

IMPACTOS HIDROMETEOROLÓGICOS OCORRIDOS NAS ESTAÇÕES CHUVOSAS DE 2010/11 E 2011/12 EM BELO HORIZONTE (MG)

LUCAS, Taíza P. B. – taiza@cefetmg.br
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais / CEFET-MG

PARIZZI, Maria Giovana - mgparizzi18@gmail.com
Universidade Federal de Minas Gerais / UFMG

ABREU, Magda L. - magdabeu@gmail.com
Universidade Federal de Minas Gerais / UFMG

RESUMO: O objetivo deste trabalho é apresentar a distribuição espacial dos eventos de enchentes e/ou inundações ocorridos no município de Belo Horizonte – MG, nas estações chuvosas de 2010-11 e 2011-12. Os eventos de chuvas foram classificados pela gênese atmosférica, considerando a escala regional e as características topoclimáticas do sítio urbano. Os dados de impactos pluviométricos, que se repercutem no espaço citadino como grandes transtornos à população, foram identificados através da planilha de registros de ocorrências de enchentes e/ou inundações e alagamentos da COMDEC-PBH (Coordenadoria de Defesa Civil da Prefeitura de Belo Horizonte). Os impactos foram contabilizados pelo somatório de registros na mesma coordenada e data. Todos os endereços postais da planilha foram georreferenciados a partir da identificação das respectivas coordenadas geográficas, em LAT/LONG, no software Google Earth e transformadas em coordenadas UTM através da calculadora geográfica. Devido ao DATUM utilizado pelo Google Earth, os mapas de localização dos impactos foram georreferenciados em WGS-84. O total de registros foi dividido em 5 classes por quebra-natural, no software ArcGIS 10.1. A distribuição espacial (em Km²) das ocorrências de impactos hidrometeorológicos foi calculada através da técnica de Kernel. Os resultados indicaram que a distribuição do total mensal de registros de ocorrências de impactos hidrológicos segue praticamente o mesmo ritmo do total mensal de precipitação. Os registros de ocorrências destes impactos mostraram que a melhor correlação com dados de chuvas é dada pela intensidade máxima da chuva e que as áreas mais afetadas por esses impactos são oriundas do processo histórico de ocupação, conjugado às feições naturais da bacia hidrográfica e às diferentes tipologias dos cursos d'água.

PALAVRAS-CHAVE: dados de impactos pluviométricos, técnica kernel, intensidade máxima de chuva, Belo Horizonte – MG.

HYDRO-METEOROLOGICAL IMPACTS OCCURRING IN THE RAINY SEASONS 2010-11 AND 2011-12, IN BELO HORIZONTE (MG)

ABSTRACT: The aim of this paper is to present the spatial distribution of flood and/or inundation events in Belo Horizonte-MG and its metropolitan area, during the rainy seasons of 2010-11 and 2011-12. The rainy events were classified by the atmospheric genesis and its relation with the regional scale and also considering the topoclimatical characteristics of the region. The rainfall impacts data, which affected the urban population, causing serious economics and (i)materials damages, has been identified through the recorded spreadsheet occurrences of floods and/or inundations and waterlogging of COMDEC-PBH (Coordenadoria de Defesa Civil da Prefeitura de Belo Horizonte), from october 2010 until april 2012. The impacts were accounted by the sum of the records in the same coordinated and date. All postal addresses were georeferenced from the identification of the respective geographical coordinates, LAT/LONG, in the google earth software to transform into UTM coordinates by the geographic calculator. Due to the DATUM used by Google Earth, location maps of the impacts have been georeferenced in WGS-84. The total number of records was divided into 5 classes by natural-break, in the software ArcGIS 10.1. The spatial distribution (Km²) of hydro-

meteorological impacts was calculated using Kernel technique. The results show that the total monthly distribution total the occurrences of hydrological impacts follows approximately the same pattern of the total monthly precipitation. The occurrences of hydrometeorological impacts showed that the best correlation with rainfall data is given by the maximum intensity of the rainfall and suggest that the areas most affected by these impacts are related to the historical occupation process, conjugated to the natural features of the river basin and the different typologies of watercourses

KEYWORDS: rainfall impacts dataset, kernel technique, maximum rainfall intensity, Belo Horizonte - MG

INTRODUÇÃO

Belo Horizonte - MG foi projetada dentro da perspectiva higienista do final do século XIX, em que os córregos e rios foram retinizados e canalizados, como galerias pluviais, para proporcionar o escoamento rápido, já que no período chuvoso são recorrentes as tempestades, devido à tropicalidade do seu clima. O planejamento da cidade foi inspirado no sucesso das obras de Haussmann, que tornou Paris a cidade emblemática da modernidade, com avenidas e ruas largas, parques e obras que facilitaríamos ainda a instalação da infraestrutura urbana, entre as quais as redes pluviais e de esgotos submersos.

Ao contrário da tendência contemporânea dos países europeus, em que países como França e Dinamarca investem na restauração fluvial dos seus cursos d'água, em Belo Horizonte ainda se verifica obras de retinização e canalização fechada dos córregos, com o intuito de dar vazão às águas pluviais e alargar as avenidas sanitárias. As águas dos córregos, comumente, só aparecem em episódios de transbordamentos, causando alagamentos nas ruas e avenidas e gerando interrupção no tráfego e disritmias no funcionamento orgânico da cidade.

A atual capital mineira passou por várias fases de crescimento urbano. Segundo Costa (2009), em termos intraurbanos, atualmente as manifestações espaciais da urbanização são muito diversificadas. São áreas centrais densamente verticalizadas, com graus variados de uso residencial e de comércio e serviços. São bairros que apresentam diferentes tipologias construtivas associadas aos diversos momentos de atuação do capital imobiliário, ocupações ilegais que passam por regulação fundiária e urbanística, extensas e densas periferias que se deve a um conjunto de loteamentos populares com habitações autoconstruídas e as favelas cada vez mais adensadas e verticalizadas, entre outras formas de ocupação. Tais características configuram um cenário de sujeição a grandes impactos socioambientais das chuvas.

Dentre os impactos socioambientais urbanos recorrentes na capital mineira, a grande maioria deles é desencadeada pelos episódios de chuvas intensas e/ou persistentes. Entre as causas de perdas materiais e desalojamentos, ela é o fenômeno natural que mais gera prejuízos econômicos aos belo-horizontinos. Segundo Tominaga, Santoro e Amaral (2009), é importante ressaltar o crescimento dos desastres naturais nos últimos 30 anos, tanto de causas naturais, quanto oriundas de atividades humanas. O crescente número de vítimas não está só associado a eventos de grande magnitude, como tsunamis, terremotos, furacões, ciclones e erupções vulcânicas, mas também de escala local, como inundações, enchentes, deslizamentos, erosão, quedas de granizo, de árvores, desabamentos, etc. causadas pelas tempestades severas.

Segundo a Organização Mundial de Meteorologia - OMM - (2013), houve um aumento da população vulnerável aos desastres em 114% no período entre 1970 e 2010, quando a população mundial cresceu 87%. O relatório da OMM, diagnóstico climático atual do período 2000-10, mostra que o número de vítimas fatais em função das tempestades severas e inundações diminuíram (16% e 43%) em relação ao decênio anterior, devido às melhoras nos serviços de alertas e mitigação do risco hidrometeorológico. Contudo, o número de pessoas em áreas propensas a eventos extremos triplicou nesse período, assim como as perdas materiais e a vulnerabilidade socioambiental.

Rodríguez (2013) salienta as dificuldades e a falta de planejamento interdisciplinar e multisetorial das políticas locais das grandes cidades latino-americanas em criar alternativas à crescente vulnerabilidade da população urbana aos impactos climáticos. Segundo Cond, Pabón e Rodríguez (2013), a dinâmica atmosférica e o clima são fatores ambientais urbanos que interferem na vida de seus habitantes e no modo de produção local. Aspectos como a disponibilidade de água, de alimentos, energia, mobilidade intraurbana e interurbana, desenvolvimento de diversas atividades econômicas, saúde da população, são fatores que devem ser considerados no diagnóstico da vulnerabilidade e capacidade de resiliência de uma determinada localidade aos riscos climáticos.

Os órgãos políticos internacionais demandam dos países medidas preventivas, mitigadoras e corretivas dos riscos naturais à população, sendo que essas ações devem ser planejadas no âmbito local, devido às particularidades dos fatores de risco. Segundo Cond, Pabón e Rodríguez (2013), ao propor um planejamento que considere esses aspectos, é necessário dispor de conhecimento e informações acerca das particularidades do clima atual e sua relação com os processos socioeconômicos que se desenvolvem dentro da cidade, da distribuição espacial e do ciclo anual dos fenômenos meteorológicos extremos no âmbito da área urbana e sua zona de influência, assim como a evolução das ameaças e dos riscos a essa distribuição dos fenômenos meteorológicos e hidroclimáticos.

