

Produtividade policial e violência letal: Uma abordagem econométrica com estimadores de efeitos fixos

Adriano Moreira Santos

Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias, São José dos Campos - SP, 12228-900

adrianoams@ita.br

Mauri Aparecido de Oliveira

Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias, São José dos Campos - SP, 12228-900

mauri@ita.br

RESUMO

Este estudo investiga a relação entre a produtividade policial e o número de vítimas de homicídio doloso nos Departamentos de Polícia do Estado de São Paulo, entre janeiro de 2018 e dezembro de 2024. Utilizando Dados em Painel e modelos de Efeitos Fixos, foram analisados os efeitos de indicadores de produtividade policial sobre o número de vítimas de homicídio doloso. Os resultados indicam que o aumento das prisões efetivadas e das ocorrências de apreensão de entorpecentes está associado à redução dos crimes de homicídio. Em contrapartida, os indicadores de infratores presos em flagrante e adolescentes apreendidos em flagrante apresentaram associação positiva com os homicídios, possivelmente refletindo a atuação reativa da polícia em regiões mais violentas. Os achados reforçam a importância de estratégias focadas em repressão ao tráfico de drogas e fortalecimento da produtividade policial.

PALAVRAS-CHAVE. Homicídio. Dados em Painel. Produtividade Policial.

Tópicos (D&SP – PO em Defesa e Segurança e AS&DS – Análise e Ciência de Dados)

ABSTRACT

This study investigates the relationship between police productivity and the number of intentional homicide victims in the Police Departments of the State of São Paulo, between January 2018 and December 2024. Using Panel Data and Fixed Effects models, the effects of police productivity indicators on the number of intentional homicide victims were analyzed. The results indicate that the increase in arrests made and drug seizures is associated with a reduction in homicide crimes. In contrast, the indicators of offenders arrested in flagrante delicto and adolescents apprehended in flagrante delicto showed a positive association with homicides, possibly reflecting the reactive action of the police in more violent regions. The findings reinforce the importance of strategies focused on repressing drug trafficking and strengthening police productivity.

KEYWORDS. Homicide. Panel Data. Police Productivity.

Paper topics (D&SP – Operational Research in Defense and Security and AS&DS – Data Analysis and Data Science)

1. Introdução

Entre os crimes que mais impactam a sociedade, destaca-se o homicídio doloso, considerado o mais grave por consistir na ação intencional de tirar a vida de outra pessoa. Essa conduta está tipificada no artigo 121 do Código Penal Brasileiro, cuja pena prevista é de reclusão de seis a vinte anos.

Apesar dos avanços normativos alcançados com a promulgação da Lei nº 11.340/2006 (Lei Maria da Penha) e da Lei nº 13.104/2015 (Lei do Feminicídio), o Brasil ainda figura entre os cinco países com as maiores taxas de homicídios femininos no mundo [Rezzieri *et al.*, 2024]. Mesmo sendo a unidade federativa mais rica do país, o estado de São Paulo enfrenta graves problemas relacionados à violência e demonstra forte associação entre regiões de vulnerabilidade social e concentração de homicídios [Vianna *et al.* 2021].

Políticas públicas em investimentos sociais são essenciais, principalmente aquelas focadas nas despesas com educação, cultura, assistência e previdência, pois mostram relação negativa com os homicídios [Moreira e Elias, 2021b]. Além disso, este crime possui correlação positiva e estatisticamente significativa com a taxa de desemprego, especialmente na população masculina e juvenil [Moreira e Elias, 2021a e 2021b].

Investimentos em tecnologia e inovação auxiliam na otimização da análise criminal [Brito e Ramos, 2020]. Enquanto o uso de Inteligência Artificial (IA) auxilia no policiamento preditivo [Oliveira Junior e Santos, 2022], modelos preditivos baseados em padrões temporais apresentaram bom desempenho, sugerindo aplicação em planejamento estratégico [Lins, 2023].

Considerando que muitas políticas públicas exigem criação, atualização e investimentos para sua implementação, este estudo busca analisar como a atuação das polícias pode, por si só, contribuir para a redução do crime de homicídio. Com base nesta argumentação, a pergunta de pesquisa é:

- Quais as atividades de produtividade policial contribuem para a redução da quantidade de vítimas de homicídio doloso?

2. Revisão da Literatura

Os estudos que abordam este indicador criminal revelam diversos aspectos e suas nuances, comumente relacionadas ao ambiente, sendo que a maior incidência de homicídios ocorre em áreas de maior vulnerabilidade social, afetando preferencialmente jovens homens pardos, com baixa escolaridade, fora do mercado de trabalho, e em bairros com deficiências de infraestrutura pública [Macêdo e Aquino, 2021]. Além disso, a taxa de desemprego está positivamente associada à taxa de homicídios da população masculina, o grau de informalidade e despesas com educação e cultura têm relação negativa com os homicídios, sugerindo que ocupação, mesmo informal, e investimentos sociais ajudam a reduzir a criminalidade [Moreira e Elias, 2021]. Os homicídios dolosos concentraram-se em áreas com maior vulnerabilidade, baixa renda, escolaridade, precariedade habitacional e histórico de crescimento desordenado e políticas habitacionais periféricas [Vianna *et al.*, 2021].

