



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE, ECONOMIA E GESTÃO
DE POLÍTICAS PÚBLICAS
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

GABRIEL LEITE ALVES

**ORÇAMENTAÇÃO DA CAPACIDADE OPERATIVA DO EXÉRCITO BRASILEIRO:
UMA PROPOSTA DE MODELO DE OTIMIZAÇÃO, SOB A PERSPECTIVA DO
ORÇAMENTO BASEADO EM RESULTADOS.**

Brasília – DF

2025

GABRIEL LEITE ALVES

**ORÇAMENTAÇÃO DA CAPACIDADE OPERATIVA DO EXÉRCITO BRASILEIRO:
UMA PROPOSTA DE MODELO DE OTIMIZAÇÃO, SOB A PERSPECTIVA DO
ORÇAMENTO BASEADO EM RESULTADOS.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Administração, Contabilidade, Economia e Gestão de Políticas Públicas da Universidade de Brasília como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Economia. Área de concentração: Economia da Defesa.

Orientador: Prof. Dr. Julio Eduardo da Silva Menezes.

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Nascimento Júnior

Brasília – DF

2025

Ficha catalográfica elaborada automaticamente, com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Ficha catalográfica para trabalhos acadêmicos

GABRIEL LEITE ALVES

**ORÇAMENTAÇÃO DA CAPACIDADE OPERATIVA DO EXÉRCITO BRASILEIRO:
UMA PROPOSTA DE MODELO DE OTIMIZAÇÃO, SOB A PERSPECTIVA DO
ORÇAMENTO BASEADO EM RESULTADOS.**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 19 de setembro de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Julio Eduardo da Silva Menezes, Dr.
Instituição Escola Superior de Defesa (ESD)

Prof. Victor Rafael Rezende Celestino, Dr.
Instituição Universidade de Brasília (UnB)

Prof. Diógenes de Souza Bido, Dr.
Instituição Universidade Presbiteriana Mackenzie

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Economia

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Julio Eduardo da Silva Menezes, Dr.
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por me conceder a vida, a saúde, a luz para guiar meus caminhos e o amparo indispensável nos momentos de angústia e de desafios. Toda a minha jornada é sustentada pela fé.

À minha esposa Carina e aos meus amados filhos Bernardo e Catarina, meu porto seguro. A compreensão e o apoio de vocês durante minha ausência foram o combustível que me permitiu seguir adiante. Esta conquista não seria possível sem o amor e a paciência de vocês.

Aos meus pais, com eterna gratidão, por terem investido na minha educação e confiado no meu potencial desde o início. Hoje, mais do que nunca, reconheço o valor inestimável desse alicerce que construíram para mim e o quanto ele foi fundamental para chegar até aqui.

Expresso meu reconhecimento à 6ª Subchefia do Estado-Maior do Exército. Foi neste ambiente que tive o privilégio de ser acolhido e de me aprofundar diariamente nos fascinantes desafios do orçamento. Agradeço aos meus superiores, pares e subordinados pelos ensinamentos constantes.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Julio Eduardo da Silva Menezes, cuja orientação foi fundamental para a conclusão deste trabalho. Sua paciência, motivação e compreensão do tema foram fundamentais nesse percurso acadêmico. Agradeço imensamente pela cordialidade, pela confiança no meu trabalho e pelo eficiente direcionamento que recebi.

RESUMO

Este estudo analisa como a otimização, por meio de um modelo de Programação Linear, aprimora o processo de orçamentação da manutenção da capacidade operativa do Exército Brasileiro. Em um cenário de instabilidade geopolítica e escassez de recursos, a alocação eficiente de verbas na defesa nacional é uma atividade estratégica, e particularmente para o Exército, deter um método científico que apoie a tomada de decisão nesse cenário é essencial. O estudo propõe uma solução quantitativa, que maximiza uma meta global de desempenho, através da otimização na distribuição dos recursos entre processos que integram a vertente da manutenção da capacidade operativa. Utiliza-se a Programação Linear Inteira Mista, com a aplicação da técnica de aproximação por segmentos lineares (*"piecewise linear approximation"*), para formulação de um modelo com variáveis contínuas e binárias, função objetivo e restrições específicas, como orçamento total e alocação mínima por processo. A metodologia emprega uma abordagem mista, com a coleta de dados secundários do Sistema Integrado de Orçamento e Planejamento Estratégico do Exército (SIOPLEEx) e simulações computacionais realizadas com a extensão Solver do Microsoft Excel. Os resultados demonstraram que o modelo é capaz de processar dados reais e gerar soluções ótimas, revelando um comportamento de rendimentos marginais decrescentes e pontos de saturação na relação entre orçamento alocado e a meta de desempenho. Ainda, os resultados demonstraram quatro situações alocativas distintas, relevantes para a governança orçamentária: insuficiência crítica, viabilidade mínima, otimalidade e saturação, além da identificação de uma "zona ótima" de eficiência. O modelo proposto contribui para a objetividade e racionalidade do processo de tomada de decisão, fornece informações valiosas para negociações orçamentárias e fortalece a transição para a Orçamentação Baseada em Resultados no Exército Brasileiro. A pesquisa valida a aplicação de técnicas de otimização em problemas complexos da gestão militar, preenchendo uma lacuna na literatura brasileira relacionada ao Orçamento Público e a Economia da Defesa.

Palavras-chave: Otimização; capacidade operativa; Exército Brasileiro; orçamento público.

ABSTRACT

This study analyzes how optimization, through a Linear Programming model, improves the budgeting process for the maintenance of the operational capacity of the Brazilian Army. In a scenario of geopolitical instability and scarcity of resources, the efficient allocation of funds in national defense is a strategic activity, and particularly for the Army, having a scientific method that supports decision-making in this scenario is essential. The study proposes a quantitative solution, which maximizes an overall performance goal, through the optimization of the distribution of resources between processes that integrate the aspect of maintaining operational capacity. Mixed Integer Linear Programming is used, with the application of the technique piecewise linear approximation, to formulate a model with continuous and binary variables, objective function and specific constraints, such as total budget and minimum allocation per process. The methodology employs a mixed approach, with the collection of secondary data from the Integrated System of Budget and Strategic Planning of the Army (SIOPLEEx) and computer simulations performed with the Solver extension of Microsoft Excel. The results demonstrate that the model is capable of processing real data and generating optimal solutions, revealing a behavior of diminishing marginal returns and saturation points in the relationship between the allocated budget and the performance target. In addition, the results showed four distinct allocative situations, relevant to budget governance: critical insufficiency, minimum feasibility, optimality and saturation, in addition to the identification of an "optimal zone" of efficiency. The proposed model contributes to the objectivity and rationality of the decision-making process, provides valuable information for budget negotiations, and strengthens the transition to Results-Based Budgeting in the Brazilian Army. The research validates the application of optimization techniques in complex problems of military management, filling a gap in the Brazilian literature related to the Public Budget and Defense Economics.

Keywords: Optimization; operational capacity; Brazilian Army; public budget.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo da governança por resultados e sua relação com o orçamento baseado em resultado.	29
Figura 2 - Correlação entre orçamento x resultados (metas).....	31
Figura 3 - Instrumentos do Planejamento Orçamentário do EB.	49
Figura 4 - Modelagem de um Processo individual (i).....	62
Figura 5 - Parâmetros do modelo - Inserção no Solver (Excel).....	73
Figura 6 - Esboço do modelo proposto	74
Figura 7 - Resultados das simulações - Cenários C1 a C7	116
Figura 8 - Indicadores e parâmetros para análise e discussão dos resultados.	117

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Despesas com defesa em 2024 categorizadas - membros da OTAN	38
Gráfico 2 - Gastos com defesa em relação ao PIB (%) - membros da OTAN.....	39
Gráfico 3 - Resultados de metas otimizadas por cenário.	84
Gráfico 4 - Custo por Ponto da meta nos diferentes cenários simulados.	87
Gráfico 5 - Relação entre o orçamento disponibilizado e a meta de desempenho.	88
Gráfico 6 - Resultado geral por filosofia.....	112
Gráfico 7 - Visões por Filosofias	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrutura da planilha de implementação	68
Quadro 2 - Organização dos parâmetros por processo.	69
Quadro 3 - Achados de produções científicas correlacionadas com o objeto de estudo	76
Quadro 4 - Ficha técnica do experimento de otimização	90
Quadro 5 - Cenários simulados e suas características	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos cenários simulados	84
Tabela 2 - Utilização do orçamento e indicadores de eficiência alocativa.....	85
Tabela 3 - Processos, valores e metas projetadas por cenário (Dados de entrada)	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPEX	<i>Capital Expenditure</i>
CIMO	<i>Context, Intervention, Mechanism, Outcomes</i>
CVA	Cadeia de Valor Agregado
DoD	<i>Department of Defense</i>
EB	Exército Brasileiro
EME	Estado-Maior do Exército
EMiD	Estratégia Militar de Defesa
END	Estratégia Nacional de Defesa
FPP	Fronteira de Possibilidades de Produção
ICALS	Índice de Capacidade de Ampliação da Logística de Suprimento
ICAM	Índice da Capacidade de Ampliação da Manutenção
IDOL	Índice de Desempenho Operacional Logístico
IISS	<i>International Institute for Strategic Studies</i>
LOA	Lei Orçamentária Anual
LDO	Lei de Diretrizes Orçamentárias
MD	Ministério da Defesa
NATO	<i>North Atlantic Treaty Organisation (OTAN)</i>
ODG	Órgão de Direção Geral
ODS	Órgão de Direção Setorial
OTAN	Organização do Tratado do Atlântico Norte
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OEE	Objetivos Estratégicos do Exército
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
O&M	<i>Operations and Maintenance</i>
PBB	<i>Performance-Based Budgeting</i>
PBC	Planejamento Baseado em Capacidades
PEEx	Planejamento Estratégico do Exército
PLOA	Proposta de Lei Orçamentária
PLIM	Programação Linear Inteira Mista
PMT	Política Militar Terrestre
PO	Pesquisa Operacional

POAEx	Proposta Orçamentária Anual do Exército
PPA	Plano Plurianual
PND	Política Nacional de Defesa
PRODE	Produto de Defesa
<i>RBB</i>	<i>Results-based Budgeting</i>
SG ² Ex	Sistema de Governança e Gestão do Exército
SIPLEx	Sistema de Planejamento Estratégico do Exército
SIPO	Sistema de Planejamento e de Orçamentário Federal
SIPRI	<i>Stockholm International Peace Research Institute</i>
SIOPLEEx	Sistema Integrado de Orçamento e Planejamento Estratégico do Exército.
SPSFMA	Sistema de Proteção Social dos Militares das Forças Armadas
TCU	Tribunal de Contas da União
<i>UNMILEX</i>	<i>United Nations Report on Military Expenditures</i>
<i>ZBB</i>	<i>Zero-Based Budgeting</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
2.1	A ORÇAMENTAÇÃO NO SETOR DA DEFESA	23
2.2	GOVERNANÇA E ORÇAMENTAÇÃO ORIENTADA PARA O RESULTADO ..	28
2.3	A ORÇAMENTAÇÃO NO EXÉRCITO BRASILEIRO	33
2.3.1	Vertentes orçamentárias no EB.....	34
2.3.2	A manutenção da capacidade operativa do EB	36
2.3.3	O processo orçamentário no EB	43
2.4	A OTIMIZAÇÃO E O CONTEXTO ORÇAMENTÁRIO DE DEFESA.....	50
2.4.1	A Programação Linear (PL) e aplicações no Setor de Defesa.....	55
3	PROPOSTA DE MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS ORÇAMENTÁRIOS PARA A MANUTENÇÃO DA CAPACIDADE OPERATIVA DO EB.....	59
3.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	60
3.1.1	Aproximação por Segmentos Lineares	62
3.1.2	Formulação como Programação Linear Inteira Mista	63
3.1.3	Implementação Computacional.....	63
3.2	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO	64
3.2.1	Definição das Variáveis de Decisão	64
3.2.2	Parâmetros do Modelo	65
3.2.3	Função Objetivo	65
3.2.4	Restrições do Modelo.....	66
3.2.5	Síntese do Modelo Matemático Completo.....	66
3.2.6	Interpretação da Solução	67
3.3	IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL	68
3.3.1	Estrutura da Planilha	68
3.3.2	Configuração dos Parâmetros de Entrada	68

3.3.3 Definição das Variáveis de Decisão.....	69
3.3.4 Implementação dos Cálculos Intermediários.....	70
3.3.5 Configuração da Função Objetivo e Pós-Processamento.....	70
3.3.6 Implementação das Restrições no Solver.....	71
3.3.7 Configuração completa do Solver.....	72
3.3.8 Interpretação dos Resultados	72
4 METODOLOGIA	75
4.1 ABORDAGEM DA QUESTÃO DE ESTUDO.....	75
4.2 DELINEAMENTO METODOLÓGICO	77
4.3 COLETA, ANÁLISE E MODELAGEM DOS DADOS.....	78
4.3.1 Definição da Amostra do Estudo de Caso	79
4.3.2 Coleta de Dados.....	79
4.3.3 Análise e Modelagem dos Dados	80
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	83
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS SIMULADOS	83
5.2 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ALOCATIVA	85
5.3 RELAÇÃO ENTRE ORÇAMENTO E DESEMPENHO	88
5.4 ANÁLISE DOS RELATÓRIOS DO SOLVER.....	89
5.4.1 Análise dos Relatórios de Resposta (<i>Answer Reports</i>).....	90
5.4.2 Análise da factibilidade do Cenário C2.....	91
5.4.3 Análise de Eficiência Computacional	92
5.4.4 Validação da Modelagem	92
5.4.5 Limitações e Recomendações identificadas.....	93
5.5 CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS E PRÁTICAS	93
5.6 LIMITAÇÕES E CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS	94
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
6.1 SÍNTESE DOS PRINCIPAIS RESULTADOS	96

6.2 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS E METODOLÓGICAS	97
6.3 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS PARA A GESTÃO ORÇAMENTÁRIA NO EB	98
6.4 CONTRIBUIÇÕES PARA A ECONOMIA DE DEFESA DO BRASIL.....	99
6.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E LIÇÕES APRENDIDAS.....	101
6.6 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	102
ANEXO A - RESULTADO DO TESTE HARP.....	111
ANEXO B - SIMULAÇÕES COM O MODELO DE OTIMIZAÇÃO.....	113

1 INTRODUÇÃO

O Sistema Internacional contemporâneo é caracterizado por instabilidades geopolíticas, pela troca de ameaças bélicas entre Estados-Nações¹ e uma crescente complexidade nos conflitos.

A realidade é monitorada com apreensão e, por vezes, interpretada como o início da conformação de uma nova ordem mundial. A Política Nacional de Defesa (PND) brasileira (2024), ao caracterizar o cenário internacional, ressalta que nos últimos anos “tem crescido o espectro do conflito estratégico militar entre as maiores potências e ressurgido a competição pela supremacia global.” (Brasil, 2024c)

Nesse contexto, dados levantados em fevereiro de 2025 no “*The Military Balance 2025*” publicado pelo *The International Institute for Strategic Studies* (IISS), revelam que os gastos militares no mundo alcançaram a cifra dos US\$ 2,46 trilhões, demonstrando a pujança do mercado de defesa. O valor representa um aumento de 7,4%, quando comparado ao levantamento realizado em 2024, indicando uma tendência de crescimento nos gastos com defesa e com segurança nacional², relacionada ao recrudescimento dos conflitos ativos e das incertezas que conformam o cenário atual. (Fenella; Dewey, 2025, tradução nossa)

À semelhança dos demais setores da sociedade, o Setor de Defesa também é assolado pelo problema estrutural da Economia³: a escassez de recursos. Para o economista Mankiw (2022), tal insuficiência significa basicamente que “a sociedade tem recursos limitados e, portanto, não pode produzir todos os bens e serviços que as pessoas desejam ter” (Mankiw, 2022, p. 3).

Hartley e Sandler (2007) pontuam que a Economia da Defesa estuda a alocação de recursos, o fluxo de renda, o crescimento econômico e a estabilização aplicada a tópicos relacionados à Defesa. Os autores constatarem que o trabalho dos economistas de defesa está voltado para o entendimento dos processos e das dinâmicas dos gastos com materiais, recursos humanos, adestramentos e com os

¹ Refere-se à forma de organização dos governos dos Estados Modernos e às organizações sociais que se estabeleceram em torno deles.

² O conceito de segurança nacional vem evoluindo com o tempo, entendendo que a segurança nacional já não pode ser entendida apenas em termos militares, mas que necessita de uma abordagem relacionada a termos políticos, social, econômico e ambiental e complementam que essa condição passa a se ligar também com a própria segurança humana. (Ferreira, et. al., 2022, p. 49)

³ “o estudo de como a sociedade administra seus recursos escassos” (Mankiw, 2022, p. 2).

conflitos propriamente ditos, ou seja, qualquer aspecto econômico voltado para a defesa. (Hartley; Sandler, 2007, p. 5, tradução nossa).

No Brasil, o Ministério da Defesa (MD) mantém em seu sítio eletrônico o conceito da Economia de Defesa como o “campo da administração econômica nacional preocupada com os efeitos econômicos dos gastos militares, a administração da economia em tempo de guerra e o gerenciamento dos orçamentos militares em tempo de paz.” (Brasil, 2021, p. 5).

Dessa breve caracterização, depreende-se que a Economia de Defesa se consolida como um campo estratégico de extrema relevância, fato já reconhecido no âmbito do MD, que aprofunda a relação entre as expressões militar e econômica do Poder Nacional Brasileiro.

Diante disso, a determinação das prioridades orçamentárias e a alocação eficiente de recursos são temas pertencentes a essa interação, imprescindíveis para assegurar a manutenção e o aprimoramento das capacidades operativas das Forças Armadas. O presente trabalho enfoca essa dinâmica no Exército Brasileiro (EB).

Por outra perspectiva, como um ente público, atribuído da execução de seu próprio Orçamento, o EB está sujeito ao escrutínio social e ao regramento da administração pública do país. Para tanto, em sua governança e gestão dos recursos públicos, além dos princípios que regem a administração pública⁴, deve atingir níveis de desempenhos satisfatórios no que tange a eficácia, a eficiência, a efetividade e a economicidade.

Esta dissertação analisa como uma solução de otimização, fundamentada em programação linear, pode contribuir com o processo de alocação de recursos orçamentários para a manutenção da capacidade operativa do EB.

Diversos estudos exploram abordagens e metodologias para otimizar os gastos militares. Nesse sentido, Oliveira e Gonçalves (2022) analisam diferentes modelos de orçamentação no setor de defesa, destacando a necessidade de práticas que promovam maior eficiência e transparência na gestão dos recursos. Boechat (2018) destaca que a utilização de modelos de otimização pode proporcionar uma

⁴ O Art. 37 da Constituição Federal Brasileira de 1988 trás em seu *caput* os princípios que regem a Administração Pública: a legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência, além de outras disposições gerais. (https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm)

base quantitativa para decisões orçamentárias, promovendo uma gestão mais racional e eficaz dos recursos disponíveis.

A problemática tratada neste trabalho reside na dificuldade de particionar e alocar eficientemente os recursos orçamentários do EB. Geralmente, eles são aquém das demandas existentes e suscetíveis a diversas mutações ao longo da execução orçamentária.

Ao revisar a Metodologia do Sistema de Planejamento do Exército (SIPLEx), nota-se a inexistência de um método científico baseado em critérios matemáticos e econômicos para apoiar a tomada de decisão na alocação dos recursos orçamentários (Brasil, 2021).

Desse modo, a Pesquisa Operacional (PO)⁵ se mostra com um campo fértil de estudos que podem contribuir para aprimorar e transformar o processo orçamentário do EB. Dentro de variadas ferramentas-padrão⁶, a programação linear surge como uma opção adequada e capaz de modelar e resolver o problema da alocação orçamentária em estudo. (Hillier; Lieberman, p. 2, 2006)

A **justificativa** desta pesquisa é a necessidade de aperfeiçoar a tomada de decisão da alocação orçamentária para alcançar resultados otimizados e eficientes, como se espera do EB como integrante da Administração Pública brasileira. Essa percepção é alinhada ao diagnóstico de ineficiência realizado por Jones, et al. (2005), no qual foram constatadas dificuldades na integração de sistemas orçamentários com sistemas de decisão de aquisição, que levavam a ineficiências na alocação de recursos e que pode ser notada no EB, visto que o sistema que realizará a integração está sendo implementado no momento (Jones, et al., 2005).

Uma solução de otimização em apoio a decisão traz a reboque cenários instruídos com base matemática, que asseguram objetividade e racionalidade para o alcance de resultados. Assim, o presente estudo é uma abordagem inovadora e tem a possibilidade de incrementar a eficiência alocativa e a resiliência ao emprego dos

⁵ Como o próprio nome indica, a pesquisa operacional envolve "pesquisa sobre operações". Portanto, ela "é um método científico utilizado para investigar o problema", caracterizada por uma vista abrangente da organização e que frequentemente tenta "encontrar uma melhor solução (conhecida como solução ótima) para o problema considerado". Além disso, "para ser bem-sucedida, ela precisa fornecer conclusões positivas e inteligíveis para o(s) tomadore(s) de decisão" (Hillier; Lieberman, p. 2 e 3, 2006).

⁶ A programação dinâmica, a teoria das filas, a teoria do inventário e a própria programação linear são alguns exemplos (Hillier; Lieberman, 2006).

recursos públicos destinados ao Setor de Defesa do Brasil, particularmente aqueles manejados pelo EB.

O estudo também é necessário ao passo que completa uma lacuna de fundamentação científica nesse campo de estudo da Economia de Defesa do Brasil. Apesar da existência de estudos internacionais sobre a otimização na orçamentação da defesa, nota-se que há um vazio de pesquisas científicas brasileiras, que passa a ser preenchido.

Tal percepção é notada por Harrison, Elsayed e Garanovich (2020), que ao estudarem a otimização na defesa constatam que embora o campo de estudo esteja bem estabelecido, há uma escassez de literatura especificamente focada em aplicações de defesa, que leva à necessidade de uma revisão estruturada de estudos recentes e identificação de áreas para investigação adicional (Harrison, et al., 2020).

Ainda, é relevante pois tem o potencial de tornar a alocação de recursos mais eficiente, o que gera impactos positivos, diretos ou indiretos, e se alinha às expectativas de desempenho previstas nos ditames legais da administração pública brasileira.

Ademais, o estudo é uma produção científica da Economia de Defesa, uma vez que se insere no assunto defesa e economia, fomentando e servindo de incentivo ao surgimento de novas produções científicas sobre essa temática.

Considerando a problematização, a lacuna de um método científico de apoio a decisão alocativa e a relevância do tema, a questão de estudo é:

Como a otimização, por meio de um modelo baseado em programação linear, poderá contribuir para uma alocação mais eficiente dos recursos orçamentários e aprimorar o processo orçamentário destinado à vertente de manutenção da capacidade operativa do Exército Brasileiro?

O objetivo geral da dissertação é analisar como a otimização, por meio de um modelo de programação linear, pode aprimorar o processo de orçamentação da manutenção da capacidade operativa do Exército Brasileiro.

Para atingir esse propósito, a pesquisa propõe os seguintes objetivos específicos:

1. **Examinar e discutir** os conceitos de manutenção da capacidade operativa do Exército Brasileiro, da governança por resultados, da orçamentação orientada para o desempenho.

2. **Explicar** o processo orçamentário do Exército Brasileiro, particularmente no que se relaciona aos recursos destinados a manutenção da capacidade operativa.

3. **Revisar** a literatura relacionada a otimização aplicada na gestão orçamentária militar.

4. **Apresentar** a conceituação e fundamentos teóricos da programação linear e **formular** um modelo, definindo claramente dados qualitativos do problema, variáveis, restrições e o objetivo da maximização.

5. **Analisar e discutir** os resultados obtidos com a simulação de cenários orçamentários no modelo proposto, utilizando-se de informações coletadas da base de dados do Sistema Integrado do Orçamento e Planejamento Estratégico do Exército (SIOPLEEx).

O trabalho está organizado em seções que se inter-relacionam de forma lógica e progressiva. Após esta introdução, apresenta-se um referencial teórico, em que é abordada a orçamentação no setor de defesa, a orçamentação por desempenho (ou resultados) e, na sequência, adentra-se na orçamentação no EB, com enfoque na sua estruturação, realçando uma percepção conceitual acerca da vertente de manutenção da capacidade operativa do EB e a descrição do processo orçamentário no EB.

Após isso, a ênfase é direcionada para a otimização aplicada na gestão orçamentária militar e os fundamentos teóricos sobre a programação linear, técnica de PO selecionada para o desenvolvimento do modelo proposto. Na sequência, dedica-se uma seção para a formulação do modelo com uma apresentação do problema, a formulação matemática e o procedimento computacional desenvolvido.

Na seção seguinte será detalhada a metodologia, explicitando a questão de estudo, o delineamento metodológico e os procedimentos para coleta e análise dos dados. Em seguida, os resultados do estudo são analisados e discutidos.

Para tanto, são apresentadas as características (condições de execução) dos cenários simulados, analisados e discutidos os resultados obtidos nos relatórios automáticos da extensão Solver, traçadas relações entre o desempenho e o orçamento e apresentadas considerações e limitações de ordem metodológica e prática identificadas no estudo.

A última seção é reservada às considerações finais. Na oportunidade são apresentadas a síntese dos resultados, a validação do alcance dos objetivos da

pesquisa, as contribuições teóricas e metodológicas, implicações práticas para a gestão orçamentária, para Economia da Defesa do Brasil, além das limitações, lições aprendidas e recomendações para futuras pesquisas nesse campo de estudo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A ORÇAMENTAÇÃO NO SETOR DA DEFESA

O orçamento é um processo complexo e em “permanente reforma”, uma vez que “reflete as mudanças que ocorrem na sociedade” no qual se recorre a distintos métodos de formulação e gerenciamento. (Brasil, 2018)

No Setor de Defesa, as técnicas orçamentárias são projetadas para enfrentar desafios e requisitos exclusivos como a incerteza estratégica, complexidade política e limitações de recursos. Cada um oferece vantagens peculiares e distintas, que se moldam às necessidades e restrições específicas. (Brasil, 2018)

Hartley e Sandler (2015) ampliam essa perspectiva, ao passo que afirmam que o orçamento militar é tradicionalmente visto como um instrumento de soberania e autonomia estratégica, sendo objeto de constantes estudos que buscam seu aprimoramento frente às restrições fiscais (Sandler; et al., 2015).

Nesse sentido, Sianipar et al. (2024) sintetizam as abordagens orçamentárias em dois sentidos. A abordagem de cima para baixo (*from top down*), que envolve definir um teto orçamentário no nível mais alto e depois distribuí-lo para baixo pela organização. Ela é usada para garantir o alinhamento com os objetivos estratégicos e para manter o controle sobre os gastos totais. Em contraste, a abordagem de baixo para cima (*from bottom up*) começa no nível operacional, em que unidades individuais apresentam suas necessidades orçamentárias, que se agregam para formar o orçamento geral. Esse método permite uma entrada mais detalhada de vários níveis dentro da organização (Sianipar; et al., 2024).

Os autores prosseguem e aprofundam também a abordagem que privilegia a análise de custo-benefício de diferentes programas e iniciativas para determinar seu valor e priorização de financiamento. Este artifício propicia um auxílio na tomada de decisões informadas, comparando os resultados esperados com os recursos necessários (Sianipar; et al., 2024).

Para a elaboração orçamentária são identificados diversos modelos e metodologias que oferecem vantagens e limitações, de acordo com o objetivo final a ser atingido.

O **orçamento incremental** define-se como um modelo em que as alocações são ligeiramente ajustadas em relação ao orçamento do período anterior, refletindo pequenas mudanças ao invés de revisões mais abrangentes. Ele está presente em

várias práticas de orçamentação militar, onde o foco geralmente é manter a estabilidade das funções militares essenciais para a continuidade no recebimento do financiamento necessário (Sianipar; et al., 2024).

Godinho e Gonçalves (2020) observam que o modelo incremental é uma forma de garantir previsibilidade e controle sobre os gastos, especialmente em contextos em que as restrições orçamentárias são significativas, como durante a guerra ou em ambientes orçamentários restritivos (Godinho; Gonçalves, 2020).