Em Belo Horizonte, os estudos de clima urbano são pouco numerosos. Entre eles, destaca-se o de Assis (2010) que mostra a existência de núcleos de retenção de calor. O autor identificou um núcleo no hipercentro que, apesar de não ter alcançado a máxima amplitude da ilha de calor, foi o local onde a velocidade do resfriamento noturno foi menor, definido pelo comportamento do desvio-padrão da temperatura média do ar, um outro na região norte, onde houve maior aquecimento durante o dia e maior resfriamento durante a noite. Essa constatação difere dos modelos teóricos de ilha de calor pensados para as cidades de latitudes médias, como definiram Oke (1978) e Landsberg (1981), o que evidencia a necessidade de estudos que considerem as características e dinâmicas dos climas tropicais e suas possíveis alterações a partir da modificação do uso do solo.

O padrão espacial de um determinado evento chuvoso ocorre numa paisagem citadina que se sobrepõe a diferentes momentos históricos, culturais e econômicos de crescimento e produção do espaço urbano. A repercussão socioambiental das diferentes espacialidades de chuvas é determinada pelas características dos tipos de chuvas, dados pelo escoamento atmosférico, que gera diversas intensidades de chuvas, na qual a vulnerabilidade socioambiental e capacidade de resiliência da sociedade é fortemente condicionada pelas

características de produção do espaço urbano e do sistema de engenharia adequado à realidade local.

Diante do exposto, observa-se que uma análise sistemática das espacialidades das chuvas e de sua repercussão junto à cidade de Belo Horizonte é necessária para uma compreensão mais abrangente da precipitação associada aos efeitos urbanos no clima. Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar a distribuição espacial por área (km²) dos eventos de enchentes e/ou inundações ocorridos no município de Belo Horizonte – MG, nas estações chuvosas de 2010-11 e 2011-12, durante eventos de chuvas classificados pela gênese atmosférica, a partir do escalonamento entre a escala regional às características topoclimáticas do sítio urbano.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de chuvas das estações 2010-11 e 2011-12 foram tabulados para identificação das ocorrências horárias, diárias e mensais de precipitação. Eles foram coletados de 17 pluviômetros no município de Belo Horizonte, sendo 14 monitorados pela URBEL (COMPANHIA URBANIZADORA E DE HABITAÇÃO DE BELO HORIZONTE), órgão da PBH (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE) e 3 da rede oficial de coleta de dados meteorológicos do INMET (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA). Dessas, duas são estações climatológicas automáticas e uma convencional, o 5º DISME (DISTRITO DE METEOROLOGIA).

Os pluviômetros automáticos da rede de expansão da URBEL-PBH/UFMG (UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS) foram instalados a partir de 2008, em parceria com a UFMG, com coleta de dados a partir de 2008/09. Os dados são fornecidos em rede a cada 5 e 15 minutos, armazenados em um sistema data-logger, transmitidos através do sistema de telefonia celular e disponibilizados via internet. Os tipos de pluviômetros são de báscula, com capacidade de 400 cm³ e sensibilidade de 0,2 mm. Eles encontram-se distribuídos nas nove Regionais Administrativas da PBH, como se vê no mapa de localização, figura 1.

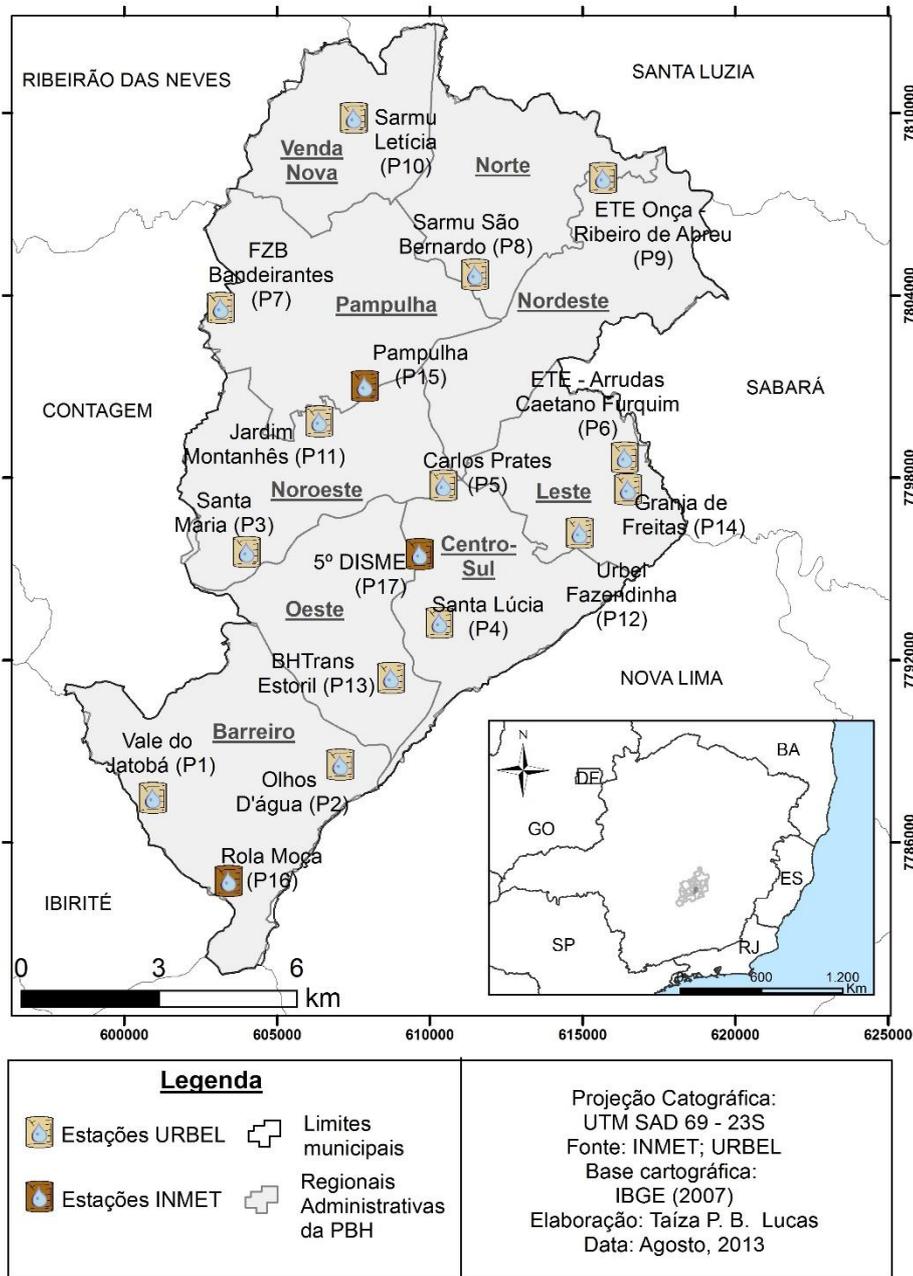


Figura 1 – Localização dos postos pluviométricos da URBEL-UFMG e das estações meteorológicas do INMET no município de Belo Horizonte – MG. Fonte: LUCAS (2015).

De um total de quatorze pluviômetros da rede de monitoramento da URBEL-PBH/UFMG, como mostra a figura 1, três foram instalados no início de 2009 e dois em 2010. Por isso, o histórico de dados horários em Belo Horizonte é muito recente, já que os dois primeiros anos foram destinados à instalação dos equipamentos, assim como os processos de sistematização de coleta e transmissão dos dados. Aqueles instalados no final de 2008 e início de 2009 não

possuem dados registrados de forma regular, com diferentes intervalos de tempo. Para maior abrangência de postos em todos os casos de chuvas, optou-se por analisar as estações chuvosas 2010/2011 e 2011/12, o que demandou sistematização e transformação do horário local para o horário UTC.

A rede de expansão da URBEL-PBH/UFMG ainda demanda muito investimento em manutenção, o registro de falhas é muito alto e, portanto, foi necessária a verificação da quantidade dessas falhas a partir da conferência de todos os registros de 5 – 5 min de dois postos (6 e 9) e de 15 – 15 min do restante. Para cada planilha mensal de dados, tem-se 8.928 linhas de registro de chuva a cada cinco minutos, nos meses de 31 dias, e 8.640, nos meses de 30 dias. Para a planilha de dados de 15-15 min, têm-se 2.976 para os meses de 31 dias e 2.880 para os de 30. A tabela 1 apresenta o percentual de falhas para cada mês, em relação a esse total mensal de registros esperados, para cada posto da referida rede, nas estações chuvosas 2010/11 e 2011/12.

