marcado por suas limitações e imperfeições relativas à provisão de bens básicos a grande parte da população. A modernização das estruturas produtivas brasileiras trouxe uma crescente apropriação dos recursos naturais e, em consequência, à desestabilização dos ecossistemas em diversas regiões do país.

Nesse contexto, grande diversidade de conflitos ambientais tem emergido, com crescente destaque para aqueles relacionados ao meio urbano. A concentração de grandes contingentes populacionais nos núcleos urbanos tem colocado a necessidade de avanços no conhecimento do comportamento de variáveis ambientais no espaço urbano.

Segundo Araújo e Costa (2007, p.4) o conceito de sustentabilidade ambiental evoluiu de uma concepção neomalthusiana vinculada à ecologia radical para um entendimento de busca de um equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação dos recursos naturais, visando a sobrevivência das gerações futuras. Este conceito de sustentabilidade orienta a maior parte da legislação ambiental e das práticas de planejamento vigentes no Brasil e no mundo contemporâneo.

Nos últimos anos, autores que estudam o meio urbano têm incorporado a preocupação com a questão da sustentabilidade ambiental nas cidades e metrópoles. Apesar de sua origem estar relacionada aos estudos do meio natural, o conceito vem sendo progressivamente utilizado nas análises urbanas, sobretudo no que se refere às dimensões ambientais do meio urbano.

O planejamento e gestão urbano e ambiental são fundamentais para conhecer e organizar o espaço e propor informações para responder com agilidade as necessidades da sociedade. O conceito de sustentabilidade ambiental tem sido adotado na formulação das rotinas de planejamento e gestão implantadas por organizações dos setores público e privado. Os métodos de avaliação, análise e monitoramento de políticas de

desenvolvimento remetem a construção e aperfeiçoamento da inserção das dimensões ambientais no cotidiano das organizações públicas e civis.

Nesse contexto, se inserem os estudos sobre a capacidade de suporte da infraestrutura urbana e as limitações de ordem ambiental que constituem um debate recorrente no meio acadêmico e profissional de planejadores urbanos. As técnicas relacionadas às geotecnologias têm-se colocado como parte fundamental no levantamento e sistematização de informações em estudos urbanos e ambientais.

O objetivo do trabalho é desenvolver um método de análise multicritério fundamentado em sistema de informações geográficas para estabelecer a capacidade de suporte ao adensamento urbano. A questão norteadora da pesquisa é investigar em que medida a utilização de técnicas de geoprocessamento podem auxiliar na definição das capacidades de suporte ao adensamento de áreas urbanas e colaborar para o desenvolvimento das políticas públicas de ordenamento territorial e urbano.

1.1 - Objetivos

O objetivo geral do trabalho é avaliar as possibilidades presentes nas técnicas de geoprocessamento para a aplicação do conceito de capacidade de suporte em análises de adensamento urbano. Para tanto, utiliza-se como área de estudo o município de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais.

Entre os objetivos específicos do trabalho aponta-se:

- discutir as diferentes escalas de análise presentes no estudo da capacidade de suporte;
- analisar as especificidades da transposição desse conceito para o meio urbano;
- avaliar a capacidade de adensamento do entorno do eixo viário da Avenida Antônio Carlos e Avenida Pedro I, no município de Belo Horizonte-MG;
- apontar os limites e possibilidades metodológicas da técnica de análise multicritério para este tipo de estudo;
- mapear os perímetros mais indicados ao adensamento urbano na área estudada.

2 - Referencial Teórico

A fundamentação teórica do trabalho se divide em três eixos. O primeiro apresenta os conceitos de capacidade de suporte, adensamento urbano, cidades compactas e qualidade ambiental presentes nos debates sobre desenvolvimento urbano e territorial. Este eixo é complementado por um levantamento bibliográfico da relevância das variáveis espaciais consideradas para a análise espacial multivariada da capacidade de suporte ao adensamento. Optou-se por tratar mais demoradamente as variáveis ambientais, pois tratam-se dos componentes principais da proposta de trabalho de desenvolvimento metodológico apresentada.

O segundo trata de uma breve discussão do contexto institucional e legal que implementa instrumentos urbanísticos que tem como motivador principal os conceitos apresentados. Neste item está inserida a questão no município de Belo Horizonte para onde tais propostas foram previstas e onde está localizada a área de estudo deste trabalho.

O terceiro eixo aborda os principais conceitos relativos ao geoprocessamento utilizados na parte prática da metodologia desenvolvida. A discussão sobre modelagem de banco de dados e análise multicritério está inserida neste tópico.

2.1 - Conceitos relacionados ao desenvolvimento urbano: capacidade de suporte e cidades compactas

O conceito de capacidade de suporte tem origem nas ciências ambientais, especialmente nas ciências biológicas. Capacidade de suporte significa o número máximo de pessoas (ou indivíduos, do ponto de vista biológico) que podem ser suportadas por um determinado ambiente considerando a ótima utilização dos recursos disponíveis (Brasil, 2011). A avaliação da capacidade de suporte tem sido pouco abordada no meio urbano, sendo mais comum na literatura científica em estudos de áreas naturais, sobretudo em unidades de conservação.

Segundo Brasil (2011), capacidade de suporte trata-se do “nível de utilização dos recursos naturais que um sistema ambiental ou ecossistema pode suportar, garantindo-se a sustentabilidade e a conservação de tais recursos e o respeito aos padrões de qualidade ambiental.” Desta forma, o conceito de capacidade de suporte pressupõe uma avaliação da capacidade de carga ou carregamento do meio físico e da infraestrutura instalada de absorver os impactos provocados pela demanda adicional ocasionada por uma maior densidade populacional.

Nos estudos ambientais, o conceito de capacidade de suporte está vinculado frequentemente a resiliência¹ do meio físico como, por exemplo, no manejo de unidades de conservação em relação à manutenção da biodiversidade, e o suporte de estruturas de visitação pelo público como trilhas e espaços de recreação (Sánchez, 2008).

Nas análises urbanas está relacionado à razão entre infraestrutura urbana (sistema viário, drenagem, abastecimento de água, esgotamento sanitário, equipamentos de uso coletivo) e aspectos físico-ambientais (solos, água, ar, ilha de calor, ventilação, ruído, poluição do ar e visual, etc) e o adensamento construtivo e populacional. Remete, portanto, a quantidade de população que determinado ambiente suporta receber com qualidade ambiental e salubridade.

A configuração de metrópoles e centros de grande extensão territorial e imensos contingentes populacionais tem conduzido os debates para o questionamento da sustentabilidade ambiental de aglomerações urbanas expandidas horizontalmente e fundamentadas na utilização do transporte individual por automóvel. O modelo das cidades compactas propõe outra forma de estruturar a ocupação do solo urbano através da configuração de assentamentos mais verticalizados e concentrados nas imediações das estações e vias de transporte coletivo.

O conceito de cidades compactas deve ser entendido por meio da lógica do retorno do investimento público no território. Segundo Costa (2008, p. 87)

assim surgiu a discussão em torno do modelo das cidades compactas, que, associam a idéia de sustentabilidade à existência, ou não, de um determinado padrão de urbanização que privilegia a adoção de maior densidade construtiva, demográfica e de acessibilidade a comércio, serviços, cultura e lazer, além de uma diminuição nos gastos com energia, sistema viário e transportes.

Nesta concepção prioriza-se a ocupação de áreas ociosas que já dispõem de infraestrutura urbana, observados os limites de capacidade da mesma e os padrões de saturação do meio ambiente. Trata-se de uma proposta de adensamento populacional próximo a corredores de mobilidade urbana que garante, de um lado, maior proximidade da infraestrutura de transporte coletivo para a população e, de outro, a criação de centros e centralidades de comércios e serviços que promovam vitalidade e urbanidade nos grandes centros. A ocupação compacta do tecido urbano, portanto, seria um mecanismo de promoção de maior justiça sócio-espacial, na medida em que seria captado pela coletividade o investimento realizado pelo poder público em infraestrutura (Costa, 2008).

¹ Segundo Sánchez (2008, p.28) resiliência é “a capacidade de um sistema natural se recuperar de uma perturbação imposta por um agente externo (ação humana ou processo natural).”

Segundo Acselrad (2009, p. 60), “a noção de sustentabilidade urbana pode também articular as estratégias argumentativas da eficiência ecoenergética e da qualidade de vida na consideração da forma urbana como fator determinante de sustentabilidade”. Portanto, há também uma racionalidade ambiental presente no conceito, pois, com a ocupação adensada menores seriam os custos de expansão da urbanização e de manutenção da infraestrutura urbana.

2.2 - Instrumentos urbanísticos e adensamento urbano

As Operações Urbanas Consorciadas são um dos instrumentos em geral de planejamento urbano regulamentados pelo artigo 4º do Estatuto da Cidade². O Estatuto da Cidade, ao regulamentar os artigos da política urbana da Constituição Federal de 1998 (CF/88), “estabelece normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental” (BRASIL, 2001, art. 1º). Nesse sentido, visa ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade, conforme determina o art. 182 da CF/88.

De acordo com o Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001, art. 32, § 1º), considera-se operação urbana o conjunto de intervenções e medidas coordenadas pelo Poder Público municipal, com a participação dos proprietários, moradores, usuários permanentes e investidores privados, com o objetivo de alcançar em uma área transformações urbanísticas estruturais, melhorias sociais e a valorização ambiental.

Na estrutura da lei, consta no capítulo II, dos instrumentos da política urbana (Seção I, dos instrumentos em geral), como um dos institutos tributários e políticos (Art. 4º, V, p). Desse modo, concordando com Castro (2006, p.6), as operações urbanas, enquanto instrumentos de planejamento urbano podem ser entendidas “como instrumentos de políticas públicas voltadas para a organização e gestão de processos socioespaciais com objetivos de produção de melhoramentos urbanos em nome do interesse público”.

No livro Plano Diretor Participativo, Rolnik e Pinheiro (2004) afirmam que no macrozoneamento urbano identificam-se

as áreas prioritárias, secundárias e restritas para o incremento da ocupação e do adensamento. Essa identificação é feita, basicamente, a partir das **capacidades de suporte** das redes de abastecimento de água, coleta de esgoto, energia elétrica, fornecimento de gás, de transporte coletivo, do

² Lei Federal n. 10.257, de 10 de julho de 2001 – regulamenta os Artigos 182 e 183 da Constituição Federal de 1988, que tratam da política urbana.

sistema viário, das orientações geotécnicas e dos riscos socioambientais. Nesse macrozoneamento, inscrevem-se as diferentes categorias de áreas especiais como, por exemplo, de interesse social, de interesse ambiental, de preservação histórico-cultural, de preservação da paisagem urbana, dentre outras.

A identificação da capacidade de suporte é indispensável ao macrozoneamento urbano, no entanto, acredita-se que este tipo de análise deve também ser feito para outras escalas, em projetos específicos de eixos de obras estruturantes dos municípios, como é o caso das Operações Urbanas Consorciadas. A proposta fundamental deste instrumento consiste na transformação profunda de uma determinada área do tecido urbano sob comando do poder público para o atendimento de objetivos estabelecidos no Plano Diretor em parceria com o setor privado (Carvalho e Rossbach, 2010).

As implicações deste tipo de intervenção envolvem vários segmentos interessados: os moradores, os proprietários, os usuários atuais e futuros, e os investidores. Além disso, afetam indiretamente toda a população, pois geralmente são escolhidas regiões da cidade que possam propiciar a amplificação dos efeitos das Operações Urbanas (Brasil, 2001). As operações urbanas criam, em tese, novos padrões de parcelamento, uso e ocupação do solo urbano através de planos urbanísticos nos quais a implementação de obras e serviços de interesse público possa ser efetivada mediante a contrapartida financeira dada pela iniciativa privada pelo ganho de potencial construtivo em áreas restritas da cidade (Maricato e Ferreira, 2006; Castro, 2006).

Segundo Belo Horizonte (2013), a Operação Urbana Consorciada do Corredor Antônio Carlos/Pedro I promove uma reforma urbana no entorno imediato das avenidas, alterando e diversificando os padrões atuais de ocupação, buscando o incremento de usuários do novo sistema BRT de transportes, ou seja, um maior adensamento populacional das vizinhanças para otimização na utilização da infraestrutura instalada. Segue, portanto as diretrizes estabelecidas conforme o artigo 69-L do Plano Diretor municipal (Belo Horizonte, 1996):

Art. 69-L - A Operação Urbana no entorno de Corredores de Transporte Coletivo Prioritários tem as seguintes finalidades:

- I - permitir, após a reestruturação dos Corredores, a revisão do adensamento, dada a maior capacidade de suporte do sistema de transporte;
- II - permitir a implantação de equipamentos estratégicos para o desenvolvimento urbano e para o sistema de transporte;
- III - implantar novos espaços públicos;
- IV - ampliar e melhorar a rede viária;

V - otimizar as áreas envolvidas em intervenções urbanísticas de porte e a reciclagem de áreas consideradas subutilizadas.

2.3 - Qualidade ambiental e indicadores

Segundo Caribé e Dias (2011, p.36), o conceito de qualidade ambiental tem evoluído ao longo do tempo dado ser, como a própria ciência, um conceito social e historicamente construído. Não há um conceito universalmente aceito para qualidade ambiental, é um termo de difícil definição, pois está ligado às condições físicas, químicas, biológicas, humanas, sociais e culturais para a sobrevivência dos indivíduos.

Segundo o IBAMA (2013), qualidade ambiental é o estado das condições do meio ambiente, expressas em termos de indicadores ou índices relacionados com os padrões de qualidade ambiental. Esse termo pode se referir a características variadas, tais como pureza ou poluição da água e do ar, ruído, acesso aos espaços abertos, os efeitos visuais das áreas construídas, e os efeitos potenciais que tais características podem ter na saúde física e mental dos indivíduos.

Para Hogan (2004) apud Rossato (2006, p. 20)

o conceito de qualidade ambiental é importante à medida que, baseado em uma análise do meio ambiente em função da qualidade de vida dos seres humanos, se aceita que alta qualidade ambiental está associada àquelas situações do ambiente que favorecem a melhor qualidade de vida das pessoas pertencentes a um sistema humano, dado que a qualidade de vida está determinada tanto por fatores objetivos quanto por satisfações subjetivas.