Em contrapartida, Constantinescu (2023) observa que a metodologia limita a capacidade de responder dinamicamente a novas prioridades estratégicas ou ameaças emergentes, pois se concentra inerentemente em alocações passadas em vez de necessidades futuras (Constantinescu, 2023).

Jin-Qiang (2008) revisa em seu estudo outro modelo de orçamentação. O **Orçamento Baseado em Zero (OBZ)** ou Orçamento Base-Zero (em inglês, *Zero-Based Budgeting (ZBB)*), envolve justificar todas as despesas do zero, em vez de confiar em alocações históricas. Essa técnica garante que os recursos sejam alocados com base nas necessidades e prioridades atuais, ao invés de considerar gastos anteriores. Entretanto, a obra também pontua que a implementação do orçamento de base zero em contextos militares é frequentemente desafiada pela complexidade das estratégias de manutenção de equipamentos e pela necessidade de uma estimativa precisa de custos (Jin-Qiang, 2008).

Corroborando com essa percepção, Boechat (2018) registra que o OBZ, por sua complexidade e nível de detalhamento, mostrou-se inexecutável quando aplicada à Administração Pública norte-americana:

“O fracasso do planejamento detalhado e abrangente foi particularmente impactante no caso do orçamento base-zero. A tentativa de analisar todos os programas de baixo para cima (*from bottom up*) todos os anos fiscais – isto é, considerar sistematicamente todas as opções desde cortar programas até expandi-los – provou-se ser impossivelmente ambicioso. Mesmo uma versão mais compacta do OBZ conhecida como “orçamento alternativo” (*alternative budgeting*) provou-se tão pesada que foi rapidamente abandonada em todas as jurisdições que o tentaram (...)”. (Boechat, 2018, p. 39).

O **Orçamento-Programa** é outro modelo de orçamentação que busca integrar o planejamento governamental à alocação de recursos financeiros. Ele se concentra nos objetivos que o governo pretende alcançar, ou seja, seu enfoque é nos eixos de atuação do governo, geralmente estruturados em projetos, atividades e operações especiais.

Sua origem remonta aos Estados Unidos da América (EUA) em meados do século XX, no pós-guerra, em que houve uma busca por maior racionalidade e eficiência nos gastos públicos, que desaguou no surgimento do Sistema de Planejamento, Programação e Orçamento (em inglês, *Planning, Programm and Budget System (PPBS)*) na década de 1960.

Para o Setor de Defesa, o PPBS foi projetado como um modelo de otimização restrita de alto nível com o objetivo de alcançar eficiência alocativa. Seu objetivo principal era maximizar os resultados de segurança nacional enquanto operava sob restrições fiscais (Larsen; et al., 2006).

O PPBS marcou uma mudança significativa do orçamento tradicional orientado a insumos para uma abordagem mais orientada para a produção. Essa mudança foi impulsionada pelo reconhecimento de que o orçamento de defesa precisava se concentrar em alcançar resultados específicos, em vez de meramente alocar recursos. O sistema enfatizou a importância de priorizar os programas de defesa e realocar recursos para usos mais produtivos em resposta às mudanças nos ambientes de segurança nacional (Larsen; et al., 2006).

Com o tempo, o PPBS evoluiu para incorporar componentes adicionais, como a execução, levando ao desenvolvimento do processo de Planejamento, Programação, Orçamento e Execução (PPBE). Essa evolução refletiu a crescente complexidade do orçamento de defesa e a necessidade de uma abordagem mais integrada para a alocação de recursos. O processo PPBE é agora a pedra angular do orçamento de defesa nos Estados Unidos, garantindo que as decisões de alocação de recursos estejam alinhadas com os objetivos estratégicos e sejam executadas com eficiência (Larsen; et al., 2006).

Um fato relevante a se destacar é que à época, o Brasil aderiu ao PPBS e, por meio da Lei nº 4.320, de 17 de março de 1964, introduziu as bases para a implementação do Orçamento-Programa ao instituir a classificação funcional-programática, entretanto sua implementação plena só se concretizou com a promulgação da Constituição Federal de 1988, e até hoje é o modelo de orçamentação sistematizado no setor público Brasileiro.

Como variantes evolucionadas do PPBS, o Orçamento Baseado em Desempenho (OBD) (*Performance-Based Budgeting*) e o **Orçamento Baseado em Resultados (OBR)** (*Results-based Budgeting*) surgem no contexto das reformas da administração pública pós-1980. Boechat (2018) comenta aquele momento histórico:

“(...) esse movimento ganha fôlego na década de 1990, com uma multiplicidade de denominações e formatos, tal como “*performance budgeting*”, “*performance-based budgeting*”, “*budgeting for results*”, “*outcome budgeting*”. (Boechat, p. 44, 2018).

A obra prossegue identificando que há distinções individuais entre esses modelos, mas que a literatura especializada e as organizações internacionais têm concentrado essas variações terminológicas em torno do conceito amplo de “*performance budgeting*”, definindo-o como o processo orçamentário que estabelece formalmente um relacionamento entre os resultados do poder público e as decisões alocativas no processo orçamentário. (Boechat, p. 44, 2018).

Citando Regis Fernandes de Oliveira, Boechat (2018) destrincha o conceito observando que o OBR é “um sistema de planejamento orçamentário e avaliação que enfatiza o relacionamento entre o orçamento monetário e o resultado esperado”, e que nele os seguintes elementos são identificados: “(i) unificação das despesas em torno de um objetivo; (ii) estabelecimento dos resultados a serem atingidos com a respectiva alocação de recursos; (iii) análise da performance; (iv) responsabilidade institucional (*accountability*) dos gestores, com prêmios e sanções”. (Boechat, p. 44, 2018).

Por outro lado, sua implementação é caracterizada pelo enfrentamento de inúmeros desafios institucionais. A libertação de excessos formais, influências externas atuando sob as performances e a falta de controle perante os resultados são exemplos, que desafiam gestores, que passam a ser figuras centrais e responsáveis. (Boechat, p. 46, 2018)

Em que pese a realidade desafiadora, organizações internacionais como a *Organisation for Economic Co-operation and Development (OCDE)*⁷ visualizam uma série de benefícios, tais como: (i) a clareza na escolha dos objetivos governamentais, (ii) o monitoramento do desempenho do setor público, (iii) a ênfase do processo orçamentário no planejamento e (iv) o aprimoramento da transparência orçamentária e facilitação dos mecanismos de controle social. (Boechat, p. 61, 2018).

A OCDE utiliza uma classificação tripartite do orçamento por resultados, de acordo com o grau de utilização das informações de performance nos processos de

⁷ A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) foi criada em 1960 e conta hoje com aproximadamente 30 membros da Europa, Américas, Ásia e Oceania. Além disso, mantém relações com mais de 70 países não-membros. A OCDE é estruturada em diversos Diretórios, subdivididos em Comitês que se reúnem periodicamente em sua sede, localizada em Paris. Atuam principalmente na área social e econômica, abordando temas como macroeconomia, comércio, desenvolvimento, educação, ciência e inovação. Entre os objetivos da OCDE estão fomentar a boa governança estatal e empresarial, o desenvolvimento social e o crescimento econômico por meio de cooperação institucional e política, assim como a utilização de mecanismos de monitoramento. Para a atingir tais objetivos, a organização utiliza mecanismos como a negociação de textos multilaterais, a realização de pesquisas e estatísticas, reuniões periódicas, intercâmbio de experiências e *best practice* e a realização de *peer reviews* (revisão por pares). (CADE, 2025)

decisão: (i) orçamento por resultados demonstrativo(s), na qual os indicadores são apresentados sem influenciar diretamente a alocação de recursos; (ii) orçamento por resultados de alocação indireta, em que há uma relação indireta com às metas futuras ou ao desempenho apontado pelos indicadores, mas que ainda não determina isoladamente a alocação de recursos [é a mais utilizada]; e (iii) o orçamento por resultados de alocação direta, utilizada em setores específicos, pois há uma automatização entre a alocação e o indicador. (Boechat, p. 48, 2018).

Com efeito, no setor de defesa, como um ramo do setor público, o estudo de Gharib, Shuhada, Saleh e Isa (2024) observa que o OBR tem sido utilizado para aumentar a responsabilidade das organizações de defesa e garantir que as alocações orçamentárias estejam alinhadas com as prioridades estratégicas (Gharib; et al., 2024).

Osypenko, Zhelnovach e Pysarevskyi (2023) ressaltam que é fundamental para o método OBR a definição de indicadores quantitativos para as metas das atividades militares e o uso de técnicas de otimização para alocar recursos de forma eficaz, garantindo que os recursos orçamentários atendam as necessidades e, ao mesmo tempo, atinjam potenciais economias (Osypenko; et al., 2023).

Demirel (2015) destaca que, por se concentrar em produtos e resultados, o OBR é um mecanismo que aumenta a transparência fiscal e a responsabilidade na administração pública (Demirel, 2015).

Decker (2020) constata que o OBR vem sendo utilizado na área de saúde do Exército dos EUA e impacta positivamente o desempenho de qualidade ao vincular o financiamento às métricas de desempenho. Embora o estudo se concentre principalmente em resultados de qualidade, em vez de uma eficiência alocativa mais ampla no setor de defesa, retrata-se que o OBR pode aumentar a eficiência alocativa incentivando as organizações a melhorar o desempenho (Decker, 2020).

Outra área de notória aplicação do OBR é relacionada aos contratos de logística baseada em desempenho, cada vez mais usados. Eles incentivam fornecedores a melhorar a confiabilidade do equipamento e a eficiência do processo, o que é crucial para manter as capacidades militares a um custo razoável (Alqahtani; et al., 2023).

Em síntese, há uma diversidade de tipos de orçamentação, cada um produzindo respostas específicas de acordo com o contexto situacional, que apresentam vantagens e desvantagens particularizadas. Dessa perspectiva,

o Orçamento Baseado em Resultados (OBR), se apresenta como um método moderno, trazendo maior transparência nos gastos no Setor de Defesa e estabelece uma integração clara e direta entre o planejamento estratégico institucional e a alocação dos recursos orçamentários.

2.2 GOVERNANÇA E ORÇAMENTAÇÃO ORIENTADA PARA O RESULTADO

A demanda crescente por uma administração pública mais transparente, eficiente e eficaz impulsiona a constante evolução dos modelos de gestão. (Brasil, 2025)

Nesse cenário, a transição de um controle focado em insumos para uma governança por resultados e, conseqüentemente, para um OBR, representa uma mudança de paradigma essencial. Nesse sentido, assume-se que esse processo evolutivo também impacta severamente as Forças Armadas Brasileiras. Esta seção pretende descrever os principais conceitos, alinhando-os às perspectivas de otimização da alocação de recursos e da tomada de decisão baseada em desempenho (resultado) (Brasil, 2020).

A crescente demanda por *accountability*, transparência e efetividade na administração pública Brasileira tem impulsionado a adoção de modelos de gestão que transcendem o simples controle de legalidade e conformidade. Nesse contexto, a governança por resultados emerge como um paradigma central, focado na capacidade de as organizações públicas entregarem valor à sociedade por meio de políticas e programas eficazes (Brasil, 2020, p. 92).

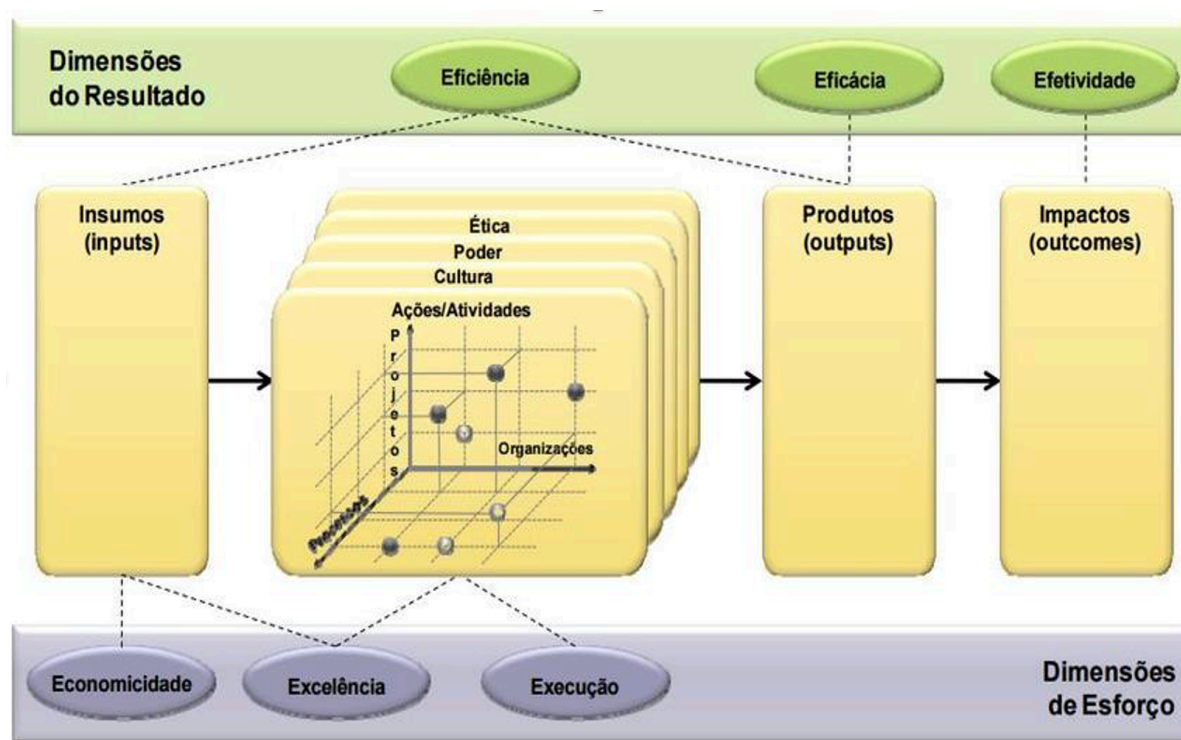
Martins e Marini (2010) pontuam que a boa gestão pública é, fundamentalmente, aquela que "alcança resultados" (2010, p. 2). Essa mudança de foco implica uma reorientação de toda a cadeia de valor público, com reflexos diretos na forma como os recursos são planejados, alocados e monitorados, culminando no conceito de orçamento por resultados (Martins; et. al, 2010).

Historicamente, a orçamentação pública tendeu a ser baseada em insumos e despesas, com um foco predominante no controle da conformidade legal e na alocação incremental de recursos. Essa abordagem, contudo, revelou-se insuficiente para demonstrar o valor gerado à sociedade, pois priorizava o "quanto se gasta" em detrimento do "que se alcança" (Santos; Medeiros, 2018). Conforme assinala Paludo (2017), "o modelo tradicional de orçamento não possibilita a avaliação do desempenho

das políticas públicas, dificultando a conexão entre a alocação de recursos e os resultados efetivos para a sociedade." (Paludo, 2017, p. 115).

Em contrapartida, a governança por resultados busca estabelecer uma lógica de atuação que conecte explicitamente os recursos (insumos) aos produtos entregues e, mais importante, aos impactos gerados na realidade (Oliveira; Cunha, 2020). Essa conexão é visualizada de forma didática no fluxo apresentado na FIGURA 1.

Figura 1 - Fluxo da governança por resultados e sua relação com o orçamento baseado em resultado.



Fonte: Adaptado de Martins e Marini (2010).

A FIGURA 1 detalha o ciclo de geração de valor em uma perspectiva de governança por resultados. Tudo começa com os Insumos (*inputs*), que representam os recursos alocados – sejam eles humanos, materiais ou, crucialmente, financeiros. Assim os recursos orçamentários são considerados o ponto de partida financeiro para a materialização das ações.

Esses insumos são transformados em produtos (*outputs*) por meio de ações/atividades que ocorrem dentro de processos, projetos e organizações. A efetividade dessas ações é profundamente influenciada por fatores intrínsecos à cultura organizacional, como a ética, o poder e a cultura institucional. "A cultura organizacional, em particular, pode ser um grande facilitador ou um obstáculo à implementação de uma gestão orientada para resultados" (Mendes, 2019, p. 45). Os produtos são os bens e serviços diretos entregues pela organização, tal como o militar

dotado de equipamentos, os carros de combate mantidos e em funcionamento, a munição disponível, o combustível em estoque suficiente etc.

O estágio final e mais crucial do ciclo são os impactos (*outcomes*), que se referem às consequências de longo prazo dos produtos, ou seja, as mudanças efetivas e significativas na realidade social ou no problema abordado. Por exemplo, a tropa em estado de prontidão logística e operacional para defender o país no caso de uma invasão territorial, forças de defesa aptas para auxiliar a população em situações de catástrofes etc. A avaliação desses impactos é feita por meio de Indicadores Relacionados ao Processo, que buscam mensurar a transformação gerada. A qualidade da entrega de resultados é avaliada sob três dimensões principais, conforme a Figura 1, observa:

- **Eficiência:** refere-se à relação entre insumos utilizados e produtos gerados, buscando fazer mais com menos recursos, sem comprometer a qualidade. É a capacidade de otimizar a utilização dos recursos disponíveis. Para Ferradaes (2019): “(...) está relacionada a adequação da relação entre os produtos (bens e serviços) gerados por uma atividade e os custos dos insumos utilizados para tanto. Essa relação de custo por produto gere um preço unitário que pode ser comparado com preços de produtos similares para a verificação do grau da eficiência. Observe-se, ainda, que a eficiência reflete, como ingrediente seu, a economicidade” (Ferradaes, 2019, p. 2).

- **Eficácia:** diz respeito à capacidade de alcançar os objetivos e metas propostos, ou seja, fazer o que é certo para atingir o propósito da ação.

- **Efetividade:** mede o impacto das ações na realidade, avaliando o grau em que os resultados alcançados contribuem para a solução de problemas e para a geração de valor público. É a capacidade de transformar a realidade de forma positiva e duradoura (Brasil, 2018).

Paralelamente, a gestão do processo e do esforço empreendido é guiada pelas Dimensões de Esforço:

- **Economicidade:** relacionada ao uso racional e parcimonioso dos recursos financeiros, materiais e humanos. Ela também é definida como “a minimização dos custos dos insumos utilizados na consecução de uma atividade, sem comprometimento dos padrões de qualidade.” (Ferradaes, p. 2, 2019).

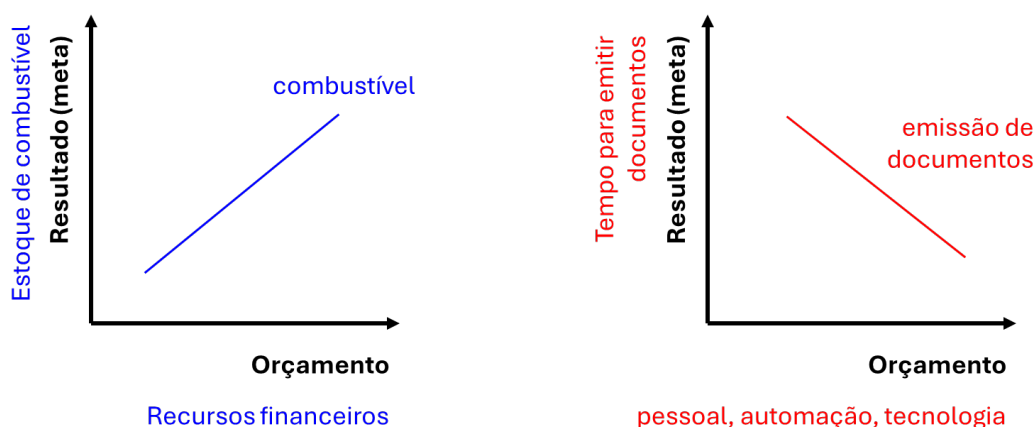
- **Excelência:** busca a alta qualidade na execução das atividades e na entrega dos produtos.

- **Execução:** refere-se ao cumprimento rigoroso e oportuno das etapas e tarefas planejadas.

Assim, a transição para um orçamento por resultados exige que a alocação de recursos não seja baseada apenas nos insumos, mas sim no potencial de geração de produtos e, primordialmente, de impactos. Isso significa que o processo orçamentário deve ser concebido para alinhar explicitamente as despesas com as metas de desempenho e os resultados esperados.

Outra perspectiva conceitual importante é a correlação de maneira estatística, do relacionamento entre o "orçamento" e o "resultado (meta)". A FIGURA 2 ilustra o comportamento das correlações possíveis:

Figura 2 - Correlação entre orçamento x resultados (metas)



Fonte: elaborado pelo autor.

A correlação direta (azul) representa processos em que o indicador de desempenho melhora quando seu orçamento aumenta. Nestes casos, quanto mais recursos são aplicados, maior (e melhor) torna-se o resultado do indicador. Um exemplo clássico é o processo de aquisição de combustível: quanto mais recursos financeiros são destinados a este processo, maior será o estoque de combustível disponível, e um estoque maior representa um resultado melhor. Neste caso, a relação é intuitiva: mais investimento resulta em mais benefício mensurável.

A correlação indireta (vermelho) representa processos em que o indicador de desempenho melhora quando seu valor diminui. Ou seja, quanto mais recursos orçamentários são alocados ao processo, menor (e melhor) torna-se o resultado do indicador. Um exemplo é o processo de emissão de documentos: quanto mais recursos são aplicados (contratação de pessoal, automação, tecnologia), menor será o tempo necessário para emitir um documento, e um tempo menor representa um

resultado superior. Outros exemplos incluem indicadores como taxa de defeitos, número de reclamações, tempo de ciclo de produção etc. Nestes processos, a lógica é que o investimento adicional permite reduzir aspectos indesejáveis, tornando o processo mais eficiente.

Guimarães e Costa (2022) destacaram a importância dessas características para o OBR, ao passo que "a ausência de métricas claras e a dificuldade em correlacionar diretamente o dispêndio com o impacto final são desafios persistentes no orçamento por resultados" (Guimarães; Costa, 2022, p. 87).

Nesse sentido, o OBR busca otimizar a alocação de recursos para maximizar a probabilidade de atingir as metas de desempenho e os impactos desejados, operando no cerne da gestão de valor público (Machado; et al., 2019).

Essa abordagem promove uma cultura de desempenho e *accountability*, na qual os gestores são responsabilizados não apenas pela legalidade dos gastos, mas pelos resultados efetivamente entregues à sociedade. As implicações da governança e do orçamento por resultados são vastas:

- Melhora na alocação de recursos: direcionamento dos investimentos para programas e projetos que comprovadamente geram maior impacto e valor público.
- Aumento da *accountability*: permite que a sociedade e os órgãos de controle compreendam melhor onde os recursos estão sendo aplicados e quais resultados estão sendo alcançados.
- Tomada de decisão baseada em evidências: fornece informações concretas sobre o desempenho para o aprimoramento contínuo das políticas públicas.
- Promoção da transparência: facilita a comunicação dos resultados à população.

Contudo, a implementação do orçamento por resultados não é isenta de desafios. Dificuldades na definição de indicadores claros e mensuráveis para resultados de longo prazo, problemas de atribuição de impactos (dada a multiplicidade de fatores que influenciam um desfecho social) e a resistência cultural e política a mudanças profundas nos processos orçamentários são obstáculos comuns (Lima, et al., 2018).

Martins e Marini (2010) abordam esses desafios ao tratar das "trajetórias e os desafios da gestão pública contemporânea", onde a "melhoria do desempenho é uma preocupação central" (Martins, et al., p. 2, 2010). A obra também destaca a

necessidade de superar as "limitações e potencializar as virtudes encontradas nas metodologias".

Em suma, a governança por resultados, com seu foco na eficiência, eficácia e efetividade, constitui o alicerce para a modernização da gestão pública. O orçamento por resultados é a ferramenta operacional que materializa essa governança, ao integrar a alocação de recursos com a busca e o monitoramento de metas de desempenho e impactos. É um caminho complexo, mas essencial para a construção de uma administração pública mais responsiva e geradora de valor para os cidadãos.

Ademais, cumpre salientar que a presente pesquisa investiga a transformação em silente curso na governança orçamentária do EB, considerando que a implementação de um sistema de integração (SIOPLEEx) vem trazendo exponencial velocidade para a transição da orçamentação tradicional para a orçamentação baseada em resultado, ao passo que permite clarificar a integração entre o orçamento e as metas de desempenho (resultados) já apuradas no âmbito da gestão estratégica institucional.

2.3 A ORÇAMENTAÇÃO NO EXÉRCITO BRASILEIRO

O orçamento do Exército Brasileiro (EB) traduz um dos esforços públicos para o Setor de Defesa Brasileiro e permite a Força Terrestre viabilizar o cumprimento de suas missões constitucionais. Ele é peça integrante do Orçamento Geral da União (OGU), aprovado anualmente pelo Congresso Nacional, e assim é exigível o cumprimento de aspectos legais e normativos preconizados para a execução da despesa pública Brasileira.

Nesse sentido, o Orçamento do EB é plenamente compatibilizado ao Orçamento-Programa adotado no âmbito do Sistema Integrado de Planejamento e Orçamento (SIPO) do Governo Federal.

A partir dos conceitos elencados na seção anterior, observando a orçamentação atualmente no EB são identificadas diversas abordagens, sendo a mais destacada a incremental. Ela é ladeada por atualizações *bottom up*, e uma distribuição *top down*. Essa perspectiva é corroborada pela Metodologia do SIPLEx (2021), que define em sua fase 6 (orçamentação) os limites orçamentários a serem distribuídos internamente, após uma elaboração de baixo para cima, a partir de subsídios e

estimativas baseadas em valor presente feitas pelos Órgão Setoriais, bem como pelo uso de indicadores orçamentários históricos (Brasil, p. 80, 2021).

Merece um destaque especial o fato de que está em curso a implementação do Sistema Integrado de Orçamento e Planejamento Estratégico do Exército (SIOPLEEx). Esse projeto alinha-se a um anseio da gestão estratégica, constante no Plano Estratégico do Exército (PEEx) 2024-2027, que busca realizar uma integração plena entre o orçamento e os Programas Estratégicos (vertente da transformação) e com os processos da Cadeia de Valor Agregado (CVA) (vertente de manutenção da capacidade operativa), de modo a fornecer informações aos componentes que integram o nível estratégico (Brasil, 2023).

Nesse contexto, como principais desafios para a orçamentação, identifica-se a necessidade de uniformizar as informações perante os diversos interlocutores; aperfeiçoar o monitoramento dentro do binômio planejamento e execução; estruturar, compatibilizar e tratar as informações para permitir avaliações ininterruptas e otimizar o direcionamento dos recursos orçamentários como um todo.

Dito isto, é oportuno ressaltar que o presente estudo propõe um modelo de otimização para o cabedal de inovações que o SIOPLEEx desenvolve para incrementar o processo orçamentário do EB.

2.3.1 Vertentes orçamentárias no EB

Sob uma ótica qualitativa, o orçamento do EB pode ser compreendido a partir de sua divisão em três grandes vertentes, com propósitos distintos e complementares, que asseguram a sustentabilidade e a evolução da estrutura de força: **pessoal, transformação e manutenção da Capacidade Operativa**^{8 9}.

A vertente de **pessoal** é a parcela mais significativa no orçamento da Força. Ela direciona recursos para o pagamento de direitos remuneratórios aos militares

⁸ De acordo com o Catálogo de Capacidades do Exército (2015-2035), a **Capacidade Operativa (CO)** é a aptidão requerida a uma força ou organização militar, para que possam obter um efeito estratégico, operacional ou tático. É obtida a partir de um conjunto de sete fatores determinantes, inter-relacionados e indissociáveis: Doutrina, Organização (e/ou processos), Adestramento, Material, Educação, Pessoal e Infraestrutura - que formam o acrônimo DOAMEPI. Um grupo de CO com ligações funcionais, reunidas para que os seus desenvolvimentos potencializem as aptidões de uma força para cumprir determinada tarefa dentro de uma missão estabelecida, constituindo uma Capacidade Militar Terrestre (CMT). (Brasil, p.7, 2015). <<http://bdex.eb.mil.br/jspui/handle/123456789/433>>.