Tabela 1 - Percentual do total de falhas nos registros pluviométricos da rede URBEL-PBH/UFMG

| Nº Posto | Nome Estação | Início da Série | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr | Out | Nov | Dez | Jan | Fev | Mar | Abr |
|----------|------------------|-----------------|-------------|-----|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | 10 | 10 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| 1 | Vale do Jatobá | 24/1/09 | 0,2 | 5,3 | 0,0 | 5,7 | 7,3 | 2,9 | 0,5 | 4,4 | 4,0 | 3,7 | 3,0 | 3,0 | 14,3 | 2,4 |
| 2 | Olhos D'água | 14/10/08 | 24,6 | 8,9 | 3,1 | 12,4 | 69,4 | .. | 35,8 | 55,5 | .. | 60,0 | 59,0 | 54,7 | 53,4 | 54,1 |
| 3 | Santa Maria | 4/11/08 | 1,3 | 6,3 | 0,9 | 8,5 | 9,0 | 3,5 | 1,2 | 3,8 | 4,8 | 3,5 | 3,7 | 3,4 | 4,2 | 3,7 |
| 4 | Santa Lúcia | 9/12/08 | 3,5 | 5,4 | 0,0 | 5,3 | 6,1 | 3,1 | 0,8 | 4,3 | 5,5 | 2,6 | 4,2 | 3,6 | 2,4 | 3,3 |
| 5 | Carlos Prates | 9/12/08 | 0,2 | 5,4 | 0,0 | 4,9 | 2,2 | 0,0 | 0,8 | 4,2 | 5,4 | 2,8 | 4,0 | 1,3 | 2,3 | 3,2 |
| 6 | Caetano Furquim | 9/12/08 | 2,2 | 7,4 | 1,0 | 10,1 | 15,8 | .. | 24,0 | 4,0 | 5,8 | 3,7 | 3,9 | 12,8 | 3,5 | 6,9 |
| 7 | Bandeirantes | 9/12/08 | 0,2 | 5,4 | 0,0 | 5,2 | 6,4 | 3,0 | 0,7 | 3,9 | 5,2 | 9,5 | .. | 24,1 | 2,7 | 4,2 |
| 8 | São Bernardo | 22/1/09 | 0,2 | 5,4 | 0,0 | 21,1 | 8,9 | 3,4 | 0,7 | 4,7 | 5,4 | 3,1 | 3,0 | 3,2 | 3,0 | 3,0 |
| 9 | Ribeiro de Abreu | 22/1/09 | 2,3 | 7,3 | 1,4 | 11,6 | 14,0 | 9,5 | 6,3 | 7,3 | 8,9 | 5,8 | 13,3 | 12,3 | 18,7 | 34,3 |
| 10 | Leticia | 9/12/08 | 0,2 | 5,4 | 0,0 | 6,4 | 6,8 | 3,1 | 0,5 | .. | 5,0 | 3,4 | 4,2 | 3,9 | 3,4 | 3,3 |
| 11 | Jardim Montanhês | 9/12/08 | 0,2 | 4,7 | 0,0 | 5,6 | 7,3 | 3,2 | 0,8 | .. | .. | 2,4 | 3,8 | 3,8 | 2,2 | 3,3 |
| 12 | Vila Fazendinha | 9/12/08 | 0,2 | 5,4 | 0,0 | 8,1 | 6,5 | 3,2 | 1,1 | 34,9 | 9,6 | .. | 83,3 | 78,8 | 82,6 | 88,1 |
| 13 | Estoril | 4/10/10 | | | | | 48,1 | 10,3 | 1,6 | 33,0 | 6,1 | 3,0 | 2,3 | 3,5 | 3,3 | 3,2 |
| 14 | Granja de Feitas | 5/10/10 | | | | | 17,9 | 3,2 | 0,6 | 4,1 | 5,2 | 1,6 | 3,8 | 4,1 | 3,8 | 3,3 |

Fonte: LUCAS (2015).

Em função do número de falhas, somente os dados de postos que não apresentaram quantidade significativa dessas falhas (menor de 10% do total de registros de chuva) foram considerados para análise mensal. Os meses de fevereiro e janeiro de 2011 apresentaram 4 e 5 postos com alto percentual de falhas, assim como o mês de fevereiro de 2012, também 5 postos retirados da análise, o que não invalida a investigação do tipo de chuva e sua espacialização, entretanto, a menor quantidade de pontos torna essa espacialização mais generalizada e dificulta a identificação das diversidades espaciais. Na escala diária, a partir do número de registros horários, verificou-se o número de falhas para aquele período, se pluviômetro esteve em funcionamento nesse respectivo tempo, utilizou-se para análise do total diário e intensidade do tipo de chuva correspondente, mesmo que na totalização mensal tenha sido descartado.

A metodologia de identificação do tipo de chuva e sua classificação a partir da gênese atmosférica está descrita em Lucas (2015). A partir da categorização desta tipologia de chuvas, através da análise qualitativa dos produtos meteorológicos, conjuntamente ao comportamento da precipitação horária e diária e das médias diárias das variáveis atmosféricas coletadas nas estações meteorológicas do INMET, elaborou-se uma planilha de tipos de chuvas.

Os dados de impactos pluviométricos, que se repercutem no espaço urbano como grandes transtornos à população, causando sérios danos econômicos e (i)materiais, foram identificados através da planilha de registros de ocorrências de enchentes e/ou inundações e alagamentos da COMDEC (COORDENADORIA MUNICIPAL DE DEFESA CIVIL), entre o período de outubro de 2010 a abril de 2012. Apesar das diferenças entre enchentes e inundações, definidas pelo IPT (2007), os registros da Defesa Civil Municipal não os separam. Portanto, segue-se essa base de dados conforme a planilha de registros, destacando-se que foi a única base de dados consolidada e disponibilizada para o estudo.

Tal planilha contém informações de data, hora, endereço, tipo de urbanização, em formal ou vila e/ou favela, conforme parâmetros da URBEL (2012) e tipo de ocorrência, sendo elas: enchente e/ou inundações, alagamento, temporais ou vendavais, risco de enchente e/ou inundações e risco de alagamento. Optou-se por quantificar e espacializar somente os registros de enchente e/ou inundações e alagamento devido ao maior número de casos e por refletir a repercussão urbana dos eventos chuvosos identificados.

Os registros de ocorrências de impactos foram categorizados pela intensidade máxima de chuvas, a partir de critérios apresentado na tabela 2. Foi testada a distribuição do número de registros em cada uma das respectivas classificações por histogramas e verificação do comportamento mais consistente com a distribuição dos dados através da comparação a um gráfico de dispersão entre as variáveis: número de ocorrências registradas pela COMDEC e máxima intensidade de chuva, identificando assim a classificação mais adequada. Aquela nomeada de OMM é utilizada pela COMDEC como parâmetro para fins de alertas e comunicados à sociedade, ela foi indicada por Minuzzi e Sediyaama (2004) como critério da Organização Meteorológica Mundial (OMM), já a nomeada de Santoro (2012) foi apresentada como parâmetro utilizado pelo Instituto Geológico (IG) para elaboração do plano preventivo de desastres do estado de São Paulo.

Tabela 2 - Classificação da Intensidade Máxima de Chuva

| Classificação | Intensidade (mm/h) | |
|---------------|--------------------|----------------|
| | OMM | Santoro (2012) |
| Fraca | 1,1 – 5,0 | 0,1 – 9,9 |
| Moderada | 5,1 – 25,0 | 10,0 – 17,9 |
| Forte | 25,1 – 50 | 18,0 – 29,9 |
| Muito forte | > 50 | ≥ 30 |

Fonte: LUCAS (2015).

Os registros de ocorrência de impactos hidrológicos foram representados pela melhor classificação para os dados de máxima intensidade de chuva (mm/h) do evento e pelo tipo de chuva a cada mês. Esses impactos foram contabilizados pelo somatório de registros na mesma coordenada e data. Todos os endereços postais da planilha foram georreferenciados a partir da identificação das respectivas coordenadas geográficas, em LAT/LONG, no software Google Earth e transformadas em coordenadas UTM através da calculadora geográfica. Devido ao DATUM utilizado pelo Google Earth, os mapas de localização dos impactos foram georreferenciados em WGS-84. O total de registros foi dividido em 5 classes por quebra-natural, no software ArcGIS 10.1.

Para geração dos mapas de distribuição espacial do total de ocorrências registradas por bairros, os dados de registros foram agregados às informações da base digital da Tabela de código de bairros da PRODABEL. A partir da ferramenta de junção de tabelas, Join, do software ArcGIS 10.1, foram importados os registros da camada de dados da COMDEC para a camada de bairros da PRODABEL.

Para entendimento da distribuição espacial do total de registros de ocorrências de impactos hidrológicos no município de Belo Horizonte, foi calculada a densidade desses registros por área, em Km², a partir da aplicação da técnica de Kernel. Segundo ESRI (2003), a densidade de Kernel calcula a densidade de pontos em cada célula raster, conceitualmente, uma superfície curva é sobreposta a cada ponto, sendo o valor mais alto na localização do ponto e diminui com o aumento da distância até o valor zero. A densidade de cada célula raster de saída é calculada pela soma dos valores de todas as superfícies do kernel onde eles se sobrepõem no centro dessa célula raster. A distância de entrada do cálculo foi um quilômetro quadrado e o resultado foi dividido em cinco classes, qualificados de muito alta a muito baixa densidade.

O mapa de densidade de registros de impactos por área (km²) foi acrescido do shape de Unidades territoriais de Gestão Compartilhada, Áreas de ZEIS (Zona Especial de Interesse Social), Arruamento de Belo Horizonte e Tipos de cursos d'água de Belo Horizonte. Essa sobreposição de layers permitiu caracterizar os locais de maior densidade do total de registros de ocorrências de impactos hidrológicos pela COMDEC e correlacionar aos respectivos atributos geográficos.

