

Matheus Moro Moutinho

**ANÁLISE E MODELAGEM MATEMÁTICA
DOS ÍNDICES DE HOMICÍDIOS NA CIDADE
DE RIO GRANDE-RS**

Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil

Dezembro, 2023

Matheus Moro Moutinho

ANÁLISE E MODELAGEM MATEMÁTICA DOS ÍNDICES DE HOMICÍDIOS NA CIDADE DE RIO GRANDE-RS

Trabalho de Conclusão de Curso, Matemática Aplicada, submetido por Matheus Moro Moutinho junto ao Instituto de Matemática, Estatística e Física da Universidade Federal do Rio Grande.

Universidade Federal do Rio Grande - FURG

Instituto de Matemática, Estatística e Física - IMEF

Curso de Matemática Aplicada Bacharelado

Orientador: Prof^{ca}. Dr^a. Juliana da Silva Ricardo Nunes

Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil

Dezembro, 2023

Matheus Moro Moutinho

ANÁLISE E MODELAGEM MATEMÁTICA DOS ÍNDICES DE HOMICÍDIOS NA CIDADE DE RIO GRANDE-RS

Trabalho de Conclusão de Curso, Matemática Aplicada, submetido por Matheus Moro Moutinho junto ao Instituto de Matemática, Estatística e Física da Universidade Federal do Rio Grande.

Trabalho aprovado. Rio Grande, 14 de dezembro de 2023

**Prof^ª. Dr^ª. Juliana da Silva Ricardo
Nunes**
(Orientador - FURG)

Prof^º. Dr^º. Igor Oliveira Monteiro
(Avaliador - FURG)

**Prof^ª. Dr^ª. Raquel da Fontoura
Nicolette**
(Avaliador - FURG)

Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil
Dezembro, 2023

Este trabalho é dedicado à minha mãe por nunca desistir e sempre acreditar que este dia chegaria.

Agradecimentos

Agradeço toda espiritualidade que sempre acompanhou e guiou toda minha trajetória acadêmica e pessoal.

Agradeço minha mãe Fernanda Ferrugem Moro, meu pai Leandro Antunes Moutinho, minha avó Rita de Cássia Reis Fernandes Muenzer Ferrugem, meu irmão Thiago Moro Moutinho e meu amor Otávio Nunes Dias por estarem ao meu lado e serem meu apoio sempre.

Agradeço todos professores do IMEF, em especial minha orientadora Prof^ª. Dr^ª. Juliana da Silva Ricardo Nunes por todos os momentos no desenvolvimento deste trabalho e por tornar-se uma grande inspiração.

Agradeço todos os professores de matemática que tive em minha vida escolar, em especial, professora Maria Teresa Hecktheuer, por fazer eu me apaixonar por essa área tão linda e maravilhosa.

“A matemática é o alfabeto com o qual Deus escreveu o Universo.”
(Galileu Galilei)

Resumo

A presente pesquisa trabalha o Método dos Mínimos Quadrados na previsão e regressão de dados. Objetiva-se apresentar um tratamento matemático dos índices criminais relativos à homicídios no município de Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul. Assim, trazendo uma análise das curvas de criminalidade. A motivação para a escolha do tema está relacionada diretamente à importância de uma abordagem matemática sobre a área criminal, que muitas vezes é desprezada devido ao setor ser tratado no âmbito social. Diante do exposto, foram analisados dados disponibilizados pelo Observatório de Segurança Pública Municipal de Rio Grande referentes aos anos de 2019 até o primeiro semestre de 2023. Realizou-se, juntamente com a análise dos resultados, a identificação das áreas, horários e períodos de maior vulnerabilidade, onde há maior tendência à ocorrência de homicídios. Os resultados encontrados apontam para uma queda no número de homicídios na cidade de Rio Grande-RS. Identificou-se que o número de homicídios encontra seus valores mais elevados entre 20h e 00h59, analisando horário, e no primeiro trimestre do ano, analisando os meses.

Palavras-chaves: Modelagem Matemática; Previsão; Rio Grande; Parâmetro; Criminalidade, Método de Mínimos Quadrados.

Abstract

The present research explores the Least Squares Method in the prediction and regression of data. The objective is to present a mathematical treatment of crime rates related to homicides in the municipality of Rio Grande, in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Thus, providing an analysis of crime trends. The motivation for choosing this theme is directly related to the importance of a mathematical approach to the criminal area, which is often overlooked due to its social nature. In light of the above, data provided by the Municipal Public Safety Observatory of Rio Grande for the years 2019 through the first semester of 2023 were analyzed. Along with the analysis of the results, the identification of areas, times, and periods of greater vulnerability was carried out, where there is a higher tendency for homicides to occur. The findings indicate a decrease in the number of homicides in the city of Rio Grande-RS. It was identified that the number of homicides reaches its highest values between 8:00 PM and 12:59 AM when considering the time, and in the first quarter of the year when considering the months.

Key-words: Mathematical modeling; Prediction; Rio Grande; Parameter; Criminality; Least Squares Method.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Tela inicial do site do Observatório	15
Figura 2 – Tela Estatísticas do site do Observatório	16
Figura 3 – Tela Homicídios do site do Observatório	16
Figura 4 – Tela Homicídios do site do Observatório	17
Figura 5 – Tela inicial do excel 2013	25
Figura 6 – Dados do exemplo no excel	26
Figura 7 – Seleção dos dados	27
Figura 8 – Inserção do gráfico	27
Figura 9 – Adição da linha de tendência	28
Figura 10 – Opções de linhas de tendência	28
Figura 11 – Gráfico do exemplo	29
Figura 12 – Inserção do somatório	29
Figura 13 – Inserção dos cálculos	30
Figura 14 – Inserção da função	30
Figura 15 – Gráfico do somatório do número de homicídios por mês (2019-2022) . .	33
Figura 16 – Gráfico com curva ajustada (48 meses)	34
Figura 17 – Gráfico com curva ajustada (36 meses)	34
Figura 18 – Gráfico com curva ajustada (meses 37 ao 48)	35
Figura 19 – Gráfico do número de homicídios por mês (2019-2023/1)	36
Figura 20 – Gráfico com a curva ajustada (54 meses)	37
Figura 21 – Gráfico com curva ajustada (36 meses)	38
Figura 22 – Gráfico com curva ajustada (meses 37 ao 54)	38
Figura 23 – Gráfico do número total de homicídios por hora	39
Figura 24 – Gráfico do número total de homicídios por hora e curva ajustada . . .	41
Figura 25 – Gráfico do número total de homicídios por mês	42
Figura 26 – Gráfico do número total de homicídios por mês e curva ajustada	42
Figura 27 – Gráfico do número total de homicídios por faixa de idade	43
Figura 28 – Gráfico do número total de homicídios por ano	43

Lista de tabelas

Tabela 1	– Quantidade de homicídios y em função dos anos x	23
Tabela 2	– Quantidade de homicídios y em função dos anos x	26
Tabela 3	– Homicídios por mês entre 2019 e 2022	31
Tabela 4	– Valores esperados de homicídios para primeiro semestre de 2023 de acordo com a função	35
Tabela 5	– Valores esperados e ocorridos do número de homicídios no primeiro semestre de 2023	36
Tabela 6	– Valores esperados de homicídios de acordo com a função e média . . .	39
Tabela 7	– Valores totais do número de homicídios por hora	40
Tabela 8	– Número total de homicídios por mês	41
Tabela 9	– Número total de homicídios por bairro	44
Tabela 10	– Número total de homicídios por bairro	46
Tabela 11	– Dados de homicídios de Rio Grande - RS	50

Sumário

	Introdução	12
1	OBSERVATÓRIO DE SEGURANÇA PÚBLICA DE RIO GRANDE	15
2	FUNDAMENTAÇÃO MATEMÁTICA	18
2.1	Regressão Linear Simples	18
2.2	Regressão Polinomial	19
2.3	Método dos Mínimos Quadrados	20
2.3.1	Coeficiente de Determinação r^2	22
2.3.2	Exemplo de Aplicação	23
3	AJUSTE DE CURVAS NO EXCEL	25
3.1	Breve descrição do Excel	25
3.2	Excel no ajuste de curvas	25
3.2.1	Ferramentas no excel que auxiliam no MMQ	29
4	RESULTADOS	31
4.1	Número de homicídios ao longo do tempo (2019-2022)	31
4.2	Número de homicídios ao longo do tempo (2019-2023/1)	36
4.3	Resultados Gerais	39
4.3.1	Número de homicídios por hora	39
4.3.2	Número de homicídios por mês	41
4.3.3	Resultados Gerais	42
5	ANÁLISES	45
5.1	Número de homicídios ao longo do tempo (2019-2022)	45
5.2	Número de homicídios ao longo do tempo (2019-2023/1)	45
5.3	Resultados Gerais	46
5.3.1	Número de homicídios por hora	46
5.3.2	Número de homicídios por mês	46
5.3.3	Resultados Gerais	46
6	CONCLUSÕES	47
	REFERÊNCIAS	48

ANEXOS

49

ANEXO A – TABELA DOS HOMICÍDIOS NA CIDADE DE RIO GRANDE - RS ENTRE 2019 E JUNHO DE 2023 . .	50
--	-----------

Introdução

O crime sempre caminhou e evoluiu junto com todas as sociedades humanas. Em vista disso, não é surpreendente que pesquisadores dediquem tempo e recursos na tentativa de compreender a forma como o crime é gerado e moldado. O interesse pelo estudo da prevenção e previsão de crimes tem razões sociais e consequências de extrema importância para a sociedade. Porém, prever tais delitos antes que eles aconteçam ainda é algo que intriga bastante o imaginário de pesquisadores e estudiosos. Vindo ao encontro do desejo de compreender melhor a área criminal surge a área da Criminologia. A Criminologia é uma ciência social empírica e interdisciplinar que se ocupa do estudo do crime, do infrator, da vítima e do controle social do comportamento delitivo. Ela possui várias vertentes relacionadas ao exercício do direito, algumas delas possuem foco em aspectos antropológicos, filosóficos, biológicos e de assistência social, apenas para citar alguns exemplos. Por outro lado, uma vertente pouco explorada, comparada as já estudadas, é a que possui foco nas ciências exatas, a chamada Criminologia Matemática. Para (KOLOKOLNIKOV; LLOYD; SHORT, 2019) “a Criminologia Matemática é um campo ainda emergente que combina teorias criminológicas quantitativas e qualitativas com análises e métodos matemáticos para fornecer novas ferramentas para entender e prever o comportamento criminoso”. Essas ferramentas podem então ser empregadas por profissionais da aplicação da lei para fornecer estratégias de policiamento baseadas em evidências para auxiliar na alocação eficiente de recursos.

Assim como (FERRO, 2006) traz:

"A análise criminal (AC) é um recurso aplicado na produção de conhecimento policial no contexto da atividade de Inteligência de Segurança Pública (ISP). Com a utilização da AC, é possível identificar, avaliar e acompanhar sistematicamente o fenômeno da criminalidade de massa. A AC tem a finalidade precípua de instrumentar os operadores da segurança pública, servindo de suporte administrativo, tático e estratégico para as atividades de previsão, prevenção e repressão do crime e da violência".

Ainda sobre análise criminal, (PEREIRA, 2003) ressalta a importância da AC na busca do controle da criminalidade:

"A análise tendencial da criminalidade, baseada em dados estatísticos, amostragens, gráficos, tabelas, pesquisas, cruzamento de informações [...] é da maior importância para compreender o fenômeno social do crime e, sob a visão técnico-policia, prever ocorrências futuras e planejar ações com maiores probabilidades de êxito no controle da criminalidade".

Quando o assunto é criminalidade, vale destaque negativo para a cidade de Rio Grande, localizada no sul do estado do Rio Grande do Sul. O município apareceu na 24ª posição do ranking das cidades mais violentas do Brasil, divulgado no anuário do Fórum Brasileiro de Segurança Pública em 2023 (FBSP, 2023). Os dados são referentes ao ano de 2022 e representam a maior marca entre as cidades do interior do estado, mesmo sendo a 10ª em número de habitantes. Na tentativa de reduzir a criminalidade, a prefeitura lançou o Programa Virada da Paz, que tem como objetivo realizar um levantamento preciso dos crimes ocorridos no município. Analisando desde os bairros de maior incidência, idades das pessoas envolvidas, períodos do ano, entre outros fatores. Todos os dados são apresentados pelo Observatório de Segurança Pública de Rio Grande (OBSERVATORIO, 2009).

