

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA

Paulo Henrique Gamba

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E
COMUNICAÇÃO EM ANÁLISES FORENSES À LUZ DO PARADOXO DA
PRODUTIVIDADE**

Florianópolis

2023

Paulo Henrique Gamba

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E
COMUNICAÇÃO EM ANÁLISES FORENSES À LUZ DO PARADOXO DA
PRODUTIVIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Produção Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico com habilitação em produção.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Ernani Fries.

Florianópolis

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Gamba, Paulo Henrique

Avaliação da eficiência de tecnologias de informação e comunicação em análises forenses à luz do paradoxo da produtividade / Paulo Henrique Gamba ; orientador, Carlos Ernani Fries, 2023.

113 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia de Produção Mecânica, Florianópolis,
2023.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Mecânica. 2. Paradoxo da Produtividade. 3. Sistema Automatizado de Identificação Biométrica. 4. Análise Forense. I. Fries, Carlos Ernani. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Mecânica. III. Título.

Paulo Henrique Gamba

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E
COMUNICAÇÃO EM ANÁLISES FORENSES À LUZ DO PARADOXO DA
PRODUTIVIDADE**

Florianópolis, 26 de junho de 2023

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi avaliado e aprovado pela banca examinadora
composta dos seguintes membros

Prof. Carlos Ernani Fries, Dr.
Orientador

Prof. Sérgio Fernando Mayerle, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Ricardo Faria Giglio, Dr.

Certifico que esta é a versão final do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
pelo autor e julgado adequado por mim e pelos demais membros da banca para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica com habilitação em produção.

Prof. Carlos Ernani Fries, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2023.

Este trabalho é dedicado aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de expressar minha enorme gratidão a Deus por ter me concedido saúde, sabedoria e força não somente para concluir este trabalho, mas durante toda a minha vida. Sem a Sua orientação e proteção divina, nada disso seria possível.

À toda minha família, em especial aos meus pais, Lourdes Aparecida Moser Gamba e Gilberto Gamba, pelo apoio incondicional na minha educação e formação.

Ao meu irmão, João Vitor Gamba, pelo companheirismo e parceria.

À minha namorada, Carolina Ristow Kohler, por ter sido minha maior apoiadora e companheira há anos. Dividir tantas memórias, experiências e aprendizados com você tem sido maravilhoso.

Ao meu professor orientador, Carlos Ernani Fries, pelo interesse, paciência e presteza durante toda a elaboração e execução do presente trabalho.

Ao PET Engenharia de Produção, por me fornecer uma capacitação multidisciplinar em ensino, pesquisa e extensão. Também aos professores Antonio Cezar Bornia e Mirna de Borba, que me acompanharam nesta importante etapa da minha formação acadêmica.

Ao professor Aloísio Nelmo Klein da Universidade Federal de Santa Catarina e à professora Suelen Barg da Universidade de Augsburg, pelo incentivo, apoio e viabilização do meu intercâmbio na Alemanha.

A todos os demais professores com quem eu tive contato, em especial do Departamento de Engenharia Mecânica e do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina. Obrigado por tamanha dedicação e excelência no repasse de ensino.

Aos meus grandes amigos que fiz no PET e no curso, pela parceria, conversas, estudos e momentos informais. Vocês foram fundamentais durante toda esta trajetória.

Este trabalho só foi possível ser concluído graças à colaboração de diversas pessoas. Gostaria de enaltecer a gentileza e a motivação com o estudo, em especial, da Andressa Fronza, da Cássia Regina Roman da Rosa e do Fernando Souza. Obrigado principalmente por viabilizarem a fase de coleta de dados.

À Universidade Federal de Santa Catarina e à sociedade brasileira, por permitirem a ampliação gratuita de meus horizontes de conhecimento.

“Nossa força maior não está na capacidade de pensar, mas em algo mais poderoso: o poder de controlar e direcionar nossos pensamentos para onde quisermos” (Napoleon Hill).

RESUMO

A saúde e a segurança são consideradas os setores essenciais para a garantia da cidadania, isto é, ao direito capital natural do ser humano. Em relação à segurança, o segmento da segurança pública é responsável por colocar em prática políticas públicas de segurança, as quais visem o interesse coletivo, permitindo o exercício da cidadania e do controle social. Em vista disso, os órgãos de segurança pública têm buscado acompanhar as evoluções tecnológicas a fim de aprimorar os procedimentos investigativos e garantir o exercício da cidadania. Um dos segmentos mais beneficiados com novos recursos tecnológicos é o de papiloscopia forense, principalmente através de AFIS (*Automated Fingerprint Identification System*) cada vez mais robustos. Por outro lado, em 1987, Robert Solow enunciou o “paradoxo da produtividade”, segundo o qual os computadores estavam presentes em todos os lugares, exceto nas estatísticas de produtividade. O presente trabalho visa auxiliar no aprimoramento da gestão e direcionamento de recursos, principalmente tecnológicos, e as suas respectivas contribuições na resolução de ocorrências criminais através da investigação papiloscópica em análises forenses nas unidades da Polícia Científica (PCI) de um Estado brasileiro. Para isso, são aplicadas técnicas estatísticas, como análise de correlação, análise de componentes principais, programação matemática de modelos DEA (*Data Envelopment Analysis*) e construção de árvores de decisão estatísticas em dados provenientes dessas unidades ao longo de 2022. Dois *inputs* e um *output* com poder explicativo na variabilidade da amostra de dados foram selecionados na modelagem DEA a partir do Princípio da Parcimônia, derivado da Navalha de Ockham. Os resultados obtidos a partir dessas análises evidenciam que há alguns recursos vinculados à tecnologia de informação que influenciam nos escores de eficiência das unidades da PCI, de maneira que o paradoxo da produtividade não foi observado no objeto de estudo. Essas constatações podem auxiliar o Serviço de Segurança Pública do Estado na realocação de recursos que possibilitem projetar o maior número possível das Unidades da PCI para o nível ótimo de produtividade identificado na amostra. Uma análise histórica complementar foi realizada para avaliar as despesas pagas em Tecnologia da Informação pela Polícia Científica e a evolução dos índices de criminalidade do Estado. Os dados mostram que tanto os índices de criminalidade quanto as despesas em Tecnologia de Informação têm diminuído nos últimos anos. Entretanto, não é possível concluir que o paradoxo da produtividade se aplica neste caso, visto que investimentos em tecnologias podem começar a gerar retornos no longo prazo.

Palavras-chave: Paradoxo da Produtividade, Sistema Automatizado de Identificação Biométrica, Análise Forense.

ABSTRACT

Health and safety are considered essential sectors for the assurance of citizenship, that is, the natural capital right of the human being. In relation to security, the public security segment is responsible for putting into practice public security policies that aim at the public and collective interest, allowing the exercise of citizenship and social control. In view of this, security agencies have sought to keep up with technological developments in order to improve investigative procedures and ensure the exercise of citizenship. One of the segments most benefited with new technological resources is forensic papiloscopia, mainly through increasingly robust AFIS (Automated Fingerprint Identification System). On the other hand, in 1987 Robert Solow stated the "productivity paradox", according to which computers were present everywhere except in productivity statistics. This work aims to help improve management and resource allocation, mainly technological, and their respective contributions in solving criminal occurrences through forensic papiloscopia in the Forensic Police (PCI) units of a Brazilian state. For this purpose, statistical techniques are applied, such as correlation analysis, principal component analysis, mathematical programming of DEA (Data Envelopment Analysis) models, and construction of statistical decision trees using data from these units throughout 2022. Two inputs and one output with explanatory power in the variability of the data sample were selected in the DEA modeling based on the Principle of Parsimony, derived from Ockham's Razor. The results obtained from these analyses indicate that there are some information technology resources that influence the efficiency scores of the PCI units, in such a way that the productivity paradox was not observed in the study object. These findings can assist the State Public Security Service in reallocating resources to project as many PCI Units as possible to the optimal level of productivity identified in the sample. An additional historical analysis was conducted to evaluate the expenses paid by the Forensic Police and the evolution of the State's crime rates. The data shows that both crime rates and expenses on Information Technology have decreased in recent years. However, it is not possible to conclude that the productivity paradox applies in this case, as investments in technologies may start generating returns in the long term.

Keywords: *Productivity Paradox, Automated Biometric Identification System, Forensics Analysis.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação das eficiências.....	33
Figura 2 – Medida de eficiência técnica VRS com orientação para <i>input</i>	35
Figura 3 – Processos biométricos de cadastro e pesquisa.....	47
Figura 4 – Funções de densidade de pontuações de comparação entre amostras de fontes diferentes e amostras das mesmas fontes, ilustrando o FMR e o FNMR.....	48
Figura 5 – Curvas FAR e FRR e Taxa Igual de Erro (ERR).....	49
Figura 6 – Curva ROC para um determinado sistema de correspondência biométrico e conjunto de dados.....	50
Figura 7 – Aplicações de sistemas biométricos em função das taxas FAR e FRR ...	51
Figura 8 – Diversos fragmentos de latentes em uma taça de vinho	53
Figura 9 – Fragmentos de uma latente de impressões digitais em uma tela de um <i>smartphone</i>	54
Figura 10 – Impressão digital normatizada coletada em um ambiente controlado....	54
Figura 11 – Minúcias de uma impressão digital identificadas em um AFIS a partir de uma coleta controlada.....	55
Figura 12 – Roteiro metodológico proposto para o trabalho	60
Figura 13 – Fluxograma dos tipos de questões em análises de dados	61
Figura 14 – Nível de hierarquia entre as unidades da Polícia Científica do Estado ..	77
Figura 15 – Árvore de decisão estatística referente à eficiência técnica VRS	95
Figura 16 – Árvore de decisão estatística referente à eficiência de escala ESC	96
Figura 17 – Evolução histórica da população, dos crimes e dos investimentos em Tecnologia de Informação na Polícia Científica do Estado (2010 - 2022)	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Publicações no Portal de Periódicos da CAPES de acordo com a Palavra-Chave.	25
Tabela 2 – Comparação das características das modalidades biométricas	43
Tabela 3 – <i>Market share</i> das tecnologias biométricas.....	45
Tabela 4 – Variáveis <i>inputs</i> a serem coletadas	66
Tabela 5 – Variáveis <i>outputs</i> a serem coletadas.....	67
Tabela 6 – Variáveis <i>inputs</i> descartadas por indisponibilidade de dados	78
Tabela 7 – Variáveis <i>outputs</i> descartadas por indisponibilidade de dados	78
Tabela 8 – Variáveis coletadas	78
Tabela 9 – Dados coletados das DMUs consideradas na análise	79
Tabela 10 – Estatísticas descritivas das variáveis coletadas nas unidades da PCI	80
Tabela 11 – Resultado da análise de correlação	81
Tabela 12 – Componentes extraídas na PCA	82
Tabela 13 – Cargas fatoriais das variáveis em cada componente da PCA	83
Tabela 14 – Ordem de priorização na seleção dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	85
Tabela 15 – Variáveis a serem consideradas nas avaliações de eficiência das DMUs	86
Tabela 16 – Combinações de <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	86
Tabela 17 – Escores de eficiência VRS para várias combinações de variáveis	87
Tabela 18 – Variáveis <i>inputs</i> e <i>output</i> a serem avaliadas na DEA	89
Tabela 19 – Escores de eficiência das unidades da Polícia Científica	89
Tabela 20 – Valor ideal de <i>inputs</i> para a Unidade 3.....	91
Tabela 21 – Valores ideais de <i>inputs</i> para cada unidade da Polícia Científica	91
Tabela 22 – Variáveis consideradas na árvore de decisão estatística	93
Tabela 23 – Análise de correlação entre as variáveis da árvore de decisão estatística	94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIS	<i>Automated Biometrics Identification System</i>
AFIS	<i>Automated Fingerprint Identification System</i>
CAM	Número de câmeras fotográficas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEL	Número de aparelhos telefônicos (tipo celular)
CHAID	<i>Chi-squared Automatic Interaction Detection</i>
COM	Número de computadores de mesa
CRS	<i>Constant Return to Scale</i>
DEA	<i>Data Envelopment Analysis</i>
DRS	<i>Decreasing Returns to Scale</i>
DMU	<i>Decision Making Units</i>
EER	<i>Equal Error Rate</i>
ESC	Eficiência de Escala
ESP	Espaço físico do setor forense
EXP	Experiência média dos papiloscopistas
FAR	<i>False Accept Rate</i>
FBSP	Fórum Brasileiro de Segurança Pública
FMR	<i>False Match Rate</i>
FNMR	<i>False Non-Match Rate</i>
FRR	<i>False Reject Rate</i>
GAMS	<i>General Algebraic Modeling System</i>
HIT	Vestígios de latentes com match na base de dados biométrica civil do AFIS
HOR	Horas de trabalho por dia
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGP	Instituto Geral de Perícias
IRS	<i>Increasing Returns to Scale</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Avançada
LGPD	Lei Geral de Proteção de Dados
LIC	Número de licenças de <i>software</i> forense
MAL	Número de maletas
MINEX	<i>The Minutiae Interoperability Exchange Test</i>

NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
NO HIT	Vestígios de latentes sem match na base de dados biométrica civil do AFIS
NOT	Número de Notebooks
PAP	Número de papiloscopistas
PCI	Polícia Científica
PER	Número de peritos
PES	Número de pesquisas com investigação papiloscópica realizadas
PM	Polícia Militar
RG	Registro Geral
ROC	<i>Receiver Operating Characteristics</i>
SDK	<i>Software Development Kit</i>
SEN	Número de sensores biométricos de impressões digitais
SISP	Sistema Integrado de Segurança Pública
SOL	Ocorrências criminais com investigação papiloscópica solucionadas
SSP	Secretaria de Segurança Pública
TFP	<i>Total Factor Productivity</i>
UF	Unidade Federativa
VIA	Número de viaturas
VRS	<i>Variable Returns to Scale</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	IMPORTÂNCIA	17
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	19
1.3	DELIMITAÇÕES	20
1.4	ESTRUTURA	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	PORTAL DE PERIÓDICOS DA CAPES	23
2.2	AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NOS ÓRGÃOS DE SEGURANÇA PÚBLICA	26
2.3	DEMAIS CONSIDERAÇÕES	28
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	30
3.1	PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA	30
3.2	ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA).....	34
3.2.1	Modelagem da Análise Envoltória de Dados no setor de segurança pública.....	37
3.2.2	Modelos estatísticos como incrementos à DEA	38
3.3	INVESTIMENTOS NOS INSTITUTOS DE SEGURANÇA PÚBLICA.....	39
3.4	ANÁLISE FORENSE NA POLÍCIA CIENTÍFICA	41
3.4.1	Biometria	41
3.4.2	Modalidades e tecnologias biométricas	43
3.4.3	Processos biométricos.....	46
3.4.4	Precisão dos sistemas biométricos	48
3.4.5	Possibilidades e limitações dos sistemas biométricos	51
3.5	PARADOXO DA PRODUTIVIDADE.....	56
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	59
4.1	ROTEIRO METODOLÓGICO	59
4.2	LEVANTAMENTO E TRATAMENTO DOS DADOS	62
4.2.1	Coleta de dados da Polícia Científica do Estado de estudo	62
4.2.2	Coleta de dados estatísticos e índices de criminalidade do Estado de estudo	64
4.2.3	Estruturação e aplicação da fase de coleta de dados das unidades forenses da Polícia Científica do Estado.....	65

4.2.4	Registro e tratamento dos dados	67
4.3	CARACTERIZAÇÃO DA POLÍCIA CIENTÍFICA DO ESTADO.....	68
4.3.1	Atribuições	68
4.3.2	Estrutura interna	69
4.3.3	Investimentos em novas tecnologias na Polícia Científica do Estado	70
4.3.4	Tecnologias digitais e sistemas informatizados	70
4.3.5	Sistema Automatizado de Identificação de Impressões Digitais	71
4.4	ANÁLISE PAPILOSCÓPICA DA POLÍCIA CIENTÍFICA DO ESTADO.....	72
4.5	ESCOPO DA APLICAÇÃO DOS MODELOS DEA NAS UNIDADES DA POLÍCIA CIENTÍFICA	74
5	DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	76
5.1	BASE DE DADOS: CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES DA POLÍCIA CIENTÍFICA NO ESTADO.....	76
5.1.1	Resultado da aplicação da coleta de dados das unidades da Polícia Científica do Estado	77
5.2	ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS.....	80
5.2.1	SELEÇÃO DOS <i>INPUTS</i> E <i>OUTPUTS</i>	80
5.2.1.1	<i>Análise de correlação das variáveis</i>	81
5.2.1.2	<i>Análise de Componentes Principais</i>	82
5.2.1.3	<i>Seleção dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i> com maior poder explicativo</i>	84
5.2.2	Análise dos escores de eficiência VRS	87
5.2.3	Definição dos <i>inputs</i> e <i>outputs</i>	88
5.2.4	Avaliação dos escores de eficiência	89
5.2.5	Determinação dos valores ideais de <i>inputs</i> de cada unidade da PCI ..	90
5.3	AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DAS TECNOLOGIAS NA EFICIÊNCIA DAS UNIDADES	92
5.3.1	Construção da árvore de decisão estatística	92
5.3.1.1	<i>Árvore de decisão estatística referente à eficiência técnica VRS</i>	94
5.3.1.2	<i>Árvore de decisão estatística referente à eficiência de escala ESC</i>	95
5.3.2	Dados históricos de criminalidade e o investimento na Polícia Científica	97
5.4	DEMAIS CONSIDERAÇÕES	98
6	CONCLUSÃO	100
	REFERÊNCIAS	102

APÊNDICE A – GAMS VRS	109
APÊNDICE B – GAMS CRS	110
APÊNDICE C – GAMS IRS	111
APÊNDICE D – GAMS DRS	112

1 INTRODUÇÃO

De todas as atividades humanas, a saúde e a segurança são as prioritárias, uma vez que dizem respeito à vida, isto é, ao direito capital natural do ser humano. A manutenção desses setores torna-se primordial para a garantia da cidadania (COSTA, 2010).

No que tange à segurança no Brasil, atualmente, é definida pela Constituição Federal, no artigo 144, como dever do estado, direito e responsabilidade de todos, legitimado através da Segurança Pública. É função do Poder Público, em cada esfera de governo – União, Estados, municípios e com a participação da sociedade civil - atuar conjuntamente em prol de uma segurança pública de qualidade, participativa e inclusiva (BRASIL, 1988). Além disso, deve ser efetivada por meio de políticas públicas de segurança, que visem o interesse público e coletivo e ao exercício de cidadania e do controle social.

Os órgãos de segurança pública vêm primando pela melhoria constante dos procedimentos investigativos. Conforme Miranda (2012), este aprimoramento visa atender ao rápido desenvolvimento científico e às evoluções tecnológicas. Áreas como inteligência policial, tecnologia e gestão da informação e polícia científica são priorizadas através da constante renovação dos recursos tecnológicos necessários e indispensáveis ao exercício de suas atividades.

A tecnologia tem permitido o avanço e a modernização nos mais diversos segmentos de produtos e serviços, tanto do setor privado quanto público, como são os casos dos institutos voltados à segurança pública no Brasil. Soma-se a isto o progresso nas preocupações da privacidade de dados, essencialmente pessoais e jurídicos, fato que fez ocorrer recentemente a publicação da Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), para combater os crimes virtuais (BRASIL, 2018b).

Os avançados usos de tecnologias biométricas inserem-se como recursos atrelados ao direito de um cidadão ser civilmente reconhecido na sociedade. Por outro lado, esta tecnologia também serve como um instrumento valioso na manutenção da segurança pública através do reconhecimento de criminosos. Conforme Brasil (2009), a atividade da identificação biométrica perpassa diversas atribuições da polícia judiciária e propicia facilidades que otimizam a investigação policial, assim como proporciona o pleno gozo de um dos direitos fundamentais do cidadão, qual seja, o

direito à cidadania. Este direito é assegurado através da emissão segura, célere e com qualidade do documento de identidade e certidões de assentos pessoais de seu interesse.

No âmbito da segurança pública, um dos segmentos mais favorecidos com tecnologias digitais foi o de análise forense. De acordo com Fachone e Velho (2007), compete à perícia oficial criminal a adoção da ciência forense, a qual possui responsabilidade nas mais diversas áreas, dentre elas, a papiloscopia forense. A investigação papiloscópica leva em consideração o confronto de impressões digitais latentes, fragmentadas ou não, relacionadas a cenas e objetos de supostos crimes.

Os avanços tecnológicos têm permitido a expansão e aplicação de outras modalidades biométricas, apesar do reconhecimento de digitais ser uma das modalidades biométricas historicamente mais conhecidas e utilizadas. Conforme Awad e Hassanien (2014), as modalidades biométricas ampliam a gama de instrumentos analíticos para os órgãos de segurança pública. Desse modo, a inserção de sistemas biométricos tem trazido facilidades nas operações investigativas (GIOT et al., 2013).

À medida que a tecnologia foi avançando e novas funcionalidades foram sendo implementadas, a computação passou a ser uma aliada na resolução de ocorrências criminais. Por outro lado, em 1987, Robert Solow enunciou o “paradoxo da produtividade”, segundo o qual os computadores estavam presentes em todos os lugares, exceto nas estatísticas de produtividade. A partir da publicação de Solow, inúmeros pesquisadores, ressalta-se Erick Brynjolfsson, passaram a estudar essa hipótese de antagonismo nas mais diferentes áreas da sociedade, buscando concluir a existência ou não do paradoxo da produtividade.

Portanto, este estudo terá como tema central a avaliação da eficiência de tecnologias digitais inseridas no setor investigativo, mais especificamente em análises forenses papiloscópicas, das unidades da Polícia Científica de um Estado Brasileiro. Ao final da análise, será possível identificar se o paradoxo da produtividade se aplica ao presente estudo.

1.1 IMPORTÂNCIA

A coleta biométrica de impressões digitais, essencialmente através de prontuários, via tintada, já é desempenhada no Brasil há mais de cem anos, desde a

criação dos Gabinetes de Identificação e dos Institutos Médico Legal. Inicialmente, voltado ao cadastro civil e, eventualmente, para averiguação de crimes através da análise forense papiloscópica. As fichas eram documentadas em pastas e arquivadas, mas foi somente neste século que as impressões digitais puderam ser digitalizadas, a fim de facilitar a consulta de maneira mais rápida e tecnológica, ao passo de que os cidadãos brasileiros atualizavam seu Registro Geral (RG) com a coleta física ou digital dos seus dados biométricos (FREITAS, 2012).

O avanço dos sistemas de informação permitiu vincular dados biográficos com dados biométricos, garantindo a unicidade e a consistência para que esses dados pessoais consultados em serviços públicos sejam, de fato, do indivíduo que cada cidadão assume ser (LAI et al., 2011). Essas informações passaram a ser eletronicamente registradas, havendo a possibilidade do armazenamento e pesquisa das impressões digitais por meio de Sistemas Automatizados de Identificação de Impressões Digitais (AFIS - *Automated Fingerprint Identification System*).

Alguns estados brasileiros fazem a utilização destes sistemas biométricos para a emissão de documentos de identificação civil, bem como para sua aplicação no segmento pericial/criminal. Apesar disso, ainda não há um compartilhamento nacional da base biométrica coletada por cada Estado no momento de emissão de um RG, o que fornece brechas para que fraudadores e criminosos atuem em Estados nos quais não possuem seus registros biométricos.

Atualmente, as atividades de identificação criminal nas Polícias Científicas (também chamadas de Institutos Gerais de Perícia) localizadas nos Estados brasileiros envolvem a identificação de indivíduos a critério da autoridade policial e/ou judiciária. Corrobora para a resolução de crimes o segmento de análises forenses, que está vinculado a esses órgãos. Este é responsável por realizar exames periciais laboratoriais empregando conhecimento técnico-científico nas áreas de química forense, toxicologia forense, vestígios biológicos, genética forense, entre outros.

Uma das principais expertises do setor forense é justamente a análise forense papiloscópica. Isso porque o segmento criminal da Polícia Científica se apoia nas coletas de latentes e fragmentos em cenas de crime para confronto, via impressão digital, dos cadastros civis que são realizados por todo cidadão no momento da emissão do documento de identificação civil. Segundo Freitas (2012), o trabalho que era feito manualmente no passado, ao comparar as latentes e os cadastros civis, um

a um, até possivelmente achar um suspeito, foi modernizado com a procura automatizada no sistema de identificação biométrica de diversos Estados.

As Polícias Científicas são organizadas e administradas por cada Estado e possuem diversas unidades regionais para atender as demandas de ocorrências criminais. Essas unidades possuem diferentes quantidades de recursos, incluindo tecnológicos, que contribuem para o desempenho de suas atividades. Um método válido para identificar recursos e características relevantes ao desempenho de organizações é a Análise Envoltória de Dados ou *Data Envelopment Analysis* (DEA). Variadas extensões dessa análise foram propostas ao longo dos anos, de modo a tornar a DEA um meio versátil e frequentemente utilizado para a avaliação de eficiência de processos produtivos. (FRIES, 2013).

Vê-se, dessa forma, a oportunidade de discorrer a respeito do impacto que os recursos, com foco nas tecnologias de informação e comunicação, contribuem na resolução de ocorrências criminais por meio de investigações papiloscópicas nas unidades da Polícia Científica de um Estado brasileiro específico. O estudo possibilita analisar paralelamente o paradoxo da produtividade, ou seja, se de fato as tecnologias implementadas estão possibilitando uma maior eficiência na resolução de crimes pelas unidades da Polícia Científica, à vista disso, se há uma maior segurança pública aos cidadãos.

Ademais, em termos acadêmicos, artigos, monografias, dissertações e teses discutem, no geral, os resultados e benefícios que a biometria e os respectivos sistemas biométricos têm trazido, porém poucos trabalhos abordam a análise de eficiência e produtividade que essas tecnologias proporcionam no segmento de análise forense. Sendo assim, encontrou-se uma oportunidade na literatura para desenvolver um tema polêmico, recente e ainda sem conclusões definitivas, que é o paradoxo da produtividade.

Para que o projeto tenha um direcionamento, faz-se necessário traçar os objetivos desse Trabalho de Conclusão de Curso.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

As avaliações de eficiência em análises forenses do presente trabalho transcorrem em uma amostra das unidades da Polícia Científica de um Estado

brasileiro. Elas podem servir como uma espécie de teste da aplicação de ferramentas de engenharia na análise da eficiência relativa de institutos policiais, tais quais Institutos Gerais de Perícia e Polícias Científicas a nível estadual e federal.

O objetivo geral é analisar a eficiência de recursos tecnológicos na resolução de ocorrências criminais com investigação papiloscópica à luz do paradoxo da produtividade através da técnica de Análise Envoltória de Dados.

Também, para que o objetivo geral do trabalho seja alcançado, faz-se necessária a abrangência dos seguintes objetivos específicos:

- a) Integrar e organizar dados de diversas fontes relativas às ocorrências criminais com investigação papiloscópica das unidades da Polícia Científica de um estado da federação, para constituir a base de dados a ser utilizada no trabalho;
- b) Proceder análise estatística dos dados coletados no intuito de definir variáveis de *input* e *output* que caracterizam o processo de investigação papiloscópica;
- c) Determinar escores de eficiência utilizando modelos DEA das diversas unidades tomadoras de decisão que compõem a instituição em análise;
- d) Aplicar técnicas de inferência estatística para avaliar a eventual contribuição de tecnologias na produtividade das unidades tomadoras de decisão.

1.3 DELIMITAÇÕES

O presente trabalho pretende avaliar a eficiência de tecnologias na resolução de ocorrências criminais sob a ótica do paradoxo da produtividade. Nesse sentido, é importante ressaltar que existem delimitações quanto aos dados e aos conceitos teóricos utilizados no trabalho.

Uma das delimitações está relacionada aos dados obtidos a partir das investigações criminais por meio da papiloscopia, que são amostrais e, portanto, não levam em consideração todas as ocorrências criminais já existentes. Além disso, sua comparação é limitada somente às unidades da Polícia Científica de um Estado brasileiro, não significando que as mesmas conclusões possam ser alcançadas em outros locais de pesquisas. Há também limitações inerentes à qualidade dos dados que, apesar de serem majoritariamente obtidos a partir de fontes primárias, podem não condizer integralmente com a realidade, e nem todos os registros possuem a mesma padronização.