⁹ Em 2024 as despesas com pessoal no EB totalizaram cerca de R\$ 53,1 bilhões, enquanto a transformação resultou em aproximadamente R\$ 1,9 bilhões e para a manutenção da capacidade operativa os gastos somaram R\$ 1,4 bilhões.

ativos, inativos e pensionistas. Por sua natureza legal, tais despesas são de caráter de execução obrigatória¹⁰. Atualmente, o Sistema de Proteção Social dos Militares das Forças Armadas (SPSFMA)¹¹ engloba tais despesas, que se enquadram dentro de “um programa estatal de natureza atuarial, mas não formalmente [reconhecido como] regime previdenciário, nos termos do § 20, do art. 40 da Constituição Federal.” (Brasil, p.472, 2024b).

A **transformação**, por sua vez, é a vertente dedicada ao futuro da estrutura de Força existente. Ela se relaciona a um processo complexo e contínuo, intrinsecamente ligado à mudança militar, que por sua vez, não possui uma definição única, podendo abranger alterações na doutrina, nas capacidades materiais, na gestão de pessoal, ou uma combinação desses fatores. Covarrubias (2007) as distingue entre adaptação, modernização e transformação (Covarrubias, 2007).

Nesse trabalho, adotar-se-á o entendimento de que a transformação implica no desenvolvimento de novas capacidades para cumprir novas missões e/ou funções. Entre as principais origens dessas modificações substanciais, destacam-se aquelas relacionadas às normas culturais, à política e à estratégia e à inovação tecnológica.

Em síntese, infere-se que a vertente de Transformação, no contexto orçamentário, agrupa a alocação dos recursos que desencadeiam a mudança militar. Por tal condição, são consubstanciadas em estrutura orçamentária apropriada no Sistema Integrado de Planejamento e Orçamento do Governo Federal, utilizando-se de Ações Orçamentárias (AO) do tipo Projeto¹² e se enquadram como despesas de caráter discricionário, sujeitas às definições da governança dos gestores militares.

¹⁰ Na Lei 4.320/1964, a distinção mais direta entre despesas obrigatórias e discricionárias pode ser encontrada na **discriminação das categorias econômicas de despesa no Art. 13 e seus parágrafos**. Ele classifica as despesas em **Despesas de Custeio** e **Despesas de Capital**, detalhando também que as despesas de Custeio incluem itens como pessoal, encargos sociais, juros, transferências correntes, subvenções sociais e econômicas, que geralmente são consideradas despesas obrigatórias por Lei, por serem essenciais para a manutenção de obrigações legais do Estado. Já os § 4º e § 5º descrevem que as dotações para investimentos, obras públicas, e transferências de capital podem variar de acordo com a decisão do gestor, indicando sua natureza de despesas discricionárias. Além disso, o Capítulo III (Art. 12) também fornece uma classificação que ajuda a entender essa diferenciação ao dividir a despesa geral nas categorias de despesas de custeio (que tendem a ser obrigatórias) e despesas de capital (que são mais flexíveis/discricionárias).

¹¹ O MCASP elucida a complexidade sobre o assunto: “os aspectos legais do SPSMFA são complexos e retratam as particularidades da profissão militar. A Constituição Federal (CF), com o advento das Emendas Constitucionais (EC) nº 18/1998, 20/1998, 41/2003 e 103/2019, assim como a Lei no 13.954/2019 contemplam a distinção entre o militar das Forças Armadas e o servidor público, inclusive em matéria previdenciária” (Brasil, p. 472, 2024b).

¹² Segundo o Inciso XIII, do Art 5º da Lei de Diretrizes Orçamentárias 2025 Brasileira, entende-se como um projeto “o instrumento de programação para alcançar o objetivo de um programa, envolvendo um conjunto de operações limitadas no tempo, das quais resulta um produto que concorre para a expansão ou o aperfeiçoamento da ação de governo” (Brasil, 2025).

Finalmente, a vertente de **manutenção da capacidade operativa**, foco de observação deste trabalho, abrange iniciativas e ações para manter a estrutura de força em estado de prontidão logística e operacional no presente. Diferentemente das despesas com pessoal, de caráter obrigatório, e da transformação, calcada em projetos para evoluir a estrutura de força, a manutenção da capacidade operativa concentra despesas de caráter discricionário, sujeitas ao arbitramento e definições desencadeadas pela governança e gestão institucional e é integralmente constituída por alocações em Ações Orçamentárias do tipo Atividade¹³. Para uma compreensão abrangente e detalhada, é fundamental analisá-la sob múltiplas óticas conceituais.

2.3.2 A manutenção da capacidade operativa do EB

A compreensão da manutenção da capacidade operativa é enriquecida ao ser analisada sob diferentes perspectivas. Entendê-la segundo critérios da classificação internacional dos gastos militares, permite colocar em perspectiva tal esforço em comparação com o realizado por outros países.

Já a análise a partir de uma base conceitual existente no setor privado admitirá analogias e a réplica de mecanismos utilizados em planejamentos orçamentários e financeiros daquele setor no contexto estudado.

Observá-la a luz da classificação econômica da despesa, adotada no âmbito da orçamentação pública brasileira, permite clareza sobre o conceito de “como” o componente do valor público do EB está sendo entregue à sociedade.

A seguir, a manutenção da capacidade operativa será contextualizada sob essas óticas para esclarecer o conceito adotado neste estudo.

O conceito de manutenção da capacidade operativa está correlacionado diretamente a categoria “Operações e Manutenção” (em inglês, *Operations and Maintenance*) (O&M). Ele reflete o uso de recursos para manter a funcionalidade e a prontidão das capacidades existentes.

Instituições internacionais de referência como o *Stockholm International Peace Research Institute* (SIPRI), a Organização do Tratado do Atlântico Norte

¹³ Segundo o Inciso XII, do Art 5º da Lei de Diretrizes Orçamentárias 2025 Brasileira, a atividade é o instrumento de programação para alcançar o objetivo de um programa, envolvendo um conjunto de operações que se realizam de modo contínuo e permanente, das quais resulta um produto necessário à manutenção da ação de governo (Brasil, 2025).

(OTAN) e o IISS utilizam categorizações próprias para classificar e comparar dispêndios militares, dentre eles à O&M.

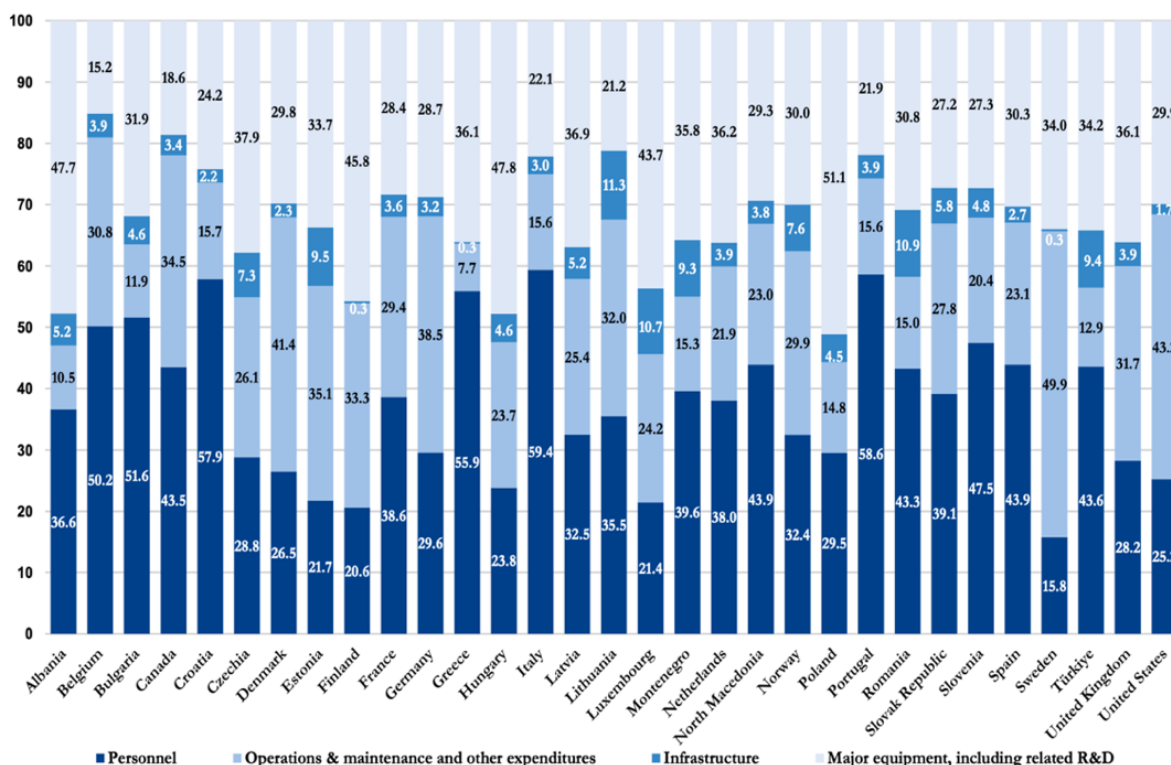
Tal categoria engloba uma gama de despesas relativas ao funcionamento diário das estruturas de força e a preservação de suas capacidades operacionais ao longo do tempo. Nesse contexto, incluem treinamentos militares, a operação e manutenção de equipamentos e instalações e a execução de missões. Os gastos não se confundem com investimentos de capital, como aqueles direcionados à infraestrutura, à aquisição de equipamentos e armamentos ou mesmo à pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I). Importante destacar que, num segundo momento, quando estes investimentos são incorporados nas estruturas de força, seu custeio passa a ser contabilizado como O&M.

Para Wezeman, Béraud-Sudreau, Marsteiner e Tian (2022), tais dispêndios estão relacionados com compras relacionadas “a alimentos, roupas, combustível, materiais de treinamento, suprimentos médicos, peças, ferramentas e materiais para reparo e manutenção de equipamentos e instalações militares; custos de viagem; custos de escritório; e gastos com serviços relacionados” (Wezeman, et al., p. 4, 2022).

Sob a perspectiva da OTAN, existem diretrizes para que os países membros reportem os gastos de defesa de forma padronizada. Quanto a O&M, juntamente com as despesas da vertente de pessoal, são despesas que integram os custos operacionais, e incluem despesas com munições e explosivos (exceto a nuclear), derivados do petróleo, peças de reposição, equipamentos e suprimentos (exceto os Sistemas de Armas), contratos de locações e outros custos operacionais e de manutenção (NATO, 2024).

O GRÁFICO 1 apresenta a divisão percentual categorizada das estimativas de despesas com defesa realizadas por cada país membro da OTAN no ano de 2024.

Gráfico 1 - Despesas com defesa em 2024 categorizadas - membros da OTAN



Fonte: NATO (2024).

Desse cenário, observa-se a Croácia (57,9%), a Grécia (55,9%), a Itália (59,4%) e Portugal (58,6%) com os maiores direcionamentos percentuais à vertente de pessoal, englobando o pagamento de remunerações a pessoal militar ativo e inativo, civis, pensões, contribuições sociais, entre outros (NATO, 2024).

Quanto a O&M, Dinamarca (41,4%), Suécia (49,9%) e os EUA (43,2%) apresentam percentuais superiores acima de 40% e lideram o *ranking* nessa vertente (NATO, 2024).

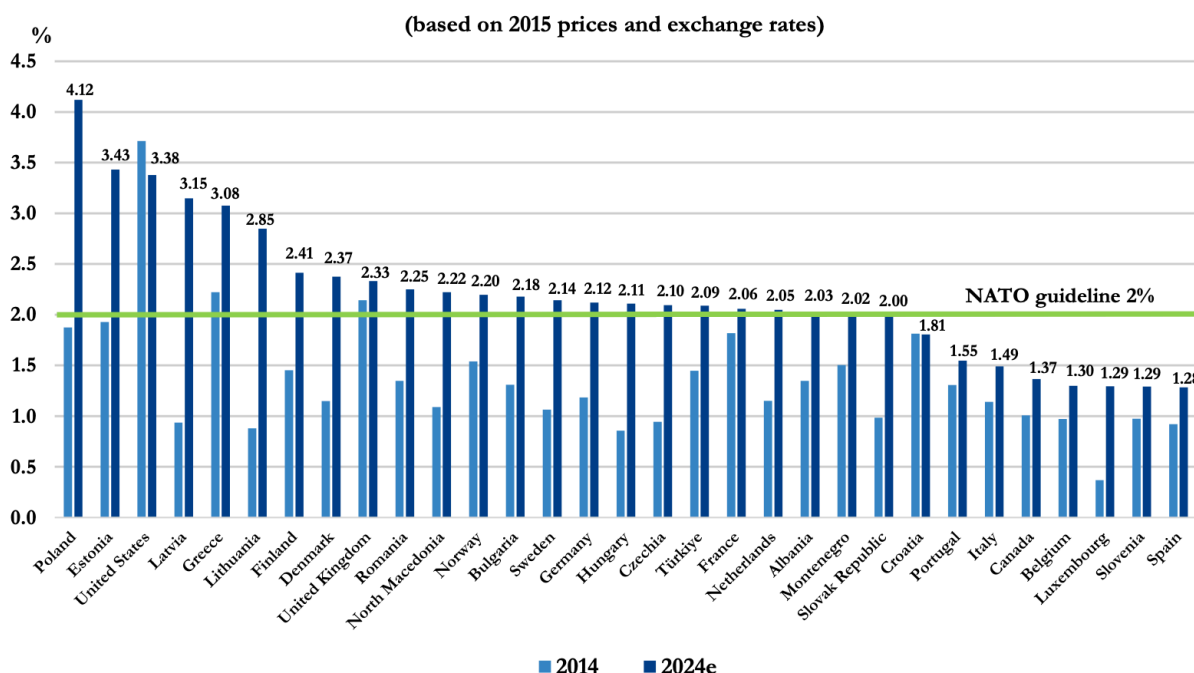
Quanto a vertente da transformação, a OTAN possui uma diretriz na qual seus países membros devem destinar no mínimo 20% para aquisição de equipamentos (sistema de armas), incluindo despesas associadas à pesquisa e desenvolvimento (*Major equipment, including related R&D*). A aliança entende que, nos países em que a destinação é inferior a essa meta, são identificados riscos crescentes relacionados à obsolescência dos equipamentos, ao surgimento de lacunas relacionadas a capacidade (*capability*) e à interoperabilidade com os demais países aliados. Além disso, a falta desse aporte contribui para o enfraquecimento da base industrial e tecnológica de defesa da Europa (NATO, 2025).

Nesse contexto, da análise do GRÁFICO 1, Bélgica (15,2%) e o Canadá (18,6%) permanecem não atingindo a meta estabelecida no Compromisso de Investimento em Defesa do País de Gales de 2014.¹⁴

A título comparativo com o Setor de Defesa no Brasil, o Ministério da Defesa brasileiro reporta em seu sítio eletrônico que em 2024 “o orçamento alcançou o valor de R\$ 124 bilhões, sendo destinado cerca de 86,2% dos recursos para a vertente de pessoal, enquanto 7,1% destinaram-se a O&M e 5,5% apoiaram os investimentos [vertente de transformação]” (Brasil, 2025).

Essa partição revela uma realidade destoante em termos de proporcionalidade em relação aos países membros da OTAN, entretanto, é fundamental também sopesar que a destinação de recursos para o Setor de Defesa do Brasil não alcança sequer a marca de 1,1% do PIB, realidade também bem afastada do universo de países-membros da aliança, que majoritariamente alcançam patamares acima de 2,0% do PIB, como revela o GRÁFICO 2, a seguir:

Gráfico 2 - Gastos com defesa em relação ao PIB (%) - membros da OTAN



Note: Figures for 2024 are estimates.

Fonte: NATO (2024).

¹⁴ “As part of the 2014 Wales Defence Investment Pledge, NATO Allies had also agreed that at least 20% of defence expenditures should be devoted to spending on major equipment, including the associated research and development (NATO, 2025).”

O IISS, outro renomado instituto de pesquisas sobre defesa, através de sua publicação anual "*The Military Balance*", analisa detalhadamente os orçamentos de defesa de diversos países. Embora a estrutura exata possa variar conforme a disponibilidade de dados de cada nação, consistentemente desagregam-se os orçamentos de forma a identificar os custos operacionais e de manutenção. Esses custos são entendidos como aqueles necessários para o funcionamento das forças, incluindo a manutenção de equipamentos, treinamento, infraestrutura e operações. A análise do IISS frequentemente destaca o equilíbrio entre investimento em novas capacidades e os recursos destinados a sustentar as existentes, sendo os últimos entendidos como a manutenção da capacidade operativa. (IISS, 2025).

Na perspectiva de terminologia utilizada no setor privado, relaciona-se a manutenção da capacidade operativa às despesas operacionais, internacionalmente conhecidas pela sigla OPEX (*Operational Expenditure*). Elas compreendem os gastos incorridos por uma organização para a manutenção de suas atividades e operações rotineiras e se distinguem fundamentalmente dos investimentos de capital (CAPEX - *Capital Expenditure*), destinados à aquisição de bens de capital ou ativos de longa duração.

Segundo Davenport (2014), as "despesas operacionais compreendem os custos que uma empresa incorre por meio de suas operações comerciais normais, incluindo mão de obra, manutenção, serviços utilitários e serviços de TI, e não incluem gastos de capital em ativos." (Davenport, 2014).

Para Horngren, Datar e Rajan (2015, p. 30), as despesas operacionais são "custos incorridos para gerar as receitas do período corrente e não se espera que beneficiem períodos futuros". Embora esta conceituação seja originária do contexto empresarial, seu princípio fundamental é extensível a organizações de naturezas diversas, incluindo as do setor público e as militares. Nestas últimas, a "geração de receitas" pode ser interpretada como o cumprimento da missão institucional e a entrega de valor público. (Horngren, et. al., 2015).

Drury (2018) corrobora essa visão ao definir as despesas operacionais como aquelas relacionadas à função principal da organização. Tais despesas englobam custos com pessoal (salários e encargos), materiais de consumo, manutenção de equipamentos e instalações, aluguéis, e outros serviços vitais para a continuidade das operações. No contexto contábil, essas despesas são usualmente registradas na

demonstração de resultados do período em que são incorridas, impactando diretamente o resultado financeiro ou orçamentário (Drury, p. 45, 2018).

A gestão eficaz do *OPEX* é um fator crítico para a eficiência e o desempenho organizacional. Garrison, Noreen e Brewer (2021) ressaltam que "a gestão efetiva das despesas operacionais é fundamental para a saúde financeira e a capacidade de uma organização atingir seus objetivos estratégicos". (Garrison; et al., p. 52, 2021).

Para se observar as despesas com a manutenção da capacidade operativa no contexto da Contabilidade Aplicada ao Setor Público (CASP) brasileira, é fundamental observar a classificação da despesa orçamentária quanto a sua natureza.

Tal classificação é composta por uma Categoria Econômica, pelo Grupo de Natureza de Despesa (GND) e pelo Elemento de Despesa, presentes no conjunto de informações estruturadas que compõe uma célula orçamentária durante a execução orçamentária da despesa (Brasil, p. 77, 2024b).

A categoria econômica se divide precipuamente entre despesas correntes e despesas de capital. Silva (2020) conceitua as despesas correntes como aquelas "destinadas à produção de bens e serviços correntes, i.e., despesas para manutenção e custeio de atividades da administração pública e não contribuem para a formação ou aquisição de um bem de capital". Em contraste, as despesas de capital "contribuem diretamente para a formação ou aquisição de um bem de capital". Assim, compreende-se que a manutenção da capacidade operativa se enquadra predominantemente como uma despesa corrente. (Silva, 2020).

O Grupo de Natureza de Despesa (GND) tem a finalidade de demonstrar os agregados da despesa orçamentária em termos de classes de gastos. Ele identifica como a alocação orçamentária está comprometida e permite estimar o grau de eficiência de uma determinada unidade orçamentária em relação às suas respectivas funções orçamentárias associadas e atribuições no âmbito da administração pública. Essa classificação possibilita que o Órgão Público realize uma aferição do seu grau de comprometimento alocativo e observe sua distribuição de recursos para a prestação do bem ou serviço público (Silva, 2020).

A partir desses grupos, que englobam outras diferentes naturezas de despesas (pessoal¹⁵, a juros e encargos da dívida¹⁶, a inversões financeiras¹⁷ e amortização da dívida pública¹⁸), o enfoque relacional a ser traçado com a manutenção da capacidade operativa do EB está maioritariamente ligado ao GND 3 - Outras Despesas Correntes¹⁹ e minoritariamente ao GND 4 - Investimentos²⁰. Nesse sentido, o GND 3 corresponde às despesas voltadas para:

- **Aquisição de material de consumo:** Insumos essenciais para o adestramento militar, como munição de treinamento, fardamento, material de escritório, entre outros.
- **Custeio das infraestruturas e de funcionamento dos equipamentos bélicos:** Gastos como energia elétrica, fornecimento de água, combustíveis para viaturas, aeronaves e embarcações, e lubrificantes.
- **Contratação de serviços:** Contratos diversos de manutenção de equipamentos (por exemplo, reparo de veículos blindados ou sistemas de comunicação), serviços administrativos, de segurança, limpeza, entre outros.
- **Outras despesas correntes** não classificáveis nos demais grupos de natureza de despesa.

Outra relação importante a ser exposta é a sua intrínseca relação com a Cadeia de Valor Agregado (CVA) do EB. Conforme estabelecido na Metodologia do Sistema de Planejamento do Exército (SIPLEx) (2021), a CVA representa o conjunto de atividades essenciais que, quando executadas de forma coordenada, geram e

¹⁵ Despesas orçamentárias com pessoal ativo e inativo e pensionistas, relativas a mandatos eletivos, cargos, funções ou empregos, civis, militares e de membros de Poder, com quaisquer espécies remuneratórias, tais como vencimentos e vantagens, fixas e variáveis, subsídios, proventos da aposentadoria, reformas e pensões, inclusive adicionais, ratificações, horas extras e vantagens pessoais de qualquer natureza, bem como encargos sociais e contribuições recolhidas pelo ente às entidades de previdência, conforme estabelece o caput do art. 18 da Lei Complementar nº 101, de 2000 (Brasil, p. 78, 2024b).

¹⁶ Despesas orçamentárias com o pagamento de juros, comissões e outros encargos de operações de crédito internas e externas contratadas, bem como da dívida pública mobiliária (BRASIL, p. 78, 2024b).

¹⁷ Despesas orçamentárias com a aquisição de imóveis ou bens de capital já em utilização; aquisição de títulos representativos do capital de empresas ou entidades de qualquer espécie, já constituídas, quando a operação não importe aumento do capital; e com a constituição ou aumento do capital de empresas, além de outras despesas classificáveis neste grupo (Brasil, p. 78, 2024b).

¹⁸ Despesas orçamentárias com o pagamento e/ou refinanciamento do principal e da atualização monetária ou cambial da dívida pública interna e externa, contratual ou mobiliária (BRASIL, p. 78, 2024b).

¹⁹ Despesas orçamentárias com aquisição de material de consumo, pagamento de diárias, contribuições, subvenções, auxílio-alimentação, auxílio-transporte, além de outras despesas da categoria econômica "Despesas Correntes" não classificáveis nos demais grupos de natureza de despesa (BRASIL, p. 78, 2024b).

²⁰ Despesas orçamentárias com softwares e com o planejamento e a execução de obras, inclusive com a aquisição de imóveis considerados necessários à realização destas últimas, e com a aquisição de instalações, equipamentos e material permanente (Brasil, p. 79, 2024b).

entregam valor à sociedade, caracterizando o cumprimento da missão institucional (Brasil, p. 17, 2021).

Tal estrutura é decomposta em três grandes macroprocessos. Os macroprocessos finalísticos (MPF), que entregam serviços diretamente ao público externo; macroprocessos de gestão interna (MPGI), que fornecem suporte operacional; e macroprocessos gerenciais (MPG), que orientam e controlam a organização. Por exemplo, o macroprocesso "Preparo da Força Terrestre" (MPF) visa à prontidão das tropas, enquanto a "Gestão de Pessoal" (MPGI) assegura a disponibilidade de recursos humanos qualificados, e o "Planejamento Estratégico" (MPG) direciona todas as ações (Brasil, p. 17, 2021).

Assim, a CVA delinea o "o quê" e o "como" a organização opera para cumprir sua missão constitucional, servindo como um arcabouço normativo para sintetizar o desenho institucional existente para promover entregas à sociedade.

Ou seja, as vertentes orçamentárias já definidas na seção anterior – pessoal, transformação e manutenção da capacidade operativa – possuem seus processos atrelados à CVA.

Dessa maneira, há uma correlação simbiótica entre a CVA e a disponibilidade e gestão eficiente dos recursos. Cada macroprocesso da CVA, seja ele finalístico, de gestão interna ou gerencial, está sempre atrelado à condição do uso de recursos públicos, a fim de transformá-los em entregas de valor.

A importância é tanta que a Metodologia do SIPLEx (2021) reforça a necessidade de haver uma clara ligação nessa relação, ao afirmar que "os recursos destinados à CVA devem possuir ligação clara com as entregas de cada macroprocesso" (Brasil, p. 11, 2021).

Em suma, enquanto a CVA mapeia as atividades que definem a missão e a entrega de valor, a vertente orçamentária voltada para a manutenção da capacidade operativa fornece o suporte contínuo e indispensável para que as atividades sejam executadas de forma eficaz e sustentável.

2.3.3 O processo orçamentário no EB

A gestão de recursos e o planejamento estratégico constituem pilares fundamentais para a eficácia institucional, especialmente no contexto militar, onde a alocação de pessoal e meios é intrínseca ao cumprimento de missões militares.

Constantinescu (2023), destaca em seu estudo que a integração de sistemas estratégicos de planejamento e gestão permite uma compreensão mais abrangente de como as alocações orçamentárias se traduzem em capacidades militares e seus efeitos subsequentes. (Constantinescu, 2023).

Particularmente, o EB instrumentaliza essa correlação por meio do Sistema de Planejamento Estratégico do Exército (SIPLEx), metodologia utilizada no mais alto nível decisório, concebida para a definição de objetivos e estratégias institucionais.

O SIPLEx também se caracteriza pela constante busca de um alinhamento com o planejamento de longo prazo do Governo Federal, em harmonia com o Sistema de Planejamento Estratégico de Defesa (SISPED) e com o Sistema de Planejamento e de Orçamento Federal (SIPO), organizado e disciplinado pela Lei nº 10.180, de 6 de fevereiro de 2001²¹.

Para tanto, o planejamento estratégico no Exército é composto por duas vertentes interdependentes: uma organizacional, direcionada ao preparo e emprego dos componentes para suas missões, e outra de gestão, que compreende o planejamento e a descentralização de recursos orçamentários para a execução das atividades consignadas no PEEEx, além do monitoramento, a avaliação da execução, gestão de riscos, governança e integridade.

A vertente de gestão do SIPLEx encontra sua materialização mais expressiva na 6ª fase, intitulada Orçamentação. Esta fase é crucial, pois “transforma as concepções das fases anteriores em realidade, por meio do planejamento e da execução orçamentária”. (Brasil, 2021).

Nesse sentido, é fundamental o entendimento de que o processo orçamentário é parte do SIPLEx. Em outros termos, todos os dispêndios de recursos orçamentários estão contidos, de alguma forma, no Planejamento Estratégico do EB.

Uma outra dimensão a ser considerada para a compreensão da complexidade do processo é que ele ocorre em níveis distintos, concomitantes e cíclicos.

²¹ “Art. 2º O Sistema de Planejamento e de Orçamento Federal tem por finalidade: I - formular o planejamento estratégico nacional; II - formular planos nacionais, setoriais e regionais de desenvolvimento econômico e social; III - formular o plano plurianual, as diretrizes orçamentárias e os orçamentos anuais; IV - gerenciar o processo de planejamento e orçamento federal; V - promover a articulação com os Estados, o Distrito Federal e os Municípios, visando a compatibilização de normas e tarefas afins aos diversos Sistemas, nos planos federal, estadual, distrital e municipal.”

O nível da governança orçamentária atua na interação com o campo externo, avaliando a consolidação de informações orçamentárias e direcionando a alocação de recursos, tendo o Órgão de Direção Geral (ODG) como maior protagonista.

