



IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DE OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS URBANOS
EM EDIFICAÇÕES NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO

Arthur Jorge de Veras da Silva

Trabalho final apresentado a disciplina de Análise
Espacial de Dados Geográficos do Instituto
Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Professor: Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro

Rio de Janeiro
Dezembro de 2021

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..	3
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	4
2.1 Área de estudo.....	4
2.2 Fluxograma metodológico.....	4
2.3 Coleta de dados, seleção e tratamento das variáveis	5
2.3.1 Incêndios urbanos em edificações.....	5
2.3.2 Fatores socioeconômicos.....	7
2.3.3 Índice de Cobertura de Hidrantes (ICH)	8
2.3.4 Idade média dos imóveis	9
2.4 Regressão linear múltipla	9
2.5 Análise de padrões espaciais e regressão espacial	10
2.6 Comparação entre modelos	11
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
4. CONCLUSÕES.....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1. INTRODUÇÃO

Os eventos de incêndio podem ter, como consequência, vítimas fatais, perdas de bens patrimoniais, impactos no trânsito, dentre outras. O custo com a recuperação ou reconstrução das edificações incendiadas, somados aos custos hospitalares das vítimas podem trazer grandes prejuízos sociais (SEITO *et al.*, 2008). Estima-se que as perdas diretas e indiretas relacionadas a ocorrência de incêndios podem chegar a 1% do PIB mundial (GENEVA ASSOCIATION, 2014).

No Brasil, o surgimento das legislações de segurança contra incêndio está atrelado a ocorrência de grandes incêndios, como do Edifício Andraus (São Paulo - 1972) e do Edifício Joelma (São Paulo - 1974).

A primeira legislação foi elaborada no estado do Rio de Janeiro em 1975. No ano seguinte, foi publicado o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico (COSICIP), constando características construtivas de resistência ao fogo e dispositivos fixos e móveis para mitigação e combate a incêndio (RIO DE JANEIRO, 1976). Em 2018 a regulamentação sobre segurança contra incêndio e pânico no estado do Rio de Janeiro passou por uma profunda atualização e foi substituída por Notas Técnicas (CBMERJ, 2019).

No âmbito nacional, não há uma instituição pública ou privada responsável pela padronização, coleta, tratamento e estudo sobre os dados de incêndios urbanos, sendo que das 27 Unidades da Federação, apenas sete Corpos de Bombeiros divulgam informações sobre os atendimentos operacionais e administrativos em seus sites institucionais.

A identificação dos locais com maior frequência de incêndio, pode fornecer informações estratégicas para o planejamento, alocação de recursos governamentais e para o combate a incêndios. As instruções dos bombeiros militares e a aquisição de novos equipamentos operacionais e viaturas devem ser pautadas nas tipologias mais frequentes de incêndios (SILVA, 2017).

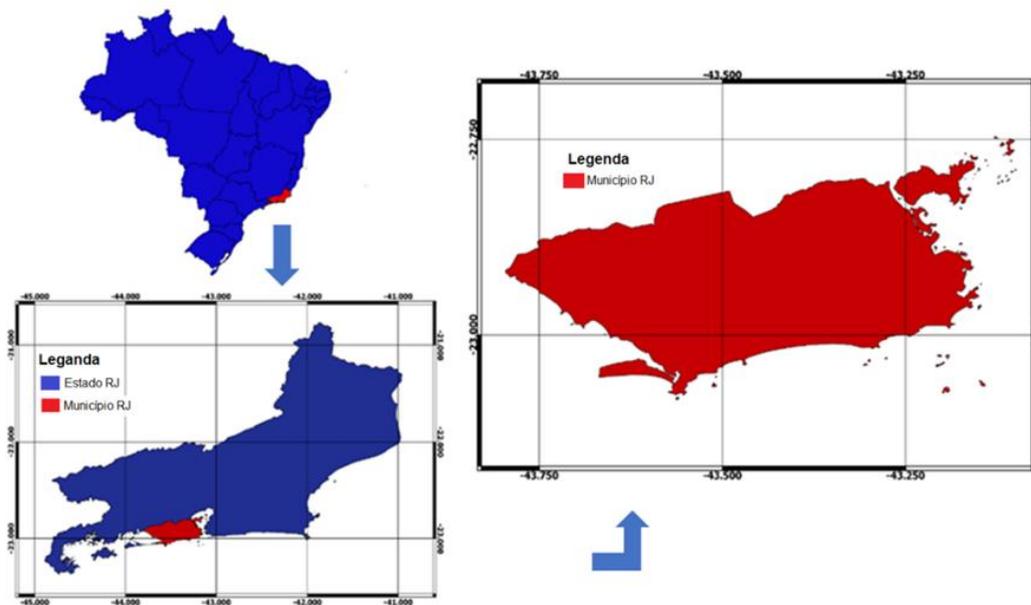
Além das características vinculadas a operação, a compreensão dos aspectos associados aos eventos de incêndio pode fomentar a adoção de novas medidas de segurança, modificações de diretrizes governamentais e modernização de leis e regulamentações. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo a identificação dos fatores relacionados aos incêndios urbanos em edificações no município do Rio de Janeiro, tendo como base os atendimentos realizados pelo CBMERJ de 2015 a 2019 e unidade de análise de área o bairro.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A cidade do Rio de Janeiro está situada no sudeste do Brasil, tem uma grande área de ocupação urbana e diversas realidades socioeconômicas distintas (Figura 1). Possui uma população estimada em 6,78 milhões de habitantes em 2021, PIB per capita anual de R\$ 54.456,08 em 2018, área territorial total de aproximadamente 1200 km² e área urbana de 545,42 km² (INSTITUTO PEREIRA PASSOS, 2019B).