RESULTADOS

A partir da análise horária do total diário de chuvas, registrados nos postos pluviométricos, representados na figura 1, e da interpretação de produtos meteorológicos verificou-se a ocorrência de 72 eventos de chuvas, sendo 36 em cada uma das estações chuvosas. O total de número de dias de atuação dos sistemas atmosféricos genéticos de chuvas sobre a capital mineira foi 103 e 115 dias, respectivamente, sendo a média do total de dias chuvas 92 dias, em ambas as estações. O maior número de dias chuvosos foi 99 (P16 e P15) e o menor 85 (P4) e 92 dias (P3), nas respectivas estações chuvosas. Essa diferença entre o número de dias de registro de precipitação e a atuação dos sistemas genéticos de chuvas se deve a ocorrência de dias nublados sem registro de chuvas.

A figura 2 apresenta o percentual de atuação dos respectivos tipos de chuvas ocorridos na cidade de Belo Horizonte, para cada estação, em relação ao total de dias de atuação dos sistemas. Verifica-se que as FF (Frentes Frias) foram os sistemas mais recorrentes em Belo Horizonte, seguidos da atuação das ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), entretanto, se as ZC (Zonas de Convergências) forem consideradas no total, elas correspondem a 39% e 38%, nas respectivas estações. Na primeira, os sistemas mais frequentes, além dos já mencionados, foram às chuvas de LIP (Linhas de Instabilidades Pré-frontal), enquanto na segunda estação houve maior atuação das LI (Linhas de Instabilidades). Os eventos oriundos de CPF (Circulação Pós-Frontal) e FQ (Frentes Quentes) são menos recorrentes, como esperado, já que o primeiro se refere a um sistema que se caracteriza pela divergência de ar, em baixos níveis, o que não favorece à ocorrência de precipitação. Entretanto, em função do giro anticiclônico, sentido anti-horário no HS (Hemisfério Sul), verifica-se o efeito da "circulação marítima", que advecta ar úmido do oceano em direção a faixa leste do SB (Sudeste Brasileiro), que repercute em nuvens baixas, de topos quentes, tipo St (Stratus). Em Belo Horizonte, esta circulação ocasionou poucos eventos de chuvas, no período de estudo, bastante pontuais e de fraca intensidade. As tipologias de chuvas foram caracterizadas a partir de Cavalcanti et. al. (2009).

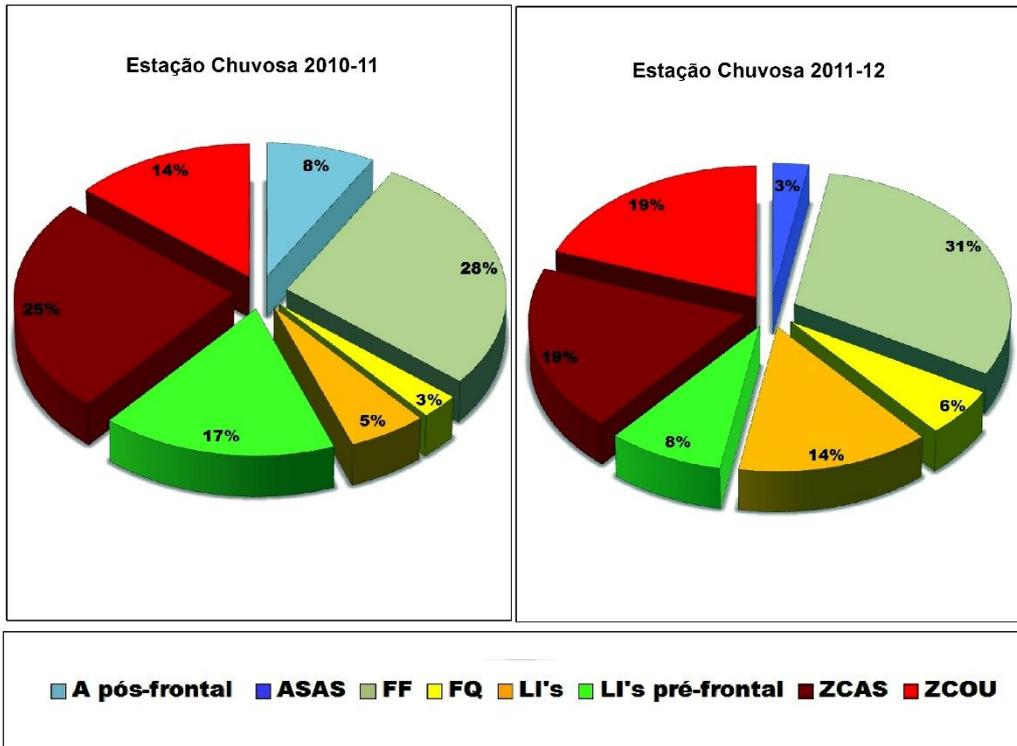


Figura 2 – Percentual de atuação dos sistemas atmosféricos nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12. Fonte: LUCAS (2015). Legenda: CPF – Circulação Pós-Frontal; ASAS – Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul; FQ – Frente Quente; LI – Linhas de Instabilidades; LIP – Linhas de Instabilidades Pré-Frontal; ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul; ZCOU – Zona de Convergência de Umidade.

Na primeira estação, em que o percentual de atuação das LIP foram maiores que das ZCOU, verificou-se que houve predomínio de sistemas mais transientes, foram 17 eventos com duração de um dia, enquanto na segunda foram 9. Ressalta-se que na primeira, as anomalias positivas de precipitação foram maiores nas estações de primavera e outono, já no período chuvoso de 2011-12, as maiores anomalias positivas ocorreram durante o verão, nota-se 11 eventos de dois dias, 8 de três dias, enquanto na primeira foram 4, tanto de dois, como de três dias. O número de eventos de maior durabilidade, como seis e sete dias, também foi maior na segunda estação, a máxima duração foi 16 dias, enquanto na primeira foram 12, em ambas houve um evento de dez dias.

Os sistemas mais transientes, de duração média de um dia, como: CPF, LI e LIP predominam no início da estação chuvosa, particularmente outubro, assim como em fevereiro, e são menos recorrentes nos outros meses de verão e outono. As FF, que tem duração média de dois dias, como as FQ, apresentaram maior contribuição para o acumulado mensal nos meses outubro, fevereiro, março e abril, entretanto verificou-se que nos meses em que há maior atuação da ZCAS, diminui-se a participação das FF, como destacou Andrade e Cavalcanti (2004). Na primeira estação chuvosa, os eventos de ZCAS, que apresentaram maior número de horas de registros de chuvas e com maiores médias nas variáveis: total de chuva acumulado no evento, máxima intensidade e maior durabilidade, ocasionaram os maiores percentuais do total pluviométrico dos

meses de novembro, março e abril, assim como janeiro, quando as anomalias positivas foram maiores nas estações de primavera e outono. Na segunda estação, seu maior percentual de atuação foi nos meses de dezembro e janeiro, como destacado na literatura, e menor percentual nos meses de primavera e outono, quando prevaleceu a atuação das FF e ZCOU.

A distribuição temporal dos registros de ocorrência de enchentes e/ou inundações e alagamentos seguem praticamente o mesmo ritmo da distribuição mensal dos totais pluviométricos. Verifica-se que na primeira estação chuvosa, em que as anomalias positivas de precipitação foram mais significativas na primavera, o número total de registros foi mais numeroso em novembro (130 registros), seguidos de dezembro (37) e março (25), em função do aumento das chuvas, após o veranico de fevereiro. Na segunda estação chuvosa, em que as anomalias positivas foram maiores no verão, concentradas nos meses de dezembro e janeiro, os registros de impactos também foram mais numerosos em dezembro (45), janeiro (117) e março (74), que apesar de menor acumulado mensal, gerou maior número de ocorrências que o mesmo mês do ano anterior. A diminuição das chuvas em ambos os fevereiros, por exemplo, e respectiva diminuição dos registros de ocorrências de impactos, mesmo com a sobrecarga dos cursos d'água após o período chuvoso nos meses anteriores, mostra como a deflagração do impacto de enchentes e/ou inundações e, particularmente, alagamento, é uma resposta rápida da ineficiência do sistema de drenagem ao aumento da intensidade das chuvas, dada as características urbanas do sistema de drenagem que favorece o acelerado escoamento superficial.