Já o nível da gestão orçamentária é formado pelos Órgãos de Direção Setorial (ODS) e pelo nível executor das despesas. Os ODS são Unidades Gestoras Responsáveis (UGR) e assim fornecem informações e o planejamento ao ODG e, ao mesmo tempo orientam e controlam a execução orçamentária do nível tático, formado pelas Unidades Gestoras Executoras (UGE). Evidentemente, as UGE também fornecem informações às UGR, mas seu papel é atuar fortemente nos planejamentos para a execução, visto que ali é de fato onde ocorrem os processos de obtenção e realização das despesas públicas.

A seguir, aborda-se o planejamento orçamentário no Exército Brasileiro, enfocando os instrumentos, as fases e os atores envolvidos na elaboração e consolidação do orçamento institucional, ressaltado pontos em que o processo decisório é necessário, oportunidade em que o modelo de otimização explorado no presente estudo possuirá utilidade.

2.3.3.1 O planejamento orçamentário no EB

O planejamento orçamentário do Exército Brasileiro está indissociavelmente vinculado ao ciclo orçamentário federal, estruturado pela Constituição Federal de 1988 por meio de três leis de iniciativa do Poder Executivo: a Lei do Plano Plurianual (PPA), a Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) e a Lei Orçamentária Anual (LOA). Embora sejam leis ordinárias e não possuam hierarquia formal, uma hierarquia material se estabelece, na qual o PPA orienta a LDO, e esta, por sua vez, orienta a LOA. A formulação da proposta orçamentária de órgãos como o Exército deve, portanto, estar em total consonância com os preceitos do PPA e da LDO. (FERES, 2021)

O Estado-Maior do Exército (EME), na qualidade de ODG, e principal ator da governança orçamentária, é o responsável pelo SIPLEx e o seu alinhamento com o PPA²², utilizando-se de metodologia própria, aprovada por meio da Portaria – EME/C Ex nº 621, de 16 de dezembro de 2021. Nesse instrumento de planejamento, ganha um destaque especial no presente estudo a Fase 6 - Orçamentação, momento no qual ocorre a “compatibilização do planejamento estratégico com a previsão de orçamento

²² O PPA atualmente em vigor foi publicado por meio da **Lei nº 14.802, de 10 de janeiro de 2024**. (BRASIL, 2024a).

a ser disponibilizado, bem como a transformação das concepções idealizadas pelo PEEEx em realidade, por meio do planejamento e programação orçamentária, que viabiliza a execução da despesa”. (Brasil, p. 78, 2021).

De forma análoga a vinculação existente entre o PPA, LDO e LOA, o processo de planejamento orçamentário no Exército também possui uma estrutura de planejamento particionada em horizontes temporais de curto, médio e longo prazo.

No nível da governança, um dos principais produtos confeccionados é o Planejamento Orçamentário Plurianual do Exército. Ele “apresenta a estimativa de recursos a serem alocados à Força Terrestre no decorrer dos anos do Cenário Militar de Defesa considerado (horizontes de curto, médio e longo prazo)”²³, permitindo ao ODG visualizar as demandas existentes alinhada à realidade orçamentária, sendo considerada a maior referência para o PEEEx em termos de limite de recursos orçamentários (Brasil, p. 80, 2021).

Sua formulação ocorre em três etapas distintas, concomitantemente às Fase 4 (Estratégia Militar Terrestre), Fase 5 (Planos Estratégicos) e Fase 6 (Orçamentação) do PEEEx. Durante a Fase 4 é consignado um “levantamento preliminar do orçamento das iniciativas estratégicas”, vinculado ao Plano de Obtenção de Capacidades (POC)²⁴, com valores projetados para todo o Cenário Militar de Defesa (CMD) considerado, geralmente contemplando 16 anos (4 PPA), o que representa a visão de longo prazo.

Na fase 5, compatibiliza-se o planejamento orçamentário ao PEEEx de médio prazo (4 anos), a partir do detalhamento das necessidades de recursos orçamentários para as iniciativas estratégicas. As informações são obtidas do próprio ODG, dos ODS, do Órgão de Direção Operacional (ODOp) e dos Órgãos de Assistência Direta e Imediata (OADI) e conformam as Necessidades Gerais do Exército (NGE), representando a visão de médio prazo.

23 Tomando como exemplo o ciclo de Planejamento Estratégico do Exército iniciado em 2021, o Cenário Militar de Defesa tem como horizonte o ano de 2040. (Brasil, p.9, 2021)

²⁴ O Plano de Obtenção de Capacidades é o documento elaborado pelo MD que retrata as necessidades das Forças Singulares para fazer frente ao CMD. Ele consolida os planos de configuração das forças singulares, principal produto do Planejamento Baseado em Capacidades (PBC), cuja metodologia vem sendo utilizada para atender a Estratégia Nacional de Defesa (END), definindo que os meios de defesa do Brasil deveriam ser estruturados em torno de capacidades. A atual Metodologia do SIPLEX recepciona o POC e outros produtos do PBC, sem gerar conflitos com os processos existentes. (Brasil, p.61, 2021)

Um ponto relevante, destacado na metodologia do SIPLEEx, é que o PEEEx contempla estimativas ideais dos valores necessários para o cumprimento da missão nas NGE, mas que estas estejam priorizadas, a fim de que o documento sirva como um instrumento para eventuais ampliações do espaço orçamentário, sendo objeto de limitação somente por ocasião da fase quantitativa da elaboração da Proposta Orçamentária Anual do Exército (POAEx), que representa o planejamento de curto prazo. (Brasil, p. 73, 2021).

Já a fase 6, tem seu enfoque voltado para o início do planejamento de curto prazo. Nesse sentido, ele é iniciado por meio de uma revisão das NGE, iniciada logo após a sanção da LOA, dando início ao planejamento do ano subsequente, a partir de uma reavaliação das projeções, com base na realidade orçamentária em vigor.

A outra etapa do planejamento de curto prazo é a elaboração da POAEx para o ano subsequente. A metodologia do SIPLEEx a define como “o detalhamento dos limites orçamentários recebidos do Ministério da Defesa (MD) no Sistema Integrado de Planejamento e Orçamento (SIOP) do Governo Federal, tendo sua realização orientada, coordenada e consolidada pela 6ª Subchefia EME”. (Brasil, p. 82, 2021).

Ainda, a metodologia define a POAEx como um produto do planejamento e de programação orçamentária, que representa a peça orçamentária do Exército dentro do PLOA do Governo Federal. Nesse ponto, também é possível entendê-la como o instrumento de interação entre o SIPLEEx e o SIPO, que se utiliza do SIOP para promover essa integração. (Brasil, p. 82, 2021).

O processo de elaboração da POAEx é conduzido no nível da governança com informações advindas do nível da gestão orçamentária. É iniciado no momento do envio do Projeto de Lei das Diretrizes Orçamentárias (PLDO) do ano subsequente, do Poder Executivo ao Poder Legislativo, até 15 de abril, e término identificado quando ocorre o envio da peça orçamentária do EB que integrará o Projeto de Lei Orçamentária Anual (PLOA) apresentado pela pasta de defesa (MD) do Poder Executivo, anualmente até meados de agosto.

A POAEx é elaborada a partir de uma revisão preliminar das NGE, do acatamento das diretrizes constantes da LDO e tem o PLOA/EB como um produto elaborado em duas fases distintas: a qualitativa e quantitativa.

Na fase qualitativa os atributos, descritores e dados descritivos das Ações Orçamentárias (AO) e dos Planos Orçamentários (PO) do EB são revisados e

depurados, considerando orientações da Secretaria de Orçamento Federal (SOF), do Ministério da Defesa (MD) e diretrizes internas da governança orçamentária do EB.

Após o término da fase qualitativa, a fase quantitativa é iniciada. Nesse momento, as Necessidades Gerais do Exército (NGE), produto do PEEEx, são compatibilizadas aos limites disponibilizados pelo Ministério da Defesa (MD), sendo este um momento relevante de tomada de decisão no processo orçamentário. É o momento em que os decisores avaliam e direcionam os recursos orçamentários para as atividades e projetos integrantes das vertentes orçamentárias já apresentadas no presente estudo.

Cabe ressaltar que, numa etapa que precede a chegada dos limites no EB, a governança orçamentária (ODG) divulga os “pré-limites” ao nível da gestão estratégica setorial (ODS). Evidentemente, as informações fornecidas são depuradas e aproximadas em cenários projetados. A partir desse momento, o trabalho da gestão setorial de planejamento orçamentário é aproximado da realidade, ao passo que também são identificadas oportunidades, necessidades críticas e estabelecidas prioridades por parte do ODG, facilitando a dinâmica dos trabalhos futuros desenvolvidos após a chegada oficial dos limites orçamentários para finalizar a POAEx.

Além da POAEx, o Plano de Descentralização dos Recursos (PDR) é um instrumento que promove a ligação entre a fase de planejamento e de execução. Nele, os Órgãos firmam compromissos e intenções entre si ou mesmo com as Unidades Gestoras Executoras (UGE) detalhando objetos, valores, metas físico-financeira, relação com a iniciativa estratégica do PEEEx e o responsável pela execução da despesa. Sua elaboração ocorre durante o ano anterior e ela é concluída em paralelo a aprovação da POAEx pelo Comandante do Exército (Brasil, p. 84, 2021).

A FIGURA 3 sintetiza os principais documentos do planejamento orçamentário do EB com uma breve caracterização, considerando o horizonte temporal que tais instrumentos abarcam, e que são elaborados em consonância com o Planejamento Estratégico do Exército.

Figura 3 - Instrumentos do Planejamento Orçamentário do EB.



Fonte: elaborado pelo autor com base na Metodologia do SIPLEEx (2021).

É fundamental destacar que a dinâmica acima tem o protagonismo do ODG, como coordenador da governança orçamentária, e os ODS, como elementos do nível da gestão estratégica orçamentária, que fornecem informações dos planejamentos setoriais ao ODG para a consolidação do orçamento.

Concomitantemente, a outra parte da gestão, que atua no nível tático-operacional, formada pelas UGE, em termos de planejamento orçamentário, está debruçada na formulação do Plano de Contratações Anual (PCA), ou seja, planejando a execução da obtenção de produtos e serviços para aquele orçamento.

Ao término da fase quantitativa, até meados de agosto, as informações da POAEx do EB são encaminhadas ao MD, que por sua vez, apresenta a Proposta conjunta das três Forças e do próprio Ministério da Defesa ao Congresso Nacional (CN), transformando aquela informação externa da POAEx no PLOA/EB.

A tramitação do PLOA/EB no Congresso Nacional (CN) ocorre ao longo de todo o 2º semestre, até o término das sessões legislativas anuais, legalmente estabelecida até a última semana de dezembro²⁵. Nesse momento, o orçamento está sujeito a redimensionamentos, por meio de cortes, suplementações e pela captação de Emendas Parlamentares (EP). O percurso é monitorado e, assim, são promovidos ajustes no planejamento orçamentário pré-concebido. Com a aprovação do PLOA no CN, segue-se para a sanção ou o veto presidencial. Uma vez sancionada, o projeto de lei se torna a LOA, documento legal que estima a arrecadação das receitas e fixa a execução de despesas governamentais e, nesse contexto, consta a fatia a ser executada pelo EB.

²⁵ Por força legal, o PLOA deve ser encaminhado do Poder Legislativo ao Poder Executivo até o encerramento da sessão legislativa (geralmente 22 de dezembro) do ano anterior a LOA. A partir do recebimento, o Presidente da República tem até 15 (quinze) dias úteis para sancionar o PLOA, e assim transformando-a em LOA.

Em síntese, o planejamento orçamentário do EB constitui um processo multidimensional e integrado ao ciclo orçamentário federal, fundamentando-se em instrumentos legais como o PPA, a LDO e a LOA. Sob a coordenação do ODG, e por intermédio da metodologia do SIPLEx, são observados diferentes horizontes temporais, que articulam o planejamento em longo, médio e curto prazo por meio da elaboração do Planejamento Orçamentário Plurianual, da POAEx e do PDR. Tal dinâmica viabiliza a compatibilização entre as necessidades estratégicas institucionais, representadas pelas Necessidades Gerais do Exército (NGE), e os limites orçamentários definidos em âmbito federal, estabelecendo critérios e objetivos para a tomada de decisão na alocação de recursos.

Além disso, o processo envolve instâncias diversas de governança e gestão, propiciando um fluxo contínuo de informações entre os diferentes níveis organizacionais e assegurando a aderência às diretrizes e restrições estabelecidas pelo Ministério da Defesa e pelo ODG. O cronograma anual compreende etapas que vão desde a elaboração da proposta até sua tramitação legislativa e posterior sanção, possibilitando ajustes ao longo do percurso para acomodar emendas parlamentares, limitações e suplementações, em consonância com o dinamismo das políticas públicas.

Dessa forma, o planejamento orçamentário revela-se essencial para garantir o alinhamento entre os objetivos estratégicos traçados no PEEEx e a realidade fiscal, buscando propiciar transparência e eficiência, considerando a imprevisibilidade que ronda a realidade do esforço público em prol da Defesa Nacional do Brasil.

2.4 A OTIMIZAÇÃO E O CONTEXTO ORÇAMENTÁRIO DE DEFESA

Como já abordado anteriormente, a alocação de recursos orçamentários é um processo complexo e que impacta no nível de prontidão operacional e logística, considerado um pilar estratégico para as forças de defesa.

A otimização e a Pesquisa Operacional (PO) nasceram na Segunda Guerra Mundial, impulsionadas pela gestão eficiente de recursos militares. O pós-guerra consolidou o campo com o desenvolvimento do Método Simplex de Dantzig (1947) e da Programação linear (PL). Como a PO visa encontrar consistentemente as "melhores" soluções para problemas complexos de alocação de recursos, a otimização tornou-se seu propósito central, resultando na sinonímia dos termos. Essa

busca por eficiência expandiu suas aplicações para diversas indústrias, da logística ao planejamento de produção, tornando-se essencial na tomada de decisões.

Os fundamentos teóricos da otimização no orçamento de defesa estão enraizados em modelos econômicos e matemáticos. Uma das principais estruturas teóricas que os sustentam é o conceito de “eficiência alocativa”, que se refere à alocação ideal de recursos para obter o maior retorno possível em termos de segurança nacional. Esse conceito é fundamental para os sistemas PPB e PPBE, projetados para maximizar os resultados de segurança e minimizar os custos (Larsen; et al., 2006).

Outro marco teórico importante é o uso de modelos matemáticos de otimização nos projetos de defesa. Esses modelos foram empregados para desvendar as complexidades do planejamento de capital militar, particularmente no contexto de decisões de aquisição de longo prazo. Os militares dos EUA estão na vanguarda do desenvolvimento e aplicação desses modelos, que se mostraram fundamentais na tomada de decisões estruturadas [cientificamente] sobre a alocação de recursos (Brown; et al., 2004).

O uso de técnicas de otimização no orçamento de defesa também é identificado em teorias econômicas dos gastos com defesa. Elas exploram a relação entre gastos com defesa e desempenho econômico, destacando a necessidade de alocação eficiente de recursos para evitar impactos econômicos adversos. Por exemplo, estudos mostraram que altos níveis de gastos militares podem reduzir o investimento em outros setores, potencialmente impedindo o crescimento econômico. Portanto, a otimização no orçamento de defesa não é apenas uma questão de alcançar os objetivos de segurança, mas também de garantir que a alocação de recursos não comprometa a estabilidade econômica (Lindgren, 1988).

As aplicações práticas da otimização no orçamento de defesa são diversas e evoluíram com o tempo. Uma das mais notáveis é o uso da otimização de portfólio no planejamento de defesa. A otimização do portfólio envolve a seleção de um conjunto diversificado de ativos (como capacidades militares) que maximizam o retorno do investimento. Essa abordagem tem sido cada vez mais adotada pelas organizações de defesa para garantir que a alocação de recursos esteja alinhada com os objetivos estratégicos (Harrison; et al., 2020).

Outra aplicação da otimização no orçamento de defesa é o uso de modelos matemáticos na vertente de transformação da estrutura de força. Os modelos são

projetados para lidar com as complexidades das decisões de aquisição de longo prazo, levando em consideração fatores como avanços tecnológicos, interoperabilidade e facilidade de manutenção. A exemplo, Cunha (2025) propôs a aplicação do modelo de programação linear binária e inteira, conhecido como "problema da mochila", associado a um método de tomada de decisão multicritério e desenvolveu uma metodologia específica para projetar referenciais orçamentários e de identificação de critérios para priorizar iniciativas estratégicas (Cunha, 2025).

Além dessas aplicações, técnicas de otimização têm sido usadas no contexto da alocação orçamentária de pesquisa e desenvolvimento (P&D) de defesa. As atividades de P&D são fundamentais para a inovação tecnológica e o empreendedorismo, e seu sucesso depende do fluxo de financiamento. Vários métodos, incluindo otimização clássica, análise multicritério e análise hierárquica, foram propostos para alocar orçamentos governamentais de P&D. Esses métodos visam otimizar a alocação de recursos para maximizar os benefícios sociais, econômicos e políticos (Alizadeh; Domyeh, 2024).

Um exemplo notável é a implementação do Sistema Universal de Defesa e Segurança Popular (SISHANKAMRATA) na Indonésia. Esse sistema enfatiza a importância de otimizar os recursos de defesa por meio de alocações orçamentárias suficientes e equilibradas. O governo indonésio fez avanços significativos no desenvolvimento de capacidades de defesa confiáveis ao implementar práticas de gestão orçamentária transparentes e responsáveis (Evantino; et. al., 2024)

Estudos no contexto da reestruturação recente do orçamento de defesa do Reino Unido frisam os desafios de otimizar a alocação diante da intensificação de mudanças na dinâmica geopolítica e nas pressões econômicas (Smith, 2024).

Artiushenko (2024) apresenta como a Programação linear (PL) tem sido usada para desenvolver modelos que maximizam a eficácia dos gastos orçamentários em unidades militares. Esses modelos levam em conta a natureza limitada dos recursos financeiros e visam alcançar o mais alto nível possível de prontidão e capacidade militar (Artiushenko, 2024).

Nesse sentido, o autor juntamente com Dyachenko, observam que métodos de tomada de decisão multicritério, como o Processo de Hierarquia Analítica (AHP) e a Técnica de Preferência de Ordem por Similaridade com a Solução Ideal (TOPSIS), também foram aplicados ao gerenciamento de despesas de defesa. O método AHP,

tem sido usado para avaliar fornecedores com base em um conjunto de critérios, incluindo custos, benefícios, oportunidades e riscos (Dyachenko; Artiushenko, 2024).

O *FITradeOff* é um método multicritério de auxílio à decisão e foi implementado no sistema SADORC da Marinha do Brasil com sucesso. Ele vem sendo utilizado em decisões estratégicas, permitindo a tomada de decisões em grupo e fornece uma medida de utilidade significativa que representa a conveniência de uma alternativa em termos de realização de objetivos estratégicos. Em termos de resultados, constatou-se uma melhora na eficiência orçamentária, com ganhos na ordem de 15% em 2022 (Santos; et. al., 2023).

Melese (2015) aponta o uso de análise de custo-benefício (em inglês, *Cost-Benefits Analysis*) como uma técnica eficiente em oferecer parâmetros para avaliar implicações econômicas dos investimentos em defesa. Ela incluiu opções reais estratégicas e simulações de Monte Carlo para avaliar compensações entre custos e benefícios, orientando assim as decisões de alocação de recursos (Melese; et. al., 2015).

Lempert e demais autores (2016) se concentram na aplicação da Tomada de Decisão Robusta (em inglês, *Robust Decision Making (RDM)*) ao planejamento de recursos de defesa, abordando os desafios impostos pela profunda incerteza e pela complexidade das necessidades militares. Eles enfatizam a necessidade de estratégias que possam se adaptar a ameaças imprevisíveis e cenários de financiamento, garantindo um planejamento de defesa eficaz e econômico. (Lempert; et. al., 2016).

Fontaine, Mannor e Perchet (2019) apresentam um algoritmo de otimização estocástica adaptativo para alocação de recursos, incluindo aplicação na defesa, com foco na maximização de recompensas cumulativas e na minimização do arrependimento. O algoritmo se adapta à complexidade do problema e à regularidade dos retornos decrescentes, melhorando os resultados. (Mannor, et. al., 2019).

Métodos de retornos de investimentos (em inglês, *Return On Investment (ROI)*) e otimização de portfólio baseados em riscos foram aplicados no Departamento de Defesa dos EUA para otimizar portfólios de aquisições e programas. A abordagem usa programação dinâmica com medidas estatísticas e técnicas de otimização para avaliar compensações entre riscos de capacidade, custo e cronograma, obtendo sucesso em cenários de aquisição naval, demonstrando sua eficácia na tomada de decisões em vários estágios sob incerteza (Mun, 2020).

Alizadeh e Domyeh (2024) observam que uma das principais tendências é o uso crescente de algoritmos avançados de otimização, incluindo inteligência artificial e algoritmos meta-heurísticos autoajustáveis. Esses algoritmos estão sendo explorados por seu potencial de aumentar a eficiência e eficácia da alocação do orçamento de defesa (Alizadeh; et. al., 2024).

Outra tendência é a integração de técnicas de planejamento estratégico no orçamento de defesa. O planejamento estratégico envolve definir objetivos claros e identificar os recursos necessários para alcançá-los. Ao integrar o planejamento estratégico ao processo orçamentário, as organizações de defesa podem garantir que a alocação de recursos esteja alinhada com as metas de segurança de longo prazo. Essa abordagem tem sido particularmente influente no contexto do planejamento de defesa nacional, onde a otimização da alocação de recursos é fundamental para fortalecer as capacidades de defesa (Sianipar; et. al., 2024).

Nessa linha de promoção da integração, o próprio Exército Brasileiro, ao dedicar no Planejamento Estratégico do Exército a ação estratégica “11.1.1 Otimizar a integração entre o planejamento orçamentário e o SIPLEX” torna evidente a relevância do assunto e os esforços institucionais realizados nesse sentido (Brasil, p. 32, 2023).

Finalmente, há uma ênfase crescente no uso de métricas de desempenho no orçamento de defesa. As métricas de desempenho fornecem uma forma de medir a eficácia da alocação de recursos e garantir que os programas de defesa alcancem os resultados pretendidos. Ao incorporar métricas de desempenho no processo orçamentário, as organizações de defesa podem otimizar a alocação de recursos e melhorar a responsabilidade (Godinho; et al., 2020).

Em suma, a otimização no contexto orçamentário de defesa se mostra fundamental frente a complexidade da alocação de recursos, que impactam a prontidão operacional e logística das estruturas de forças de defesa. O surgimento da Pesquisa Operacional durante a Segunda Guerra Mundial marcou o início do uso de métodos matemáticos — como Programação linear e o Método Simplex — para maximizar a eficiência dos recursos militares, conceito hoje central no planejamento de defesa e em setores diversos. A aplicação desses métodos busca a eficiência alocativa, procurando sempre os melhores retornos possíveis em segurança nacional com o menor custo.

Essas práticas têm sido expandidas para estratégias como otimização de portfólios, gestão de aquisições, pesquisa e desenvolvimento, e análise multiobjetivo, com o apoio de algoritmos avançados, inteligência artificial e métodos multicritério. O orçamento de defesa, portanto, requer o uso contínuo dessas técnicas para equilibrar eficiência, inovação e sustentabilidade econômica — já que elevados gastos podem limitar investimentos em outras áreas e impactar o desenvolvimento econômico nacional.

Exemplos internacionais, como Indonésia, Reino Unido e EUA, ilustram a adoção de modelos de otimização e de gestão transparente para fortalecer capacidades militares diante de pressões econômicas e mudanças geopolíticas. No Brasil e no contexto internacional, tendências recentes apontam para a integração de métricas de desempenho, planejamento estratégico e técnicas analíticas sofisticadas para elevar a efetividade das decisões orçamentárias em defesa, tal como o SIOPLEEx, vem buscando garantir um maior alinhamento entre os objetivos estratégicos e o uso eficiente dos recursos disponíveis.

2.4.1 A Programação Linear (PL) e aplicações no Setor de Defesa

No contexto das técnicas de pesquisa operacional, a Programação linear (PL) emerge como a principal abordagem matemática para resolver problemas de alocação orçamentária e buscam a melhor solução possível dentre um conjunto de alternativas viáveis.

Desenvolvida por Dantzig em 1947, a PL é uma técnica de pesquisa operacional que permite encontrar o valor ótimo (máximo ou mínimo) de uma função matemática linear, sujeita a um conjunto de restrições também lineares (Hillier; Lieberman, 2006).

Um modelo de PL é matematicamente estruturado a partir de componentes essenciais que traduzem o problema real em uma linguagem formal. A compreensão de cada elemento é crucial para a correta modelagem do problema de alocação orçamentária (Taha, 2017):

- **Função Objetivo:** É a expressão matemática que representa a meta da otimização. Em um problema de alocação de recursos, ela quantifica o que se deseja maximizar (e.g., receita total, número de beneficiários atendidos) ou minimizar (e.g., custo total, tempo de execução de projetos).

- **Variáveis de Decisão:** Representam as quantidades que o tomador de decisão pode controlar e cujos valores ótimos se busca determinar. No contexto orçamentário, as variáveis podem representar o montante de recursos (R\$) a ser alocado em cada projeto, departamento ou iniciativa.

- **Restrições:** São as inequações ou equações lineares que representam as limitações e condições do problema. Em alocação de recursos, as restrições mais comuns incluem o limite do orçamento total, a capacidade máxima de produção, a demanda de mercado, as exigências legais ou contratuais e a disponibilidade de mão de obra.

- **Condição de Não-Negatividade:** Esta restrição impõe que as variáveis de decisão não podem assumir valores negativos. Sua justificativa é prática e intuitiva, pois não é possível alocar uma quantidade negativa de orçamento ou produzir um número negativo de itens.

Para encontrar a solução ótima de um modelo de PL, o algoritmo Simplex, também desenvolvido por Dantzig, permanece como o método clássico e mais difundido. Ele navega de forma iterativa pelos vértices da região viável (o conjunto de todas as soluções possíveis que satisfazem as restrições), garantindo a convergência para a solução ótima.

Além de fornecer a alocação ideal, a PL oferece ferramentas analíticas poderosas. A análise de sensibilidade permite avaliar o impacto na solução ótima decorrente de variações nos parâmetros do modelo, como mudanças no orçamento total ou nos coeficientes da função objetivo. Derivado deste conceito, o preço sombra (Dualidade) é de particular importância: ele quantifica o quanto o valor da função objetivo melhoraria se houvesse uma unidade adicional de um recurso escasso. Em termos práticos, ele informa o valor marginal de um recurso, orientando decisões sobre investimentos para expandir capacidades.

A robustez da PL é corroborada por sua vasta aplicação em diferentes setores para resolver problemas complexos de alocação de recursos. A literatura acadêmica e prática apresenta inúmeros casos de sucesso. No setor de defesa a realidade não é diferente.

Uma aplicação contemporânea no setor de defesa é na otimização da cadeia de suprimentos e logística. Modelos de otimização são desenvolvidos para planejar a distribuição de equipamentos, munições e suprimentos para bases e teatros de operações, minimizando custos de transporte e tempo de entrega, ao mesmo tempo

em que maximiza os níveis de prontidão. Por exemplo, Zhang, Lee e Chen (2021) propuseram um modelo de programação para otimizar o inventário e a rede de transporte em múltiplos escalões da cadeia logística militar, considerando a incerteza na demanda. (Zhang, et. al., 2021).

Fedorovich (2023) utiliza programação linear para otimizar o armazenamento de reservas de guerra no setor de defesa, abordando a alocação de recursos para operações militares. O modelo prioriza os tipos de material de guerra, determina o tamanho das reservas e estrutura as cadeias de suprimentos logísticas, considerando as capacidades dos fornecedores e as ameaças militares. Ao empregar otimização de números inteiros e avaliações de especialistas, o estudo aloca recursos de forma eficaz para aprimorar as capacidades de combate, garantindo uma logística eficiente e operações bem-sucedidas em áreas de conflito armado. (Fedorovich, 2023).