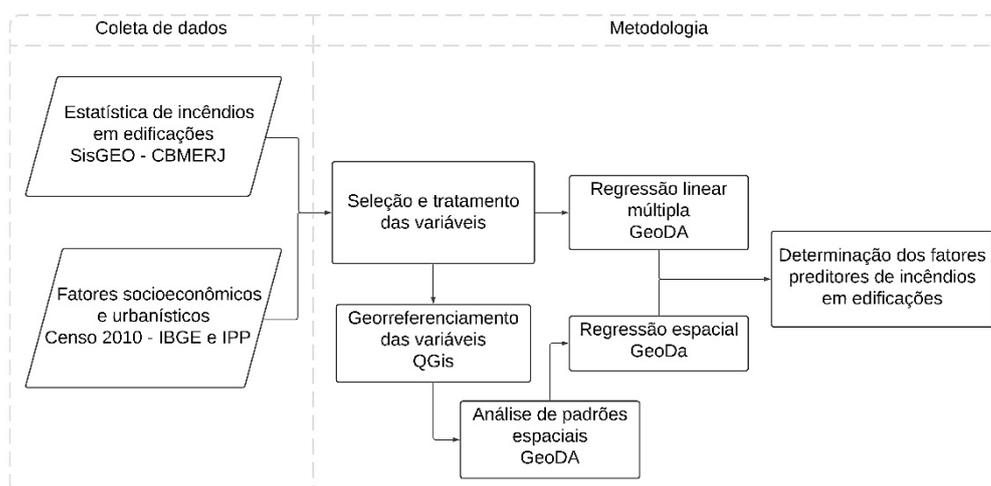
Figura 1 - Localização do Município do Rio de Janeiro



2.2 Fluxograma metodológico

O fluxograma desenvolvido no presente estudo está dividido em duas etapas denominadas respectivamente: coleta de dados e metodologia. Uma síntese do roteiro de procedimentos propostos, assim como os programas utilizados, encontra-se no fluxograma apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma metodológico.



2.3 Coleta de dados, seleção e tratamento das variáveis

Segundo JENNINGS (2013), a ocorrência de incêndios urbanos está vinculada aos fenômenos físicos do fogo e a fatores socioeconômicos. Entender as características urbanísticas, a renda, a escolaridade e outros aspectos da população podem fornecer informações importantes nas pesquisas sobre incêndios urbanos.

A análise exploratória dos dados consiste na caracterização das informações existentes nas variáveis. A realização cuidadosa desta etapa da modelagem proporciona ao pesquisador uma ambientação com os dados, facilitando a escolha das ferramentas estatísticas adequadas. Esta fase consiste na caracterização do banco de dados, tendo como objetivos: explorar, organizar, resumir e descrever os principais aspectos de cada variável, além de identificar possíveis anomalias, como registro incorreto de valores e dados discrepantes (outliers) (HAIR *et al.*, 2009).

2.3.1 Incêndios urbanos em edificações

O primeiro corpo de bombeiros brasileiro foi criado em 1976 por D. Pedro II no estado do Rio de Janeiro com o intuito de combater os inúmeros grandes incêndios em edificações ocorridos na capital do império. Atualmente a instituição é denominada Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ) e, além do combate a incêndios, possui uma grande variedade de atendimentos operacionais e administrativos (CBMERJ, 2017b).

No CBMERJ, a gestão de recebimentos de chamadas e dos eventos é realizada por um sistema privado denominado I/CAD, sendo permitida a padronização e a automatização do processo de atendimento ao público, o armazenamento e o compartilhamento informações e o acompanhamento estatísticas em tempo real. Em média o sistema recebe 2000 chamadas/dia para o 193 (telefone de contato do Corpo de Bombeiros), apenas na capital (HEXAGON BRASIL, 2021).

Após o recebimento da solicitação de atendimento, o I/CAD direciona automaticamente o evento para o quartel mais próximo. Cada unidade operacional do CBMERJ é responsável por uma determinada área de atendimento (jurisdição), cabendo a prestação de socorros de eventos de baixa complexidade. Caso haja a necessidade de mais recursos materiais ou humanos, como viaturas especializadas ou mais bombeiros militares, por exemplo, o quartel deve solicitar apoio operacional para as unidades mais próximas (CBMERJ, 2017b).

As informações recebidas pelos seus atendentes são computadas no I/CAD e imediatamente disponibilizadas no Sistema de Gestão de Operações (SisGeO), uma plataforma que permite a visualização, análise e gestão das ocorrências em tempo real, também mantém dados históricos para consultas avançadas. No SisGeO é possível acompanhar indicadores operacionais do Corpo de Bombeiros através de relatórios e gráficos dinâmicos, atualizados em tempo real, além da exportação de todos os dados coletados em diversos formatos de arquivos digitais (HEXAGON BRASIL, 2021).

Em relação aos atendimentos prestados pelo Corpo de Bombeiros, o incêndio é o terceiro com mais frequência nos últimos cinco anos (2016-2020), com um total de 142 mil incêndios. Em 2020 foram 26.661 incêndios, sendo aproximadamente 25% em edificações (CBMERJ, 2021).

No presente estudo será utilizado como banco de dados de incêndios urbanos em edificações (residenciais, comerciais, públicos e privados) as informações de eventos contidas no Sistema de Gestão de Operações (SisGeO) para o município do Rio de Janeiro de 2015 até 2019.

Na cidade, 38 bairros possuem área urbana inferior a 1 km², como por exemplo o bairro de Grumari com 0,1195 km², enquanto quatro bairros têm extensão superiores a 20 km², como é o caso do bairro de Campo Grande com área urbana de 45,49 km² (INSTITUTO PEREIRA PASSOS, 2021a).

Para ponderação da quantidade de incêndios ocorridos em cada bairro será empregado a metodologia desenvolvida por SILVA (2017) no qual calculou de taxa de incêndio urbano, que corresponde à relação entre a quantidade de incêndios ocorridos em um ano e a área urbana (km²). A localização dos incêndios foi obtida do banco de dados do SisGeO. Quanto maior a taxa de incêndio urbano, mais elevado é o risco atrelado a uma região.

Utilizada como variável resposta (Y01), a taxa de incêndio urbano considera apenas a existência pontual do incêndio, não sendo observada a proporção do evento, assim como os gastos operacionais e prejuízos causados.