Com o surgimento de novas tecnologias para a otimização da produção de conhecimento, a ciência de dados surge como uma metodologia que permite avaliar melhor tendências de aumento ou redução da violência e identificar políticas públicas eficazes em diferentes estados, defendendo que mudanças reais exigem foco em gestão pública qualificada e avaliação contínua, principalmente quando aplicadas ao sistema de inteligência policial [Scolaro e Bueno, 2023]. A implementação de ferramentas de apoio que utilizam IA no planejamento do policiamento melhora a eficiência policial, permitindo intervenções mais precisas e estratégicas, além de otimizar recursos. Contudo, aponta desafios éticos e legais relevantes, como: garantia de transparência, riscos de violações à privacidade, possibilidade de discriminação algorítmica e dependência excessiva da tecnologia [Peixoto e Lima, 2004]. O uso da IA na segurança pública exige

regulamentação, capacitação profissional contínua, auditoria dos sistemas e respeito aos direitos civis [Nakashima, 2024].

Outrossim, é a reorganização da gestão policial e tática operacional, aliada à instalação de uma seção de inteligência, criação de grupos especializados de policiamento e redistribuição estratégica do policiamento com foco em "hot spots", possibilita a redução dos homicídios, tentativas de homicídio e furtos. Além disso, cabe reforçar a importância da valorização profissional, capacitação contínua, e integração entre órgãos policiais e militares como pilares para o sucesso da atuação [Silva *et al.*, 2022].

Assim como a utilização de ferramentas informatizadas com o potencial de aumentar a eficiência e padronização da análise criminal, com a finalidade de reduzir o tempo de resposta estratégica e eliminar inconsistências nos dados. Um modelo ajustado de forma adequada possibilita a geração de diagnósticos por área geográfica, melhorando o planejamento de ações de policiamento preventivo, sendo uma inovação operacional relevante para o gerenciamento e monitoramento das ações policiais [Brito e Ramos, 2020].

Bem como a utilização de modelos econométricos para análise de dados criminais, são apropriados para explicar a relação entre criminalidade e os fatores sociais e econômicos [Carvalho e Taques, 2014], avaliar investimentos em proteção social, justiça e cidadania contribuem para reduzir os homicídios de jovens [Moreira e Elias, 2021].

Este estudo propõe analisar, por meio da metodologia de Dados em Painel e utilizando os estimadores de Efeitos Fixos e Aleatórios, a relação entre a quantidade de vítimas de homicídios e a produtividade policial. Serão considerados exclusivamente indicadores da atividade policial, com o objetivo de verificar se o combate ao tráfico de drogas e a apreensão de armas de fogo contribuem para a redução desse tipo de delito.

3. Dados Utilizados

Os dados foram coletados no site da Secretaria de Segurança Pública do Estado de São Paulo (SSP/SP) e compreende o período de janeiro de 2018 a dezembro de 2024. A divisão territorial está definida pelo nome do departamento de polícia civil, sendo eles: Araçatuba, Bauru, Campinas, Capital, Grande São Paulo, Piracicaba, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, Santos, São José do Rio Preto, São José dos Campos e Sorocaba.

As variáveis utilizadas neste estudo são, em sua maioria, indicadores de produtividade policial, ou seja, referem-se às ocorrências associadas à atuação das forças de segurança e que têm o potencial de explicar ou influenciar os indicadores criminais. A Tabela 1 apresenta a descrição das variáveis utilizadas na análise.

Tabela 1 – Variáveis do modelo de dados em painel.

Sigla	Descrição	Indicador
VHD	Número de vítimas em homicídio doloso (Variável Explicada)	Criminal
AFA	Número de armas de fogo apreendidas	Operacional
IAAF	Número de adolescentes apreendidos em flagrante	Operacional
IAAMJ	Número de adolescentes apreendidos por mandado judicial	Operacional
IPF	Número de infratores presos em flagrante	Operacional
IPMJ	Número de infratores presos por mandado judicial	Operacional
PE	Número de prisões efetuadas	Operacional
VR	Número de veículos recuperados	Operacional
OAE	Quantidade de ocorrências de apreensão de entorpecentes	Operacional
OPE	Quantidade de ocorrências de porte de entorpecentes	Operacional
OPIA	Quantidade de ocorrências de porte ilegal de arma	Operacional

OTE	Quantidade de ocorrências de tráfico de entorpecentes	Operacional
-----	---	-------------

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis analisadas. A variável VHD apresenta média de 20,1, com valores oscilando entre 0 e 85 vítimas de homicídio doloso ao mês no estado de São Paulo por Departamento Policial, e um desvio padrão de 16,1, indicando disparidades relevantes na ocorrência desse tipo de crime entre os Departamentos Policiais. A ocorrência de regiões com zero homicídios evidencia a existência de localidades com baixo ou nenhum registro desse delito, enquanto os valores máximos evidenciam regiões com níveis críticos de violência letal.

A variável AFA possui média de 84,8, mas com um desvio padrão elevado (64,6), refletindo significativa desigualdade na produtividade policial quanto ao recolhimento de armamentos ilegais. Departamentos com até 734 apreensões ao mês contrastam fortemente com localidades nos quais esse número foi inferior a 10, o que pode indicar diferenças na efetividade das ações de fiscalização ou na própria presença de armamento irregular.