Bentes e Santos (2019) propuseram um modelo de alocação ótima de recursos financeiros, de forma a maximizar o nível de serviço, ou seja, elevar a disponibilidade do item no estoque, sob restrição orçamentária. A metodologia foi aplicada a um caso de estudo real da Marinha do Brasil e os resultados demonstram que é possível aumentar significativamente a satisfação dos clientes com os recursos disponíveis, uma vez que a solução do modelo elevou em 50% o nível de serviço, passando dos atuais 24% para 74%. Além disso, a partir de uma modelagem complementar, o estudo apresentou um incremento médio de 8% no orçamento, que poderá gerar melhorias contínuas no nível de serviço. (Bentes e Santos, 2019).

Aplicações de PL também são identificadas na alocação e designação de pessoal. Um estudo de Costa e Lima (2019) ilustra o uso de um modelo de Programação Inteira Mista (PIM), uma variante da PL, para a alocação de equipes de forças especiais considerando um conjunto complexo de habilidades individuais e requisitos de missão para formar times com máxima sinergia e probabilidade de sucesso. O modelo maximiza a adequação das competências às necessidades operacionais, respeitando restrições de disponibilidade, hierarquia e regulamentos (Costa; Lima, 2019).

O estudo de Fernandes e Silva (2020) discute técnicas de gerenciamento e otimização de portfólio de projetos, aplicando análise multicritério e programação linear em um estudo de caso. Na abordagem foi utilizado o método de comparação estruturada de pares para a priorização (em inglês, *Structured Pair-Wise Comparison (SPC)*), também conhecido como *Analytic Hierarchy Process – AHP* simplificado,

colaborando com a priorização de projetos e alocação de recursos do Sistema de Obras do Exército Brasileiro executado pela Diretoria de Obras Militares (Fernandes; Silva, 2019).

Schmidt e Baumann (2018) constatarem o uso de PL no planejamento de investimentos e aquisições, ajudando a selecionar um portfólio de novos sistemas de armas ou tecnologias que ofereça o maior incremento de capacidade estratégica, dentro de um orçamento de defesa restrito (Schmidt; Baumann, 2018).

Kuhn, Calbert, Garanovich e Weir (2023) apresentam uma aplicação da Programação Linear Inteira (ILP) no contexto do problema de portfólio de investimentos do Departamento de Defesa da Austrália, definido como um problema de mochila *Set-Union* (SUKP). Essa abordagem auxilia na alocação de recursos, otimizando as decisões de investimento para capacidades de defesa, que são bens públicos sem retornos financeiros diretos. O modelo, implementado no pacote *Python PuLP* e utilizando o solucionador Gurobi, permite a execução rápida de soluções exatas para um design de portfólio eficaz nas atividades das forças de defesa. (Kuhn, et. al., 2023).

A literatura revisada demonstra que a PL não é apenas uma ferramenta teórica, mas um método quantitativo consolidado, testado e validado para a otimização da alocação de recursos escassos. Sua aplicabilidade é multidisciplinar e, em comum, busca soluções ótimas e *insights* valiosos para a tomada de decisão.

Contudo, apesar do amplo espectro de utilização, observa-se um espaço na literatura no que tange à aplicação de modelos de PL para o problema de alocação de recursos orçamentários no EB. Essa realidade é ainda mais restrita, se considerada a vertente de manutenção da capacidade operativa, que lida com os processos voltados para sustentabilidade da estrutura de força.

Diante do exposto, a dissertação propõe-se a preencher tal lacuna, ao desenvolver e aplicar um modelo de PL customizado para a otimização da alocação orçamentária no contexto da manutenção da capacidade operativa do EB. O objetivo não foi apenas encontrar uma alocação de recursos matematicamente ótima, mas também gerar análises que possam subsidiar uma tomada de decisão mais estratégica, transparente e baseada em dados.

3 PROPOSTA DE MODELO DE OTIMIZAÇÃO PARA ALOCAÇÃO DE RECURSOS ORÇAMENTÁRIOS PARA A MANUTENÇÃO DA CAPACIDADE OPERATIVA DO EB.

A tomada de decisão quanto à alocação de recursos orçamentários no EB, com ênfase na manutenção da capacidade operativa, é uma atividade estratégica de alta complexidade. A revisão do SIPLEx constatou que a elaboração do orçamento, especialmente durante a Fase 6, carece de um método quantitativo, com base científica, para subsidiar o processo decisório. Atualmente, o processo é predominantemente empírico, baseado em séries históricas e na experiência dos decisores, o que pode gerar resultados não alinhados às prioridades estratégicas definidas no PEEEx.

Uma lacuna crítica identificada é a fraca correlação formal entre a alocação de recursos e o desempenho dos processos beneficiados, apesar da existência de indicadores de gestão. Diante disso, o presente estudo propõe um modelo de otimização para maximizar uma "Meta Global de Desempenho", correlacionando de forma explícita as dimensões de orçamento e resultado. Esta abordagem se alinha aos princípios do OBR, um método moderno que busca elevar a eficiência em cenários de imprevisibilidade orçamentária, como o do Setor de Defesa.

Os dados para este estudo foram obtidos do SIOPLEEx durante a elaboração da POAEx para o ano de 2026. O ODG disponibilizou limites orçamentários em três cenários — mínimo, desejável e ideal — para os ODS, que, por sua vez, projetaram os resultados de desempenho correspondentes. A análise desses cenários revelou uma premissa fundamental: a existência de rendimentos marginais decrescentes, onde o ganho de desempenho por unidade de recurso adicional diminui à medida que o investimento (alocação orçamentária) aumenta, culminando em um ponto de saturação que representa a capacidade máxima do processo.

Para capturar essa dinâmica econômica e atender às recomendações metodológicas, esta Seção propõe um modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) que utiliza a técnica de aproximação por segmentos lineares (*piecewise linear approximation*).

Esta metodologia, consolidada na literatura de programação matemática (Williams, 2013), permite modelar a função separável côncava de retorno de cada

processo dentro do *framework* da PL, preservando a tratabilidade computacional e a garantia de otimalidade global (Hillier; Lieberman, 2006).

A metodologia introduz variáveis incrementais que representam a fração de investimento (alocação orçamentária) em diferentes segmentos da função de retorno (resultado), permitindo que o modelo determine pontos de saturação endógenos para cada processo.

Em outras palavras, o próprio modelo identifica o nível ótimo de alocação orçamentária, em vez de se restringir aos pontos pré-definidos dos cenários. O modelo respeita ainda as premissas operacionais do problema, como a garantia de que todos os processos recebam pelo menos o valor mínimo necessário para sua operacionalidade e a limitação do orçamento total disponível.

O resultado é uma solução quantitativa e defensável que não apenas garante a operacionalidade de todos os processos, mas também distribui o orçamento de forma a maximizar o retorno global, respeitando a eficiência marginal de cada unidade de recurso.

A implementação é realizada no suplemento Solver do Microsoft Excel, uma ferramenta amplamente acessível, que permite a resolução de problemas de PLIM por meio de algoritmo *Branch and Bound*.

Esta Seção está estruturada da seguinte forma: a Seção 3.1 apresenta a fundamentação teórica da programação linear com funções lineares por partes. A Seção 3.2 detalha a formulação matemática do modelo proposto. A Seção 3.3 descreve a implementação computacional no Microsoft Excel. Por fim, a análise e discussão dos resultados está apresentada na Seção 5 da presente dissertação, demonstrando a aplicabilidade do modelo no contexto do planejamento orçamentário do Exército Brasileiro, agregando informações exploradas em outras seções da dissertação.

3.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A modelagem de problemas de alocação de recursos sob restrições é um campo clássico da Programação Matemática. A PL, em particular, oferece um arcabouço robusto para encontrar a solução ótima em problemas em que a função objetivo e as restrições são funções lineares das variáveis de decisão (Hillier; Lieberman, 2006).

De forma geral, um modelo de PL pode ser formulado matematicamente como:

$$\text{Maximizar (ou Minimizar) } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (1)$$

Sujeito a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

⋮

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

Onde Z representa a função objetivo a ser otimizada, x_j ($j = 1, 2, \dots, n$) são as variáveis de decisão, c_j são os coeficientes da função objetivo, a_{ij} são os coeficientes tecnológicos das restrições, e b_i ($i = 1, 2, \dots, m$) representam os recursos disponíveis ou limites das restrições (Taha, 2017).

Contudo, a premissa de linearidade estrita nem sempre captura a complexidade dos fenômenos do mundo real. Em muitos sistemas econômicos e operacionais, a relação entre o investimento de um recurso e o retorno obtido exibe um comportamento não linear, caracterizado por **rendimentos marginais decrescentes**, como o identificado no presente Estudo de Caso.

Neste cenário, a contribuição de cada unidade adicional de recurso para o objetivo diminui à medida que o nível de investimento aumenta. Uma função que descreve tal comportamento é classificada como **côncava**. Assim, a modelagem direta de funções côncavas requereria o uso de técnicas de Programação Não Linear (PNL), cujos algoritmos podem não garantir a obtenção de uma solução ótima global e apresentam maior complexidade computacional (Boyd; Vandenberghe, 2009).

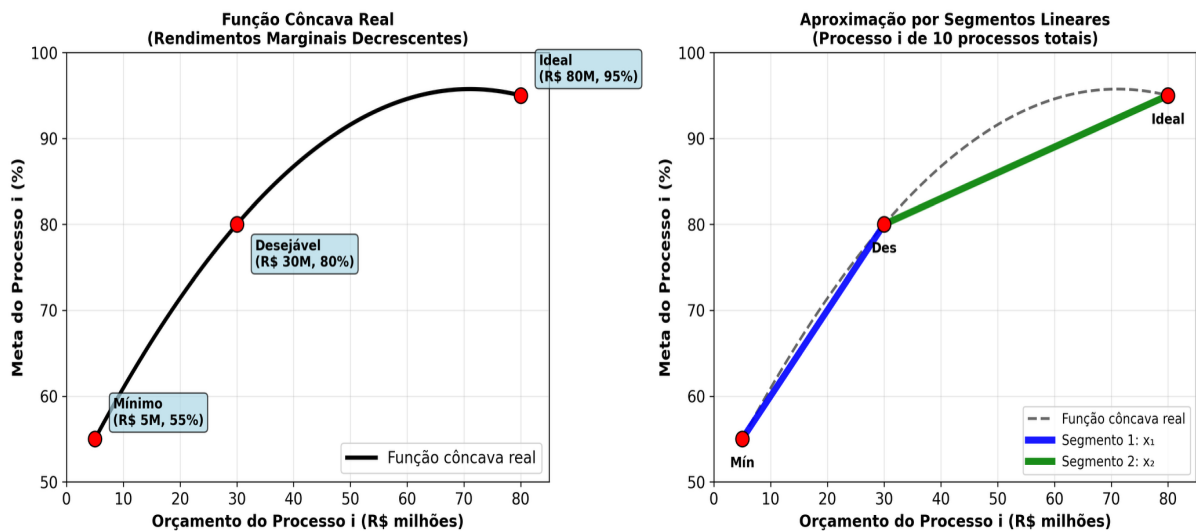
Para contornar essa dificuldade, a literatura de programação matemática consolidou a técnica de **aproximação por segmentos lineares** (“*piecewise linear approximation*”). Essa abordagem permite modelar funções côncavas (ou convexas) dentro do *framework* da PL, combinando a flexibilidade de representar a não

linearidade com a eficiência e a garantia de otimalidade global dos algoritmos de PL (Williams, 2013).

3.1.1 Aproximação por Segmentos Lineares

O método consiste em aproximar a função não linear contínua por um conjunto de segmentos de reta conectados. No contexto deste estudo, a função de retorno de cada processo i é definida por pontos discretos (O_k, M_k) , onde O_k é o orçamento e M_k é a meta do cenário k (Mínimo, Desejável, Ideal). A função de retorno entre esses pontos é aproximada por segmentos de reta, como ilustrado na FIGURA 4.

Figura 4 - Modelagem de um Processo individual (i)



Fonte: elaborado pelo autor.

O gráfico da esquerda mostra a função côncava real com rendimentos marginais decrescentes. O gráfico da direita demonstra como os segmentos lineares aproximam essa função, conectando os pontos dos cenários conhecidos.

Para implementar essa aproximação em um modelo de PL, o investimento total em um processo é decomposto em **variáveis incrementais**, cada uma correspondendo a um segmento de reta. Suponha que um segmento j seja definido entre os pontos (O_j, M_j) e (O_{j+1}, M_{j+1}) . O orçamento adicional para percorrer este segmento é $\Delta O_j = O_{j+1} - O_j$, e o ganho de meta adicional é $\Delta M_j = M_{j+1} - M_j$. Uma variável de decisão contínua X_j , com $0 \leq X_j \leq 1$, é introduzida para representar a fração do segmento j que é "ativada".

A característica de rendimentos marginais decrescentes (concavidade) é crucial, pois garante que o retorno por unidade de orçamento do primeiro segmento seja maior ou igual ao do segundo ($\Delta M_1 / \Delta O_1 \geq \Delta M_2 / \Delta O_2$), e assim por diante. Essa propriedade assegura que, em um problema de maximização, o otimizador sempre preencherá os segmentos na ordem correta, do mais eficiente para o menos eficiente (Taha, 2017).

No entanto, para garantir a robustez formal do modelo, especialmente quando a concavidade não é estrita, a introdução de **variáveis binárias auxiliares** para forçar a ordem sequencial dos segmentos é uma prática recomendada e adotada neste trabalho (Williams, 2013). Essas variáveis garantem que não seja possível "pular" segmentos, ou seja, que o segmento $j + 1$ só possa ser ativado se o segmento j estiver completamente preenchido.

3.1.2 Formulação como Programação Linear Inteira Mista

Ao final, o problema é formulado como um modelo de Programação Linear Inteira Mista (PLIM), que contém tanto variáveis contínuas (frações dos segmentos) quanto binárias (controle de precedência).

Tais modelos podem ser resolvidos eficientemente pelo algoritmo *Branch and Bound* (Ramificação e Avaliação Progressiva), reconhecido como o método mais bem-sucedido para a resolução de problemas desta natureza (Williams, 2013).

O algoritmo *Branch and Bound*, desenvolvido originalmente em 1960 por A. Land e G. Doig, opera através de uma subdivisão sistemática do espaço de soluções que eventualmente localiza o ótimo da programação inteira (Taha, 2017). O conceito central baseia-se no fato de que qualquer problema de programação inteira limitado possui um número finito de soluções viáveis. Contudo, esse número pode ser extremamente grande, tornando impraticável uma enumeração completa. O algoritmo resolve essa limitação através de um procedimento de enumeração inteligentemente estruturado, onde apenas uma parcela minúscula das soluções viáveis precisa ser efetivamente examinada (Hillier; Lieberman, 2006).

3.1.3 Implementação Computacional

O algoritmo está integrado na maioria dos solvers comerciais e de código aberto, incluindo o suplemento Solver do Microsoft Excel, permitindo encontrar a

solução ótima global para problemas com características não lineares utilizando uma ferramenta amplamente acessível (Williams, 2013). Esta característica é particularmente relevante para o contexto do Exército Brasileiro, onde a disponibilidade de ferramentas especializadas de otimização pode ser limitada, mas o Microsoft Excel é amplamente utilizado.

A técnica de aproximação por segmentos lineares, portanto, oferece uma solução elegante que combina a sofisticação matemática necessária para capturar rendimentos marginais decrescentes com a praticidade de implementação em ferramentas computacionais acessíveis.

Esta abordagem permite que o modelo proposto seja não apenas teoricamente sólido, mas também praticamente viável para implementação no processo de planejamento orçamentário do EB. A flexibilidade da técnica permite diferentes formas de apresentação dos resultados, mantendo a consistência matemática da otimização.

3.2 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO MODELO

Com base na fundamentação teórica apresentada, esta seção desenvolve a formulação matemática completa do modelo de otimização para alocação de recursos orçamentários na manutenção da capacidade operativa do Exército Brasileiro. O modelo proposto integra as técnicas de aproximação por segmentos lineares em um framework de Programação Linear Mista, permitindo capturar o comportamento de rendimentos marginais decrescentes observado nos processos organizacionais.

3.2.1 Definição das Variáveis de Decisão

O modelo considera 10 processos distintos ($i = 1, 2, \dots, 10$) que compõem o sistema de manutenção da capacidade operativa do EB. Para cada processo i , são definidos três cenários de **alocação orçamentária**: Mínimo, Desejável e Ideal, caracterizados pelos pares (O_{ik}, M_{ik}) , onde O_{ik} representa o orçamento necessário e M_{ik} a meta projetada para o cenário k do processo i .

As variáveis de decisão do modelo são definidas como:

- x_{i1} : fração do primeiro segmento do processo i (Mínimo \rightarrow Desejável), onde $0 \leq x_{i1} \leq 1$
- x_{i2} : fração do segundo segmento do processo i (Desejável \rightarrow Ideal), onde $0 \leq x_{i2} \leq 1$
- y_{i1} : variável binária que indica se o primeiro segmento do processo i está ativo ($y_{i1} \in \{0,1\}$)
- y_{i2} : variável binária que indica se o segundo segmento do processo i está ativo ($y_{i2} \in \{0,1\}$)

3.2.2 Parâmetros do Modelo

Os parâmetros de entrada são derivados dos cenários pré-definidos para cada processo:

- O_{i1}, O_{i2}, O_{i3} : orçamentos dos cenários Mínimo, Desejável e Ideal do processo i
- M_{i1}, M_{i2}, M_{i3} : metas dos cenários Mínimo, Desejável e Ideal do processo i
- $\Delta O_{i1} = O_{i2} - O_{i1}$: orçamento adicional do primeiro segmento do processo i
- $\Delta O_{i2} = O_{i3} - O_{i2}$: orçamento adicional do segundo segmento do processo i
- $\Delta M_{i1} = M_{i2} - M_{i1}$: ganho de meta do primeiro segmento do processo i
- $\Delta M_{i2} = M_{i3} - M_{i2}$: ganho de meta do segundo segmento do processo i
- B : orçamento total disponível para alocação

3.2.3 Função Objetivo

O modelo busca maximizar a Meta Global de Desempenho, definida como a soma ponderada das contribuições de todos os processos. A função objetivo é formulada como:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{i=1}^{10} [M_{i1} + x_{i1} \times \Delta M_{i1} + x_{i2} \times \Delta M_{i2}]$$

Esta formulação garante que:

- Cada processo contribui com pelo menos sua meta mínima (M_{i1});
- O ganho adicional é proporcional às frações dos segmentos ativados; e
- A função captura o comportamento de rendimentos marginais decrescentes.

3.2.4 Restrições do Modelo

3.2.4.1 Restrição Orçamentária

O orçamento total alocado não pode exceder o limite disponível:

$$\sum_{i=1}^{10} [O_{i1} + x_{i1} \times \Delta O_{i1} + x_{i2} \times \Delta O_{i2}] \leq B$$

3.2.4.2 Restrições de Precedência dos Segmentos

Para garantir que os segmentos sejam preenchidos na ordem correta (do mais eficiente para o menos eficiente), são impostas as seguintes restrições:

Para cada processo i ($i = 1, 2, \dots, 10$):

- $x_{i2} \leq x_{i1}$ (o segundo segmento só pode ser ativado se o primeiro estiver completo)
- $x_{i1} \leq y_{i1}$ (o primeiro segmento só pode ter valor positivo se estiver ativo)
- $x_{i2} \leq y_{i2}$ (o segundo segmento só pode ter valor positivo se estiver ativo)
- $y_{i2} \leq y_{i1}$ (o segundo segmento só pode estar ativo se o primeiro estiver ativo)

3.2.4.3 Restrições de Domínio

As variáveis devem respeitar seus domínios naturais:

Para cada processo i ($i = 1, 2, \dots, 10$):

- $0 \leq x_{i1} \leq 1$
- $0 \leq x_{i2} \leq 1$
- $y_{i1} \in \{0, 1\}$
- $y_{i2} \in \{0, 1\}$

3.2.5 Síntese do Modelo Matemático Completo

O modelo de Programação Linear Mista completo é formulado como:

$$\text{Maximizar } Z = \sum_{i=1}^{10} [M_{i1} + x_{i1} \times \Delta M_{i1} + x_{i2} \times \Delta M_{i2}]$$

Sujeito a:

- Restrição orçamentária: $\sum_{i=1}^{10} [O_{i1} + x_{i1} \times \Delta O_{i1} + x_{i2} \times \Delta O_{i2}] \leq B$
- Restrições de precedência (para $i = 1, 2, \dots, 10$):
 - $x_{i2} \leq x_{i1}$

- $x_{i1} \leq y_{i1}$
- $x_{i2} \leq y_{i2}$
- $y_{i2} \leq y_{i1}$
- Restrições de domínio (para $i = 1, 2, \dots, 10$):
 - $0 \leq x_{i1} \leq 1$
 - $0 \leq x_{i2} \leq 1$
 - $y_{i1} \in \{0, 1\}$
 - $y_{i2} \in \{0, 1\}$

3.2.6 Interpretação da Solução

A solução ótima do modelo fornece:

- Orçamento alocado ao processo i : $O_{i1} + x_{i1}^* \times \Delta O_{i1} + x_{i2}^* \times \Delta O_{i2}$
- Meta esperada do processo i : $M_{i1} + x_{i1}^* \times \Delta M_{i1} + x_{i2}^* \times \Delta M_{i2}$
- Meta Global de Desempenho: $Z^* = \sum_{i=1}^{10} [M_{i1} + x_{i1}^* \times \Delta M_{i1} + x_{i2}^* \times \Delta M_{i2}]$

Onde x_{i1}^* , x_{i2}^* representam os valores ótimos das variáveis de decisão.

Esta formulação permite que o modelo determine automaticamente a alocação ótima de recursos, respeitando as características de rendimentos marginais decrescentes e garantindo que todos os processos recebam pelo menos o investimento mínimo necessário para sua operação.

3.2.6.1 Pós-Processamento para Interpretação

Para facilitar a interpretação e comunicação dos resultados no contexto organizacional, a Meta Global de Desempenho pode ser apresentada como uma média dos 10 processos:

$$\text{Média Global de Desempenho} = Z/10^*$$

Esta transformação não altera a solução ótima encontrada pelo modelo, apenas converte o resultado para uma escala mais intuitiva. A média fornece um indicador normalizado que varia entre 0 e 1 (ou 0% e 100%), facilitando a compreensão pelos tomadores de decisão e permitindo comparações diretas entre diferentes cenários orçamentários.

Por exemplo, uma Média Global de 0,617 (61,7%) indica que o sistema está operando com aproximadamente 62% de sua capacidade máxima teórica, considerando as restrições orçamentárias existentes.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Esta seção apresenta a implementação prática do modelo de otimização formulado na seção anterior, utilizando o suplemento Solver do Microsoft Excel. A escolha desta ferramenta justifica-se pela sua ampla disponibilidade no ambiente organizacional do Exército Brasileiro e pela capacidade de resolver problemas de Programação Linear Mista de médio porte (WILLIAMS, 2013).

3.3.1 Estrutura da Planilha

A implementação no Excel é organizada em cinco blocos principais, conforme apresentado no QUADRO 1:

Quadro 1 - Estrutura da planilha de implementação

Bloco	Intervalo	Descrição	Conteúdo
Parâmetros	B3:P14	Dados de entrada	Cenários, orçamentos, metas e deltas
Variáveis de Decisão	Q3:T13	Variáveis do modelo	x_1, x_2 (contínuas) e y_1, y_2 (binárias)
Cálculos Intermediários	V3:W13	Fórmulas auxiliares	Orçamentos e metas por processo
Função Objetivo	V14:W14	Meta global	Soma e média das contribuições
Restrições	Solver	Limitações do modelo	Orçamentária, precedência e domínio

Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.2 Configuração dos Parâmetros de Entrada

3.3.2.1 Cenários dos Processos

Os dados dos cenários são inseridos nas colunas G a L (linhas 3 a 12), organizados conforme QUADRO 2:

Quadro 2 - Organização dos parâmetros por processo.

Coluna	Descrição	Exemplo (Processo 1)
G	Valor Mínimo (R\$)	9.251.253
H	Meta Mínima	0,66
I	Valor Desejável (R\$)	18.351.562
J	Meta Desejada	0,77
K	Valor Ideal (R\$)	23.816.975
L	Meta Ideal	0,92

Fonte: elaborado pelo autor.

3.3.2.2 Cálculo dos Deltas (Δ)

Os deltas são calculados automaticamente através das fórmulas:

- ΔV_1 (Coluna M): = I3-G3 (Valor Desejável - Valor Mínimo)
- ΔM_1 (Coluna N): = J3-H3 (Meta Desejada - Meta Mínima)
- ΔV_2 (Coluna O): = K3-I3 (Valor Ideal - Valor Desejável)
- ΔM_2 (Coluna P): = L3-J3 (Meta Ideal - Meta Desejada)

3.3.2.3 Orçamento Total Disponível

O orçamento total disponível é inserido na célula D1: 200.000.000,00 (R\$ 200 milhões)

3.3.3 Definição das Variáveis de Decisão

3.3.3.1 Variáveis Contínuas de Interpolação

As variáveis de interpolação são definidas nas colunas Q e R (linhas 3 a 12):

- Coluna Q (x_1): Fração do primeiro segmento (Mínimo \rightarrow Desejável), $0 \leq x_1 \leq 1$
- Coluna R (x_2): Fração do segundo segmento (Desejável \rightarrow Ideal), $0 \leq x_2 \leq 1$

3.3.3.2 Variáveis Binárias de Controle

As variáveis de controle são definidas nas colunas S e T (linhas 3 a 12):

- Coluna S (y_1): Indicador de ativação do primeiro segmento, $y_1 \in \{0,1\}$
- Coluna T (y_2): Indicador de ativação do segundo segmento, $y_2 \in \{0,1\}$

3.3.4 Implementação dos Cálculos Intermediários

3.3.4.1 Orçamento Alocado por Processo

Na coluna V, o orçamento alocado a cada processo i é calculado pela fórmula de interpolação linear:

$$\text{Célula V4: } =G4+Q4*M4+R4*O4$$

$$\text{Interpretação: Valor_Mínimo} + x_1 \times \Delta V_1 + x_2 \times \Delta V_2$$

3.3.4.2 Meta Esperada por Processo

Na coluna W, a meta esperada de cada processo i é calculada pela fórmula:

$$\text{Célula W4: } =H4+Q4*N4+R4*P4$$

$$\text{Interpretação: Meta_Mínima} + x_1 \times \Delta M_1 + x_2 \times \Delta M_2$$

3.3.4.3 Totalizadores

- Orçamento Total Utilizado (V14): $=SOMA(V4:V13)$
- Soma das Metas (W14): $=SOMA(W3:W12)$

3.3.5 Configuração da Função Objetivo e Pós-Processamento

3.3.5.1 Função Objetivo para Otimização

A função objetivo utilizada pelo Solver é implementada na célula W14:

$$\text{Célula W14: } =SOMA(W3:W12)$$

$$\text{Interpretação: } Z = \sum_{i=1}^{10} [M_{i1} + x_{i1} \times \Delta M_{i1} + x_{i2} \times \Delta M_{i2}]$$

Esta célula é configurada como célula objetivo no Solver com direção Maximizar.

3.3.5.2 Pós-Processamento: Média Global de Desempenho

Embora a formulação matemática do modelo utilize a soma das contribuições individuais como função objetivo, para fins de interpretação e comunicação dos resultados, implementa-se um pós-processamento que converte essa soma em uma Média Global de Desempenho.

Justificativa Metodológica:

Durante a otimização, o Solver maximiza a função:

$$Z = \sum_{i=1}^{10} [M_{i1} + x_{i1} \times \Delta M_{i1} + x_{i2} \times \Delta M_{i2}]$$

Após a otimização, calcula-se a Média Global através do pós-processamento:

Célula W14: =W14/10

$$\text{Média Global} = Z/10 = (1/10) \times \sum_{i=1}^{10} [M_{i1} + x_{i1} \times \Delta M_{i1} + x_{i2} \times \Delta M_{i2}]$$

Vantagens da Abordagem com Média:

- a) Interpretabilidade Intuitiva: A média fornece um índice normalizado entre 0 e 1 que representa o desempenho global do sistema.
- b) Comparabilidade entre Cenários: Facilita a comparação de diferentes cenários orçamentários (ex: 61,7% vs. 85,8%).
- c) Comunicação Eficaz: Um valor como "61,7% de desempenho global" é mais comunicativo que "6,17 unidades de desempenho".
- d) Alinhamento com Indicadores: escala dos indicadores individuais de cada processo.