2.3.2 Fatores socioeconômicos

No território nacional, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) realiza a cada 10 anos a coleta de informações de todos os municípios do Brasil. O último Censo demográfico ocorreu em 2010 e constituiu no grande retrato da população brasileira e das suas características socioeconômicas. Entre as informações obtidas pelo Censo demográfico sobre os domicílios e os moradores, destacam-se: iluminação, abastecimento de água, saneamento, escolaridade, trabalho e rendimento, idade, cor/raça, deficiência etc. (IBGE, 2013).

No âmbito municipal, o Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos (IPP) é o órgão da prefeitura do Rio de Janeiro responsável pelo gerenciamento dos dados relacionados a população, meio ambiente e dinâmicas sociais, fundamentando o planejamento estratégico e a integração de políticas públicas, mapeamento, produção cartográfica e aplicação de geotecnologias. O IPP usa como parâmetro inicial os dados oriundos dos Censos demográficos do IBGE, e realiza pesquisas mais específicas, como o levantamento de moradores em situação de rua, delimitação de áreas urbanas e rurais, índices de segurança pública entre outros. As informações são catalogadas no Sistema Municipal de Informações Urbanas (SIURB) e disponibilizadas pelas divisões político-administrativas da cidade, como o bairro (INSTITUTO PEREIRA PASSOS, 2021).

O Índice de Desenvolvimento Social (IDS) é o principal indicador utilizado pela Prefeitura do Rio de Janeiro para comparar e analisar o desenvolvimento urbano e social da cidade, divisões administrativas (Área de Planejamento, Região Administrativa e bairro) e especificamente de favelas. O IDS emprega oito indicadores, construídos a partir dos dados disponíveis no questionário do universo do Censo Demográfico de 2010 do IBGE, tendo como base quatro segmentos: o acesso ao saneamento básico; a qualidade habitacional; o grau de escolaridade e disponibilidade de renda (INSTITUTO PEREIRA PASSOS, 2019b).

No presente trabalho serão utilizados seis indicadores socioeconômicos produzidos a nível territorial de bairro pelo Instituto Pereira Passos como variáveis independentes (Tabela). Serão considerados os 160 bairros existentes na cidade do Rio de Janeiro em 2010, incorporando as informações dos bairros da Lapa, Vila Kennedy e Jabour, respectivamente nos bairros do Centro, Bangu e Senador Camará.

Tabela 1 - Indicadores socioeconômicos.

ID	Indicador socioeconômico
X01	Índice de Desenvolvimento Social (IDS)
X02	percentual de área urbana
X03	percentual de moradores com 60 anos ou mais
X04	percentual de apartamentos em relação à quantidade total de moradias
X05	percentual de domicílios com rendimento domiciliar per capita superior a 5 salários-mínimos
X06	percentual de analfabetismo de 10 a 14 anos

Fonte: Instituto Pereira Passos, 2019b.

2.3.3 Índice de Cobertura de Hidrantes (ICH)

Mesmo com o avanço tecnológico e o surgimento de novos e mais eficientes agentes extintores de incêndio, o mais utilizado continua sendo a água, principalmente nas viaturas dos corpos de bombeiros. A alta capacidade de absorver calor, aliada ao seu aumento de volume quando passa do estado líquido para o gasoso, torna a água um agente com elevada eficiência e baixo custo (SEITO *et al.*, 2008).

Segundo CBMERJ (2019b), o abastecimento de água para incêndios é a operação de captação de água em fontes ou pontos e envio até as bombas de incêndios as quais atuam como apoio nos sinistros ou para o combate propriamente. A melhor prática ocorre pelo emprego das fontes ou pontos de captação de água locais, deixando para segundo plano, o emprego do apoio operacional para os casos de insuficiência volumétrica ou total inexistência de água.

Segundo ALMEIDA (1996), o hidrante de coluna destaca-se como o principal meio de abastecimento de água em incêndios, e, dentre as vantagens do seu uso, evidenciam-se: rapidez para entrar em operação; fácil acoplamento; maior fornecimento de vazão de água; difícil obstrução por veículos e soterramento; três saídas (duas de DN 60 e uma de DN 100) auxiliando a tática de abastecimento; rápida localização, inclusive no período noturno e especificação em norma da ABNT. A principal desvantagem é o alto custo de manutenção, devido a amassamentos, necessidade de pintura e extravio de tampões e bujões.

Para realizar uma análise quantitativa e qualitativa da distribuição dos hidrantes de coluna nos bairros do município do Rio de Janeiro, Silva (2017) utilizou o banco de dados do Sistema de Gerenciamento Operacional de Recursos Hídricos (SisGORH) e o

parâmetro de distanciamento entre hidrantes constante no item 5.3.3 da ABNT NBR 12218/1994. Para efeitos de simplificação do distanciamento máximo entre dois hidrantes (600 m), foi adotado que cada hidrante de coluna possui uma área de abrangência operacional de um círculo com raio de 300 metros.

De acordo com Silva (2017), para calcular a porcentagem de cobertura de hidrantes de coluna em cada bairro foi utilizado o banco de dados do SisGORH, constando a localização georrefenciada dos hidrantes de coluna. Cada aparelho existente é posicionado com sua respectiva área de atuação. A área de cobertura de cada aparelho é somada e as áreas de interseção são descontadas, resultando na área útil de cobertura dos hidrantes. O Índice de Cobertura de Hidrantes (ICH) é determinado pela relação da área útil de cobertura dos hidrantes existentes e da área urbana da localidade.

O ICH (X07) tem a variação de 0 a 1, sendo 1 a área totalmente coberta e 0 quando não há atendimento. Este índice proporciona uma análise qualitativa do posicionamento dos hidrantes. O bairro do Caju, por exemplo, tem o ICH igual a 0,529. Isso significa que, aproximadamente 53% de toda área urbana do bairro tem hidrantes com distância igual ou menor que 300 metros (SILVA, 2017).