Em relação às variáveis de infratores presos ou apreendidos (flagrante ou por mandado), refletem amplitude nos registros, sugerindo diferentes capacidades de investigação ou estruturas organizacionais das polícias judiciárias.

A variável PE é a que apresenta a maior média (1.109) e o maior valor máximo (3.262), indicando que, em alguns departamentos, o volume de prisões efetuadas é elevado. A variável VR tem média de 343 e desvio padrão de 451, com valores variando de 10 a 2.325. Essa amplitude pode refletir tanto nos delitos de furto/roubo de veículos quanto a efetividade das ações de recuperação.

No que se refere às ocorrências envolvendo entorpecentes (OAE, OPE e OTE), temos que algumas regiões possuem poucos registros por mês e contrasta com altos índices em outros, indicando diferenças na circulação e repressão ao tráfico, enquanto apresenta média de 34,1 e desvio de 22, revela padrões semelhantes de dispersão em áreas de menor cobertura operacional.

De maneira geral, os altos desvios padrões observados nas variáveis indicam heterogeneidade entre os departamentos paulistas, tanto em relação à criminalidade quanto à resposta institucional. Esse cenário reforça a importância de políticas públicas territorializadas e ajustadas às realidades locais.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas.

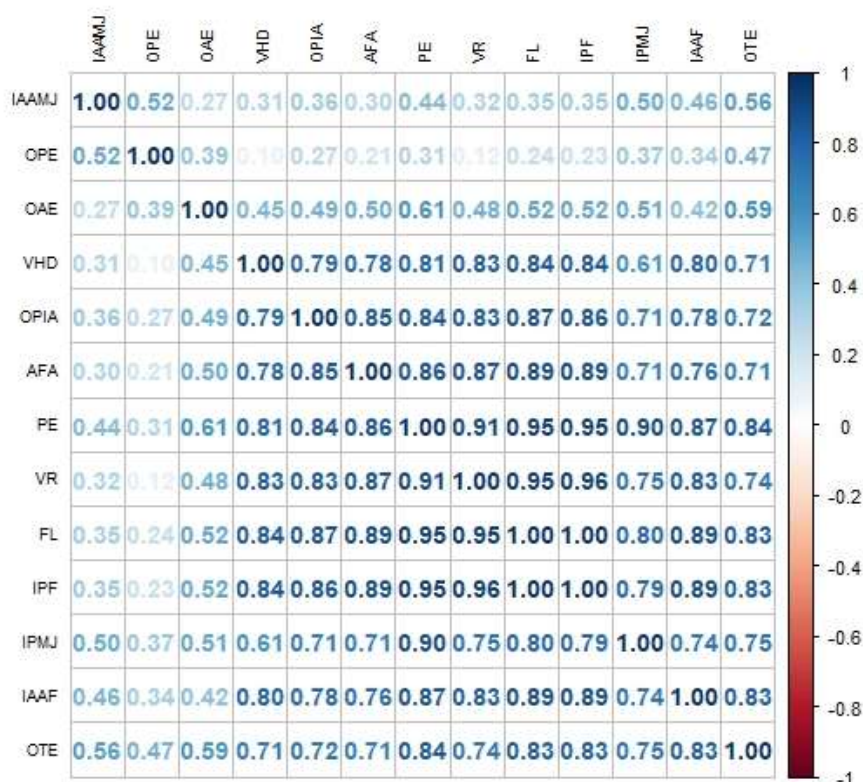
Variável	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
VHD	20,1	85	0	16,1
AFA	84,8	734	10	64,6
FL	669	2749	135	517
IAAF	74,1	357	3	61,5
IAAMJ	17,8	117	0	14,4
IPF	787	3310	143	621
IPMJ	481	1501	77	253
PE	1109	3262	236	658
VR	343	2325	10	451
OAE	33,1	123	0	23,5
OPE	109	414	18	67
OPIA	34,1	174	3	22
OTE	281	847	47	150

Fonte: Elaborado pelos autores.

A matriz de correlação de Pearson entre as variáveis revela associações importantes entre os indicadores de criminalidade e produtividade policial. Os valores variam entre 0,10 e 1,0, sugerindo diferentes graus de associação linear entre os pares de variáveis.

De modo geral, a matriz revela fortes correlações entre os indicadores operacionais da polícia e os desfechos criminais, apontando para uma possível atuação reativa e integrada entre diferentes tipos de atividade policial (flagrantes, apreensões, indiciamentos e ocorrências registradas). As altas correlações entre variáveis similares sugerem também a possibilidade de multicolinearidade, aspecto que deve ser considerado em modelagens econométricas subsequentes.

Figura 1 – Gráfico da Matriz de Correlação (2018 a 2024).



Fonte: Elaborado pelos autores.

O gráfico de boxplot exibe a distribuição anual do total de vítimas de homicídio nos departamentos do estado de São Paulo entre os anos de 2018 e 2024, com destaque para os valores registrados na Capital e na região da Grande São Paulo, que figuram como outliers em todos os anos da série.