Voltando a criminologia, ainda que a mesma não seja uma questão tradicionalmente considerada adequada para modelagem matemática, ela vem ganhando força no ambiente criminal, auxiliando na luta contra os delitos de qualquer esfera, desde furtos até grandes violações. No entanto, o estudo, análise e previsão de padrões criminais ainda é um grande problema quando tratado matematicamente (justifica-se esta visão na complexidade dos comportamentos envolvidos) sendo o crime uma questão muito complexa para ser capturada em algumas equações. De acordo com (ZANABRIA; NONATO, 2021), "a dificuldade do problema está ligada a diferentes fatores como a modelagem de dados, detecção de *hotspots* de forma robusta e versátil, análise de padrões espaço-temporais e a delimitação de estudo". Muitos são os ramos de pesquisa na área da criminologia matemática, as metodologias vão desde métodos estatísticos e estocásticos, equilíbrios Bayesianos e análise de regressão até métodos matemáticos mais tradicionais como sistemas dinâmicos e teoria da estabilidade, teoria do equilíbrio de Nash, métodos com equações diferenciais parciais e teoria das ondas viajantes. Publicações envolvendo tais modelagens e aplicações nas ciências sociais apareceram em revistas de criminologia de alta importância como *Criminology* (BRANTINGHAM et al., 2012) e no *Journal of Research in Crime and Delinquency* (PITCHER; JOHNSON, 2011). O desenvolvimento e crescimento do estudo matemático em áreas sociais, em especial na área criminal é multifacetado e faz-se necessário pois ele leva a novas percepções do comportamento criminoso tais como condições para a propagação de motins e agitações sociais, condições para o surgimento de padrões e previsões teóricas para estratégias de combate e prevenção do crime com recursos limitados.

Dito isso, a matemática tem um papel importante em vários aspectos da ciência do crime. Naturalmente é uma área que se preocupa com a formalização e, portanto, fornece os meios pelos quais conceitos e relacionamentos podem ser expressos em termos concretos e comprobatórios. Assim, ela tem o objetivo de fornecer uma estrutura de análise do comportamento social, buscando sempre a codificação de mecanismos comportamentais em termos matemáticos simplificados. A variedade de possíveis resultados do estudo da ciência exata na área criminal e suas consequências faz com que a visão sobre determinadas situações tenha uma perspectiva lógica e rigorosa, complementando assim os pontos fortes de outras disciplinas contributivas como por exemplo a Análise Criminal.

Método de mínimos quadrados (MMQ) e regressão linear são conceitos e ramos de pesquisa que irão auxiliar e guiarão as análises e previsões da atual pesquisa. O método dos mínimos quadrados, ou mínimos quadrados ordinários (MQO), é uma técnica que procura encontrar o gráfico de melhor ajuste, para um conjunto de pontos dados, portanto o uso deste método contribui para muitos estudos, pois é como se fosse possível encontrar uma ordem no caos, podendo assim fazer previsões e estudos sobre vários fenômenos. A regressão é outro conceito na análise de dados que auxilia na previsão dos valores de dados desconhecidos usando outro valor de dados relacionado e conhecido. Assim, os métodos descritos auxiliam com um tratamento mais direcionado dos dados utilizados e ambos são desenvolvidos na seção 2.

Findando esta seção, o objetivo da presente pesquisa é utilizar os métodos mencionados com o intuito de analisar e prever os índices de homicídios na cidade de Rio Grande, baseando-se nos dados apresentados pelo Observatório de Segurança Pública da cidade. Assim, utilizando-se de artifícios e técnicas matemáticas no ramo da criminologia.

1 Observatório de Segurança Pública de Rio Grande

O Observatório de Segurança Pública Municipal, instituído pela lei municipal 6701, de junho de 2009, é uma ferramenta de disponibilização e base de dados que compõem os índices de criminalidade e indicadores de segurança no trânsito. Entre suas diretrizes estão: A construção de uma base de informações que dê suporte para identificação e monitoramento das necessidades da cidade se tratando de segurança pública; Qualificar a rotina de análise dos indicadores da segurança no Gabinete de Gestão Integrada (GGI); Facilitar o acesso da comunidade e instituições públicas às informações acerca de equipamentos públicos; e estabelecer vínculo com instituições de ensino para realização de pesquisas e estudos sobre violência na cidade, possibilitando o cruzamento e aprofundamento das análises perante os dados colhidos. A seguir é apresentada uma imagem retirada da tela inicial do site do Observatório.



Figura 1 – Tela inicial do site do Observatório

Dentre os indicadores que são apresentados pelo observatório estão o número de mortes violentas que se encaixam em crimes como homicídios, feminicídios, latrocínios, entre outros. Números acerca da acidentabilidade no trânsito, furto de veículos e infrações também poderão ser encontrados. Para encontrar os indicadores relacionados a homicídios, assunto tratado no atual trabalho, é necessário acessar **ESTATÍSTICAS**. Assim abrirá a seguinte página:

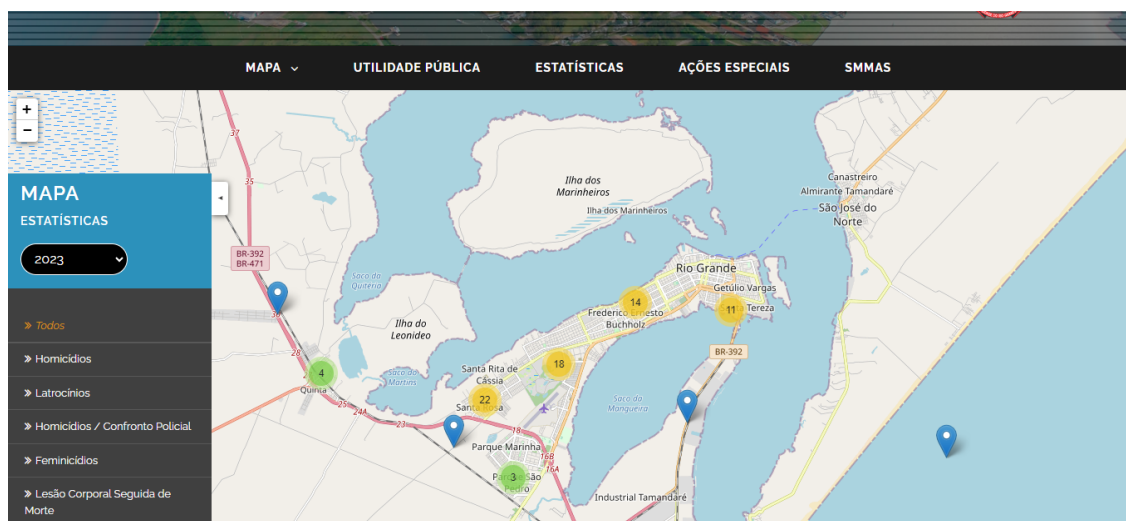


Figura 2 – Tela Estatísticas do site do Observatório

Nesta área é possível selecionar o ano e qual estatística que deseja-se pesquisar. As mesmas apresentam-se por meio de pontos no mapa. Ao selecionar a opção **HOMICÍDIOS** no lado esquerdo, e escolher determinado ponto é apresentada a seguinte tela:

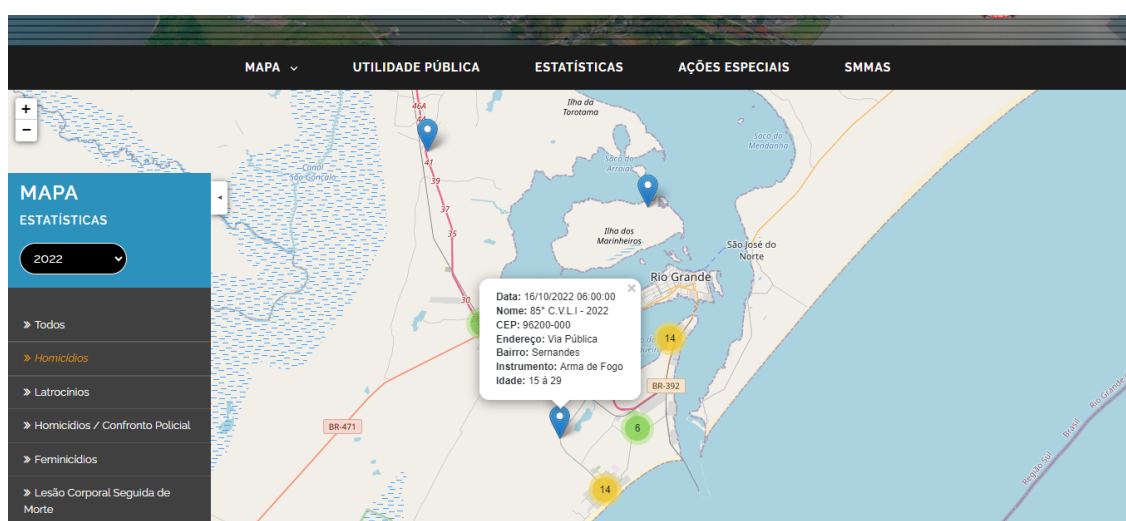


Figura 3 – Tela Homicídios do site do Observatório

Os dados apresentados são dados a seguir:



Figura 4 – Tela Homicídios do site do Observatório

Cada ponto apresenta seus dados disponíveis e, a partir deles, foi possível realizar os estudos apresentados neste trabalho.

O Observatório é gerido pela Secretaria de Município de Mobilidade, Acessibilidade e Segurança do município de Rio Grande - RS. Criada em 19 de janeiro de 2018, por intermédio da lei municipal nº 8.184, a Secretaria tem por finalidades básicas, o exercício das atribuições e competências de órgão executivo de trânsito e transporte, previstas pelo Código de Trânsito Brasileiro para os municípios, bem como a elaboração, a execução, o monitoramento, a avaliação e a coordenação de ações e programas de Política de Segurança Pública com foco na prevenção e repressão da violência e da criminalidade visando a garantia e promoção dos direitos humanos.

2 Fundamentação Matemática

O termo "regressão" foi proposto pela primeira vez por Sir Francis Galton (1885) num estudo onde demonstrou que a altura dos filhos não tende a refletir a altura dos pais, mas tende sim a regredir para a média da população. Anteriormente, na virada do século 18, melhorar a navegação oceânica era talvez o problema prático científico mais importante da época. Com maior precisão de navegação, os navios tinham mais probabilidade de chegar ao local pretendido com segurança e rapidez. Foi nesse contexto histórico que os matemáticos Carl Friedrich Gauss e Adrien-Marie Legendre descobriram independentemente, o método dos mínimos quadrados, a característica essencial da regressão. Tanto Gauss quanto Legendre obtiveram o método dos mínimos quadrados para entender as órbitas dos cometas, com base em precisão inexatas das localizações anteriores dos cometas.

A análise de regressão diz respeito ao estudo da relação de uma variável dependente (Y) com outra ou outras variáveis independentes (x_1, \dots, x_p), visando determinar uma função matemática que busca descrever o comportamento desta variável dependente com base nos valores da ou das variáveis independentes (SILVA; MATTOS, 2017). A análise de regressão estuda a relação entre (Y) e (x_1, \dots, x_p). Esta relação representa-se por meio de um modelo matemático, ou seja, por uma equação que associa a variável dependente com as variáveis independentes (RODRIGUES, 2012). Graficamente, equivale a identificar a curva matemática que melhor se ajusta aos pontos no diagrama de dispersão. Uma variável dependente é quantitativa e contínua, já as variáveis independentes podem ser de qualquer tipo: quantitativas contínuas, discretas ou categóricas (em geral, binárias). Uma das aplicações da regressão está na previsão de dados a partir de séries temporais, procedimento importante na tomada de decisão sobre fatos futuros, utilizando informações passadas. Também são exemplos de aplicações: inferência e estimação de parâmetros. Alguns exemplos dos modelos de análise de regressão existentes são: regressão linear simples, regressão linear múltipla e regressão polinomial. O Método de Mínimos Quadrados (MMQ), também conhecido como Método dos Quadrados Ordinários (MQO) é um método que auxilia no estudo de tais regressões apresentadas. A seguir será feito um breve resumo sobre regressão linear simples, regressão polinomial e sobre o Método de Mínimos Quadrados, conceitos necessários para melhor compreensão dos resultados.

2.1 Regressão Linear Simples

Quando o estudo na análise de regressão incidir unicamente sobre duas variáveis e o modelo matemático for a equação de uma reta, então designa-se por regressão linear simples. A regressão linear simples estima os coeficientes da equação linear, com o objetivo

prever o comportamento de uma variável dependente em função de uma única variável independente. Segundo (MARTINS, 2019), "quando o diagrama de dispersão sugere a existência de uma associação linear entre duas variáveis, é possível resumir através de uma reta a forma como a variável dependente é influenciada pela variável independente". A esta reta dá-se o nome de reta de regressão. A equação que representa o modelo de regressão linear simples é dado por:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon.$$

Onde:

- y representa a variável dependente;
- x representa a variável independente;
- β_0, β_1 representam os coeficientes do modelo;
- ε representa o erro.