Jonhson et al. (1997) apud Sanchez (2008, p.27) afirmam que qualidade ambiental “é uma medida da condição de um ambiente relativa aos requisitos de uma ou mais espécies e/ou de qualquer necessidade ou objetivo humano”. Sanchez (2008, p.27) ressalta a questão desenvolvida por Sachs (1974) de que como um conceito que pode ser medido por indicadores “a qualidade ambiental deve ser descrita com a ajuda de indicadores objetivos e apreendida no plano de sua percepção pelos diferentes atores sociais.”

Portanto, o conceito de qualidade ambiental está intimamente ligado ao conceito de qualidade de vida. Condições ambientais interferem diretamente como reflexos positivos ou negativos no conjunto da população. De acordo com FEAM (1995) apud Rossato (2006, p.1) “a qualidade de vida pode ser entendida como a condição de bem-estar físico, psicológico e social de uma população ou indivíduo, considerando-se também as pressões exercidas pelo meio ambiente”.

Para analisar a qualidade ambiental do meio urbano, Nucci (2008) utilizou dados espacializados e integrados sobre uso do solo, poluição, enchentes, densidade populacional, cobertura vegetal e espaços livres, entre outros. As variáveis apresentadas a seguir foram trabalhadas pelo referido autor, tratando-se de aspectos considerados como dados de entrada para a definição da qualidade ambiental do meio, primeira etapa de análise da capacidade de suporte para a área de estudo.

- Clima urbano e ilha de calor:

O clima de uma região é condicionado por diversos elementos, como a temperatura, o regime de chuvas, umidade do ar, ventos e pressão atmosférica, que por sua vez, definidos por fatores como altitude, latitude e continentalidade (Mendonça et al, 2007).

As mudanças causadas no clima pela urbanização são: diminuição da radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa; aumento da temperatura, da poluição, da precipitação e da névoa. O estudo do microclima busca esclarecer a influência desse elemento na vida, na saúde, na distribuição das atividades da área estudada.

Segundo Nucci (2008) a verticalização ocasiona a expansão das superfícies de concreto, que possuem alta capacidade térmica. Portanto, há uma diminuição da evaporação, um aumento da rugosidade e da capacidade térmica em áreas urbanizadas. Essas três condições favorecem a constituição do fenômeno da ilha de calor muito comum em áreas urbanas.

A ilha de calor é a formação de uma circulação do ar característica, onde o ar das regiões com maior concentração se aquece e sobe, e o ar das regiões periféricas converge para as áreas concentradoras, onde se encontra o pico da ilha de calor, formando-se um domo de poluição sobre a cidade.

Este processo concentra as partículas poluidoras nas regiões centrais. O agravamento da situação ocorre quando a absorção de luz solar pelas partículas poluidoras, especialmente na parte superior do domo, intensifica a inversão térmica e os poluentes não se dissipam e ficam retidos com maior força na cidade.

- poluição atmosférica:

A qualidade do ar é um parâmetro ambiental importante na avaliação da qualidade de vida urbana, pois apresenta efeitos diretos para a saúde humana. A concentração de poluente leva grande parte da população a enfrentar problemas de

saúde, principalmente no inverno quando as inversões térmicas são mais frequentes. Na atualidade, não há dúvida de que as principais fontes poluidoras nas cidades são os veículos automotores (Vasconcelos, 2006). Isto é especialmente relevante, ao se tratar da qualidade ambiental de corredores de transporte como é o caso do presente estudo.

O principal parâmetro para o estudo da poluição atmosférica é o indicador de material particulado inalável (Sánchez, 2008, p. 238). As partículas inaláveis são uma das principais causadoras de problemas respiratórios e representam materiais sólidos e líquidos em suspensão na atmosfera como poeira, pó e fuligem.

- Bacias de drenagem e inundações:

As enchentes e inundações no meio urbano estão relacionadas à impermeabilização do solo que causa a diminuição da infiltração da água no solo e o aumento do escoamento superficial. A precipitação flui com maior rapidez para os cursos d'água principais, que em muitos casos já estão canalizados e retificados, e não conseguem dar vazão ao grande volume (Botelho, 2011). A vazão dos córregos e canais também é prejudicada pelo assoreamento causado pela remoção de terra na expansão do perímetro urbano e pela disposição inadequada dos resíduos sólidos que acentuam a redução das seções de drenagem (Tucci et al, 2005).

Nas últimas décadas, as planícies naturais dos rios foram sistematicamente substituídas por avenidas sanitárias que sofrem com inundações e alagamentos. Este é o comportamento natural da rede de drenagem, portanto, sempre que ocorrem eventos de precipitação acentuada as inundações trazem grandes prejuízos à população.

- Bacias de drenagem: esgotamento sanitário

Segundo o Diagnóstico do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento do Ministério das Cidades, uma parcela considerável dos esgotos não são coletados e/ou interceptados no em nossas cidades resultando na poluição direta da maior partes dos cursos d'água (SNIS, 2011). Em muitos casos, os cursos d'água no meio urbano são canais de esgoto que colocam a saúde da população em risco e desperdiçam um enorme potencial hídrico e paisagístico. Há ainda a questão da poluição difusa originada a partir de resíduos sólidos e sedimentos e que transportada pela rede de drenagem contamina os rios e córregos.

A insuficiência da rede de esgotamento sanitário causa grande impacto à qualidade ambiental no meio urbano. A identificação dos perímetros onde a cobertura

do serviço de esgotamento e tratamento das águas servidas não está contemplada deve ser uma variável considerada para qualidade ambiental.

- Resíduos sólidos:

A disposição inadequada de resíduos sólidos pode ocasionar: aspecto estético desagradável, maus odores, proliferação de insetos e roedores, doenças por contato direto, poluição da água, desvalorização de áreas, saturação ou obstrução das redes de drenagem e cursos d'água, aumentando a possibilidade de inundações (Nucci, 2008). Regiões com carência no recolhimento de resíduos sólidos devem ser verificadas. Também se pode verificar existência de lixões ou deposição em locais inadequados como carência de infraestrutura.

- Poluição sonora:

A poluição sonora afeta a qualidade ambiental e as principais fontes de ruído são os meios de transporte terrestre, os aeroportos, as obras de construção civil, as atividades industriais, os aparelhos eletrodomésticos e o próprio comportamento humano (CONAMA, 1990). Por se tratar de um eixo viário importante a poluição sonora deve ser considerada, principalmente sobre os usos residenciais. A mistura de usos e a proximidade do corredor viário pode criar desconforto auditivo para a população do entorno.

- Cobertura vegetal, áreas verdes e espaços livres de uso público:

A vegetação desempenha importante papel nas áreas urbanizadas no que se refere à qualidade ambiental. Na paisagem urbana, a cobertura vegetal não possui função meramente estética, mas uma função física importante.

Nucci (2008, p. 23) destaca uma grande variedade de benefícios trazidos pela vegetação no meio urbano:

- estabilização de superfícies por meio da fixação do solo
- obstáculo contra o vento
- proteção da qualidade da água, impedindo a contaminação por substâncias poluentes
- filtração do ar, diminuindo material particulado e poeira
- aumento da umidade do ar, diminuindo o desequilíbrio existente em áreas densamente urbanizadas
- redução de ruídos

- proteção de nascentes e mananciais
- abrigo à fauna urbana
- organização e composição de espaços para atividades humanas
- elemento de valorização visual e paisagística
- estabilização da temperatura do ar
- segurança das calçadas como acompanhamento viário
- contato com a natureza colaborando para a saúde do homem
- estabelecimento de uma escala intermediária entre a humana e a construída

A cobertura vegetal permite amenizar ou resolver muitos problemas, tanto em termos quantitativos como qualitativos no meio urbano. A distribuição espacial deve ser cuidadosamente considerada na avaliação da qualidade ambiental.

A qualidade ambiental está diretamente associada ao uso do solo urbano, sendo uma classificação do uso do solo determinante para definir as possibilidades de incremento da vegetação nas áreas urbanizadas. Sukkop et al (1979) apud Nucci (2008, p.25) afirmam que “mudanças na temperatura do ar, umidade e velocidade dos ventos causados por um clima urbano podem basicamente ser correlacionados com a densidade de construção, grau de impermeabilização e proporção de áreas verdes.”

Existe confusão entre os indicadores de m² de área verde por habitante. Muitas vezes são incluídos espaços livres que não possuem vegetação. É necessário distinguir áreas verdes propriamente ditas de espaços ou áreas livres em que não existem espécies vegetais. O problema não está na definição de áreas verdes, já que este conceito é bastante claro, mas nas metodologias de coleta de dados para o cálculo de áreas verdes nos quais muitas áreas não expressivas são consideradas. O processamento digital de imagens pode colaborar para maior precisão na definição dos fragmentos de cobertura vegetal que sejam expressivos e relevantes no meio urbano.

Na verdade, o principal problema das áreas verdes no meio urbano está na sua má distribuição no território onde regiões centrais se encontram extremamente áridas enquanto regiões menos adensadas concentram as áreas verdes relevantes. Há uma diferença para o índice de cobertura vegetal, que considera todas as manchas de vegetação, inclusive as copas de árvores. O índice de cobertura vegetal considera áreas verdes públicas e particulares e arborização de rua.

Nucci (2008, p. 30-35) defende que se o planejamento de uma cidade propõe adensamento e fixação da população perto do local de trabalho em uma dada área, deve também levar em conta que com isso a população ali residente terá mais tempo de lazer,

pois não precisará mais gastar 3 a 4 horas diárias para se locomover. Com isso seria necessário fornecer meios para que essa população ocupasse seu tempo livre de maneira saudável. O sistema de espaços livres públicos para recreação deve, portanto, ser também planejado como política de desenvolvimento urbano. É necessário prever as conseqüências sociais da dilatação do lazer, destinando-lhe áreas e acomodações.

- Verticalização:

A verticalização das edificações nas áreas urbanas provoca algumas conseqüências do ponto de vista da qualidade ambiental como diminuição da insolação e da circulação do ar, aumento da impermeabilização do solo, aumento do tráfego, criação de espaços internos pouco ocupados em quadras extensas. A um aumento da massa edificada de prédios de apartamentos corresponde um aumento da população e, portanto das necessidades de espaços ao ar livre para circulação, acesso, estar e recreação, isto é, existe uma demanda em potencial de usuários para um sistema mais amplo de áreas livre públicas e privadas.

Segundo Nucci (2008, p.41) “parece ser interessante para o poder público o adensamento de áreas nas quais se julgue existir infraestrutura adequada, entretanto não estão sendo levados em conta outros fatores ligados ao aumento da densidade populacional.” Para o autor trata-se de um mito o argumento de que ocorre um ganho de espaços livres à medida que se verticaliza uma certa área. Citando Losch (1984) afirma que acima de quatro andares o ganho de espaços livres é negligenciável. Segundo Losch, o ganho de área livre vai diminuindo bruscamente na medida em que a área vai sendo verticalizada.

Entretanto, apesar de considerar a posição do autor, acredita-se que a verticalização depende, sobretudo, do coeficiente de aproveitamento empregado na ocupação e de uma nova estrutura de ocupação dos lotes que considere outros parâmetros urbanísticos como taxa de ocupação e afastamentos laterais e frontais. Esta é uma das questões fundamentais das propostas de Operação Urbana Consorciada que tentam absorver os impactos por elas produzidos através do ajuste a novas exigências em termos de parâmetros construtivos (Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2013).

A questão está na fórmula utilizada pelo autor em que a extensão dos pavimentos construídos é equivalente as áreas livres produzidas. Em um contexto de OUC, há a necessidade de uma quantidade mínima de metros quadrados e taxa de ocupação para atingir o coeficiente de aproveitamento necessário para verticalização. O

incorporador precisa agrupar terrenos para atingir os coeficientes de aproveitamento que lhe permitam uma verticalização mais intensa (Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2013).

- Densidade populacional:

A definição de um índice ideal para a densidade populacional e para o limite de crescimento das cidades é tema trabalhada por várias gerações de urbanistas. A densidade deve ser ponderada por índices qualitativos de acordo com a maior ou menor perceptibilidade. A percepção das restrições que a aglomeração excessiva impõe: ruídos, presença dos vizinhos, convergência para os mesmos espaços de serviços comuns. Grupos populacionais restritos a pequenos espaços passam por desconforto, riscos de doenças, problemas de alimentação e suprimento de água, e dificuldade para arrumar espaço para depósito de seus resíduos.

Segundo Nucci (2008, p.44) “com o adensamento o cidadão fica sem opção. Ele se encontra mergulhado em meio a ruídos, sons, cheiros, vozes, aglomerações, sem a possibilidade de fuga”.

Nucci (2008) menciona os trabalhos de Campos Filho (1972) e Mascaró (1979). O primeiro defende proposta de desenvolvimento de cenários com diferentes formas urbanas, alternativas e estilos de vida relacionados a densidades maiores. Mascaró (1979) estabelece uma relação entre densidade populacional e custos de infraestrutura construindo um parâmetro para uma densidade demográfica ideal. A faixa ideal de densidade demográfica entre 200 e 450 hab/h.

Tabela 1: Relação densidade demográfica e infraestrutura

Densidade (hab/h)	Infraestrutura (gás, água, pluvial, esgoto, elétrica, pavimento)
< 200	Instalação e manutenção muito onerosa
200> <450	Ideal
450> <600	Gasta-se menos com infraestrutura

- Tombamento:

O tombamento significa um conjunto de ações realizadas pelo poder público com o objetivo de preservar, através da aplicação de legislação específica, bens culturais de valor histórico, cultural, arquitetônico e *ambiental* e também de valor afetivo para a população, impedindo que venham a ser demolidos, destruídos ou descaracterizados (IPHAN, 2013). Trata-se de um aspecto relevante quanto a qualidade ambiental, pois

também podem existir bens ou conjuntos com determinada ambiência qualificados como patrimônio ambiental e que devem ser considerados.