Observa-se que a mediana de homicídios anuais por departamento permanece relativamente estável ao longo do período, oscilando em torno de valores médios sem grandes alterações estruturais. Entretanto, os valores máximos destoam, como evidenciado pelos outliers, representados predominantemente pelos registros da Capital e da Grande São Paulo, que concentram os maiores totais anuais de vítimas.

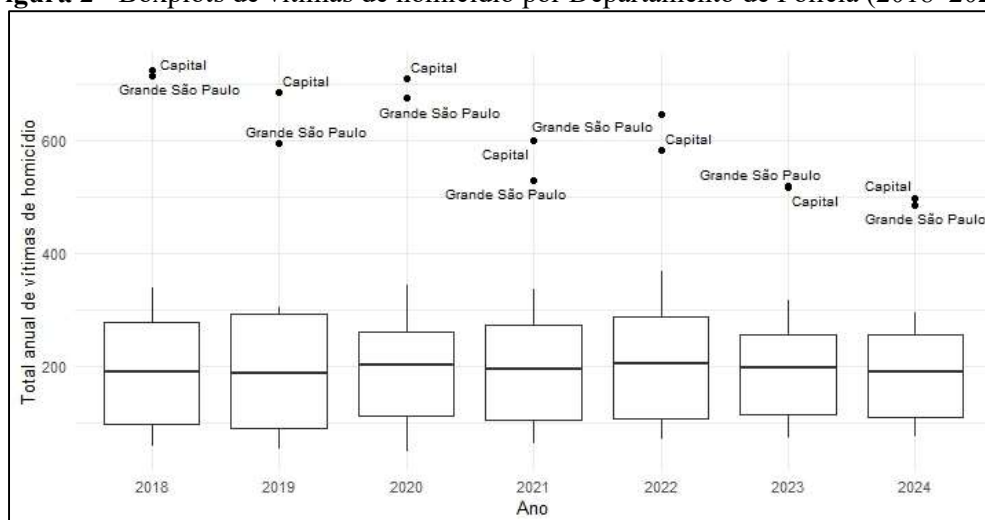
A Capital e a Grande São Paulo apresentam, de forma recorrente, os maiores números absolutos de homicídios no estado, revelando uma concentração espacial da violência letal nas regiões metropolitanas, em contraste com os demais departamentos, que apresentam distribuição mais homogênea e com menores amplitudes.

No ano de 2021 há uma ligeira queda nos valores máximos de homicídios nas regiões metropolitanas, o que pode estar relacionado a mudanças no padrão de mobilidade e interação

social durante o período da pandemia da COVID-19. Em 2022, verifica-se um novo aumento nos registros máximos, sugerindo um possível retorno aos níveis anteriores.

A estabilidade da mediana e da amplitude interquartil ao longo do tempo sugere uma estabilidade estrutural da distribuição dos homicídios entre os Departamentos Policiais, com variações concentradas nos extremos superiores da distribuição, especialmente nas regiões urbanas densamente povoadas.

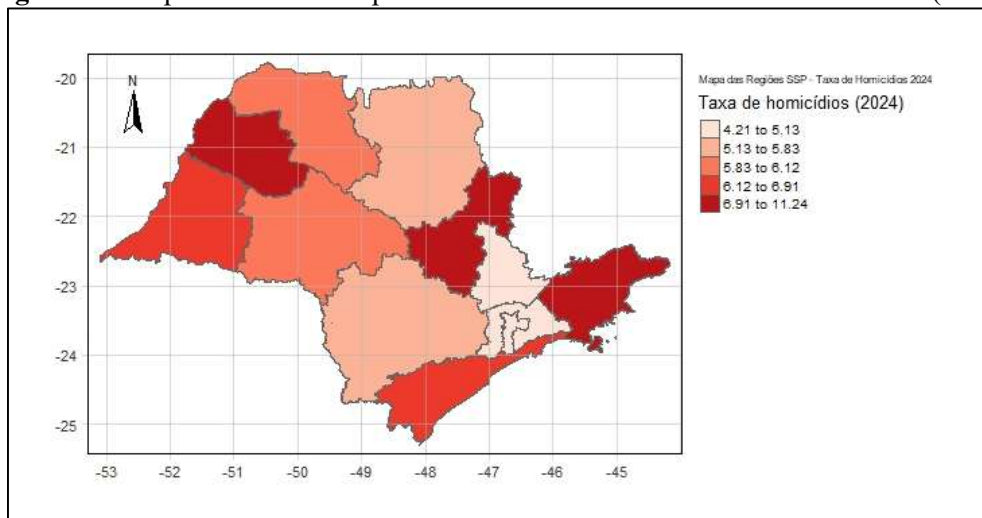
Figura 2 - Boxplots de vítimas de homicídio por Departamento de Polícia (2018–2024).



Fonte: Elaborado pelos autores.

Embora os valores absolutos de vítimas de homicídio indiquem que os Departamentos da Capital e da Grande São Paulo apresentem comportamento de outliers, as taxas por 100 mil habitantes, também disponibilizadas no site da SSP/SP, revelam uma perspectiva distinta sobre o mesmo fenômeno. Conforme ilustrado na Figura 3, ao padronizar os registros de homicídio pela população local, observa-se que as maiores taxas do delito concentram-se no interior do estado, evidenciando que, proporcionalmente, essas regiões enfrentam níveis de violência letal mais elevados do que as áreas metropolitanas.