Quando $\beta_1 > 0$ chama-se de relação linear positiva, já quando $\beta_1 < 0$ chama-se relação linear negativa e se $\beta_1 = 0$, significa que não existe relação. Para encontrar a função é necessário definir uma maneira de determinar os coeficientes β_0 e β_1 . Nesta pesquisa será utilizado o Método dos Mínimos Quadrados para tal determinação.

2.2 Regressão Polinomial

Em muitos casos, uma reta não será a curva mais adequada ao relacionar duas variáveis, isso é perceptível ao observar o gráfico de dispersão que irá ser estudado. Uma das soluções encontradas se chama regressão polinomial. É recomendável utilizar regressão polinomial apenas em casos de não linearidades mais simples, e assim é utilizado um polinômio de graus superiores. De acordo com (MACHADO, 2006) "Modelos de regressão polinomial são utilizados em situações onde a função que relaciona a variável dependente às variáveis independentes é curvilínea, sendo representada por um polinômio". Abaixo, o caso geral para ordem n .

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_n x^n + \varepsilon.$$

Neste trabalho utilizaremos os polinômios de grau 2, sendo sua equação representada da seguinte maneira:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \varepsilon.$$

Onde:

- y representa a variável dependente;
- x representa a variável independente;
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ representam os coeficientes do modelo;
- ε representa o erro.

Novamente, para encontrar o modelo é necessário definir uma maneira de determinar os coeficientes, desta vez, β_0 , β_1 e β_2 .

Em suma, assim como afirma (SILVA; MATTOS, 2017):

"A análise de regressão diz respeito ao estudo da relação de uma variável dependente com outra ou outras variáveis independentes, visando determinar uma função matemática que busca descrever o comportamento desta variável dependente com base nos valores da ou das variáveis independentes".

Assim, a regressão pode ser utilizada para determinar o padrão de variação de uma série de dados, o que pode ser feito por meio do método dos mínimos quadrados.

2.3 Método dos Mínimos Quadrados

O Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) é um procedimento empregado no ajuste de curvas. Segundo a definição dada por (ALMEIDA, 2015), o mesmo:

"É o procedimento matemático que consiste em se determinar, a partir de uma série de pontos representativos das variáveis que compõem um determinado fenômeno, uma curva que o expresse matematicamente. A curva obtida deve permitir com satisfatória segurança a realização de análises e projeções sobre o fenômeno em questão".

No MMQ, para que a função calculada seja a que melhor se ajusta aos dados, deve-se minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados e aqueles definidos pela curva de ajuste. De acordo com (GUIMARÃES, 2001),

"A escolha da função $f(x)$ a ser usada para ajustar o conjunto de pontos experimentais não é feita ao acaso. Ela envolve um processo de análise que passa, por exemplo, pela identificação das relações de causa e efeito que governam o sistema estudado. O fato dessas relações não serem conhecidas não é empecilho para que se intua a forma de $f(x)$. Uma análise qualitativa do fenômeno e das condições experimentais em que a observação é feita muitas vezes é suficiente para que se possa estabelecer a forma dessa função."

A regressão linear por mínimos quadrados, de acordo com o apresentado, tem o objetivo de determinar os melhores coeficientes em um modelo linear para um conjunto de dados. Partindo de

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon,$$

obtem-se o erro (resíduo) por

$$\varepsilon = y - \beta_0 - \beta_1 x,$$

como tem-se um conjunto de n pontos associando duas grandezas x e y envolvidas no fenômeno, no caso de nossa pesquisa o fenômeno será o número de homicídios na cidade de Rio Grande, temos

$$\varepsilon_i = y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i, i \leq 1 \leq n.$$

A soma dos quadrados dos resíduos é dada por:

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2.$$

Para minimizar, utiliza-se a derivada:

$$\frac{\partial S_r}{\partial \beta_0} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i);$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial \beta_1} = -2 \sum_{i=1}^n [(y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)x_i].$$

Igualando as derivadas a zero, obtém-se o S_r mínimo, onde os valores dos coeficientes encontrados são:

$$\begin{aligned} \beta_0 &= \bar{y} - \beta_1 \bar{x}; \\ \beta_1 &= \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}. \end{aligned}$$

Onde:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i;$$

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i.$$

O procedimento de mínimos quadrados pode ser ampliado para ajustar os dados para um polinômio de ordem superior, a chamada regressão polinomial. O modelo geral para um polinômio de ordem superior m , significaria minimizar:

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i - \beta_2 x_i^2 - \dots - \beta_m x_i^m)^2.$$

Desencadeando na solução do seguinte sistema linear:

$$\begin{pmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \cdots & \sum_{i=1}^n x_i^m \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 & \sum_{i=1}^n x_i^3 & \cdots & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_i^m & \sum_{i=1}^n x_i^{m+1} & \sum_{i=1}^n x_i^{m+2} & \cdots & \sum_{i=1}^n x_i^{2m} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^n x_i^m y_i \end{pmatrix}$$

Resolvendo o sistema apresentado, encontra-se os valores dos coeficientes da função que se deseja minimizar. No caso de nosso trabalho, de ordem $m=2$.

2.3.1 Coeficiente de Determinação r^2

De acordo com (MARTINS, 2018),

"o coeficiente de determinação r^2 dá a percentagem de variabilidade dos y 's (variável a prever) que fica explicada em função da variabilidade dos x 's. Assim, um valor de $r^2 \approx 1$ significa que, em princípio, a nuvem de pontos apresentada no diagrama de dispersão está próxima da reta de regressão, considerada para o modelo de regressão."

O coeficiente de determinação, que chamaremos de r^2 , é definido como a razão entre a soma dos quadrados, devido à regressão, e a soma dos quadrados total, r^2 é sempre positivo e pertence ao intervalo $[0, 1]$, pois "o coeficiente de determinação r^2 dá a porcentagem de variabilidade dos y 's (variável a prever) que fica explicada em função da variabilidade dos x 's"(MARTINS, 2018). Seu valor é dado por:

$$r^2 = \frac{S_t - S_r}{S_t},$$

onde S_r é dado na seção anterior e

$$S_t = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2.$$

Com \bar{y}_i sendo a média aritmética de y_i .

2.3.2 Exemplo de Aplicação

Para demonstrar na prática o MMQ iremos trabalhar com o seguinte experimento em que se analisa a quantidade de homicídios esperados de uma grande metrópole, y , em função dos anos, x . Para isso, foram considerados 6 anos, 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Os dados são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 1 – Quantidade de homicídios y em função dos anos x

x	y
1	80,5
2	81,6
3	82,1
4	83,7
5	83,9
6	85

Na problemática nosso valor de n é 6 e iremos encontrar a função de primeiro grau que melhor aproxima os dados apresentados. De acordo com o método trabalhado deve-se resolver o seguinte sistema linear para encontrar os valores de β_0 e β_1 :

$$\begin{pmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n x_i^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i y_i \end{pmatrix}$$

Feitos todos os somatórios encontra-se o seguinte sistema:

$$\begin{pmatrix} 6 & 21 \\ 21 & 91 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 496,8 \\ 1754,3 \end{pmatrix}$$

Utilizando qualquer método para resolução de sistemas lineares, os valores encontrados serão: $\beta_0 = 79,7$ e $\beta_1 = 0,88$. Encontrando a seguinte função:

$$y = 0,88x + 79,7.$$

A partir dos coeficientes é possível calcular o valor de r^2 dado por:

$$r^2 = \frac{S_t - S_r}{S_t}.$$

Onde:

$$S_r = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_i)^2;$$

$$S_t = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2.$$

Novamente realizando os somatórios encontramos

$$r^2 = \frac{14,08 - 0,348}{14,08} = 0,975.$$

Portanto a função e o valor de r^2 são:

$$y = 0,88x + 79,7;$$

$$r^2 = 0,975.$$

Na próxima seção utilizaremos o excel como ferramenta de auxílio para os cálculos apresentados.

3 Ajuste de curvas no Excel

3.1 Breve descrição do Excel

O Microsoft Excel é uma poderosa folha de cálculo que dispõe de inúmeras ferramentas para tratamento, simulação, análise, partilha e proteção de dados (PINTO, 2011). É um programa que gera planilhas, o que antigamente só era feito por papel. Este programa foi lançado em 1985, para a plataforma MAC, da Apple. Para executar funções matemáticas nos dados, o programa os organiza em colunas e linhas. Isso pode ser manipulado através de fórmulas que permitem aos usuários inserir e analisar grandes conjuntos de dados. São muitas as funcionalidades do excel entre elas, modelar e analisar com eficiência quase todos os dados, criar gráficos de dados e ajustar curvas.

3.2 Excel no ajuste de curvas

Nesta seção irá ser apresentado o passo-a-passo para realizar um ajuste de curvas no software Excel 2013.

- **Passo 1:** Iniciar o Excel

Ao iniciar o software excel deve-se escolher uma pasta de trabalho em branco, como na Figura 5.

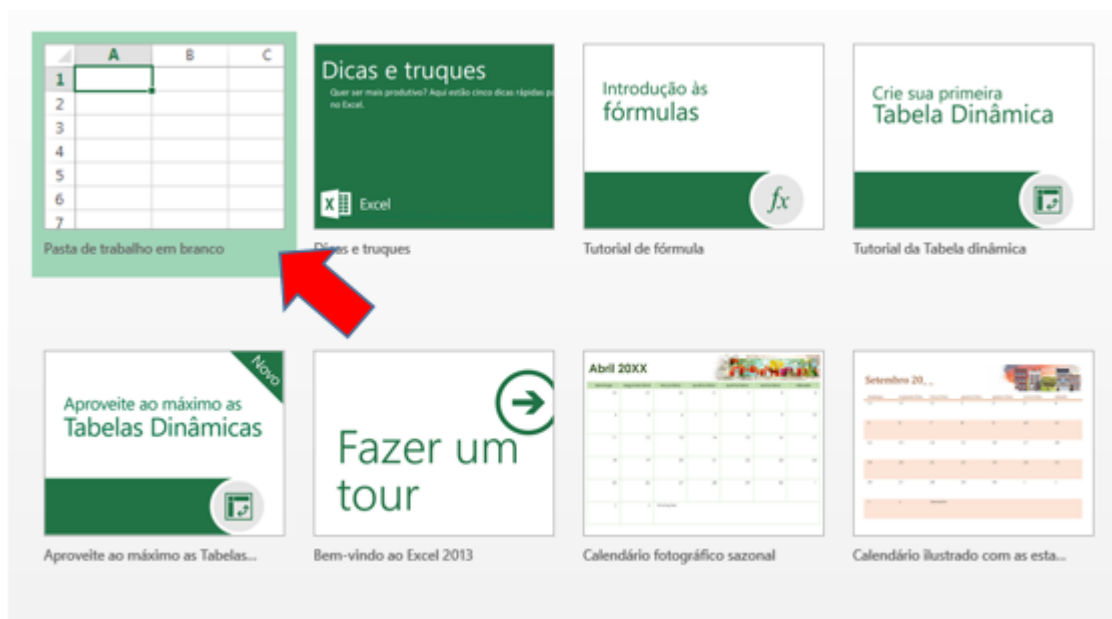


Figura 5 – Tela inicial do excel 2013

- **Passo 2:** Colocar os dados

Ao abrir a pasta de trabalho em branco deve-se digitar os dados de acordo com sua devida coluna, como indicado na Figura 6. O exemplo que será feito é o mesmo da seção 2.3.2 no qual utilizaremos os dados da tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Quantidade de homicídios y em função dos anos x

x	y
1	80,5
2	81,6
3	82,1
4	83,7
5	83,9
6	85

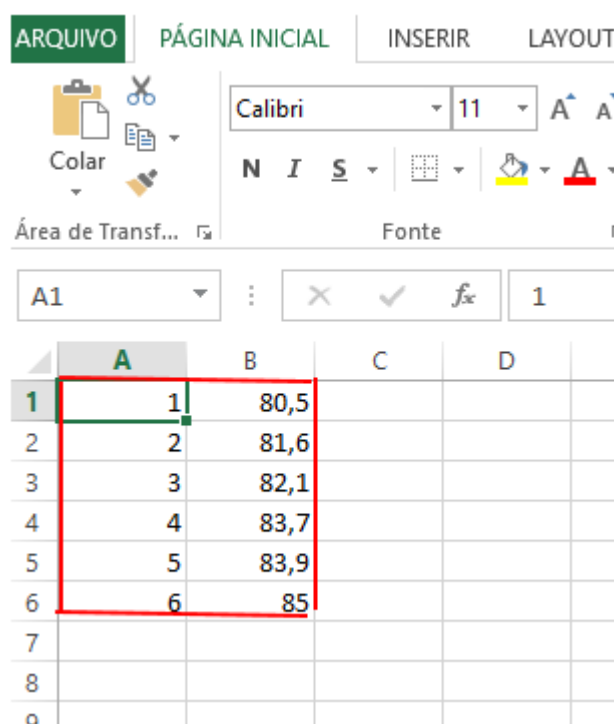


Figura 6 – Dados do exemplo no excel

- **Passo 3:** Seleção dos dados

Ao pressionar o botão esquerdo do mouse e arrastar o cursor sobre os dados mantendo-o pressionado os dados são selecionados, assim como na Figura 7.