2.4 - SIG, geoprocessamento, modelagem conceitual, análise multicritério

O Geoprocessamento pode auxiliar na avaliação da capacidade de suporte de determinada área viabilizando a realização de diagnósticos e prognósticos de evolução urbana.

Segundo Moura (2003, p.8) 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 associar a esse ato um novo olhar sobre o espaço, um ganho de conhecimento, que é a informação.”

De acordo com Rocha (2000, p. 210) geoprocessamento pode ser definido como “uma tecnologia transdisciplinar que através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise, e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.”

Segundo Rocha (2000, p. 48) define-se sistema de informação geográfica como um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanumérico.

Câmara e Medeiros (1998) apud Rocha (2000, p. 47) indicam como principais características do SIG:

- a capacidade de inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para
- consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

A utilização de um SIG pressupõe a existência de um banco de dados georreferenciados, ou seja, de dados portadores de registros referenciados a um sistema

de coordenadas conhecido. A manipulação dos dados é realizada por um sistema gerenciador de banco de dados.

De acordo com Rocha (2000, p. 61) Os sistemas gerenciadores de banco de dados (SGBD) informatizados são a principal ferramenta disponível atualmente para o armazenamento, manipulação e organização de grandes volumes de informação. São sistemas que armazenam e recuperam informações de acordo com uma simplificação do mundo real, em que cada entidade física é representada com maior ou menor grau de detalhe, de acordo com as necessidades da utilização das informações, ou seja, da aplicação.

O modelo de armazenamento de informações adotado pelo sistema gerenciador de banco de dados associado no SIG é de fundamental importância para a sua correta utilização. Quanto ao modelo de armazenamento de informações, os SGBDs associados aos SIGs são classificados em: sequencial, hierárquico, de rede, relacional, e orientado a objetos.

Segundo Davis Jr e Fonseca (1997) apud Rocha (2000, p. 63), nos bancos de dados orientado a objetos, a unidade fundamental de recuperação e armazenamento de informações passa a ser o objeto. O objeto é uma estrutura de dados que contém, além de suas informações gráfica e alfanuméricas, informações sobre o relacionamento deste objeto com outros objetos.

O comportamento do objeto também faz parte da base de dados, ajudando a resolver, de forma padronizada, algumas situações comuns: criação do objeto, exclusão do objeto, apresentação na tela, impressão, etc.

A análise multicritério é um método de análise de alternativas para a resolução de problemas que utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar alternativas prioritárias para o objeto considerado (Francisco et al., 2007).

Moura (2007, p. 2899) sintetiza os procedimentos realizados na análise multicritério, identificando sua ampla utilização e a lógica básica presente nos sistemas de informação geográfica:

- 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.

3 - Área de estudo:

As avenidas Presidente Antônio Carlos e Dom Pedro I formam um importante corredor de transporte público de Belo Horizonte, interligando as regiões Norte, Pampulha, Venda Nova e Noroeste do município à região central da cidade. O corredor também tem um papel relevante para os municípios dos vetores Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Os referidos corredores formam o prolongamento de vias de ligação regional que conectam a principal centralidade da RMBH aos municípios vizinhos do Vetor Norte como Vespasiano, Pedro Leopoldo, Lagoa Santa, Santa Luzia e Ribeirão das Neves, além do Aeroporto Internacional Tancredo Neves.

O eixo das Avenidas Presidente Antônio Carlos e Dom Pedro I se articula com outras vias arteriais e de ligação regional, dando acesso a diversas outras regiões da cidade e da região metropolitana. As principais delas são: Anel Rodoviário (acesso às principais rodovias que chegam a Belo Horizonte e a diversas regiões da cidade), avenidas Américo Vespúcio e Bernardo Vasconcelos (acesso às regiões nordeste e noroeste de BH), Rua Padre Pedro Pinto e Avenidas Vilarinho e Civilização (acesso a Venda Nova e Ribeirão das Neves) e Avenida Brasília (acesso a Santa Luzia – este entroncamento localiza-se já na rodovia MG-424, que inicia-se após o encontro das avenidas Dom Pedro I e Cristiano Machado).

Segundo a Prefeitura de Belo Horizonte, o corredor possui também como característica importante a alta capacidade do transporte coletivo (que chega a 30.000 passageiros/hora no horário de pico, próximo à UFMG) e maior capacidade prevista pelo sistema de BRT proposto, integrando duas estações intermodais com alcance metropolitano (Lagoinha/Centro, e Vilarinho), 24 estações de transferência e 1 nova estação de integração na Pampulha.

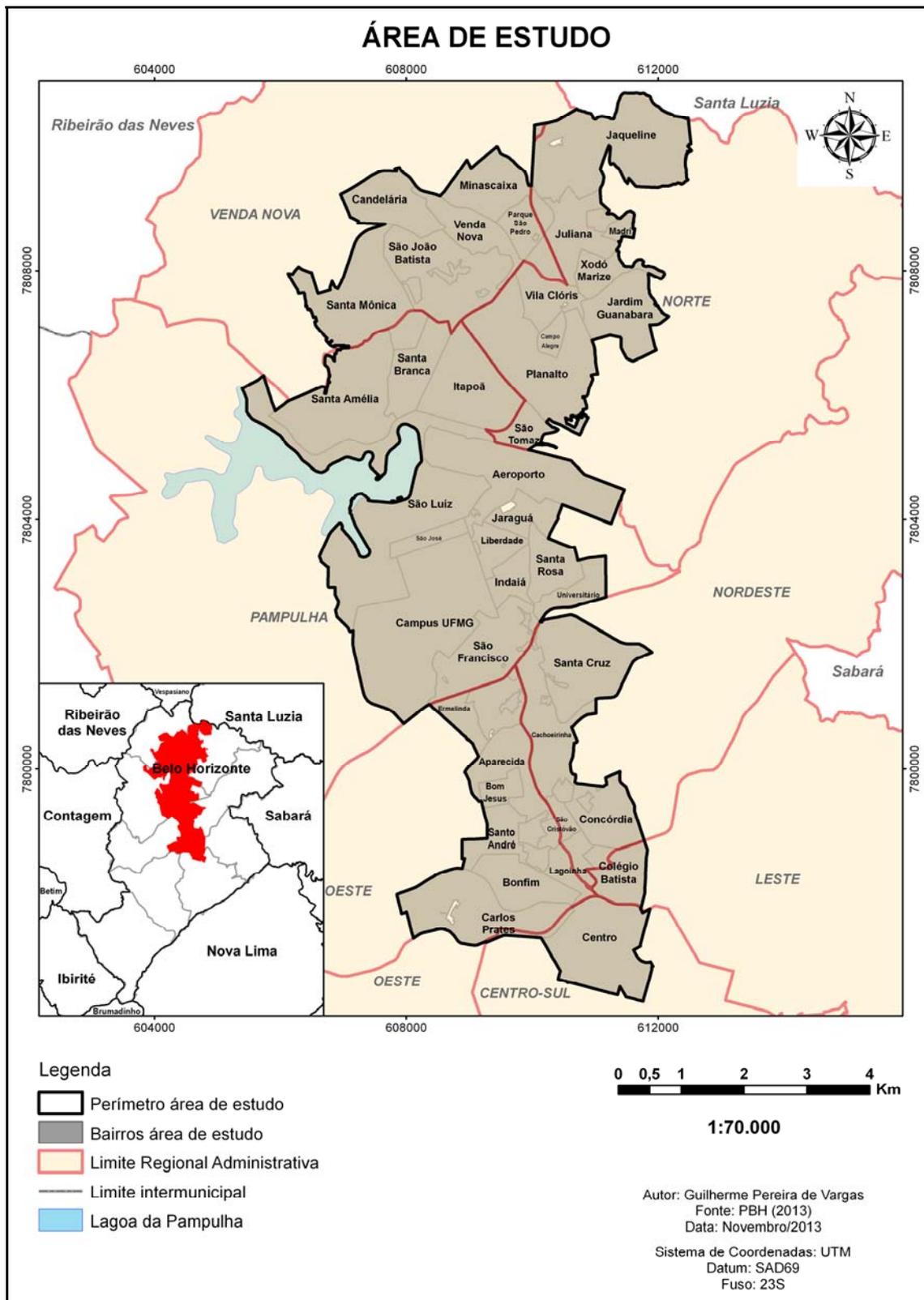
O entorno do corredor viário possui grande diversidade ambiental, de adensamento, uso e ocupação do solo assim como alto potencial de renovação de áreas subutilizadas ou de baixa densidade que, sobretudo após as reformulações promovidas pelas obras viárias, possuem características atrativas ao mercado imobiliário.

Segundo o Plano Urbanístico da Operação Urbana Consorciada (Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2013) a proposta para ocupação do perímetro da Operação Urbana deverá ser consolidado em um projeto de lei que considere:

- Configurar as avenidas como eixo de articulação urbana através da integração com os bairros de entorno;

- Possibilitar adensamento em áreas consideradas subutilizadas;
- Implantar equipamentos estratégicos e criar novas centralidades para o desenvolvimento urbano e para a eficiência do sistema de transporte;
- Promover melhoria estrutural através da implantação de novos padrões de ocupação do solo, ampliação de espaços livres públicos, criação de áreas verdes e melhorias na rede viária, cicloviária e de pedestres.

A área de estudo compreende os bairros limieiros aos corredores urbanos apresentados, totalizando 50,2 km². São 64 bairros pertencentes às regionais Centro-Sul, Leste, Noroeste, Pampulha, Nordeste, Venda Nova e Norte. A seguir apresentamos um mapa de localização da área de estudo:



Mapa 1 - Área de estudo

4 - Materiais e métodos:

O processamento digital dos dados foi realizado utilizando ferramentas do programa ArcGIS da ESRI, através das extensões *3D Analyst*, *Spatial Analyst* e *Geoestatistical Analyst*. Com as ferramentas do programa estruturou-se a organização, correção e criação das bases do trabalho, modelagem, geração das imagens e layouts das cartas temáticas finais.

Os dados utilizados na construção desse trabalho foram disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Tratam-se de bases georreferenciadas vetoriais em formato ESRI shape. Estes planos de informação constituem o repositório inicial para o banco de dados geográficos estruturado para a realização da análise multicritério. As informações existentes em cada base serão evidenciadas na seção a seguir.

Os dados de entrada das variáveis utilizadas estavam representados nos três formatos vetoriais mais comuns: ponto, linha e polígono. O primeiro passo realizado foi à transformação das bases do formato vetorial para o formato *raster*. A adoção do perímetro de bairros da área de estudo foi o critério definido para delimitação das bases em arquivo *raster*.

4.1 - Transformações das bases vetoriais em *raster*

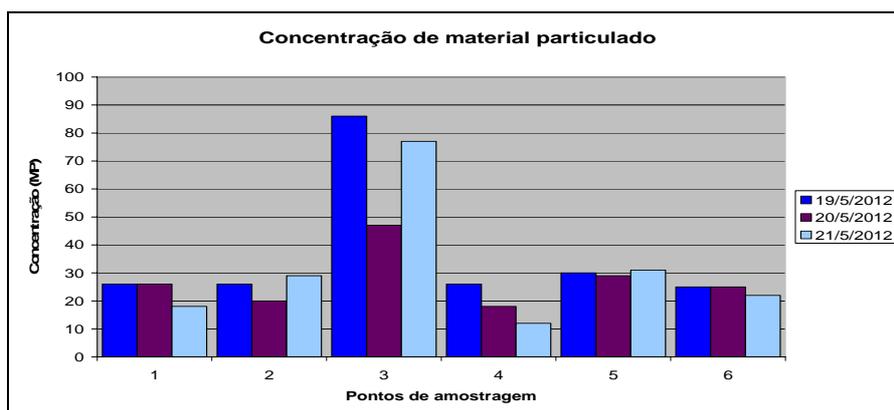
4.1.1 - Variáveis pontuais

Na transformação dos dados pontuais utilizou-se o método de interpolação espacial que objetivou a criação de superfícies contínuas a partir das amostras. A maioria dos procedimentos de interpolação assume a existência de gradiente contínuo e regular entre os pontos de amostragem.