A figura 3 representa a distribuição do total de registros de ocorrências de impactos de enchentes e/ou inundações e alagamentos identificados pela COMDEC-PBH e a máxima intensidade da chuva, a partir dos 72 eventos. Nota-se que chuvas com intensidade máxima menores de 10 mm/h tendem a não ocasionar registros de impactos, entre 10 e 30 mm/h observa-se uma aproximação com a função exponencial, já a partir desse valor tem-se uma aproximação com a função linear. Verifica-se que a distribuição total de registros segue uma aproximação com a classificação de Santoro (2012), apresentado na tabela 2. A distribuição desses registros pela classificação da OMM, utilizada como parâmetro pela COMDEC-PBH, já não se verifica o mesmo comportamento, pois 70% dos dados de impactos registrados, no período de estudo, foram ocasionados por chuvas fortes. Este comportamento se deve ao tamanho da amostra, já que foram observados somente 4 eventos de chuvas com intensidade máxima superior a 50 mm/h, 28 classificadas como chuvas fortes, entre 25,0 e 50,0 mm/h, 35 como chuvas moderadas, entre 5 e 25 mm/h e 6 como chuvas fracas, menor que 5 mm/h. Utilizando-se da classificação de Santoro (2012), verifica-se uma distribuição mais homogênea do número de eventos de chuvas por categoria de intensidade, pois foram 17 eventos de chuvas fracas (menores de 9,9 mm/h), 13 de chuvas moderadas (entre 10 e 17,9 mm/h), 21 de chuvas fortes (entre 18,0 e 30,0 mm/h) e 21 de chuvas muito fortes (acima de 30 mm/h), e maior percentual de registros de ocorrências na última, já que aproximadamente 80% dos registros foram ocasionados por chuvas muito fortes, como mostra a figura 3, o que demonstra a sua aplicabilidade para Belo Horizonte – MG.

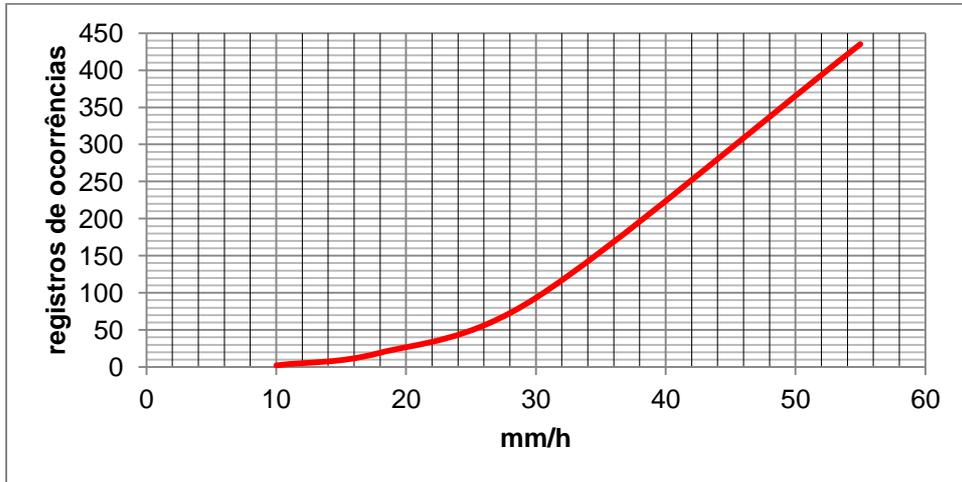


Figura 3 - Dispersão entre o total de registros de ocorrências de impactos hidrológicos e intensidade máxima das chuvas ocorridas nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12. Fonte: LUCAS (2015).

A figura 4 apresenta a localização dos registros de ocorrências de impactos hidrológicos categorizadas tanto pela classificação de Santoro (2012), como pelo tipo de ocorrência. Verifica-se que as chuvas fracas só geraram dois casos de alagamento, muito pontualmente nas Unidades Territoriais L3 (Regional Leste) e CS5 (Regional Centro-Sul), já as chuvas moderadas ocasionaram tanto registros de alagamentos, 5 casos, como enchentes e/ou inundações, 10, particularmente próximo às áreas de maior recorrência em eventos de chuvas fortes e/ou muito fortes. Estas categorias de intensidades de chuvas ocasionaram ocorrências de maneira difusa em todo território, particularmente os alagamentos, foram registrados 84 casos e 12 de enchentes e/ou inundações ocasionadas por chuvas fortes, já as chuvas muito fortes ocasionaram a grande maioria da quantidade de registros, sendo um total de 332 alagamentos, de repercussão generalizada no território, e 153 enchentes e/ou inundações, que se mostraram mais concentrados, particularmente na bacia do Ribeirão do Onça.

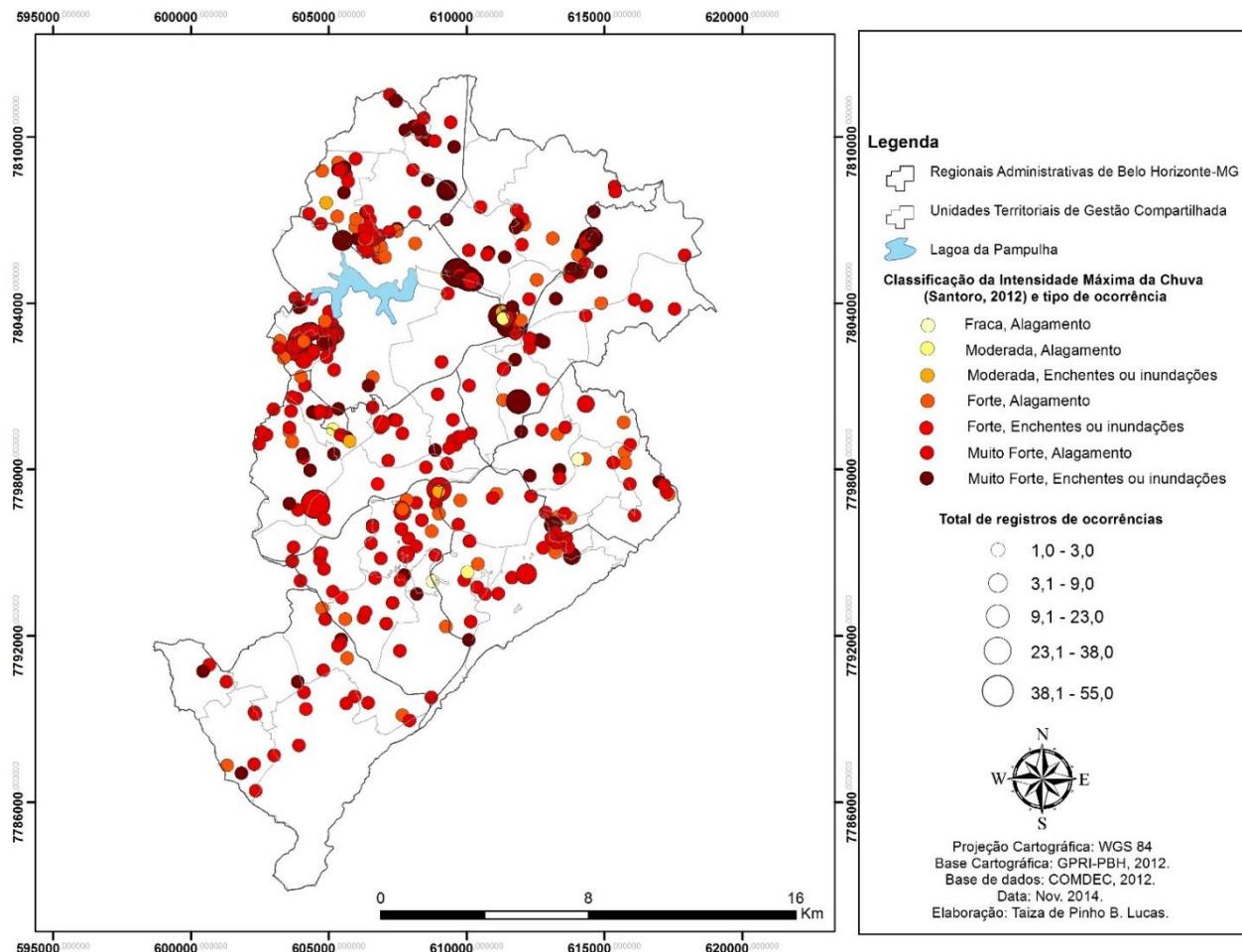


Figura 4 - Espacialização do total de registros de impactos hidrológicos nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12 em Belo Horizonte. Fonte: LUCAS (2015).

Já a figura 5 apresenta a densidade de registros de ocorrência de impactos hidrológicos por área, em Km², a partir do somatório total de ocorrências para cada par de coordenadas geográficas. Verifica-se nove áreas de baixa densidade, sendo quatro delas na bacia do Arrudas e cinco na bacia do Onça, salienta-se que os locais onde houve ocorrências pontuais de 1 a 3 registros classificaram-se como de muito baixa densidade. Os locais de média densidade são aqueles que registraram mais de três ocorrências numa mesma localidade, foram dois na primeira bacia, entre as Unidades NO3 (Regional Noroeste) e NO4 e entre O1 (Regional Oeste) e CS1 (Regional Centro-Sul), e três na segunda, um entre VN4 (Regional Venda Nova), VN3 e P1 (Regional Pampulha), outro NE1 (Regional Nordeste) e N2 (Regional Norte) e um na NE5. As áreas de alta e muita alta densidade correspondem aquelas onde foram verificadas um total de registros de 23 a 55 ocorrências, elas se situam na Unidade P4 (Regional Pampulha), à montante da Lagoa da Pampulha, entre N3 (Regional Norte) e P3 (Regional Pampulha) e entre N4 (Regional Norte) e P4, à jusante.