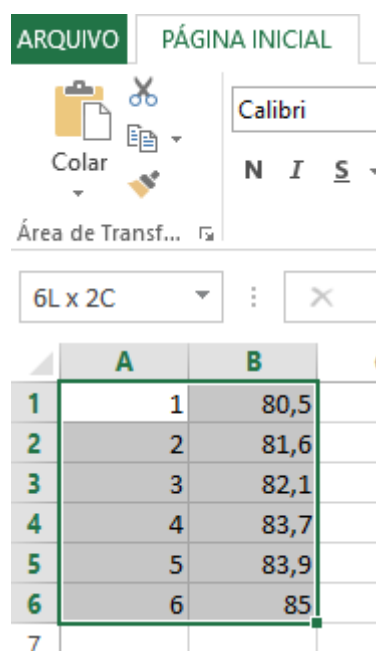


Figura 7 – Seleção dos dados

- **Passo 4:** Inserir gráfico

Para inserção do gráfico de dispersão é necessário ir na aba de **INSERIR** e selecionar em **GRÁFICOS** a opção **DISPERSÃO**, como indicado na Figura 8.

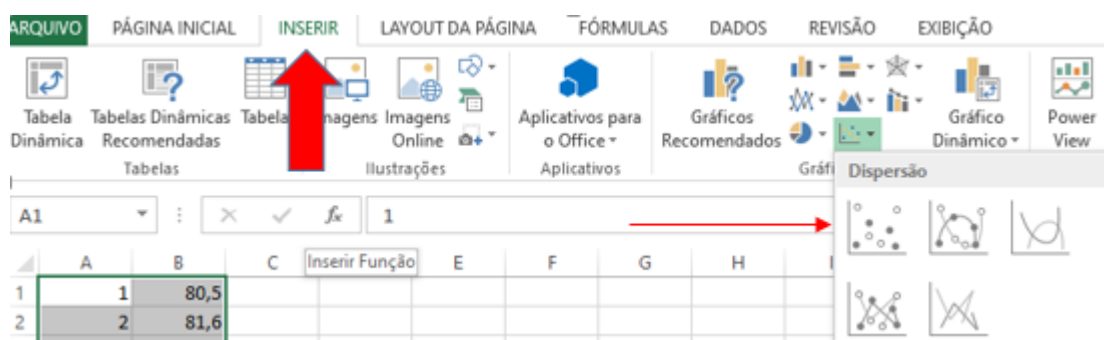


Figura 8 – Inserção do gráfico

- **Passo 5:** Adicionar linha de tendência

Deve-se clicar com o botão direito do mouse sobre um dos pontos do gráfico plotado e selecionar a opção **ADICIONAR LINHA DE TENDÊNCIA**, indicada na Figura 9.

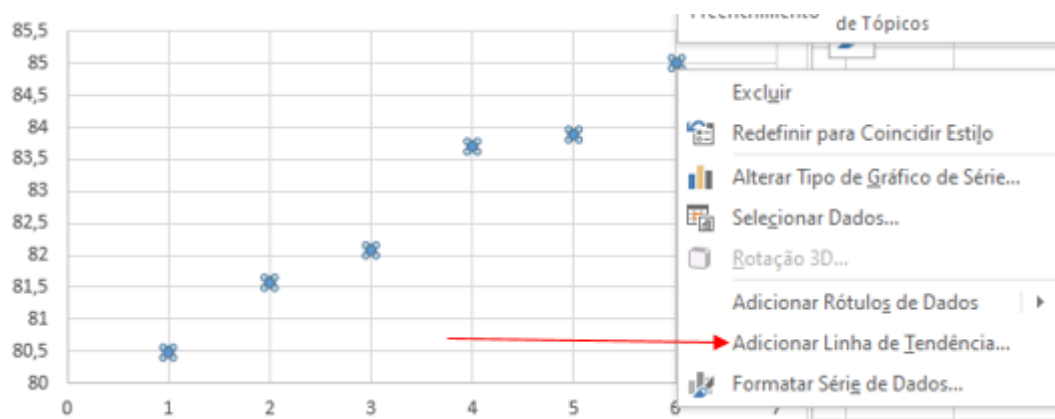


Figura 9 – Adição da linha de tendência

Ao clicar nesta opção uma aba se abrirá à direita, onde será possível selecionar a opção de linha de tendência desejada, no nosso exemplo será a linear. É possível também exibir no gráfico a equação encontrada já com os coeficientes bem como o valor de r^2 . As opções são apresentadas na Figura 10.

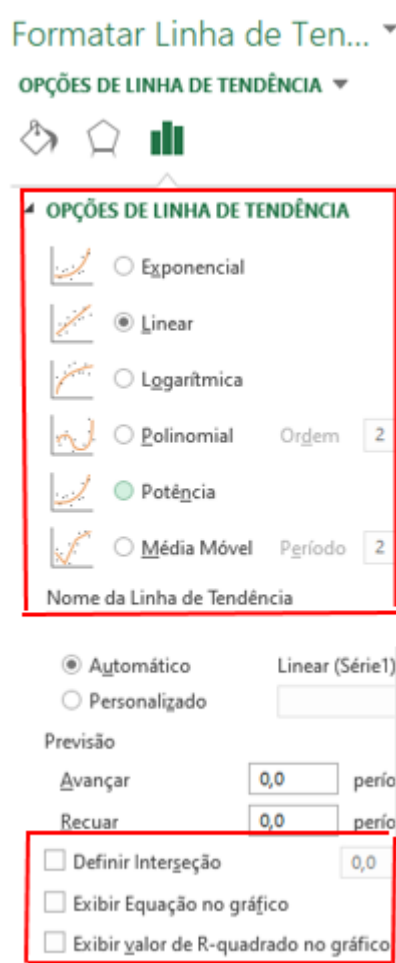


Figura 10 – Opções de linhas de tendência

- **Passo 6:** Plotar gráfico com linha de tendência, equação e valor de r^2

Ao seleccionar a linha de tendência desejada, a opção de exibir a equação e o valor de r^2 , o gráfico aparecerá como na Figura 11:

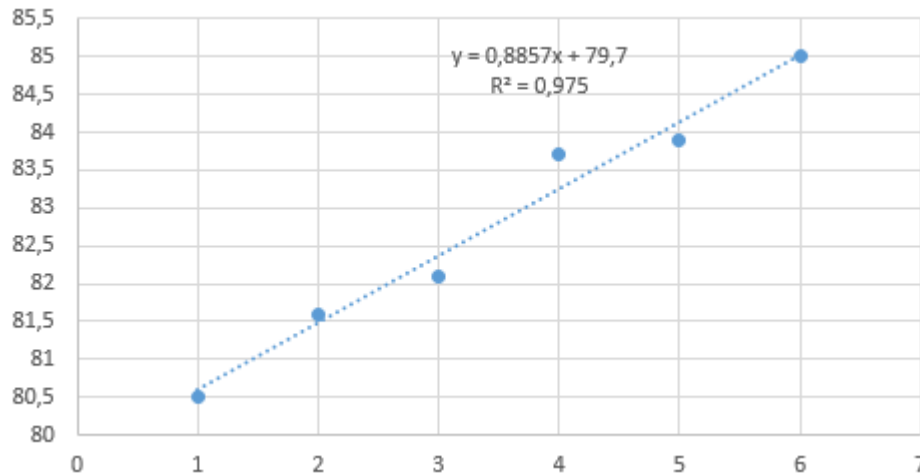


Figura 11 – Gráfico do exemplo

O valor r^2 próximo de 1 e a linha de tendência provam que o ajuste foi bem feito. Percebe-se que os valores de r^2 , β_0 e de β_1 são os mesmos encontrados em 2.3.2.

3.2.1 Ferramentas no excel que auxiliam no MMQ

Para demonstração das ferramentas presentes no excel será utilizado como base o mesmo exemplo trabalhado anteriormente (seção 2.3.2).

- **Somatório e Média:** Para o cálculo do somatório e da média de uma determinada quantidade de valores é necessário, primeiramente a seleção do local onde ele deverá aparecer e logo após seleccionar a opção de somatório, no canto superior direito, como indicado na figura 12.

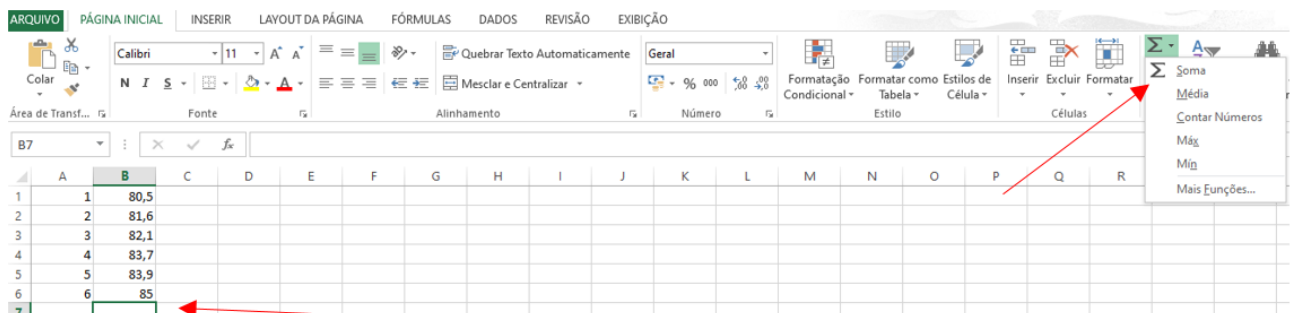


Figura 12 – Inserção do somatório

Feito isso basta seleccionar quais as células deseja-se somar ou encontrar a média.

- **Cálculos:** Para encontrar os valores de x^2 e xy de maneira rápida, deve-se selecionar uma célula e escrever, para x^2 , $=A1*A1$ (os valores de x encontram-se na coluna A) Já para xy deve-se escrever em outra célula, $=A1*B1$ (os valores de y encontram-se na coluna B). Desta maneira apenas os valores de x_1^2 e x_1y_1 serão calculados. Para encontrar as outras multiplicações deve-se selecionar a célula já calculada e arrastar a quantidade de células faltantes para baixo, assim como mostra a figura 13:

	A	B	C	D
1	1	80,5	1	
2	2	81,6	4	
3	3	82,1	9	
4	4	83,7	16	
5	5	83,9	25	
6	6	85	36	

Figura 13 – Inserção dos cálculos

Da mesma forma que é possível fazer multiplicações simples consegue-se também encontrar valores de funções. Para a função do exemplo, basta escrever em alguma célula escolhida, $=0,88*A1+79,7$, e arrastar a célula selecionada a quantidade de valores de x na coluna A. Assim como mostra a figura 14 abaixo.

	A	B	C	D	E
1	1	80,5	1	80,58	
2	2	81,6	4	81,46	
3	3	82,1	9	82,34	
4	4	83,7	16	83,22	
5	5	83,9	25	84,1	
6	6	85	36	84,98	

Figura 14 – Inserção da função

4 Resultados

A seguir serão apresentados os resultados encontrados. Utilizou-se como base para os cálculos os dados da tabela apresentada na seção de anexos, retirados do Observatório de Segurança Pública Municipal de Rio Grande - RS.

4.1 Número de homicídios ao longo do tempo (2019-2022)

Fixando o mês de janeiro do ano de 2019 como ponto inicial da análise ($x=1$), foi feita a tabela a seguir, que leva em consideração o número de homicídios por mês entre janeiro de 2019 e dezembro de 2022.

Para que a regressão no Excel fosse feita de uma maneira mais fiel e para que a curva ficasse mais ajustada ao gráfico, foi levado em consideração os meses juntamente com o somatório do número de homicídios. O objetivo inicial é encontrar os valores esperados para o primeiro semestre de 2023 e comparar com o ocorrido.