- Qualidade do ar:

Na área de estudo foram realizadas medições da qualidade do ar através do parâmetro de material particulado. As medições ocorreram em três dias consecutivos (sábado, domingo e segunda-feira), conforme Gráfico 1 apresentado a seguir:

Gráfico 1: Concentração de material particulado



Para utilização dos dados optou-se pela criação de uma média ponderada com a seguinte fórmula:

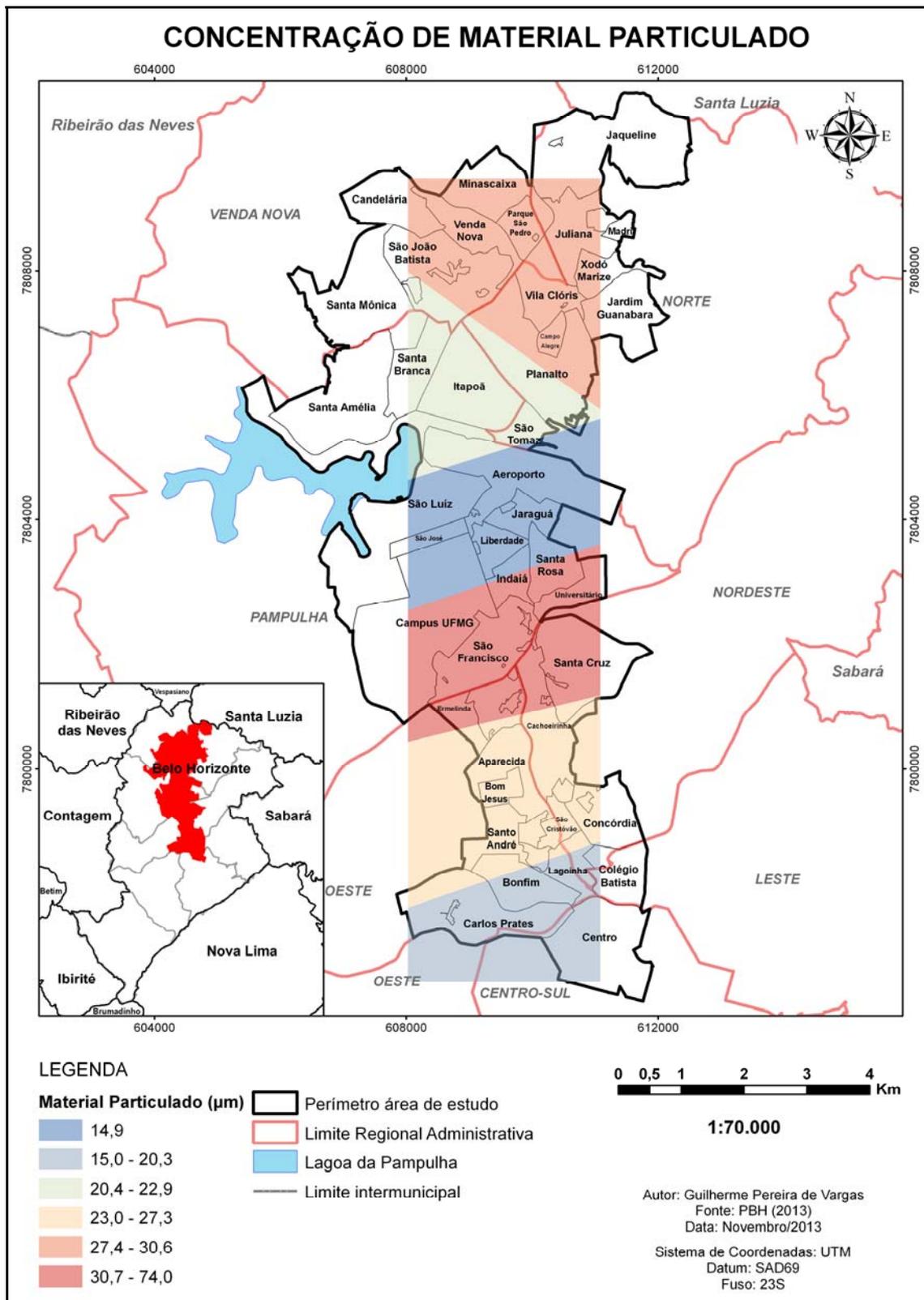
$$\text{Concentração de poluentes} = [(\text{sábado} * 1 + \text{domingo} * 1 + \text{segunda-feira} * 5) / 7]$$

O valor das médias ponderadas é apresentado na tabela a seguir :

Tabela 2: médias ponderadas dos pontos de coleta de material particulado

PONTO	MÉDIAS PONDERADAS
1	20,3
2	27,3
3	74,0
4	14,9
5	30,6
6	22,9

Trata-se, portanto, de uma média ponderada considerando a segunda-feira por ser um dia útil como um dado com peso maior. A partir dos pontos de medição e considerando como valor as medidas obtidas, a superfície contínua representativa da qualidade do ar foi gerada a partir do método de Voronoi que realiza a construção de polígonos segundo distâncias entre um conjunto de objetos espaciais discretos. Cada localização dentro do polígono está mais perto do ponto de medição nele contido amostra do que qualquer um dos outros. O mapa 2 a seguir apresenta a superfície de qualidade do ar.



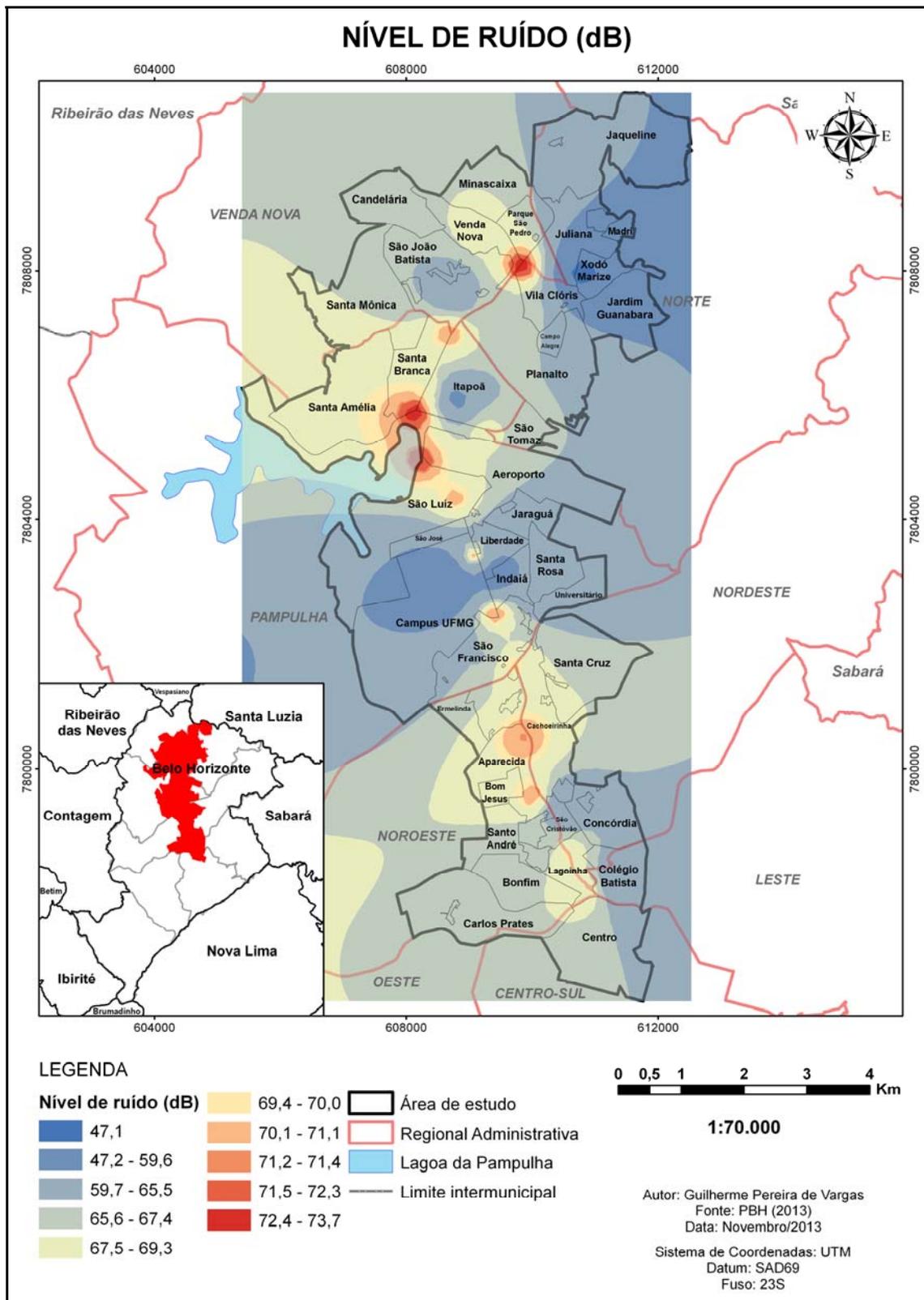
Mapa 2: Concentração de material particulado

- Ruído:

O ruído foi medido nos três períodos do dia (diurno, vespertino, noturno) em 27 pontos da área de estudo. Para transformação dos dados em uma variável espacial foi realizada uma interpolação com a média dos valores apurados nos três períodos do dia.

Optou-se pelo método de interpolação do inverso da distância à potência em que os valores estimados são função da distância e magnitude dos pontos adjacentes. O inverso da distância é utilizado para atenuar a influência de pontos distantes. Esse processo é baseado no pressuposto de existência de correlação espacial positiva.

Trata-se de um método de interpolação local, que considera a zona próxima ao ponto que está sendo interpolado. O método também é considerado determinístico, pois não permite a avaliação dos erros associados aos valores previstos. Trata-se também de um interpolador exato, pois os valores gerados para a superfície interpolada são coincidentes com os valores de observação (Silva; Quintas; Centeno, 2008). O mapa 3 apresenta a superfície representativa de ruído na área de estudo.

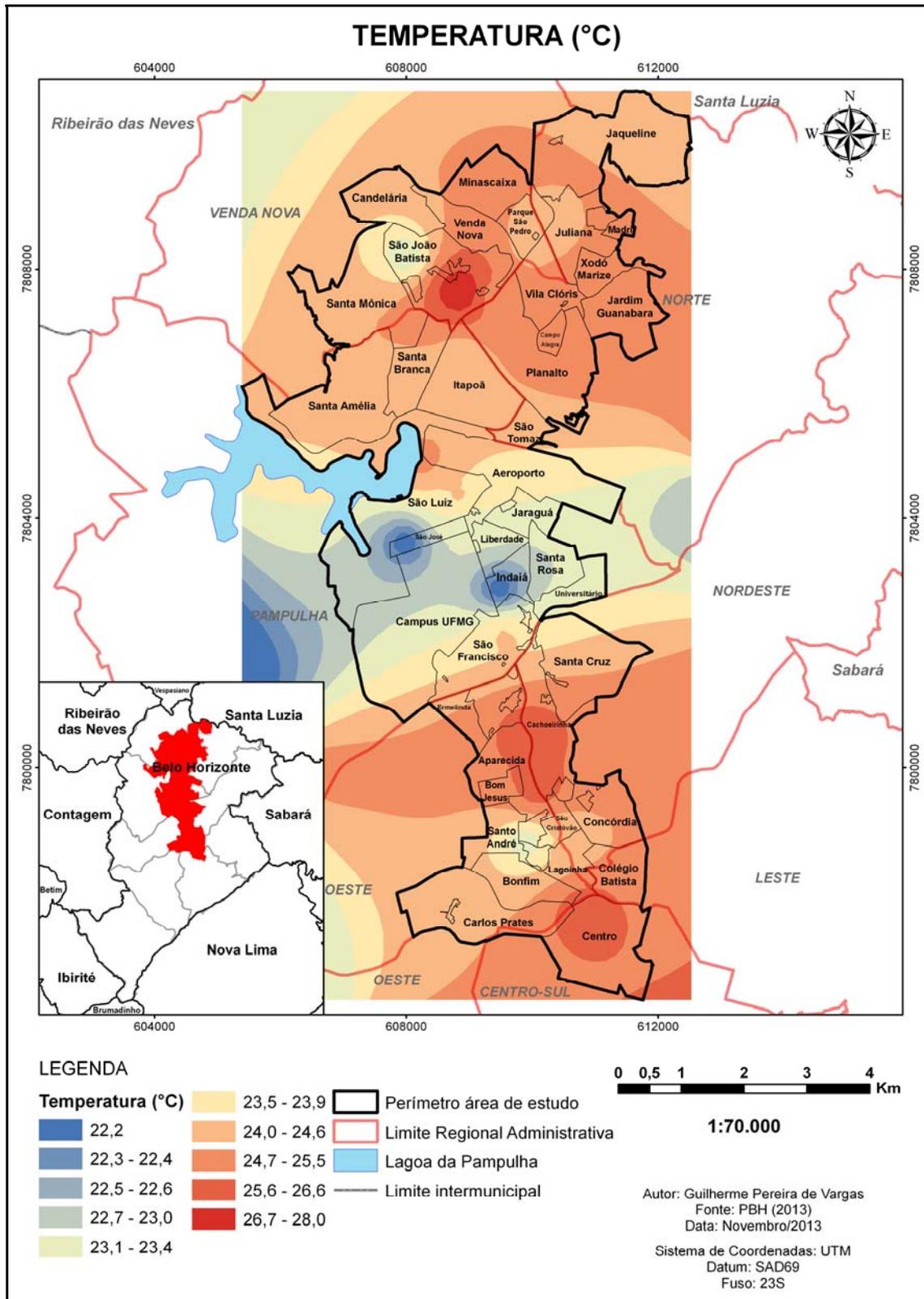


Mapa 3: Nível de ruído (dB)

- Conforto térmico:

Os dados de clima se referem à medição de temperatura ao longo de um dia. Para interpolação foi escolhido o horário das 15:00 para o qual foi observada maior amplitude térmica considerado um indicativo de formação de ilhas de calor na área do trabalho.

O dado original estava no formato multiponto sendo necessário transformá-lo em ponto simples para realizar a interpolação, para a qual também foi utilizado o método do inverso da distância. O mapa 4 a seguir apresenta a superfície representativa da temperatura utilizada para inferir o conforto térmico.