Além disso, o próprio tema principal que diz respeito ao paradoxo da produtividade possui suas limitações: primeiro por se tratar de um termo recente e que não possui conclusões claras na comunidade científica; mas principalmente pelo fato deste estudo estar relacionado a conclusões não necessariamente financeiras — tais quais normalmente a produtividade está atrelada — e sim sobre um direito de cidadania que é a segurança pública. Também não há padrões metodológicos a serem estritamente seguidos para avaliar a existência ou não do paradoxo, estando sua conclusão limitada à análise dos dados da pesquisa através dos modelos DEA.

1.4 ESTRUTURA

Este Trabalho de Conclusão de Curso está estruturado em seis capítulos, os quais são identificados pelos tópicos do documento.

O primeiro capítulo trata da introdução da temática da pesquisa, contextualizando e descrevendo os tópicos gerais estudados, bem como a sua respectiva relevância no âmbito acadêmico e científico. Além disso, são abordados os objetivos do trabalho, delimitações e a estrutura aqui descrita.

Na sequência, o segundo capítulo apresenta o panorama atual dos temas centrais do estudo na comunidade científica através de uma revisão de literatura. Estudos que abordam a avaliação da eficiência em órgãos de segurança pública também são tratados.

O terceiro capítulo, por sua vez, abrange as estratégias e os instrumentos de análise que podem ser utilizados na discussão do paradoxo da produtividade, levando em consideração a eficiência das tecnologias. Para tal propósito, faz-se necessário englobar as técnicas e o uso desses recursos no âmbito da investigação criminal em que o trabalho foi aplicado. São discutidos com maiores minuciosidades as tópicos sobre DEA, biometria e análise forense e paradoxo da produtividade.

Em seguida, no quarto capítulo, são apresentados os procedimentos metodológicos, onde se encontra descrita a metodologia de planejamento e execução do trabalho, tais quais o roteiro metodológico, métodos adotados e a caracterização da pesquisa e do objeto de estudo.

O quinto capítulo apresenta o desenvolvimento e a análise dos resultados do estudo. Inicia-se pela base de dados utilizada no trabalho, seguida de uma análise exploratória multidimensional dos dados coletados e finaliza-se com a avaliação da

eficiência relativa ao uso das tecnologias na resolução de ocorrências criminais com investigação papiloscópica. Sendo assim, o capítulo cinco revela os resultados que foram obtidos a partir das análises estatísticas realizadas, permitindo a comparação e a evidência da existência ou não do paradoxo da produtividade na amostra da pesquisa, bem como análises complementares.

Finalmente, as considerações finais são expostas no sexto capítulo, que revisa o caminho do trabalho, as conclusões dos resultados e o cumprimento ou não dos objetivos propostos no primeiro capítulo. Além disso, são colocadas sugestões de novos temas e trabalhos que podem ser desempenhados a partir deste atual.

Como o trabalho apoia-se na literatura, as referências bibliográficas são denotadas no último item do trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo traz um panorama geral dos trabalhos desenvolvidos até o presente momento e que remetem à problemática do estudo, de modo que se possa obter uma fundamentação do tema nacional e internacionalmente. Permite-se também enxergar onde há oportunidades de pesquisas nos temas menos abrangidos mútua e concomitantemente. Dessa forma, a literatura varrida corresponde essencialmente a termos relacionados à segurança pública, ao paradoxo da produtividade, à avaliação da eficiência produtiva, à análise forense e aos Sistemas Automatizados de Identificação Biométrica (ABIS - *Automated Biometric Identification System*).

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa de conteúdo dos tópicos primordiais que englobam a monografia a fim de delimitar e visualizar oportunidades de estudos inovadores no âmbito acadêmico para então definir os objetivos do presente trabalho. A busca exploratória concentrou-se no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), visto que possibilita o acesso integrado às mais diversas bases de dados de todas as áreas do conhecimento. *Scielo*, *Science Direct*, *Scopus*, *Springer* e *Web of Science* são exemplos de bases que estão presentes no portal. Pesquisas em sites de buscas na internet e jornais e revistas com temáticas específicas da literatura pertinente também foram realizadas com o intuito de trazer à tona conteúdos complementares, para que não houvesse limitação somente a uma plataforma. Além disso, houve a colaboração da Polícia Científica do Estado em que a pesquisa foi realizada no fornecimento de materiais explanadores, os quais contextualizam o tema não somente técnica, mas historicamente.

2.1 PORTAL DE PERIÓDICOS DA CAPES

O contexto da literatura a respeito da temática do objeto de estudo foi analisado inicialmente. Desta forma, é possível avaliar, em termos acadêmicos, a importância que tem sido dada a este assunto. Com base nisso, será possível na sequência descrever o paradoxo da produtividade voltado à análise forense em ocorrências criminais.

Uma pesquisa foi realizada, a partir das palavras-chaves definidas, em todas as bases de dados disponíveis para acesso de modo a quantificar a oportunidade do

trabalho como justificativa de um tema inovador. Considerou-se como resultado apenas os periódicos revisados por pares. Dessa forma, pode-se mensurar e realizar comentários a partir do que se tem publicado até dezembro de 2021:

- a) “Paradoxo da produtividade” (“*Productivity paradox*”): por ser um tema relativamente recente e estudado em diferentes áreas da sociedade, foram encontrados 32.607 periódicos internacionais que abordam o paradoxo da produtividade, sobretudo dos Estados Unidos da América, onde o termo foi publicado pela primeira vez. A abordagem é voltada majoritariamente para ciências sociais e tecnológicas. No Scielo Brasil, foram encontrados somente 598 periódicos.
- b) “ABIS” (“*Automated Biometric Identification System*”): no que diz respeito ao Sistema Automatizado de Identificação Biométrica, foram filtrados 8.831 periódicos internacionais que abordam a temática, sobretudo das evoluções técnicas desses sistemas. No Scielo Brasil, somente quinze periódicos abordam a temática na literatura.
- c) “Análise Forense” (“*Forensics Analysis*”): o assunto no âmbito pericial e criminal é abordado em 178.987 periódicos internacionais, tanto no segmento tecnológico quanto médico. No Scielo Brasil, foram publicados 1.415 periódicos. A abordagem forense permite englobar diferentes áreas da ciência, como as de sistemas de informação, química, biologia, medicina, entre outros.
- d) “Paradoxo da produtividade E ABIS” (“*Productivity paradox AND Automated Biometric Identification System*”): segmentando o paradoxo da produtividade aplicado à Sistemas Automatizados de Identificação Biométrica, foram achados 22 periódicos internacionais, os quais possuem um olhar, em geral, sob a ótica de negócios, em termos financeiros. No Scielo Brasil, há somente um periódico que relaciona as palavras-chaves.
- e) “Paradoxo da produtividade E Análise Forense” (“*Productivity paradox AND Forensics Analysis*”): os periódicos internacionais já delimitam bastante a abrangência desses dois temas em conjunto, com 288 resultados. No Scielo Brasil, foram pesquisados 25 periódicos. Estes, porém, não se especificam na abordagem da papiloscopia forense.

- f) “Análise Forense E ABIS” (“*Forensics Analysis AND Automated Biometric Identification System*”): pelo fato de os temas estarem mais relacionados, há 1.047 periódicos internacionais que trabalham com essas palavras-chaves, sobretudo no âmbito tecnológico e investigativo. 68 resultados foram filtrados no Scielo Brasil, porém há poucos estudos voltados à análise de ocorrências criminais através desses sistemas biométricos.
- g) “Paradoxo da produtividade E ABIS E Análise Forense” (“*Productivity paradox AND Automated Biometric Identification System AND Forensics Analysis*”): delimitando a pesquisa de acordo com o tema central deste trabalho, foram encontrados somente três periódicos internacionais, dos quais nenhum possui completa semelhança com a proposta deste trabalho. No Scielo Brasil, não há nenhum periódico na base de dados que se adequa às três palavras-chaves.

A Tabela 1 resume as pesquisas realizadas e os resultados obtidos em âmbito internacional e nacional.

Tabela 1 – Publicações no Portal de Periódicos da CAPES de acordo com a Palavra-Chave.

Palavras-chaves	Publicações internacionais revisadas por pares	Publicações na base Scielo Brasil
<i>Productivity paradox</i>	32.607	598
<i>ABIS</i>	8.831	15
<i>Forensics Analysis</i>	178.987	1.415
<i>Productivity paradox AND ABIS</i>	22	1
<i>Productivity paradox AND Forensics Analysis</i>	288	25
<i>Forensics Analysis AND ABIS</i>	1.047	68
<i>Productivity paradox AND ABIS AND Forensics Analysis</i>	3	0

Fonte: autor (2023)

A partir dos resultados encontrados e com a delimitação da temática, nota-se que há uma outra justificativa para o presente trabalho, tal qual seja a oportunidade de investir em um estudo ainda pouco encontrado na literatura, sobretudo nacionalmente.

Três publicações internacionais possuem as palavras-chaves concomitantemente. Apesar disso, nenhuma delas centraliza o estudo a partir de uma análise de dados exploratória e, portanto, permitem que o objeto de estudo apresentado neste trabalho seja inédito.

Evidencia-se, além disso, os reflexos financeiros como objetivo central nas análises destinadas ao paradoxo da produtividade. Temas subjetivos como a avaliação da segurança pública são dificilmente englobados. Dessa forma, pode-se complementar à revisão de literatura os aspectos relativos às análises de eficiência no setor da segurança pública.

2.2 AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA NOS ÓRGÃOS DE SEGURANÇA PÚBLICA

Faz-se necessário inicialmente abordar, a partir da literatura, os estudos que avaliaram a eficiência nos órgãos de segurança pública. Deste modo, é possível quantificar a oportunidade do trabalho como justificativa de um tema inovador.

Como previsto constitucionalmente no art. 37, caput, da Carta Magna, o princípio da eficiência ou princípio da qualidade dos serviços públicos reclama que a atividade administrativa deve ser exercida com presteza, perfeição e rendimento funcional, buscando-se maior produtividade e redução de desperdícios de dinheiro público (BRASIL, 1988).

Pereira Filho (2016) realizou três ensaios sobre mensuração de eficiência e avaliação de impacto em serviços de segurança pública no Brasil. O objetivo destes ensaios era averiguar a existência de níveis diferenciados de eficiência gerencial na condução dos serviços estaduais e distritais de segurança pública federal e, também, para concluir que não há impacto em alguns programas públicos voltados para o mesmo fim. Com os resultados adquiridos, Pereira Filho (2016) observou que os escores de eficiência obtidos indicam resultados gerenciais ineficientes e relativamente assimétricos, de forma que haja grandes possibilidades de incrementos gerenciais nas Unidades da Federação.

O estudo de Pereira Filho (2016) evidencia que há gastos realizados pela

União em programas e contratações que não geram melhorias na eficiência da Segurança Pública. Embora a análise se dê sob uma ótica administrativa e gerencial, com dados comparativos globais e totais, a tese possibilita que outras investigações de eficiência com diferentes amostras e objetos de estudo sejam realizadas no setor. Por outro lado, quando se trata de tecnologias digitais, essa tem ocupado posição de destaque nas agendas governamentais e de organismos internacionais, colocando a transformação digital como meio estratégico para o desenvolvimento das nações.

Em 2018, foi publicada a Estratégia Brasileira de Transformação Digital – E-Digital, que estabeleceu amplo diagnóstico dos desafios a serem enfrentados e uma visão de futuro para a transformação digital do Brasil. Em seguida, foi publicado o Decreto 10.332 de 28 de abril de 2020, que instituiu a Estratégia de Governo Digital para o período de 2020 a 2022.

As iniciativas realizadas ao longo desses últimos anos tornaram o Brasil em 2022, de acordo com os índices fornecidos pelo Banco Mundial, como o segundo país mais avançado em governo digital, tornando-se o líder no Ocidente (GTMI, 2022).

Inicialmente, o conceito de Governo Digital dizia respeito à adoção de soluções tecnológicas para ganhos de eficiência, rapidez e precisão na realização de processos gerenciais que estão por trás do funcionamento da máquina pública. Porém, atualmente, a definição de governo digital se expande tanto para a adoção de ferramentas, práticas e soluções que visem à entrega eficiente de serviços públicos, quanto à interação entre a sociedade e o Estado através dos canais digitais (PITANGUEIRA; BASSO; FONSECA, 2019).

No tocante à busca por eficiência e impacto das tecnologias digitais nas políticas públicas, Pereira Filho (2016) ressalta que o setor de segurança pública brasileiro representa um desafio à parte, haja visto que existe uma demanda quanto à interação e à dinamização de políticas que englobam as três esferas da Federação. Neste caso, cabe à União a competência das atividades de caráter mais estruturante e que têm potencial de gerar maiores externalidades para os demais entes (polícia federal, controle de fronteiras, tráfico de drogas, estradas, meio ambiente, imigração, etc.). Para os Estados brasileiros, cabe a organização e manutenção do aparelho repressor e de prevenção a delitos (polícias militar, civil e científica) e aos municípios é facultado o apoio subsidiário via implantação de guardas municipais.

Conforme Ooi et al. (2020), os recentes investimentos, apesar de

desburocratizar uma série de processos, não garantem que haja uma melhoria na eficiência dos órgãos em termos de produtividade e, portanto, possibilitam uma verificação atual, onde se encaixa o presente trabalho.

Como mencionado anteriormente, não foi localizada uma metodologia padronizada para guiar um estudo relacionado ao paradoxo da produtividade para avaliar índices de eficiência, sobretudo pelo fato do antagonismo publicado por Solow (1988) remeter às mais diversas áreas que o setor de tecnologia da informação participa. Sendo assim, as análises de dados realizadas pelos milhares de autores que investigaram o paradoxo da produtividade seguem abordagens variadas.

Destacam-se os trabalhos realizados por Ross e Ernstberger (2006), Chen et al. (2006), Sigala et al. (2004) e, mais recentemente, por Liu et al. (2022) – que obtiveram análises do paradoxo da produtividade através de uma Análise Envoltória de Dados (DEA, da sigla em inglês *Data Envelopment Analysis*).

Os trabalhos que envolvem a utilização da DEA na busca de conclusões sobre o paradoxo da produtividade permitem examinar empiricamente a relação entre fatores de TI, métricas de desempenho intermediárias e resultados de negócios, sobretudo no meio empresarial. (LIU et al., 2022).

Além disso, a utilização de DEA envolve uma gama diversa de aplicações. HU et al. (2020) realizaram um estudo a partir da DEA para avaliar a eficiência da segurança pública nos municípios e distritos chineses, devido aos gastos progressivos realizados pelo Governo em segurança social na última década. Apesar de os resultados permitirem uma discussão a despeito do paradoxo da produtividade, os autores abordam técnicas de aplicação de DEA utilizadas no setor de segurança pública.

Sendo assim, a DEA tem se mostrado uma ferramenta multifuncional que pode ser utilizada para avaliar a eficiência de tecnologias digitais em análises forenses e, ao mesmo tempo, permite chegar a conclusões sobre o paradoxo da produtividade.

2.3 DEMAIS CONSIDERAÇÕES

As varreduras realizadas em banco de dados da internet mostraram que a avaliação da eficiência de tecnologias digitais no setor público, principalmente voltada à segurança pública, ainda é um tema em desenvolvimento. Especialmente no

contexto nacional, são poucos periódicos que trabalharam com esse tipo de análise, mas que tem aparecido com mais frequência internacionalmente nos últimos anos.

As pesquisas são ainda mais embrionárias, e pouco assunto é relacionado com o paradoxo da produtividade quando a temática da segurança pública é aprofundada para a análise forense e delimitada no campo biométrico. Apesar disso, como evidenciado na Tabela 1, os temas se relacionam entre si e, para tanto, devem ser intercalados de maneira racional.

Finalmente, como evidenciado por Pelone et al. (2014), as avaliações de eficiência advindas de modelos DEA têm variado amplamente conforme a situação analisada, o que acaba sendo uma barreira para determinar o melhor modelo e as variáveis certas para o atual projeto. Dessa forma, há um desafio iminente para encontrar um modelo de aplicação que interponha a utilização de DEA no setor de segurança pública e o paradoxo da produtividade de tecnologias voltadas à área papiloscópica.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica corresponde ao terceiro capítulo do trabalho e se baseia nas discussões acadêmicas a respeito dos conceitos de eficiência em sistemas produtivos, com modelos de eficiência voltados aos recursos tecnológicos. Nesse contexto, são abordados de maneira mais incisiva os estudos que envolvem os modelos de análise, avaliação e conclusão do paradoxo da produtividade. Ademais, são apresentadas as investigações cabíveis à análise forense através de modalidades biométricas de maneira a se correlacionar com os investimentos em segurança pública. Finalmente, descrevem-se algumas das políticas e diretrizes vigentes para a Polícia Científica, especialmente para o setor de investigação de papiloscopia forense do Estado em análise, possibilitando o entendimento do contexto em que o uso de tecnologias biométricas está inserido.

3.1 PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA

Produtividade e eficiência são termos amplos que podem abranger diversos segmentos de objetos de estudo com os mais diferentes objetivos (OSBORNE; KIRSTY STROKOSCH, 2013). Faz-se necessário nesse momento introduzir os conceitos relacionados à teoria de produção, para que posteriormente possa se discutir a respeito da eficiência técnica.

Conforme abordado por Simonsen (1985) e Vasconcelos e Garcia (2004), levando em consideração a firma como unidade de estudo, a teoria da produção preocupa-se com a relação técnica entre a quantidade dos insumos (*inputs*) e dos produtos (*outputs*).

A maneira utilizada para combinar os fatores de produção e transformá-los em bens é chamada de técnica ou tecnologia, que pode ser descrita pela função de produção. Nesta definição, a tecnologia é tratada como uma variável, uma limitação da produção e um determinante das ações próprias da instituição de interesse. Ou seja, trata-se do estado-da-arte da organização. (HALL; LIEBERMAN, 2003; MANSFIELD; YOHE, 2006).

No processo de avaliação do desempenho de uma empresa, normalmente é determinado se ela está mais ou menos eficiente e/ou produtiva. Neste caso, de acordo com Lovell (1993), a eficiência, a produtividade e a eficácia são usadas como

referência para medir a performance da organização.

A eficiência é um princípio básico da teoria econômica neoclássica, tendo-se definido como uma medida de comparação entre um indicador de desempenho e o valor mais elevado possível dentro dos requisitos estabelecidos, podendo ser descrita como absoluta ou relativa. No caso de se avaliar a eficiência absoluta, a produtividade máxima é um valor hipotético e ideal. Quando existe a possibilidade de exceder a meta ou não se consegue facilmente definir um limite, a medida de eficiência relativa é mais indicada, pois considera que o valor mais alto será o maior observado na realidade (PIRES, 2018).

De acordo com o princípio de eficiência produtiva (Equação 1) de Pareto-Koopmans, uma firma é considerada eficiente se, e somente se, nenhum *input* puder ser reduzido sem reduzir também os *outputs* ou se nenhum *output* puder ser aumentado sem aumentar também os *inputs* (KOOPMANS, 1951):

$$E = \frac{P}{P_{max}} \quad (1)$$

Em que:

E : eficiência atual de uma firma;

P : produtividade atual de uma firma;

P_{max} : produtividade máxima que pode ser alcançada por uma firma.

Além disso, Koopmans (1951) relaciona os *outputs* e *inputs* para fornecer o conceito de produtividade, conforme mostrado na Equação 2:

$$P = \frac{\text{Produção}}{\text{Insumos}} \quad (2)$$

Conjuntamente, pode-se estabelecer a relação funcional da produção a partir da teoria da utilidade, conforme demonstrado por de Humphrey (1997):

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3)$$

Em que:

Y : volume de produção;

x : insumos;

Contudo, esta relação torna-se mais complexa nos casos em que é necessário usar mais de um insumo e mais de um produto para calcular a

Produtividade Total dos Fatores (TFP - *Total Factor Productivity*). De acordo com Coelli et al. (2005), esta medida multidimensional pode ser descrita como o quociente da produção total em relação às quantidades de insumos consumidos.

No âmbito individual das organizações, a função de produção revela uma relação técnica, ou seja, um progresso tecnológico, permitindo que os decisores descubram a melhor combinação dos insumos que devem ser empregados para produzir um determinado nível de bens ao menor custo possível, levando em consideração o estágio atual de desenvolvimento tecnológico (GARTNER; ZWICKER; RÖDDER, 2009).

De acordo com Desmet (2003), no caso mais elementar de possuir um produto e um insumo, a produtividade pode ser representada por um quociente entre essas duas variáveis:

$$P = \frac{Y}{x} \quad (4)$$

em que Y representa a quantidade de produto gerado enquanto x representa a quantidade de insumo empregado no processo de transformação.

Quando se trata de uma transformação multidimensional, em que são utilizados n insumos para gerar m produtos, a produtividade pode ser definida pela relação entre a ponderação das quantidades obtidas de produtos e a ponderação das quantidades empregadas de insumos (LUPTÁČIK, 2010):

$$P = \frac{\sum_{j=1}^m p_j y_j}{\sum_{i=1}^n q_i x_i} \quad (5)$$

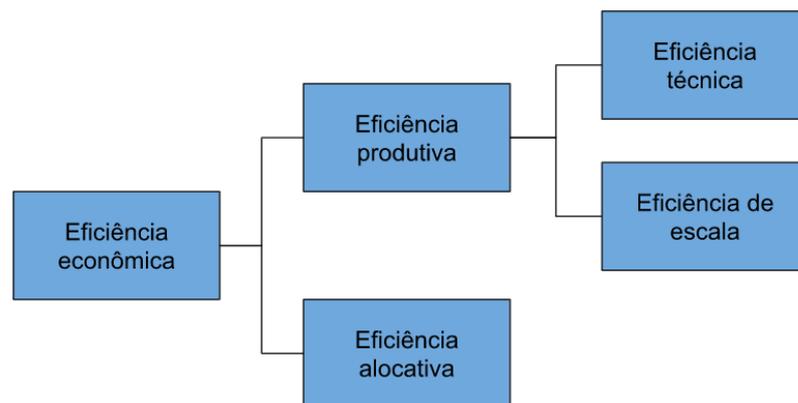
onde y_j representa a quantidade de j -ésimo produto gerado, com $j = 1, 2, \dots, m$ e x_i indica a quantidade do i -ésimo insumo empregado no processo de transformação, com $i = 1, 2, \dots, n$. A multiplicação proporcional é definida pelos pesos p_j e q_i , que são coeficientes técnicos atribuídos pela tecnologia utilizada no processo de transformação de insumos em produtos (LUPTÁČIK, 2010). A rigor, esta relação de produtividade reduz a dimensionalidade decorrente do uso de diversos *inputs* em múltiplos *outputs* para somente um único *input* “virtual” e um único *output* “virtual”.

É possível afirmar que o entendimento do conceito de eficiência está relacionado tanto à compreensão da empresa e o objetivo que esta busca alcançar, como às funções de produção e dos custos de produção estabelecidos pelas relações

dos fatores utilizados e dos produtos gerados no processo de fabricação. De acordo com Agostinho e Pinto (2019), o conceito de eficiência é abrangente e existem diversas medidas que permitem a análise do sistema produtivo em várias dimensões.

Hotelling (1931) propôs a primeira classificação para as eficiências. Em seguida, corroborando com Hotelling, o estudo desenvolvido por Farrell (1957) foi um dos primeiros a detalhar a mensuração da eficiência. O autor lançou dois de seus componentes: a eficiência técnica e a eficiência alocativa, que combinados fornecem uma medida de eficiência econômica (de custos ou receita) (FARRELL, 1957). A Figura 1 classifica os tipos de eficiência.

Figura 1 – Classificação das eficiências.



Fonte: adaptado de Hotelling (1931) e Farrel (1957)

A eficiência técnica refere-se à produtividade de uma estrutura em comparação com outras. Uma empresa é considerada eficiente quando, para um nível de insumos específico, ela consegue atingir a máxima produção possível. A eficiência técnica se refere à habilidade de gerar um determinado nível de produção com a quantidade mínima de insumos sob uma tecnologia específica. Isso significa que não há desperdícios durante o processo de produção, com a eficiência técnica sendo a relação entre a produção atual e a produção potencial. (DUARTE; MANZINI, 2012).

Considerando que y_1^* seja a produção máxima alcançada dado o emprego do insumo x_1 e P^* seja a produtividade máxima para o insumo x_1 . Então, nesse caso de um único insumo e um único produto, tem-se:

$$ET = \frac{y_1}{y_1^*} \frac{\frac{y_1}{x_1}}{\frac{y_1^*}{x_1}} = \frac{P}{P^*} \quad (6)$$

em que ET representa a eficiência técnica como uma razão da produtividade atual e a produtividade máxima possível para tal sistema. Resultados semelhantes são obtidos aplicando uma análise multidimensional através das fórmulas apresentadas em (5).

Para o presente trabalho, é válido considerar a busca por medidas de eficiência técnica relativa, excluindo também a hipótese de que a organização do objeto de estudo seja tecnicamente eficiente. Em virtude disso, Coelli et al. (2005) observam que essa aplicação deve ser realizada na amostra, podendo ser de duas formas:

- a) Análise envoltória de dados (DEA);
- b) Fronteira de produção estocástica (*Stochastic Frontiers - SF*).

Como mencionado, este trabalho estará fundamentado na Análise Envoltória de Dados (DEA) e seus modelos correlatos. De modo geral, a abordagem DEA calcula, considerando um conjunto de q unidades produtivas, a eficiência técnica relativa a k -ésima unidade produtiva, ET_k , a qual realiza a transformação de n insumos (nas quantidades x_j^k , com $j = 1, 2, \dots, n$), gerando uma produtividade P_k , com $k = 1, 2, \dots, q$. Dessa forma, a eficiência técnica da k -ésima unidade produtiva, ET_k , pode ser dada por:

$$ET_k = \frac{P_k}{P^*} \quad (7)$$

onde:

$$P^* = \max_{r=1,2,\dots,q} \{P_k\} \quad (8)$$

3.2 ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS (DEA)

A DEA é um método para medir a eficiência de Unidades Tomadoras de Decisão (DMUs, da sigla em inglês *Decision Making Units*) usando técnicas de programação linear para envoltórios vetoriais de *inputs-outputs* observados da maneira mais específica possível. Sendo assim, a DEA permite que múltiplos *inputs-outputs* sejam considerados ao mesmo tempo sem nenhuma suposição sobre a distribuição de dados (BOUSSOFIANE; DYSON; THANASSOULIS, 1991).

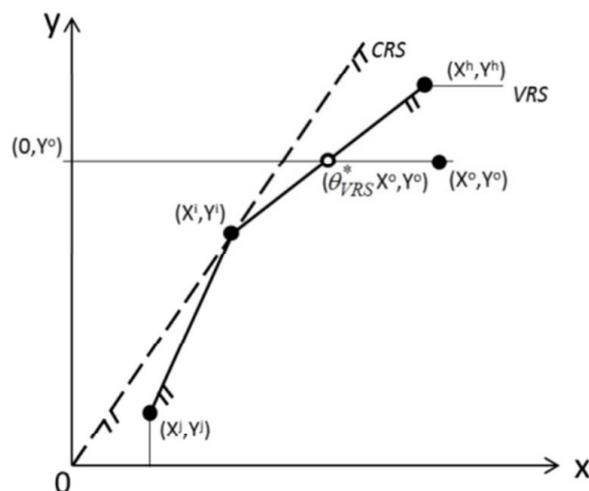
Em cada caso, de acordo com Ji e Lee (2010), a eficiência é medida em

termos de uma mudança proporcional dos *inputs* e *outputs*. A DEA pode ser subdividida em um modelo de orientação através dos *inputs*, que os minimiza enquanto satisfaz pelo menos os níveis de *outputs* estabelecidos, e um modelo de orientação através dos *outputs*, o qual os maximiza sem a exigência de mudança dos valores dos *inputs* observados. Além disso, não exige o conhecimento prévio de correlações entre os *inputs* e *outputs*, de modo que a DEA possa ser empregada em análises com múltiplas entradas e saídas (SENRA et al., 2007).

A modelagem através da DEA também pode ser subdividida em termos de retornos à escala, com a adição de restrições aos pesos. Charnes, Cooper e Rhodes (1978) propuseram a medida de eficiência dos DMUs para modelos de escala constante (CRS - *Constant Return to Scale*), onde todos os DMUs operam em sua escala ótima. Mais tarde, Banker, Charnes e Cooper (1984) introduziram o modelo de medida de eficiência de retorno variável (VRS - *Variable Returns to Scale*), permitindo a decomposição da eficiência em eficiência técnica e de escala na DEA.