Tabela 3 – Homicídios por mês entre 2019 e 2022

Mês	Número de Homicídios	Soma de homicídios
1	5	5
2	5	10
3	4	14
4	3	17
5	1	18
6	2	20
7	3	23
8	1	24
9	2	26
10	1	27
11	3	30
12	2	32
13	1	33
14	6	39
15	3	42
16	3	45
17	4	49
18	1	50

Continua

Tabela 3 (continuação)

19	3	53
20	4	57
21	4	61
22	4	65
23	0	65
24	2	67
25	5	72
26	3	75
27	1	76
28	6	82
29	0	82
30	1	83
31	0	83
32	1	84
33	1	85
34	0	85
35	1	86
36	0	86
37	11	97
38	6	103
39	13	116
40	7	123
41	14	137
42	7	144
43	2	146
44	6	152
45	9	161
46	2	163
47	6	169
48	5	174

O gráfico de dispersão seguinte ilustra a tabela 3 apresentada, ou seja, a relação do somatório do número de homicídios ao passar dos meses.

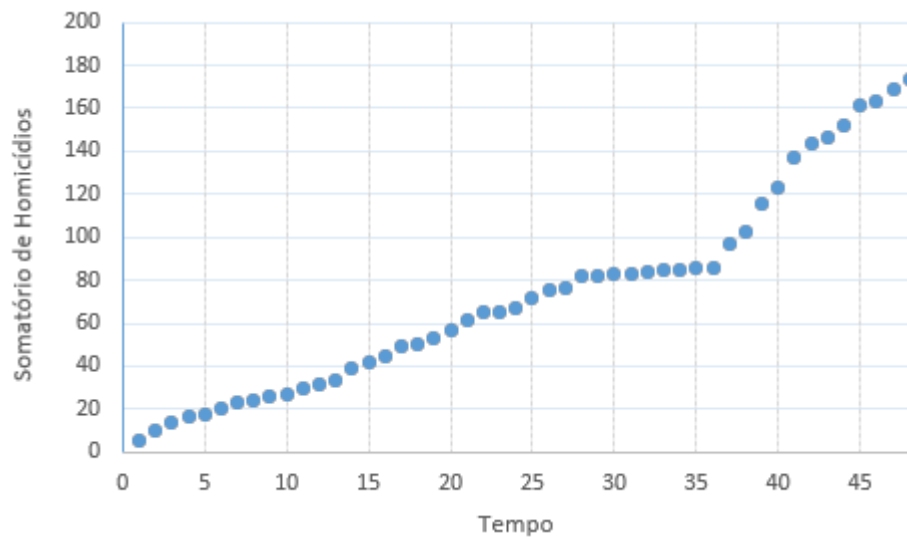


Figura 15 – Gráfico do somatório do número de homicídios por mês (2019-2022)

Como é possível observar no gráfico (figura 15), existe um crescimento inesperado a partir de $x=36$. Como alternativa, a solução encontrada foi obter três funções para o somatório através do método dos mínimos quadrados. A primeira que levasse em consideração os 48 meses, a segunda considerando os primeiros 36 meses e a terceira do mês 37 ao mês 48, essa última onde ocorre o crescimento inesperado. Utilizando o MMQ para regressão não linear de grau 2 e o excel, as três funções calculadas são:

Função 1 (apresentada na Figura 16):

$$y = 0,0478x^2 + 0,9074x + 13,5487;$$

Função 2 (apresentada na Figura 17):

$$y = -0,0158x^2 + 3,0848x + 1,4408;$$

Função 3 (apresentada na Figura 18):

$$y = -0,3434x^2 + 36,207x + 774,01.$$

A seguir são apresentados os gráficos de dispersão juntamente com as curvas ajustadas. Na função 1 o valor r^2 encontrado foi de 0,974 para o conjunto de dados apresentado, já na função 2 foi de 0,9869 e na função 3 foi igual a 0,9926.

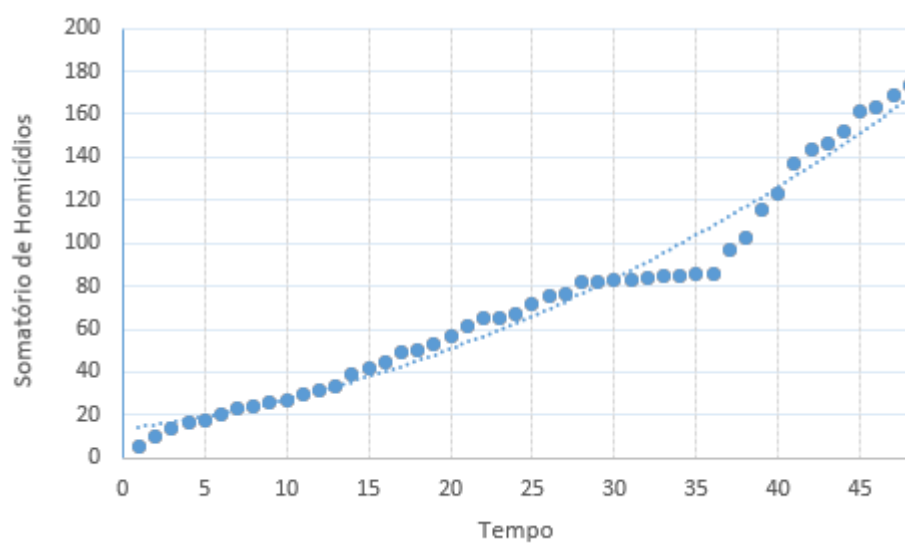


Figura 16 – Gráfico com curva ajustada (48 meses)

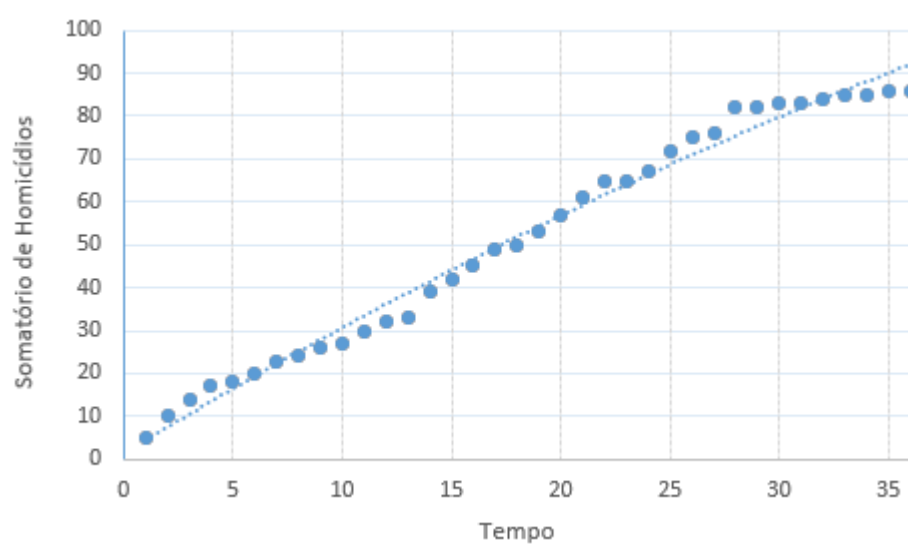


Figura 17 – Gráfico com curva ajustada (36 meses)

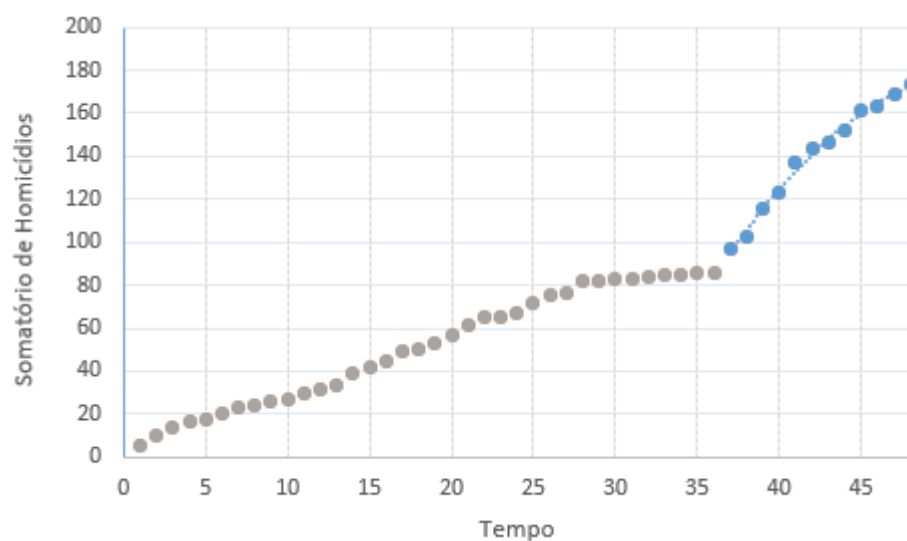


Figura 18 – Gráfico com curva ajustada (meses 37 ao 48)

Após encontradas as funções, foram calculados os valores dos somatórios para os seis primeiros meses do ano de 2023, os quais correspondem aos meses 49 ao 54, de acordo com cada uma das 3 funções, e a partir do somatório, o valor esperado para cada mês, apresentados na Tabela 3.

Tabela 4 – Valores esperados de homicídios para primeiro semestre de 2023 de acordo com a função

Mês	Função 1	Função 2	Função 3
49	5,5	1,56	2,89
50	5,64	1,52	2,21
51	5,74	1,49	1,52
52	5,83	1,46	0,83
53	5,93	1,43	0,15
54	6,02	1,4	0

Para o resultado final foi feita a média aritmética com os valores encontrados. Os resultados são apresentados abaixo, juntamente com as reais quantidades de homicídios no período.

Tabela 5 – Valores esperados e ocorridos do número de homicídios no primeiro semestre de 2023

Mês	Esperado	Ocorrido
49	3,33=4	4
50	3,13=4	3
51	2,92=3	8
52	2,71=3	3
53	2,50=3	3
54	2,47=3	4

4.2 Número de homicídios ao longo do tempo (2019-2023/1)

Após obter os resultados para os seis primeiros meses de 2023 baseando-se nos dados de janeiro de 2019 a dezembro de 2022, foi feita a mesma análise para o segundo semestre de 2023, dessa vez tendo como base os dados de janeiro de 2019 a junho de 2023. O gráfico de dispersão abaixo ilustra a relação do somatório do número de homicídios ao passar dos meses, começando em $x=1$ e terminando em $x=54$.

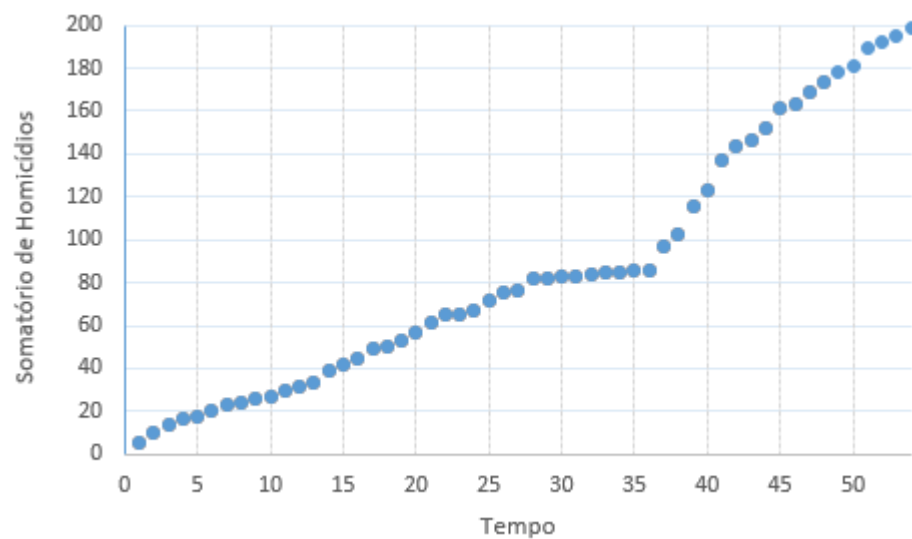


Figura 19 – Gráfico do número de homicídios por mês (2019-2023/1)

Novamente foram calculadas três funções diferentes de ajuste de curvas. A primeira que leva em consideração todo conjunto de dados, ou seja, dos 54 meses, a segunda que leva em consideração do mês 1 ao 36, e a terceira do mês 37 ao 54, também como alternativa ao crescimento inesperado a partir do mês 37. As três funções encontradas, também utilizando o MMQ para regressão não linear de grau 2 e o excel são:

Função 1 (apresentada na Figura 20):

$$y = 0,0486x^2 + 0,8772x + 13,7151;$$

Função 2 (apresentada na Figura 21):

$$y = -0,0158x^2 + 3,0848x + 1,4408;$$

Função 3 (apresentada na Figura 22):

$$y = -0,2023x^2 + 24,2483x - 522,3605.$$

A seguir são apresentados os gráficos de dispersão juntamente com as curvas ajustadas. O valor de r^2 encontrado na função 1 foi de 0,9842, na função 2 o valor foi de 0,9869 e na terceira de 0,9941.