Figura 3 – Mapa de homicídios por cem mil habitantes no Estado de São Paulo (2024).



Fonte: Elaborado pelos autores.

4. Metodologia Econométrica

A metodologia adotada para o estudo sobre a incidência de vítimas de homicídio doloso no Estado de São Paulo envolve a utilização de Dados em Painel, que combinam informações de corte transversal com dados de séries temporais, acompanhando os Departamentos de Polícia ao longo do tempo [Moreira e Elias, 2021]. Os estimadores utilizados neste estudo são de Efeitos Fixos e Aleatórios, nos quais se pretende analisar a dimensão temporal dos dados de janeiro de 2018 a dezembro de 2024 (método two ways).

A metodologia de Dados em Painel permite controlar a heterogeneidade não observada entre os Departamentos quanto às influências ao longo do tempo [Pelizza e Spier, 2021]. Além disso, a utilização da matriz robusta corrige a heterocedasticidade e atenua os efeitos da multicolinearidade, proporcionando estimativas estatísticas mais robustas e confiáveis [Zeileis, 2004].

Cabe ressaltar que as variáveis independentes utilizadas se referem a ocorrências de natureza geral, não sendo possível identificar, na base utilizada, se as prisões ou apreensões estão diretamente vinculadas ao crime de homicídio doloso.

Neste estudo, aplicaram-se conceitos econométricos a Dados em Painel, com ênfase nos estimadores de Efeitos Aleatórios (EA) e Efeitos Fixos (EF). O modelo de EA é utilizado para capturar a heterogeneidade entre os departamentos, tratando as diferenças estruturais como parte do termo de erro. Parte-se do pressuposto de que essas diferenças não são constantes ao longo do tempo, mas sim aleatórias e incorporadas ao erro do modelo [de Andrade Jacinto e Tejada, 2009]. A formulação matemática do modelo de EA é apresentada na Equação (1), onde i representa o departamento e t o período temporal.

$$Y_{it} = a + b_1X_{1it} + b_2X_{2it} + \dots + b_kX_{kit} + u_i + \epsilon_{it}. \quad (1)$$

Sendo:

Y_{it} = Variável dependente homicídio no departamento i , no tempo t ;

X_{it} = Variáveis independentes dos indicadores de produtividade;

a = intercepto;

b_k = coeficientes de cada variável independente;

u_i = captura as variações não observadas entre os departamentos;

ϵ_{it} = variações não observadas dentro do departamento ao longo do tempo.

O modelo de EF considera que cada departamento possui características específicas e invariáveis ao longo do tempo, as quais influenciam o homicídio. Esse modelo permite isolar e analisar as variações internas de cada departamento ao longo do período estudado, controlando para fatores não observáveis e constantes no tempo [de Oliveira Holanda Filho *et al.*, 2024]. A formulação matemática do modelo de EF é apresentada na Equação (2), em que i representa o departamento e t o período temporal.

$$Y_{it} = a + b_1X_{1it} + b_2X_{2it} + \dots + b_kX_{kit} + \alpha_i + \epsilon_{it}. \quad (2)$$

Sendo:

Y_{it} = número de homicídios no departamento i no tempo t ;

X_{it} = variáveis independentes dos indicadores de produtividade;

a = intercepto geral do modelo;

b_k = coeficientes de cada variável independente;

α_i = efeito fixo específico do departamento i ;

ϵ_{it} = erro aleatório, variações não observadas dentro do departamento ao longo do tempo.

Para tanto, a escolha do estimador apropriado para os Dados em Pannel é fundamental para garantir a robustez e a precisão das inferências. A estatística de Hausman indica que os efeitos individuais estão correlacionados com as variáveis explicativas [Hausman, 1978] e pode ser representada pela expressão (3).

$$H = (\hat{\delta}_{FE} - \hat{\delta}_{RE})' [Av\hat{a}r(\hat{\delta}_{FE}) - Av\hat{a}r(\hat{\delta}_{RE})]^{-1} (\hat{\delta}_{FE} - \hat{\delta}_{FE}). \quad (3)$$

Onde:

H = Estatística de Hausman;

$\hat{\delta}_{RE}$ = Vetor de coeficientes estimados pelo modelo de Efeitos Aleatórios;

$\hat{\delta}_{FE}$ = Vetor de coeficientes estimados pelo modelo de Efeitos Fixos;

$Av\hat{a}r(\hat{\delta}_{FE})$ e $Av\hat{a}r(\hat{\delta}_{RE})$ = Variâncias estimadas dos coeficientes em cada modelo.

Além do mais, pretende-se aferir a precisão dos modelos através de métricas de desempenho. Sendo assim, a aplicação desses modelos permitirá identificar os fatores que influenciam os homicídios em São Paulo.