2.3.4 Idade média dos imóveis

O tempo de construção de uma edificação pode ser importantes para entender o estado de depreciação das instalações prediais. As manutenções corretivas e preventivas são importantes para diminuir a probabilidade da ocorrência de incidentes, como os incêndios. Entre as causas de incêndio mais comuns em edificações destacam-se os problemas nas instalações elétricas, principalmente a sobrecarga e o curto-circuito (SEITO *et al.*, 2008).

Os dados do ano de construção dos imóveis foram retirados do cadastro imobiliário referente a base pública do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) de 2021. No banco de dados constam o registro de 1.908.955 unidades habitacionais, unidades comerciais, entre outros.

O cálculo da idade de cada imóvel foi realizado pela subtração do ano de construção (ou ano de cadastro na Prefeitura) e 2021. Posteriormente os imóveis foram classificados por bairro e calculada a idade média dos imóveis (X08).

2.4 Regressão linear múltipla

A regressão linear múltipla tem como objetivo determinar a relação entre uma variável dependente (variável resposta) com duas ou mais variáveis independentes (variáveis preditoras). A Equação 1 representa um modelo de regressão linear múltipla, sendo: y - variável dependente (variável resposta); x - variáveis preditoras (incógnitas); β - coeficientes angulares; α - intercepto com o eixo y ; ε - resíduo (HAIR *et al.*, 2009).

$$y = \alpha + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_n * x_n + \varepsilon \quad (1)$$

Para que a regressão represente adequadamente o fenômeno em estudo, inicialmente é preciso avaliar o banco de dados para dirimir problemas como informações faltantes (*missings*) e dados discrepantes (*outliers*).

Para que a regressão linear múltipla tenha validade, é necessário que seus cinco pressupostos sejam atendidos: linearidade; Independência dos dados; Homoscedasticidade; Ausência de multicolinearidade; e Resíduos normalmente distribuídos.

2.5 Análise de padrões espaciais e regressão espacial

O emprego da análise exploratória aplicadas a dados espaciais são primordiais para o desenvolvimento de modelos espaciais adequados. Assim como na estatística clássica, a modelagem espacial é sensível ao tipo de distribuição, à presença de valores extremos e à ausência de estacionariedade (DRUCK *et al.*, 2004).

Inicialmente na análise de padrões espaciais é realizada a observação da distribuição dos dados no mapa. Com isso é possível identificar valores extremos, o tipo de distribuição espacial, clusters, entre outras informações. A visualização das variáveis com dados agregados por áreas é normalmente através de mapas temáticos ou coloridos, exibindo o padrão espacial do fenômeno em estudo (SANTOS; SOUZA, 2007).

Posteriormente é analisada a ocorrência de dependência espacial, verificando se os valores estão relacionados no espaço. A autocorrelação espacial calcula o quanto o valor observado de uma variável em uma determinada área é independente dos valores das respectivas localizações vizinhas. A técnica utilizada para medir a autocorrelação espacial é o Índice Global de Moran. Valores positivos (entre 0 e +1) indicam uma correlação direta, com valores similares próximos. Valores negativos (entre -1 e 0) representam uma correlação inversa, com valores similares distantes. Quando o Índice Global de Moran é próximo a zero, indica-se que não há correlação espacial, com os valores dispostos aleatoriamente. A validade estatística do Índice Global de Moran é calculada pelo teste de pseudo-significância (SANTOS; SOUZA, 2007).

A regressão espacial assemelha-se a regressão linear clássica, com a adição do atributo da localização dos dados. Para entender as variáveis e os processos envolvidos nos fenômenos estudados, considerando que haja uma autocorrelação espacial estatisticamente significativa, é necessário, além de uma análise exploratória dos dados, o uso de técnicas de regressão espacial (ANSELIN, 2005).

Conforme Anselin (2005), assim como nos modelos de regressão linear, para melhorar o ajuste de modelos espaciais busca-se minimizar o valor do resíduo. Desta forma, o primeiro passo para o uso da regressão espacial é a investigação dos resíduos da

regressão em busca de sinais de uma estrutura espacial (autocorrelação espacial dos resíduos).

Para determinar a proximidade das áreas estudadas é utilizado a matriz de vizinhança (W). Essa matriz indica a relação espacial de cada área com as demais. As regiões contíguas são consideradas com proximidade de primeira ordem, podendo a ordem de conectividade ser expandida (DRUCK *et al.*, 2004).

O coeficiente espacial autorregressivo (ρ) indica a relevância da dependência espacial no modelo de regressão. Se $\rho = 0$, não existe a dependência espacial e o modelo torna-se uma regressão linear clássica (SANTOS; SOUZA, 2007).

Os modelos de regressão espacial em que se supõe que é possível estabelecer a correlação espacial em um único parâmetro são denominados de modelos com efeitos espaciais globais. Neste caso, há duas técnicas para abordar a autocorrelação global em um modelo de regressão espacial (ANSELIN, 2005):

- modelo espacial autoregressivo misto - *spatial lag model* (*Spatial AutoRegressive – SAR*): atribuem a autocorrelação espacial à variável dependente Y (Equação 1);

$$y + (\rho W y) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon \quad (2)$$

- modelo do erro espacial - *spatial error model* (*Conditional AutoRegressive - CAR*): atribuem a autocorrelação ao erro (Equação 2).

$$y = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon + \rho W \varepsilon \quad (3)$$

2.6 Comparação entre modelos

O critério de informação de Akaike (AIC) é uma métrica que mensura a qualidade de um modelo estatístico. Os menores valores de AIC indicam os modelos de maior qualidade.

O coeficiente de determinação (R^2) é uma medida de ajuste de um modelo estatístico que expressa o quanto do fenômeno é explicado. Quanto maior o R^2 , melhor é o modelo desenvolvido. Para comparação entre modelos é indicado a utilização do coeficiente de determinação ajustado (\bar{R}^2) pois avalia o número de variáveis, penalizando um número maior de atributos dos modelos (HAIR *et al.*, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo coletado no banco de dados do SisGEO, entre os anos de 2015 e 2019, o CBMERJ foi acionado 18.646 vezes para eventos relacionados a incêndios urbanos em edificações no Município do Rio de Janeiro, representando 3.729,2 incêndios por ano (Tabela 2).