A Figura 2 exemplifica a medida de eficiência técnica em termos de retornos variáveis de escala para um processo de transformação de um insumo em um produto. A fronteira de eficiência é definida pelos planos de produção de três DMUs, $h, i, e j$, com planos de produção dados por (X^h, Y^h) , (X^i, Y^i) e (X^j, Y^j) , respectivamente. Quando inserimos uma quarta DMU, o , sua eficiência técnica relativa ao modelo VRS, θ_{VRS}^* , com orientação para *input*, é dada pela relação das distâncias entre os pontos $(0, Y^o)$ e $(\theta_{VRS}^* X^o, Y^o)$ e entre os pontos $(0, Y^o)$ e (X^o, Y^o) (COOPER et al., 2007).

Figura 2 – Medida de eficiência técnica VRS com orientação para *input*



Fonte: Cooper, Seiford e Tone, 2007.

A combinação das medidas de eficiência técnica obtidos com os modelos CRS e VRS pode indicar a existência de ineficiência de escala na operação das DMUs. Cooper, Seiford e Tone (2007) definem eficiência de escala (ESC) como sendo a razão entre a eficiência técnica VRS e a eficiência técnica CRS de uma DMU. A eficiência de escala mais produtiva possível é obtida quando $ESC = 1$.

A eficiência de escala (ESC) da operação das DMUs, definida por Cooper, Seiford e Tone (2007), é obtida quando as medidas de eficiência técnica dos modelos CRS e VRS são combinadas. Neste caso, a eficiência de escala (ESC) da operação é dada pela relação entre as respectivas eficiências técnicas CRS e VRS.

Além disso, há ainda extensões da abordagem DEA que permitem verificar a natureza da escala das operações, isto é, se possuem retornos crescentes ou decrescentes. Retornos crescentes de escala são denominados como IRS (*Increasing Returns to Scale*) e decorrem da operação com produtividade média crescente, que geralmente tende a atingir um patamar de máxima produtividade média. A partir daí, os retornos se tornam decrescentes, conhecidos como DRS (*Decreasing Returns to Scale*), com o incremento da escala das operações.

As eficiências obtidas com os modelos VRS, IRS e DRS devem ser comparadas para determinar a natureza da escala de uma DMU qualquer. Se os coeficientes de eficiência técnica VRS e IRS forem iguais, então a DMU opera numa escala com retornos crescentes, isto é, está abaixo da produtividade média que pode alcançar com suas quantidades de *inputs*. Caso sejam distintos, então a DMU opera numa escala com retornos decrescentes, em uma posição acima da produtividade média com suas quantidades de *inputs*.

Ademais, como observado por Senra et al. (2007), a DEA proporciona a obtenção da eficiência como resultado principal, de maneira a dividir as DMUs em dois grupos (1) eficientes e (2) ineficientes. As DMUs com $e_m = 1$ estão operando com planos de produção na fronteira de eficiência. Valores de $e_m < 1$ indicam que as DMUs estão operando fora dessa fronteira e são ineficientes quando comparadas com as primeiras. Para as DMUs ineficientes, podem-se estabelecer metas para que elas alcancem a fronteira de eficiência. A grande aceitação do modelo se dá principalmente devido à sua objetividade. Para o presente trabalho, será utilizado o modelo VRS na definição de unidades tecnicamente eficientes ou ineficientes.

Meza (1998) recomenda que a aplicação do método, na análise da medida da eficiência, deva ser composta por três etapas:

a) Definição e escolha das DMUs para a avaliação: o conjunto de DMUs selecionado deve utilizar as mesmas entradas e saídas, sendo que só mudam a intensidade. Ele deve ser homogêneo, ou seja, realizar as mesmas tarefas com os mesmos fins, trabalhar sob as mesmas condições de mercado e ter autonomia na tomada de decisões.

b) Determinação dos fatores, variáveis de entrada e saída (*inputs* e *outputs*, respectivamente) relevantes e apropriados para examinar a eficiência relativa das DMUs selecionadas: as variáveis de entrada e saída devem ser escolhidas a partir de uma longa lista de possíveis variáveis relacionadas ao modelo. Essa listagem nos permite ter maior compreensão sobre as unidades a serem avaliadas, explicando melhor suas variações.

c) Aplicação do modelo e análise dos resultados: de acordo com Charnes et al. (1994), podem-se obter as propriedades implícitas da escala de retorno através dos escores de eficiência e projeções de eficiência para as DMUs ineficientes até a fronteira de eficiência.

3.2.1 Modelagem da Análise Envoltória de Dados no setor de segurança pública

A Análise Envoltória de Dados tem aplicações práticas no setor de segurança pública, oferecendo meios para avaliar o desempenho e a eficiência do sistema de segurança. Estudos mostraram que a DEA pode ser usada para inferir conclusões valiosas sobre o desempenho e a eficiência dos programas de segurança pública, permitindo que as autoridades tomem decisões informadas para melhorar a segurança das cidades (FREIRE et al., 2017). Além disso, a DEA também pode identificar falhas no sistema de segurança, permitindo a implementação de melhorias que visam aprimorar significativamente a eficiência do setor.

Existem algumas considerações importantes que devem ser consideradas em sua aplicação para que a DEA seja realizada de maneira fidedigna na área de segurança pública. Em primeiro lugar, os modelos DEA requerem que as variáveis de entrada e saída sejam positivas. Se alguma dessas não for, a variável deve ser modificada por um deslocamento afim, que não altera a identificação das DMUs na fronteira eficiente, tal como é apontado no estudo de Ali e Seiford (1990).

Como acontece com outros métodos baseados em estatísticas, a DEA também aborda o problema da estabilidade nos formatos dos "graus de liberdade". Na DEA, esses graus de liberdade aumentam quando os números de DMUs sobem e diminuem com o número de entradas e saídas (COTTE POVEDA, 2010).

Na DEA, a construção de uma fronteira de produção também se faz necessária para alcançar o maior grau possível de eficiência na segurança pública. Na literatura, são identificados três tipos distintos de fronteiras: contemporânea, intertemporal e sequencial. O presente estudo utiliza a fronteira contemporânea, visto que ela fornece indicadores sobre a produtividade das DMUs para um ano específico. Neste caso, não são consideradas a variação do desempenho das unidades ao longo dos anos, devido às incertezas da variação dos *inputs* e *outputs* ao longo do tempo, além dos erros inerentes à estimação devido a amostras limitadas em relação a fronteiras determinísticas (RAY, 2004).

3.2.2 Modelos estatísticos como incrementos à DEA

Lovell (1993) afirma que existem algumas motivações para mensurar eficiência e produtividade em organizações: primeiro, medidas de eficiência e produtividade permitem obter indicadores de desempenho, de modo que se possa avaliar várias unidades produtivas; segundo, ao medi-los e separando os seus efeitos do processo de transformação, é possível especular quais as origens dos diferenciais de eficiência e produtividade.

A combinação de atributos estatísticos com modelos DEA permite testar premissas, como o paradoxo da produtividade, por exemplo, em relação à correlação entre indicadores de eficiência e condições observadas, que não foram diretamente consideradas nos modelos DEA. Essa análise posterior é conhecida academicamente como uma DEA de várias etapas (*Multi-Stage DEA*). Segundo Cooper et al. (2007), no primeiro estágio os índices de eficiência podem ser determinados, enquanto as correlações entre variáveis de interesse e medidas de eficiência podem ser avaliadas nos estágios seguintes.

Francis (1973) destaca que é sempre importante optar por recursos estatísticos que busquem a simplicidade, já que modelos detalhados podem fornecer resultados confiáveis, mas também são mais difíceis de entender e interpretar. Nesse caso, deve-se optar por modelos que apresentam apenas os parâmetros necessários

para representar adequadamente uma determinada relação. Esse é um conceito conhecido como Princípio da Parcimônia, derivado da Navalha de Ockham, um conceito filosófico cunhado por William of Ockham, que se baseia na seguinte ideia: “entidades não devem ser multiplicadas além do necessário”. Neste caso, a Navalha de Ockham é utilizada para que, na escolha de um modelo, dada a presença de múltiplas opções que descrevem o mesmo problema, seja dada preferência ao modelo mais simples.

Ferramentas estatísticas podem auxiliar na seleção de variáveis que serão utilizadas na DEA. Isso porque permitem evitar que variáveis redundantes, que possuem correlação entre si, ou que não são significativas, sejam incluídas no modelo. Pauli (2013) mostrou que falhas na seleção das variáveis podem prejudicar gravemente nos resultados do modelo, já que redundâncias podem mascarar as influências reais de algumas variáveis. Portanto, saber priorizar as variáveis de entrada e de saída também é uma etapa essencial antes de realizar a DEA.

Ferreira e Gomes (2009) aconselham o seguimento de seis passos na priorização das variáveis que serão utilizadas na DEA: 1) entender minuciosamente a atividade do objeto de estudo; 2) verificar com um especialista quais *inputs* e *outputs* são relevantes; 3) utilizar um número limitado de variáveis; 4) construir tabela de intercorrelações entre todas as variáveis no intuito de excluir variáveis redundantes que estejam fortemente correlacionadas com as demais e aquelas que não possuam poder explicativo na amostra; 5) utilizar modelos de medidas específicas ou modelos com variáveis não discricionárias e 6) realizar uma análise multivariada, como análise de componentes principais e análise fatorial.

3.3 INVESTIMENTOS NOS INSTITUTOS DE SEGURANÇA PÚBLICA

De acordo com a Constituição brasileira, conforme mencionado anteriormente, a segurança pública é dever do Estado, direito e responsabilidade de todos, sendo exercida para a preservação da ordem pública e da incolumidade das pessoas e do patrimônio, por meio dos respectivos órgãos: polícia federal, polícia rodoviária federal, polícia ferroviária federal, policiais civis, policiais militares e corpos de bombeiros militares (BRASIL, 1988).

A carência de recursos estatais, no entanto, de acordo com Soares (2006), que comumente traz a reboque o sucateamento dos órgãos de segurança pública,

impõe a busca por soluções tecnológicas que, a despeito do baixo custo, sejam eficientes para suas finalidades. Esse balanço entre tecnologia de qualidade e redução de custos evoca o conceito de inovação frugal.

A inovação frugal vem recebendo relevância no meio acadêmico e profissional. Isso porque boa parte dessa atenção repousa no seu potencial em pairar entre paradoxos como: criação de valor e captação de valor, custo e qualidade ou preço e performance (Hamacher, 2014). Dessa forma, a avaliação da eficiência e o seu comportamento ao longo do tempo, objeto de estudo deste trabalho, repercute o paradoxo da produtividade como critério de avaliação e observação, visto os trabalhos publicados na Academia.

Soma-se a isso o processo de utilização do dinheiro público no Brasil. A Lei nº 8.666 (Brasil, 1993) foi sancionada pela Presidência da República em 21 de junho de 1993 como forma de disciplinar os processos de compras e contratações dos órgãos públicos, objetivando, sobretudo, garantir o tratamento isonômico a todo aquele interessado em negociar com a Administração Pública e, por outro lado, selecionar a proposta mais vantajosa para a Administração. Esta Lei veio a regulamentar o disposto no Inciso XXI do art. 37 da Constituição Federal (Brasil, 1988), que prevê que todas as compras e contratações efetuadas pela Administração Pública, salvo os casos especificados em lei, devem ser precedidas de procedimento licitatório.

Atualmente, as aquisições de bens e as contratações de empresas para a prestação de serviços são feitas, no âmbito da Administração Pública federal, preferencialmente, por pregão, na sua forma eletrônica. O pregão eletrônico caracteriza-se pela utilização de recursos de tecnologia de informação nos procedimentos licitatórios, proporcionando a comunicação e a interação a distância, pela internet, entre os agentes públicos responsáveis pela licitação (pregoeiro e equipe de apoio) e os licitantes (empresas interessadas em fornecer ou contratar com a Administração). Destacam-se entre as vantagens proporcionadas por este instrumento a maior celeridade dos procedimentos, a ampliação do leque de interessados e a maior transparência e publicidade dos atos administrativos (DE FREITAS et al., 2013).

Grande parte das licitações no Brasil, diferentemente de outros países, além das exigências mínimas de participação em cada Edital, elege o primeiro colocado

aquele que apresenta o menor valor global da proposta em termos financeiros. Por vezes, a falta de critérios técnicos promove a não efetividade dos objetos de contratação, reforçando, novamente, a possibilidade de existência de um paradoxo entre o dinheiro público investido e o seu respectivo retorno de maneira eficiente (PINHO, 2008). Essas afirmações em termos acadêmicos reforçam o estudo que está sendo realizado nesse trabalho.

3.4 ANÁLISE FORENSE NA POLÍCIA CIENTÍFICA

O setor de análise forense desempenha uma variedade de funções e está incluso em todos os estados através da polícia científica e dos institutos de perícia. Essas funções incluem o uso de tecnologia avançada para pesquisar evidências, interpretar imagens, descobrir e examinar impressões digitais, analisar materiais biológicos e identificar padrões suspeitos. A análise forense também pode ajudar a reconstruir um crime e certificar-se que apenas evidências admissíveis sejam usadas em tribunais. Além disso, ela pode ajudar a estabelecer teorias e justificá-las com provas (BERTINO, 2016). Uma das áreas que mais têm contribuído para a análise forense é a da papiloscopia forense, através da análise biométrica.

3.4.1 Biometria

Há milhares de anos, a biometria tem sido utilizada para a identificação humana: na Babilônia, há registros de transações comerciais que utilizaram impressões digitais, e na China, artesãos assinavam suas obras com as suas impressões digitais datadas de 500 A.C. No Egito antigo, os comerciantes eram identificados por meio de características físicas, através de marcas ou cicatrizes, como forma de diferenciar aqueles de boa reputação (BLACKBURN et al., 2006).

Conforme Li e Jain (2015), a biometria faz alusão ao reconhecimento de indivíduos baseado em suas características de comportamento ou biológicas, ou seja, consiste na associação de métodos estatísticos com as características físicas ou de comportamento para a identificação do indivíduo.

A biometria, em especial o reconhecimento de um indivíduo por impressões digitais, passou a ser considerada como uma ferramenta poderosa para a identificação de civis e até mesmo de criminosos. Muitos dos principais departamentos de polícia passaram a armazenar as impressões digitais de criminosos, o que

possibilitaria a combinação de impressões digitais latentes encontradas na cena do crime com impressões digitais no registrados para determinar a identidade dos criminosos. O uso das impressões digitais surgiu com um viés para a identificação científica de criminosos, estendendo sua aplicação posteriormente para a identificação civil (JAIN, A.K.; ROSS; PRABHAKAR, 2004).

A impressão digital pode identificar um ser humano por conta de um número estatístico. Segundo o antropólogo inglês Sir Francis Galton, em seu livro publicado em 1882, *Fingerprints*, a chance de encontrar duas pessoas com a impressão digital idêntica é de 1 em 64 bilhões. (CHEMELLO, 2006).

A biometria não se refere somente à impressão digital, como é geralmente confundida. Qualquer característica fisiológica ou comportamental humana pode ser usada como característica biométrica desde que ela satisfaça alguns requisitos básicos, conforme cita Clarke (1994):

1. Universalidade, quer dizer que toda a população (a ser autenticada) deve possuir a característica, mas na prática, há pessoas que não possuem impressões digitais, por exemplo;
2. Unicidade, já que uma característica biométrica deve ser única para cada indivíduo, ou seja, a possibilidade de pessoas distintas possuírem características idênticas, deve ser nula ou desprezível. Assim, por exemplo, a altura de uma pessoa não é uma boa característica para autenticação, já que várias pessoas podem possuir a mesma altura. Na prática, as características biométricas podem apresentar maior ou menor grau de unicidade, mas nenhuma delas pode ser considerada absolutamente única para cada indivíduo;
3. Permanência, isto é, a característica deve ser imutável. Na prática, existem alterações ocasionadas pelo envelhecimento, pela mudança das condições de saúde ou mesmo emocionais das pessoas e por mudanças nas condições do ambiente de coleta;
4. Coleta, ou seja, a característica tem que ser passível de mensuração por meio de um dispositivo. Na prática, todas as características biométricas utilizadas comercialmente atendem a este requisito. Muitas vezes, porém, são utilizadas instrumentações com diferentes características técnicas para a coleta de uma mesma base, o que pode gerar divergências de qualidade da coleta;

5. Aceitabilidade, uma vez que a coleta da característica deve ser tolerada pelo indivíduo em questão. Na prática, existem preocupações com higiene, com privacidade de dados, além de questões culturais que podem diminuir a aceitação da coleta por parte da população.

3.4.2 Modalidades e tecnologias biométricas

Existem também outras modalidades biométricas que permitem identificar uma pessoa (LI; JAIN, 2015). A Tabela 2 compara diferentes modalidades biométricas segundo os cinco requisitos de Clarke (1994) e ao desempenho e à falseabilidade de cada modalidade, de acordo com Jain et al. (2004). A classificação é qualitativa segundo três níveis das características: A - Alta, M - Média e B – Baixa.

Tabela 2 – Comparação das características das modalidades biométricas

Modalidade Biométrica	Universalidade	Unicidade	Permanência	Coleta	Aceitabilidade	Desempenho	Falseabilidade
DNA	A	A	A	B	B	A	B
Ouvido	M	M	A	M	A	M	M
Face	A	B	M	A	A	B	A
Termograma Facial	A	A	B	A	A	M	B
Impressões digitais	M	A	A	M	M	A	M
Maneira de andar	M	B	B	A	A	B	M
Geometria da mão	M	M	M	A	M	M	M
Veias palmares	M	M	M	M	M	M	B
Íris	A	A	A	M	B	A	B
Digitação	B	B	B	M	M	B	M
Odor	A	A	A	B	M	B	B
Retina	A	A	M	B	B	A	B
Assinatura	B	B	B	A	A	B	A
Voz	M	B	B	M	A	B	A

Fonte: adaptado de Clarke (1994) e a Jain et al. (2004)

A implementação destes métodos varia consideravelmente, apesar de existirem inúmeras modalidades biométricas disponíveis para uso. Ionescu, Briciu e Stan (2010) destacam que existem alguns fatores principais que limitam a implementação de sistemas biométricos, dentre elas custo, segurança e aceitação.

O custo de implementar sistemas biométricos é considerado um dos principais obstáculos na adoção de outras tecnologias biométricas, pois envolve desde a aquisição de equipamentos e *software* especializado até a manutenção e criação de serviços. Além disso, a segurança também é outro fator importante, pois é necessário garantir que o sistema seja eficaz na identificação segura de usuários autorizados. Por último, mesmo com tecnologia avançada, a aceitação dos usuários continua sendo um dos principais desafios na implementação de sistemas biométricos, pois é importante que o público compreenda como o sistema funciona para ter confiança nele. Em suma, apesar das vantagens oferecidas por diferentes modalidades biométricas, há algumas questões que precisam ser consideradas antes da implementação desses métodos (IONESCU; BRICIU; STAN, 2010).

Nesse sentido, as impressões digitais têm se mostrado como o padrão mais confiável e estabelecido para uso em sistemas biométricos. De acordo com a pesquisa de Chen e Lin (2008), as principais vantagens das impressões digitais são a estabilidade e confiabilidade, pois elas têm pouca ou nenhuma alteração durante a vida de um indivíduo.

Isso torna as impressões digitais ideais para serem usadas de maneira *offline* e *online*. Do primeiro modo, através dos SDKs (*Software Development Kit*), que permitem a leitura de impressões digitais de scanners e verificação da impressão digital um contra um (1:1) somente, geralmente aplicadas em pequenas bases de dados. Nesse caso, o controle de qualidade pode ser aplicado para aceitar apenas as impressões digitais de boa qualidade a partir de scanners de impressões digitais. Porém, para largas escalas de dados, existe o modelo *online*, que ocorre através de um AFIS, que foi projetado especificamente para permitir a identificação rápida e precisa de indivíduos através das impressões digitais de grandes bases de dados.

Comparativamente, outros métodos biométricos, como o reconhecimento facial, possuem menor estabilidade, pois são afetados por mudanças na aparência dos indivíduos, limitando significativamente sua capacidade de identificação. Além disso, as impressões digitais também têm um alto nível de consentimento entre o

público em geral, devido à sua fácil compreensão e aceitação generalizada. Dessa forma, as impressões digitais continuam sendo amplamente utilizadas em sistemas biométricos devido à sua confiabilidade, estabilidade e aprovação das pessoas (CHEN; LIN, 2008). A Tabela 3 mensura o *Market Share* da utilização das modalidades biométricas no ano de 2013.

Tabela 3 – *Market share* das tecnologias biométricas

Tecnologias biométricas	<i>Market Share</i>
AFIS	33,60%
Veias palmares	3,00%
Reconhecimento de voz	3,20%
<i>Middleware</i>	5,40%
Reconhecimento facial	12,90%
Geometria da mão	4,70%
Íris	5,10%
Impressões digitais (<i>offline</i>)	25,30%
Outras modalidades	4,00%
Múltiplas modalidades	2,90%

Fonte: adaptado de Singla e Kulmar (2013)

Os altos investimentos em pesquisa e desenvolvimento têm se voltado atualmente para sistemas que comportam a identificação de múltiplas modalidades, através de um ABIS, apesar do *Market Share* baixo atual (XIAO, 2007).

De acordo com o trabalho de Xiao (2007), um ABIS oferece maior precisão e segurança para identificar pessoas, já que usa múltiplas modalidades biométricas como as impressões digitais, reconhecimento facial, reconhecimento de voz, reconhecimento de íris, entre outras formas de identificação biométrica. Esta integração de diversas modalidades biométricas, com inclusão primordial das impressões digitais, faz com que um ABIS seja ainda mais preciso e seguro que utilizar somente uma modalidade biométrica, aumentando assim a confiança dos usuários e fornecendo maior segurança aos serviços.

Embora haja benefícios significativos na implantação de um ABIS, também

existem algumas desvantagens e dificuldades. Isto inclui o alto custo de implementação, que pode ser inviável para órgãos menores, bem como a necessidade de manter os sistemas atualizados para garantir a compatibilidade entre dispositivos usados para capturar informações biométricas e o ABIS em si. Outra preocupação é a integração adequada dos módulos com as informações biométricas e biográficas já disponíveis nos institutos. Além disso, vale ressaltar que os dados biométricos podem ser sensíveis a interferências físicas externas e internas, e cabe às organizações manter seus sistemas ABIS altamente protegidos (XIAO, 2007).

3.4.3 Processos biométricos

De acordo com Daugman et al. (2008), os sistemas biométricos empregam inúmeros procedimentos distintos, dos quais se destacam: cadastro, coleta em tempo real, extração do *template* e comparação do *template*.

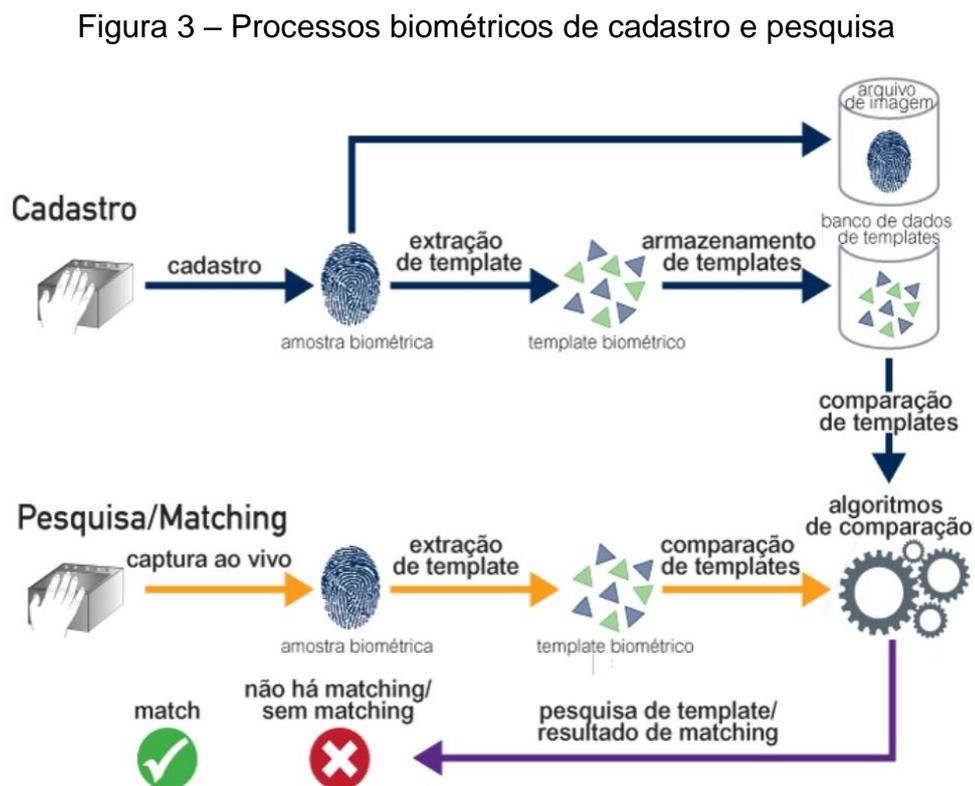
O objetivo do cadastro é reunir e armazenar amostras biométricas e produzir modelos numéricos para futuras comparações. Ao salvar amostras "brutas", novos modelos de substituição podem ser gerados caso um novo algoritmo de comparação seja introduzido no sistema. A adoção de práticas que facilitam o registro de amostras de alta qualidade tornam-se fundamentais para a homogeneidade da amostra, aumentando o desempenho global de matching que é especialmente importante para a confirmação biométrica pelo método de busca de 1:N (um contra vários).

A captura em tempo real diferencia-se do processo de cadastro sendo o procedimento de recolhimento de amostras de "verificação" biomecânica no momento do uso ou verificação e comparação destas com uma "galeria" previamente estabelecida de *templates*. O procedimento da extração de *templates* exige tratamento de sinal das amostras biométricas "brutas" (ex.: imagens ou sonorização) para gerar um *template* numérico. Os *templates* normalmente são fabricados e memorizados no instante do cadastro para economizar tempo de tratamento nas comparações futuras. A comparação de dois *templates* biométricos emprega cálculos algorítmicos para avaliar sua similaridade.

Na comparação, uma pontuação de matching é atribuída. Se essa pontuação estiver acima do limiar de qualidade definido (*threshold*), os *templates* são considerados como um matching positivo. Usualmente, os algoritmos de extração e

comparação de *templates* biométricos são proprietários (diferentes e confidenciais) e, por conseguinte, não podem ser utilizados com outros fornecedores do mesmo sistema (ex.: para comparar os *templates* gerados por produtos diferentes ou fazer uso de um algoritmo de matching de uma companhia para comparar os *templates* criados por algoritmos de outra firma). As exceções são geradores de minúcias de impressões digitais certificadas pelo MINEX (padrão para mineração de dados de reconhecimento) e os algoritmos de verificação. Esta categoria de *templates* e matchers foi especificamente projetada, submetida a teste e certificada por meio independente pelo NIST para ser interoperável para a confirmação de um a um, sendo perfeita para armazenamento compacto em cartões inteligentes ou passaportes (MINEX, 2006; NIST, 2013). Dessa forma, sistemas biométricos, sejam eles AFIS ou ABIS, que possuam seus algoritmos certificados pelos MINEX podem ser substituídos para uma mesma base de dados biométricos. Neste caso, a detentora da base, como por exemplo um instituto policial, não sofre prejuízo na base já cadastrada.

A Figura 3 ilustra os processos biométricos no que tange ao fluxo de cadastro, que é realizado inicialmente, e de uma posterior pesquisa, a fim de encontrar o matching daquele *template* biométrico.