5. Resultados

Os resultados dos modelos econométricos revelam informações valiosas sobre as atividades policiais. A Tabela 3 apresenta os resultados da estimação por Efeitos Fixos (EF) e Efeitos Aleatórios (EA), utilizando matriz de variância-covariância robusta para correção de heterocedasticidade e multicolinearidade. A variável dependente representa a quantidade de vítimas de homicídios, sendo as variáveis independentes compostas por indicadores de produtividade policial.

Os modelos revelam diferenças importantes entre os estimadores. O modelo de Efeitos Fixos, apesar de apresentar um R^2 ajustado muito baixo (0,011), permite controlar efeitos não observáveis específicos de cada unidade (Departamento de Polícia), isolando a influência das variáveis ao longo do tempo. Já o modelo de Efeitos Aleatórios apresenta maior capacidade explicativa (R^2 ajustado de 0,269), sugerindo que parte da variação entre Departamentos pode ser tratada como aleatória e generalizável.

Entre os resultados mais robustos, a variável IAAF apresentou coeficiente positivo e estatisticamente significativo nos dois modelos ($p < 0,05$ para EF e $p < 0,1$ para EA), indicando que um maior número de adolescentes infratores está associado ao aumento de homicídios. Esse achado pode refletir o envolvimento de menores infratores em dinâmicas de criminalidade violenta em determinados contextos locais.

Da mesma forma que IAAF, a variável IPF também se mostrou positivamente associado ao crime de homicídio, com significância estatística em ambos os modelos ($p < 0,05$ em EF e $p < 0,01$ em EA), sugerindo que infratores presos estão relacionados à violência letal.

PE apresentou coeficiente negativo e estatisticamente significativo no modelo de EF ($p < 0,01$), sugerindo que um maior número de prisões em ocorrências está associado à redução de vítimas de homicídios, o que pode refletir o efeito dissuasório de ações policiais mais amplas ou a dispersão da dinâmica criminal em delitos menos letais.

A variável OAE teve coeficiente negativo e altamente significativo nos dois modelos ($p < 0,001$ em EF e $p < 0,05$ em EA), indicando que o aumento nas ações de apreensão de drogas está fortemente associado à redução da ao delito. Esse resultado reforça a hipótese de que o controle e combate às drogas têm impacto direto sobre a violência letal.

Algumas variáveis apresentaram significância marginal, como VR no modelo EA ($p < 0,1$), e OPIA ($p < 0,1$). Esses achados sugerem que essas ações podem ter efeito sobre os homicídios, embora os resultados não sejam suficientemente robustos para afirmações conclusivas.

Por outro lado, variáveis como IAAMJ, IPMJ e OTE não apresentaram significância estatística relevante, o que pode indicar que sua associação com os homicídios é mais difusa ou que seus efeitos são capturados por outras variáveis correlacionadas.

Esperava-se que o indicador AFA apresentasse alguma significância, mas para estes modelos não teve relevância estatística.

Tabela 3 – Resultados dos estimadores.

Variáveis	Efeitos Fixos	Efeitos Aleatórios
AFA	0,002	0,005
IAAF	0,038**	0,044*
IAAMJ	0,002	-0,024
IPF	0,008*	0,014**
IPMJ	0,001	-0,008+
PE	-0,007**	-0,001
VR	0,003	0,005+
OAE	-0,068***	-0,045*
OPE	-0,006	-0,008
OPIA	0,017	0,037+
OTE	0,002	-0,002
Intercepto		10,973**
Num. Obs.	1008	1008
R ²	0,114	0,277
R ² Adj.	0,011	0,269

+ $p < 0,1$, * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Tabela 4 apresenta os principais indicadores de qualidade do ajuste dos modelos de EF e EA estimados com matriz robusta. A avaliação dos modelos foi realizada com base nos critérios de informação (AIC, AICc, BIC), coeficientes de determinação (R^2), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e sigma (desvio padrão dos resíduos).

O modelo de EF apresenta valores mais baixos para AIC (6.159,9), AICc (6.160,2) e BIC (6.218,9) em comparação ao modelo de EA (AIC = 6.342,0; AICc = 6.342,3; BIC = 6.405,9), indicando melhor parcimônia e maior qualidade do ajuste segundo os critérios de penalização por complexidade do modelo. Esses resultados sugerem que, apesar de seu R^2 inferior, o modelo de Efeitos Fixos oferece melhor equilíbrio entre ajuste e número de parâmetros.

No entanto, ao considerar os coeficientes de determinação, o modelo de Efeitos Aleatórios apresenta R^2 e R^2 ajustado superiores (0,3), em contraste com o modelo de Efeitos Fixos ($R^2 = 0,1$; R^2 ajustado $\approx 0,0$). Isso indica que o modelo EA consegue capturar uma parcela maior da variação maior da variável dependente, possivelmente devido à inclusão de variação entre unidades (departamentos) como componente aleatório.

Por outro lado, o modelo de EF apresenta menor erro quadrático médio (RMSE = 5,1) e menor sigma (5,1), indicando maior precisão na predição dos valores ajustados. O modelo de EA, embora mais explicativo em termos de variância, possui maior RMSE e sigma (ambos iguais a 5,6), o que sugere maior dispersão residual e menor precisão preditiva.

Tabela 4 – Desempenho comparativo dos estimadores de Efeitos Fixos e Aleatórios.