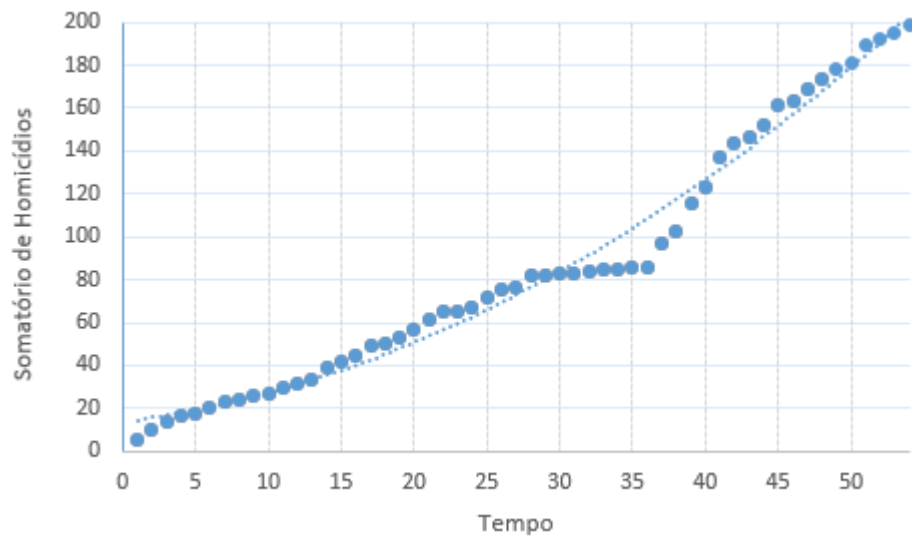


Figura 20 – Gráfico com a curva ajustada (54 meses)

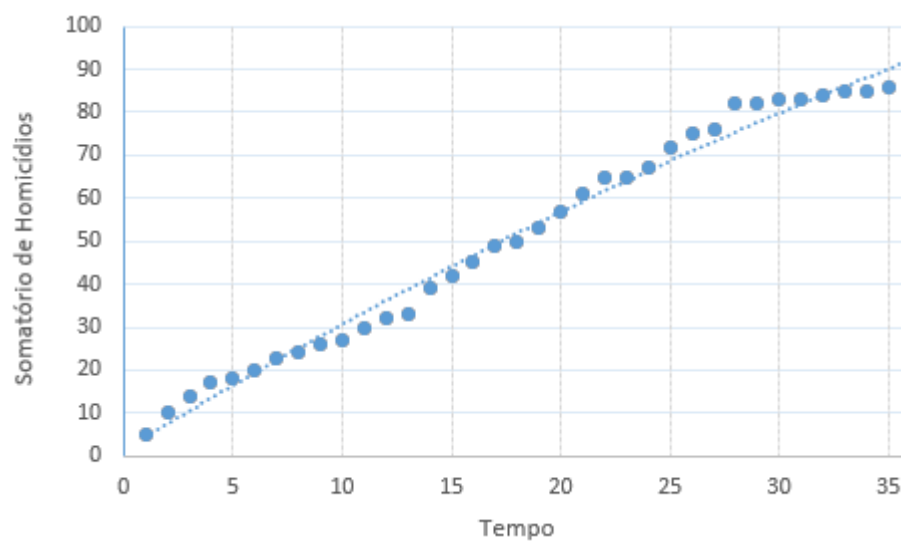


Figura 21 – Gráfico com curva ajustada (36 meses)

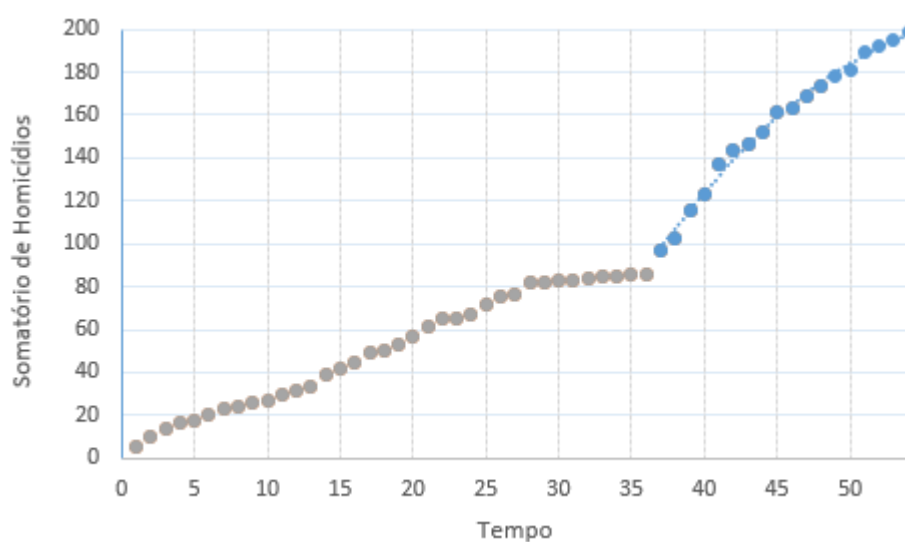


Figura 22 – Gráfico com curva ajustada (meses 37 ao 54)

Após encontradas as funções, foram calculados os valores dos somatórios para os seis últimos meses do ano de 2023, os quais correspondem aos meses 55 ao 60, de acordo com cada uma das 3 funções, e a partir do somatório, o valor esperado para cada mês. Novamente foi feita uma média aritmética dos valores esperados de cada função.

Tabela 6 – Valores esperados de homicídios de acordo com a função e média

Mês	Função 1	Função 2	Função 3	Média (valor esperado)
55	6,18	1,37	2,19	3,25=4
56	6,28	1,34	1,79	3,14=4
57	6,38	1,30	1,38	3,02=4
58	6,48	1,27	0,98	2,91=3
59	6,57	1,24	0,58	2,8=3
60	6,67	1,21	0,17	2,68=3

4.3 Resultados Gerais

As análises feitas nesta seção se referem aos dados totais não havendo diferenciação por ano, sendo uma análise total dos dados.

4.3.1 Número de homicídios por hora

O gráfico e a tabela a seguir demonstram os valores para o número de homicídios ocorridos por hora.

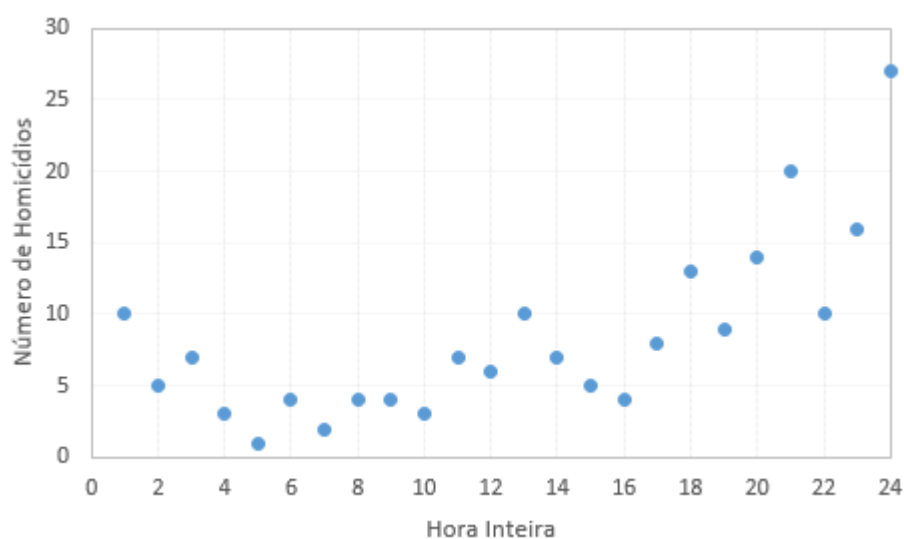


Figura 23 – Gráfico do número total de homicídios por hora

Tabela 7 – Valores totais do número de homicídios por hora

Hora	Número de Homicídios
1	10
2	5
3	7
4	3
5	1
6	4
7	2
8	4
9	4
10	3
11	7
12	6
13	10
14	7
15	5
16	4
17	8
18	13
19	9
20	14
21	20
22	10
23	16
24	27

Para melhor compreensão do comportamento dos dados no gráfico foi feito um ajuste de curva (grau 2), representado a seguir.

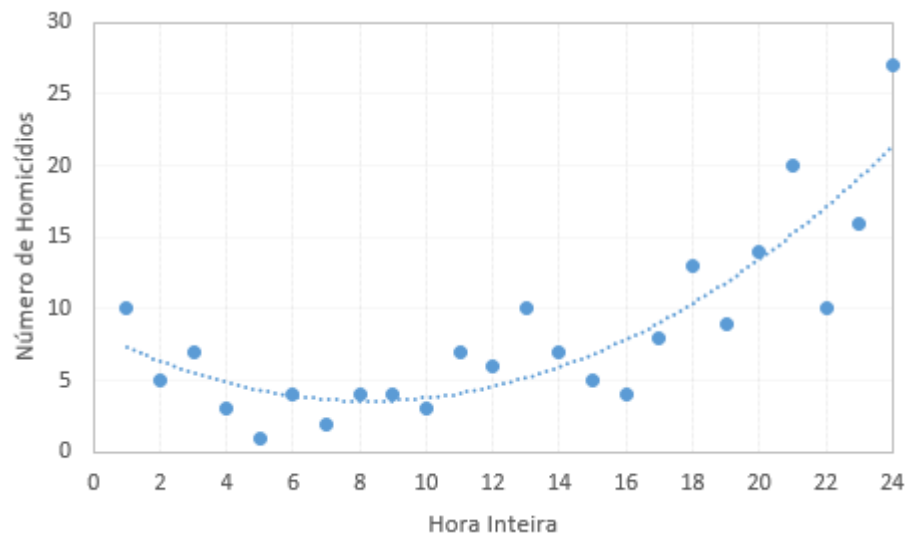


Figura 24 – Gráfico do número total de homicídios por hora e curva ajustada

A função encontrada foi:

$$y = 0,0716x^2 - 1,1831x + 8,4510.$$

4.3.2 Número de homicídios por mês

Da mesma maneira que foram encontrados resultados tendo como base a hora dos homicídios, foram encontradas respostas para os meses. A seguir a tabela e o gráfico que as ilustram, bem como o gráfico com a curva de grau 2 ajustada, para melhor compreensão.

Tabela 8 – Número total de homicídios por mês

Mês	Número de Homicídios
Janeiro	26
Fevereiro	23
Março	29
Abril	22
Maio	22
Junho	15
Julho	8
Agosto	12
Setembro	16
Outubro	7
Novembro	10
Dezembro	9