Fonte: Aware biometrics (2017)

3.4.4 Precisão dos sistemas biométricos

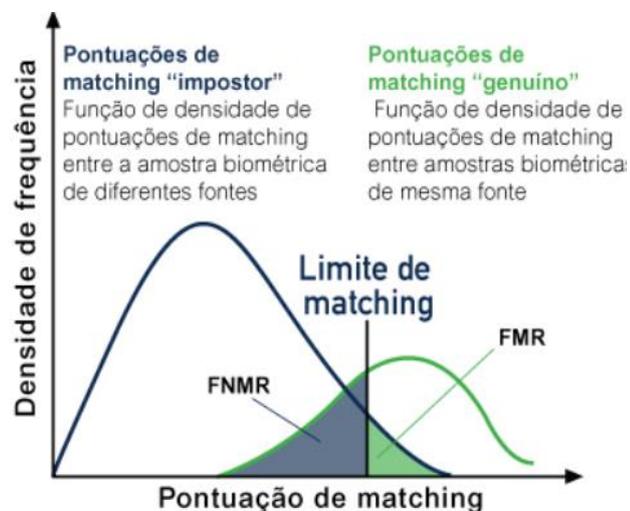
Devido à interferência ambiental, fatores externos, variações nas características pessoais e a maneira que o usuário interage com o dispositivo de captura, duas amostras de uma característica biométrica de uma mesma pessoa nunca serão idênticas (MARAGNI et al., 2017). Por isso, os sistemas biométricos computam um índice de comparação entre a característica de consulta (*probe*) e a característica do banco de dados (*gallery*) e essa pontuação determinará se a correspondência é genuína ou se é impostora (fraudulenta).

Um limiar t (*threshold*) deve ser definido para regular a decisão do sistema. Se a pontuação for igual ou maior que t , considera-se que as características pertencem à mesma pessoa. Isso faz com que um sistema biométrico se torne mais ou menos rigoroso, e a variação do *threshold* varia conforme a aplicação do sistema.

Os sistemas biométricos podem apresentar dois tipos de erros: Taxa de Falsas Correspondências (FMR - *False Match Rate*) e Taxa de Falsas Não-Correspondências (FNMR - *False Non-Match Rate*).

Para desempenhar corretamente, um sistema biométrico deve fazer uma compensação entre essas taxas de erro. A Figura 4 apresenta esta relação.

Figura 4 – Funções de densidade de pontuações de comparação entre amostras de fontes diferentes e amostras das mesmas fontes, ilustrando o FMR e o FNMR



Fonte: Aware biometrics (2017)

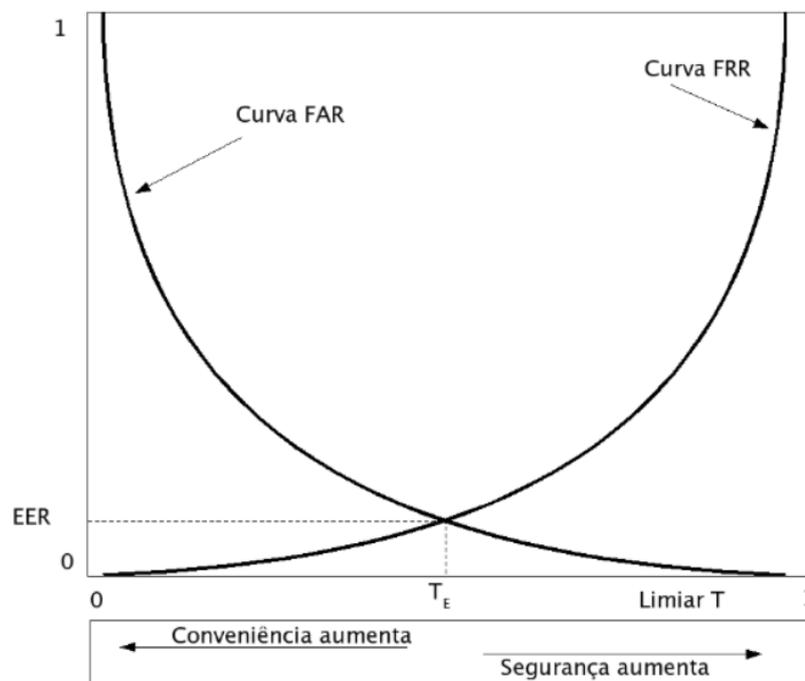
FMR indica que duas características biométricas de pessoas distintas são consideradas como provenientes da mesma pessoa, isto é, a probabilidade de se

aceitar um indivíduo fraudulento no sistema, enquanto FNMR significa que as características de uma mesma pessoa são consideradas como provenientes de duas pessoas distintas, ou seja, a probabilidade de se rejeitar um indivíduo genuíno (PRABHAKAR; PANKANTI; JAIN, 2003).

Uma outra análise da precisão dos sistemas biométricos pode ser feita com a Taxa de Falsa Aceitação (FAR - *False Accept Rate*) e com Taxa de Falsa Rejeição (FRR - *False Reject Rate*), as quais são análogas às taxas FMR (Taxa de correspondência falsa) e FNMR (Taxa de não correspondências falsa) respectivamente. Nesse caso, FAR é a taxa em que um falso sujeito é aceito como genuíno e FRR é a taxa em que uma correspondência genuína é categorizada como impostora (PINTO et al., 2018).

Com a FAR e a FRR, é possível calcular a Taxa Igual de Erro (ERR - *Equal Error Rate*) como uma medida de nível de segurança que identifica um limite quando ambas as taxas FAR e FRR têm o mesmo valor, sendo este um dos critérios na obtenção de certificados da MINEX e NIST, conforme ilustrado na Figura 5:

Figura 5 – Curvas FAR e FRR e Taxa Igual de Erro (ERR)



Fonte: adaptado de Jain, Ross e Prabhakar (2004)

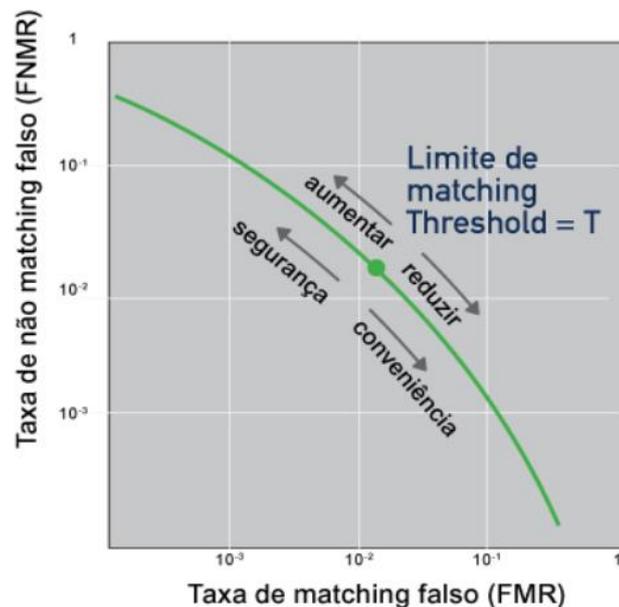
Nesse caso, a definição de um *threshold*, mencionado como “Limiar T” na Figura 5, para o sistema biométrico fará com que a verificação biométrica possa ser

mais conveniente ou mais segura. Conseqüentemente, o limiar de qualidade pode facilitar ou dificultar uma identificação ou verificação biométrica.

São utilizadas curvas de desempenho para avaliar a precisão dos sistemas biométricos (MARTIN et al., 1997). A curva ROC (Características Operacionais do Receptor), *Receiver Operating Characteristics*, é uma maneira de entender o desempenho de um sistema biométrico, sendo ela traçada como um gráfico bidimensional no qual a Taxa de Falsas Não-Correspondências (FNMR), é plotada no eixo Y enquanto que a Taxa de Falsas Correspondências (FMR) é esboçada no eixo X (FAWCETT, 2006).

Para aplicações civis, um equilíbrio entre essas duas taxas é preferível. A Figura 6 exibe uma curva ROC para um determinado sistema de correspondência biométrica e conjunto de dados.

Figura 6 – Curva ROC para um determinado sistema de correspondência biométrico e conjunto de dados

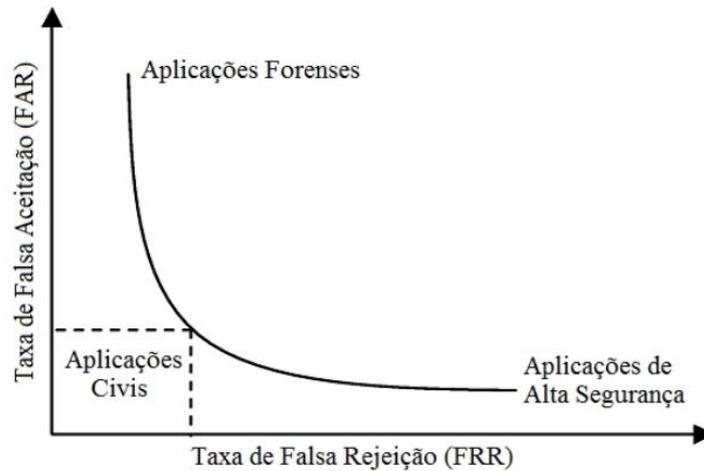


Fonte: Aware biometrics (2017)

Na identificação forense, a FRR é considerada mais crítica do que a FAR, já que esse tipo de aplicação lida com a identificação criminal em que é essencial que nenhum suspeito passe sem ser detectado. Em aplicações de alta segurança há uma dinâmica oposta, onde a FAR torna-se o fator mais relevante, visto que o objetivo primordial é impedir o acesso de fraudadores e, nesse caso, uma pessoa verdadeira perde o acesso a seu próprio sistema por conta do elevado *threshold* (SILVA, 2015).

A Figura 7 apresenta o comportamento dessas taxas conforme a aplicação dos sistemas biométricos.

Figura 7 – Aplicações de sistemas biométricos em função das taxas FAR e FRR



Fonte: Silva (2015)

3.4.5 Possibilidades e limitações dos sistemas biométricos

Os sistemas biométricos são usados para a autenticação de pessoas. Nestes sistemas, existem dois modos de autenticação: a verificação e a identificação (BOLLE et al., 2004). Na verificação, a característica biométrica é apresentada pelo usuário juntamente com uma identidade alegada, usualmente por meio da digitação de um código de identificação. Esta abordagem de autenticação é dita uma busca 1:1, ou busca fechada, em um banco de dados de perfis biométricos. O princípio da verificação está fundamentado na resposta à questão: “O usuário é quem alega ser?”.

Na identificação, o usuário fornece apenas sua característica biométrica, competindo ao sistema “identificar o usuário”. Esta abordagem de autenticação é dita uma busca 1:N, ou busca aberta, em um banco de dados de perfis biométricos. O sistema busca todos os registros do banco de dados e retorna uma lista de registros com características suficientemente similares à característica biométrica apresentada. A lista retornada pode ser refinada posteriormente por comparação adicional, seja pelo sistema ou com intervenção humana. Basicamente, a identificação corresponde a responder à questão: “Quem é o usuário?” (BOLLE et al., 2014).

A identificação também é utilizada em aplicações conhecidas como de varredura (*screening*), que somente podem ser executadas usando alguma forma de

biometria. Estas são aplicações de busca com política negativa, pois procuram estabelecer se um indivíduo está em alguma lista de pessoas de interesse, como a lista dos mais procurados, ou um banco de dados de algum tipo de benefício. O propósito de uma varredura é prevenir o uso de múltiplas identidades. Por exemplo, se A já recebe algum benefício e agora alega ser B e gostaria de receber de novo o benefício, o sistema pode estabelecer que B já está no banco de dados.

Com efeito, nenhuma característica biométrica real consegue atender com perfeição todos os requisitos de uma característica biométrica ideal. Por outro lado, a possibilidade de utilizar múltiplas características biométricas traz mais confiabilidade aos resultados e reduz a chance de eventuais erros, além de aumentar a acurácia mensurada. Um ABIS permite integrar diferentes modalidades biométricas e, conseqüentemente, torna-se o sistema mais robusto para a identificação e autenticação individual e única.

No caso dos AFIS, o sistema também permite realizar a identificação de impressões digitais coletadas em locais não convencionais (DAUGMAN et al., 2008).

De acordo com Caballero (2012), os métodos de coleta de impressões digitais em locais não convencionais ficaram conhecidos, mais tarde, como impressões latentes, e esta descoberta favoreceu a coleta de impressões digitais em locais onde ocorreram crimes. A partir daí que inicia a análise forense.

Antigamente, o confronto das impressões digitais coletadas para emissão de documentos com aquelas encontradas em cenas de crimes era feito através dos próprios prontuários, isto é, das fichas oficiais onde eram coletadas as impressões digitais (ROSA, 2016). A limitação é que o papiloscopista, profissional responsável por essa atividade pericial, necessitava olhar uma a uma, de maneira metódica para, eventualmente, positivar o confronto.

A pesquisa papiloscópica se tornou automatizada a partir do momento que as tecnologias desenvolvidas viabilizaram o registro e o vínculo de informações biográficas (como nome, documento, data de nascimento, filiação, etc.) de um cidadão com suas informações biométricas.

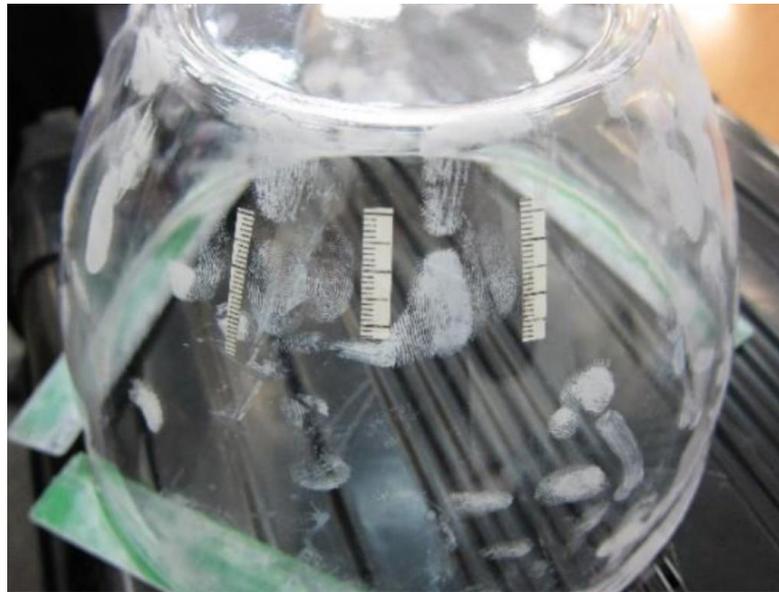
Algoritmos, em geral, proprietários, os quais permitem a correspondência da impressão digital de referência com o suspeito que está sendo retornado, são necessários para que as informações sejam retornadas através da pesquisa de toda a base biométrica. Para tanto, segundo Niculescu e Coman (2017), uma boa

compreensão do processo de matching é essencial para a correta interpretação dos resultados de um processo em um AFIS. Embora a correspondência nos algoritmos seja bastante complexa, a ideia geral de que deveria ser bem entendido é que os resultados do processo de correspondência são fornecidos em um sentido probabilístico. Esta observação é muito importante na preparação, operação e precisão dos sistemas biométricos.

A informação de referência na resolução de ocorrências criminais com investigação papiloscópica se trata de uma latente de uma cena de crime. Neste caso, as latentes possuem naturalmente uma qualidade muito diferente e inferior a uma coleta procedimental, tais quais são realizadas na emissão de documentos civis, por exemplo.

A Figura 8 exemplifica o caso de diversos fragmentos de impressões digitais coletados em um local não convencional de uma cena de crime.

Figura 8 – Diversos fragmentos de latentes em uma taça de vinho



Fonte: Griaule Biometrics (2021)

As Figuras 9 exemplifica o caso de somente o vestígio de uma latente que foi coletada através de uma tela de um *smartphone*.

Figura 9 – Fragmentos de uma latente de impressões digitais em uma tela de um *smartphone*



Fonte: autor (2023)

Por outro lado, a Figura 10 mostra o caso de uma impressão digital coletada de forma controlada e armazenada em um banco de dados, de maneira que seja possível identificar as diferenças de qualidade.

Figura 10 – Impressão digital normatizada coletada em um ambiente controlado

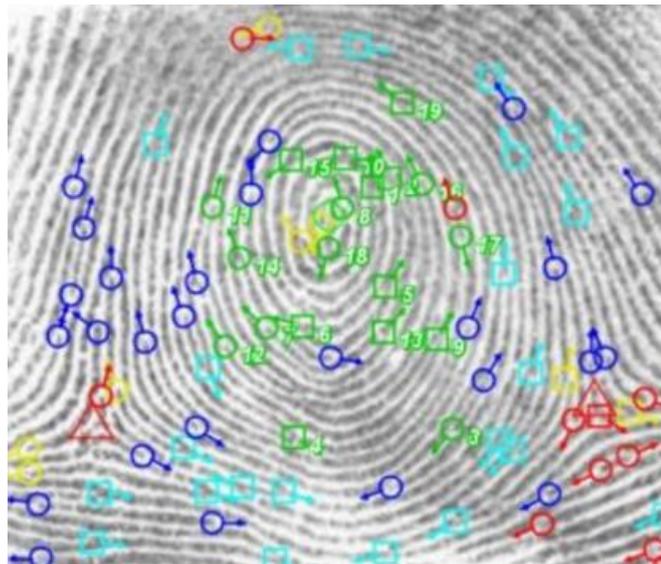


Fonte: autor (2023)

Dessa forma, um AFIS deve possuir robustez suficiente para ser capaz de identificar o fragmento coletado e realizar a busca de forma eficiente na base de dados de interesse, retornando os perfis de cadastros realizados de maneira convencional. (KHUU et al., 2020).

Os algoritmos em cada AFIS são responsáveis por identificar detalhes característicos de impressões digitais. Essas informações são identificadas através de núcleos, terminações, bifurcações, deltas, etc., conhecidos como minúcias. De acordo com Khuu et al. (2020), quando há uma busca a partir de uma latente em um banco de dados, o AFIS utiliza o mesmo algoritmo para identificar as minúcias que estão presentes nas latentes. A partir dos dados característicos – que nesses casos são particulares de cada tecnologia desenvolvida – o AFIS permite vincular os cadastros que possuem maior semelhança com a latente coletada, a fim de encontrar o suposto criminoso. A Figura 11 exemplifica a identificação de minúcias em uma impressão digital coletada de forma controlada.

Figura 11 – Minúcias de uma impressão digital identificadas em um AFIS a partir de uma coleta controlada



Fonte: autor (2023)

Por isso, de acordo com Bukhari e Arshad (2016), as limitações dos sistemas de impressões digitais automatizados estão intrinsecamente ligadas com a exigência tecnológica dos algoritmos dos *softwares*. Isto se deve, por exemplo no caso de impressões digitais latentes, ao elevado grau de variabilidade, pois as impressões

digitais podem ser altamente afetadas pelo ambiente externo, como a umidade, temperatura e condições da superfície em que foram coletadas. Além disso, estas impressões podem sofrer distorções devido à razão de tamanho, o que torna a identificação ainda mais difícil. Dessa forma, apesar da automatização, muitas vezes o perito criminal necessita avaliar manualmente as latentes coletadas, retomando o trabalho no formato em que era realizado antigamente.

3.5 PARADOXO DA PRODUTIVIDADE

O tema do paradoxo da produtividade vem à tona pelo fato de os registros biométricos, especificamente neste século, passarem a integrar as bases tecnológicas dos sistemas de informação. Isso porque imagina-se que os computadores otimizarão as buscas, verificações e registros biométricos. Além disso, o investimento do dinheiro público, principalmente neste século, tem sido direcionado com cada vez mais vigor para a computação e os sistemas de informação, sobretudo aos *hardwares* e *softwares* progressivamente mais modernos.

Solow (1988) afirma que os computadores têm trazido uma importância enorme para a sociedade e se expandido ao redor do mundo. Entretanto, eles só não mostraram essa expansão nas estatísticas de produtividade. O artigo foi publicado justamente no final da década de 80, visto que entre os anos 70 e 80 os computadores passaram a evoluir em termos de tecnologia e funcionalidades, enquanto os EUA avistaram uma grande desaceleração na economia.

Diversos estudos foram realizados para entender a verdadeira causa da desaceleração econômica. Porém, o paradoxo desapareceu com o renovado crescimento da produtividade no mundo desenvolvido na década de 1990. No entanto, as questões levantadas por esses esforços de pesquisa permanecem importantes no estudo do crescimento da produtividade em geral e tornaram-se importantes novamente quando o crescimento da produtividade desacelerou em todo o mundo novamente dos anos 2000 até os dias atuais. Conforme destacado por Erik Brynjolfsson et al. (2019), o crescimento da produtividade desacelerou no nível de toda a economia dos Estados Unidos e, muitas vezes, em setores individuais que investiram pesadamente em TI, apesar dos dramáticos avanços no poder do computador e aumento do investimento nos sistemas de informação.

Um artigo recente de Erick Brynjolfsson, Daniel Rock e Chad Syverson

(“*Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: a Clash of Expectations and Statistics*”) discute e evidencia que a sociedade está vivendo, novamente, um novo paradoxo da produtividade. A primeira explicação é que as novas tecnologias talvez sejam menos promissoras do que parecem. Essa hipótese está associada à pesquisa de alguns economistas, especialmente Robert Gordon, que argumentou que as inovações associadas à Terceira Revolução Industrial, como computadores e smartphones, tiveram impacto bem menor na produtividade que as invenções da Segunda Revolução Industrial, como eletricidade e o motor de combustão interna (GORDON, 2017).

De acordo com Brynjolfsson et al. (2019), uma segunda explicação potencial do paradoxo é que os ganhos de produtividade decorrentes das novas tecnologias não estão sendo capturados nas estatísticas devido a erros de mensuração. Várias inovações que beneficiam o consumidor estão relacionadas a serviços intangíveis ou que são ofertados de forma gratuita. É possível, portanto, que não sejam capturadas no PIB e, conseqüentemente, nos dados de produtividade. Uma terceira hipótese é que os efeitos positivos das novas tecnologias estejam sendo capturados por poucas empresas e, dessa forma, tenham pouco impacto na produtividade agregada. De fato, existem evidências de que a distância entre a produtividade de empresas na fronteira tecnológica e as demais aumentou nos últimos anos.

Uma quarta explicação do paradoxo é considerada a mais provável por Brynjolfsson, Rock e Syverson, embora cada uma dessas explicações tenha algum mérito. Os pesquisadores defendem que pode haver uma defasagem temporal entre o surgimento de uma tecnologia e seu efeito na produtividade. Isso ocorre especialmente no caso de tecnologias que afetam a economia de forma profunda e disseminada, conhecidas como *general purpose technologies*.

Essas inovações exigem mudanças profundas na forma de organização das empresas e no ambiente regulatório para que seu potencial seja plenamente explorado. Tanto a eletricidade como o computador levaram cerca de 25 anos para serem integralmente incorporados ao processo produtivo, e os autores acreditam que o progresso observado na última década na área de inteligência artificial eventualmente se traduzirá em forte aceleração da produtividade.

Em resumo, o impacto das novas tecnologias sobre a produtividade tem sido surpreendentemente modesto e sem uma conclusão clara. No entanto, o aumento de

produtividade resultante da automação reduz o custo de produção e o preço, o que estimula a demanda pelo produto e, conseqüentemente, o emprego. Além disso, os ganhos de renda real decorrentes da inovação tecnológica criam demanda por outros bens e serviços, estimulando o emprego em outros setores. (BRYNJOLFSSON et al., 2019).

Os artigos publicados permitem verificar que os estudos sobre o paradoxo da produtividade nesta década, com a tecnologia no seu auge histórico de desenvolvimento e soluções, ainda estão prematuros no que diz respeito às conclusões dos mais diversos segmentos que dependem estritamente da tecnologia. Além disso, no ramo criminal, são poucos os estudos que avaliam a eficiência relativa histórica, sobretudo com os avanços adotados pelos mais diversos órgãos de segurança pública, estimulando o desenvolvimento do objeto de estudo do presente trabalho.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, serão apresentados os métodos adotados para avaliar a eficiência das Unidades da Polícia Científica e a contribuição do uso de recursos tecnológicos em investigações papiloscópicas forenses de um Estado brasileiro ao longo do ano de 2022. Para tanto, são caracterizadas inicialmente as etapas do trabalho e, na sequência, descrevem-se em detalhes os métodos e procedimentos adotados.

4.1 ROTEIRO METODOLÓGICO

Um trabalho empírico será realizado apoiando-se em amostras de dados providos das Unidades da Polícia Científica de um Estado brasileiro em específico. Como o trabalho é respaldado na fundamentação teórica, com os objetivos delimitados, definiu-se um roteiro metodológico, o qual é composto por quatro etapas bem definidas:

- a) Levantamento e tratamento de dados;
- b) Caracterização da análise forense papiloscópica da Polícia Científica do Estado;
- c) Avaliação da taxa de resolução de ocorrências criminais com investigação papiloscópica em termos de eficiência relativa às unidades da Polícia Científica;
- d) Investigação da contribuição dos recursos tecnológicos à luz do paradoxo da produtividade na resolução das investigações papiloscópicas.

A primeira etapa pode ser caracterizada como de natureza exploratória. De acordo com Gil (2008), as pesquisas exploratórias são desenvolvidas com o objetivo de construir uma visão global e mais aproximada acerca de determinado fenômeno, e são usadas comumente como a primeira fase de um estudo mais amplo. Sendo assim, conforme Collis e Hussey (2005), nesta fase podem se buscar padrões, ideias ou hipóteses ao invés de simplesmente testar ou confirmar uma hipótese, trazendo, portanto, uma orientação que se volta para a descoberta.

Já a segunda etapa procura descrever e caracterizar um determinado grupo, como também estudar o nível de resolução de ocorrências criminais no Estado de estudo. Nessa etapa, há a delimitação da população e da amostra, bem como dos objetivos, termos, variáveis, hipóteses e das questões de pesquisa, de forma a

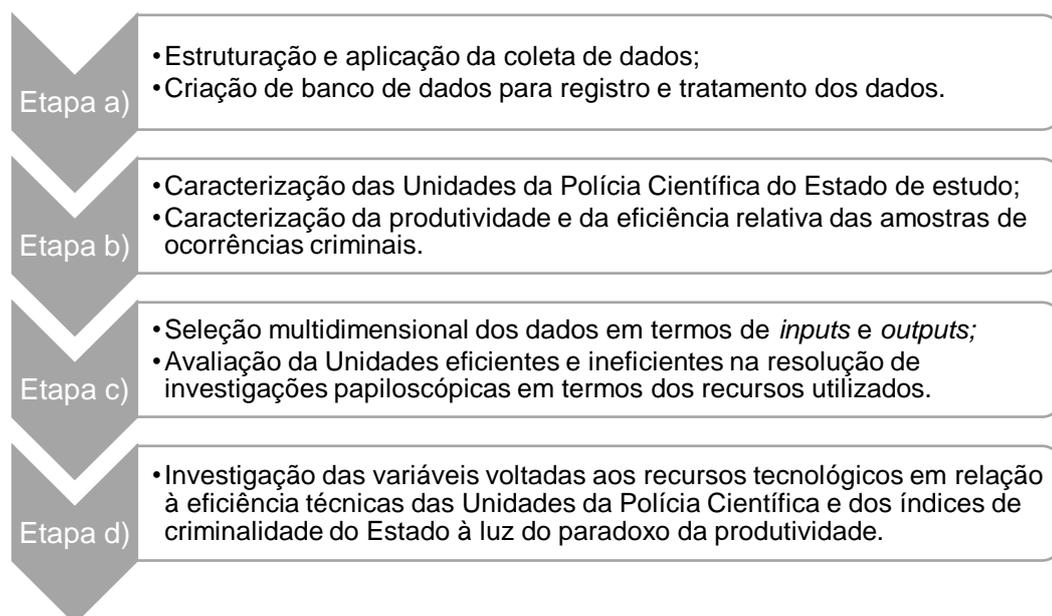
especificar o objeto de estudo. Dessa forma, essa etapa pode ser caracterizada como de natureza descritiva (GIL, 2008).

As duas últimas etapas objetivam identificar fatores que contribuem para a ocorrência de determinados fenômenos, que no presente caso são fatores que colaboram para a taxa de resolução de ocorrências criminais através das eficiências relativas. Na visão de Gil (2008), esse tipo de pesquisa é classificado como explicativa. O autor alerta que esse tipo é o mais complexo, em decorrência do crescente risco de cometer erros nas constatações, ou até chegar em conclusões que não são fidedignas ao objeto de estudo.

Segundo Nakano (2010), as etapas apresentadas podem caracterizar o trabalho, de forma geral, como um Levantamento Tipo *Survey*. Esse tipo de abordagem metodológica, nas definições do mesmo autor, parte de um levantamento de dados de amostra significativa acerca de um fenômeno e, a partir de uma análise quantitativa, visa extrair conclusões sobre este fenômeno.