Estimador	AIC	AICc	BIC	R2	R2(adj.)	RMSE	Sigma
Efeitos Fixos	6.159,9	6.160,2	6.218,9	0,1	0,0	5,1	5,1
Efeitos Aleatórios	6.342,0	6.342,3	6.405,9	0,3	0,3	5,6	5,6

Além disso, ao realizar o teste de Hausman, que tem como objetivo avaliar a validade do modelo de Efeitos Aleatórios, a partir da seguinte hipótese nula:

- H_0 : os efeitos individuais não estão correlacionados com as variáveis explicativas; nesse caso, o estimador de Efeitos Aleatórios é consistente e eficiente.
- H_1 : os efeitos individuais estão correlacionados com as variáveis explicativas, portanto, apenas o estimador de Efeitos Fixos é consistente.

A estatística de Hausman resultou em um p-valor extremamente baixo ($p\text{-value} < 2,2 \times 10^{-16}$), rejeitando a hipótese nula. Esse resultado indica a presença de correlação entre os efeitos individuais não observados e as variáveis explicativas, o que compromete a consistência do estimador de Efeitos Aleatórios. Dessa forma, conclui-se que o modelo de Efeitos Fixos é o mais apropriado para esta análise, pois fornece estimativas consistentes em presença de correlação entre os efeitos não observados e os regressores. Desta forma, o modelo final pode ser representado pela expressão (4).

$$VHD_{it} = a + 0,038IAAF_{it} + 0,008IPF_{it} - 0,007PE_{it} - 0,068OAE_{it} + \alpha_i + \epsilon_{it}. \quad (4)$$

6. Discussão

Os resultados obtidos no modelo de Efeitos Fixos evidenciam relações relevantes entre indicadores de produtividade policial e a quantidade de vítimas de homicídio doloso. Entre as variáveis com significância estatística, destaca-se a OAE (Ocorrências de Apreensão de Entorpecentes), cujo coeficiente negativo altamente significativo sugere que ações voltadas ao combate direto às drogas exercem um papel importante na contenção da violência letal. Esse achado está alinhado com estudos prévios que indicam a conexão entre disputas por pontos de tráfico e elevação das taxas de homicídio [Silva *et al.*, 2022; Moreira e Elias, 2021].

Da mesma forma, o coeficiente negativo da variável PE (Prisões Efetivas) reforça a hipótese de que a presença ostensiva do Estado por meio de ações policiais sistemáticas pode produzir efeito dissuasório sobre o crime letal. A redução de homicídios associada a esse indicador pode refletir uma reorganização tática eficaz ou a interrupção de ciclos de violência por meio da remoção de indivíduos envolvidos em atividades criminosas.

Por outro lado, as variáveis IAAF e IPF, ambas com coeficientes positivos e estatisticamente significativos, apontam para uma possível relação entre a criminalidade violenta e a atuação de adolescentes e infratores capturados em flagrante. Isso pode indicar que a violência letal ocorre em contextos de elevada tensão social e criminal, nos quais os agentes da segurança pública atuam de forma reativa, sendo acionados somente após o delito consumado. Em vez de refletir capacidade de prevenção, esses indicadores podem evidenciar o nível de exposição ao crime e a intensidade da violência em determinados territórios, sobretudo nas regiões com maiores índices de vulnerabilidade social [Macêdo e Aquino, 2021].

Esses achados sugerem que ações voltadas à repressão direta ao tráfico de drogas e ao aumento da efetividade das prisões têm maior potencial para impactar aos crimes de homicídios do que indicadores que reflitam ações reativas, como prisões em flagrante. No entanto, é importante destacar que a análise foi realizada com variáveis operacionais agregadas, não necessariamente

relacionadas exclusivamente ao crime de homicídio, o que pode gerar ruído na interpretação dos efeitos causais. Assim, investigações futuras que controlem com maior precisão a tipificação penal das ocorrências poderão aprofundar a compreensão sobre essas relações.

7. Conclusão

O Brasil figura entre os cinco países com as maiores taxas de feminicídio do mundo, e o estado de São Paulo, apesar de seu elevado nível de desenvolvimento econômico, não está imune a esse tipo de violência, frequentemente associada à desigualdade social. A literatura reforça a importância de políticas públicas voltadas à redução da vulnerabilidade social, à implementação de projetos habitacionais em áreas estruturadas e ao fortalecimento da educação e assistência social como medidas eficazes para conter a violência letal.

Além disso, o uso de ferramentas econométricas e de ciência de dados tem se mostrado promissor para aprimorar o planejamento policial, permitindo intervenções mais precisas e a utilização mais eficiente dos recursos disponíveis. No entanto, a implementação de tecnologias avançadas e a adaptação normativa requerem tempo e investimentos.

Diante desse contexto, o presente estudo propôs uma abordagem econométrica baseada exclusivamente em indicadores de produtividade policial, aplicando o estimador de Efeitos Fixos para avaliar sua relação com a quantidade de vítimas de homicídios dolosos. Os resultados revelaram que as variáveis Prisões Efetuadas (PE) e Ocorrências de Apreensão de Entorpecentes (OAE) apresentam associação negativa com os homicídios, indicando que ações de repressão às drogas e prisões mais abrangentes podem contribuir para a redução da violência letal.