Tabela 2 - Incêndios por ano na cidade do Rio de Janeiro (2015-2019).

Ano	Incêndios
2015	3.004
2016	3.726
2017	3.605
2018	4.330
2019	3.981
Total Geral	18.646

Em relação a variabilidade mensal dos eventos, ocorreram em média 310,77 incêndios por mês. Destacam-se como mais crítico o mês de dezembro com 350,5 eventos e junho (275,2) como o mês com a menor quantidade de incêndios (Figura 3). A maior quantidade de eventos em dezembro pode estar associada ao aumento do uso de ar-condicionado e outros aparelhos para refrigeração, exigindo mais das instalações elétricas das edificações.

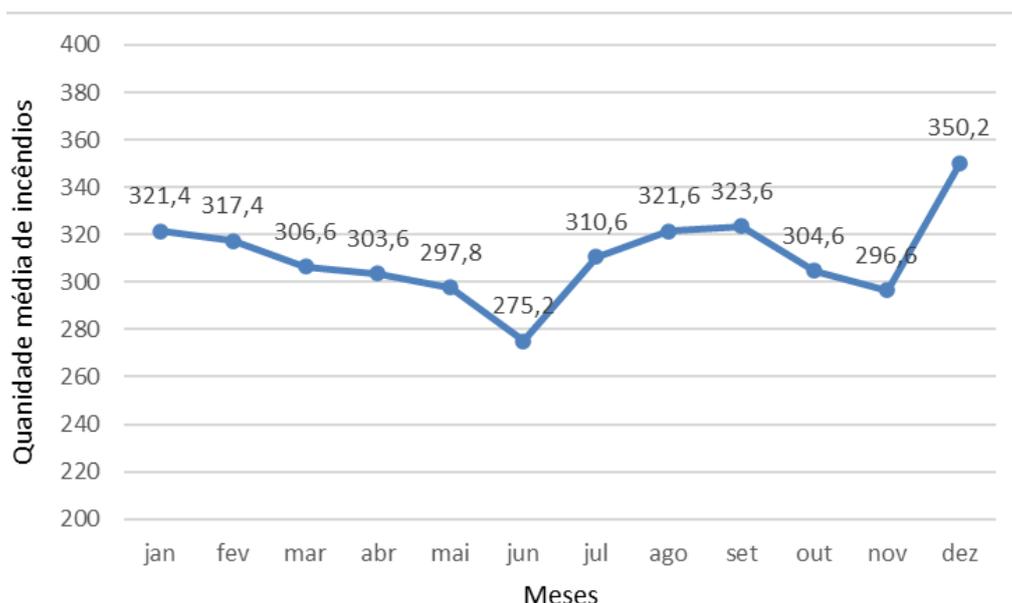


Figura 3 - Variabilidade mensal de eventos.

Entre 2015 e 2019 ocorreram anualmente em média 3729,2 incêndios urbanos em edificações, ou seja, aproximadamente 532,74 incêndios por dia da semana (domingo a sábado). Ressalta-se que esta análise utiliza a composição dos incêndios ocorridos por dia

da semana, ou seja, a soma anual de todos os eventos a cada dia da semana. Conforme a Tabela 4 o sábado (563,4) e o domingo (562,6) são os dias da semana mais críticos e o dia com a menor quantidade de incêndios urbanos em edificações é terça-feira (504).

Os horários com a menor quantidade de incêndios (inferior a 100 incêndios por faixa horária) estão compreendidos entre as 3h até 08h (Tabela 4). Os horários mais críticos são das 17h às 21h, possivelmente estando relacionado ao término do horário comercial, deslocamento e a chegada na residência. Desta forma a troca da guarnição de serviço às 8h é realizada em um momento pertinente do serviço, sendo inapropriado uma escala no qual está mudança seja feita entre 17h e 21h.

Tabela 4 - Variabilidade horária e por dia da semana.

Hora	Domingo	Segunda-Feira	Terça-Feira	Quarta-Feira	Quinta-Feira	Sexta-Feira	Sábado	Total Geral
0h às 1h	25,6	22	20	16	20,4	22,2	21,4	147,6
1h às 2h	22,8	17	15,8	15,2	17,4	15,6	21,2	125
2h às 3h	20,4	16	12,6	12	16,6	14	18,6	110,2
3h às 4h	14,4	13,6	11,2	11,6	10,4	10,6	13,2	85
4h às 5h	11,2	12,8	7,2	10	10,2	10	12	73,4
5h às 6h	15,8	10,2	14	11	11,6	7,2	13,2	83
6h às 7h	15,4	15,2	11,6	11,4	13,6	14,6	14,8	96,6
7h às 8h	15,2	13,8	13,4	13,2	13,8	13,6	14,4	97,4
8h às 9h	15,8	17	16	18,6	15,8	14,4	18,6	116,2
9h às 10h	18,8	16	19,8	22	22,6	18,4	21,6	139,2
10h às 11h	21,4	23,4	24,8	22,4	27,2	24,2	27,4	170,8
11h às 12h	23,4	29,2	24	26,6	21,2	26	29,2	179,6
12h às 13h	25,4	28,6	27,6	28,4	26,6	29,2	28,2	194
13h às 14h	30,2	29	25,8	27,8	29,2	22,4	27	191,4
14h às 15h	28,8	26,2	23,4	24	27,2	26,4	28,8	184,8
15h às 16h	31,6	27,6	23,6	25,4	23,6	29,8	24,4	186
16h às 17h	26,6	22,4	28,8	27,8	25,4	27,8	23,6	182,4
17h às 18h	32,6	30,4	31,4	21,4	33,8	25,4	25,4	200,4
18h às 19h	31,6	32,4	26,8	27,8	29	24,8	28,8	201,2
19h às 20h	36,6	38,6	28,4	28,8	29,8	30,6	28,2	221
20h às 21h	28,2	28,4	28,6	28,8	30,4	27	33,8	205,2
21h às 22h	27,6	25,8	24,6	26,6	26,4	30,6	28,6	190,2
22h às 23h	22,2	20,2	25,2	29	29,6	30,4	32	188,6
23h às 0h	21	21,8	19,4	22,4	20,6	25,8	29	160
Total Geral	562,6	537,6	504	508,2	532,4	521	563,4	3.729,2

Neste trabalho foi realizada análise por bairro. Para facilitar a visualização da média taxa de incêndio urbano (variável dependente) de 2015 a 2019 em cada bairro, foi estipulada, uma classificação em 5 faixas (quantis), conforme Figura 4.