Para melhor visualização e entendimento do roteiro metodológico, elaborou-se a Figura 12, com os procedimentos seguidos nas diferentes etapas e que determinam o fluxo de continuidade do trabalho:

Figura 12 – Roteiro metodológico proposto para o trabalho



Fonte: autor (2023)

A partir dos procedimentos determinados, será utilizado um método que visa

identificar recursos e características relevantes ao desempenho de organizações: a Análise Envoltória de Dados (DEA). Análises de eficiência podem ser realizadas através desse método, visto que a metodologia se baseia quase que inteiramente em dados e aplica-se a diversos setores, especialmente naqueles sem fins lucrativos, desde instituições de segurança pública até empresas de grande porte (COOPER et al., 2006).

Além do método que será desempenhado no trabalho através do roteiro definido, de acordo com Leek (2015), também se pode classificá-lo através da categorização dos tipos de questões e metodologias que estão envolvidas nas análises de dados. A Figura 13 exemplifica as diferentes questões e caminhos que são avistados nesses tipos de análises e suas respectivas classificações.

Figura 13 – Fluxograma dos tipos de questões em análises de dados



Fonte: adaptado de Leek (2015)

Quanto ao tema central do trabalho, delimitado pelo seu objetivo geral, a análise pode ser classificada conforme a categorização denotada por Leek (2015), a respeito da análise de dados que será realizada. Sendo assim, o trabalho possui natureza essencialmente quantitativa, visto que será possível mensurar os dados analisados, conforme suas descrições factuais, de maneira que permita a confirmação ou a contestação das hipóteses estabelecidas.

O roteiro metodológico também utilizará uma análise de dados exploratória, já que os dados poderão ser interpretados, e para os resultados esperados, uma análise inferencial, visto que poderão ser depreendidas as questões do tema central de estudo, além dos pressupostos definidos e os resultados esperados. A análise de dados será apoiada, principalmente, por cálculos estatísticos e matemáticos. Além disso, o trabalho será fundamentado na literatura do início ao fim, caminhando paralelamente aos estudos práticos, uma vez que os conceitos deverão ser revistos e comparados de acordo com o contexto da pesquisa.

4.2 LEVANTAMENTO E TRATAMENTO DOS DADOS

A análise exploratória buscou trabalhar com dados coletados a partir de fontes primárias, isto é, de fontes com a origem da informação. Nesse caso, as informações são de posse da Polícia Científica do Estado analisado.

Fontes de dados secundárias, como disposições de dados estatísticos e índices de criminalidade deste Estado, foram reunidas através de buscas na internet, onde esses se encontram divulgados publicamente. Além desses, dados que remetem ao investimento em Tecnologias de Informação e Comunicação no âmbito da segurança pública também são importantes para uma posterior avaliação sob a ótica do paradoxo da produtividade.

4.2.1 Coleta de dados da Polícia Científica do Estado de estudo

De acordo com o Decreto Federal N.º 70391/1972, qualquer pessoa nascida no Brasil, bem como imigrantes legais, têm o dever e o direito de obter uma cédula de identidade através de um Registro Geral (RG). Neste caso, há o cadastro, armazenamento, gestão e consulta dos dados biométricos e biográficos de cada cidadão nas respectivas bases de dados.

Ao contrário do CPF, o sistema de emissão do RG ainda não é nacionalmente unificado, de modo que não exista uma lei que impeça alguém de ter vários cadastros, um em cada unidade da Federação. Apesar dos padrões exigidos nacionalmente, os Estados adotam diferentes recursos materiais, tecnológicos e processuais no tratamento e armazenamento dessas informações vitais.

No caso da Unidade Federativa do estudo, os dados são gerenciados pela Polícia Científica do Estado. Nesse sentido, o órgão também é responsável por dar sequência às investigações em três segmentos essenciais: ocorrências contra o patrimônio, onde há arrombamento, depredação e demais danos a um imóvel, automóvel ou algum outro patrimônio público ou privado; ocorrências de vida, quando há como resultado pessoas que perderam a vida de forma violenta ou através de uma morte suspeita que origine um inquérito policial, o qual é instaurado nas delegacias da Polícia Civil para investigação; e as ocorrências de trânsito, quando há vítimas letais ou vítimas feridas criminalmente.

No Brasil, essas ocorrências são oficializadas através de um Boletim de Ocorrência (BO), documento que é registrado e dá origem a uma investigação criminal (ARAÚJO, 2007). Dessa forma, a depender do teor investigativo, há o acionamento pericial através da Polícia Científica, de maneira que seja aberto um caso específico para a ocorrência através de um laudo investigativo. Frequentemente, a investigação recorre ao âmbito da papiloscopia forense, quando o caso apresenta evidências de impressões digitais, que podem servir como provas para a solução das ocorrências criminais. Tais ocorrências são delegadas às Unidades da Polícia Científica mais próximas ao crime.

Em vista disso, as tecnologias investidas no tratamento, consulta e armazenamento dos dados biométricos, vinculados aos dados biográficos de cada cidadão registrado no Estado em questão, e que estão sob posse da Polícia Científica, são utilizados durante essas investigações. Eles buscam garantir a correspondência entre a pessoa que está registrada de maneira padronizada na base de dados e os fragmentos biométricos e demais informações encontrados nas investigações.

Portanto, a coleta de dados vinculados à Polícia Científica (PCI) do estudo ocorre da seguinte maneira:

- Levantamento e caracterização das unidades espalhadas pelo Estado;

- Definição dos principais recursos (insumos), incluindo aspectos tecnológicos, que são utilizados nas investigações papiloscópicas nas unidades;
- Definição dos principais resultados, em termos de investigação forense papiloscópica, que cada uma dessas unidades gerou ao longo do ano de 2022.

As amostras, das quais serão obtidas através de documentos legítimos e primários da Polícia Científica, serão padronizadas e registradas em tabelas com o auxílio do *software* Microsoft Excel, para que a análise de dados possa ser realizada. Os dados serão tratados de maneira anonimizada, como é o caso de todo o objeto de estudo, já que envolvem algumas informações sigilosas e que estão no âmbito de um órgão de segurança pública. Quanto aos dados datados de outras épocas, esses serão obtidos digitalmente e também serão representados em planilhas de modo anonimizado. Este processo se encontra detalhado no Capítulo 5.

4.2.2 Coleta de dados estatísticos e índices de criminalidade do Estado de estudo

Dados relacionados aos aspectos estatísticos históricos dos índices de criminalidade do Estado analisado e das despesas pagas pelo Estado em Tecnologia de Informação possibilitam uma análise complementar sob o olhar do paradoxo da produtividade.

Os dados podem ser obtidos de fontes secundárias e que estão disponibilizadas digitalmente, sendo elas:

- Secretaria de Estado da Segurança Pública;
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
- Instituto de Pesquisa Econômica Avançada;
- Portal de Dados Abertos do Estado;
- Portal da Polícia Militar do Estado;

Os dados são levantados através dessas fontes e, posteriormente, passarão por ajustes e adaptações pelo autor do presente trabalho, como parte do roteiro metodológico. Pelo fato de o trabalho ser realizado com os dados anonimizados, os dados absolutos serão transformados em variações percentuais para uma análise histórica.

4.2.3 Estruturação e aplicação da fase de coleta de dados das unidades forenses da Polícia Científica do Estado

Fontes primárias de dados foram consideradas imprescindíveis ao longo do trabalho como forma de diferenciação. A obtenção desses dados tem maior credibilidade e permite uma avaliação mais fidedigna do objeto de estudo. Considerou-se, inicialmente, a aplicação de um questionário com o objetivo de coletar dados específicos das atividades de investigação papiloscópica, e que poderiam servir como *input* e *output* nos modelos DEA das unidades forenses da Polícia Científica ao longo do Estado. Entretanto, a aplicação de um questionário poderia inviabilizar a coleta de dados por dois principais motivos:

- Dificuldades no preenchimento do questionário, principalmente para fazer o levantamento dos insumos de cada unidade da PCI;
- Limitação no alcance do questionário para todas as unidades da PCI.

Através de reuniões realizadas com a Polícia Científica, soube-se que diversos dados são compilados em bancos de dados com a identificação da unidade e de diversos outros filtros, como o ano em que se busca o dado. Bens físicos são registrados através do controle patrimonial da instituição, enquanto dados do processo de investigação papiloscópica ficam armazenados no *software* forense que está vinculado ao AFIS da PCI.

A definição das variáveis de interesse foi dada a partir do entendimento do processo de investigação papiloscópica, isto é, na identificação dos principais insumos e recursos que são utilizados e quais os resultados que são gerados. Os dados estão relacionados com as atividades da prática forense, especificamente papiloscópica, voltada ao setor criminal investigativo do Estado em cada unidade da Polícia Científica. Entretanto, além dos recursos tecnológicos, informações genéricas e que permitem o exercício dessas atividades, como o espaço de trabalho, viaturas disponíveis, e assim por diante, também foram coletadas. Tais variáveis podem ser analisadas posteriormente como *inputs* e *outputs* e até mesmo relativas às demandas de trabalho nos modelos DEA.

Fontes secundárias disponíveis digitalmente foram importantes na definição da necessidade de coletar os dados diretamente com a Polícia Científica. Isso porque permitiu determinar quais variáveis estão cadastradas e registradas publicamente e

também a dificuldade de obtenção de várias informações. Dessa forma, elaborou-se uma lista com os dados de recursos e insumos mais relevantes para as análises propostas no trabalho, e constatou-se que grande parte deles não estava disponível na internet, necessitando a coleta ser feita diretamente com o respectivo órgão.

A definição dos critérios para possíveis *outputs* também foi importante. Isso para viabilizar responder aos questionamentos estabelecidos ao longo do estudo e pela própria abordagem do paradoxo da produtividade. Elaborou-se, portanto, uma lista com as variáveis mais relevantes candidatas a *outputs* para os modelos DEA aplicados no presente trabalho. Como o propósito deste trabalho busca se aprofundar na eficiência voltadas à investigação papiloscópica, o levantamento dos possíveis *outputs* exige o entendimento dos procedimentos investigativos, bem como da aplicação do AFIS na Polícia Científica do Estado de estudo;

A Tabela 4 apresenta os possíveis *inputs* que buscaram ser coletados diretamente com a Polícia Científica.

Tabela 4 – Variáveis *inputs* a serem coletadas

Descrição da variável	Unidade
Horas de trabalho por dia	h
Espaço físico do setor forense	m ²
Número de peritos	un.
Número de papiloscopistas	un.
Experiência média dos papiloscopistas	anos
Número de licenças de software forense	un.
Número de sensores biométricos de impressões digitais	un.
Número de Viaturas	un.
Número de Notebooks	un.
Número de Computadores de Mesa	un.
Número de Câmeras fotográficas	un.
Quantidade de pós (normal, fluorescente ou magnético)	kg
Número de fitas para coleta de latentes (branca, preta, transparente)	un.
Número de pincéis (branco, preto, transparente)	un.
Número de Maletas	un.
Número de aparelhos telefônicos (tipo celular)	un.
Número de pesquisas com investigação papiloscópica realizadas	un.
Vestígios de latentes capturados	un.
Tempo médio de investigação papiloscópica	dias

Fonte: autor (2023)

A Tabela 5 mostra os possíveis *outputs* que buscaram ser coletadas diretamente com a Polícia Científica.

Tabela 5 – Variáveis *outputs* a serem coletadas

Descrição da variável	Unidade
Ocorrências criminais com investigação papiloscópica solucionadas	un.
Vestígios de latentes com match na base de dados biométrica civil do AFIS	un.
Vestígios de latentes sem match na base de dados biométrica civil do AFIS	un.
Vestígios de latentes com match na base de latentes não solucionadas	un.
Casos que puderam ser relacionados a casos de latentes não solucionadas	un.

Fonte: autor (2023)

Uma instrução geral foi realizada na solicitação do levantamento de dados, a fim de evitar possíveis erros e confusões, já que as unidades se encontram fisicamente distribuídas pelo Estado. Em seguida, os dados de cada unidade foram fornecidos pela Diretoria de Identificação Civil e Criminal da Polícia Científica.

4.2.4 Registro e tratamento dos dados

Foi definida uma padronização desde o início do preenchimento dos dados através de planilhas do *software* Excel. Esta padronização permite uma posterior análise coerente, além de possibilitar a visualização de dados faltantes ou erroneamente preenchidos.

Após o tratamento inicial dos dados, foram definidas as variáveis que podem integrar as análises propostas no trabalho cujas contribuições possam ser significativas na atividade de investigação papiloscópica. Foram selecionadas somente as unidades que fazem o uso do *software* forense em suas investigações papiloscópicas, já que, caso contrário, diversas variáveis apresentariam valores nulos, sobretudo dos *outputs*. Para uma variável ser utilizada, considerou-se uma taxa de resposta de 100% para as unidades que fazem o uso do *software* forense.

Demais unidades que tiveram respostas incompletas ou tiveram a coleta de dados inviabilizada foram desconsideradas. Dessa forma, o estudo aplicou-se somente em uma amostra das unidades da Polícia Científica do Estado.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA POLÍCIA CIENTÍFICA DO ESTADO

Como parte do roteiro metodológico, é imprescindível caracterizar o funcionamento da Polícia Científica do Estado. Inicialmente, são definidas as atribuições e a estrutura interna da PCI. Para o entendimento da investigação papiloscópica, são denotadas algumas características dos sistemas digitais e do AFIS.

4.3.1 Atribuições

Atualmente, as atividades da Polícia Científica do Estado em estudo se dividem em dois grandes eixos de atuação: a identificação civil e a identificação criminal. Dentre as atribuições da identificação civil, estão:

- a) Expedir Carteiras de Identidade nas unidades da Polícia Científica de Perícias e nos postos de identificação espalhados pelo Estado;
- b) Prestar apoio operacional às atividades de expedição de Carteira de Identidade nos postos de identificação no Estado;
- c) Cumprir expedientes diversos oriundos de órgãos públicos nas esferas federal, estadual e municipal;
- d) Manter e alimentar o banco de dados onomástico do Sistema Integrado de Segurança Pública (SISP) do Estado;
- e) Elaborar documentos técnicos utilizados em procedimentos administrativos e judiciais;
- f) Participar de ações comunitárias;
- g) Manter intercâmbio de informações técnico-científicas com instituições congêneres nacionais e estrangeiras.

Em relação às atribuições da identificação criminal, são consideradas:

- a) Qualificar e coletar impressões digitais de indivíduos presos, e identificá-los quando possível;
- b) Manter e alimentar o banco de dados criminal de impressões digitais do Estado;
- c) Realizar pesquisas no banco de dados criminal;
- d) Atender às demandas de órgãos policiais e do judiciário relacionados à justiça criminal a fim de colaborar nas investigações e na solução de crimes;
- e) Apurar fraudes na expedição de Carteiras de Identidade;

- f) Manter intercâmbio de informações técnico-científicas com instituições congêneres nacionais e estrangeiras.

4.3.2 Estrutura interna

A Polícia Científica é composta através de um organograma abaixo, com as respectivas responsabilidades, a fim de cumprir com suas atribuições nas esferas do setor de segurança pública do Estado:

- a) Direção;
- b) Coordenação;
 - i) Papiloscopia: realização de confrontos papiloscópicos para fins de identificação civil e criminal;
 - ii) Expediente: recebimento e resposta das demandas burocráticas da instituição;
 - iii) Suporte técnico: auxílio à utilização e manutenção do sistema de imagens do Instituto;
 - iv) Gestão de pessoas: administração das informações funcionais dos servidores, terceirizados e estagiários lotados na Polícia Científica;
 - v) Identificação criminal: identificação de presos e apenados, assim como atendimento de solicitações oriundas de outras instituições da justiça criminal;
 - vi) Identificação civil;
 - (1) Qualificação e coleta: atendimento ao público, coleta das informações e documentação para a expedição da Carteira de Identidade, assim como das impressões digitais e fotografia dos identificados;
 - (2) Gráfica: impressão das Carteiras de Identidade;
 - (3) Correção: atendimento de solicitações de alteração no índice onomástico oriundas das unidades do Instituto de Identificação e dos postos de identificação;
 - (4) Índice: atendimento de solicitações de alteração no índice onomástico oriundas de outras instituições utilizadoras do Sistema Integrado de Segurança Pública (SISP);

- (5) Expedição: expedição das Carteiras de Identidade, conferência dos dados coletados pela Qualificação e verificação dos casos de isenção de taxa de expedição;
- (6) Estrangeiros: verificação dos dados dos documentos de estrangeiros naturalizados que solicitem Carteira de Identidade;
- (7) Arquivo: arquivamento e pesquisa dos prontuários de identificação.

4.3.3 Investimentos em novas tecnologias na Polícia Científica do Estado

A Polícia Científica do Estado estudado, por se tratar de um órgão público, necessita de verba financeira para manter suas atividades operacionais. Além disso, precisa de novos investimentos de acordo com as necessidades levantadas em cada período e seguindo o padrão de outros estados, além das exigências federais.

Os investimentos em novas tecnologias no setor, portanto, têm crescido essencialmente neste século, sejam alguns dos motivos:

- Facilidades de comunicação;
- Sistemas computacionais integrados;
- Simplificação de atividades operacionais;
- Requisições técnicas e específicas federais;
- Recursos defasados técnica e temporalmente.

4.3.4 Tecnologias digitais e sistemas informatizados

O ponto inicial da informatização do fluxo de trabalho da Polícia Científica ocorreu através da implantação do primeiro sistema informatizado, em 1992. A partir deste momento, a coleta e armazenamento dos dados biográficos dos identificados passou a ser realizada na forma digital, o que facilitou a consulta de informações no instituto, já que se tornou desnecessário buscar os prontuários civis dos identificados.

No início dos anos 2000, foi implantado o Sistema Integrado de Segurança Pública (SISP), de modo que permitiu concentrar os serviços e bancos de dados das instituições da Secretaria de Segurança Pública e do Departamento de Administração Prisional num mesmo ambiente, por meio de módulos especializados para cada instituição e suas subdivisões.

No processo de implantação deste sistema, o banco de dados da Polícia Científica foi migrado para o novo banco do SISP, tornando-a o órgão responsável

pela gestão do Índice Onomástico do Estado. Além disso, o SISP passou a oferecer para a Polícia Científica um ambiente de trabalho com uma interface gráfica amigável e intuitiva do que a linha de comando utilizada nas atividades operacionais com o sistema antigo, um maior número de funções para a gestão do índice e a primeira aplicação do Sistema Automatizado de Identificação por Impressões Digitais no Estado.

Por conta da importância da precisão no confronto automático das impressões digitais realizado pelo AFIS, pouco tempo depois esse tipo de função passou a ser executada num serviço específico licitado pelo Governo do Estado e fornecido por empresas terceiras.

Atualmente, o SISP segue sendo o sistema utilizado pelas unidades da Polícia Científica em parceria com demais órgãos vinculados à segurança pública do Estado, enquanto que o sistema informatizado pioneiro ainda é utilizado na sede da Polícia Científica como sistema legado para eventuais consultas.

4.3.5 Sistema Automatizado de Identificação de Impressões Digitais

O paradoxo da produtividade será investigado a partir da eficiência no período amostral em que houve a utilização do AFIS nas investigações papiloscópicas da Polícia Científica do Estado como objeto de estudo.

A utilização do AFIS no Estado é um dos pontos mais importantes, uma vez que sua implementação exigiu serviços de importação de dados de sistemas legados, implantação, transferência de dados, integração com os sistemas do Estado, suporte, manutenção, treinamento, atualização e desenvolvimento de novas funcionalidades. Dessa forma, os recursos atrelados ao AFIS são utilizados tanto no segmento civil, com o processo completo para emitir seguramente uma carteira de identidade, quanto no criminal, para identificação e cadastro de criminosos.

Em relação ao sistema de Identificação Civil, as tecnologias digitais contratadas possibilitam a captura de registros de imagens associadas a solicitações de emissão de carteiras de identidade. O sistema possibilita capturar imagens tanto na forma *offline* como na forma *online*. Na forma *offline*, espera-se a geração do registro de dados e imagens biométricas a partir da digitalização, via scanner de mesa, de um prontuário de identificação em papel. Na forma *online*, a geração do registro de imagens é realizada a partir da captura das impressões digitais por equipamentos

específicos: câmeras, pads de assinatura, leitores ópticos de impressões digitais e scanner de mesa. A chamada do ambiente de captura, em ambos os casos, é feita a partir da página de captura de dados biográficos computados no Sistema Integrado de Segurança Pública.

Para o segmento criminal, que é o objeto de estudo do presente trabalho, cujas tecnologias digitais contratadas também são empregadas, os recursos possuem a mesma funcionalidade da identificação civil, mas visando o cadastro criminal, e não a emissão da carteira de identidade, acrescidas de:

- 1) Captura da face: frente e perfil;
- 2) Captura das impressões digitais de modo rolado e pousado;
- 3) Assinatura;
- 4) Imagens de tatuagens, marcas e cicatrizes com indicação da localização no corpo;
- 5) Pesquisa por impressões digitais;
- 6) Pesquisa por descrição e localização de cicatrizes e tatuagens;
- 7) Pesquisa por dados biográficos.

Sendo assim, a união dos bancos de dados advindos da identificação civil e do cadastro criminal possibilita a investigação de ocorrências criminais através da análise forense. Esta leva em consideração, essencialmente, a avaliação das latentes, que são as impressões digitais localizadas na cena do crime por meio da aplicação de reveladores. Com um processamento muito veloz, o AFIS possibilita comparar e identificar o *match*, caso exista, entre a latente coletada e os cadastros existentes nas bases de dados. Dessa forma, a aplicação dessas tecnologias digitais auxilia o perito da Polícia Científica no solucionamento de análises forenses papiloscópicas.

4.4 ANÁLISE PAPILOSCÓPICA DA POLÍCIA CIENTÍFICA DO ESTADO

O trabalho da Polícia Científica é exigido quando há uma solicitação policial ou judicial de alguma ocorrência criminal. Depois de receberem o chamado, os cientistas da polícia trabalham para reunir evidências e informações sobre o caso. Essas evidências podem incluir coleta de materiais biológicos, análise de impressões digitais, identificação de veículos e outras atividades de campo, através da perícia criminal, em que algumas tecnologias são empregadas.

Após a coleta de tais provas, elas são enviadas à unidade forense responsável da Polícia Científica do Estado para análise. O material coletado pode ser usado para ajudar a solucionar o crime em questão e possivelmente produzir provas admissíveis.

Neste sentido, a análise forense através da papiloscopia com o AFIS do Estado é efetivada para solucionar uma variedade de ocorrências, incluindo homicídios, feminicídios, latrocínios, furtos e roubos. O AFIS também é útil para identificação de suspeitos, bem como para estabelecer provas de localização e presença em crimes. Além disso, o uso do sistema para reconhecimento de latentes serve também para identificar as provas e vítimas de catástrofes, como acidentes de carro, incêndios, desastres naturais e outros eventos.

É importante caracterizar cada uma dessas ocorrências em que há exigência investigativa, para que sejam comparadas posteriormente de forma histórica:

- Homicídio: o homicídio é definido como o assassinato intencional de outra pessoa. Há diferentes tipos de homicídios, incluindo homicídio culposo, homicídio involuntário e homicídio premeditado. É considerado um dos crimes mais graves e requer uma ação criminal significativa para punir aqueles que cometem esse delito. No que diz respeito à análise papiloscópica, as impressões digitais das vítimas e dos suspeitos são comparadas e analisadas para determinar se houve alguma associação entre as duas. O Sistema Automatizado de Identificação de Impressões Digitais ajuda a investigar esses homicídios, pois possibilita às equipes investigativas identificar o responsável pelo crime e conectar o suspeito ao local do crime;
- Feminicídio: determina-se um feminicídio como sendo o assassinato de mulheres por motivações associadas ao gênero. O sistema biométrico atua da mesma forma como é utilizado no homicídio.
- Latrocínio: latrocínio é definido como roubo de bens seguido de violência física ou ameaça de violência e que resulta na morte da vítima. Por ser um dos crimes mais graves do mundo, também exige uma ação criminal substancial para punir aqueles que cometem esse tipo de delito. Da mesma forma, o AFIS pode ser usado para solucionar o latrocínio;
- Furto: é caracterizado como o roubo de bens pertencentes a outra pessoa, de forma intencional e sem o conhecimento ou consentimento da vítima. É um

dos crimes mais comuns, devido à alta proporção de ocorrências desse tipo registradas;

- Roubo: ocorre com a ação intencional de roubar bens, usando violência física ou ameaça de violência, de outra pessoa. É diferente do furto porque, no assalto, o criminoso direciona sua ação contra um indivíduo em particular, enquanto que no furto o alvo é o bem. Além disso, o assalto requer a presença de uma arma ou violência física para completar o ato, enquanto que no furto, isso não é necessário.

Portanto, o trabalho almeja averiguar o comportamento da eficiência na resolução desses casos, visto o investimento na implementação de um AFIS no estado, sob a perspectiva do paradoxo da produtividade, como será demonstrado no capítulo 5.

4.5 ESCOPO DA APLICAÇÃO DOS MODELOS DEA NAS UNIDADES DA POLÍCIA CIENTÍFICA

A utilização de modelos DEA deve gerar informações que embasem decisões gerenciais para a diretoria da Polícia Científica do Estado. Entender quais recursos são responsáveis por produzir melhores resultados podem ser primordiais na contratação e na realocação desses recursos.

A determinação dos *inputs* e *outputs* deve priorizar a relevância de cada um frente ao objeto de estudo. Cooper et al. (2006) consideram que é desejável que o número de DMUs, isto é, das unidades da PCI, excedesse em muitas vezes o número de variáveis *inputs* e *outputs* na DEA. O levantamento de dados aplicado prevê inicialmente 24 variáveis (entre *inputs* e *outputs*). O número de unidades da PCI que existiam ao longo de 2022 era de 30, valor máximo a ser obtido caso 100% das unidades faça a utilização do *software* forense. Logo, é imprescindível a necessidade da redução das variáveis para a modelagem DEA.

Uma das formas de realizar essa varredura, principalmente no que diz respeito aos *inputs*, que são consideravelmente em maior quantidade que os *outputs*, é avaliar a correlação linear entre as variáveis. Francis (1973) considera que, caso um conjunto de variáveis esteja altamente correlacionado, pode-se optar pela substituição por somente uma única variável, a qual terá poder representativo similar de todo o

conjunto. Isto pode ser verificado através de análises de correlação das variáveis e da Análise de Componentes Principais (PCA - *Principal Component Analysis*).

A correlação de variáveis consiste no primeiro passo de seleção de um número reduzido de variáveis *inputs* e *outputs*. A análise de correlação considera inicialmente todas as variáveis contínuas disponíveis ao processo de seleção de *inputs* e *outputs*. Um conjunto de variáveis que se apresenta fortemente correlacionado pode ser substituído por uma única variável, que tem poder representativo de todo o conjunto considerado. Além disso, com o auxílio do *software* STATISTICA, é possível identificar as variáveis que são estatisticamente significativas na amostra de dados.

A Análise de Componentes Principais consiste na segunda etapa para redução de dimensionalidade dos dados da amostra após a análise de correlação das variáveis. A PCA possibilita ordenar as variáveis com maior importância na amostra de dados. Johnson e Wichern (1982) caracterizam as componentes principais como sendo um conjunto X de m variáveis originais como um sistema ortogonal dado pelas combinações lineares não correlacionadas de X que retêm o maior conteúdo de informação de n observações das variáveis originais. As variáveis originais são expressas como o produto dos escores t_i (*scores*) e carga fatorial p_i (*loading*).

$$X = t_1 p_1 + t_2 p_2 + \dots + t_n p_n \quad (9)$$

Com as variáveis com maior poder de explicação na variabilidade dos dados da amostra, pode-se definir os *inputs* e *outputs* a serem utilizados nos modelos DEA, para seguir com o cálculo dos escores de eficiência. Os escores podem ser calculados com o auxílio do *software* GAMS (*General Algebraic Modeling System*) com os dados relevantes selecionados. Inicia-se com o cálculo da eficiência técnica (CRS e VRS). Em seguida, é possível determinar a eficiência de escala (ESC). Finalmente, os escores IRS e DRS também podem ser calculados. Os modelos GAMS para determinação dos escores de eficiência estão disponíveis no Apêndice deste trabalho.

A partir dos escores, a posição de cada DMU é estabelecida em relação às fronteiras de eficiência. Nesse momento, a análise pode ser seguida na identificação das unidades mais eficientes, nos seus recursos utilizados e a contribuição dos recursos tecnológicos nos *outputs* sob o olhar do paradoxo da produtividade.