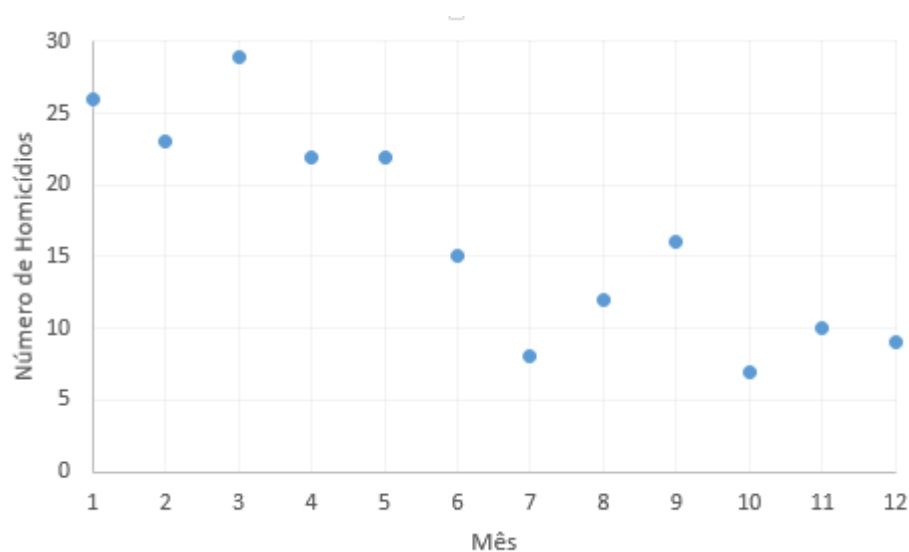


Figura 25 – Gráfico do número total de homicídios por mês

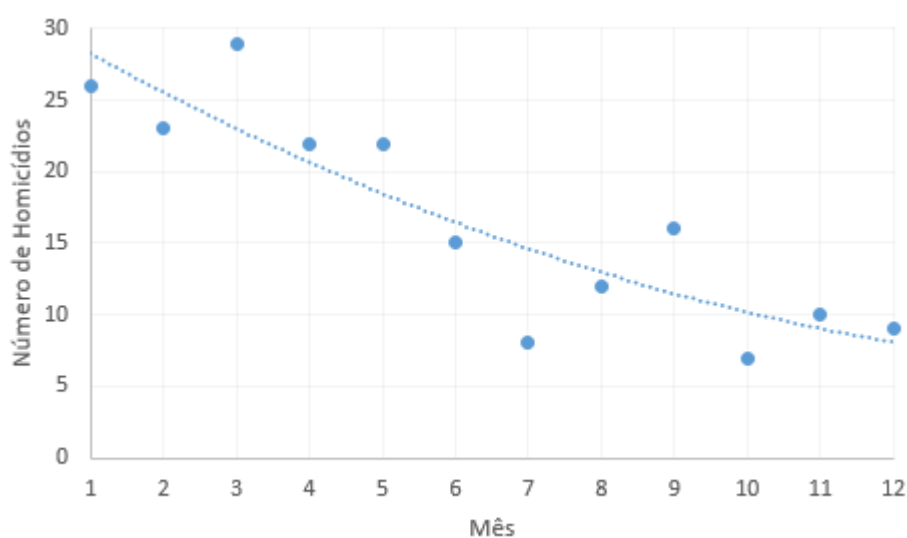


Figura 26 – Gráfico do número total de homicídios por mês e curva ajustada

A função encontrada foi:

$$y = 0,0871x^2 - 2,9687x + 31,1590.$$

4.3.3 Resultados Gerais

Serão apresentados os gráficos produzidos que relacionam a quantidade de homicídios por ano e por faixa de idade bem como a tabela com a quantidade total de homicídios por bairro na cidade de Rio Grande - RS. Na seção a seguir serão apresentadas todas as análises referentes aos resultados apresentados.

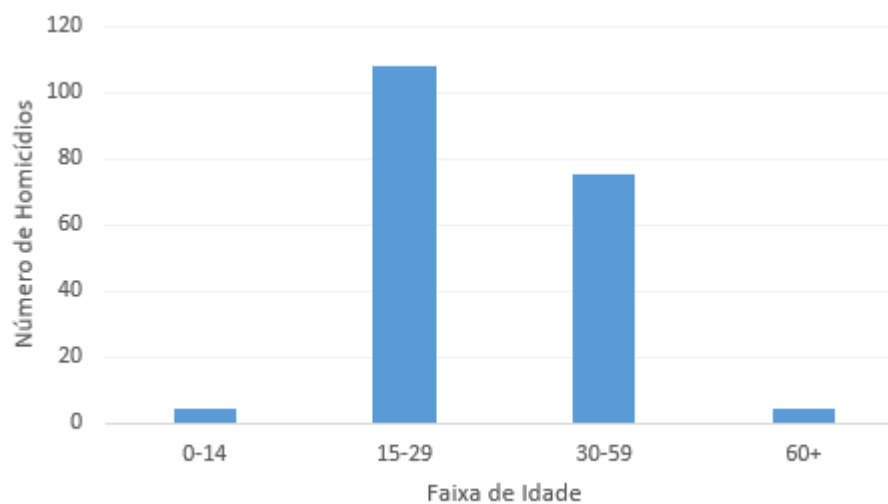


Figura 27 – Gráfico do número total de homicídios por faixa de idade

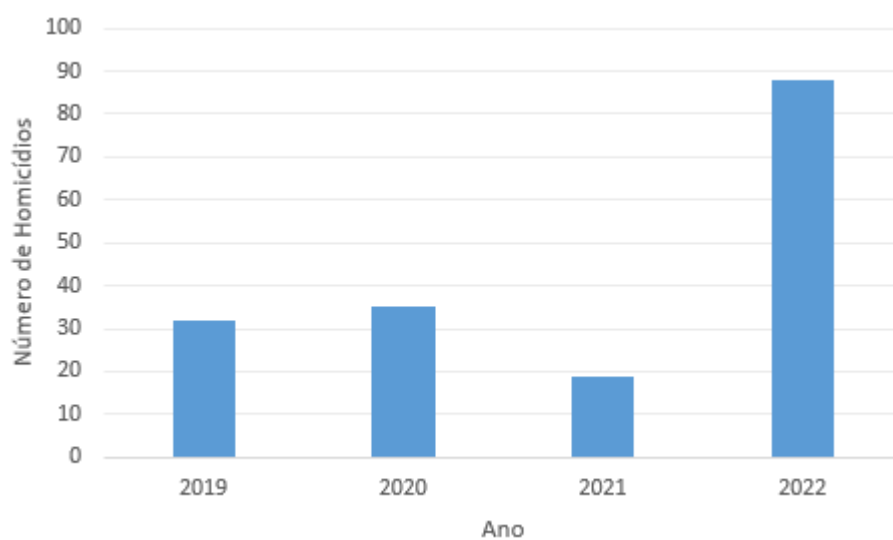


Figura 28 – Gráfico do número total de homicídios por ano

Tabela 9 – Número total de homicídios por bairro

Bairro	Número de Homicídios
América	4
Barra	13
Barra Nova	1
Bernardeth	3
Buchholz	3
Cassino	22
Castelo Branco	9
Centro	2
Cibrazen	1
Cidade de Águeda	9
Cidade Nova	6
Cohab II	1
Cohab IV	5
Distrito Industrial	5
Dom Bosquinho	2
Getúlio Vargas	13
Hidráulica	1
Ilha da Torotama	1
Ilha de Maranbaia	1
Ilha dos Marinheiros	1
Junção	2
Lagoa	7
Mangueira	3
Navegantes	6
Nossa Senhora de Fátima	1
Palma	1
Parque Coelho	1
Parque Marinha	5
Parque São Pedro	5
Povo Novo	1
Profilurb I	3
Santa Rosa	2
Santa Teresa	4
São João	8
São Miguel	17
Sernandes	1
Vila Braz	2
Vila da Quinta	12
Vila Hidráulica	2
Vila Junção	1
Vila Mangueira	1
Vila Maria dos Anjos	4
Vila Militar	1
Vila Rural	4
Vila Santa Rosa	2

5 Análises

5.1 Número de homicídios ao longo do tempo (2019-2022)

Ao realizar a análise do resultado 4.1 que estuda o número de homicídios por mês nos anos de 2019, 2020, 2021 e 2022 e tem por objetivo encontrar uma quantidade para o primeiro semestre de 2023 para comparar com os dados já coletados destes seis meses constatou-se que:

- De acordo com a Função 1, que leva em consideração os 48 meses, o número de homicídios teria uma tendência a aumentar;
- De acordo com as funções 2 e 3, que levam em consideração o número de homicídios nos primeiros 36 meses e do mês 37 ao 48, respectivamente, o número de homicídios teria uma tendência a diminuir;
- Os valores para r^2 foram satisfatórios;
- Após comparação entre os dados esperados e ocorridos, como mostra a tabela 4, esperava-se 20 homicídios no primeiro semestre de 2023 e ocorreram 25. Vale destaque para o mês 51.

5.2 Número de homicídios ao longo do tempo (2019-2023/1)

Na análise do resultado 4.2 aumentou-se o tempo analisado para encontrar o melhor ajuste de curva até o mês de junho de 2023, diferentemente do resultado 4.1 que não considerava o primeiro semestre de 2023. Desta vez não será possível realizar a comparação pois ainda não estão disponibilizados os dados do segundo semestre de 2023. Constatou-se que:

- De acordo com a Função 1, que leva em consideração os 54 meses, o número de homicídios teria uma tendência a aumentar;
- De acordo com as funções 2 e 3, que levam em consideração o número de homicídios nos primeiros 36 meses e do mês 37 ao 54, respectivamente, o número de homicídios teria uma tendência a diminuir;
- Os valores para r^2 foram satisfatórios;
- É esperado um total de 21 homicídios no segundo semestre de 2023;

5.3 Resultados Gerais

5.3.1 Número de homicídios por hora

Ao fazer a análise do resultado 4.3.1 constatou-se, ao analisar o comportamento da curva encontrada, que durante o dia a tendência que ocorram homicídios diminui, aumentando no período da noite, principalmente entre 20h e 00h59, no gráfico de horas inteiras, de 20 a 24, obtendo seu pico nesta última hora.

5.3.2 Número de homicídios por mês

Analisando o resultado 4.3.2 observou-se que a maior parte dos homicídios ocorrem no primeiro semestre e ao decorrer do ano os índices de tendem a cair, alcançando seus níveis máximos no primeiro trimestre. Importante destacar que a função é decrescente neste intervalo.

5.3.3 Resultados Gerais

Na análise geral foram observados os anos em que mais houveram homicídios e qual a faixa de idade que mais é vítima. Na faixa de idade existe um destaque considerável para jovens e adultos entre 15 e 59 anos, não foram considerados na análise os homicídios em que a faixa de idade não foi informada. Já o ano que mais ocorreram homicídios é de 2022 e o que menos ocorreu é o de 2021. É importante destacar que o número de homicídios em 2022 quase se iguala ao somatório dos índices dos outros três anos. Entre os bairros, os que se sobressaem são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 10 – Número total de homicídios por bairro

Bairro	Número de Homicídios
Barra	13
Cassino	22
Getúlio Vargas	13
São Miguel	17
Vila da Quinta	12

6 Conclusões

Foram expostos neste trabalho os conceitos e fundamentos considerados necessários para compreender e analisar os índices de homicídios na cidade de Rio Grande, situada no sul do estado do Rio Grande do Sul. Os modelos matemáticos encontrados foram desenvolvido com a finalidade de compreender e prever para quais níveis de criminalidade a cidade está se encaminhando, através apenas da utilização do Método dos Mínimos Quadrados em uma análise de regressão não linear por polinômios de grau 2. Importante ressaltar que o estudo feito para análise é inicial, pois sabe-se que existem ferramentas estatísticas que auxiliam na melhora dos resultados encontrados.

Buscou-se determinar um ajuste matemático que possibilitasse descrever o comportamento aproximado dos índices analisados. Através dos resultados encontrados para o fator de determinação, o qual expõe numericamente a qualidade do ajuste, e por análise da representação gráfica, é evidente a eficiência do polinômio de segundo grau. Contudo esta tendência dos índices de criminalidade não é fixa, isto é, o município não tenderá ao aumento ou diminuição do número de homicídios infinitamente, o tempo não é estagnado. Futuramente, este comportamento pode ser alterado, corrigido, e Rio Grande poderá ganhar uma nova dinâmica ao tratar-se de criminalidade.

Vários fatores podem mudar a estimativa do número de homicídios calculado para um dado ano, semestre ou mês, tanto positivamente como negativamente, através do trato matemático dos índices de violência feito pela modelagem com o Método dos Mínimos Quadrados. Portanto, os valores encontrados são sensíveis a variações por meio de interferentes, tais como aumento da taxa policial no município ou, como no ano de 2022, aumento do número de homicídios. Ainda assim, será uma aproximação que seguirá a modelagem de crescimento do número de homicídios e poderá criar um valor base para análises futuras ou estudos sobre o tema, na tentativa de corrigir erros.

No momento, os valores encontrados são bons parâmetros, analisando apenas os dados apresentados. Desta forma, pode-se observar que o índice de criminalidade tende a diminuir até o fim de 2023, seguindo o mesmo processo observado ao longo do tempo.