Validação Matemática:

A equivalência entre as abordagens é garantida pela propriedade matemática:

$$\arg \max(\sum_{i=1}^{10} f_i(x_i)) = \arg \max((1/10) \times \sum_{i=1}^{10} f_i(x_i))$$

A solução ótima é idêntica independentemente de usar soma ou média, pois a divisão por uma constante positiva não altera o ponto de máximo.

3.3.6 Implementação das Restrições no Solver

3.3.6.1 Restrição Orçamentária

A restrição de orçamento limita o total utilizado ao disponível:

Configuração no Solver: \$V\$14 <= \$D\$1

3.3.6.2 Restrições de Precedência dos Segmentos

Para garantir a ordem sequencial de preenchimento dos segmentos, são implementadas quatro restrições por processo:

- a) $x_2 \leq x_1$: \$R\$4:\$R\$13 <= \$Q\$4:\$Q\$13
- b) $x_1 \leq y_1$: \$Q\$4:\$Q\$13 <= \$S\$4:\$S\$13
- c) $x_2 \leq y_2$: \$R\$4:\$R\$13 <= \$T\$4:\$T\$13
- d) $y_2 \leq y_1$: \$T\$4:\$T\$13 <= \$S\$4:\$S\$13

3.3.6.3 Restrições de Domínio

As restrições de domínio são configuradas diretamente no Solver:

- Variáveis contínuas: $Q4:R13 \geq 0$ e $Q4:R13 \leq 1$
- Variáveis binárias: $S4:T13 = \text{binary}$

3.3.7 Configuração completa do Solver

3.3.7.1 Parâmetros Principais

- Célula Objetivo: $W14$ (Maximizar)
- Variáveis de Decisão: $Q4:T13$
- Método de Resolução: Simplex LP com *Branch and Bound*

3.3.7.2 Lista Completa de Restrições

- Orçamentária: $V14 \leq D1$
- Precedência $x_2 \leq x_1$: $R4:R13 \leq Q4:Q13$
- Precedência $x_1 \leq y_1$: $Q4:Q13 \leq S4:S13$
- Precedência $x_2 \leq y_2$: $R4:R13 \leq T4:T13$
- Precedência $y_2 \leq y_1$: $T4:T13 \leq S4:S13$
- Limites superiores: $Q4:R13 \leq 1$
- Variáveis binárias: $S4:T13 = \text{binary}$

3.3.8 Interpretação dos Resultados

3.3.8.1 Solução Ótima

Após a execução do Solver, os resultados são interpretados da seguinte forma:

- Q4:Q13 e R4:R13: Valores ótimos das frações dos segmentos (x_1, x_2)
- S4:S13 e T4:T13: Valores ótimos dos indicadores de ativação (y_1, y_2)
- V14: Soma total das contribuições (função objetivo)
- W14: Média Global de Desempenho (indicador final)
- V4:V13: Orçamento ótimo alocado a cada processo
- W4:W13: Meta esperada de cada processo

3.3.8.2 Exemplo de Interpretação

Para um processo com solução $x_1 = 0,631$ e $x_2 = 0$:

- Orçamento: $\text{Valor_Mínimo} + 0,631 \times \Delta V_1 + 0 \times \Delta V_2$
- Meta: $\text{Meta_Mínima} + 0,631 \times \Delta M_1 + 0 \times \Delta M_2$
- Interpretação: O processo recebe 100% do investimento mínimo mais 63,1% do investimento adicional do primeiro segmento.

3.3.8.3 Validação da Solução

A solução deve ser validada verificando:

- a) Factibilidade: Todas as restrições respeitadas
- b) Otimalidade: Status "Solver encontrou uma solução"
- c) Precedência: $x_2 \leq x_1$ para todos os processos
- d) Interpolação: Presença de valores fracionários quando o orçamento é limitado
- e) Consistência: Orçamento total \leq orçamento disponível

Figura 5 - Parâmetros do modelo - Inserção no Solver (Excel)

Solver Parameters

Set Objective:

To: ☒ Max ☐ Min ☐ Value Of:

By Changing Variable Cells:

Subject to the Constraints:

-
-
-
-
-
-
-

☒ Make Unconstrained Variables Non-Negative

Select a Solving Method:

Solving Method
Select the GRG Nonlinear engine for Solver Problems that are smooth nonlinear. Select the LP Simplex engine for linear Solver Problems, and select the Evolutionary engine for Solver problems that are non-smooth.

Buttons: Add, Change, Delete, Reset All, Load/Save, Options, Close, Solve

Fonte: elaborado pelo autor com base na inserção de dados no Solver.

Figura 6 - Esboço do modelo proposto

ORÇAMENTO TOTAL DISPONÍVEL		MODELO DE OTIMIZAÇÃO - PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MISTA - INTERPOLAÇÃO POR PARTES																	SOLUÇÃO OTIMIZADA	
SIMULAÇÃO		ESTUDO DE CASO - ALOCAÇÃO ORÇAMENTÁRIA BASEADA EM RESULTADOS																	ALOCAÇÃO FINAL	RESULTADO FINAL
Nr Ord	Processo	Indicador de Desempenho	Und Med	Polaridade	Valor Mínimo (R\$)	Meta mínima	Valor Desejável (R\$)	Meta Desejada	Valor Ideal (R\$)	Meta Ideal	ΔV1 (R\$)	ΔM1 (%)	ΔV2 (R\$)	ΔM2 (%)	x1 (fração seg 1)	x2 (fração seg 2)	y1 (ativa seg 1)	y2 (ativa seg 2)		
1	Gerir Logística de Suprimento de Material Classe II – Eqpt Ind, Mat Estacionamento e Aljt	Índice de atendimento de demandas Sist Cdt Nec Log	%	POSITIVA	9.251.253,00	66%	18.351.561,90	77%	23.816.974,95	92%	9.100.308,90	11,00%	5.465.413,05	15,00%	0,184224118	0,184224118	1	1	11.934.610,28	71%
2	Gerir Logística de Suprimento de Material Classe III – Óleo Diesel	Índice de estoque de óleo diesel	Meses *	POSITIVA	40.501.873,80	33%	64.606.870,00	50%	130.169.549,00	100%	24.104.996,20	17,00%	65.562.679,00	50,00%	0	0	0	0	40.501.873,80	33%
3	Gerir Logística de Suprimento de Material Classe V - Munição Leve	Índice de estoque de munição leve	%	POSITIVA	26.390.636,10	50%	31.709.964,24	80%	92.031.286,00	95%	5.319.328,14	30,00%	60.321.321,76	15,00%	1	0	1	0	31.709.964,24	80%
4	Gerir Logística de Suprimento de Material Classe V - Pesada	Índice de estoque de munição pesada	%	POSITIVA	76.026.500,25	55%	85.629.847,65	78%	156.967.913,30	95%	9.603.347,40	23,00%	71.338.065,65	17,00%	1	0	1	0	85.629.847,65	78%
5	Gerir Logística de Suprimento de Material Classe V - Não Letal	Índice de estoque de munição não letal	%	POSITIVA	6.103.766,15	55%	6.296.516,66	78%	6.939.018,36	79%	192.750,51	23,00%	642.501,70	1,00%	1	0	1	0	6.296.516,66	78%
6	Gerir Logística de Suprimento de Material Classe V - Granadas e Explosivos	Índice de estoque de granadas e explosivos	%	POSITIVA	1.689.235,20	57%	1.801.850,88	65%	2.158.467,20	72%	112.615,68	8,00%	356.616,32	7,00%	1	1	1	1	2.158.467,20	72%
7	Gerir Manutenção Preventiva das Viaturas Operacionais Blindadas (sobre lagartas)	Índice de disponibilidade de Viatura Blindada sobre lagarta - Preventiva	%	POSITIVA	11.175.866,10	34%	15.250.984,92	48%	29.452.171,68	88%	4.075.118,82	14,00%	14.201.186,76	39,50%	1	1	1	1	29.452.171,68	88%
8	Gerir Manutenção Corretiva das Viaturas Operacionais Blindadas (sobre lagartas)	Índice de disponibilidade de Viatura Blindada sobre lagarta - Corretiva	%	POSITIVA	11.625.864,30	40%	16.089.424,56	52%	28.125.497,28	88%	4.463.560,26	12,00%	12.036.072,72	35,50%	1	1	1	1	28.125.497,28	88%
9	Gerir Manutenção Preventiva do Armamento Leve	Índice de disponibilidade de Armamento Leve	%	POSITIVA	2.244.952,80	30%	2.860.483,23	45%	5.419.840,40	75%	615.530,43	15,00%	2.559.357,17	30,00%	1	1	1	1	5.419.840,40	75%
10	Gerir Manutenção Corretiva do Armamento Leve	Índice de disponibilidade de Armamento Leve	%	POSITIVA	1.490.572,80	30%	1.893.454,15	40%	3.262.169,00	75%	402.881,35	10,00%	1.368.714,85	35,00%	1	1	1	1	3.262.169,00	75%
SOMATÓRIO (R\$) / Média Global (%)					186.500.520,50	45%	244.490.958,19	61%	478.342.887,17	86%									244.490.958,19	74%

* As metas foram convertidas para termos percentuais, na seguinte equivalência: 33% = 6 Meses ; 50% = 9 Meses ; 100% = 18 Meses

Fonte: elaborado pelo autor com base nos dados coletados do SIOPLEEx.

4 METODOLOGIA

A presente seção descreve os procedimentos metodológicos adotados para a realização desta pesquisa. Detalha-se a questão de estudo, o tipo de pesquisa, o delineamento do estudo, os instrumentos e procedimentos de coleta de dados, bem como as técnicas de análise utilizadas.

4.1 ABORDAGEM DA QUESTÃO DE ESTUDO

A questão de estudo do presente trabalho está debruçada sobre a investigação de como a otimização, por meio de um modelo baseado em programação linear, poderá contribuir para uma alocação de recursos mais eficiente no contexto do processo orçamentário do EB.

O protocolo *Context, Intervention, Mechanism, Outcomes (CIMO)* é uma abordagem utilizada em pesquisas, especialmente nas ciências sociais e na gestão, para estruturar a apresentação de intervenções e suas relações com resultados, facilitando a análise e o entendimento dos mecanismos envolvidos. (DENYER, et. al., 2008).

Ele oferece uma abordagem de pesquisa qualitativa para definir e analisar questões complexas de pesquisa, dividindo o problema de pesquisa em quatro componentes-chave, garantindo uma análise abrangente: o Contexto (C), a Intervenção (I), o Mecanismo (M) e o Resultado (R). Por essa potencialidade, o protocolo será utilizado para organização do presente estudo.

O contexto (*Context*) selecionado abrange o ambiente institucional e operacional do EB, destacando o orçamento e seu processo, definindo como cerne da investigação a vertente orçamentária voltada para a manutenção da capacidade operativa do EB (C),

A intervenção de estudo (*Intervention*) é identificada como o parâmetro que pode influenciar ou modificar os resultados atualmente obtidos. No presente estudo ela é identificada como a otimização, por meio de um modelo baseado em programação linear poderá contribuir para uma alocação mais eficiente dos recursos orçamentários (I).

Para Taha (2017), a otimização “fornece um conjunto de ferramentas quantitativas que podem ser usadas para analisar problemas econômicos e encontrar

soluções ótimas. Ela é particularmente útil em situações em que há restrições de recursos e múltiplos objetivos a serem considerados." (Taha, p. 2-5, 2017).

O mecanismo (*Mechanism*) é definido como o processo ou mecanismos subjacentes que impulsionam a mudança dentro do fenômeno. No caso, observa-se o uso de um procedimento computacional, a utilização da ferramenta Solver do Microsoft Excel®, que assegura a integração de dados quantitativos e qualitativos.

Por fim, o resultado (*Outcomes*) a ser demonstrado com os efeitos da intervenção foi definido como o aperfeiçoamento do processo orçamentário no EB (O).

Diante do exposto, chega-se a seguinte questão de estudo:

Como a otimização, por meio de um modelo baseado em programação linear poderá contribuir para uma alocação mais eficiente dos recursos orçamentários (I), por meio da utilização da ferramenta Solver do Microsoft Excel® (M), e contribuirá para o aperfeiçoamento do processo orçamentário (O) destinados à vertente de manutenção da capacidade operativa do Exército Brasileiro (C)?

Para confirmar a relevância da questão de estudo e identificar lacunas a serem preenchidas, foram realizadas buscas, com termos atribuídos ao protocolo CIMO, em distintas bases de dados científicos.

Os requisitos iniciais selecionados foram estudos desenvolvidos no período de 2015 a 2025; revisados por pares, idiomas inglês, espanhol e português. As bases de dados do “google acadêmico”; “scopus”, “semantic scholar”; “web of science”, “portal de periódicos da CAPES” foram exploradas a partir de termos e operadores, sendo realizado um afunilamento para se chegar as produções científicas correlacionadas com o objeto de estudo, chegando-se aos resultados apresentados no QUADRO 3:

Quadro 3 - Achados de produções científicas correlacionadas com o objeto de estudo

Componente CIMO	Termos de busca (exemplos)	Produções científicas achadas
Contexto	“Manutenção da capacidade operativa do EB” OR “operational expenditure” OR “OPEX”	1812
Intervenção	AND “programação linear” OR “Linear Program” “budget” OR “defen? e budget” AND “Optimization”	6
Mecanismo	AND “Solver Excel” OR “Excel Solver” OR “extension Solver”	-
Outcomes (Resultados)	AND Aperfeiçoamento do processo orçamentário OR “Budget Process” OR “Resources Allocation”	-

Fonte: elaborado pelo autor.

Desse modo, constata-se que há uma lacuna de pesquisas científicas relacionadas ao objeto de estudo, revelando o espaço existente para o presente estudo e o caráter inovador da pesquisa desenvolvida.

4.2 DELINEAMENTO METODOLÓGICO

O modelo da cebola de pesquisa é uma metáfora visual que ilustra as diferentes camadas que compõem o processo de pesquisa. Desenvolvido por Saunders, Lewis e Thornhill (2023), o modelo é amplamente utilizado para guiar pesquisadores na escolha e justificação de suas abordagens metodológicas e permite que os pesquisadores desnudem as complexidades envolvidas no delineamento de sua pesquisa, assegurando que cada camada seja cuidadosamente considerada em relação aos objetivos da pesquisa.

A filosofia de pesquisa é a camada mais externa do modelo e desempenha um papel crucial no direcionamento do estudo. Diante das principais filosofias de pesquisa existentes, por meio da ferramenta *Heighteninig your Awareness of your Research Philosophy (HARP)*, constante no Anexo A, identificou-se um resultado mais voltado para o pragmatismo²⁶.

A abordagem para o desenvolvimento teórico é a abdução, considerando que a investigação do método quantitativo proposto permite explorar dados coletados para identificar padrões e validar um modelo conceitual fundamentado, que pode ser testado de forma interativa e ajustado conforme o surgimento de distintas evidências e condicionantes.

A escolha metodológica é relacionada ao método de coletas de dados. No caso, o trabalho se utiliza do advérbio “como” na pergunta de pesquisa, o que indica um propósito exploratório. Busca-se desvendar a otimização e o processo de alocação de recursos a partir de uma análise da base teórica existente, correlacionando-o, assim, ao método qualitativo. Por outro lado, são promovidas ações no espectro quantitativo, visto que os resultados numéricos serão analisados para se chegar a uma conclusão. Além disso, está presente a modelagem matemática ao passo que é

²⁶ O pragmatismo considera que as ideias e conceitos devem ser avaliados com base na sua utilidade e aplicabilidade em contextos práticos. Essa filosofia originou-se nos Estados Unidos e foi desenvolvida por pensadores como Charles Pierce e William James, defendendo que os resultados práticos devem guiar as teorias. (Saunders; et.al., 2023, p. 153).

construído um modelo de otimização baseado em programação linear para uma proposta de solução de otimização, o que reforça mais ainda o caráter quantitativo da pesquisa. Assim, o trabalho se utiliza de métodos mistos, pois há evidente triangulação de dados apurados quali-quantitativamente.

Em prosseguimento, chega-se à seleção da estratégia de pesquisa. Para responder à pergunta de pesquisa e alcançar os objetivos propostos, adotou-se uma estratégia de pesquisa combinada entre estudo de caso e a pesquisa documental.

Avançando para o centro da cebola, o horizonte temporal do estudo passa a ser abordado. Tal ponto se refere ao período durante o qual os dados são coletados. No caso, a pesquisa ocorre num determinado momento, não sendo necessárias observações ao longo do tempo, o que a caracteriza como um estudo de corte transversal.

Em relação aos preceitos éticos e legais aplicáveis à execução de estudos acadêmicos na área de Defesa, observou-se os seguintes aspectos:

- Uso de dados secundários e acesso à informação: utilizados exclusivamente dados secundários provenientes de fontes institucionais oficiais e documentos públicos.

- Respeito à Integridade Institucional: todos os procedimentos metodológicos buscaram preservar a imagem, o interesse público e a integridade do EB, evitando interpretações ou divulgações que pudessem gerar distorções acerca de práticas internas ligadas a governança e gestão orçamentária.

- Anonimato e confidencialidade: quando houve consulta a especialistas ou utilização de depoimentos, assegurou-se confidencialidade das fontes, nos termos da ética acadêmica.

- Legislação e normas aplicáveis: a pesquisa observou dispositivos legais relevantes, como a Lei de Acesso à Informação (Lei nº 12.527/2011) e a Lei Geral de Proteção de Dados (Lei nº 13.709/2018).

4.3 COLETA, ANÁLISE E MODELAGEM DOS DADOS

A pesquisa envolveu um processo estruturado, que abrangeu seleção criteriosa do objeto de estudo, a extração e organização dos dados e a modelagem matemática para otimização da alocação orçamentária.

4.3.1 Definição da Amostra do Estudo de Caso

A definição do objeto de estudo partiu da seleção de uma amostra intencional e não-probabilística, composta por dez processos logísticos estratégicos do EB. A escolha dos processos foi guiada por dois critérios fundamentais.

Primeiramente, foram selecionados processos cujos recursos são classificados como despesas discricionárias, permitindo flexibilidade gerencial na alocação orçamentária e que integrassem a vertente da manutenção da capacidade operativa do EB, área focal do presente estudo.

Em segundo lugar, priorizou-se processos de alta relevância para a Logística Militar Terrestre (LMT), particularmente integrantes destacados das Funções Logísticas Suprimento e Manutenção, cuja performances impactam diretamente na capacidade operativa da Força Terrestre. Essa amostra, embora não generalizável estatisticamente, representa um recorte de processos críticos e de alto impacto, o que confere relevância e pertinência ao estudo de caso.

4.3.2 Coleta de Dados

Concentrou-se em três vertentes principais:

- **Pesquisa Bibliográfica:** consultados livros, artigos científicos, dissertações e teses nacionais e internacionais relacionados à pesquisa operacional, a economia de defesa e métodos de otimização aplicados à alocação orçamentária, com ênfase no setor de defesa. A busca abrangeu bases acadêmicas, periódicos revisados por pares, acervos digitais de universidades (nacionais e estrangeiras) e sites especializados em defesa, contemplando publicações de 2010 a 2025 (ou obras clássicas), preferencialmente revisadas por pares e de reconhecida qualificação científica, com ênfase para as correlacionadas a métodos de otimização no ambiente orçamentário do Setor de Defesa. Foram excluídas produções sem texto integral disponível ou sem abordagem metodológica compatível ao contexto do estudo.

- **Pesquisa Documental:** a análise recaiu sobre documentos normativos internos relacionados à governança e gestão orçamentária do Comando do Exército, bases de dados orçamentários-financeiros obtidos nos Sistemas Governamentais (SIOP e SIAFI) relacionadas a Unidade Orçamentária Comando do Exército e do

SIOPLEEx, possibilitando o resgate de séries históricas, a identificação de procedimentos operacionais padronizados na instituição e a parametrização do modelo matemático.

- **Observação Participante²⁷**: A observação participante foi incorporada ao processo, aproveitando a experiência direta do pesquisador no acompanhamento do ciclo orçamentário, permitindo identificar práticas institucionais relevantes, variáveis do contexto e validação dos dados obtidos.

4.3.3 Análise e Modelagem dos Dados

Os dados secundários provenientes do SIOPLEEx, referentes aos dez processos selecionados, foram organizados para alimentar a modelagem matemática e analisados sob quatro etapas principais:

a) Análise qualitativa dos dados de entrada: para garantir a acurácia dos dados de entrada, foi realizada uma análise qualitativa complementar. Os dados obtidos via SIOPLEEx foram validados por meio de triangulação com a documentação da gestão estratégica do Comando Logístico, o Órgão de Direção Setorial que governa os processos analisados. Essa etapa de verificação foi crucial para confirmar a pertinência e a exatidão das informações que alimentaram o modelo.

b) Adequação dos dados quantitativos: para garantir a confidencialidade dos dados orçamentários e das metas estratégicas utilizadas neste estudo, foi aplicado um método de anonimização por perturbação dos dados. Cada valor quantitativo coletado foi ajustado aleatoriamente dentro de uma margem de $\pm 15\%$. Este procedimento metodológico preserva a privacidade das informações originais, ao mesmo tempo que mantém a distribuição e a variabilidade estatística do conjunto de dados, assegurando assim a validade dos resultados do modelo matemático."

²⁷ O autor é Oficial de carreira do Serviço de Intendência EB e atualmente ocupa o posto de Major, com mais de 23 anos no serviço ativo. Desde 2022 desempenha a função de Adjunto da Seção de Gerenciamento da 6ª Subchefia do EME. Compete a 6ª SCh EME "planejar, orientar, coordenar e controlar, no nível de direção geral [governança], as atividades relativas ao orçamento do Exército", "elaborar a proposta orçamentária anual do Exército", entre outras (Brasil, 2022). Nesse contexto, o autor atua como um observador-participante do processo orçamentário estudado, sob a ótica do nível da governança orçamentária. Em experiências anteriores a 2022, desempenhou funções relacionadas a gestão orçamentária, particularmente ligadas a execução orçamentária, e na análise contábil no controle interno da gestão, em que desenvolveu atividades de análise e orientação contábil dentro do universo de Unidades Gestoras Vinculadas a 11ª Inspeção de Contabilidade e Finanças do Exército, atual 11º Centro de Gestão, Contabilidade e Finanças do Exército.

c) Modelagem matemática: A etapa de modelagem matemática foi fundamentada em uma revisão do referencial teórico sobre PL, a fim de estabelecer a estrutura e os parâmetros do modelo de otimização. Após uma fundamentação teórica, concluiu-se que o problema apresentava rendimentos marginais decrescentes e uma função côncava. Sendo assim, a modelagem proposta foi baseada em PLIM, utilizando-se da técnica de aproximação por segmentos lineares, sendo observadas variáveis contínuas (frações dos segmentos) quanto binárias (controle de precedência). Para a operacionalização do cálculo, visualizou-se o uso do algoritmo *Branch and Bound* e, ainda que considerados distintos Solver, como LINGO, LPSolve IDE, CPLEX e Gurobi, optou-se pela extensão Solver do Microsoft Excel, que possuía a capacidade de processamento necessária e se mostrava plenamente adequada aos objetivos deste estudo. Diante da sua adequação técnica e da familiaridade do autor com sua interface, e linguagem de programação (VBA), sua utilização garantiu eficiência e fidedignidade na execução da otimização.

d) Análise comparativa dos resultados: Para avaliar o impacto e a robustez do modelo, foi conduzida uma análise comparativa baseada em cenários. A partir dos três conjuntos de dados de referência (valores orçamentários e metas) extraídos do SIOPLEEx, foram projetados sete cenários distintos de restrição orçamentária. O modelo de otimização foi então executado para cada cenário. A análise dos resultados consistiu em comparar o desempenho do sistema antes da otimização com os resultados otimizados sob cada uma das sete condições simuladas. Este procedimento permitiu quantificar os ganhos e as trocas (trade-offs) decorrentes da realocação de recursos proposta pelo modelo.

4.3.3 Limitações do Estudo

Reconheceram-se limitações relevantes, entre as quais se destacam:

- **Capacidade do Solver:** registrou-se que existem limites inerentes à extensão quando aplicada a resolução de modelos excessivamente grandes ou complexos, porém não aplicáveis ao estudo.

- **Qualidade e abrangência das bases de dados:** a análise é condicionada à atualização, exatidão e abrangência dos dados coletados. Nesse contexto, em

determinados resultados, verificaram-se fragilidades nas informações coletadas relacionadas principalmente às metas projetadas, entretanto, o que pode impactar no resultado da meta global de desempenho.

- **Simplicidade da modelagem:** optou-se por formulações lineares simplificadas para maior aplicabilidade prática no ambiente institucional, o que pode não capturar toda a complexidade do processo.

- **Restrição amostral:** o uso da amostra não probabilística intencional, focada nos dez processos logísticos, limita a generalização dos achados para o universo de processos do EB, sendo necessária a análise quando ampliada a escala de uso do modelo.

- **Inadequabilidade na comparação de dados históricos de execução orçamentária:** uma vez que até o presente momento a orçamentação no EB ocorre de forma incremental e não relacionada aos resultados dos processos, próprio da Orçamentação Baseada em Resultados (OBR), a comparação com dados históricos foi descartada, utilizando-se apenas os dados inseridos na POAEx para 2026, que passou a seguir essa nova técnica de orçamentação.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção analisa e discute os resultados do estudo, com foco no modelo de programação linear proposto para otimizar a alocação de recursos orçamentários direcionados à manutenção da capacidade operativa do Exército Brasileiro.

Os resultados do modelo foram gerados a partir de simulações em diferentes cenários orçamentários para uma amostra não probabilística de 10 (dez) processos detalhados no Anexo B, estruturados com dados extraídos do SIOPLEEx, que foram inseridos na extensão Solver do Excel, como já descrito anteriormente.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS CENÁRIOS SIMULADOS

O modelo de otimização foi testado em sete cenários distintos (C1 a C7), cada um representando diferentes níveis de disponibilidade orçamentária, sendo referenciado por informações do SIOPLEEx que subsidiaram os dados de entrada no referido modelo.

Os cenários variaram dentro de uma progressividade de disponibilidade de recursos orçamentários. Destaca-se um cenário base (C1), definido como o valor ideal na base de dados considerada, e depois disso, inicia-se a progressão desde um caso de restrição severa (C2) até uma realidade com disponibilidade de recursos orçamentários além do que idealmente foi estimado (C7).

Essa abordagem permitiu avaliar o comportamento do modelo em diferentes condições orçamentárias, proporcionando análises abrangentes da eficiência alocativa nos variados contextos.