5 DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção, será avaliada a eficiência dos recursos tecnológicos em análises forenses da Polícia Científica do Estado através dos passos indicados no capítulo quatro. Inicialmente, será realizada a composição da base de dados do estudo, a fim de obter um panorama das ocorrências criminais com investigação papiloscópica realizadas pelas unidades da Polícia Científica do Estado em 2022. Em seguida, será procedida uma análise exploratória dos dados coletados. Para a finalização da análise, será realizada a avaliação do impacto dos recursos de tecnologia de informação e comunicação utilizados na análise forense. Uma análise complementar será realizada com o intuito de verificar o comportamento das despesas pagas em Tecnologias de Informação no setor de segurança pública e os resultados globais dos índices de criminalidade do Estado através de um estudo histórico. Por último, serão colocadas as demais considerações dos resultados obtidos, a fim de detectar possíveis diferenças na amostra e fornecer uma base para as futuras análises.

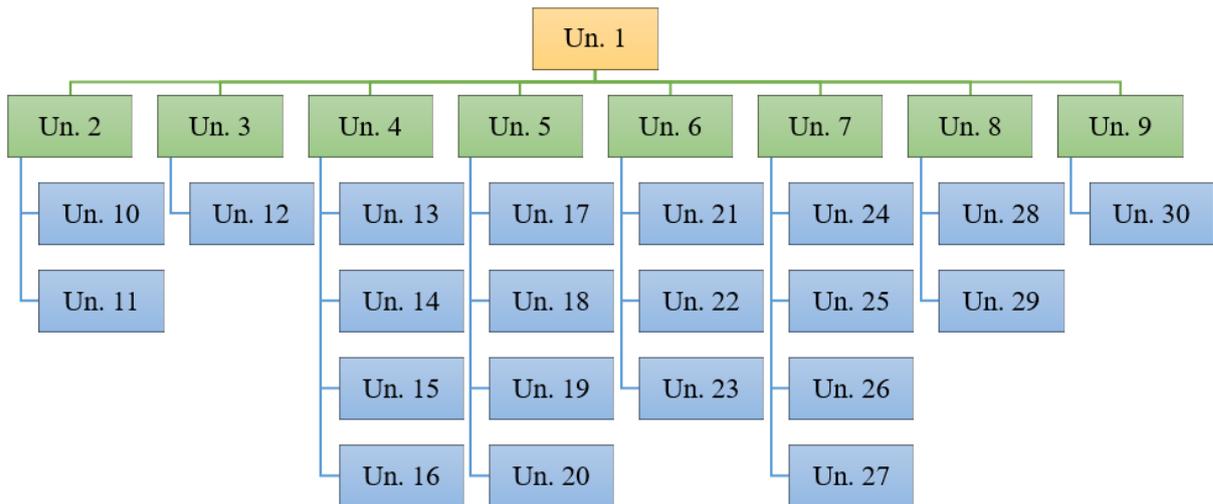
5.1 BASE DE DADOS: CARACTERIZAÇÃO DAS UNIDADES DA POLÍCIA CIENTÍFICA NO ESTADO

A Polícia Científica possui 30 unidades regionais as quais atendem as demandas de investigações criminais em todo o Estado. Estas unidades foram segmentadas para cumprir com o nível de serviço da Polícia Científica em cada região. Desta forma, as unidades realizam investigações criminais nos demais municípios que não possuem esta infraestrutura.

As 30 unidades constituem níveis hierárquicos diferentes. A Unidade 1, capital do Estado, além dos seus atributos técnicos, também é responsável por gerenciar e apoiar as demais unidades nas investigações. As Unidades 2 a 9 estão presentes no segundo nível hierárquico e são responsáveis pela superintendência regional, correspondendo diretamente à Unidade 1. As Unidades 10 a 30 estão no terceiro nível hierárquico e são responsáveis somente pelo atendimento aos municípios de suas respectivas regiões

A Figura 14 ilustra a relação hierárquica entre as unidades da Polícia Científica, em que cada número identifica uma das unidades de modo anonimizado.

Figura 14 – Nível de hierarquia entre as unidades da Polícia Científica do Estado



Fonte: autor (2023)

As 30 unidades da Polícia Científica, apesar de terem níveis hierárquicos diferentes, possuem o setor forense em suas instalações. A aplicação de uma Análise Envoltória de Dados é justificada pelo fato de cada unidade dispor de seus recursos próprios para realizar as investigações criminais.

5.1.1 Resultado da aplicação da coleta de dados das unidades da Polícia Científica do Estado

A coleta de dados realizada objetivou coletar dados referentes às variáveis do processo de investigação papiloscópica de cada uma das 30 unidades da Polícia Científica.

Os dados referentes aos *outputs* estão diretamente ligados com a investigação papiloscópica apoiada no AFIS do Estado. As unidades da Polícia Científica que não possuíam valores atribuídos a essas variáveis foram desconsideradas. Recursos relacionados com a utilização do sistema biométrico são limitados para a Polícia Científica, desta forma, nem todas as unidades conseguem produzir resultados das suas investigações criminais.

Dados referentes a algumas variáveis não foram disponibilizados pela Polícia Científica. Desta forma, essas variáveis não puderam constar na análise exploratória dos dados. As Tabelas 6 e 7 apresentam as variáveis *inputs* e *outputs* para as quais não se dispunham dados, respectivamente.

Tabela 6 – Variáveis *inputs* descartadas por indisponibilidade de dados

Descrição da variável	Unidade
Número de pós (normal, fluorescente ou magnético)	kg
Número de fitas para coleta de latentes (branca, preta, transparente)	un.
Número de pincéis (branco, preto, transparente)	un.
Vestígios de latentes capturados	un.
Tempo médio de investigação papiloscópica	dias

Fonte: autor (2023)

Tabela 7 – Variáveis *outputs* descartadas por indisponibilidade de dados

Descrição da variável	Unidade
Vestígios de latentes com match na base de latentes não solucionadas	un.
Casos que puderam ser relacionados a casos de latentes não solucionadas	un.

Fonte: autor (2023)

A Tabela 8, por outro lado, mostra as variáveis cujos dados foram levantados para todas as unidades da Polícia Científica. A fim de reduzir os tamanhos das tabelas, as variáveis serão tratadas a partir de sua sigla.

Tabela 8 – Variáveis coletadas

	Descrição da variável	Sigla	Unidade
<i>Inputs</i>	Horas de trabalho por dia	HOR	h
	Espaço físico do setor forense	ESP	m ²
	Número de peritos	PER	un.
	Número de papiloscopistas	PAP	un.
	Experiência média dos papiloscopistas	EXP	anos
	Número de licenças de software forense	LIC	un.
	Número de sensores biométricos de impressões digitais	SEN	un.
	Número de Viaturas	VIA	un.
	Número de Notebooks	NOT	un.
	Número de Computadores de Mesa	COM	un.
	Número de Câmeras fotográficas	CAM	un.
	Número de Maletas	MAL	un.
	Número de aparelhos telefônicos (tipo celular)	CEL	un.
	Número de pesquisas com investigação papiloscópica realizadas	PES	un.
<i>Outputs</i>	Ocorrências criminais com investigação papiloscópica solucionadas	SOL	un.
	Vestígios de latentes com match na base de dados biométrica civil do AFIS	HIT	un.
	Vestígios de latentes sem match na base de dados biométrica civil do AFIS	NO HIT	un.

Fonte: autor (2023)

O *software* forense através do AFIS do Estado é utilizado por somente dez unidades da Polícia Científica. Essas unidades são consideradas as DMUs nas análises com os modelos DEA. Dentre elas, apenas uma superintendência regional, Unidade 4, não possui a licença do *software*. Além disso, duas unidades, Unidade 15 e 30, que são subordinadas a uma unidade de superintendência regional, possuem a licença do *software*. A Unidade 1, que é da capital do Estado, lidera a quantidade de recursos para quase todas as variáveis. A Tabela 9 mostra os valores que obtidos de cada unidade no ano de 2022 para todas as variáveis coletadas dentre as dez DMUs que serão utilizadas na análise.

Tabela 9 – Dados coletados das DMUs consideradas na análise

DMU	Inputs														Outputs		
	HOR	ESP	PER	PAP	EXP	NOT	COM	LIC	SEN	VIA	CAM	MAL	CEL	PES	SOL	HIT	NO HIT
Unidade 1	6	4.500	44	14	19	2	71	12	4	18	23	2	14	14.512	291	671	1.948
Unidade 2	6	1.240	12	2	9,5	0	16	2	5	16	20	2	11	1.935	54	154	827
Unidade 3	10	650	9	1	13	1	26	1	10	6	28	1	0	1.600	18	84	91
Unidade 5	6	1.170	6	2	14,5	3	17	1	4	7	23	7	16	609	2	9	9
Unidade 6	5	2.600	9	1	11	1	26	1	2	9	22	3	1	2.147	57	126	940
Unidade 7	4	1.540	14	4	11,3	9	27	2	4	15	15	2	26	3.068	95	165	1.650
Unidade 8	8	780	5	3	23	0	22	1	4	10	21	2	1	2.012	42	139	681
Unidade 9	8	710	8	2	11,5	6	32	1	6	6	16	1	6	246	7	16	69
Unidade 15	4	230	1	2	16,5	1	13	1	2	4	7	1	1	1.275	28	50	515
Unidade 30	5	190	4	1	24	2	12	1	6	2	8	1	4	1.211	32	63	2

Fonte: autor (2023)

A Tabela 10 apresenta os valores médios, mínimos e máximos de cada variável, além dos desvios padrão e dos coeficientes de variação. Observa-se inicialmente que, para algumas variáveis, com destaque para “Número de aparelhos telefônicos” (CEL), “Número de notebooks” (NOT) e “Número de licenças de *software* forense” (LIC), vinculadas à instrumentação tecnológica da atividade papiloscópica, os coeficientes de variação são mais elevados que as demais variáveis. Isto indica que essas variáveis apresentam maior variabilidade em relação à média, mostrando que a disponibilidade desses recursos é mais diferenciada nas unidades da Polícia Científica.

Tabela 10 – Estatísticas descritivas das variáveis coletadas nas unidades da PCI

Variável	Média	Mínimo	Máximo	Desvio padrão	Coefficiente de variação
HOR	6,2	4	10	1,5	0,24
ESP	1.361,0	190	4.500	911,4	0,67
PER	11,2	1	44	7,3	0,65
PAP	3,2	1	14	2,3	0,73
EXP	15,3	9,5	24	4,2	0,28
NOT	2,5	0	9	2,1	0,84
COM	26,2	12	71	10,3	0,39
LIC	2,3	1	12	1,9	0,84
SEN	4,7	2	10	1,6	0,35
VIA	9,3	2	18	4,4	0,47
CAM	18,3	7	28	5,4	0,30
MAL	2,2	1	7	1,1	0,51
CEL	8,0	0	26	7,0	0,88
PES	2.861,5	246	14.512	2.371,4	0,83
SOL	62,6	2	291	52,2	0,83
HIT	147,7	9	671	109,4	0,74
NO HIT	673,2	2	1.948	536,0	0,80

Fonte: autor (2023)

5.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS

A avaliação da eficiência do processo de transformação de insumos em produtos e serviços deve contar com variáveis *inputs* e *outputs* que caracterizam este processo de transformação. Nesta seção, será realizada uma análise exploratória para a definição dessas variáveis.

5.2.1 Seleção dos *inputs* e *outputs*

A seleção de variáveis para aplicação dos modelos DEA deve seguir o Princípio da Parcimônia, também conhecido como Navalha de Ockham. Neste trabalho, esta recomendação é ainda mais relevante visto que o número de DMUs é relativamente reduzido em relação ao número de variáveis. No intuito de aplicar este princípio, a análise de correlação é um instrumento estatístico que permite excluir variáveis fortemente correlacionadas entre si.

5.2.1.1 Análise de correlação das variáveis

A análise de correlação foi realizada por meio do *software* STATISTICA. A Tabela 11 mostra as correlações entre as dezessete variáveis coletadas. Os valores com fonte em vermelho são estatisticamente significativos e, portanto, relevantes para a análise. Os demais devem ser desconsiderados nas análises subsequentes. As variáveis que apresentam alta correlação são alvo de descarte.

Tabela 11 – Resultado da análise de correlação

Variáveis	HOR	ESP	PER	PAP	EXP	NOT	COM	LIC	SEN	VIA	CAM	MAL	CEL	PES	SOL	HIT	NO HIT
HOR		-0,15	-0,02	-0,09	0,00	-0,24	0,14	-0,08	0,76	-0,12	0,64	-0,14	-0,41	-0,09	-0,20	-0,08	-0,40
ESP	-0,15		0,90	0,83	-0,09	0,01	0,87	0,86	-0,30	0,73	0,45	0,18	0,35	0,88	0,89	0,88	0,79
PER	-0,02	0,90		0,95	0,02	0,09	0,94	0,97	-0,03	0,75	0,37	-0,03	0,42	0,97	0,96	0,96	0,76
PAP	-0,09	0,83	0,95		0,23	0,08	0,91	0,98	-0,18	0,67	0,21	-0,02	0,40	0,97	0,96	0,96	0,75
EXP	0,00	-0,09	0,02	0,23		-0,32	0,05	0,19	-0,04	-0,28	-0,30	-0,14	-0,29	0,22	0,17	0,20	-0,10
NOT	-0,24	0,01	0,09	0,08	-0,32		0,14	-0,02	0,01	0,13	-0,22	0,02	0,70	-0,04	0,04	-0,07	0,22
COM	0,14	0,87	0,94	0,91	0,05	0,14		0,92	0,00	0,60	0,40	-0,09	0,26	0,91	0,89	0,90	0,66
LIC	-0,08	0,86	0,97	0,98	0,19	-0,02	0,92		-0,11	0,65	0,24	-0,05	0,33	0,99	0,97	0,97	0,71
SEN	0,76	-0,30	-0,03	-0,18	-0,04	0,01	0,00	-0,11		-0,21	0,35	-0,30	-0,16	-0,14	-0,21	-0,14	-0,42
VIA	-0,12	0,73	0,75	0,67	-0,28	0,13	0,60	0,65	-0,21		0,41	0,08	0,61	0,66	0,72	0,73	0,86
CAM	0,64	0,45	0,37	0,21	-0,30	-0,22	0,40	0,24	0,35	0,41		0,37	0,03	0,26	0,19	0,28	0,13
MAL	-0,14	0,18	-0,03	-0,02	-0,14	0,02	-0,09	-0,05	-0,30	0,08	0,37		0,39	-0,07	-0,10	-0,11	-0,09
CEL	-0,41	0,35	0,42	0,40	-0,29	0,70	0,26	0,33	-0,16	0,61	0,03	0,39		0,30	0,38	0,29	0,53
PES	-0,09	0,88	0,97	0,97	0,22	-0,04	0,91	0,99	-0,14	0,66	0,26	-0,07	0,30		0,99	0,99	0,77
SOL	-0,20	0,89	0,96	0,96	0,17	0,04	0,89	0,97	-0,21	0,72	0,19	-0,10	0,38	0,99		0,99	0,85
HIT	-0,08	0,88	0,96	0,96	0,20	-0,07	0,90	0,97	-0,14	0,73	0,28	-0,11	0,29	0,99	0,99		0,80
NO HIT	-0,40	0,79	0,76	0,75	-0,10	0,22	0,66	0,71	-0,42	0,86	0,13	-0,09	0,53	0,77	0,85	0,80	

Fonte: autor (2023)

Dos resultados da análise de correlação, constata-se que as variáveis “Número de peritos” (PER) e “Número de papiloscopistas” (PAP) estão correlacionadas com a variável “Espaço físico” (ESP). Esta constatação é esperada uma vez que esses dois tipos de profissionais disponham de espaço útil de trabalho proporcional. O mesmo ocorre com “Número de computadores de mesa” (COM) e “Número de licenças do software forense” (LIC) instaladas, visto que o *software* é utilizado nos próprios computadores. A variável “número de viaturas” (VIA) não se apresenta fortemente correlacionada com qualquer outra e mostra, além disso,

resultados de correlação estatisticamente significativos. Conclui-se, portanto, que inexistem indicativos para o descarte desta variável nas análises subsequentes.

As variáveis “Número de pesquisas com investigação papiloscópicas realizadas” (PES), “Ocorrências criminais com investigação papiloscópica solucionadas” (SOL), “números de HITs” (HIT) e “número de não HITs” (NO HIT) apresentam correlações similares com outras variáveis. Este padrão decorre do fato que o número de casos solucionados depende dos HITs e, para que os HITs sejam efetivados, pesquisas papiloscópicas precisam ser feitas. O número de NO HITs, por outro lado, também é uma consequência daquelas pesquisas papiloscópicas que não obtiveram sucesso investigativo.

5.2.1.2 Análise de Componentes Principais

O processo de seleção de variáveis pode ser complementado com a Análise de Componentes Principais (PCA - *Principal Component Analysis*). A PCA é considerada uma transformação linear ótima dos dados da amostra, onde são definidos componentes principais resultados de combinação lineares das variáveis originais. Desta análise pode-se determinar aquelas variáveis que apresentam maior importância em relação à variabilidade observada na amostra.

A análise de componentes foi igualmente realizada com o *software* STATISTICA. As componentes geradas e as respectivas representatividades na amostra são apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 – Componentes extraídas na PCA

Componentes	R²X	R²X Acumulado
Componente 1	0,536	0,536
Componente 2	0,155	0,691
Componente 3	0,121	0,812
Componente 4	0,081	0,893
Componente 5	0,053	0,945

Fonte: autor (2023)

Os dados da tabela mostram que quase 95% da variabilidade observada na amostra é captada pelas cinco componentes principais. A componente 1 por si só tem um poder de reproduzir mais de 50% da variabilidade dos dados da amostra. Além disso, as componentes 1, 2 e 3 representam juntas mais de 80% da variabilidade.

A Tabela 13 mostra as cargas fatoriais que foram obtidas para cada variável em cada uma das cinco componentes definidas na análise. Através dos valores, também pode-se definir uma nomeação para as componentes devido às variáveis que possuem maior poder de influência em cada componente. Além disso, as variáveis foram ordenadas conforme o grau de importância que possuem na Análise de Componentes Principais. O ordenamento das variáveis também indica o grau de importância, auxiliando, dessa forma, a seleção dos *inputs* e *outputs* mais representativos.

Tabela 13 – Cargas fatoriais das variáveis em cada componente da PCA

Variável	Importância	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4	Componente 5
		53,6%	15,5%	12,1%	8,1%	5,3%
		Investigação papiloscópica	Tecnologia	Experiência	Instrumentação	Capacidade técnica
MAL	1,00	-0,01	0,29	-0,45	0,70	0,47
SOL	1,00	-0,98	-0,02	0,17	-0,04	0,00
HIT	1,00	-0,97	-0,15	0,15	0,01	-0,02
PES	0,99	-0,97	-0,14	0,17	0,00	0,06
PER	0,98	-0,98	-0,13	-0,06	-0,07	0,04
PAP	0,97	-0,96	-0,07	0,14	-0,05	0,16
LIC	0,97	-0,96	-0,14	0,14	-0,02	0,11
CAM	0,97	-0,31	-0,53	-0,68	0,34	-0,03
HOR	0,94	0,15	-0,87	-0,37	-0,12	0,07
CEL	0,94	-0,46	0,63	-0,45	-0,20	0,31
ESP	0,93	-0,93	0,00	-0,10	0,23	-0,08
NO HIT	0,92	-0,86	0,32	0,01	-0,05	-0,29
NOT	0,92	-0,10	0,56	-0,37	-0,62	0,27
COM	0,92	-0,91	-0,24	-0,05	-0,13	0,07
SEN	0,91	0,21	-0,68	-0,34	-0,50	0,17
EXP	0,89	-0,05	-0,26	0,75	0,07	0,51
VIA	0,85	-0,80	0,17	-0,33	0,03	-0,27

Fonte: autor (2023)

A Componente 1 foi nomeada, devido às cargas fatoriais observadas da Tabela 13 como “Investigação papiloscópica”, uma vez que o número de peritos e de papiloscopistas, além das pesquisas e resultados obtidos com a investigação papiloscópica no *software* forense, possuem maior poder explicativo nessa componente.

A Componente 2 tem a variável “Horas de trabalho por dia” com a maior carga fatorial. Entretanto, esta componente possui diversas variáveis que contribuem de forma relevante e que estão atreladas à “Tecnologia”, por isso a sua identificação é dada por esse termo.

A Componente 3 foi designada como “Experiência”, visto que a variável “Experiência média dos papiloscopistas” destacou-se com a maior carga, enquanto outras variáveis não têm um padrão de influência evidenciada nesta componente.

A Componente 4 conta com diversas variáveis que estão relacionadas com os meios de trabalho dos papiloscopistas, tais como o “Número de maletas”, “Número de Notebooks” e o “Número de sensores biométricos”. Por esta razão, optou-se por nomear esta componente como “Instrumentação”.

Em relação à Componente 5, que possui menor poder explicativo da amostra de dados em relação às demais, as cargas estão distribuídas entre a experiência e a instrumentação de trabalho, de modo que a componente foi identificada como “Capacidade técnica”.

5.2.1.3 Seleção dos *inputs* e *outputs* com maior poder explicativo

As variáveis *inputs* e *outputs* podem ser selecionadas a partir dos dados de correlação entre as variáveis e nas suas importâncias atingidas na Análise de Componentes Principais. Esta seleção consiste na escolha das variáveis que possuem prioridade na PCA e que também englobem poder de explicação de outras variáveis que são correlacionadas a ela para serem descartadas do modelo.

Um método para realizar a seleção das variáveis com maior poder explicativo é através da Navalha de Ockham. Ela defende que o argumento ou explicação mais simples para um fenômeno, conceito ou teoria é a que deve prevalecer (GLEISER, 2013). Dessa forma, trata-se de um argumento que privilegia a simplicidade em detrimento da complexidade. Portanto, a seleção de variáveis deve ser enxuta, ao passo de que possua poder representativo sobre a amostra.

A Tabela 14 apresenta a ordem de priorização a ser aderida na escolha dos *inputs* e *outputs* para os modelos DEA. Este ordenamento foi realizado a partir da análise de importância de cada variável na PCA e dos valores de correlação obtidos somente das variáveis com poder explicativo.

Tabela 14 – Ordem de priorização na seleção dos *inputs* e *outputs*

Tipo	Variável	Sigla	Prioridade
Inputs	Número de pesquisas com investigação papiloscópica realizadas	PES	1
	Número de peritos	PER	2
	Número de papiloscopistas	PAP	3
	Número de licenças de <i>software</i> forense	LIC	4
	Espaço físico	ESP	5
	Número de computadores de mesa	COM	6
Outputs	Ocorrências criminais com investigação papiloscópica solucionadas	SOL	1
	Vestígios de latentes com match na base do AFIS	HIT	2

Fonte: autor (2023)

Em relação aos *outputs*, a variável “Ocorrências criminais com investigação papiloscópica solucionadas”, abreviado por SOL, além de ser o *output* prioritário, está diretamente relacionado com o *output* “Vestígios de latentes com match na base do AFIS”, abreviado por HIT.

Para os *inputs*, o “Número de pesquisas papiloscópicas realizadas” (PES) se destaca com a maior influência na geração dos resultados. Há um dilema quanto ao “Número de peritos” e ao “Número de papiloscopistas”, PER e PAP, respectivamente. Isso porque ambas são consideradas importantes na representatividade da amostra. Entretanto, ambas possuem o mesmo poder explicativo, juntamente com o “Espaço físico”, denominado por ESP, o qual possui uma menor prioridade e pode, portanto, ser descartado.

A variável “Número de licenças de *software* forense” (LIC) aparece como quarta prioridade entre os *inputs*. Ela se correlaciona e possui o mesmo poder explicativo que a variável “Número de computadores de mesa” (COM). Esta última, portanto, também pode ser descartada do modelo.

Todas as demais variáveis não se destacaram na amostra com um poder explicativo e foram previamente desconsideradas na análise.

A Tabela 15 lista, finalmente, as variáveis que possuem poder explicativo significativo e que são capazes de representar os demais dados coletados. Através dessas variáveis, serão dadas as avaliações de eficiência a fim de definir o conjunto final de *inputs* e *outputs* que são capazes de representar os dados da amostra.

Tabela 15 – Variáveis a serem consideradas nas avaliações de eficiência das DMUs

Tipo	Variável	Sigla	Prioridade
<i>Input</i>	Número de pesquisas com investigação papiloscópica realizadas	PES	1
	Número de peritos	PER	2
	Número de papiloscopistas	PAP	3
	Número de licenças de <i>software</i> forense	LIC	4
<i>Output</i>	Ocorrências criminais com investigação papiloscópica solucionadas	SOL	1
	Vestígios de latentes com match na base do AFIS	HIT	2

Fonte: autor (2023)

O modelo mais simples para determinação dos escores de eficiência seria composto por apenas um *input* e um *output*. A partir das ordens de prioridade definidas na Tabela 14, o *input* seria a “Número de pesquisas com investigação papiloscópica realizadas” e o *output* seria a variável “Ocorrências criminais com investigação papiloscópica solucionadas”. Nesse caso, as demais variáveis seriam descartadas. Esse modelo, porém, pode não ser suficiente para representar todo o problema, uma vez que as demais variáveis têm grande importância na componente 1 “Investigação papiloscópica”, que explica mais de 50% da variabilidade dos dados da amostra.

A Tabela 16 apresenta as combinações de *inputs* e *outputs* a partir da ordem de prioridade associada a cada variável. O objetivo dessas combinações de variáveis é avaliar os resultados dos escores de eficiência VRS, a fim de selecionar a combinação mais adequada para os dados da amostra.

Tabela 16 – Combinações de *inputs* e *outputs*

n°	Input	Output	n°	Input	Output	n°	Input	Output	n°	Input	Output
1	PES	SOL	2	PES	HIT	3	PER	SOL	4	PER	HIT
5	PES	SOL	6	PES	HIT	7	PES	SOL	8	PES	SOL
	PER			PER			PER				
9	PES	HIT	10	PES	SOL	11	PES	SOL			
	PER			PER			PER				
	PAP			PAP			PAP				

Fonte: autor (2023)

5.2.2 Análise dos escores de eficiência VRS

A Tabela 17 mostra os escores de eficiência VRS para cada uma das dez DMUs. Os escores VRS foram calculados com o auxílio do *software* GAMS (Apêndice A). Em seguida, os resultados foram organizados em *clusters* através do *software* STATISTICA, de acordo com os escores obtidos por cada DMU nas diferentes combinações. As combinações estão ordenadas em ordem crescente do número de DMUs com a eficiência máxima a fim de facilitar a visualização dos resultados.

Tabela 17 – Escores de eficiência VRS para várias combinações de variáveis

Combinações de variáveis		3	2	4	1	5	6	7	8	9	10	11
DMU	Cluster	PER	PES	PER	PES	PES	PES	PER	PES	PES	PER	PES
		SOL	HIT	HIT	SOL	SOL	HIT	HIT	SOL	PAP	PAP	SOL
Unidade 1	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Unidade 2	1	0,44	1,00	0,51	0,91	0,91	1,00	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00
Unidade 8	1	0,66	0,87	1,00	0,68	0,81	1,00	1,00	0,81	1,00	1,00	1,00
Unidade 9	1	0,13	1,00	0,13	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Unidade 15	1	1,00	0,52	1,00	0,72	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Unidade 30	1	0,41	0,68	0,40	0,87	1,00	0,97	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Unidade 6	2	0,64	0,74	0,49	0,86	0,91	0,81	0,96	1,00	1,00	1,00	1,00
Unidade 7	2	0,85	0,72	0,49	1,00	1,00	0,77	1,00	1,00	0,77	1,00	1,00
Unidade 3	3	0,11	0,67	0,28	0,37	0,49	0,75	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
Unidade 5	3	0,17	0,40	0,17	0,40	0,95	0,95	0,95	0,97	0,97	0,97	1,00

Fonte: autor (2023)

Observa-se que o primeiro *cluster* apresenta DMUs com escores máximos em todas as combinações de variáveis. Isso aponta que, independentemente do conjunto de *inputs* e *outputs* a ser adotado, elas continuarão com o melhor resultado de eficiência VRS. Isso ocorre, por exemplo, para a Unidade 1, que é a da capital do Estado e é eficiente para todas as combinações, e para as Unidade 9 e 15, que apresentam ineficiência em somente duas das onze combinações.