A média da taxa de incêndio urbano de incêndio é 9,098 incêndios/km² e a amplitude é 41,21, com o valor máximo no bairro do Copacabana (41,50 incêndios/km²) e o valor mínimo em Vila Militar (0,29 incêndios/km²).

O bairro do Catete, por exemplo, teve 103 incêndios entre 2015 e 2019 (20,6 eventos por ano, em média) e possui área urbana de 0,565 km², logo, a taxa de incêndio urbano correspondente é 36,42 inc/km².

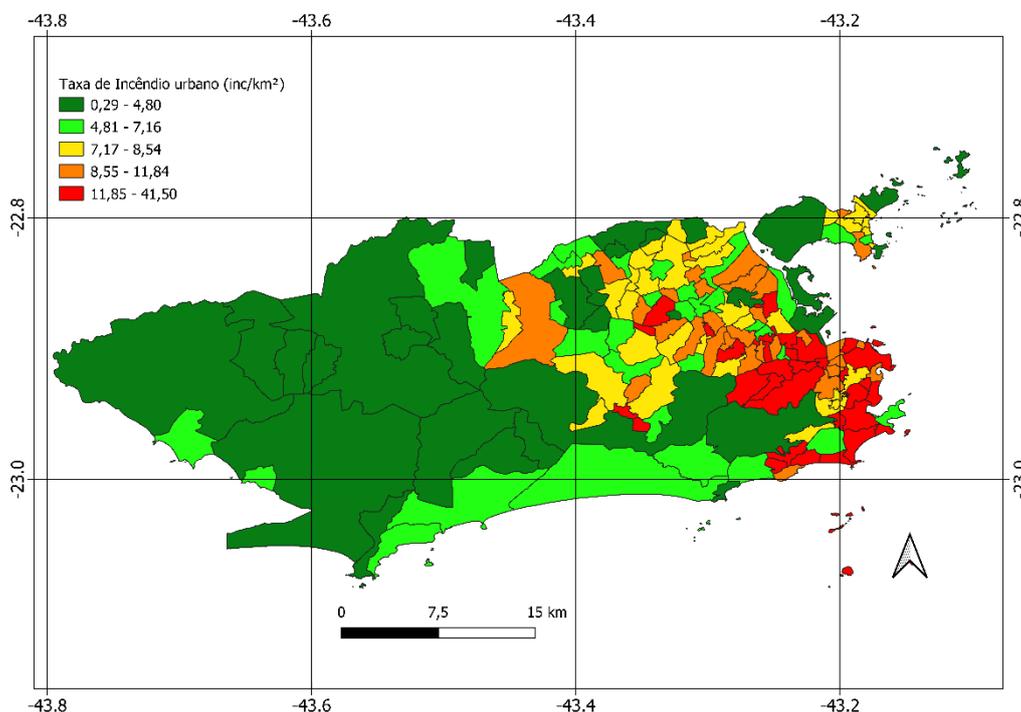


Figura 4 – Média da taxa de incêndio urbano no município do Rio de Janeiro (2015-2019).

O primeiro modelo desenvolvido no software Geoda foi com a técnica de regressão linear múltipla, sendo que as variáveis significativas foram: Índice de Cobertura de Hidrantes (X01), percentual de área urbana (X03) e percentual de moradores com 60 anos ou mais (X04). Porém, na avaliação dos pressupostos da regressão, foi constatado que os resíduos não estavam normalmente distribuídos. Para dirimir este óbice foi realizada uma transformação Box-Cox (log natural) na variável dependente.

Outra correção no modelo foi a constatação e subtração de *outliers*, usando como critério os resíduos com valores maiores que três desvios padrões, sendo os bairros de Vila Militar, Campo dos Afonsos e Gericinó. Estes bairros são majoritariamente áreas relacionadas as unidades das forças armadas ou da segurança pública estadual.

Desta forma, o novo modelo de regressão linear múltipla assumiu os valores constantes na Equação 4. O coeficiente de determinação ajustado foi 56,4% e o critério de informação de Akaike 191,672.

$$\ln(y) = 0,4929 + 0,7966 * X01 + 0,005 * X02 + 4,1824 * X03 + \varepsilon \quad (4)$$

A homocedasticidade foi avaliada pelo teste de Breusch-Pagan, com hipótese nula do não atendimento do pressuposto. Como o p-valor do teste foi 0,41, rejeita-se a hipótese nula e aceita-se a hipótese alternativa da existência da homocedasticidade.

Como diagnóstico da multicolinearidade foi empregado o Fator de Inflação da Variância (FIV) que deve ter valor abaixo de 30 (ANSELIN, 2005). O valor obtido no modelo foi 8,93. Desta forma é aceito o pressuposto da ausência da multicolinearidade.

A distribuição normal dos resíduos teve como avaliação o teste de Jarque-Bera com hipótese nula da não aceitação do pressuposto. Como o p-valor obtido foi 0,051, é possível aceitar a hipótese alternativa com 5% de significância.

A Figura 5 apresenta o diagrama de espalhamento de Moran para a variável log natural da taxa de incêndio urbano, indicando que há uma correlação espacial positiva. O Índice Global de Moran é 0,431, indicando uma moderada autocorrelação espacial.