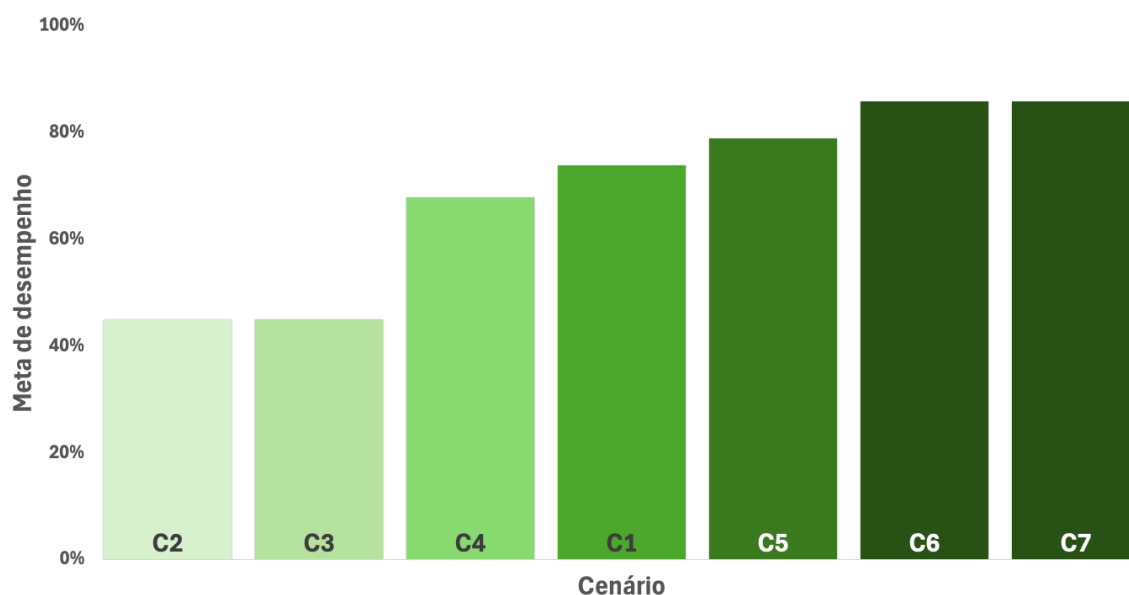
A TABELA 1 descreve resumidamente os parâmetros e os resultados obtidos em cada cenário simulado, que passam a ser discutidos sob diferentes óticas no decorrer desta seção do trabalho.

Tabela 1 - Resumo dos cenários simulados

C2²⁸	180.000.000,00	186.500.520,50	45%	Orçamento insuficiente para atender as metas mínimas.
C3	186.500.520,50	186.500.520,50	45%	Operação crítica, tudo no limite minimamente viável.
C4	220.000.000,00	220.000.000,00	68%	Alívio parcial, mas os processos permanecem pressionados.
C1 (Base)	244.490.958,19	244.490.958,19	74%	Bom desempenho, atingindo metas desejáveis.
C5	300.000.000,00	300.000.000,00	79%	Conforto crescente, avaliação de retornos (comparação entre desempenhos dos processos).
C6	478.342.887,17	478.342.887,17	86%	Pleno atendimento dos processos e o máximo de resultado possível (limite da capacidade).
C7	490.000.000,00	478.342.887,17	86%	Desempenho não aumenta, recursos adicionais geram ineficiência.

Fonte: elaborado pelo autor.

Gráfico 3 - Resultados de metas otimizadas por cenário.



Fonte: elaborado pelo autor.

A análise dos dados da TABELA 1 e do GRÁFICO 3 revelaram aspectos relevantes sobre o comportamento do modelo de otimização. Inicialmente, infere-se que há uma relação direta entre o volume de recursos orçamentários empregados e

²⁸ Para o Cenário C2, o Solver apresentou uma solução ineficaz. Os valores de "Orçamento Alocado" e "Meta Global Otimizada" apresentados na tabela (R\$ 186.500.520,50 e 42,00%) para C2 representam, na verdade, o mínimo necessário para alcançar o desempenho de 42%, indicando o ponto de inflexão da factibilidade. Para o propósito da análise comparativa, este valor serviu como um referencial do patamar mínimo de desempenho.

o alcance das metas otimizadas nos processos que integram a amostra, confirmando a percepção da correlação direta mencionada na Seção 2.2 do trabalho em que **maiores recursos disponíveis permitem atingir níveis superiores de capacidade operativa**. Esta relação foi evidenciada na progressão dos cenários C2 a C6, em que o volume de recursos acompanhou as metas de desempenho otimizadas alcançadas.

5.2 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ALOCATIVA

A eficiência alocativa do modelo foi analisada por distintas óticas. A TABELA 2 detalha os indicadores utilizados para avaliação do desempenho e comparação dos resultados obtidos em cada cenário simulado.

Tabela 2 - Utilização do orçamento e indicadores de eficiência alocativa.

Cenário	Orçamento utilizado (%)	Orçamento remanescente	% Meta ideal ²⁹	% Acima do mínimo ³⁰	Eficiência orçamentária ³¹	Custo por ponto da meta ³²
C2	104%	R\$ -6,5 M	52%	-	0,00000000241286	414.445.601,11
C3	100%	-	52%	-	0,00000000241286	414.445.601,11
C4	100%	-	79%	51%	0,00000000309091	323.529.411,76
C1 (Base)	100%	-	86%	64%	0,00000000302670	330.393.186,74
C5	100%	-	92%	76%	0,00000000263333	379.746.835,44
C6	100%	-	100%	91%	0,00000000179787	556.212.659,50
C7	98%	R\$ 11,7 M	100%	91%	0,00000000179787	556.212.659,50

Fonte: elaborado pelo autor.

Quanto a utilização do orçamento, foram observados comportamentos distintos entre os cenários, com particular destaque para as situações críticas identificadas nos cenários C2 e C3.

²⁹ Revela quão próximo o seu resultado chegou da meta ideal máxima em cada cenário. (Média de Desempenho Global/Meta Ideal Global)

³⁰ Mostra o quanto o desempenho superou o mínimo aceitável, especialmente importante para cenários restritivos. $[(\text{Meta Média} - \text{Meta Mínima}) \div (\text{Meta Mínima})]$

³¹ Indica quanto de meta foi atingido para cada unidade monetária investida, mostrando eficiência. (Meta/Valor Alocado). Nesse caso, a polaridade é “quanto maior, melhor”.

³² É o indicador inverso da Eficiência Orçamentária. Indica o volume de recursos orçamentários despendido por ponto percentual da meta (Valor Alocado/Meta). Nesse caso, a polaridade é “quanto menor, melhor”

O **cenário C2** representou uma condição de restrição orçamentária extrema, em que o limite disponível de **R\$ 180 milhões foi insuficiente para atender às demandas mínimas dos processos**, gerando um reajuste automático no modelo, que resultou num aporte adicional de valores na ordem de R\$ 6,5 milhões, até que se atingisse o valor mínimo (restrição do modelo) e a **necessidade de utilização de 104% do orçamento disponível**. Essa situação distinguiu o cenário C2 dos demais. Para a sua adequação perante os parâmetros do modelo, foi indicado automaticamente pela extensão Solver as condições semelhantes ao constante no cenário C3, que simulava o limite orçamentário mínimo para o funcionamento do modelo, de forma que a meta otimizada passou a atingir o nível apurado no cenário C3.

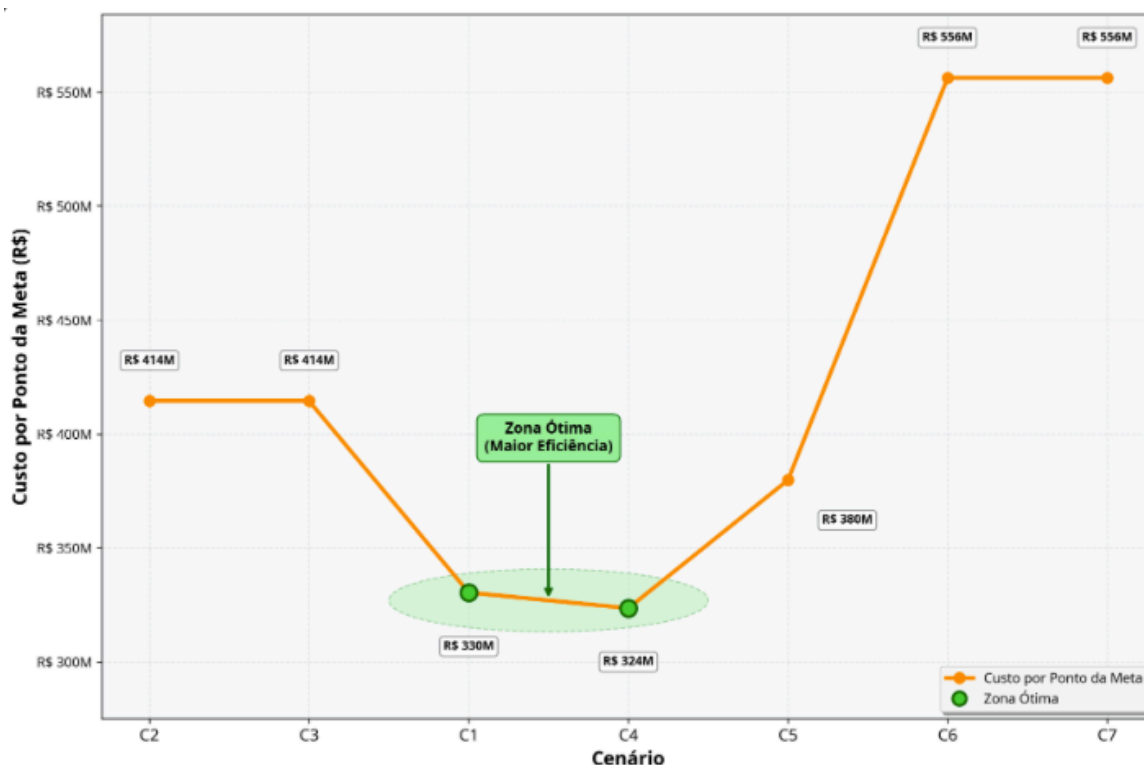
O **cenário C3**, por sua vez, representa o **ponto mínimo de viabilidade orçamentária**, onde o limite de R\$ 186,5 milhões permitiu, sem margens de manobra, a alocação necessária para manter a capacidade operativa em níveis básicos de funcionamento. Nessa circunstância, a meta otimizada de desempenho atingiu o nível de 45%, resultado bastante limitado decorrente da pouca disponibilidade orçamentária.

Já os **cenários C4, C1 e C5** se apresentaram de forma completamente distinta. Nessas situações, ocorreu a utilização integral dos recursos disponíveis (100%) e um atingimento de cerca de 85,6%, em termos médios, das metas otimizadas alcançadas em relação a meta ideal, revelando que **o modelo consegue alocar eficientemente todo o orçamento disponível e tem a capacidade de maximizar níveis de desempenho**.

No caso dos **cenários C6 e C7**, uma nova situação se configurou. O modelo atingiu 100% da meta ideal e alcançou uma meta de desempenho global de 86% em ambos os casos. No **cenário C7**, foi alocado somente 98% do orçamento disponível. Este comportamento sugere que, a partir de determinado ponto, o modelo entendeu que incrementos adicionais de valores orçamentários não resultam em melhorias proporcionais na meta de desempenho, deixando de ser alocado cerca de R\$ 11,7 milhões. Essa circunstância configura **a existência de um ponto de saturação na relação entre recursos orçamentários e a capacidade operativa**.

Em outros termos, alocar recursos acima desse nível não geraria ganhos de desempenhos aos processos, uma vez que os processos estão empregando suas capacidades máximas na geração de resultados. Este achado foi extremamente relevante para governança orçamentária, ao passo que **indica até quando (quanto) a alocação será eficiente e indica que alocações acima desse ponto gerariam ineficiências e, conseqüentemente, desperdício de recursos orçamentários.**

Gráfico 4 - Custo por Ponto da meta nos diferentes cenários simulados.



Fonte: elaborado pelo autor.

A fim de sintetizar a análise da eficiência alocativa, elaborou-se o GRÁFICO 4 a partir do “Custo por Ponto da meta”, que indica o volume de recursos orçamentários utilizados por ponto percentual da meta, encontrado a partir da razão entre o valor alocado (R\$) e a meta alcançada (%). Destaca-se que os cenários estão organizados dentro da progressividade da disponibilidade orçamentária (conforme TABELA 1).

Assim, a maior eficiência (ou seja, o menor "Custo por Ponto da Meta") é alcançada nos **cenários intermediários (C1 e C4)**, no que foi denominado como “**zona ótima**”. Após C4, há um aumento inicial, aproximadamente 15% no custo por ponto da meta, até se chegar ao cenário C5. Em prosseguimento, até se alcançar os

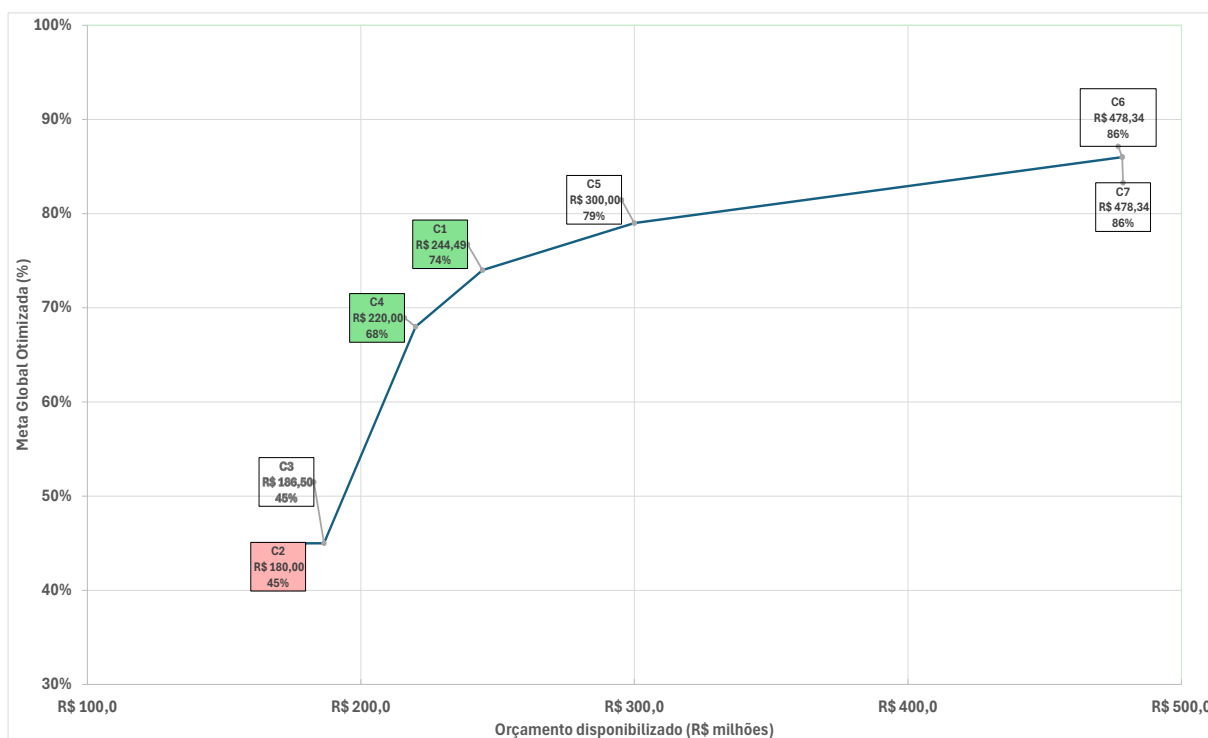
cenários C6 e C7, observa-se um aumento significativo no custo por ponto da meta, com um incremento de R\$ 379,7 milhões para R\$ 556,2 milhões, até se chegar aos cenários C6 e C7. **Entre os cenários C6 e C7**, não existe diferença no custo por ponto da meta, uma vez que o modelo identificou que naquele nível, **alcança-se o ponto de saturação orçamentária**.

Este achado também foi significativo para a governança orçamentária. Ele **indica aos planejadores e gestores justamente a zona ideal para se alcançar o máximo de eficiência alocativa do orçamento**.

5.3 RELAÇÃO ENTRE ORÇAMENTO E DESEMPENHO

A partir do confronto de informações entre o orçamento disponibilizado e a meta de desempenho otimizada, identifica-se o comportamento de **retornos marginais decrescentes** na apuração dos resultados. Ou seja, na medida em que é agregado mais valor orçamentário ao conjunto de processos, o retorno marginal sobre o investimento (resultados) tem um comportamento decrescente, conforme se observa no GRÁFICO 5.

Gráfico 5 - Relação entre o orçamento disponibilizado e a meta de desempenho.



Fonte: elaborado pelo autor.

Da perspectiva do GRÁFICO 5, observou-se que os maiores ganhos marginais de desempenho ocorrem na transição dos cenários de menor disponibilidade orçamentária (C2 e C3) para os cenários intermediários (C4 e C1). Especificamente, o incremento de R\$ 33,5 milhões entre os cenários C3 e C4 resultou em ganho de 23% na meta de desempenho, representando a maior relação custo-benefício observada.

Outra análise dos rendimentos marginais revelou que o incremento de R\$ 24,4 milhões entre os cenários C4 e C1 proporcionou um ganho adicional de 6%, enquanto o incremento de R\$ 55,5 milhões entre os cenários C1 e C5 resultou em apenas 5% adicionais. Esta tendência de rendimentos decrescentes também é evidente de C5 até C6, em que são necessários R\$ 178,3 milhões para se adicionar 7% de desempenho e nos cenários C6 e C7, ainda que **haja incrementos orçamentários significativos, não ocorrem melhorias nos resultados das metas de desempenho, revelando o já constatado ponto de saturação orçamentária.**

A posição crítica do cenário C2 na curva de desempenho merece análise especial. Este cenário representa um ponto de inflexão, em que **a insuficiência orçamentária impediu o alcance de metas mínimas de desempenho**, se não houvesse o aporte orçamentário para se chegar ao nível mínimo. **A identificação desta condição é fundamental para estabelecer limites mínimos orçamentários necessários para manter a funcionalidade básica da capacidade operativa.**

Diante do exposto, as informações são significativas para a governança orçamentária. O processo decisório pode se apropriar desses comportamentos para traçar direcionamentos alocativos, ou mesmo, barganhar orçamentos adicionais no campo externo, traçando estratégias para alcançar situações de otimalidade na relação custo-benefício.

5.4 ANÁLISE DOS RELATÓRIOS DO SOLVER

Para garantir a transparência e a reprodutibilidade da análise, esta seção detalha os parâmetros técnicos da experimentação e discute os resultados gerados pelo Solver do Microsoft Excel. O QUADRO 6 apresenta a ficha técnica do

experimento, consolidando as informações sobre a dimensão do modelo, as opções do Solver e as principais métricas de desempenho observadas.

Quadro 4 - Ficha técnica do experimento de otimização

Parâmetros	Descrição	Quantidade/Valor
Dimensão do Modelo	Processos analisados	10
	Variáveis de decisão por processo	4 (x_1, x_2, y_1, y_2)
	Total de variáveis de decisão	40
	Restrições principais	6 tipos por processo
	Total de restrições	241
Opções do Solver	Plataforma	Microsoft Excel Solver
	Método de resolução	Simplex LP
	Engine	Simplex LP
	Configurações avançadas	Variáveis contínuas e binárias
	Tolerância para inteiros	1%
	Precisão	0,000001
Desempenho	Tempo de solução (C1, C3-C7)	< 1 segundo
	Iterações médias	4-10 iterações
	Subproblemas médios	0-4 subproblemas, demonstrando eficiência do algoritmo Branch and Bound
	Status cenário C2	Solução não factível

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.4.1 Análise dos Relatórios de Resposta (*Answer Reports*)

Os relatórios de resposta fornecem informações detalhadas sobre os valores finais das variáveis de decisão e o valor da função objetivo para cada cenário. A análise revelou que o modelo conseguiu encontrar soluções ótimas para seis dos sete cenários testados, com exceção do cenário C2, que apresentou infactibilidade.

5.4.1.1 Estrutura dos Relatórios

A consistência dos dados nos relatórios de resposta (187 linhas de dados para cada cenário válido) indica que o modelo possui uma estrutura robusta. Cada relatório contém:

- Seção de metadados: Informações sobre o *worksheet*, data/hora da execução e status da solução.
- Seção de desempenho: Detalhes sobre o *engine* (mecanismo) utilizado, tempo de solução e número de iterações.
- Seção de configurações: Parâmetros do Solver utilizados na otimização.
- Célula objetivo: Valor original e final da função objetivo (Meta Global de Desempenho)
- Células variáveis: Valores originais e finais das 40 variáveis de decisão (x_1 , x_2 , y_1 , y_2 para cada processo)

5.4.1.2 Comportamento das Variáveis de Decisão

A análise das variáveis de decisão revelou padrões consistentes com a teoria de otimização:

Cenário C3 (Orçamento Restritivo - R\$ 186,5 milhões):

- Todas as variáveis x_1 , x_2 , y_1 , $y_2 = 0$ para todos os processos
- Resultado: Alocação apenas nos valores mínimos, Meta Global = 45%

Cenário C4 (Orçamento Intermediário - R\$ 220 milhões):

- Ativação seletiva de segmentos: alguns processos com $x_1 = 1$, outros com $x_1 = 0$
- Interpolação observada no Processo 7: $x_1 \approx 0,54$ (valor fracionário)
- Resultado: Meta Global = 68%

Cenários C6 e C7 (Orçamento Abundante - R\$ 478 milhões):

- Maioria das variáveis $x_1 = x_2 = y_1 = y_2 = 1$
- Ativação completa dos segmentos para maximizar desempenho
- Resultado: Meta Global = 86% (saturação do modelo)

5.4.2 Análise da factibilidade do Cenário C2

O cenário C2, com orçamento de R\$ 180 milhões, apresentou infactibilidade, gerando *insights* importantes sobre os limites operacionais do modelo.

A infactibilidade ocorreu porque o orçamento disponível (R\$ 180 milhões) é inferior ao somatório dos valores mínimos necessários para manter todos os processos operacionais (R\$ 186,5 milhões). Esta situação representa um conflito fundamental entre as restrições orçamentárias e os requisitos mínimos de operação.

A identificação deste ponto de infactibilidade fornece informações valiosas para o planejamento, tais como: a percepção do **orçamento mínimo absoluto** para manter operacionalidade básica, a definição de uma **margem de segurança orçamentária**, estabelecendo que qualquer orçamento abaixo deste valor compromete a capacidade operativa e, por fim, caracteriza um **ponto crítico**, apresentando um limite inferior para cenários de contingência orçamentária.

5.4.3 Análise de Eficiência Computacional

O método de solução com o algoritmo Simplex LP demonstrou excelente desempenho para este tipo de problema, dado a **escalabilidade** (o modelo com 40 variáveis e 241 restrições foi resolvido em menos de 1 segundo), a **estabilidade** (convergência consistente em todos os cenários factíveis) e a **robustez** dada a detecção adequada de infactibilidade no cenário C2

O Microsoft Excel Solver mostrou-se adequado para problemas desta dimensão dada a **acessibilidade** (ferramenta amplamente disponível no ambiente organizacional), a **transparência** (relatórios detalhados facilitam auditoria e validação) e **integração** (interface direta com dados e apresentação de resultados).

5.4.4 Validação da Modelagem

Os relatórios confirmaram a consistência matemática do modelo, uma vez que as **restrições foram** respeitadas (sejam de precedência, sejam de domínio), a **otimalidade** obtida em todos os cenários factíveis e a **interpolação funcional** em que as variáveis fracionárias se comportaram conforme esperado.

O modelo demonstrou comportamento coerente com a teoria econômica, observada na progressão de cenários ($C3 \rightarrow C4 \rightarrow C1 \rightarrow C5 \rightarrow C6 \rightarrow C7$) demonstrando **rendimentos marginais decrescentes**, a **saturação**, identificada nos cenários C6 e C7 com mesma Meta Global e a **priorização**, em que os processos mais eficientes foram ativados primeiro em cenários restritivos.

5.4.5 Limitações e Recomendações identificadas

Algumas limitações foram identificadas na análise. Os relatórios de sensibilidade não são gerados automaticamente, limitando a análise de robustez e a análise de cenários necessita de execução manual para cada variação orçamentária.

Com base na análise dos relatórios, é recomendável a **automatização**, que pode ser desenvolvida por intermédio de macros para geração de relatórios, o **monitoramento**, implementando um sistema de alertas para cenários próximos à infactibilidade e de **validação** para as rotinas de verificação da consistência dos resultados.

Por fim, a análise dos relatórios do Solver confirma a robustez e adequação do modelo proposto para o problema de alocação orçamentária no Exército Brasileiro, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões estratégicas no planejamento de recursos.

5.5 CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS E PRÁTICAS

Do ponto de vista metodológico, a pesquisa demonstrou a viabilidade e eficácia da aplicação de técnicas de programação linear para problemas complexos de alocação orçamentária no Setor de Defesa.

A estruturação de um modelo que considera simultaneamente múltiplas variáveis de decisão, restrições orçamentárias e metas de desempenho e que seja capaz de identificar situações de factibilidade, representa uma contribuição metodológica importante para a literatura de Economia de Defesa. Assim, o modelo proposto pode servir como base para futuras pesquisas na área e para o desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão mais sofisticadas.

Do ponto de vista prático, os resultados demonstraram que é possível implementar soluções de otimização e proporcionar melhorias significativas na eficiência alocativa dos recursos destinados à manutenção da capacidade operativa. A capacidade do modelo de identificar situações de insuficiência orçamentária, pontos ótimos de investimento e de saturação de orçamentária proporciona informações significantes para os gestores orçamentários.

A utilização de dados reais extraídos do SIOPLEEx conferiu credibilidade e aplicabilidade prática aos resultados obtidos, demonstrando que o modelo pode ser implementado utilizando a infraestrutura de dados existente na instituição. Esta característica é fundamental para assegurar a viabilidade de implementação da solução proposta.

5.6 LIMITAÇÕES E CONSIDERAÇÕES METODOLÓGICAS

Embora os resultados obtidos sejam promissores, torna-se importante reconhecer as limitações inerentes ao modelo proposto e às simulações realizadas. A primeira limitação refere-se à simplificação necessária para modelar um problema complexo como a alocação orçamentária militar, através de programação linear. Aspectos qualitativos importantes, como considerações estratégicas e políticas, não são capturados adequadamente pelo modelo quantitativo, de natureza determinística.

A segunda limitação relaciona-se à disponibilidade e qualidade dos dados utilizados nas simulações. Embora tenham sido utilizados dados reais extraídos do SIOPLEEx, a qualidade e completude destes dados podem influenciar a precisão dos resultados obtidos. Futuras implementações do modelo devem considerar a necessidade de validação e atualização contínua da base de dados utilizada.

A terceira limitação liga-se à natureza estática do modelo proposto, que não considera adequadamente a dinâmica temporal dos processos orçamentários e as variações que podem ocorrer ao longo do exercício financeiro. A incorporação de elementos dinâmicos e estocásticos poderia aprimorar a representatividade do modelo.

A quarta limitação está associada à ausência de validação empírica dos resultados através de implementação prática. Embora as simulações tenham demonstrado a viabilidade teórica do modelo, incluindo sua capacidade de identificar situações críticas, a validação definitiva de sua eficácia requer implementação prática e acompanhamento dos resultados ao longo do tempo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente dissertação teve como objetivo geral analisar como a otimização, por meio de um modelo de PL, pode aprimorar o processo de orçamentação. Através da aplicação de técnicas de pesquisa operacional e da utilização de dados reais extraídos do Sistema Integrado do Orçamento e Planejamento Estratégico do Exército (SIOPLEEx), foi possível desenvolver e testar um modelo que demonstrou seu significativo potencial para aprimorar a eficiência alocativa dos recursos orçamentários destinados aos processos que integram a vertente orçamentária da manutenção da capacidade operativa do EB.

O primeiro objetivo específico, que consistia em discutir e examinar os conceitos de manutenção da capacidade operativa do Exército Brasileiro, da governança por resultados e da orçamentação orientada para o desempenho, foi integralmente atendido no referencial teórico. A Seção 2.3.2 aprofundou o conceito de manutenção da capacidade operativa, fundamentando a seleção dos processos que compuseram a amostra do modelo. Paralelamente, a Seção 2.2 examinou os conceitos de governança por resultados e orçamentação para o desempenho, práticas de gestão pública moderna que, com o advento do SIOPLEEx, ganham perspectiva de implementação no Exército.

O segundo objetivo específico, focado em explicar o processo orçamentário do Exército Brasileiro, particularmente no que se relaciona aos recursos destinados à manutenção da capacidade operativa, foi cumprido ao longo da Seção 2.3. A análise detalhada desse processo foi crucial, e a coleta de dados para o modelo proposto foi realizada justamente no transcurso da fase quantitativa de elaboração da POAEx, uma etapa central do ciclo orçamentário estudado.