Por outro lado, as variáveis Infratores Presos em Flagrante (IPF) e Adolescentes Apreendidos em Flagrante (IAAF) mostraram associação positiva com o número de homicídios, o que pode refletir a atuação reativa da polícia em contextos de alta criminalidade, sugerindo que essas regiões já enfrentam níveis elevados de violência.

Trabalhos futuros podem se beneficiar de dados mais específicos, voltados exclusivamente para o crime de homicídio. A atual limitação das variáveis, como prisões e apreensões de armas, que englobam diferentes tipificações penais. Estudos que isolem registros específicos relacionados ao homicídio permitirão verificar com maior precisão se, por exemplo, a apreensão de armas tem ou não efeito estatisticamente significativo sobre esse tipo de delito.

8. Referências

Brito, Cláudio; Ramos, Fernanda. Empregando o policiamento preditivo: construção de um modelo de risco do terreno para crimes contra o patrimônio dos Correios. *Revista Brasileira de Segurança Pública*, 2020.

Carvalho, Renata Costa de; Taques, Fernando Henrique. A desigualdade de renda e a educação podem explicar a criminalidade? Uma análise para os estados brasileiros. *Revista Políticas Públicas*, São Luís, v. 18, n. 2, p. 343–357, jul./dez. 2014.

De Andrade Jacinto, Paulo; Tejada, César Augusto Oviedo. Desigualdade de renda e crescimento econômico nos municípios da região nordeste do Brasil: o que os dados têm a dizer?. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 40, n. 1, p. 61-80, 2009.

De Oliveira Holanda Filho, Ivan et al. Análise da relação do índice de desenvolvimento humano municipal e subíndices, de 2015 a 2021. *Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento*, v. 13, n. 1, p. 92-113, 2024.

Hausman, J. A. Specification Tests in Econometrics. *Econometrica: Journal of the econometric society*, v. 46, n. 6, p. 1251–1271, 1978.

Lins, Gabriel de Oliveira Accioly. Previsão de homicídios no estado do Rio de Janeiro: um benchmark. *Boletim de Análise Político-Institucional*, n. 35, p. 54–66, jul. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/12278> Acesso em: 17 maio 2025.

Macêdo, Letícia Braz de; Aquino, Renê Pedro de. Criminalidade e espaço: um levantamento georreferenciado dos homicídios em Teresina-PI, no período de 2017 a 2019. *Revista Equador (UFPI)*, v. 10, n. 1, p. 182–203, 2021.

Moreira, Tito Belchior Silva; Elias, Lacerda Sipriano. Fatores determinantes na taxa de homicídios da população do sexo masculino no Brasil: uma análise empírica com base em dados em painel, por unidades da federação no período 1993-2014. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, e474101220808, 2021.

Moreira, Tito Belchior Silva; Elias, Lacerda Sipriano. Análise, em dados em painel, de efeitos de despesas sobre a taxa de homicídio juvenil no Brasil. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 13, e30101321197, 2021.

Nakashima, Maurício. Desvendando o potencial e os desafios da inteligência artificial na Polícia Militar do Paraná: estratégias para predição e prevenção de crimes. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 1321–1336, jan. 2024.

Oliveira Junior, Ilson de; Santos, Franck Cione Coelho dos. Inteligência artificial e policiamento preditivo: possibilidades de inovação tecnológica para a Polícia Militar do Paraná no enfrentamento aos crimes violentos contra o patrimônio com emprego de explosivos. *Brazilian Journal of Technology*, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 30–62, jan./mar. 2022.

Peixoto, Betânia Totino; Lima, Renato Sérgio de; DURANTE, Marcelo Ottoni. Metodologias e criminalidade violenta no Brasil. *São Paulo em Perspectiva*, v. 18, n. 1, p. 13–21, 2004.

Pelizza, C. R.; Spier, C. Os impactos do PRONAF sobre o crescimento econômico dos municípios de Santa Catarina, de 2000 a 2015. *Revista Catarinense de Economia*, v. 5, n. 2, 2021.

Rezzieri Marchezini, Beatriz; Yukie Kuwahara, Mônica; Polato e Fava, Ana Claudia. Saved by the bell? The effect of schooling on crime against women. *Revista Economia Ensaios*, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, v. 39, n. esp.abril, 2024.

Scolaro, Thaislainy Pereira; Bueno, Vagner Luiz Andreatta. Ciência de dados aplicada ao sistema de inteligência da Polícia Militar do Paraná. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 5960–5981, jan. 2023.

Silva, Evandro Bezerra da et al. Indicativos da criminalidade e modelos de gestão aplicados pela polícia militar para redução de índices criminais na microrregião do Vale do Juruá, Acre. *Studies in Social Sciences Review*, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 455–471, abr./jun. 2022.

Vianna, Paula Vilhena Carnevale; Gomes, Cilene; Novaes, Rene; Albergaria JR., Arlindo. Territórios de violência: análise socioespacial dos homicídios em São José dos Campos, SP, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 13, e20200031, 2021.

Zeileis, Achim. Econometric computing with HC and HAC covariance matrix estimators. *Journal of statistical software*, v. 11, p. 1-17, 2004.