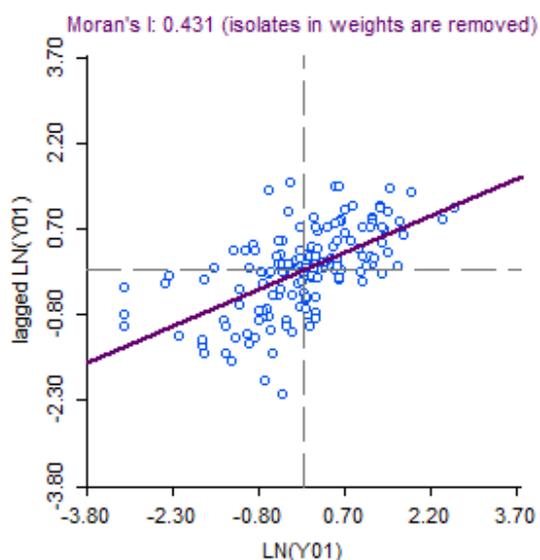


Figura 5 - Diagrama de espalhamento de Moran para a variável log natural da taxa de incêndio urbano.

Para estimar a significância do índice global de Moran, foi realizado o teste de pseudo-significância, com 999 permutações. A Figura 6 apresenta o teste de pseudo-significância para a variável log natural da taxa de incêndio urbano. Como o valor do índice medido corresponde a um extremo (à direita) da distribuição simulada, então se

trata de um valor com significância estatística (DRUCK et al., 2004). Além disso, verifica-se o p-valor é igual 0,001.

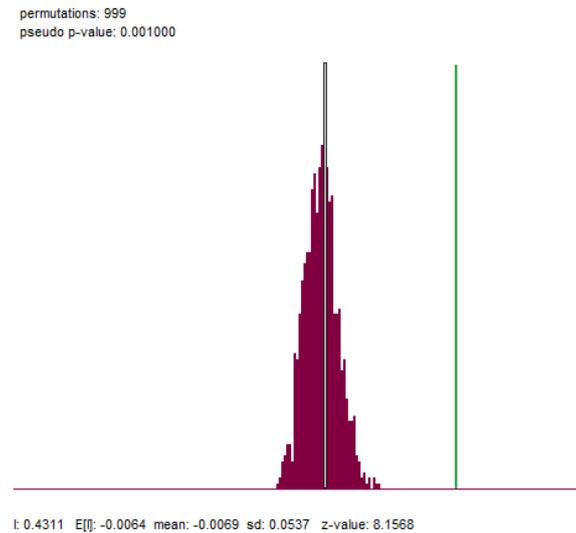


Figura 6 - Teste de pseudo-significância para a variável log natural da taxa de incêndio urbano.

Posteriormente foram avaliados os resíduos da regressão linear múltipla para verificar a permanência da autocorrelação espacial. O Índice Global de Moran foi 0,158 e pseudo p-valor é igual 0,001 (Figura 7), constando, ainda, autocorrelação espacial nos resíduos.

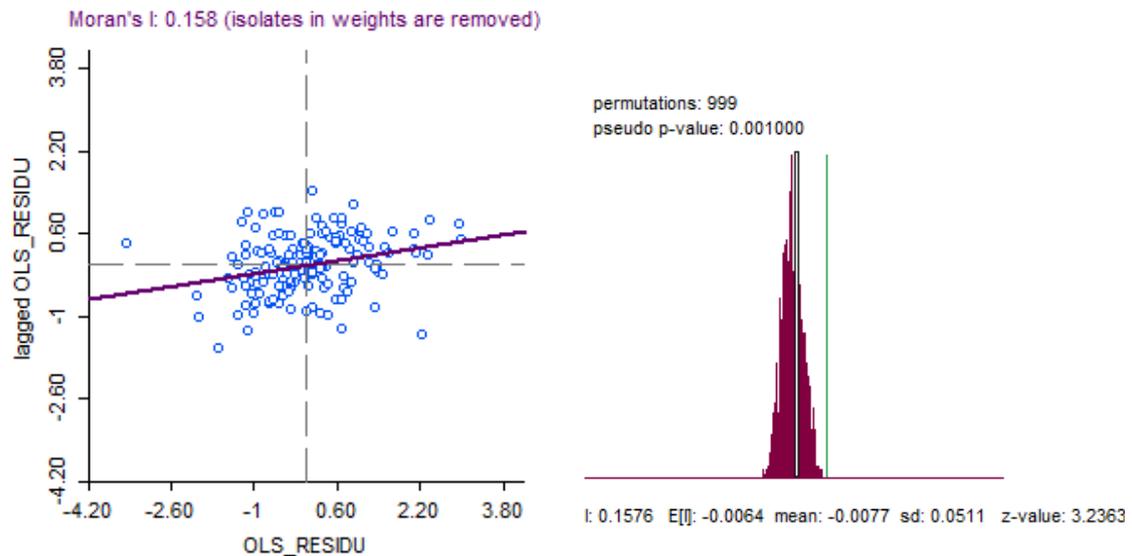


Figura 7 – Diagrama de espalhamento de Moran e Teste de pseudo-significância para os resíduos da regressão linear múltipla.

Considerando-se a autocorrelação espacial, inicialmente os seguintes parâmetros para a regressão espacial SAR (*Spatial Lag Model*) (Equação 5):

$$\begin{aligned} \ln(y) - 0,3064W * (\ln Y) = \\ = 0,1231 + 0,5942 * X01 + 0,0048 * X02 + 3,7048 * X03 + \varepsilon \end{aligned} \quad (5)$$

O coeficiente de determinação foi igual a 62,5%, indicando que houve uma melhora no modelo em relação à regressão clássica. Verifica-se uma redução nos valores do critério de informação de Akaike, para 174,750.