A bacia do Arrudas é de ocupação mais antiga, berço dá área planejada, e por isso tem maior extensão de rede de drenagem canalizado e retificado, o que tende a acarretar maiores impactos à jusante e a montante, por remanso. O Ribeirão Arrudas encontra-se canalizado em praticamente toda sua extensão oeste – leste no território belo-horizontino. A drenagem da bacia se apresenta de tipo alongado, paralela, particularmente na margem direita, sobre os domínios do Quadrilátero Ferrífero (QF), que favorecem o rápido escoamento superficial. Salienta-se que grande parte da área de córregos em leito natural encontra-se em áreas de preservação. Entretanto destaca-se que nas áreas de ZEIS, localizadas na encosta da Serra, configurou-se manchas de baixa densidade de ocorrências de impactos hidrológicos, particularmente em função da natureza topográfica e alta declividade, particularmente nos vales encaixados entre as diferentes formações geológicas que caracterizam o conjunto morfoestrutural do QF.

Já a bacia do Onça se apresenta mais favorável à ocorrência dos impactos hidrometeorológicos, pois deve-se ao processo de ocupação mais recente, em função dos diferentes períodos do crescimento da mancha urbana no último século, associado ao relevo ondulado-suavizado da Depressão belo-horizontina (DBH), que se apresenta com um mosaico de tipos de drenagem, além de grandes áreas de leito natural com diferenciadas formas de ocupação, associadas à elevada densidade populacional. Destaca-se que as áreas de maior densidade de registros de ocorrências de impactos hidrológicos do alto Onça, a montante da Lagoa da Pampulha, e do alto Isidoro (Regional Venda Nova), identificadas na figura 5, devem-se as ocorrências de enchentes e alagamentos concentradas ao longo dos leitos dos cursos d'água, particularmente no baixo curso dos córregos Ressaca e Sarandi, que se caracterizam pela tipologia de canal aberto, onde houve alta e muita alta densidade de registros de alagamentos. Verifica-se que deste total, em torno de 220 ocorreram no baixo curso dos respectivos córregos, representados e caracterizados em Lucas (2015).

Ao norte da Lagoa da Pampulha se verifica uma mancha de média densidade de registros, que se situa sob o polígono de ZEIS, ao longo de cursos d'água em leito natural, nascentes do Ribeirão Isidoro, de padrão dendrítico, em áreas aplainadas, de altitude entre 700 e 800 m, de baixa declividade, entre as Unidades Territoriais de Gestão das Regionais da PBH: P1, VN4 e VN3. Os

alagamentos registrados nessa localidade são eventos de inundações devido ao aumento de vazão dos córregos que dada à dinâmica fluvial ocupam as várzeas, que se encontram indevidamente ocupadas e que por isso geram os respectivos impactos hidrológicos. As diferenças entre os tipos de ocorrência relatados se devem ao fato da notificação, base de dados da planilha de registros da COMDEC, ser preenchida a partir do relato da vítima, o que torna as diferenças subjetivas e dependentes do entendimento do relator.

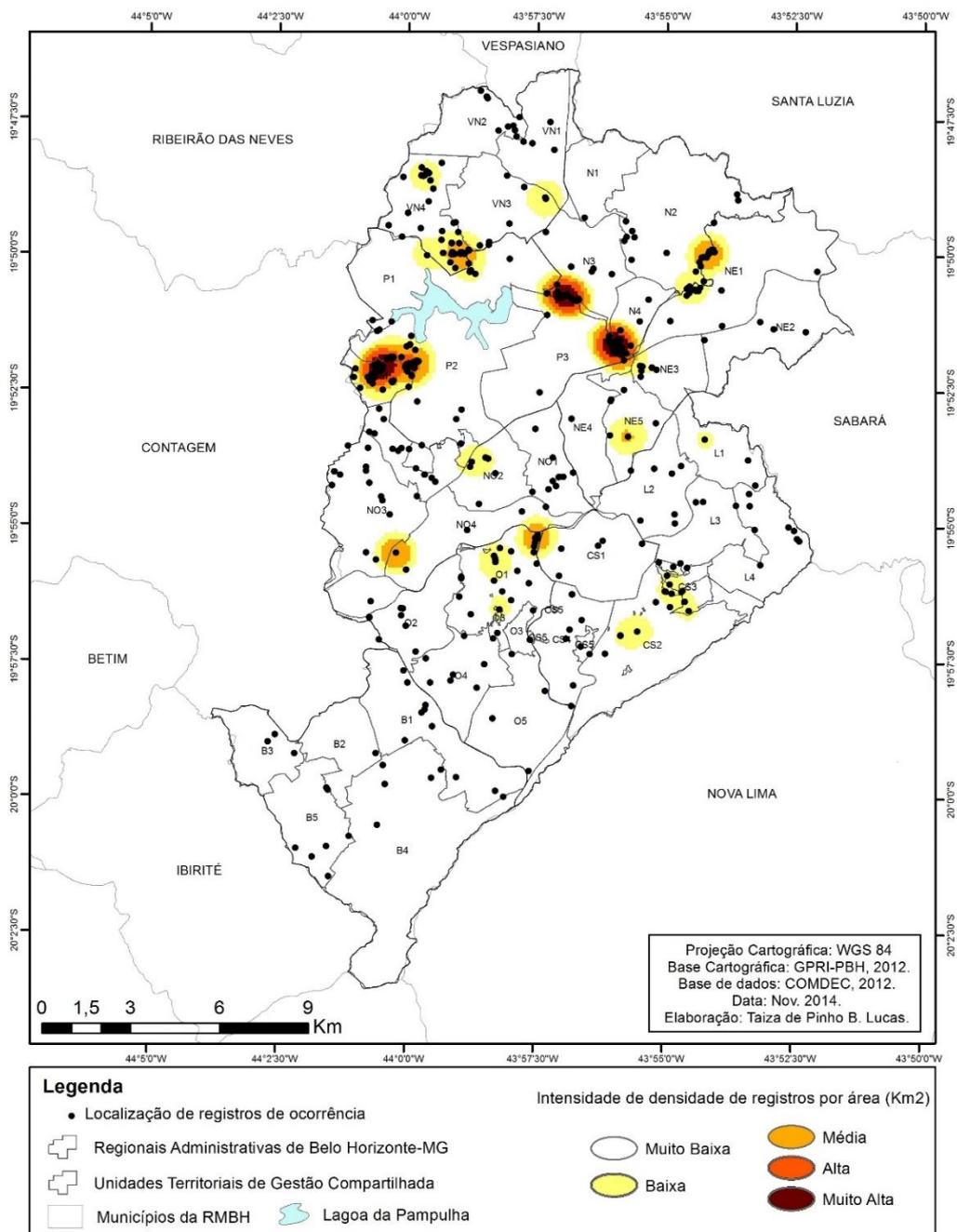


Figura 5 - Densidade de impactos hidrológicos por Km² nas estações chuvosas 2010-11 e 2011-12 em Belo Horizonte – MG. Fonte: LUCAS (2015).

Segundo a URBEL (2012), 25,7% da população da Regional Norte são residentes nas ZEIS e ocupam 7% da área territorial municipal. Segundo este levantamento, as respectivas vilas tem um contingente populacional de 23.486 habitantes, em 8.155 domicílios, a maior delas é a Vila São Tomáz, com 7.913 habitantes e 3.205 domicílios. Ela se encontra nas margens do Ribeirão Pampulha, em leito natural, em terraços aplainados, de altitude entre 700 e 800 m. Verifica-se que a ocupação do leito menor é uma grande sujeição aos impactos, potencializados pela localização a jusante da Lagoa, que tem sua carga de amortecimento comprometida devido aos processos de assoreamento. A segunda mancha se encontra à jusante da primeira, em um trecho de 800m de canalização fechada, seguida de canalização aberta e, novamente, fechada, sob a Avenida Cristiano Machado, nas proximidades da intercessão com a Avenida Sebastião de Brito, corredor arterial entre importantes eixos metropolitanos de acesso ao vetor norte da RMBH (Região Metropolitana de Belo Horizonte).