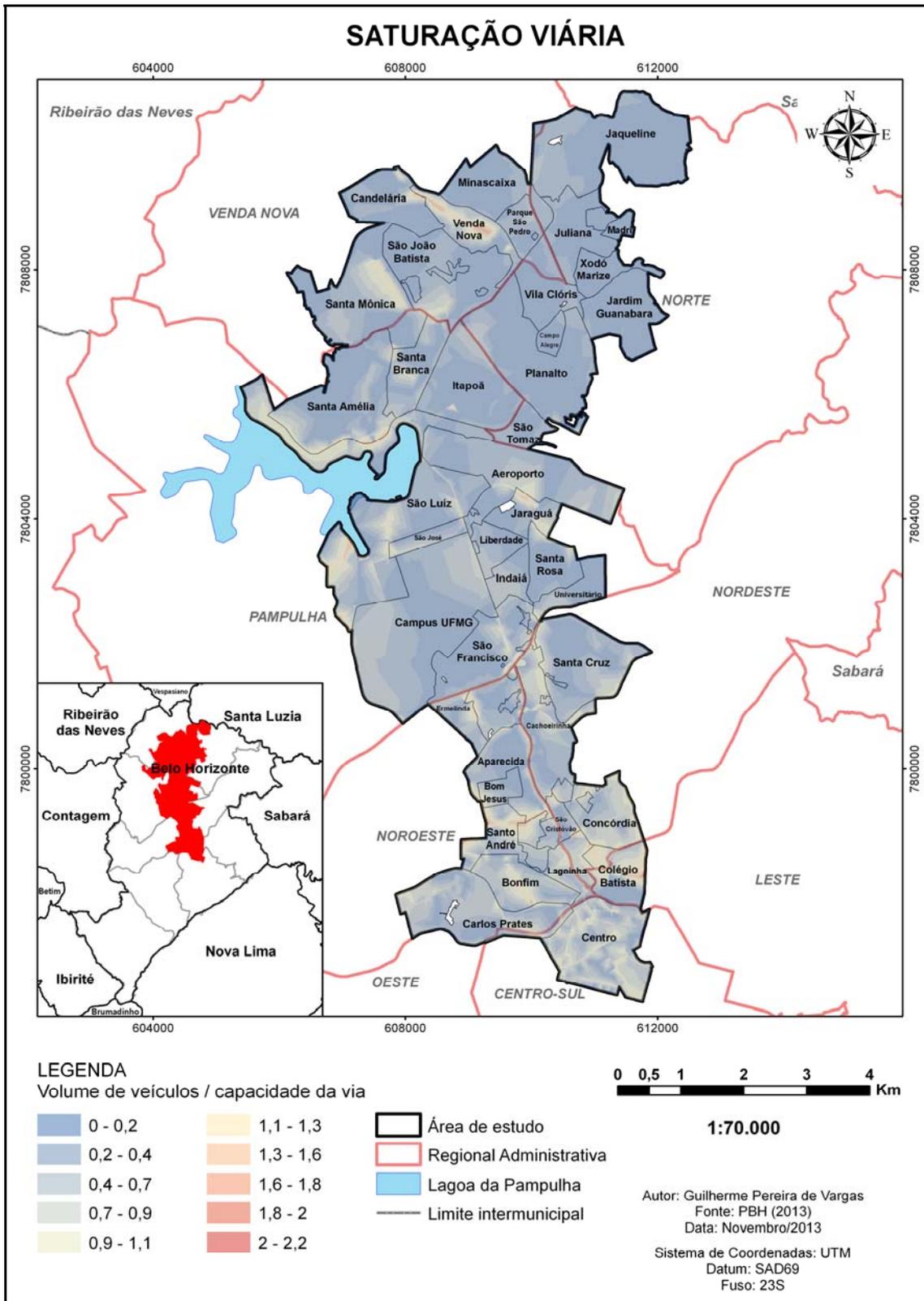


Mapa 4: Temperatura (°C)

4.1.2 - Variável linear: nível de saturação das vias

O nível de saturação das vias é uma razão entre o número de veículos e a capacidade das vias analisadas nos dois sentidos de tráfego. A transformação do indicador linear de saturação das vias para uma superfície foi feita através da interpolação das linhas transformadas em uma malha de triângulos irregulares (TIN).

Adotando-se critérios específicos para construção da rede triangular pode-se chegar a malhas únicas sobre o mesmo conjunto de amostras. A triangulação de Delaunay é comumente usada para produção de superfícies em três dimensões. O critério utilizado é o de maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo. O mapa 5 apresenta a superfície indicativa da saturação viária:



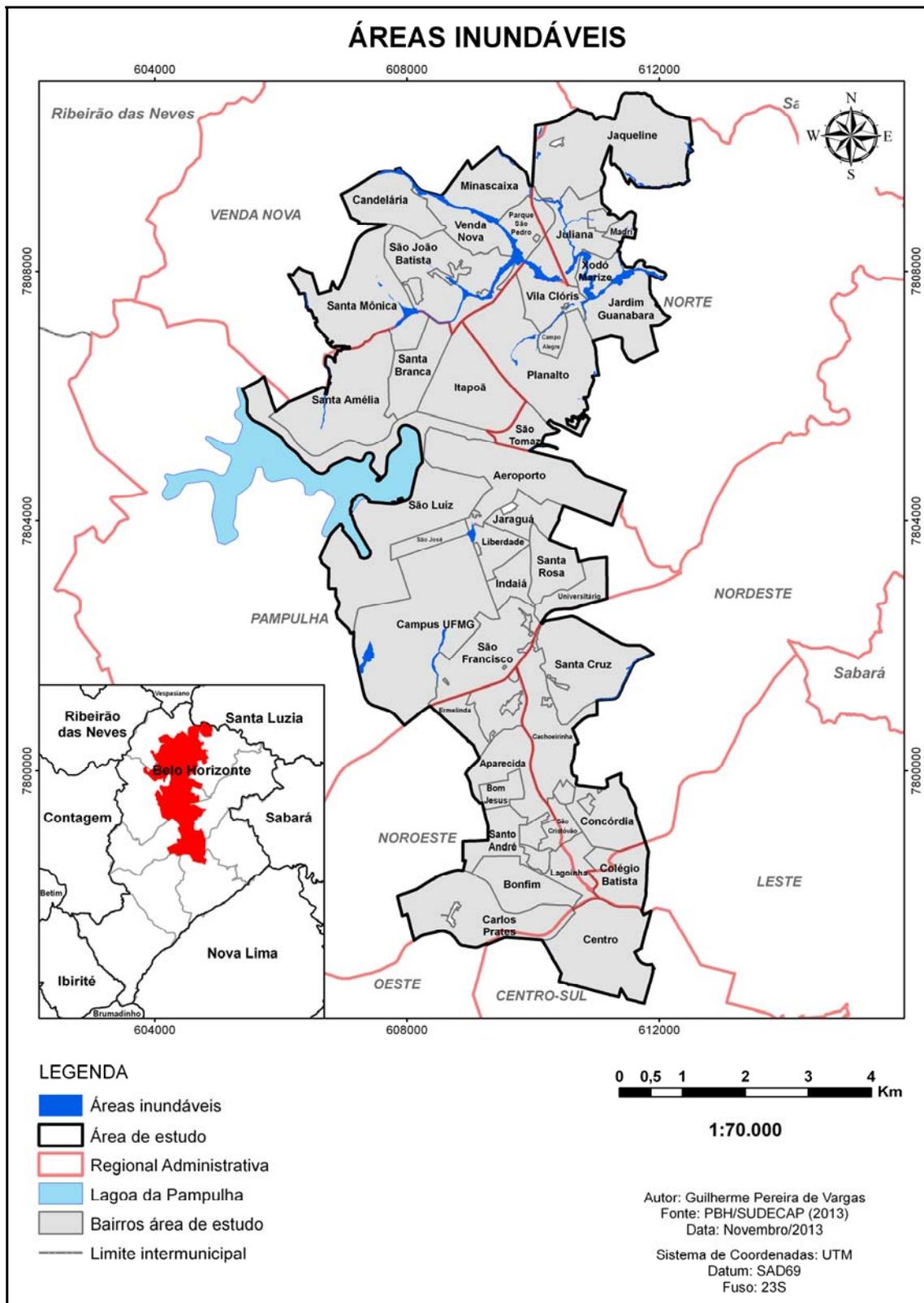
Mapa 5: Saturação viária

4.1.3 - Variáveis poligonais

As bases vetoriais em formato poligonal não necessitaram de nenhum processamento inicial sendo transformadas diretamente para o formato *raster* através de campos presentes nas informações alfanuméricas associadas.

- Polígonos de inundação:

Os polígonos de inundação correspondem às áreas potencialmente susceptíveis a eventos hidrológicos extremos como inundações e alagamentos. Essas áreas foram identificadas após estudos de modelagem hidrológica e hidráulica coordenadas pela Superintendência de Desenvolvimento da Capital – SUDECAP. O mapa 6 identifica os perímetros atingidos por inundações:



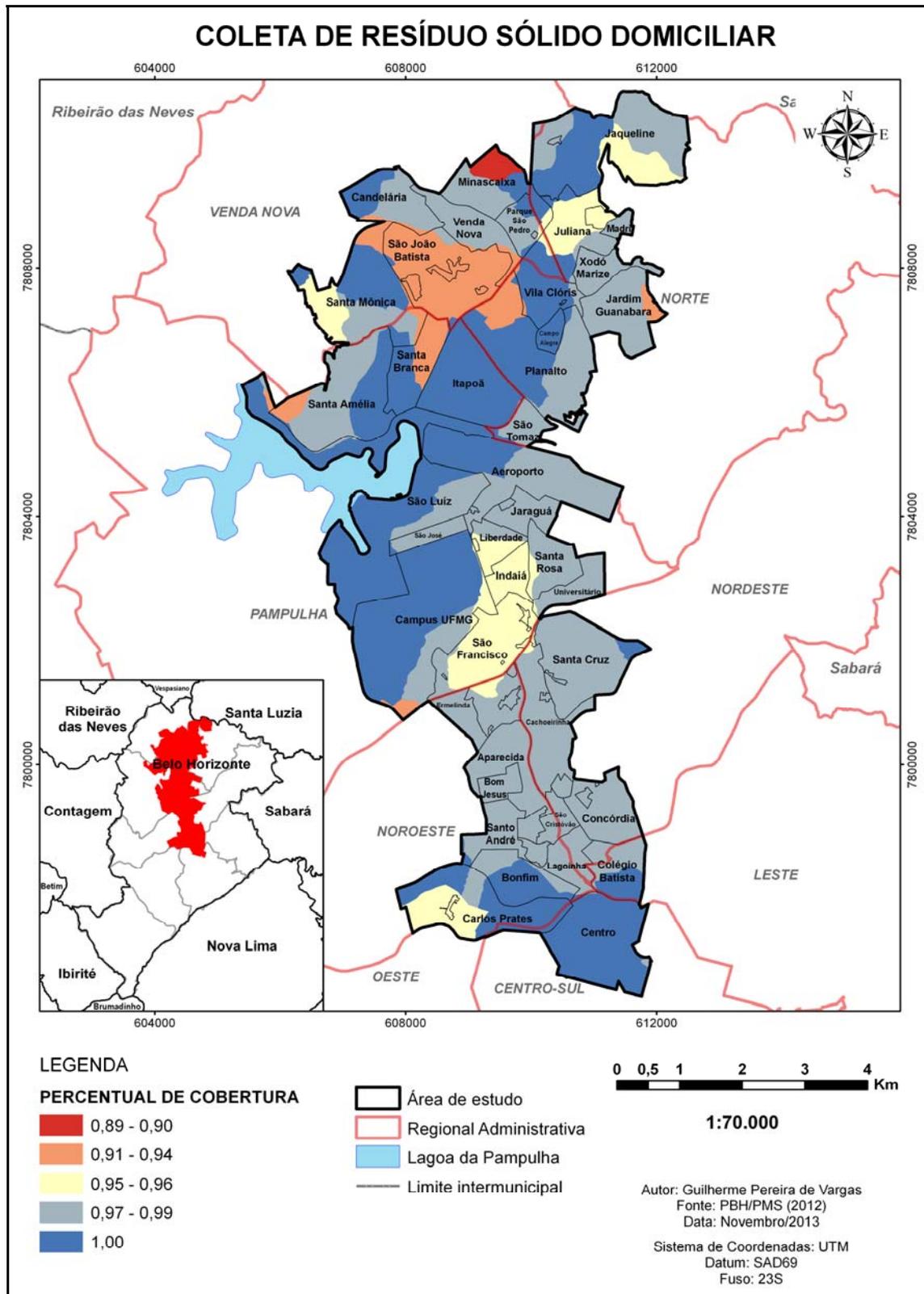
Mapa 6: Áreas inundáveis

- Indicadores de infraestrutura: resíduo sólido, drenagem e esgotamento sanitário

As bases poligonais dos indicadores representam os perímetros das subbacias de drenagem constantes no Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte. Tratam-se dos percentuais de atendimento dos seguintes componentes do saneamento ambiental:

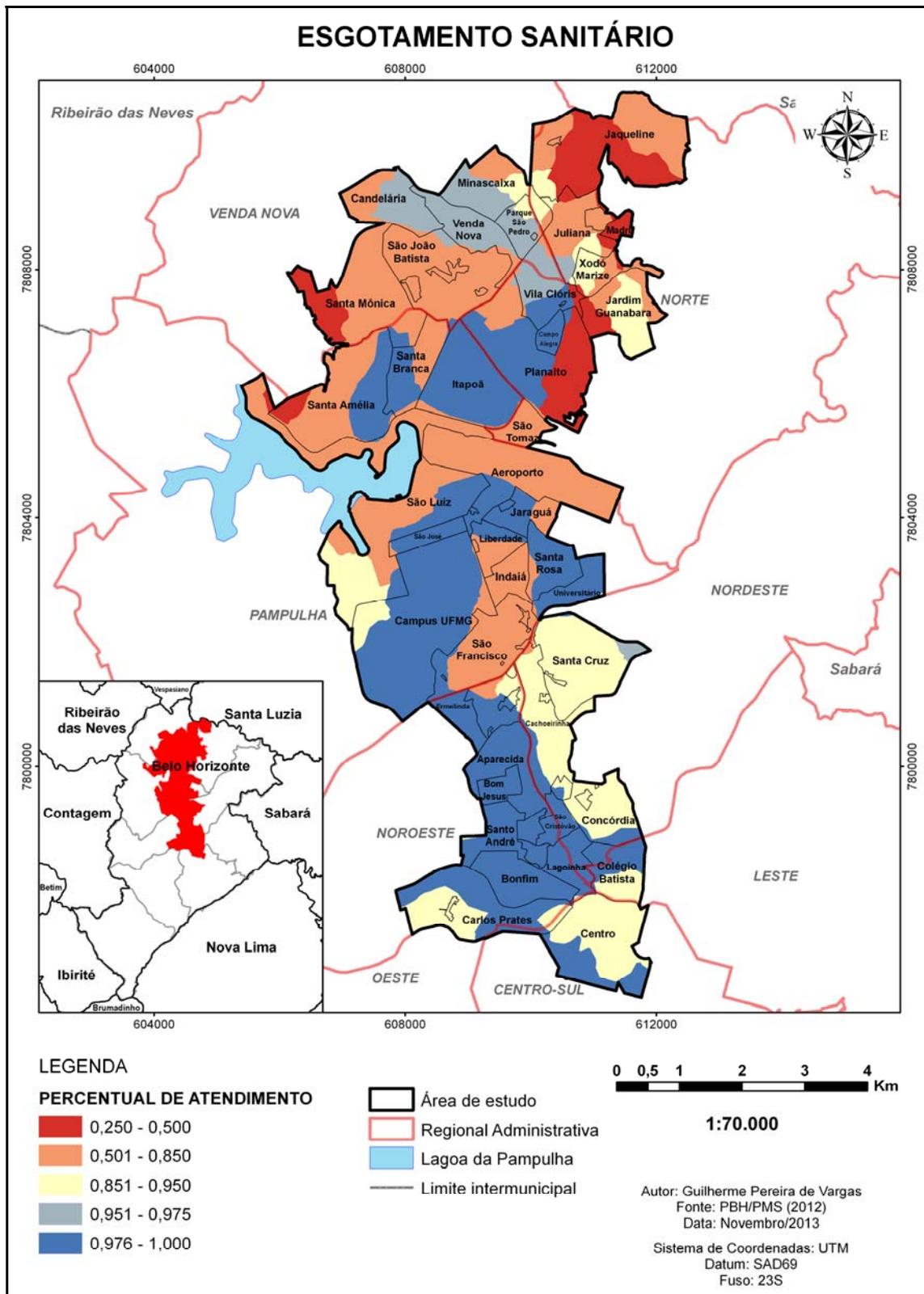
- Resíduo sólido: expressa a cobertura dos serviços de coleta de lixo domiciliar.