O *cluster* 3 é constituído de DMUs que são ineficientes para grande parte das combinações de variáveis. Para algumas combinações, seus escores são muito baixos em comparação às demais unidades, diferenciando-as daquelas incluídas no *cluster* 2. O segundo *cluster* apresenta DMUs ineficientes para boa parte das

combinações de variáveis, mas com escores de eficiência mais razoáveis em relação ao terceiro *cluster*.

Estes resultados indicam que as DMUs incluídas nos *cluster 2* e *3* deveriam ser foco da gestão da Polícia Científica no sentido projetar as operações destas DMU's na fronteira de eficiência definitiva pelas DMUs eficientes. Ou seja, as DMUs ineficientes deveriam se espelhar nas melhores práticas observadas nas DMUs eficientes.

5.2.3 Definição dos *inputs* e *outputs*

A inserção de poucas variáveis já é capaz de tornar todas as unidades da amostra eficientes, pelo fato de o número de DMUs ser relativamente pequeno, o que acaba distorcendo o modelo. O Princípio da Parcimônia, apoiado na Navalha de Ockham, pode ser considerado novamente a partir das avaliações sucessivas de cada *cluster* e do comportamento dos escores de eficiência de cada DMU para as diferentes combinações de variáveis. Neste caso, busca-se selecionar o conjunto de *inputs* e *outputs* que possuam um alto poder explicativo da amostra de dados. Por outro lado, este conjunto deve evidenciar, ao mesmo tempo, uma variabilidade entre os escores de eficiência VRS entre as unidades da Polícia Científica.

Os *inputs* que permitem verificar mais unidades ineficientes são dados pelo “Número de pesquisas com investigação papiloscópica realizadas” e pelo “Número de peritos”. A inserção de mais um *input* no modelo, como foi o caso com o “Número de papiloscopistas”, faz com que mais unidades se tornem mais eficientes. O mesmo ocorre ao se inserir a variável “Número de licenças de *software* forense”, quando todas as unidades apresentam ser eficientes. Neste caso, o dilema entre os profissionais peritos e papiloscopistas pode ser decidido pela opção da variável “Número de peritos”. Este tipo de profissional, além de ser uma variável prioritária na análise, acaba abrangendo um número maior de atividades rotineiras nas unidades da Polícia Científica, além de lidar diretamente com investigações papiloscópicas, campo que acaba limitando, por exemplo, a versatilidade dos papiloscopistas.

No que tange aos *outputs*, as variáveis “Ocorrências criminais com investigação papiloscópica solucionadas” e “Vestígios de latentes com match na base do AFIS”, quando combinadas, apresentam, no máximo, três unidades ineficientes. Dessa forma, opta-se por escolher somente um *output* para que obter uma

variabilidade maior de unidades ineficientes. A variável SOL possui maior prioridade em relação à variável HIT, e ambas se correlacionam, portanto, pode ser definida como o *output* na modelagem DEA.

A combinação de número 5 representa o conjunto de variáveis definidas para o seguimento do modelo DEA com o cálculo dos demais escores de eficiência. A Tabela 18 resume as variáveis determinadas.

Tabela 18 – Variáveis *inputs* e *output* a serem avaliadas na DEA

Tipo	Variável	Sigla	Unidade
Inputs	Número de peritos	PER	un.
	Número de pesquisas com investigação papiloscópica realizadas	PES	un.
Output	Ocorrências criminais com investigação papiloscópica solucionadas	SOL	un.

Fonte: autor (2023)

5.2.4 Avaliação dos escores de eficiência

Os escores de eficiência técnica, através dos modelos CRS e VRS, foram calculados a partir dos *inputs* e *output* definidos na Tabela 18. A razão entre o CRS e o VRS resulta na eficiência de escala ESC. Também foram utilizados na análise os modelos DRS e IRS, de modo a determinar o posição, isto é, se a unidade está acima ou abaixo do porte adequado às suas demandas de ocorrências criminais em relação à escala ótima de eficiência. Os resultados de eficiência técnica (CRS e VRS), de escala (ESC) e de retornos crescentes (IRS) e decrescentes (DRS), calculados através do GAMS (Apêndices A, B, C e D), são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 – Escores de eficiência das unidades da Polícia Científica

DMU	Inputs		Output	CRS	VRS	DRS	IRS	ESC	Posição
	PER	PES	SOL						
Unidade 1	44	14.512	291	0,734	1,000	1,000	0,734	0,734	Acima
Unidade 2	12	1.935	54	0,901	0,910	0,901	0,910	0,990	Abaixo
Unidade 3	9	1.600	18	0,363	0,488	0,363	0,488	0,744	Abaixo
Unidade 5	6	609	2	0,106	0,954	0,106	0,954	0,111	Abaixo
Unidade 6	9	2.147	57	0,883	0,905	0,883	0,905	0,976	Abaixo
Unidade 7	14	3.068	95	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	Ótima
Unidade 8	5	2.012	42	0,802	0,808	0,802	0,808	0,993	Abaixo
Unidade 9	8	246	7	0,919	1,000	0,919	1,000	0,919	Abaixo
Unidade 15	1	1.275	28	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	Ótima
Unidade 30	4	1.211	32	0,945	1,000	0,945	1,000	0,945	Abaixo

Fonte: autor (2023)

Nota-se que somente duas das dez unidades da Polícia Científica se encontram na posição ótima de eficiência de escala, ou seja, possuem um escore 1,000 para todas as eficiências calculadas. Os valores obtidos mostram que essas unidades podem ser consideradas como referência para a diretoria da Polícia Científica.

A Unidade 15 se encontra no terceiro e último nível hierárquico das unidades da Polícia Científica, onde há geralmente um menor número de recursos disponíveis. Junto com a Unidade 30, entretanto, são as únicas desse nível a fazer utilização do *software* forense nesse degrau de hierarquia. Diante disso, a Unidade 15 apresenta bons resultados com uma quantidade de recursos limitados, fato que a fez ficar na posição ótima de eficiência de escala.

A Unidade 7 também se encontra na posição ótima de eficiência de escala e, atrás da Unidade 1, é a segunda DMU com maior número de peritos, indicando que este seja um recurso relevante na resolução de ocorrências criminais. A Unidade 15 é *outlier* nesse sentido, visto que possui somente um perito que é capaz de gerar resultados expressivos, provavelmente por possuir um elevado nível técnico.

A Unidade 1 foi a única com um posicionamento acima da escala ótima de eficiência. Isso porque se trata da unidade com maior importância para a Polícia Científica do Estado, a qual é responsável por gerenciar e auxiliar todas as demais unidades. Portanto, o modelo denota que esta unidade possui um porte maior que as demandas de ocorrências criminais, mas isso se justifica pela concentração de recursos que visam apoiar e coordenar as demais unidades. As sete unidades restantes são passíveis de medidas gerenciais que possam trazê-las para a fronteira de eficiência.

5.2.5 Determinação dos valores ideais de *inputs* de cada unidade da PCI

Medidas gerencias, como realocação de recursos, podem ser sugeridas a partir dos escores de eficiência calculados para cada unidade da Polícia Científica do Estado. No presente trabalho, realizou-se o cálculo de eficiência técnica VRS a partir de um modelo DEA orientado a *inputs*. Isso significa que o foco foi observar os *inputs* para a geração de resultados. O VRS, portanto, considera que as DMUs se tornam mais eficientes à medida que reduzem a quantidade de *inputs* utilizados, mas mantêm o mesmo nível de *outputs*.

Por definição, quando se multiplica o escore obtido pela unidade da PCI no modelo VRS pelo valor atual de *inputs* utilizados, a unidade estaria na fronteira da eficiência técnica. A Unidade 3, que obteve o pior escore de eficiência técnica dentre todas as unidades, com um valor de 0,488, pode servir de exemplo. Ao se multiplicar o número de peritos e de pesquisas papiloscópicas pelo escore de eficiência técnica, poderia se obter o valor ideal para essas duas variáveis. Nesse caso, a Unidade 3 atingiria o máximo escore de eficiência, de modo a manter o número de ocorrências criminais com investigação papiloscópica solucionadas. Esse exemplo é denotado na Tabela 20.

Tabela 20 – Valor ideal de *inputs* para a Unidade 3

Tipo	Variáveis	Valor Atual	Eficiência técnica atual	Valor Ideal
<i>Input</i>	PER	9	0,488	5
	PES	1.600		781
<i>Output</i>	SOL	18		18

Fonte: autor (2023)

Estendendo a análise para as demais unidades da Polícia Científica, a Tabela 21 apresenta o nível de *inputs* ideal para que se obtenha eficiência técnica máxima.

Tabela 21 – Valores ideais de inputs para cada unidade da Polícia Científica

DMU	Eficiência VRS	<i>Input atual</i>		<i>Input ideal</i>		<i>Diferença</i>		<i>Output</i> SOL
		PER	PES	PER	PES	PER	PES	
Unidade 1	1,000	44	14.512	44	14.512	0	0	291
Unidade 2	0,910	12	1.935	11	1.761	1	174	54
Unidade 3	0,488	9	1.600	4	781	5	819	18
Unidade 5	0,954	6	609	6	581	0	28	2
Unidade 6	0,905	9	2.147	8	1.943	1	204	57
Unidade 7	1,000	14	3.068	14	3.068	0	0	95
Unidade 8	0,808	5	2.012	4	1.626	1	386	42
Unidade 9	1,000	8	246	8	246	0	0	7
Unidade 15	1,000	1	1.275	1	1.275	0	0	28
Unidade 30	1,000	4	1.211	4	1.211	0	0	32
Total		112	28.615	104	27.004	8	1612	626
% da diferença em valor aos valores atuais						7,14%	5,63%	0,00%

Fonte: autor (2023)

Dos valores computados, cinco das dez unidades necessitariam passar por mudanças organizacionais. Para a variável “Numero de peritos” (PER), seria

necessária a redução de oito destes profissionais para que as eficiências máximas sejam alcançadas, o que corresponderia a mais de 7% do número total de peritos da Polícia Científica. Para a variável “Número de pesquisas com investigação papiloscópica realizadas” (PES), seria necessário reduzir em quase 6% o número de pesquisas realizadas atualmente.

Ressalta-se o fato de que a Unidade 3 obteve a menor eficiência técnica atual e que, dessa forma, seria responsável por mais de 50% das reduções totais exigidas para que todas unidades alcancem a eficiência ótima da análise.

5.3 AVALIAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DAS TECNOLOGIAS NA EFICIÊNCIA DAS UNIDADES

A análise exploratória do objeto de estudo avaliou as eficiências das unidades da Polícia Científica a partir de um escopo limitado de variáveis. Nesta seção, pode-se proceder com a avaliação da contribuição dos insumos tecnológicos. Busca-se analisar a participação, principalmente em termos de tecnologia informação e comunicação, na eficiência das unidades, a fim de verificar a existência ou não do paradoxo da produtividade nas investigações papiloscópicas.

5.3.1 Construção da árvore de decisão estatística

Um método para verificar a influência das variáveis no comportamento de uma variável dependente é através da construção da árvore de decisão estatística CHAID (*Chi-squared Automatic Interaction Detection*). Esta árvore é elaborada através de estatísticas de qui-quadrado para identificar divisões ideais. Neste caso, vários pontos de decisão serão criados. Estes pontos são os “nós” da árvore, determinados pelos valores de uma variável, em que em cada um deles o resultado da decisão será seguir por um caminho, ou por outro. Os caminhos existentes são os “ramos”.

A árvore de decisão CHAID permite visualizar a distribuição do comportamento de cada unidade, além de constituir a separação das DMUs entre os diferentes ramos de maneira que sejam identificadas as variáveis que são consideradas decisórias nas ramificações das unidades para uma variável dependente em específico.

No caso deste trabalho, as variáveis dependentes serão dadas pela eficiência técnica VRS e eficiência de escala ESC, de maneira que sejam obtidas variáveis com

poder decisório nos nós e o comportamento das unidades nos ramos. As variáveis que farão parte desta análise são aquelas que não foram consideradas na seleção final das variáveis da DEA. Isso porque a Análise Envoltória de Dados já levou em consideração as variáveis com maior poder explicativo da amostra de dados.

As variáveis que serão avaliadas na árvore de decisão estatística são apresentadas na Tabela 22.

Tabela 22 – Variáveis consideradas na árvore de decisão estatística

	Descrição da variável	Sigla	Unidade
Variáveis independentes	Horas de trabalho por dia	HOR	h
	Espaço físico do setor forense	ESP	m ²
	Número de papiloscopistas	PAP	un.
	Experiência média dos papiloscopistas	EXP	anos
	Número de licenças de software forense	LIC	un.
	Número de sensores biométricos de impressões digitais	SEN	un.
	Número de Viaturas	VIA	un.
	Número de Notebooks	NOT	un.
	Número de Computadores de Mesa	COM	un.
	Número de Câmeras fotográficas	CAM	un.
	Número de Maletas	MAL	un.
	Número de aparelhos telefônicos (tipo celular)	CEL	un.
Variáveis dependentes	Eficiência técnica VRS	VRS	-
	Eficiência de escala ESC	ESC	-

Fonte: autor (2023)

Os insumos atrelados à tecnologia são prioridade nesta análise. Primeiro, se eles possuem um fator decisório, que é estar presente nos nós da árvore e, em seguida, se os ramos desses nós levam ao aumento da eficiência com o aumento desses insumos.

Para uma análise preliminar, a Tabela 23 mostra as correlações entre as variáveis a serem consideradas na árvore de decisão estatística. Na linha da variável VRS, denota-se a contribuição mais positiva das variáveis “Número de aparelhos telefônicos (celular)”, “Número de notebooks”, “Número de papiloscopistas” e “Número de licenças de *software* forense”. As correlações mais negativas com relação à VRS são dadas pelo “Número de horas trabalhadas”, “Número de sensores biométricos” e “Número de câmeras”. Para a eficiência de escala ESC, destaca-se apenas o menor valor de correlação, que é dado pelo “Número de maletas”.

Tabela 23 – Análise de correlação entre as variáveis da árvore de decisão estatística

Variáveis	HOR	ESP	PAP	EXP	NOT	COM	LIC	SEN	VIA	CAM	MAL	CEL	VRS	ESC
HOR		-0,15	-0,09	0,00	-0,24	0,14	-0,08	0,76	-0,12	0,64	-0,14	-0,41	-0,77	-0,17
ESP	-0,15		0,83	-0,09	0,01	0,87	0,86	-0,30	0,73	0,45	0,18	0,35	0,20	-0,12
PAP	-0,09	0,83		0,23	0,08	0,91	0,98	-0,18	0,67	0,21	-0,02	0,40	0,27	-0,10
EXP	0,00	-0,09	0,23		-0,32	0,05	0,19	-0,04	-0,28	-0,30	-0,14	-0,29	0,09	0,02
NOT	-0,24	0,01	0,08	-0,32		0,14	-0,02	0,01	0,13	-0,22	0,02	0,70	0,38	-0,01
COM	0,14	0,87	0,91	0,05	0,14		0,92	0,00	0,60	0,40	-0,09	0,26	0,09	-0,08
LIC	-0,08	0,86	0,98	0,19	-0,02	0,92		-0,11	0,65	0,24	-0,05	0,33	0,23	-0,10
SEN	0,76	-0,30	-0,18	-0,04	0,01	0,00	-0,11		-0,21	0,35	-0,30	-0,16	-0,70	-0,11
VIA	-0,12	0,73	0,67	-0,28	0,13	0,60	0,65	-0,21		0,41	0,08	0,61	0,14	0,09
CAM	0,64	0,45	0,21	-0,30	-0,22	0,40	0,24	0,35	0,41		0,37	0,03	-0,64	-0,43
MAL	-0,14	0,18	-0,02	-0,14	0,02	-0,09	-0,05	-0,30	0,08	0,37		0,39	0,14	-0,84
CEL	-0,41	0,35	0,40	-0,29	0,70	0,26	0,33	-0,16	0,61	0,03	0,39		0,44	-0,29
VRS	-0,77	0,20	0,27	0,09	0,38	0,09	0,23	-0,70	0,14	-0,64	0,14	0,44		0,07
ESC	-0,17	-0,12	-0,10	0,02	-0,01	-0,08	-0,10	-0,11	0,09	-0,43	-0,84	-0,29	0,07	

Fonte: autor (2023)

5.3.1.1 Árvore de decisão estatística referente à eficiência técnica VRS

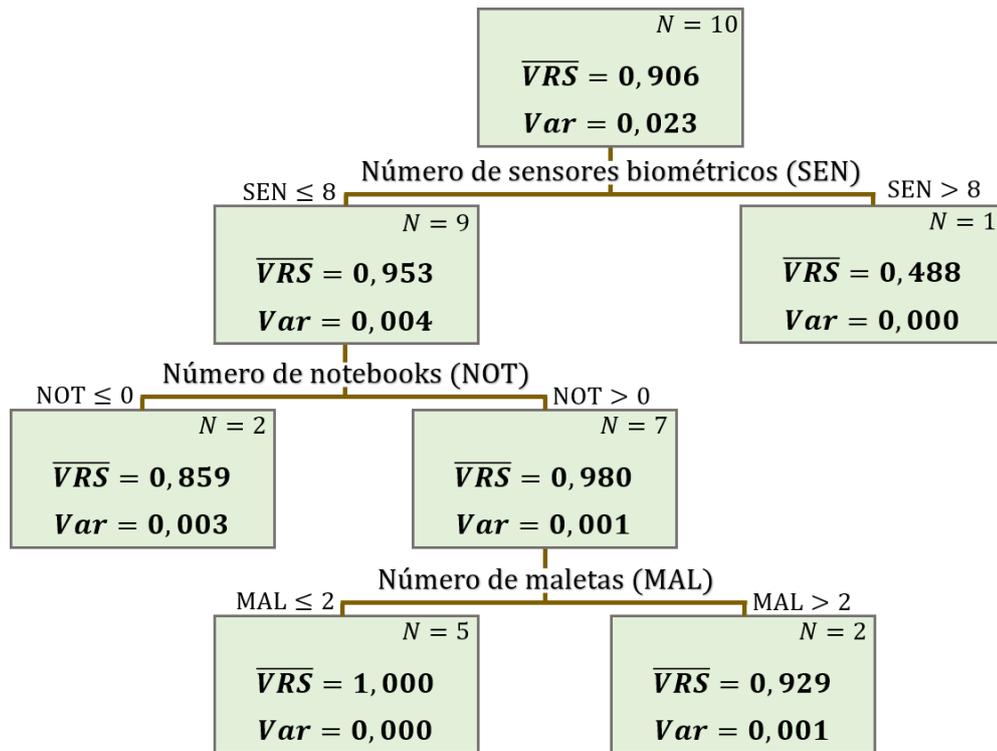
Com o auxílio do *software* STATISTICA, a eficiência técnica VRS foi considerada inicialmente como variável dependente e as demais variáveis independentes para a concepção da árvore de decisão estatística. A Figura 15 apresenta a árvore construída a partir dessas variáveis, com a identificação dos blocos (folhas) de variáveis. As folhas apresentam as respectivas quantidades N de unidades da Polícia Científica presentes e o valor médio para a eficiência técnica em cada folha. As variáveis com fator decisório são apresentadas nos nós, enquanto os ramos dividem as unidades através dos critérios de valores para cada nó.

Três variáveis se destacaram como sendo os nós, sendo elas o “Número de sensores biométricos”, o “Número de notebooks” e o “Número de malas” na árvore de decisão estatística com a variável dependente sendo a eficiência técnica VRS,

Para as variáveis SEN e MAL, unidades que possuem maiores quantidades desses insumos não apresentam as maiores eficiências, pelo contrário, tomam o caminho dos menores valores médios para o VRS. Entretanto, a variável NOT foi a única que indicou que as unidades da Polícia Científica que possuem valores nulos para essa variável são ineficientes, enquanto as demais apresentam altos valores de eficiência. Em outras palavras, isso significa que as unidades que possuem notebooks

tendem a ser mais eficientes que aquelas que não possuem, indicando à primeira vista uma quebra do paradoxo da produtividade. Além disso, este recurso é um dos que mais se relaciona com a tecnologia de informação e comunicação e essencial para o uso das aplicações do AFIS. No caso dos sensores biométricos, o inverso é observado: a unidade que possui a maior quantidade de sensores é também a que obteve o menor escore de eficiência VRS.

Figura 15 – Árvore de decisão estatística referente à eficiência técnica VRS



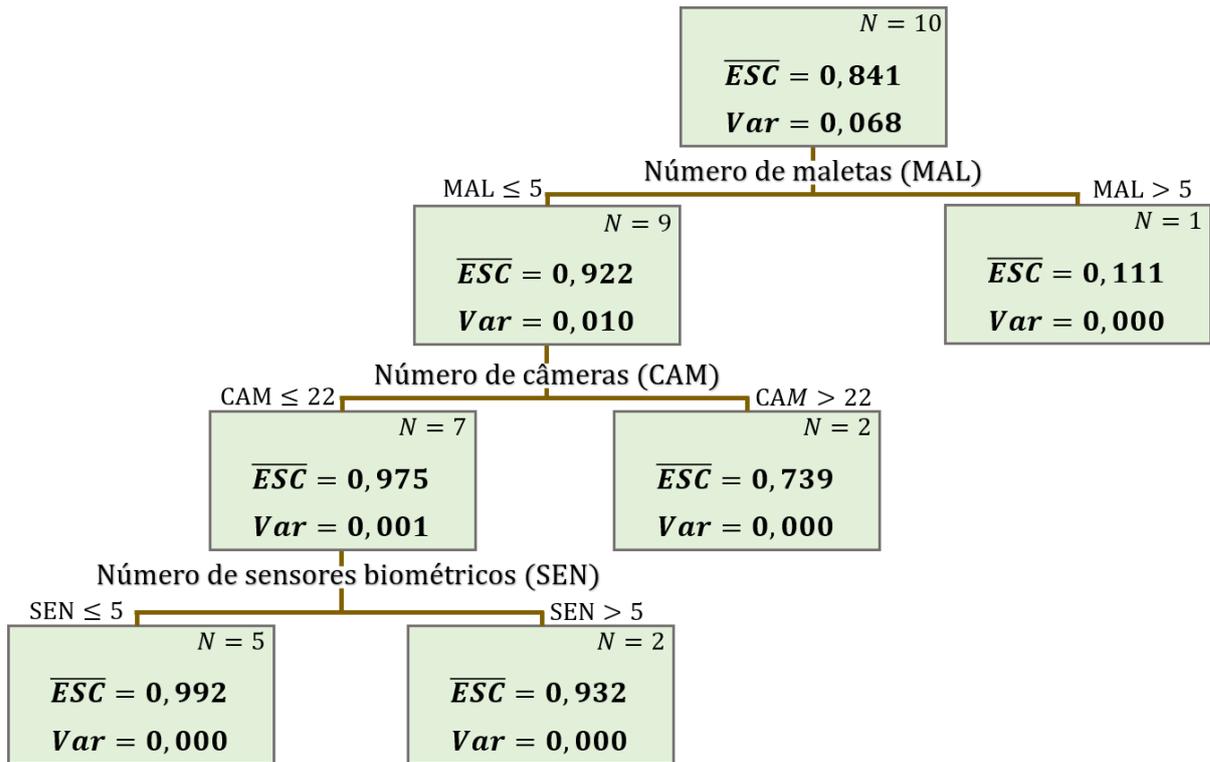
Fonte: autor (2023)

5.3.1.2 Árvore de decisão estatística referente à eficiência de escala ESC

A eficiência ESC pode ser adotada como variável dependente neste momento, a fim de identificar conclusões complementares às observadas na Figura 15. A ótica da eficiência de escala permite mensurar se o nível dos insumos atuais de cada unidade está de acordo com o seu respectivo porte.

A Figura 16 apresenta a árvore de decisão estatística em que a variável dependente foi considerada como sendo a eficiência de escala e as demais variáveis independentes.

Figura 16 – Árvore de decisão estatística referente à eficiência de escala ESC



Fonte: autor (2023)

A árvore de decisão estatística da variável dependente eficiência de escala ESC apresenta três nós, sendo eles o “Número de maletas”, o “Número de câmeras” e o “Número de sensores biométricos”. Para todas essas variáveis, o aumento das suas quantidades representa uma redução nos escores de eficiência ESC médio entre as unidades da Polícia Científica.

As maletas e os sensores biométricos apresentam ramificações em ambas as árvores, de maneira que as unidades que possuem esses recursos em maior quantidade tendem a não apresentar bons resultados de produtividade. As câmeras, que aparecem somente na árvore ESC, reforçam a análise das maletas e dos sensores.

Essas três variáveis, por mais que apresentam um grau de tecnologia, são consideradas instrumentos auxiliares de trabalho, não se relacionando diretamente à tecnologia de informação e comunicação. O aumento dessas quantidades não tem contribuído na melhoria da eficiência das unidades da Polícia Científica, conforme analisado nos dados da amostra.

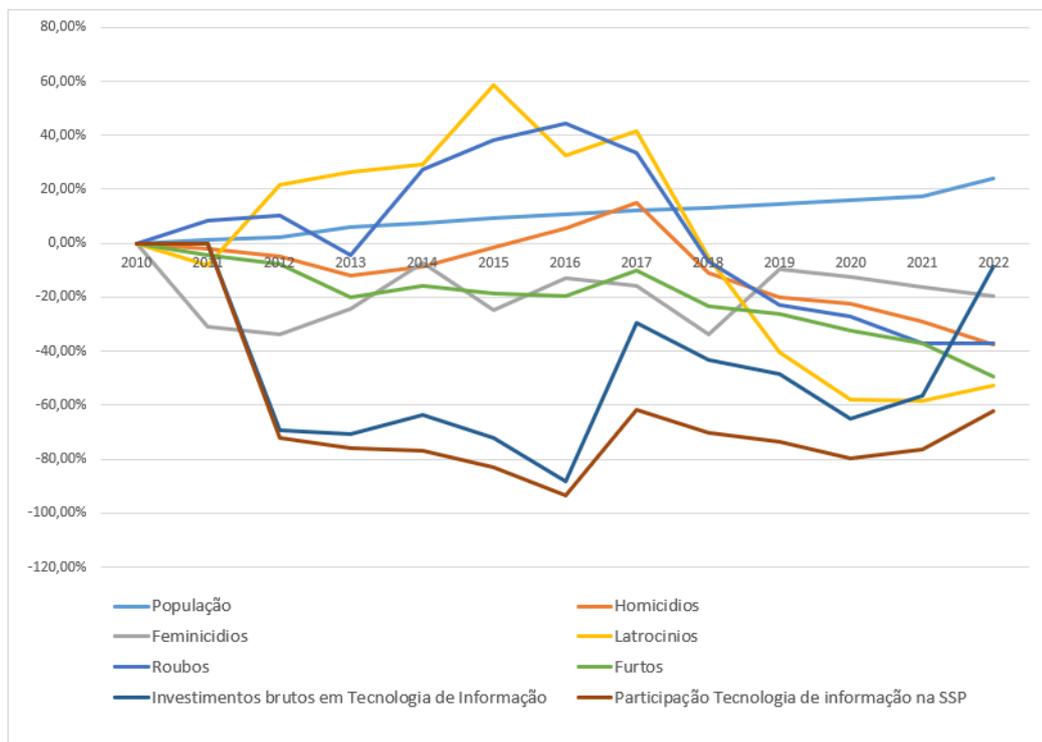
5.3.2 Dados históricos de criminalidade e o investimento na Polícia Científica

A investigação papiloscópica é somente uma das atividades inseridas no setor forense. Este setor faz parte de um dos departamentos da Polícia Científica, órgão que está inserido na segurança pública do Estado.

Na prática, espera-se que os investimentos realizados no campo de Tecnologias de Informação e Comunicação conduzam a melhores resultados dos índices de criminalidade. Tal conclusão estaria diretamente relacionada à garantia da cidadania. Dessa forma, pode-se proceder uma análise histórica para permitir uma avaliação complementar do paradoxo da produtividade. A análise busca relacionar as despesas gastas em Tecnologia de Informação e as despesas totais da Polícia Científica, em comparação aos índices de criminalidade do Estado.

Os dados coletados são anuais e puderam ser obtidos a partir de 2010 através do IPEA e da Secretaria de Segurança Pública do Estado. Como o estudo está sendo tratado de modo anonimizado, os dados mostrados na Figura 17 considera as variações percentuais de cada ano em relação ao ano de 2010.