As ocorrências de registros de alagamentos e enchentes e/ou inundações não só seguem o ritmo das máximas intensidades, como apresentam diferentes espacialidades devido aos tipos de chuvas e suas repercussões espaciais, particularmente nos locais de maior fragilidade ambiental e sujeição aos impactos hidrológicos. A figura 6 apresenta a distribuição do total de registros de ocorrências por tipo de chuva, em cada mês da estação chuvosa 2010-11. Verifica-se que a maior quantidade de registros ocorreu em novembro de 2010, devido à atuação das ZCAS, que contribuiu não só para as anomalias positivas da respectiva primavera como para as configurações das manchas de muito alta, alta e média densidade apresentados na figura 5, particularmente à jusante da Lagoa da Pampulha, no médio e baixo Onça, assim como no alto Isidoro, médio Arrudas e em locais de menor recorrência de impactos, majoritariamente devido ao evento ocorrido entre os dias 22 a 27 de novembro de 2010, que gerou 46 locais de registros de ocorrência de impactos, totalizando 93 ocorrências. Neste evento, a maior intensidade registrada foi 46 mm/h e a média das máximas intensidades ocorridas nos demais postos pluviométricos foi 30,8 mm/h. Os maiores registros foram no P15, seguido do P9 e P11, que desencadearam os numerosos impactos à jusante da Lagoa da Pampulha. No dia 26 esse sistema voltou a ocasionar chuvas fortes e muito fortes, as maiores intensidades ocorreram nos postos P4, P6, P12 e P16, repercutindo nos registros das Regionais Leste, Centro-Sul e Barreiro. Uma FF também gerou 28 registros de ocorrências no mês de novembro, a maior intensidade foi registrada no P12, seguido do P5, P2 e P4, entretanto os impactos hidrológicos ocorreram transversal a Serra, no sentido da FF, de NW-SE, particularmente nas Unidades CS2 (Regional Centro-Sul), NO1 (Noroeste) e VN4 (Venda Nova), onde a máxima intensidade registrada no P10 foi 13,8 mm/h, no P5 - 30,5 mm/h e no P4 - 29,8 mm/h. Um evento de ZCOU também gerou 6 registros de ocorrência, de 23,2 mm/h no P5, e de moderada a fraca intensidade nos demais postos, ressalta-se que a máxima intensidade no P10 foi 10,4 mm/h, P7 5,20 mm/h e P15 11,6 mm/h, e desencadeou mais de 10 ocorrências nos limites territoriais entre as Unidades Territoriais VN4 (Venda Nova) , VN3 (Venda Nova) e P2 (Pampulha).

Já a figura 7 apresenta o total de registros de impactos hidrológicos por tipo de chuvas a cada mês da estação chuvosa 2011-12, verifica-se que o mês de maior número de registros de ocorrências ocorreu em janeiro de 2012, em função da atuação da ZCAS. O primeiro evento perdurou por 16 dias, o acúmulo

médio de chuvas caracterizou as grandes anomalias do verão da respectiva estação, também apresentou máxima intensidade de 52,2 mm/h, e média intensidade máxima entre os postos pluviométricos analisados de 34,6 mm/h e repercutiu em 75 locais de registros, totalizando 180 ocorrências. O valor máximo foi registrado no P7, seguido do P3 (51,4 mm), P9 (47,3 mm/h) e muito forte nos demais, ocasionando a grande quantidade de ocorrências no alto Onça, a montante da Lagoa da Pampulha, e no médio e baixo, à jusante, e de menor frequência nos demais locais representados na figura 5. O segundo evento de ZCAS ocorrido no mesmo janeiro também gerou 189 registros de ocorrências em 42 locais, a máxima intensidade foi registrada no P5, seguido do P3 (36,2 mm/h), P1 (35,6 mm/h), P16 (30,8 mm/h) e fortes nos demais, o que contribuiu para os registros nas demais localidades das Regionais Oeste, Centro-Sul e Leste. O mês de maior acumulado de chuvas foi dezembro de 2011, entretanto foram 45 locais de ocorrências, todas de menor frequência por localidade, 24 delas foram ocasionadas pelo segundo episódio de ZCAS, em que a máxima intensidade registrada foi 33,4 mm/h e a média foi 26,5 mm/h, comparado ao primeiro evento de janeiro de 2012, esse ocasionou praticamente a mesma quantidade de acumulado em 50% dos dias, entretanto as chuvas foram menos intensas e mais contínuas, o que desencadeou menor número de registros de ocorrências de impactos hidrológicos. Por outro lado, um evento de LI, de duração de duas horas, em que máximo acumulado no evento foi 54,4 mm, a máxima intensidade foi de 28,4 mm/h, de ocorrência pontual sobre a região central da mancha urbana de Belo Horizonte, gerou 12 ocorrências de alagamentos, particularmente na Regional Oeste, o que contribuiu para a mancha de média densidade do médio curso do Arrudas, representado na figura 5.

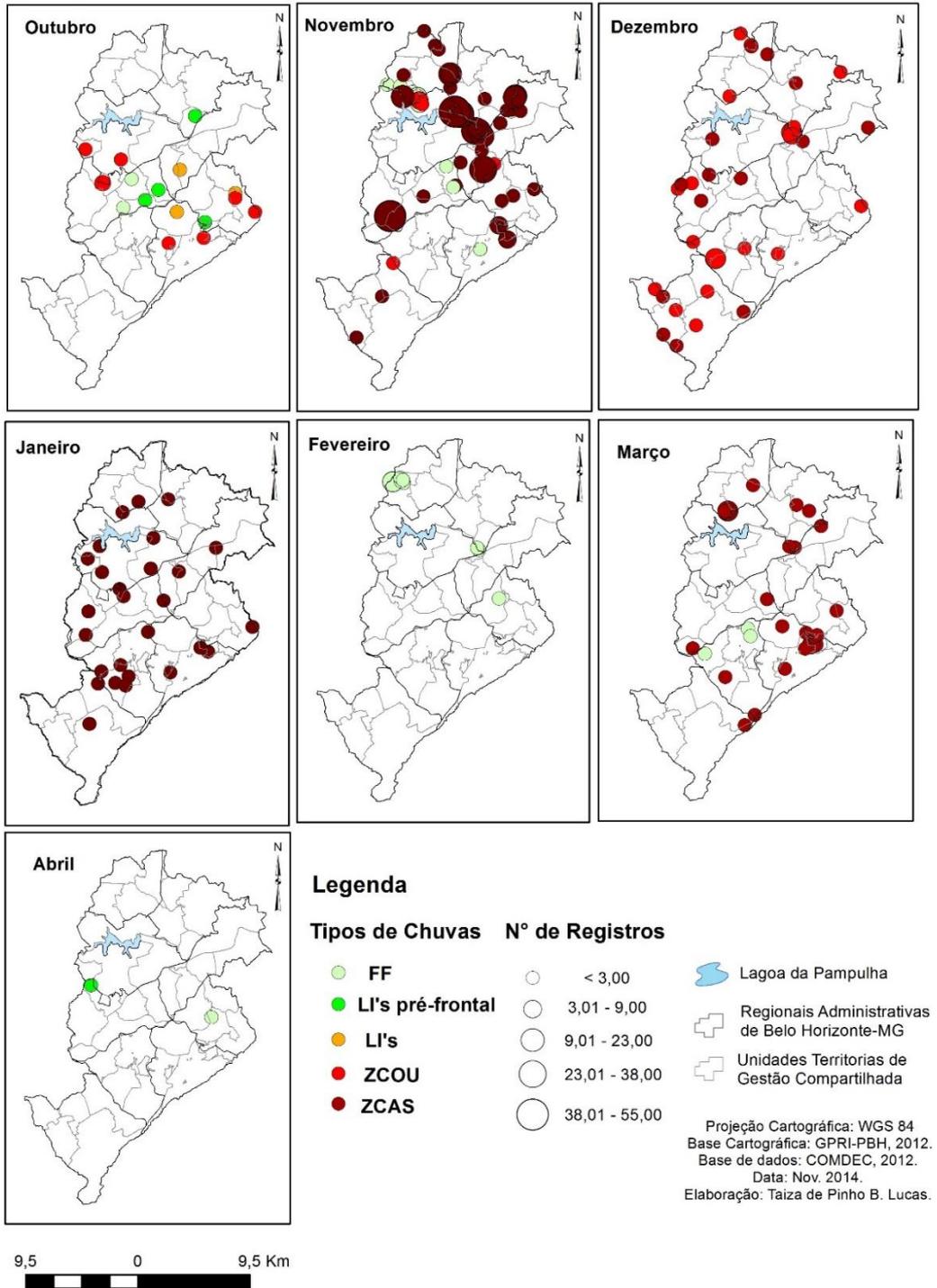


Figura 6 - Distribuição do total de registros de ocorrência de impactos hidrológicos por mês e por tipo de chuva na estação 2010-11. Fonte: LUCAS (2015).