O mapa 7 apresenta a distribuição espacial dos serviços de coleta.



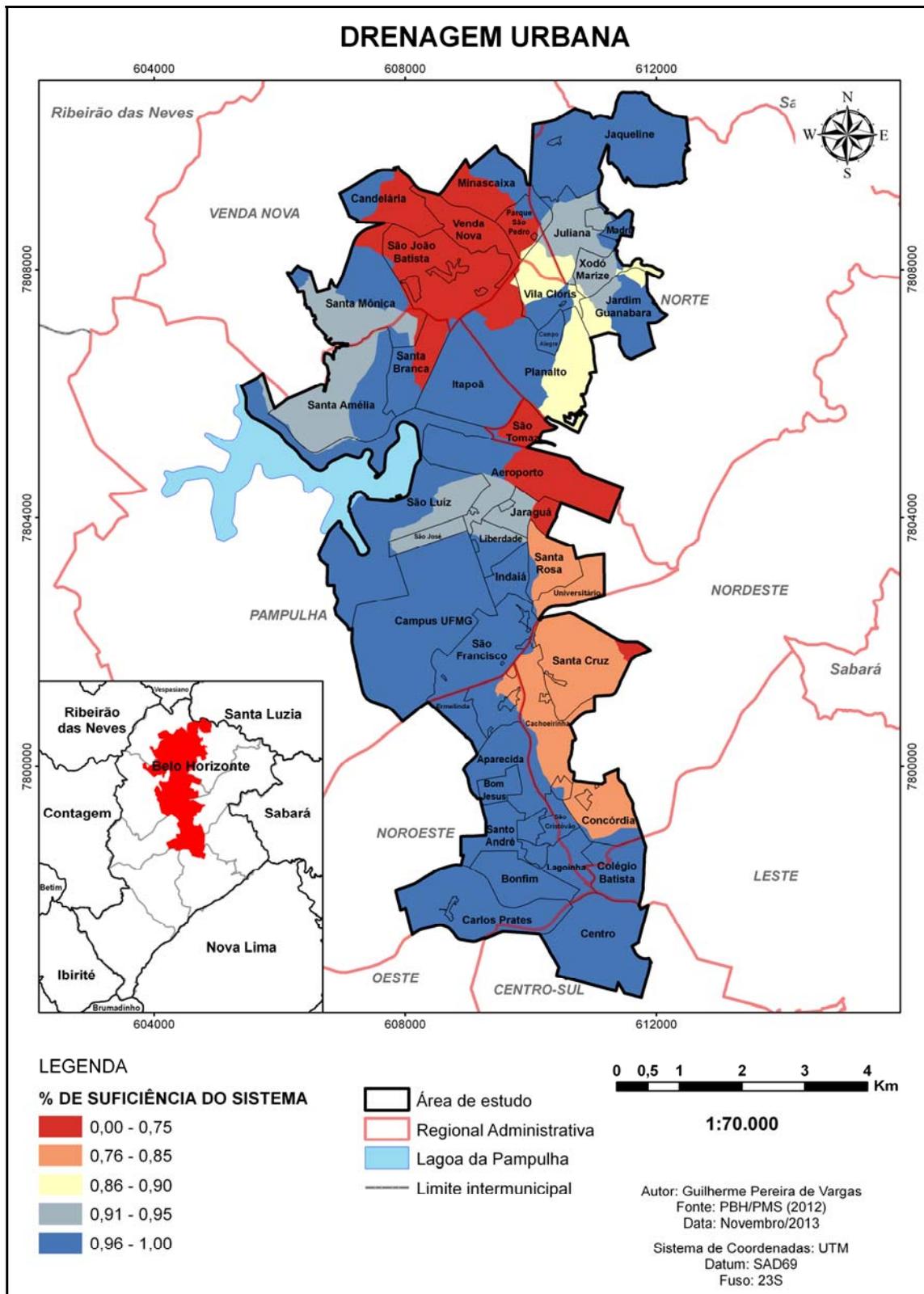
Mapa 7: Coleta de resíduo sólido domiciliar

- Esgoto: expressa o percentual de atendimento por serviço de esgotamento sanitário composto por coleta (30%) e interceptação de esgoto (70%). O mapa 8 apresenta a distribuição atendimento por esgotamento sanitário:



Mapa 8: Esgotamento Sanitário

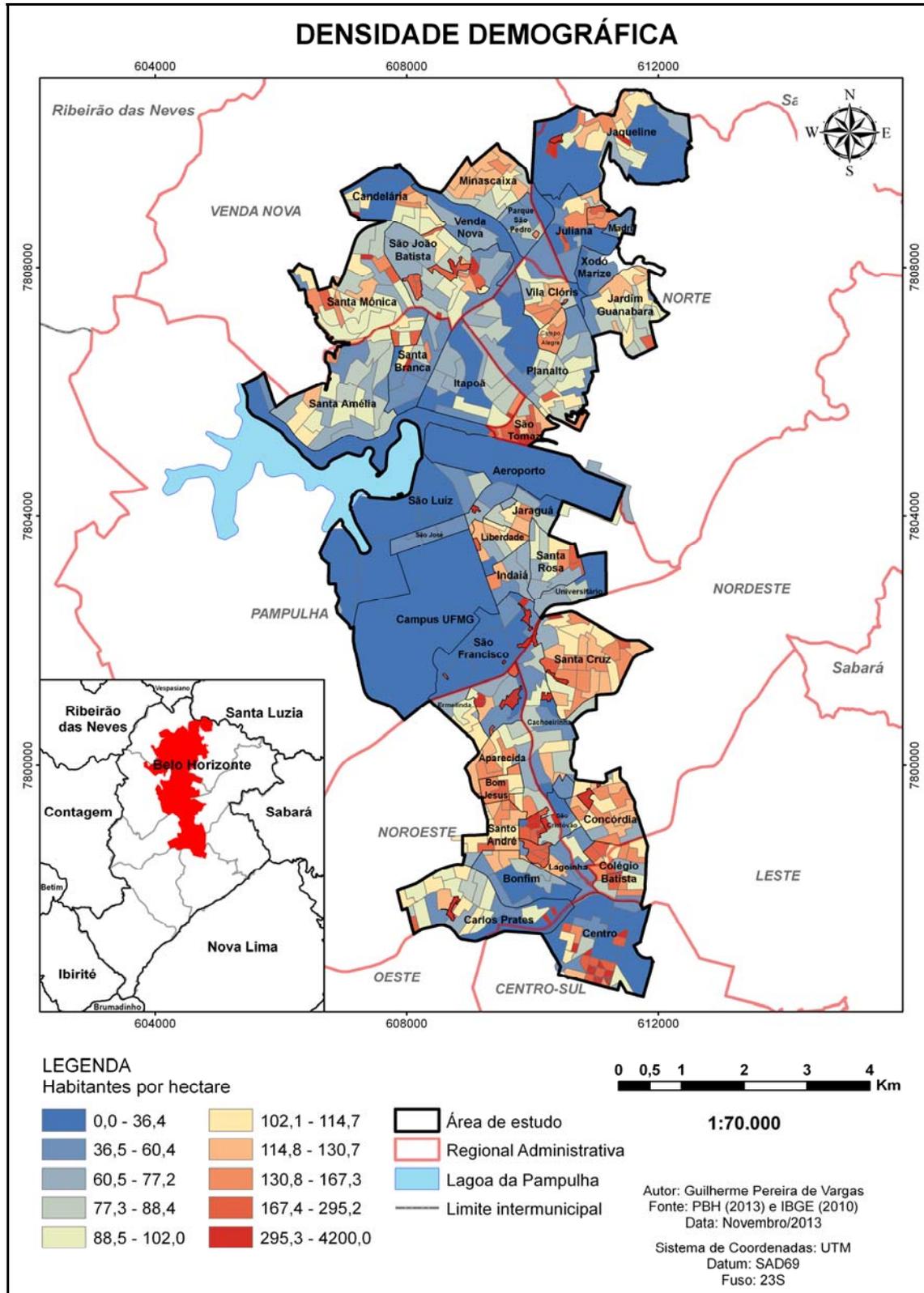
- Drenagem: expressa o percentual de suficiência do sistema de drenagem implantado e as áreas onde o poder público ainda não realizou intervenções. O mapa 9 apresenta o percentual de suficiência do sistema de drenagem urbana:



Mapa 9: Drenagem Urbana

- Densidade demográfica:

As informações sobre a variável densidade demográfica estão organizadas por setores censitários que são coincidentes com os limites dos bairros. Trata-se de uma razão entre a área do setor censitário e a população residente identificada no mapa 10:



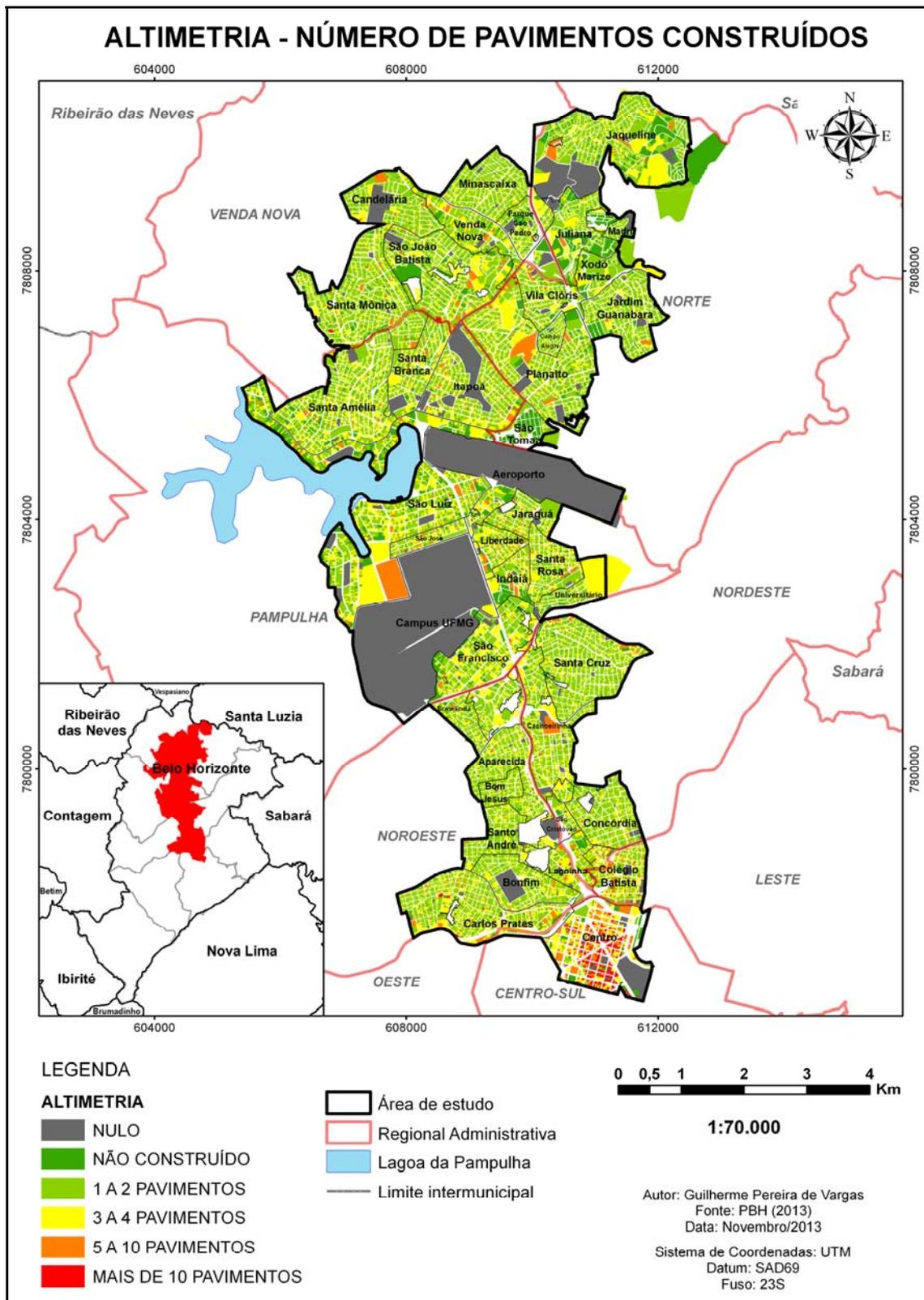
Mapa 10: Densidade demográfica

- Verticalização e potencial de renovação:

Este plano de informação combina dados cadastrais sobre os imóveis existentes na área de estudo. A classificação relacionou aspectos da condição de ocupação dos imóveis, como uso e a quantidade estimada de pavimentos, para indicar o nível de adensamento. Os terrenos com equipamentos sociais e de uso coletivo não foram considerados na análise. A tabela 3 apresenta a classificação que estima o nível de adensamento construtivo dos lotes e o mapa 11 identifica a altimetria das edificações existentes que indicam seu potencial de renovação:

Tabela 3: Parâmetro de altimetria

Número de pavimentos	Nível adensamento
0	muito baixo
1-2	baixo
3-4	médio
5-10	alto
11 ou mais	muito alto

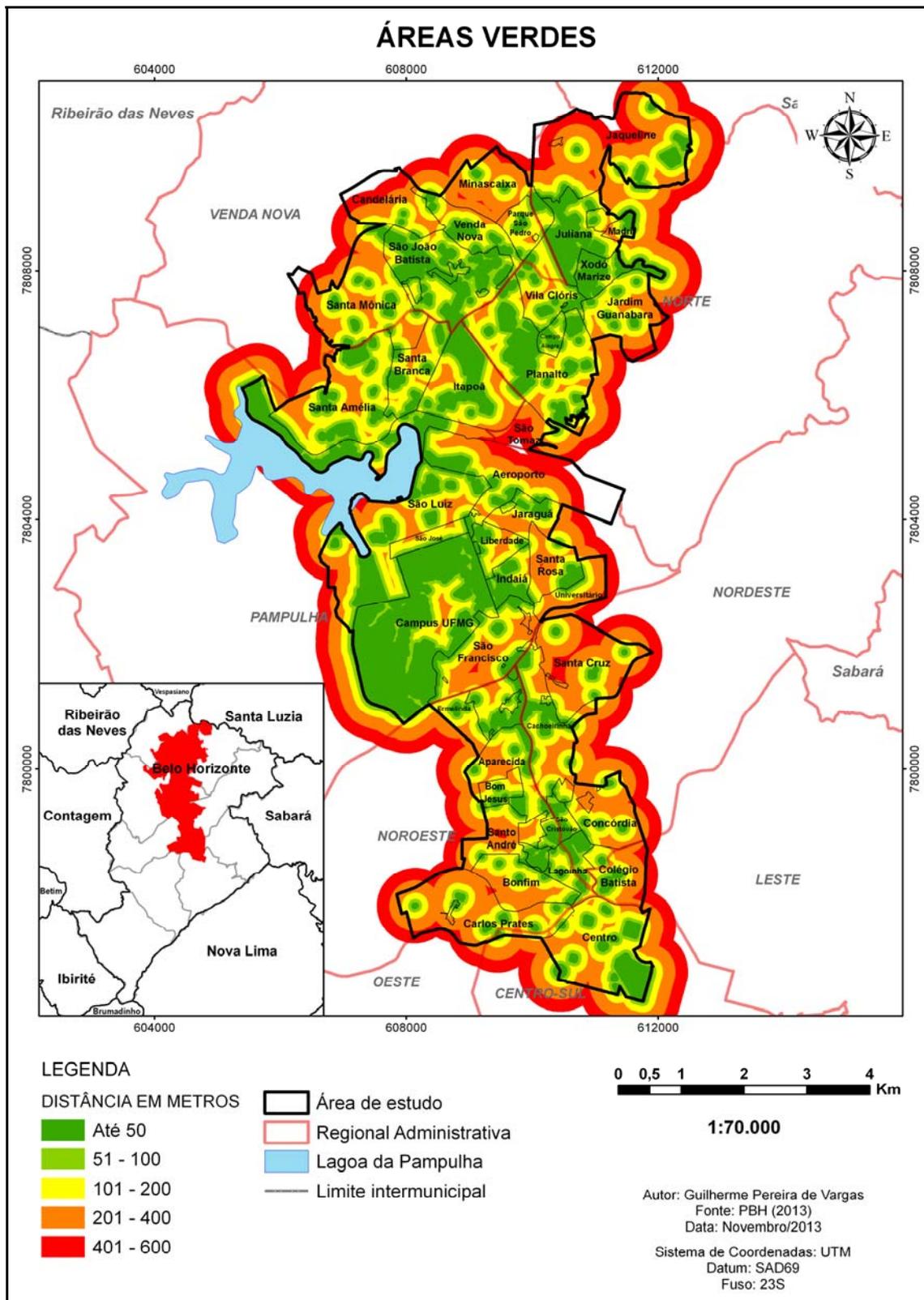


Mapa 11: Altimetria – número de pavimentos construídos

Os valores nulos foram atribuídos a tipologias consolidadas como equipamentos, instituições e grandes áreas verdes que apesar de possuir algum valor no campo de altimetria proporcionam uma capacidade de adensamento nula.

- Áreas verdes:

Neste plano de informação estão apresentados os polígonos de áreas verdes públicas e particulares existentes no perímetro da área de estudo. Com a ferramenta de geoprocessamento de múltiplos anéis de vizinhança indicou-se a distância em linha reta a partir dos limites de cada área verde. Dessa forma, apresentam-se a distribuição e os perímetros de proximidade em relação às áreas verdes. O mapa 12 apresenta a o grau de proximidade em relação às áreas verdes:



Mapa 12: Áreas verdes

Depois da conversão para polígonos, para realização da reclassificação, todas as bases foram transformadas de arquivos em formato vetorial para formato *raster*.

4.2 - Reclassificação das variáveis

Nesta etapa foi realizada a reclassificação das classes das variáveis em formato *raster* através da atribuição de notas. Segundo Fitz (2008, p.86) ao se trabalhar com arquivos matriciais, cada pixel pode ser redefinido de acordo com parâmetros predeterminados. Para tal, pode-se fazer uso de rotinas específicas como a multiplicação de pixels da imagem por um determinado escalar, ou a substituição de todos os valores inferiores a um determinado padrão por um valor fixo, ou ainda tantas outras possibilidades. Dessa forma, a imagem original é alterada com a criação de novas categorias a partir desta. A seguir são apresentados os critérios utilizados para a reclassificação de cada variável:

Para cada variável, foram atribuídas notas de entre 1 a 5 que tentam identificar a variação dos indicadores na área de estudo segundo sua influência na capacidade de suporte ao adensamento. Portanto, notas menores indicam situação pior e notas maiores indicam situações melhores. Trata-se então de estimar e ponderar diferentes elementos do meio urbano e seus reflexos em relação a propostas de adensamento populacional. A reclassificação das variáveis foi realizada na ferramenta *Reclassify* do *Spatial Analyst*. A seguir são apresentados os valores de reclassificação para cada uma das variáveis estudadas no Quadro I:

Quadro I: Notas atribuídas às variáveis

VARIÁVEL	INDICADOR	NOTA
Conforto térmico	Temperatura (°C)	Nota
	22 - 23	5
	23 - 24	4
	24 - 24,4	3
	24,5 - 25	2
25 - 29	1	
Qualidade do ar	Material particulado inalável (µm)	Nota
	14,85	5
	14,86 - 23	4
	23 - 38	3
	28 - 31	2
31 - 74	1	
Ruído	Nível de ruído (db)	Nota
	41 - 50	5
	50 - 60	4
	60 - 65	3
	65 - 70	2
70 - 74	1	
Saturação viária	Volume de veículos / capacidade da via	Nota
	0 - 0,43	5
	0,44 - 0,86	4

	0,87 - 1,15	3
	1,16 - 1,65	2
	1,65 - 2,15	1
Resíduo sólido	Atendimento da coleta na bacia hidrográfica (%)	Nota
	0,89 - 0,9	5
	0,9 - 0,94	4
	0,94 - 0,96	3
	0,96 - 0,99	2
	0,99 - 1,0	1
Inundação	Mancha de inundação	Nota
	1 - ausência de mancha de inundação	5
	2 - presença de mancha de inundação	0
Esgotamento sanitário	Atendimento da infraestrutura de esgotamento sanitário na bacia hidrográfica (%)	Nota
	0,25 - 0,5	5
	0,5 - 0,85	4
	0,85 - 0,95	3
	0,95 - 0,975	2
	0,975 - 1,0	1
Adensamento populacional	Habitantes por hectare no setor censitário	Nota
	0 - 50	5
	50 - 100	4
	100 - 200	3
	200 - 400	2
	400 - 4200	1
Áreas verdes	Distância em metros de área verde pública ou particular	Nota
	0	0
	50	5
	100	4
	200	3
	400	2
	600	1
Sem dado	0	
Drenagem urbana	Atendimento da infraestrutura de drenagem urbana na bacia hidrográfica (%)	Nota
	0 - 0,75	5
	0,75 - 0,85	4
	0,85 - 0,9	3
	0,9 - 0,95	2
	0,95 - 1,0	1
Adensamento construtivo	Nível de adensamento urbano estimado a partir do número de pavimentos das áreas construídas	Nota
	muito baixo	5
	baixo	4
	médio	3
	alto	2
	muito alto	1
	nulo	0
Sem dados	0	

4.3 - Análise multicritério

Com as variáveis ambientais reclassificadas, estabelece-se o processamento final com atribuição de pesos a cada uma delas em função da representatividade na capacidade de suporte ao adensamento para o perímetro da área de estudo de modo a produzir um mapa síntese. Apesar das limitações existentes na generalização e discretização dos fenômenos espaciais pelo processamento digital, a combinação das variáveis objetiva reproduzir a complexidade da distribuição espacial.

A combinação das camadas de variáveis realiza-se na extensão *Spatial Analyst* do ArcGIS por meio da ferramenta *Raster Calculator*. Os pesos atribuídos a cada variável foram os seguintes:

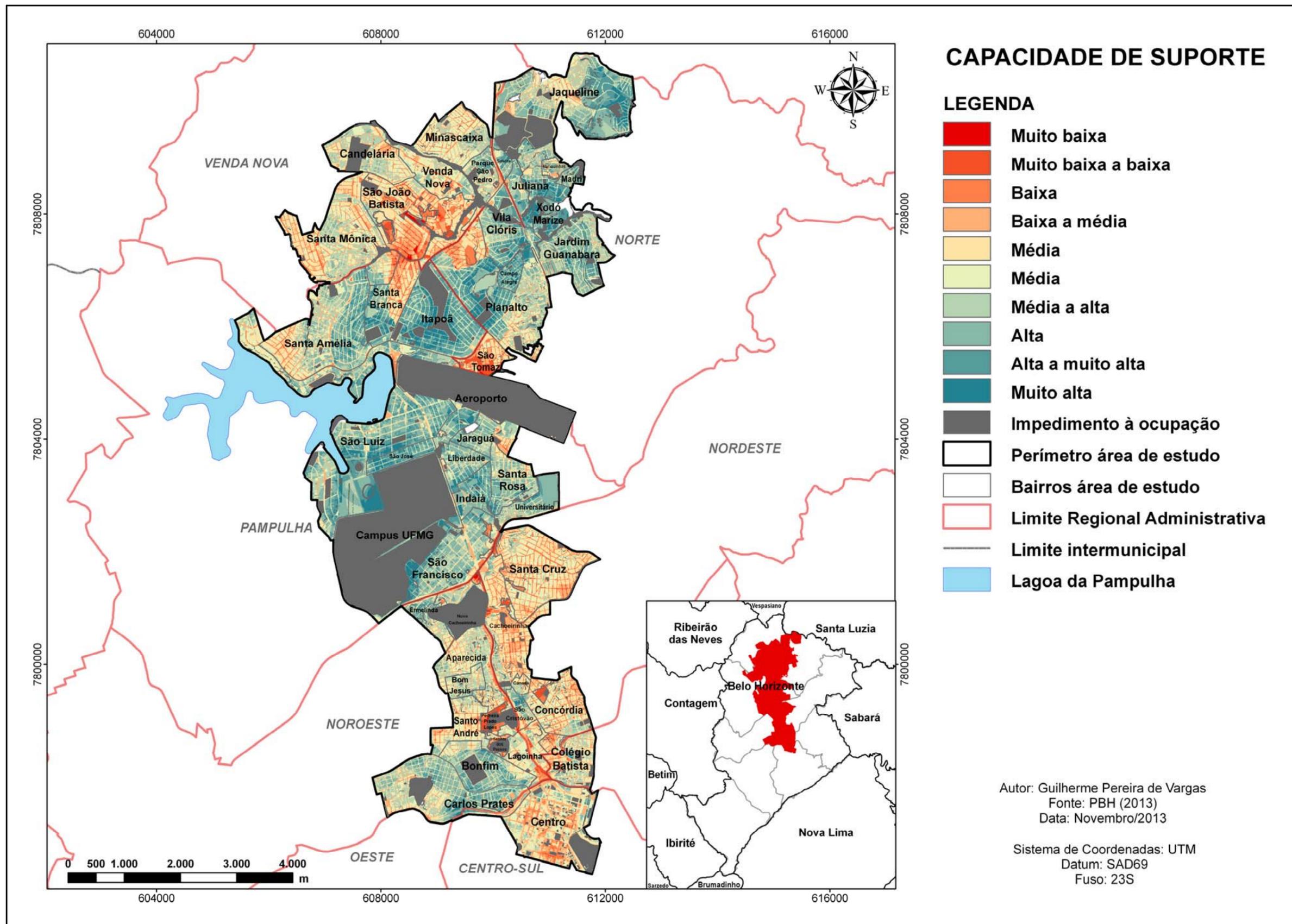
Tabela 4: Peso das variáveis multicritério

Variáveis ³	pesos (%)	tipo
Ruído	10	ambiental
Conforto térmico	10	
Inundação	5	
Áreas verdes	10	
Saturação viária	10	infraestrutura
Resíduo sólido	5	
Esgotamento sanitário	10	
Drenagem	10	
Densidade populacional	15	situacional
Densidade construtiva	15	
Total	100	

O mapa de capacidade de suporte ao adensamento apresenta o cruzamento das dez variáveis elencadas com a ponderação apresentada acima.

Em seguida, as áreas com impedimento à ocupação foram adicionadas ao mapa: declividade superior a 47%, alto risco de escorregamento, áreas inundáveis, limites de tombamento cultural e tipologias de construção com potencial de ocupação nulo (grandes equipamentos sociais, culturais e esportivos, parques e zonas de especial interesse social). O resultado final é apresentado no mapa 13 que apresenta a síntese da capacidade de suporte para a área estudada.