Figura 17 – Evolução histórica da população, dos crimes e dos investimentos em Tecnologia de Informação na Polícia Científica do Estado (2010 - 2022)



Fonte: adaptado de IPEA e SSP (2023)

A curva em azul claro que se aproxima de uma curva linear é dada pela evolução da população, praticamente constante ao longo dos anos. Entretanto, a Figura 17 mostra que somente os crimes de latrocínio e roubo aumentaram em relação à população em boa parte dos anos iniciais da análise, enquanto o restante dos crimes diminuiu em comparação ao crescimento populacional. A partir de 2018, por exemplo, todos os crimes mantiveram valores absolutos menores em comparação com 2010 e, praticamente todos chegaram nos seus valores mínimos em comparação aos demais anos. Se a comparação for proporcional à população, esta diferença é ainda maior. Isso demonstra que os órgãos de segurança pública, junto ao Estado e à população, têm se tornado mais eficientes ao longo dos últimos anos, contribuindo para a melhoria do direito à cidadania.

Por outro lado, as despesas em Tecnologia de Informação e suas respectivas participações frente às despesas totais da Polícia Científica não foram maiores que os patamares de 2010. A partir de 2017, porém, as variações dos índices de criminalidade e das despesas em Tecnologia de Informação se assemelham.

Sob a perspectiva do paradoxo da produtividade, os valores gráficos não permitem concluir se a redução das despesas da Polícia Científica em TI contribuiu para a melhoria dos índices de criminalidade. Conforme disposto em Brasil (1988), a manutenção da segurança pública é realizada por diversos órgãos que atuam em conjunto. Portanto, a análise de despesas de somente um órgão não permite obter conclusões à despeito do paradoxo da produtividade. Além disso, Brynjolfsson et al. (2019) afirmam que os investimentos em tecnologias podem demorar a surtir efeito nas estatísticas de produtividade e, portanto, os resultados podem aparecer somente no longo prazo dependendo das tecnologias empregadas.

5.4 DEMAIS CONSIDERAÇÕES

O objetivo do presente trabalho é analisar a eficiência de recursos tecnológicos na resolução de ocorrências criminais com investigação papiloscópica, de modo a avaliar o paradoxo da produtividade.

Nota-se, a partir da análise DEA, que a combinação dos peritos e das pesquisas papiloscópicas realizadas possuem alto poder explicativo na resolução de ocorrências criminais. As pesquisas papiloscópicas, por sua vez, estão relacionadas com o uso do *software* forense vinculado ao AFIS do Estado, destacando-se como um

recurso vinculado à tecnologia de informação essencial para o desempenho das unidades da Polícia Científica. Unidades que não possuam acesso a este recurso, por exemplo, sequer puderam fazer parte da modelagem DEA, isto é, não são capazes de solucionar ocorrências criminais com investigação papiloscópica sem a utilização do AFIS. Neste caso, a utilização do AFIS é imprescindível na geração dos *outputs* utilizados na análise

Através as árvores de decisão estatística construídas, percebeu-se que alguns instrumentos de trabalho, como são os casos das maletas, das câmeras e dos sensores biométricos, quando em maiores quantidades, prejudicam a eficiência das unidades da PCI. Entretanto, maiores quantidades de recursos tecnológicos vinculados à informação e comunicação, como são o caso dos notebooks, celulares e das licenças de *software* forense, tornam as unidades mais eficientes. Tal observação permite concluir que o paradoxo da produtividade não se aplica ao presente estudo.

Finalmente, a análise complementar buscou avaliar os resultados gerais em termos de segurança pública para além do campo forense no Estado de estudo. Pode-se observar uma melhoria dos índices de criminalidade nos últimos anos, mas não se pode tirar uma conclusão a respeito do paradoxo da produtividade quanto à diminuição dos investimentos absolutos em Tecnologia de Informação na Polícia Científica.

6 CONCLUSÃO

Os órgãos de segurança pública possuem papel fundamental na manutenção da garantia da cidadania à população. O investimento em tecnologia nesses institutos tem acompanhado à modernização desse segmento.

O objetivo geral do presente trabalho é analisar a eficiência de recursos tecnológicos na resolução de ocorrências criminais com investigação papiloscópica à luz do paradoxo da produtividade através da técnica de Análise Envoltória de Dados. O estudo foi realizado em uma amostra de dados provenientes das unidades da Polícia Científica no ano de 2022 de um estado da federação.

A análise dos dados coletados das unidades da Polícia Científica foi realizada a partir de técnicas estatísticas. Destacam-se as análises de correlação, análises de componentes principais, programação matemática de modelos DEA para geração dos escores de eficiência e construção de árvores de decisão estatísticas.

Através da DEA e com a utilização do Princípio da Parcimônia, derivado da Navalha de Ockham, observou-se que o número de pesquisas papiloscópicas realizadas e número de peritos apresentam alto poder explicativo no número de ocorrências criminais com investigação papiloscópica. Além disso, as análises mostraram que cinco das dez unidades da Polícia Científica apresentavam escores de eficiência VRS abaixo da eficiência máxima e que somente duas unidades apresentavam escores de eficiência de escala ótima. Dessa forma, pode-se propor medidas gerenciais para as unidades ineficientes da PCI, através da diminuição do número de peritos e da redução de pesquisas papiloscópicas.

A avaliação paralela do paradoxo da produtividade foi procedida através das variáveis que não foram utilizadas nos modelos DEA. Através da elaboração das árvores de decisão estatísticas CHAID e apoiando-se nas análises de correlação dessas variáveis, pode-se sugerir que alguns recursos vinculados à tecnologia de informação e comunicação, como é o caso dos notebooks, contribuem significativamente na geração de melhores escores de eficiência das unidades. Por outro lado, alguns instrumentos de trabalho com pouco grau tecnológico, como as câmeras, maletas e sensores biométricos, quando em maiores quantidades, tornam as unidades mais ineficientes.

O cumprimento dos objetivos específicos e, desta forma, do objetivo geral deste estudo, permitem a sugestão, portanto, que o paradoxo da produtividade não foi observado nas análises forenses papiloscópicas da amostra de dados do objeto de estudo.

Com relação a garantia da cidadania no Estado, os dados mostraram uma melhoria dos índices de criminalidade nos últimos anos, apesar de as despesas em Tecnologia da Informação não aumentarem na Polícia Científica. Como ressaltado no estudo de Brynjolfsson et al. (2019), quando os investimentos em tecnologias são analisados única e exclusivamente sob a ótica financeira, pode ser possível não concluir que o paradoxo da produtividade é observado, visto que esses investimentos em tecnologias podem começar a gerar resultados ao longo do espaço de tempo.

Finalmente, dadas as delimitações características do estudo, são listadas sugestões de trabalhos futuros que podem enriquecer as análises apresentadas:

- a) Avaliação da inserção de outras modalidades biométricas, tais como faciais e de íris, na resolução de ocorrências criminais;
- b) Realização de estudo de caso ou pesquisa-ação como forma de verificar o impacto das medidas gerenciais propostas no presente trabalho;
- c) Acompanhamento da propagação do uso do *software* forense vinculado ao AFIS nas outras vinte unidades da Polícia Científica do Estado;
- d) Análise da relação entre os vestígios de latentes não solucionadas com ocorrências criminais não solucionadas. Imagina-se que, com o passar do tempo, a base de latentes não solucionadas cresça e, portanto, diferentes ocorrências criminais não solucionadas poderão ter os vestígios de latentes relacionados.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, J. L.; PINTO, L. E. R. **Economic Efficiency Measurement in Different Dimensions: A Review**. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 9(2), 186-195, 2019.
- ALI, A.; SEIFORD, L. **Translation invariance in data envelopment analysis**. *Operations Research Letters*, 9, 403–405, 1990.
- ARAUJO, C. A. M. O registro policial no boletim de ocorrência. Porto Alegre: PUCRS, 2007. **Trabalho de Pós-graduação lato sensu**.
- AWAD, A. I.; HASSANIEN, A. E. Impact of Some Biometric Modalities on Forensic Science. **Studies in Computational Intelligence**, p. 47–62, 2014.
- AWARE BIOMETRICS. **Processos biométricos**. Disponível em: <<https://www.aware.com/pt/o-que-e-biometria/processos-biometricos/>>. Acesso em: 8 fev. 2023.
- BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. **Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis**. *Management Science* 30: 1078–1092, 1984.
- Bertino, A. J., Jr. **Forensic Science: Fundamentals and Investigations**. Cengage Learning, 2016.
- BLACKBURN, D.; MILES, C.; WING, B.; SHEPARD, K. **Biometrics History**, 2006. Disponível em: <https://www.hsdn.org/?view&did=463907>.
- BOLLE, R. M., CONNELL, J. H., PANKANTI, S., RATHA, N. K. e SENIOR, A. W. **Guide to Biometrics**. Springer Professional Computing, 1st edition, 2004.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Congresso Nacional, 1988.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018b**. Dispõe sobre a proteção de dados pessoais e altera a Lei nº 12.965, de 23 de abril de 2014 (Marco Civil da Internet). Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília agosto de 2018b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13709.htm. Acesso em: 01 de novembro de 2021.
- BRASIL. Presidência da República. **Lei no 8.666, de 21/06/1993**. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8666cons.html>. Acesso em: 13 dez. 2021.
- BRASIL. Lei nº 12.037/2009. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12037.htm > Acesso em 14 de novembro de 2021.
- BOUSSOFIANE, A.; DYSON, R. G.; THANASSOULIS E. **Applied data envelopment analysis**. *European Journal of Operational Research*, 52: 1–15, 1991.
- BRYNJOLFSSON, E.; ROCK, D.; SYVERSON, C. Artificial Intelligence and the

Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. ***The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda***, p. 23-60, 2019.

BUKHARI, S. N. A.; ARSHAD, M. **Interference between acquired parameters of latent fingerprint and its quality**. International Journal of Computer Applications, vol. 152, nº 14, 2016.

CABALLERO, S. A. D. **Papiloscopia: Certeza ou dúvida? Apologia à micropapiloscopia**. Campinas – SP. Millennium, 2012.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. **Measuring the efficiency of decision making units**. European Journal of Operational Research 2: 429–444, 1978.

CHARNES, A.; COOPER, W.W.; LEWIN, A.Y.; SEIFORD, L.M. **Data envelopment analysis: Theory, methodology and applications**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994.

CHEMELLO, E. **Ciência forense: impressões digitais**. Química Virtual, 2006. Disponível em: http://www.ebah.com.br/content/ABAA_AALTkAC/ciencia-forense-impressoes-digitais.

CHEN, Y.; LIANG, L.; YANG, F.; ZHU, J. **Evaluation of information technology investment: a data envelopment analysis approach**. Computers & Operations Research, v. 33, n. 5, p. 1368–1379, 2006.

CHEN, S.; LIN, B. **Comparison of fingerprint recognition techniques**. Pattern Recognition Letters, 29(15), 2121-2129, 2008.

CLARKE, R. Human identification in information systems: management challenges and public policy issues. **Information Technology & People**, v. 7, n. 4, p. 6 – 37, 1994.

COELLI, T.; RAO, D. S. P.; O'DONELL, C. J.; BATTESE, G. E. **An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis**. New York: Springer, 2. ed., 331p, 2005.

COLLIS, J.; HUSSEY, R. **Pesquisa em Administração**. Um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação. 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; TONE, K. **Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses: With DEA-Solver Software and References**. 2. ed. New York: Springer, 2006.

COOPER, W.W.; SEIFORD, L.M.; TONE, K. **Data Envelopment Analysis – A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**. 2. ed. New York: Springer, 2007, 490p.

COSTA, M. A. Segurança Pública. **Revista Núcleo de Criminologia**, v. 7, n.7, p. 130 - 140, 2010.

COTTE POVEDA, A. **Estimating Effectiveness of the Control of Violence and Socioeconomic Development in Colombia: An Application of Dynamic Data**

Envelopment Analysis and Data Panel Approach. Social Indicators Research, v. 105, n. 3, p. 343–366, 2010.

DAUGMAN, J.; JAIN, A. K.; BOLLE, R. M.S.; MARIO, D. **Handbook of biometrics.** Springer Science & Business Media, 2008.

DE FREITAS, M.; SANTOS, J.; MALDONADO, V. O pregão eletrônico e as contratações de serviços contínuos. **Rev. Adm. Pública - Rio de Janeiro**, v. 47, n. 5, p. 1265–281, 2013.

DESMET, P. **Teoria da Produção.** São Paulo: Atlas, 2003.

DUARTE, L. G. S.; MANZINI, P. **The Evaluation of Technical Efficiency and Economics of Firms.** International Journal of Economics and Management Sciences, 1(2), 19-38, 2012.

FARREL, M. J. **The measurement of productive efficiency.** Journal of the Royal Statistical Society, London, v. 120, n. 3, p. 253-290, 1957.

FACHONE, P.; VELHO, L. Ciência forense: interseção justiça, ciência e tecnologia. **Tecnologia e Sociedade**, v. 3, n. 4, p. 139-161, 2007.

FAWCETT, T. **An introduction to roc analysis.** Pattern recognition letters, Elsevier, v. 27, n. 8, p. 861–874, 2006.

FERREIRA, C.M.C.; GOMES, A.P. **Introdução à Análise Envoltória de Dados: Teoria, Modelos e Aplicações.** Viçosa: UFV, 2009. 389p.

FRANCIS, T. L. **Simplicity and truth in regression analysis.** American Statistician, 27(1), 17-20, 1973.

FREIRE, F. X.; SATO, R. A.; LEITE, C. S.; OLIVEIRA, A. F. C.; QUINTANS JUNIOR, I. E. K. **Um estudo de caso sobre o uso da análise envoltória de dados para avaliação da eficiência do setor de segurança pública.** IEEE Trans. Sist. Avanç. Intel., v. 7, n. 1, p. 89-94, 2017.

FREITAS, T. (2012). **O uso da coleta biométrica e da papiloscopia no registro civil brasileiro.** Latin American Applied Research, 42(4), 325-330.

FRIES, C.E. **Avaliação do Impacto do Uso de Tecnologias de Informação e Comunicação na Eficiência de Prestadores de Serviços Logísticos.** Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção e Sistemas, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

GARTNER, I. R.; ZWICKER, R.; RÖDDER, W. **Investimentos em tecnologia da informação e impactos na produtividade empresarial: uma análise empírica à luz do paradoxo da produtividade.** Revista de Administração Contemporânea, v. 13, n. 3, p. 391–409, 2009.

GIL, A.C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 6ª.Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIOT, R.; EL-ABED, M.; ROSENBERGER, C. Fast computation of the performance evaluation of biometric systems: Application to multibiometrics. **Future Generation**

Computer Systems. 29(3), 788–799, Special Section: Recent Developments in High Performance Computing and Security, 2013.

GLEISER, M. **Criação imperfeita**. 6 ed. Rio de Janeiro: Record, 2013, 368p.

GORDON, R. J. **The Rise and Fall of American Growth The U.S. Standard of Living since the Civil War**. [s.l.] Princeton; Oxford Princeton University Press, 2017.

GRIAULE BIOMETRICS. **About Us**. Disponível em: <<https://griaule.com/about-us/>>. Acesso em: 15 set. 2021.

GTMI. **Gov Tech Maturity Index Update**. The World Bank. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/programs/govtech/2022-gtmi>>. Acesso em: 5 abr. 2023.

HALL, R. E.; LIEBERMAN, M. **Microeconomia: princípios e aplicações**. Trad. Luciana Penteado Miquelino. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003.

HAMACHER, S. **Exploring the Frugal Innovation Process**. Copenhagen Business School, 2014.

HOTELLING, H. **Technical Efficiency and Productivity of the Public Sector**. Columbia University, 1931.

HU, Y.; WU, Y.; ZHOU, W.; LI, T.; LI, L. **A three-stage DEA-based efficiency evaluation of social security expenditure in China**. PLOS ONE, v. 15, n. 2, p. e0226046, 11 fev. 2020.

HUMPHREY, T. M. **Algebraic production functions and their uses before Cobb-Douglas**. Economic Quarterly - Federal Reserve Bank of Richmond, 83(1), 51-83, 1997.

IONESCU, A.; BRICIU, C.; STAN, I. **Issues in biometric technologies implementation**. International Journal of Computer Science & Information Technology, 2(4), 1-9, 2010.

JAIN, A. K.; ROSS, A.; PRABHAKAR, S. **An Introduction to Biometric Recognition**. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology; Vol. 14, no. 1, p. 4–20, Jan. 2004.

JI, Y.; LEE, C. **Data Envelopment Analysis**. The Stata Journal: Promoting communications on statistics and Stata, v. 10, n. 2, p. 267–280, jul. 2010.

JOHNSON, R.A., WICHERN, D.W., **Applied Multivariate Analysis**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.

KOOPMANS, T. C. **The Activity Analysis of Production and Allocation**. Nova Iorque: Wiley, 1951.

KHUU, A.; SPINDLER, X.; ROUX, C. Detection of latent fingerprints and cells on paper. **Forensic Science International**, v. 309, p. 110185, abr. 2020.

LAI, L.; HO, S.; POOR, H. V. Privacy-Security Trade-Offs in Biometric Security Systems - Part I: Single Use Case. **IEEE Transactions on Information Forensics and Security**, v. 6, n. 1, p. 122 – 139, 2011.

LEEK, J. The Elements of Data Analytic Style: A guide for people who want to analyze data. **Leanpub**, p. 98, 2015.

LI, S. S.; JAIN, A. K. (Eds.). **Encyclopedia of Biometrics**. 2nd ed. Springer US, 2015.

LIU, J.; GONG, Y.; ZHU, J.; TITAH, R. **Information technology and performance: Integrating data envelopment analysis and configurational approach**. 2022, Journal of the Operational Research Society, 73:6, 1278-1293.

LOVELL, K.C.A. Production frontiers and productive efficiency. In: **The measurement of productive efficiency: techniques and applications**. New York: Oxford University Press, 1993.

LUPTÁČIK, M. **Mathematical optimization and economic analysis, Springer optimization and its applications**, Vol. 36, Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 2010.

MARAGNI, S. S.; OLIVEIRA, D. S. S.; BOERSMA, C. G. J.; OLIVEIRA, R.L.; ABDELNOUR, L.A. **Computational Biometric Authentication**. International Journal of Information, v. 4, n. 3, p. 174-183, 2017.

MARTIN, A.; DODDINGTON, G.; KAMM, T.; ORDOWSKI, M.; PRZYBOCKI, M. **The DET curve in assessment of detection task performance**. [S.l.], 1997.

MANSFIELD, E.; YOHE, G. **Microeconomia**. Trad. Cid Knipel Moreira. São Paulo: Saraiva, 2006.

MEZA, L. A. **Data envelopment analysis na determinação da eficiência dos programas de pós-graduação da COPPE/UFRJ**. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 1998.

MIRANDA, Zil. **Política de ciência, tecnologia e inovação para segurança pública**. Revista Brasileira de Segurança Pública, v. 6, p. 434-453, 2012.

NAKANO, D.N. Métodos de Pesquisa adotados na Engenharia de Produção e Gestão de Operações. In: MIGUEL, P.A.C. (org). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

NICULESCU, B. R.; COMAN, C. NATO Automated Biometric Identification System (NABIS). **Military Technical Academy of Bucharest**, v. 17, n. 2, p. 67 - 72, 2017.

National Institute of Standards and Technology (NIST). **MINEX testing for minutiae extractor interoperability**. 2006.

National Institute of Standards and Technology (NIST). **Biometric specifications approved by NIST**. 2013.

OOI, Y. J.; MOHAMAD, J.; TEOH, A.; CHANG, S. W.; KAUR, V. **Biometrics in Forensic Analysis: Emerging Trends and Future Directions**. International Journal of Forensics, 2020.

OSBORNE, S. P.; STROKOSCH, K. **It takes Two to Tango? Understanding the Co-production of Public Services by Integrating the Services Management and Public Administration Perspectives**. v. 24, p. S31–S47, 7 ago. 2013.

PAULI, A. A. G. **Uma abordagem via análise envoltória de dados para o estabelecimento de melhorias em segurança baseadas na FMEA**. Gestão & produção, v. 20, n. 1, p. 87–97, 2013.

PEREIRA FILHO, O. A. Três ensaios sobre mensuração de eficiência e avaliação de impacto em serviços de segurança pública no Brasil. 193 f., il. **Tese (Doutorado em Economia)** - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

PINHO, M. S. **Os Paradoxos das Contratações e Licitações Públicas no Brasil**. In: Revista Jurisprudência de Minas Gerais, vol. 2, nº 2, 2008.

PINTO, J. P. R.; AMARAL, S.; PORTO, A.; JUNQUEIRA, M. F.; AREND, M. L.; MARQUES, G. E. **Estudos de Performance de Sistemas de Autenticação Biométrica Baseados em Verificação Unimodal e Multimodais**. IEEE Latin America Transactions, v. 16, n. 10, p. 1839-1847, 2018.

PIRES, I. C. **Eficiência e produtividade na teoria econômica neoclássica**. Revista do Instituto Brasileiro de Economia, 57(2), 163–172, 2018.

PITANGUEIRA, D.; BASSO, C.; FONSECA, I. **Democracia digital : mapeamento de experiências em dados abertos, governo digital e ouvidorias públicas**. lpea.gov.br, 2019.

PRABHAKAR, S.; PANKANTI, S.; JAIN, A. K. **Biometric recognition: Security and privacy concerns**. IEEE security & privacy, IEEE, v. 1, n. 2, p. 33–42, 2003.

RAY, C. **Data envelopment analysis: Theory and techniques for economics and operations research**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

ROSA, S. M. **A invisibilidade da papiloscopia na persecução penal em Goiás**. Dissertação de Mestrado, 2016.

ROSS, A.; ERNSTBERGER, K. **Benchmarking the IT productivity paradox: Recent evidence from the manufacturing sector**. Mathematical and Computer Modelling, v. 44, n. 1-2, p. 30–42, Jul. 2006.

SENRA, L. F. A. C. et al. **Estudo sobre métodos de seleção de variáveis em DEA**. Pesquisa Operacional, v. 27, n. 2, p. 191-207, 2007.

SIGALA, M.; AIREY, D.; JONES, P.; LOCKWOOD A. **ICT Paradox Lost? A Stepwise DEA Methodology to Evaluate Technology Investments in Tourism Settings** - 2004. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0047287504268247>>. Acesso em: 11 jan. 2023.

SILVA, G. R. **Detecção de Impressões Digitais Falsas no Reconhecimento Biométrico de Pessoas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

SIMONSEN, M. H. **Teoria microeconômica: teoria do consumidor, teoria da produção**. 7. ed. Rio de Janeiro: FGV, 1985.

SINGLA, S. K.; KUMAR, S. **A review of data acquisition and difficulties in sensor module of biometric systems**. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 589–597, 2013.

SOARES, L. E. Segurança pública: presente e futuro. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 20, n. 56, p. 91 - 106, 2006.

SOLOW, R. M. (1988). Growth theory and after. **The American Economic Review**, v. 78, n. 3, p. 307-317, 1988.

XIAO, Q. **Technology review - Biometrics-Technology, Application, Challenge, and Computational Intelligence Solutions**. v. 2, n. 2, p. 5–25, 1 maio 2007.

APÊNDICE A – GAMS VRS

```

sets i units / N1*N10 /
     j inputs and outputs / PER, PES, SOL /
     ji(j) inputs / PER, PES /
     jo(j) outputs /
         SOL /;

alias(k,i);

Table data(i,j)
      PER  PES  SOL
N1    44   14512 291
N2    12   01935 054
N3    09   01600 018
N4    06   00609 002
N5    09   02147 057
N6    14   03068 095
N7    05   02012 042
N8    08   00246 007
N9    01   01275 028
N10   04   01211 032
;

parameter slice(j) slice of data
           eff_k(i) efficiency report;

Variables z efficiency
           lam(i) dual weights;

positive variables lam;

Equations dii(ji) input duals
           dio(jo) output dual;

dii(ji).. sum(i, lam(i)*data(i,ji)) =l= z*slice(ji);
dio(jo).. sum(i, lam(i)*data(i,jo)) =g= slice(jo);

model deadc dual with CRS / dii, dio /;

parameter rep summary report;
option limrow=0, limcol=0, solprint=silent, lp=cplexd,
        solvelink=5;

loop(k,
     slice(j) = data(k,j);
     solve deadc using lp minimizing z ;
     rep(k,'objval') = deadc.objval;
);

display rep;

```

APÊNDICE B – GAMS CRS

```

sets i units / N1*N10 /
      j inputs and outputs / PER, PES, SOL /
      ji(j) inputs / PER, PES /
      jo(j) outputs /
          SOL /;

alias(k,i);

Table data(i,j)
      PER PES SOL
N1    44  14512 291
N2    12   01935 054
N3     09   01600 018
N4     06   00609 002
N5     09   02147 057
N6     14   03068 095
N7     05   02012 042
N8     08   00246 007
N9     01   01275 028
N10   04   01211 032
;

parameter slice(j) slice of data
           eff_k(i) efficiency report;

Variables z efficiency
           lam(i) dual weights;

positive variables lam;

Equations dii(ji) input duals
           dio(jo) output dual;

dii(ji).. sum(i, lam(i)*data(i,ji)) =l= z*slice(ji);
dio(jo).. sum(i, lam(i)*data(i,jo)) =g= slice(jo);

model deadc dual with CRS / dii, dio /;

parameter rep summary report;
option limrow=0, limcol=0, solprint=silent, lp=cplexd,
        solvelink=5;

loop(k,
      slice(j) = data(k,j);
      solve deadc using lp minimizing z ;
      rep(k,'objval') = deadc.objval;
);

display rep;

```

APÊNDICE C – GAMS IRS

```

sets i units / N1*N10 /
     j  inputs and outputs / PER,    PES,    SOL /
     ji(j) inputs          / PER,    PES
     jo(j)  outputs       /
     SOL /;

alias(k,i);

Table data(i,j)

      PER    PES    SOL
N1    44    14512  291
N2    12    01935  054
N3    09    01600  018
N4    06    00609  002
N5    09    02147  057
N6    14    03068  095
N7    05    02012  042
N8    08    00246  007
N9    01    01275  028
N10   04    01211  032

;

parameter slice(j) slice of data
           eff_k(i) efficiency report;

Variables z      efficiency
           lam(i) dual weights;

positive variables lam;

Equations dii(ji)    input duals
           dio(jo)    output dual
           sumlam     unity;

dii(ji).. sum(i, lam(i)*data(i,ji)) =l= z*slice(ji);
dio(jo).. sum(i, lam(i)*data(i,jo)) =g= slice(jo);
sumlam .. sum(i, lam(i)) =g= 1;

model deadc dual with VRS / dii, dio, sumlam /;

parameter rep summary report;
option limrow=0, limcol=0, solprint=silent, lp=cplexd,
       solvelink=5;

loop(k,
     slice(j) = data(k,j);
     solve deadc using lp minimizing z ;
     rep(k,'objval') = deadc.objval;
);

display rep;

```

APÊNDICE D – GAMS DRS

```

sets i units / N1*N10 /
     j  inputs and outputs / PER,    PES,    SOL /
     ji(j) inputs          / PER,    PES
     jo(j)  outputs       /
         SOL /;

alias(k,i);

Table data(i,j)

          PER    PES    SOL
N1        44    14512  291
N2        12    01935  054
N3         9    01600  018
N4         6    00609  002
N5         9    02147  057
N6        14    03068  095
N7         5    02012  042
N8         8    00246  007
N9         1    01275  028
N10       4     01211  032
;

parameter slice(j) slice of data
          eff_k(i) efficiency report;

Variables z      efficiency
          lam(i) dual weights;

positive variables lam;

Equations dii(ji)    input duals
          dio(jo)    output dual
          sumlam      unity;

dii(ji).. sum(i, lam(i)*data(i,ji)) =l= z*slice(ji);

dio(jo).. sum(i, lam(i)*data(i,jo)) =g= slice(jo);

sumlam .. sum(i, lam(i)) =l= 1;

model deadc dual with VRS / dii, dio, sumlam /;

parameter rep summary report;
option limrow=0, limcol=0, solprint=silent, lp=cplexd,
        solvelink=5;

loop(k,
     slice(j) = data(k,j);
     solve deadc using lp minimizing z ;
     rep(k,'objval') = deadc.objval;
);

display rep;

```