Para o modelo espacial CAR (*Spatial Error Model*), foram obtidos os seguintes valores (Equação 6):

$$\begin{aligned} \ln(y) = 0,5381 + 0,6262 * X01 + 0,0073 * X02 + 3,5774 * X03 \\ + 0,3976 * W\varepsilon + \varepsilon \end{aligned} \quad (6)$$

O percentual de explicabilidade do modelo CAR foi de 61,0% (coeficiente de determinação) e critério de informação de Akaike de 180,857, sendo similar os resultados do modelo SAR.

Na Tabela 5 são apresentados os principais parâmetros dos modelos de regressão linear clássica e dos modelos de regressão espacial (SAR e CAR), permitindo uma comparação entre os modelos. A regressão clássica apresentou o pior desempenho (menor coeficiente de determinação e maior AIC), além de não considerar a dependência espacial dos dados constatada na autocorrelação espacial do log natural da taxa de incêndio urbano e nos resíduos da regressão. Com o incremento da autocorrelação espacial nos modelos, foi possível observar uma melhora nos resultados, principalmente no *Spatial Lag Model* (SAR) com maior coeficiente de determinação (62,5%) e menor AIC 174,750.

Tabela 5 - Resumo do comparativo entre o modelo de regressão linear múltipla e os modelos de regressão espacial (SAR e CAR).

Método	R²	AIC
Regressão linear múltipla	0,564	191,672
Spatial Lag Model (SAR)	0,625	174,750
Spatial Error Model (CAR)	0,610	180,857

4. CONCLUSÕES

Em relação a variabilidade dos incêndios urbanos em edificações, o mês de dezembro possui o maior número de ocorrências. Os dias da semana críticos são sábado e domingo. Os horários com mais eventos é de 17h às 21h.

O modelo de regressão múltipla linear clássica proposto apresentou um percentual de explicação do fenômeno de 56,4%. Para que o pressuposto da distribuição normal dos resíduos fosse atendido, foi realizada uma transformação BoxCox na variável resposta, tendo como transformação o log natural. Os indicadores socioeconômicos significativos foram o Índice de Cobertura de Hidrantes, percentual de área urbana e percentual de moradores com 60 anos ou mais.

Os modelos espaciais desenvolvidos foram o *Spatial Lag Model* (SAR) e o *Spatial Error Model* (CAR), havendo uma melhora do desempenho dos modelos com o incremento das relações espaciais das variáveis. O modelo com melhor ajuste foi o SAR com maior coeficiente de determinação (0,625) e menor valor para o critério de informação de Akaike de 174,750.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, N. **Hidrantes urbanos: Critérios para instalação na cidade de São Paulo**. Polícia Militar do Estado de São Paulo. São Paulo, p. 86. 1996.

ANSELIN, L. **Exploring Spatial Data with GeoDa: A Workbook**. Illinois: 2005.

GENEVA ASSOCIATION. **World Fire Statistics**. Genebra, p. 18, 2014.

CBMERJ. **Manual Básico de Bombeiro Militar - Conhecimentos militares**. Rio de Janeiro: Corpo de Bombeiro Militar do Estado do Rio de Janeiro, 2017b.

_____. **Notas Técnicas**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.cbmerj.rj.gov.br/notas-tecnicas>. Acesso em: 06 de abril.

_____. **Anuário do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro - 2020**. Rio de Janeiro. Ano II: 106 p. 2021.

DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

HAIR., et al. **Análise multivariada de dados**. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 682 p.

HEXAGON BRASIL. **Segurança Pública**. 2021. Disponível em: <https://hexagon.com.br/pt-br/geospatial-solutions/safety-and-infrastructure/safety>. Acesso em: 25 de novembro de 2021.

IBGE. **Censo 2010**. 2013. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 21 de maio de 2021.

INSTITUTO PEREIRA PASSOS. **Tabela 1783 - Total da área territorial por Classes de Uso do Solo e Cobertura Vegetal, segundo Áreas de Planejamento (AP), Regiões de Planejamento (RP), Regiões Administrativas (RA) e Bairros do Município do Rio de Janeiro - 2011**. 2019a. Disponível em: <https://www.data.rio/documents/total-da-%C3%A1rea-territorial-por-classes-de-uso-do-solo-e-cobertura-vegetal-segundo-%C3%A1reas-de-planejamento-ap-regi%C3%B5es-de-planejamento-rp-regi%C3%B5es-administrativas-ra-e-bairros-do-munic%C3%ADpio-do-rio-de-janeiro-2011/about>. Acesso em: 25 de abril de 2021.

_____. **Tabela 2248 - Índice de Desenvolvimento Social (IDS) por Áreas de Planejamento (AP), Regiões de Planejamento (RP), Regiões Administrativas (RA),**

Bairros e Favelas do Município do Rio de Janeiro - 2010. Rio de Janeiro, 2019b. Disponível em: <https://www.data.rio/datasets/%C3%ADndice-de-desenvolvimento-social-ids-por-%C3%A1reas-de-planejamento-ap-regi%C3%B5es-de-planejamento-rp-regi%C3%B5es-administrativas-ra-bairros-e-favelas-do-munic%C3%ADpio-do-rio-de-janeiro-2010>. Acesso em: 11 de abril de 2021.

_____. **Portal do Instituto Pereira Passos.** 2021. Disponível em: <https://www.rio.rj.gov.br/web/ipp>. Acesso em: 26 de novembro de 2021.

RIO DE JANEIRO. Decreto n.º 897 de 21 de setembro de 1976. **Dispõe sobre a Segurança Contra Incêndio e Pânico.** Rio de Janeiro.

SANTOS, S. M.; SOUZA, W. V. **Introdução à Estatística Espacial para a Saúde Pública. Série: Capacitação e Atualização em Geoprocessamento em Saúde.** Brasília: Ministério da Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. Volume 3. 2007.

SEITO, A. I. et al. **A Segurança Contra Incêndio no Brasil.** São Paulo: Projeto Editora, 2008. 496 p. ISBN 978-85-61295-00-4.

SILVA, A. J. D. V. **Análise da incidência de incêndios e da cobertura de hidrantes na área urbana do município do Rio de Janeiro.** 2017. -, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ, Rio de Janeiro.