Referências

- ALMEIDA, R. d. O método dos mínimos quadrados: estudo e aplicações para o ensino médio. *Campos dos Goytacazes: UENF*, 2015. Citado na página 20.
- BRANTINGHAM, P. J. et al. The ecology of gang territorial boundaries. *Criminology*, Wiley Online Library, v. 50, n. 3, p. 851–885, 2012. Citado na página 13.
- FBSP, F. B. de S. P. Anuário brasileiro de segurança pública 2022. In: . [S.l.: s.n.], 2023. Citado na página 13.
- FERRO, A. L. Inteligência de segurança pública e análise criminal. *Revista Brasileira de Inteligência*, v. 2, n. 2, p. 77–92, 2006. Citado na página 12.
- GUIMARÃES, P. S. Ajuste de curvas experimentais. *Editora UFSM, Santa Maria, RS*, v. 1, 2001. Citado na página 20.
- KOLOKOLNIKOV, T.; LLOYD, D. J.; SHORT, M. Mathematical criminology and security. 2019. Citado na página 12.
- MACHADO, N. P. *Modelos de regressão polinomial: problemas e soluções*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2006. Citado na página 19.
- MARTINS, E. Coeficiente de determinação. *Revista Ciência Elementar*, v. 6, n. 1, p. 24, 2018. Citado na página 22.
- MARTINS, M. E. G. Regressão linear simples. *Revista de Ciênciaência Elementar*, v. 7, n. 3, 2019. Citado na página 19.
- OBSERVATORIO. 2009. Disponível em: <<https://www.riogrande.rs.gov.br/observatorio/index.php/mapa>>. Citado na página 13.
- PEREIRA, E. G. Gestão e o uso da inteligência na polícia. 2003. Citado na página 12.
- PINTO, M. P. Microsoft excel 2010. *1ª ediçãoção. Famalicão, Portugal: Ediçõesções Centro Atlântico*, 2011. Citado na página 25.
- PITCHER, A. B.; JOHNSON, S. D. Exploring theories of victimization using a mathematical model of burglary. *Journal of Research in Crime and Delinquency*, Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 48, n. 1, p. 83–109, 2011. Citado na página 13.
- RODRIGUES, S. C. A. *Modelo de regressão linear e suas aplicações*. Tese (Doutorado) — Universidade da Beira Interior (Portugal), 2012. Citado na página 18.
- SILVA, V. M.; MATTOS, V. L. D. de. O método dos mínimos quadrados no ajuste de um modelo polinomial. *Scientia Plena*, v. 13, n. 4, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 20.
- ZANABRIA, G. G.; NONATO, L. G. Visual crime pattern analysis. 2021. Citado na página 13.

Anexos

ANEXO A – Tabela dos homicídios na cidade de Rio Grande - RS entre 2019 e junho de 2023

Tabela 11 – Dados de homicídios de Rio Grande - RS

Data	Hora	Bairro	Faixa de Idade
15/01/2019	0:01	Bernardeth	15-29
15/01/2019	0:01	Bernardeth	15-29
19/01/2019	8:30	São Miguel	60+
24/01/2019	16:00	Santa Teresa	15-29
25/01/2019	18:40	Barra	30-59
02/02/2019	23:40	Navegantes	15-29
16/02/2019	21:00	Cohab IV	30-59
18/02/2019	23:45	Parque Marinha	15-29
22/02/2019	14:20	Getúlio Vargas	NI
28/02/2019	13:00	Barra	15-29
09/03/2019	22:00	Dom Bosquinho	15-29
09/03/2019	11:00	Navegantes	15-29
14/03/2019	21:45	Parque Marinha	15-29
20/03/2019	20:30	Getúlio Vargas	30-59
08/04/2019	12:30	Cidade de Águeda	15-29
17/04/2019	12:00	Junção	15-29
21/04/2019	3:50	Cidade Nova	15-29
04/05/2019	22:30	Cassino	15-29
29/06/2019	14:25	Cohab IV	30-59
29/06/2019	1:19	Cidade Nova	30-59
01/07/2019	0:25	Cidade de Águeda	15-29
08/07/2019	0:07	Barra	30-59
26/07/2019	9:00	Getúlio Vargas	15-29
25/08/2019	17:40	Vila Militar	30-59
03/09/2019	11:00	Hidráulica	15-29
28/09/2019	23:30	Getúlio Vargas	15-29
04/10/2019	20:10	Cidade de Águeda	15-29
12/11/2019	12:25	São Miguel	15-29

Continua

Tabela 11 (continuação)

15/11/2019	14:00	Centro	30-59
29/11/2019	13:35	Bernardeth	30-59
15/12/2019	1:15	São Miguel	30-59
20/12/2019	15:30	Barra	15-29
19/01/2020	13:00	São Miguel	15-29
03/02/2020	22:45	São Miguel	15-29
03/02/2020	0:30	Santa Teresa	30-59
15/02/2020	20:45	Barra Nova	30-59
23/02/2020	0:00	Centro	30-59
28/02/2020	22:40	Dombosquinho	15-29
28/02/2020	23:40	Navegantes	15-29
01/03/2020	21:00	Vila Mangueira	15-29
13/03/2020	14:30	Cidade Nova	15-29
19/03/2020	1:50	Getúlio Vargas	15-29
09/04/2020	21:40	Santa Teresa	15-29
15/04/2020	23:30	Vila da Quinta	30-59
26/04/2020	18:30	Navegantes	30-59
05/05/2020	18:15	Ilha da Torotama	30-59
10/05/2020	21:20	Cassino	NI
12/05/2020	20:30	Vila da Quinta	30-59
25/05/2020	0:01	Cassino	30-59
26/06/2020	22:20	Palma	30-59
17/07/2020	21:00	Barra	15-29
17/07/2020	0:00	Getúlio Vargas	30-59
19/07/2020	20:20	Cibrazen	15-29
20/08/2020	19:30	Castelo Branco	15-29
20/08/2020	19:30	Getúlio Vargas	15-29
21/08/2020	19:15	São Miguel	30-59
24/08/2020	2:20	Santa Rosa	15-29
06/09/2020	1:00	Castelo Branco	15-29
16/09/2020	17:00	Barra	15-29
27/09/2020	17:30	Cassino	30-59
29/09/2020	3:00	Vila da Quinta	15-29
10/10/2020	18:00	Castelo Branco	15-29
11/10/2020	23:45	América	15-29
18/10/2020	3:50	Barra	15-29
20/10/2020	15:20	Cidade de Águeda	30-59

Continua

Tabela 11 (continuação)

13/12/2020	14:30	Parque São Pedro	15-29
23/12/2020	23:20	Cassino	30-59
04/01/2021	13:30	Ilha de Maranbaia	60+
08/01/2021	0:00	Vila Braz	15-29
11/01/2021	19:25	São Miguel	15-29
17/01/2021	1:00	Vila da Quinta	30-59
18/01/2021	10:00	Castelo Branco	15-29
09/02/2021	0:00	Vila Hidráulica	30-59
13/02/2021	0:45	Vila Rural	30-59
13/02/2021	9:20	Lagoa	60+
16/03/2021	12:00	Barra	30-59
02/04/2021	8:00	Barra	30-59
13/04/2021	11:00	Cidade Nova	30-59
15/04/2021	18:00	Navegantes	30-59
17/04/2021	4:15	São Miguel	30-59
24/04/2021	1:30	Barra	NI
24/04/2021	21:35	Getúlio Vargas	NI
08/06/2021	19:00	Parque Marinha	60+
01/08/2021	19:50	Vila Braz	NI
09/09/2021	0:00	Vila Junção	30-59
08/11/2021	0:00	Getúlio Vargas	30-59
01/01/2022	12:30	Cassino	15-29
04/01/2022	9:00	Cassino	15-29
05/01/2022	22:00	Parque Coelho	30-59
09/01/2022	5:20	Ilha dos Marinheiros	15-29
14/01/2022	14:00	Castelo Branco	15-29
16/01/2022	20:00	América	15-29
18/01/2022	11:40	São João	15-29
19/01/2022	21:45	São Miguel	0-14
19/01/2022	0:20	Mangueira	15-29
22/01/2022	21:00	Vila Maria dos Anjos	30-59
31/01/2022	21:10	Vila da Quinta	30-59
03/02/2022	11:15	Buchholz	15-29
05/02/2022	4:40	Navegantes	15-29
06/02/2022	4:00	Distrito Industrial	15-29
06/02/2022	21:30	Profilurb I	15-29
23/02/2022	23:00	Cohab IV	15-29

Continua

Tabela 11 (continuação)

24/02/2022	8:30	Getúlio Vargas	30-59
01/03/2022	0:00	Cohab IV	15-29
10/03/2022	20:15	Vila da Quinta	15-29
10/03/2022	20:15	Vila da Quinta	15-29
10/03/2022	3:46	Lagoa	15-29
17/03/2022	14:00	Vila Rural	15-29
17/03/2022	23:00	Lagoa	30-59
19/03/2022	17:00	Vila Rural	15-29
25/03/2022	16:00	Barra	15-29
27/03/2022	16:00	São João	15-29
27/03/2022	2:00	Getúlio Vargas	15-29
28/03/2022	21:00	São Miguel	15-29
29/03/2022	3:15	Parque São Pedro	15-29
30/03/2022	21:20	América	15-29
04/04/2022	20:00	Cassino	30-59
09/04/2022	15:40	Distrito Industrial	15-29
10/04/2022	12:05	São João	15-29
11/04/2022	21:45	São Miguel	15-29
12/04/2022	13:30	São João	15-29
19/04/2022	11:50	Barra	30-59
29/04/2022	19:50	São Miguel	15-29
07/05/2022	20:30	São Miguel	30-59
09/05/2022	17:40	São João	30-59
09/05/2022	17:40	São João	15-29
09/05/2022	8:36	Mangueira	30-59
14/05/2022	18:30	Parque São Pedro	15-29
16/05/2022	21:30	Buchholz	30-59
16/05/2022	21:30	Buchholz	0-14
17/05/2022	3:40	Vila Maria dos Anjos	30-59
22/05/2022	17:43	Cidade de Águeda	30-59
22/05/2022	22:00	Cidade de Águeda	15-29
24/05/2022	15:40	Cassino	15-29
24/05/2022	15:40	Cassino	30-59
25/05/2022	20:00	Distrito Industrial	15-29
27/05/2022	22:00	Parque Marinha	15-29
05/06/2022	0:25	Povo Novo	15-29
06/06/2022	19:30	Junção	15-29

Continua

Tabela 11 (continuação)

10/06/2022	13:30	Cassino	15-29
10/06/2022	18:00	São Miguel	30-59
10/06/2022	0:00	América	30-59
15/06/2022	0:00	Getúlio Vargas	15-29
19/06/2022	0:00	Cassino	15-29
16/07/2022	0:00	Cidade Nova	15-29
21/07/2022	11:30	Cassino	30-59
06/08/2022	18:30	Cassino	15-29
06/08/2022	18:30	Cassino	15-29
08/08/2022	21:30	Distrito Industrial	15-29
22/08/2022	23:10	Cassino	15-29
26/08/2022	13:30	Cassino	30-59
26/08/2022	23:00	Parque Marinha	15-29
05/09/2022	23:30	Cassino	30-59
09/09/2022	0:15	Castelo Branco	15-29
09/09/2022	18:30	Lagoa	15-29
17/09/2022	1:40	Vila Santa Rosa	30-59
19/09/2022	0:10	Vila Santa Rosa	30-59
19/09/2022	20:00	Vila Hidráulica	30-59
25/09/2022	6:00	Cohab II	30-59
27/09/2022	1:00	Cassino	0-14
29/09/2022	19:06	São João	30-59
16/10/2022	6:00	Sernandes	15-29
26/10/2022	0:30	Barra	15-29
04/11/2022	21:00	Distrito Industrial	NI
15/11/2022	9:48	Parque São Pedro	30-59
18/11/2022	21:30	Cassino	30-59
21/11/2022	3:10	São Miguel	15-29
29/11/2022	13:00	Vila Maria dos Anjos	15-29
30/11/2022	0:38	Vila Maria dos Anjos	30-59
05/12/2022	2:00	Lagoa	15-29
06/12/2022	17:30	Vila Rural	15-29
11/12/2022	13:20	Mangueira	30-59
12/12/2022	20:00	Cassino	NI
19/12/2022	0:15	Vila da Quinta	30-59
14/01/2023	23:45	Nossa Senhora de Fátima	15-29
22/01/2023	6:00	Cidade Nova	15-29

Continua

Tabela 11 (continuação)

27/01/2023	16:30	São João	15-29
27/01/2023	10:15	Vila da Quinta	15-29
12/02/2023	18:56	Vila da Quinta	30-59
15/02/2023	21:15	São Miguel	30-59
24/02/2023	23:40	Cidade de Águeda	15-29
02/03/2023	20:10	Lagoa	30-59
11/03/2023	2:40	São Miguel	15-29
11/03/2023	13:30	Parque São Pedro	30-59
15/03/2023	1:30	Profilurb I	NI
19/03/2023	23:00	Getúlio Vargas	15-29
27/03/2023	22:00	Castelo Branco	30-59
31/03/2023	6:00	Santa Teresa	30-59
31/03/2023	0:13	Santa Rosa	30-59
13/04/2023	22:00	Castelo Branco	30-59
17/04/2023	7:00	Profilurb I	30-59
21/04/2023	23:00	Lagoa	15-29
01/05/2023	0:10	Cohab IV	15-29
08/05/2023	10:07	Vila da Quinta	0-14
21/05/2023	1:01	Cassino	15-29
01/06/2023	18:40	Cidade de Águeda	30-59
01/06/2023	18:40	Cidade de Águeda	15-29
11/06/2023	7:30	Vila da Quinta	30-59
20/06/2023	8:00	Castelo Branco	30-59