³ A variável qualidade do ar teve de ser removida, pois o processamento realizado através dos Polígonos de Voronoi não contempla todo o perímetro da área de estudo.



Mapa 13: Síntese Capacidade de suporte

5 - Resultados e discussões

O resultado final apresentou a distribuição da capacidade de suporte nos bairros da área de estudo. O mapa expressa a combinação das variáveis levantadas no território apontando para os bairros mais propícios a ocupação assim como os bairros onde a ocupação deve ser desestimulada.

As regiões com concentração de carências de infraestrutura e elevado adensamento populacional e construtivo foram indicadas com baixa capacidade de suporte. Na análise do mapa estas regiões correspondem às vilas e favelas e seus entornos que são caracterizados por grande adensamento populacional e deficiências de infraestrutura. Destacam-se os entornos das vilas Pedreira Prado Lopes, Senhor dos Passos, São Tomaz, São João Batista, Nova Cachoeirinha e Aeroporto.

Alguns bairros com alta densidade demográfica e construtiva também apresentam capacidade de suporte tendencialmente baixa a muito baixa como o Colégio Batista, Santa Cruz, Concórdia, Santo André e o bairro Centro. Nesses casos, os grandes contingentes populacionais e a verticalização influenciam mais decisivamente o resultado do que as questões de infraestrutura como é o caso do entorno das vilas e favelas mencionadas.

A capacidade de suporte alta e muito alta predominou nos bairros com menores densidades demográficas e construtivas e bons níveis de atendimento de infraestrutura. Os bairros Carlos Prates, Itapoá, São Luiz e Planalto são exemplos de regiões com predomínio de moradias unifamiliares e acesso aos serviços básicos que indicam a possibilidade de expansão da ocupação.

Por outro lado, alguns bairros periféricos como Jardim Guanabara, Xodó Marize, Juliana e Jaqueline também apresentaram capacidade de suporte muito alta apesar de não se constituírem como pólos valorizados do mercado imobiliário do município. Estas regiões alcançaram um alto nível de capacidade de suporte, sobretudo por sua baixa densidade demográfica e verticalização e inexistência de saturação viária.

A área de estudo poderia ser dividida em três regiões: uma região mais próxima do Centro, pertencente às Regionais Centro-sul, Noroeste e Nordeste, com predomínio de capacidade de suporte baixa a muito baixa. Nesta região, as exceções seriam os bairros Carlos Prates, Bonfim e Aparecida onde ainda não ocorreu um processo de substituição das residências unifamiliares e nem verticalização.

A segunda região pertencente à Regional Pampulha onde predominam capacidade de suporte alta a muito alta. Todos os bairros se encontram nessa condição

com exceção da porção oeste do bairro Santa Amélia que apresenta um adensamento maior que o padrão da região. Esse predomínio se justifica pelo tipo de ocupação existente no entorno da Lagoa da Pampulha que obedece a uma série de restrições à ocupação.

A terceira região corresponde à porção mais ao norte que pertence às Regionais Venda Nova e Norte. A região possui maior heterogeneidade, no entanto, pode-se afirmar que nos bairros da Regional Venda Nova predomina a capacidade de suporte baixa a muito baixa. Isso se deve a uma concentração de deficiências de infraestrutura de saneamento na região associada a uma alta densidade populacional. Na porção que pertence à Regional Norte, no entanto, a capacidade de suporte predominante é alta e muito alta devido às baixas densidades populacionais e construtivas da região onde ainda existem alguns terrenos não ocupados.

O território analisado configura uma ocupação bastante heterogênea expressa na capacidade de suporte. A distribuição espacial aponta a diversidade e complexidade do território e permite visualizar o comportamento da área de estudo em relação ao conjunto de variáveis selecionadas.

6 - Considerações Finais

Os resultados finais deste trabalho apresentam a consolidação de uma metodologia de trabalho e a produção de uma carta de capacidade de suporte ao adensamento urbano fundamentada em dez variáveis ambientais.

A metodologia procurou utilizar conceitos pertinentes às questões ambientais contemporâneas como à qualidade ambiental e a capacidade de suporte. Este arcabouço conceitual estabeleceu interface com outras dimensões pertinentes ao meio urbano como a discussão das cidades compactas e do adensamento urbano.

Além disso, com o estabelecimento dos perímetros onde há capacidade para o adensamento podem ser realizadas simulações do desenvolvimento futuro dessas regiões através de modelagem paramétrica. Essa modelagem pode considerar os parâmetros urbanísticos previstos na legislação tais como coeficientes de aproveitamento de terrenos, afastamentos laterais e de fundos, altura máxima na divisa, recuos de alinhamento, taxas de ocupação e permeabilidade, entre outros.

Neste caso específico a análise da capacidade de suporte pode assumir uma perspectiva preditiva em face das Operações Urbanas Consorciadas ou ao comportamento de outros instrumentos urbanísticos como licenciamentos ambientais e urbanos, o zoneamento, a outorga onerosa do direito de construir, planos específicos de revitalização urbana, entre outros. A avaliação da capacidade de suporte fornece um diagnóstico que aponta as restrições e oportunidades para o incremento populacional da região estudada e as possíveis demandas de infraestrutura da população futura.

Entretanto, deve-se deixar claro que este tipo de análise pode ser organizado em diferentes escalas. Os contextos e escalas de estudo podem variar bastante mesmo dentro de um mesmo município, fato que aponta para a necessidade de arcabouço metodológico que contemple a diversidade de situações.

A espacialização dos atributos potencialmente diminuidores da qualidade ambiental permite a análise sistêmica. A proposta combinou os dados disponíveis em base cartográfica da área em estudo, adotou critérios e parâmetros de avaliação e posteriormente cruzou as cartas temáticas para elaboração de uma carta de capacidade de suporte ao adensamento.

O método de análise multicritério utilizado se adaptou a escala, o tamanho da área de estudo e o nível desejado de percepção física do meio. Estes foram os pressupostos da escolha das variáveis que estão associados à disponibilidade de dados. O método trabalha com base em informações detalhadas sobre o uso do solo urbano. A

quantificação das variáveis trabalha com índices encontrados na literatura (espaços livres e cobertura vegetal, concentração demográfica e verticalização).

A proposta buscou tratar o maior número de variáveis possíveis para a área de estudo considerando a disponibilidade de dados já existentes. O aumento no número de variáveis pode contribuir para uma análise ainda mais completa em relação à multiplicidade de fatores que afetam a qualidade ambiental no meio urbano.

Os resultados do trabalho indicam que o uso da análise multicritério permitiu à sobreposição e cruzamento das variáveis, indicando a distribuição espacial da capacidade de suporte. Com um razoável número de variáveis de entrada, houve a possibilidade de realizar uma análise espacial que consolidou as informações de uma maneira adequadas aos processos de tomada de decisão do planejamento urbano e ambiental.

A consolidação de uma metodologia de análise espacial sustentada no conceito de capacidade de suporte pretendeu contribuir no entendimento das dinâmicas intra-urbanas e colaborar para a regulação e gerenciamento dos vetores de crescimento e expansão urbana do município. O mapa síntese final deve servir para a indicação das áreas prioritárias para o adensamento no contexto do município e mais adequadas utilização da infraestrutura instalada ou planejada.

7 - Referências Bibliográficas

ACSELRAD, H. Sentidos da sustentabilidade urbana. In: ACSELRAD, H. (Org.). A duração das cidades: sustentabilidade e risco nas políticas urbanas. 2ª ed. – Rio de Janeiro: Lamparina, 2009. p. 43-70.

ARAÚJO, R. P. Z.; COSTA, H. S. M. . Conflitos e gestão ambiental no território municipal de Belo Horizonte. In: XII Encontro Nacional da ANPUR, 2007, Belém. Anais do XII Encontro Nacional da ANPUR. Belém: ANPUR, 2007. v. 1. p. 1-25.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001: regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.

BRASIL. Estatuto da Cidade – guia para implementação pelos municípios e cidadãos: Lei n. 10.257, de 10/07/2001, que estabelece diretrizes gerais da política urbana. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 2001.

BRASIL. Ministério da Cultura. Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Conceito de tombamento. Disponível em <<http://portal.iphan.gov.br/portal/montarPaginaSecao.do?id=17738&sigla=Institucional&retorno=paginaInstitucional>>. Acesso em 12/11/2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Parecer CGQUA/DIQUA 01/2011. Relator: João Batista Drummond Câmara. 22 de setembro de 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Conceito qualidade ambiental Disponível em <<http://www.ibama.gov.br/rqma/qualidade-ambiental>>. Acesso em 11/11/2013.

BELO HORIZONTE. 1996. **Plano Diretor** - Lei Municipal 7.165 de 21 de agosto de 1996.

BELO HORIZONTE. 1996. **Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo** - Lei Municipal 7.166 de 28 de agosto de 1996.

BELO HORIZONTE. 2010. Revisão do Plano Diretor e Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo. Lei Municipal 9.959 de 20 de julho de 2010.

BOTELHO, R. G. M. Bacias hidrográficas urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). Geomorfologia Urbana. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

CALDAS, M. F.; MENDONÇA, J. G.; CARMO, L. N. Estudos urbanos – Belo Horizonte 2008: transformações recentes na estrutura urbana. Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Políticas Urbanas / Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, [2008] 2009. Disponível em <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=estatisticaseindicadores&tax=20410&lang=pt_BR&pg=7742&taxp=0&>. Acesso em: 10/11/2013.

CARVALHO, C. S.; ROSSBACH, A. (Orgs.) O Estatuto da Cidade: comentado = The City Statute of Brazil : a commentary. São Paulo : Ministério das Cidades : Aliança das Cidades, 2010. 120 p.

CASTRO, L. G. R. Operações urbanas em São Paulo: interesse público ou construção especulativa do lugar. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2006. Tese de Doutorado em Estruturas Ambientais Urbanas.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. 1990. Resolução Conama nº009.

Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0190.html>>. Acesso em 17/11/2013.

COSTA, H. S. M. A trajetória da temática ambiental no planejamento urbano no Brasil: o encontro de racionalidades distintas. In: Geraldo M. Costa; Jupira G. Mendonça. (Org.). Planejamento urbano no Brasil; trajetória, avanços e perspectivas. Belo Horizonte: Editora C/Arte, 2008, v. 1, p. 80-93.

COTA, D. A. A parceria público-privada na política urbana brasileira recente: reflexões a partir da análise das operações urbanas em Belo Horizonte. Belo Horizonte: IGC/UFGM, 2010 (Tese de Doutorado).

DAVIS Jr. C. A.. Múltiplas Representações em Sistemas de Informação Geográficos, Belo Horizonte, 2000.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Plano Diretor Participativo – guia para a elaboração pelos municípios e cidadãos. Brasília, junho de 2004.

FRANCISCO, C. E. S.; COELHO, R. M.; TORRES, R. B.; ADAMI, S. F. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridade para recuperação de Áreas de Preservação Permanentes. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. Anais...São José dos Campos: INPE, 2007, p.2643-2650.

INSTITUTO PÓLIS. Estatuto da Cidade: guia para implementação pelos municípios e cidadãos. Brasília: Câmara dos Deputados: CEDI, 2001.

MARICATO, E.; FERREIRA, J. S. W. “Operação Urbana Consorciada: diversificação urbanística participativa ou aprofundamento da desigualdade?” In: OSÓRIO, Letício Marques (Org.). Estatuto da Cidade e Reforma Urbana: novas perspectivas para as cidades brasileiras. Porto Alegre: Sérgio Antônio Fabris Editor, 2002.

MENDONÇA, F.; MORESCO, I.; OLIVEIRA, D. Climatologia – Noções Básicas e Climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007

MOURA, A. C. M. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Belo Horizonte, Ed da Autora, 2003, 294 p.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2899-2996.

NUCCI, J. C. Qualidade ambiental e adensamento urbano: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP) / João Carlos Nucci. 2ª ed. - Curitiba: O Autor, 2008. 150 p.; il. Disponível no endereço: <<http://www.geografia.ufpr.br/laboratorios/labs>>

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2012/ 2015. Volume I. Jan. 2013. 147p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2012/ 2015. Volume II Mapas. Jan. 2013.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Plano Urbanístico da Operação Urbana Consorciada Antônio Carlos/Pedro I - Leste-Oeste / Vale do Arrudas. Volume II Mapas. Out. 2013. Disponível em <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/noticia.do?evento=portlet&pAc=not&idConteudo=129779&pIdPlc=&app=salanoticias>

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Estudos de Impacto de Vizinhança das Operações Urbanas Consorciadas Antônio Carlos/Pedro I - Leste-Oeste / Vale do Arrudas. Out. 2013. Disponível em <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/noticia.do?evento=portlet&pAc=not&idConteudo=129779&pIdPlc=&app=salanoticias>

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. Transparência Copa 2014. BRT: Antônio Carlos/Pedro I. Desenvolvido por Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. Disponível em <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=transparenciacopa2014&tax=26883&lang=pt_BR&pg=9841&taxp=0&>. Acesso em: 12/11/2013.

ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar. Juiz de Fora: Ed. Do Autor, 2000.

ROLNIK, R.; PINHEIRO, O. M. (Orgs.). Plano Diretor Participativo: Guia para a Elaboração pelos Municípios e Cidadãos. Brasília: Ministério das Cidades, 2004. 158p.

ROSSATO, M. V. Qualidade ambiental e qualidade de vida nos municípios do estado do Rio Grande do Sul. 2006. 169f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SILVA, C. R. ;QUINTAS, M. L. ;CENTENO, J. A. S. Estudo do método de interpolação do inverso da distância a uma potência. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA (II SBG) E V COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS (V CBCG), 2007, Presidente Prudente. Anais do II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA (II SBG) E V COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS (V CBCG), 2007. p. 57-62.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto. Ministério das Cidades, 2011. Disponível em <<http://www.snis.gov.br/>>.

TUCCI. C. E. M.; PORTO. R. L. L.; BARROS. M. T. Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH / Editora da Universidade/ UFRGS, 1995.

VASCONCELOS, E. A. Transporte e meio ambiente: conceitos e informações para análise de impactos. São Paulo: Ed. Do Autor, 2006.