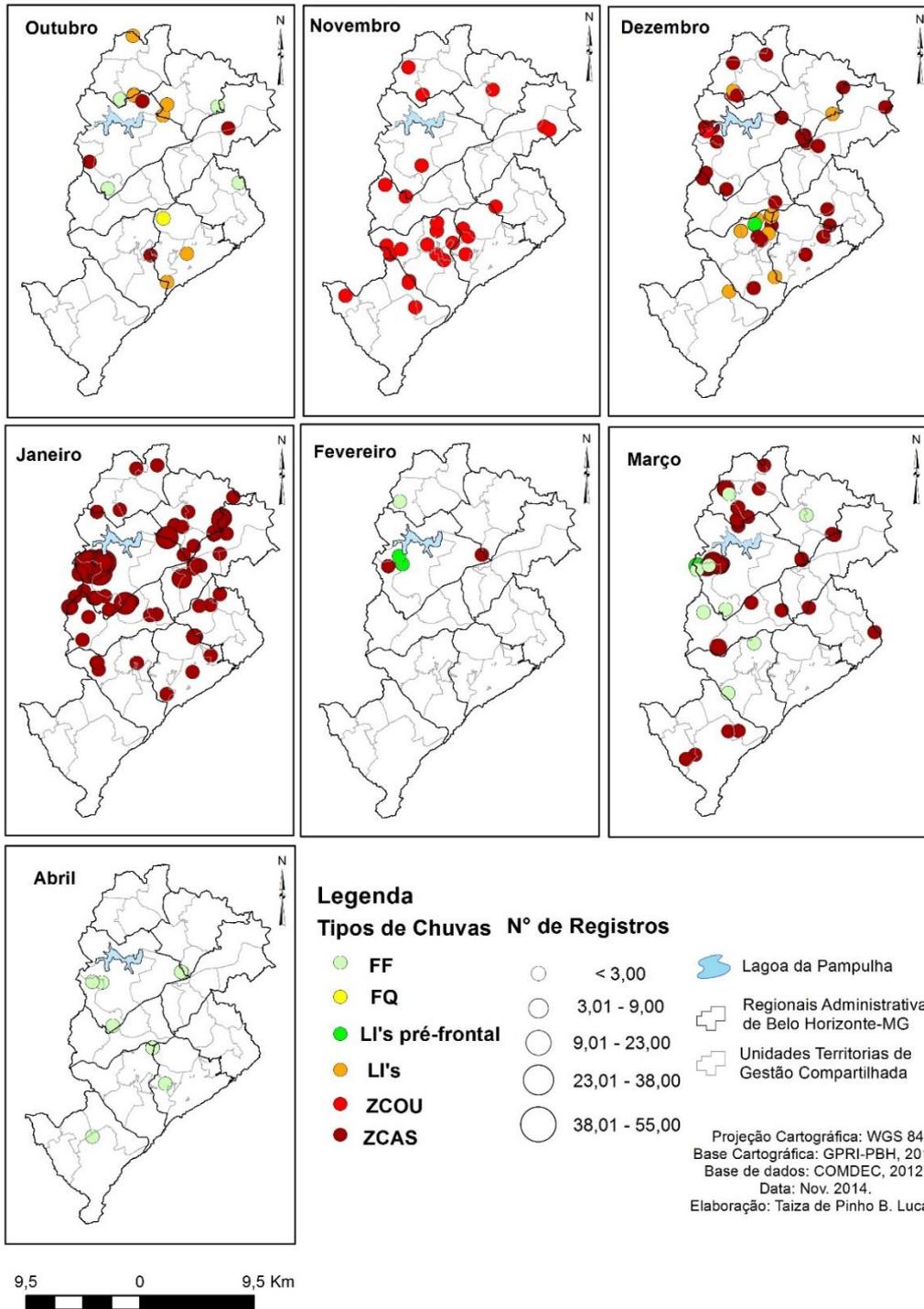


Figura 7 – Distribuição do total de registros de ocorrência de impactos hidrológicos por mês e por tipo de chuva na estação 2011-12. Fonte: LUCAS (2015).

CONCLUSÕES

A distribuição do total mensal de registros de ocorrências de impactos hidrológicos mostrou que elas seguem praticamente o mesmo ritmo do total mensal de precipitação. Na primeira estação chuvosa, quando as anomalias positivas foram maiores na primavera, verificou-se maior número de ocorrências no mês de novembro, assim como em dezembro e janeiro da segunda estação chuvosa, quando as anomalias positivas foram mais expressivas. Nos meses de março verificou-se correlação inversa, o segundo apresentou maiores registros de impactos devido à ocorrência de chuvas mais intensas.

Os registros de ocorrências de impactos hidrometeorológicos mostraram que a melhor correlação com dados de chuvas é dada pela intensidade máxima da chuva, para uma cidade impermeabilizada e com os córregos retinizados como em Belo Horizonte – MG, submersos nas avenidas sanitárias. A classificação de máxima intensidade dada por Santoro (2012) foi a mais adequada para os dados de chuvas analisados correlacionados aos dados da COMDEC-PBH. Verificou-se que chuvas com intensidades máximas inferiores a 10 mm/h não tendem a acarretar registros de impactos hidrológicos, entre 10 e 17,9 mm/h verifica-se tendência ao aumento de registros, que se torna mais recorrente nas chuvas de intensidade entre 18 e 30 mm/h, e particularmente, quando registrada acima de 30 mm/h, já que 80% dos registros foram ocasionados por valores acima dessa intensidade.

A partir dessa distribuição de valores de máxima intensidade por tipo de ocorrência registrado pela COMDEC, enchentes e/ou inundações e alagamentos, verificou-se que chuvas fortes e muito fortes tendem a acarretar registros de alagamentos de maneira difusa no território da capital mineira, já as ocorrências de enchentes e/ou inundações ocorrem de maneira mais concentrada, particularmente na bacia do Ribeirão do Onça. Partindo do número de ocorrências registradas em cada par de coordenadas geográficas, verificou-se a densidade de registros desses impactos hidrológicos, de muito baixa densidade, entre 0 e 3 registros, a muito alta densidade, ou seja, mais de 55 ocorrências, através da técnica de kernel. As maiores densidades foram identificadas nessa bacia do Ribeirão do Onça, em função da conjunção de fatores naturais e do processo histórico de ocupação dos leitos menores e áreas de várzea, já que no período seco se apresentam como favoráveis à ocupação, devido à suavização do relevo, associado à disponibilidade hídrica. Outro fator importante é o processo histórico de formação da cidade de Belo Horizonte, que inicialmente foi planejada, com rigoroso controle de ocupação no interior do polígono formado pela Av. do Contorno, situada nas áreas mais aplainadas do Arrudas. Esta área se caracteriza pelos domínios morfoestruturais do QF, que devido às características geológicas e geomorfológicas favorecem o rápido escoamento superficial e formação de enxurradas, que ocasionaram grandes transtornos à população nas primeiras décadas, entretanto nessa Bacia já se tem mais de 100 anos de obras de aplainamento, retinização e impermeabilização dos córregos, favorecendo o escoamento rápido e os seus respectivos efeitos para além dos limites territoriais da metrópole.

Apesar das chuvas serem o agente deflagrador dos impactos hidrológicos, particularmente a sua intensidade, elas não são o principal fator que determina a localização geográfica dos mesmos. Esta distribuição e densidade espacial são dadas pelas características físicas da paisagem, como a

interação entre a geologia, morfologia do terreno, forma da bacia hidrográfica e uso e ocupação do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, K. M.; CAVALCANTI, I. F. A. Climatologia dos sistemas frontais e padrões de comportamento para o verão na América do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2004, Fortaleza. [Anais eletrônicos...]. Fortaleza: SBMET, 2004. CD-ROM.

ASSIS, W. L. de. O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial. 2010. 295f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. J.; SILVA DIAS, M. A. F. Tempo e Clima no Brasil. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

COMPANHIA URBANIZADORA E DE HABITAÇÃO DE BELO HORIZONTE – URBEL. Assentamentos existentes em Belo Horizonte. Belo Horizonte: URBEL, 2012. Disponível em: http://gestaocompartilhada.pbh.gov.br/mapas-e-estatisticas/mapas-estaticos?term_node_tid_depth=All&area=692&field_formato_tid=All. Acesso em: 14 de jan. 2014.

COND, C.; PABÓN, D.; RODRÍGUEZ, R. S. La importancia de la información climática para la planificación del crecimiento y el desarrollo urbano. In: Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. Santiago: CEPAL, 2013. Cap. 2, p.25-40.

COSTA, H. S. M. Mudanças climáticas e cidades: contribuições para uma agenda de pesquisa a partir da periferia. In: HOGAN, D. J; MARANDOLA Jr. E. (Org). População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças ambientais globais. 1 ed. Campinas: NEPO-UNICAMP, 2009. p.279-283.

ESRI. ArcGIS 9: Editing in ArcMap. Nova Iorque, 2003. 504p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT (São Paulo, SP). Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios. Brasília: Ministério das Cidades, 2007. 176p.

LANDSBERG, H. E. The urban heat island: The urban climate, New York: Academic Press, v. 28, p. 275, 1981.

LUCAS, T. P. B. Gêneses e espacialidades das precipitações nas estações chuvosas de 2010/2011 e 2011/2012 em Belo Horizonte, Minas Gerais, e suas correlações com os impactos hidrológicos. 331f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C. Influência da topografia na precipitação: uma análise estatística e via imagens de satélite. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 2004, Fortaleza. [Anais...]. Fortaleza: SBMET, 2004. CD-ROM.

OKE, T. R. Boundary layer climates. London: Methuem, 1978.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL – OMM (Genève). El estado del clima mundial 2001 – 2010: Un decenio de fenómenos climáticos. Genève, 2013. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/index_es.html. Acesso em: 25 de maio de 2013.

RODRÍGUEZ, R. S. El cambio climático y las áreas urbanas de América Latina: a manera de introducción. In: Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina. Santiago: CEPAL, 2013. Cap. 1, p.9-24.

SANTORO, J. Avaliação de riscos naturais. Rio Claro: Congresso Brasileiro de Desastres Naturais, Instituto Geológico, 2012. Notas de aulas.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. Desastres naturais. São Paulo: Ed. Instituto Geológico, 2009. 196p.