O terceiro objetivo específico, que visava revisar a literatura relacionada à otimização aplicada na gestão orçamentária militar, foi alcançado por meio da análise de estudos nacionais e internacionais apresentados nas Seções 2.1 e 2.4. Essa revisão da literatura revelou os resultados, as contribuições e os ganhos de eficiência obtidos em trabalhos anteriores, fornecendo *insights* fundamentais que nortearam a construção e a metodologia desta dissertação.

O quarto objetivo específico, relacionado a apresentar a conceituação e os fundamentos teóricos da programação linear e formular um modelo, foi atingido em duas etapas sequenciais. Primeiramente, a Seção 2.4.1 revisou a teoria relacionada a Programação Linear e sua aplicação no Setor de Defesa com variados propósitos de soluções de problemas no meio militar, credibilizando o seu uso no contexto estudado. Em seguida, a Seção 3 materializou a segunda parte deste objetivo, por meio de uma fundamentação teórica sobre o modelo na Seção 3.1, esclarecendo o uso da técnica específica de aproximação por segmentos lineares, da PLIM e de uma implementação computacional específica para contextualizar o problema. Além disso, na Seção 3.2 foi apresentada a formulação matemática e, de forma correlacionada, na Seção 3.3 foi detalhada toda a implementação computacional realizada.

O quinto e último objetivo específico, que era analisar e discutir os resultados obtidos com a simulação de cenários orçamentários no modelo proposto, foi plenamente satisfeito. Utilizando dados reais do SIOPLEEx, foram desenvolvidos e executados sete cenários distintos (ANEXO B), que proporcionaram uma análise abrangente do comportamento do modelo. A discussão desses resultados demonstrou o êxito da ferramenta proposta, evidenciando sua capacidade de processar dados, gerar soluções ótimas, identificar situações de factibilidade e, fundamentalmente, contribuir com informações úteis para o processo decisório, a partir dos indicadores concebidos.

6.1 SÍNTESE DOS PRINCIPAIS RESULTADOS

Os resultados obtidos através das simulações realizadas em sete cenários distintos (C1 a C7) confirmaram a hipótese central desta pesquisa de que a aplicação de técnicas de otimização pode proporcionar melhorias substanciais no processo de alocação orçamentária militar. O modelo de PL desenvolvido demonstrou capacidade de processar dados reais e gerar soluções ótimas que maximizaram as metas de desempenho, considerando as restrições orçamentárias existentes.

A análise dos cenários simulados revelou a existência de uma relação não-linear entre recursos orçamentários e o desempenho, caracterizada por rendimentos marginais decrescentes. Esta constatação é fundamental para orientar decisões

estratégicas de alocação orçamentária, permitindo identificar pontos ótimos de alocação e evitar ineficiências em situações de saturação.

Os resultados demonstraram que o modelo é capaz de identificar quatro situações críticas para a gestão orçamentária:

a) insuficiência orçamentária crítica (como o cenário C2), onde os recursos disponíveis são inadequados para atingir metas mínimas de desempenho;

b) viabilidade mínima (como o cenário C3), onde os recursos são exatamente suficientes para atingir metas básicas;

c) zona de otimalidade (cenários C4 e C1), nos quais os recursos são integralmente utilizados para maximizar o desempenho;

d) saturação orçamentária (cenários C6 e C7), em que os incrementos adicionais de recursos não resultam em melhorias proporcionais na capacidade operativa.

Outra constatação está relacionada a eficiência alocativa dos recursos. Observou-se que os maiores ganhos de eficiência ocorrem na transição de cenários de restrição severa para cenários de disponibilidade intermediária, **sugerindo que as alocações devem se concentrar nessa “zona ótima” (maior eficiência)**, inclusive proporcionando retornos superiores aos investimentos marginais em cenários de maior disponibilidade orçamentária.

6.2 CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS E METODOLÓGICAS

Esta dissertação ofereceu contribuições significativas para a literatura em Economia de Defesa, especialmente no contexto brasileiro, onde estudos quantitativos sobre a gestão orçamentária militar ainda são escassos. Academicamente, este trabalho:

a) Preenche uma lacuna metodológica. Ao estruturar um modelo de Programação linear (PL) específico para a alocação orçamentária da manutenção da capacidade operativa, a pesquisa inova ao aplicar uma abordagem quantitativa robusta a um problema complexo e pouco explorado na academia e no setor de defesa do Brasil. O modelo desenvolvido, capaz de identificar e analisar situações críticas de

insuficiência orçamentária, valida a aplicabilidade da PL para decisões orçamentárias de alta complexidade.

b) Valida o uso de dados reais em otimização. A demonstração da viabilidade de utilizar dados operacionais concretos do SIOPLEEx para alimentar e validar o modelo de otimização serve como um precedente importante. Isso não apenas confere credibilidade aos resultados, mas também estabelece um caminho prático para futuras pesquisas que busquem conciliar rigor metodológico com aplicabilidade institucional.

c) Avança o conhecimento sobre eficiência alocativa. A identificação e caracterização de padrões de comportamento entre recursos orçamentários e desempenho, incluindo a existência de rendimentos marginais decrescentes e pontos de saturação, aprofunda a compreensão teórica sobre a eficiência alocativa no setor de defesa. Tais achados fornecem um arcabouço para a análise de otimização em contextos de recursos escassos, alinhando-se aos princípios da Orçamentação Baseada em Resultados (OBR).

d) Amplia a aplicabilidade da Pesquisa Operacional. Ao validar empiricamente a capacidade da programação linear para lidar com problemas de alocação orçamentária e factibilidade no setor de defesa, este estudo demonstra o potencial de extensão dessa metodologia para outras áreas da gestão pública, incentivando abordagens quantitativas na tomada de decisão.

6.3 IMPLICAÇÕES PRÁTICAS PARA A GESTÃO ORÇAMENTÁRIA NO EB

Os resultados obtidos nesta pesquisa têm implicações práticas importantes para a gestão orçamentária do Exército Brasileiro. A implementação do modelo proposto pode **proporcionar melhorias significativas na objetividade e racionalidade do processo de tomada de decisão orçamentária**, substituindo abordagens intuitivas por métodos quantitativos baseados em evidências.

A capacidade do modelo de quantificar precisamente as necessidades orçamentárias para atingir diferentes níveis de desempenho (metas), incluindo a identificação de limites críticos mínimos, proporciona uma ferramenta valiosa para processos de negociação orçamentária com órgãos superiores. A fundamentação técnica e quantitativa das demandas orçamentárias, especialmente em situações

críticas como a identificada no cenário C2, pode **fortalecer significativamente a posição da instituição em processos de alocação de recursos no âmbito do governo federal.**

A identificação de situações de insuficiência orçamentária crítica, como demonstrado no cenário C2, **proporciona um sistema de alerta precoce que permite aos gestores antecipar problemas e tomar medidas preventivas antes que a capacidade operativa seja comprometida.** Esta capacidade é fundamental para assegurar a continuidade dos níveis de prontidão da Força Terrestre e para evitar situações de degradação da capacidade operativa.

Já a identificação de situações de saturação orçamentária pode orientar decisões de redistribuição de recursos excedentes para outras áreas prioritárias da instituição, maximizando a eficiência global da alocação orçamentária. Esta capacidade é **particularmente importante em contextos de recursos limitados, onde a otimização da alocação pode resultar em ganhos significativos de eficiência.**

A implementação de um módulo de otimização no SIOPLEEx, com requisitos desenhados a partir do modelo proposto pode **contribuir para a modernização do processo orçamentário institucional, fomentando a transição para o Orçamento Baseado em Resultados**, alinhando-se às melhores práticas de gestão pública, e às expectativas de transparência e eficiência da sociedade brasileira.

6.4 CONTRIBUIÇÕES PARA A ECONOMIA DE DEFESA DO BRASIL

Esta pesquisa representa uma contribuição importante para o desenvolvimento da Economia de Defesa do Brasil, que ainda carece de estudos empíricos robustos correlacionados a essa área de pesquisa. A aplicação de técnicas quantitativas rigorosas para abordar problemas práticos da gestão militar, **contribui para o amadurecimento científico da área e para o estabelecimento de fundamentos teóricos sólidos.**

A demonstração da viabilidade de aplicação de métodos de pesquisa operacional no Setor de Defesa brasileiro, pode **estimular o desenvolvimento de novas pesquisas na área**, contribuindo para a formação de uma massa crítica de

pesquisadores especializados em Economia de Defesa. Este desenvolvimento é fundamental para **assegurar que as decisões de política de defesa sejam baseadas em evidências científicas sólidas.**

A metodologia desenvolvida nesta pesquisa, incluindo a abordagem específica para análise de relatórios de viabilidade, **pode ser adaptada para abordar outros problemas relevantes da gestão militar**, como otimização de recursos humanos, planejamento logístico e gestão de equipamentos. Esta versatilidade metodológica amplia significativamente o potencial de impacto da pesquisa.

A contribuição desta pesquisa para o diálogo entre academia e instituições militares é particularmente relevante. A utilização de dados reais e a abordagem de problemas práticos, demonstram que a pesquisa acadêmica pode **proporcionar soluções concretas para desafios enfrentados pelas instituições de defesa.**

Os resultados desta pesquisa se inserem no contexto mais amplo da modernização da gestão pública brasileira e da necessidade de **aprimorar a eficiência, como uma propriedade maximizadora da Ciência Econômica, nesse caso aplicada a utilização de recursos públicos.** A aplicação de técnicas de otimização representa um passo importante na direção da profissionalização e modernização dos processos de gestão das instituições de defesa.

A incorporação de métodos quantitativos na tomada de decisão orçamentária, alinha-se às melhores práticas internacionais de gestão pública e às expectativas crescentes da sociedade por transparência e eficiência na utilização de recursos públicos. Esta modernização é fundamental para assegurar a legitimidade e o apoio social às instituições de defesa.

A capacidade de demonstrar objetivamente a eficiência na utilização de recursos pode fortalecer significativamente a posição das instituições militares em processos de negociação orçamentária e na justificação de demandas por recursos adicionais. Esta capacidade é particularmente importante em contextos de restrição fiscal e competição por recursos públicos limitados.

Em síntese, esta dissertação representa **uma contribuição importante para o desenvolvimento da Economia de Defesa do Brasil e para aprimorar a gestão orçamentária militar, incrementando a eficiência.** Os resultados obtidos

demonstram que a aplicação rigorosa de métodos científicos pode **proporcionar soluções práticas e eficazes para desafios complexos, contribuindo para o fortalecimento da capacidade operativa do EB e para a modernização da gestão pública brasileira.**

Esta experiência ressaltou a importância fundamental de abordagens abrangentes e criteriosas em pesquisas aplicadas à gestão pública, especialmente em áreas críticas como a Defesa Nacional.

6.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E LIÇÕES APRENDIDAS

Embora os resultados desta pesquisa sejam promissores e relevantes, é fundamental reconhecer as limitações inerentes ao estudo, que, por sua vez, geraram importantes lições aprendidas:

a. Limitações:

- **A simplificação do modelo:** a natureza da Programação Linear impôs uma simplificação da complexidade real dos processos orçamentários militares, não capturando integralmente aspectos qualitativos estratégicos, políticos e operacionais.

- **A qualidade e abrangência dos dados:** a dependência de dados secundários, embora reais e provenientes do SIOPLEEx, apresentou nuances em sua completude e precisão, impactando diretamente a acurácia dos resultados.

- **A natureza estática do modelo:** a abordagem não considerou a dinâmica temporal dos processos orçamentários e as variações que ocorrem ao longo do exercício financeiro.

- **A ausência de validação empírica prática:** embora as simulações tenham demonstrado viabilidade teórica e capacidade de identificar situações críticas, a eficácia definitiva do modelo requer implementação prática e acompanhamento contínuo.

- **O escopo restrito:** a pesquisa focou em uma amostra não-probabilística de processos da vertente de manutenção da capacidade operativa, não abrangendo as demais vertentes (pessoal e transformação), o que limitou a generalização dos achados para uma aplicação ampla no Orçamento do EB.

b. Lições Aprendidas:

- **Importância do rigor metodológico:** a modelagem de problemas complexos exigiu um equilíbrio delicado entre a representatividade da realidade e a simplicidade necessária para a aplicabilidade. A busca pela solução ótima, mesmo que em um ambiente controlado, reforçou a necessidade de clareza nas premissas e restrições.

- **O valor da qualidade dos dados:** a acurácia das simulações demonstrou que a qualidade dos dados de entrada é um pilar insubstituível para a validade dos resultados. Isso sublinha a importância de sensibilizar a relevância da informação aos gestores que o alimentam, investimentos contínuos em sistemas robustos e de fácil interatividade e na capacitação para a coleta e tratamento de dados.

- **A dinâmica da implementação:** percebeu-se que a transposição de modelos teóricos para o ambiente prático depende não apenas da validade matemática, mas também da capacidade de adaptação às nuances culturais e operacionais da instituição. A comunicação clara dos benefícios e a gestão da mudança são tão cruciais quanto a formulação do modelo.

- **Visão além do modelo:** o enfrentamento das limitações reforça que modelos quantitativos são ferramentas de apoio à decisão, e não substitutos para a inteligência e a experiência humana. A interpretação contextual dos resultados, especialmente em cenários críticos de factibilidade, é fundamental para o uso eficaz da otimização.

- **Potencial de aplicação ampliada:** mesmo com o escopo restrito, a experiência confirmou o vasto potencial da Pesquisa Operacional para aprimorar a gestão de recursos em diversas áreas do setor público e militar, incentivando a replicação e adaptação de metodologias similares.

6.6 RECOMENDAÇÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Com base nos resultados obtidos e nas limitações identificadas, esta pesquisa sugere várias direções promissoras para futuras investigações na área.

A primeira recomendação refere-se ao desenvolvimento de modelos mais sofisticados que incorporem elementos dinâmicos e estocásticos, permitindo uma representação mais acurada do processo orçamentário militar.

A segunda recomendação refere-se à realização de estudos de validação empírica através da implementação prática do modelo em situações reais. Os estudos seriam fundamentais para confirmar a eficácia prática das soluções propostas e identificar ajustes necessários na metodologia.

A terceira recomendação relaciona-se ao desenvolvimento de interfaces de usuário amigáveis que facilitem a utilização do modelo por gestores orçamentários sem formação técnica especializada em pesquisa operacional. A disseminação do acesso às ferramentas de otimização é fundamental para assegurar sua adoção prática e para maximizar o impacto das soluções propostas.

A quarta recomendação refere-se à realização de estudos comparativos com outras instituições do Setor de Defesa, tanto nacionais quanto internacionais, para identificar outras práticas e oportunidades de aprimoramento da metodologia proposta.

REFERÊNCIAS

ALIZADEH, Parisa e DOMYEH, Mojtaba Gholipour. *How to optimize government R&D budget allocation? A review of recent studies and research gaps*. **Journal of Science & Technology Policy Management**, 9 Out 2024.

ALQAHTANI, Faris e SELVIARIDIS, Kostas e STEVENSON, Mark. *The effectiveness of performance-based contracting in the defence sector: A systematic literature review*. **Journal of Purchasing and Supply Management**, 1 Set 2023.

ARTIUSHENKO, Oleksandr. ***Application linear programming and optimisation methods to improve the effectiveness of budget expenditures in the field financial support the military troops***. Visnik, 2024.

BENTES, Karina da Paz; SANTOS, Bruno Fanzeres dos. **Alocação ótima de recursos financeiros para maximizar o nível de serviço no fornecimento de uniformes da Marinha do Brasil**. XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha. Nov 2019.

BOECHAT, Stephan Righi. **Orçamento por resultados e direito financeiro**. São Paulo: Blucher, 2018. 224 p. (Série Direito Financeiro / coordenada por José Mauricio Conti)

BOYD, Stephen; VANDENBERGHE, Lieven. **Convex Optimization**. 7. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

BRASIL, Conselho Administrativo de Defesa Econômica (CADE). **Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)**. Brasília, DF: CADE, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/cade/pt-br/centrais-de-conteudo/internacional/cooperacao-multilateral/organizacao-para-a-cooperacao-e-desenvolvimento-economico-ocde-1>>. Acesso em: 21 ago 25.

BRASIL, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Lei nº 14.802, de 10 de janeiro de 2024: Institui o Plano Plurianual da União para o período de 2024 a 2027**. 2023 Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Projetos/PLN/2023/msg428-agosto2023.htm>. Acesso em 2 MAIO 25.

BRASIL, EXÉRCITO BRASILEIRO. **Metodologia do Sistema de Planejamento do Exército (EB20-N-03.002)**. Brasília: Estado-Maior do Exército, 2021. Disponível em: http://www.sgex.eb.mil.br/sg8/005_normas/01_normas_diversas/03_estado-maior_do_exercito/port_n_621_eme_16dez2021.html. Acesso em: 1 mar 2025.

BRASIL, EXÉRCITO BRASILEIRO. **Plano Estratégico do Exército 2024-2027**. Brasília: Estado-Maior do Exército, 2023. Disponível em: http://10.166.72.153/emenet/sites/3sch/images/imagens3sch/pdf/siplex/siplex_2024_27/5-PEEx-24-27-APROVADO-Fase-5-do-SIPLEX-24-27.pdf. Acesso em 1 jul 25.

BRASIL, EXÉRCITO BRASILEIRO. **Regulamento do Estado-Maior do Exército (EB10-R-01.007)**. Brasília: Estado-Maior do Exército, 2022. Disponível em: http://www.sgex.eb.mil.br/sg8/005_normas/01_normas_diversas/03_estado-maior_do_exercito/port_n_621_eme_16dez2021.html. Acesso em: 1 mar 2025.

BRASIL, MINISTÉRIO DA DEFESA. **Atuação: Orçamento e Finanças**. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/orcamento-e-financas-1/orcamento-e-financas-1>.> Acesso em 31 ago 25.

BRASIL, MINISTÉRIO DA DEFESA. **Decreto Legislativo nº 61, de 23 de maio de 2024: Política Nacional de Defesa (PND) e Estratégia Nacional de Defesa (END)**, 2024c. Disponível em: https://www.gov.br/defesa/pt-br/assuntos/copy_of_estado-e-defesa/politica-nacional-de-defesa. Acesso em 7 mar 25.

BRASIL, MINISTÉRIO DA FAZENDA. **Manual de Contabilidade aplicada ao Setor Público (MCASP)**. Brasília: Secretaria do Tesouro Nacional, 11ª Edição, 2024b.

BRASIL, SENADO FEDERAL. **Gestão orçamentária inovadora: desafios e perspectivas no Brasil** / Organizadores: Valdemir Pires, André Rehbein Sathler. – Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2018. 471 p. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/553045/gestao_inovadora.pdf?sequence. Acesso em 14 jun 25.

BRASIL. Tribunal de Contas da União. **Referencial básico de governança aplicável a organizações públicas e outros entes jurisdicionados ao TCU / Tribunal de Contas da União**. Edição 3 - Brasília: TCU, Secretaria de Controle Externo da Administração do Estado – Secex Administração, 2020. 242p.

BROWN, Gerald G. e DELL, Robert F. e NEWMAN, Alexandra M. **Optimization-Based Military Capital Planning**. 1 Out 2004a.

COSTA, A., & LIMA, G. (2019). *A Mixed-Integer Programming Model for Optimal Assignment of Special Operations Forces*. **Journal of Military Operations Research**, 24(2), 45-61.

CONSTANTINESCU, Maria. *Left or Right of the Boom? Transforming Defense Budgets into Military Capabilities through an Integrated Defense Planning and Management System*. **International Conference Knowledge Based Organization**, 1 Jun 2023.

COVARRUBIAS, J. G. Os três pilares de uma transformação militar. **Military Review**, volume 6, novembro-dezembro 2007. Fort Leavenworth: Centro de Armas combinadas, 2007.

CUNHA, RODNEY RODRIGUES DA. **Proposta de definição do plano estratégico do Exército: um estudo de caso da aplicação de práticas de seleção e otimização de portfólio de projetos**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em

Economia da Faculdade de Administração, Contabilidade, Economia e Gestão de Políticas Públicas da Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2025.

DAVENPORT, Thomas H. *The rise of analytics in operations*. **Journal of Operations Management**, v. 32, n. 4, p. 196–201, 2014.

DECKER, Kimberly L. **Impact of Performance-Based Budgeting on Quality Outcomes in U.S. Military Healthcare Facilities**. Virginia Commonwealth University Richmond, Virginia, 2020. Disponível em: https://scholarscompass.vcu.edu/etd/6372/?utm_source=scholarscompass.vcu.edu%2Fetd%2F6372&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages. Acesso em 15 jun 25.

DEMIREL, Demokaan. **Performansın Mali Boyutu: Performans Esaslı Bütçe / The Financial Aspect of Performance: Performance Based Budget**. v. 19, n. 1, 1 Jan 2015. Disponível em: <http://e-dergi.atauni.edu.tr/ataunisobil/article/download/5000151016/5000137057>>. Acesso em 25 maio 25.

DENYER, David; TRANFIELD, David; VAN AKEN, Joan Ernst. **Developing Design Propositions through Research Synthesis**. *Organization Studies*, v. 29, n. 3, p. 393-413, 2008. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0170840607088020>>. Acesso em: 23 FEV 2025.

DRURY, Colin. **Management and cost accounting**. 10. ed. Andover: Cengage Learning EMEA, 2018.

DYACHENKO, S. V. e ARTIUSHENKO, O. **Application of the analytical hierarchy method in the area of defence expenditure managing**. *Visnik*, 1 Jan 2024.

EVANTINO, Karolus e colab. **Analisis Implementasi Hankamrata di Indonesia ditinjau dari Aspek Anggaran Pertahanan Negara**. *El-Mal*, 9 Feb 2024.

FEDOROVICH, Oleg; LUKHANIN Mikhail; PROKHOROV Oleksandr; PRONCHAKOV Yuri; LESHCHENKO Oleksandr; FEDOROVICH Valeriy. **Modeling of logistics of war reserve stockpiling for successful combat operations**. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2023, n. 1, p. 183–196, 7 Mar 2023. Disponível em: <http://nti.khai.edu/ojs/index.php/reks/article/download/reks.2023.1.15/2019>>. Acesso em 15 jun 25.

FENELLA, McGerty; DEWEY, Karl. **Global defence spending soars to new high. Military Balance Blog**, 12 fev 2025. Disponível em: https://www-iiss-org.translate.goog/online-analysis/military-balance/2025/02/global-defence-spending-soars-to-new-high/?x_tr_sl=en&x_tr_tl=pt&x_tr_hl=pt&x_tr_pto=tc>. Acesso em 14 jun 25.

FERNANDES, M. G. de M.; SILVA Júnior, O. S. da. Otimização da alocação de recursos em portfólio de projetos – estudo de caso do sistema de obras do exército Brasileiro. **XIX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha**. Nov 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5151/SPOLM2019-138>. Acesso em 15 jun 25.

FERES, Marcelo de Almeida Vieira. **Análise da Normatização e da Regulação do Planejamento Orçamentário da Fase 6 (Orçamentação e Contratação) do Sistema de Planejamento Estratégico do Exército (SIPLEx)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Militares) – Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro, 2021.

FERRADAES, AUGUSTO GONÇALVES. **Uma síntese da importância dos indicadores para a avaliação da gestão pública**. Monografia (Pós-graduação em Auditoria do Setor Público) - Instituto Serzedello Corrêa (TCU), Brasília, 2019.

FONTAINE, Xavier; MANNOR, Shie; PERCHET, Vianney. **An adaptive stochastic optimization algorithm for resource allocation**. 12 Feb 2019. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1902.04376>>. Acesso em 1 JUN 25.

GARRISON, Ray H.; NOREEN, Eric W.; BREWER, Peter C. **Managerial Accounting**. 17. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2021.

GHARIB, Nurul SHUHADA Mohd, SALEH, Zakiah e ISA, Che Ruhana. *A Thematic Review on Performance-Based Budgeting in the Public Sector Organisation*. **IPN Journal of Research and Practice in Public Sector Accounting and Management**, 20 Dez 2024.

GODINHO, Luis M. e GONÇALVES, Tiago. **Defense Organizations Budgeting and Management Control Systems in Restrictive Budgets Context—Literature Gaps**. 13 Maio 2020.

GUIMARÃES, F. A.; COSTA, R. L. Orçamento por resultados: desafios e perspectivas para a gestão pública Brasileira. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 56, n. 1, p. 80-95, jan./fev. 2022.

HARRISON, Kyle Robert ; ELSAYED Saber M.; GARANOVICH Ivan L.; WEIR Terence; GALISTER Michael; BOSWELL Sharon G.; TAYLOR, Richard; SARKER Ruhul A. **Portfolio Optimization for Defence Applications**. *IEEE Access*, v. 8, p. 60152–60178, 25 Mar 2020. Disponível em: <<https://dblp.uni-trier.de/db/journals/access/access8.html#HarrisonEGWGBTS20>>. Acesso em 20 maio 25.

HARTLEY, Keith; SANDLER, Todd. **Handbook of Defense Economics: Defense in a Globalized World**. Amsterdam: Elsevier, 2007. v. 2.

HILLIER, Frederick S; LIEBERMAN, Gerald J. **Introdução à pesquisa operacional**. Tradução: Ariovaldo Griesi; revisão técnica João Chang Junior. São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

HORNGREN, Charles T.; DATAR, Srikant M.; RAJAN, Madhav V. **Cost accounting: a managerial emphasis**. 15. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2015.

INTERNATIONAL INSTITUTE FOR STRATEGIC STUDIES (IISS). **The Military Balance 2025**. Ed. IISS: 12 fev 2025

JIN-QIANG, Li ***Study on Equipment Maintenance Cost Budgeting Based on Risk Evaluation***. 1 Jan 2008.

JONES, Lawrence R. e MCCAFFERY, Jerry e FIERSTINE, Kory L. ***Budgeting for National Defense Acquisition: assessing system linkage and the impact of transformation***. 30 Jun 2005.

KUHN C. C.N., CALBERT G., GARANOVICH I.L and WEIR T. ***Integer linear programming supporting portfolio design***. Defence Science and Technology Group, Department of Defence, 25 Mar 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2303.14364>. Acesso em 15 Jun 25.

LARSEN, Bob e APPLEBY, Christopher e MELESE, Francois. ***A Review and Update of Public Budgeting in Defense: Leveraging a New Management Model for Government***. 1 Jan 2006.

LEMPERT, Robert J; WARREN, Drake; HENRY, Ryan; BUTTON, Robert W.; KLENK Jonathan; GIGLIO Kate. ***Defense Resource Planning Under Uncertainty: An Application of Robust Decision Making to Munitions Mix Planning***. 2016. Disponível em: <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR1100/RR1112/RAND_RR1112.pdf>. Acesso em 1 jun 25.

LINDGREN, Göran. ***Armaments and Economic Performance***. 1 Jan 1988.

LIMA, T. S.; COSTA, M. G. ***Desafios na implementação do orçamento por resultados no setor público***. Cadernos Gestão Pública e Cidadania, São Paulo, v. 23, n. 75, p. 1-18, set./dez. 2018.

MACHADO, L. C.; PEREIRA, A. K. Governança e gestão de valor público: alinhamento estratégico e operacional. ***Revista do Serviço Público, Brasília, DF***, v. 70, n. 3, p. 571-592, jul./set. 2019.

MARTINS, Humberto Falcão; MARINI, Caio. ***Um guia de governança para resultados na administração Pública***. Publix Editora, 2010.

MANKIW, N. G. ***Introdução à economia - Tradução da 8ª edição norte-americana***. Tradutor: Priscilla Rodrigues da Silva Lopes. 4. ed. Brasileira ed. São Paulo: Cengage, 2022.

MELESE, Francois e RICHTER, Anke e SOLOMON, Binyam. ***Military Cost-Benefit Analysis: Theory and practice***. Routledge, 2015. (pp.1-20). (Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309430948_Military_Cost_benefit_Analysis_Theory_Practice)

MENDES, C. R. ***Cultura organizacional e gestão de desempenho na administração pública***. Curitiba: Appris, 2019.

MUN, Johnathan. ***Risk-based ROI, capital budgeting, and portfolio optimization in the Department of Defense***. V. 27, n. 91, p. 60–107, 1 jan 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/338022570_Capital_Budgeting_and_Portfolio_Optimization_in_the_US_Navy_and_Department_of_Defense>. Acesso em 1 ago 25.

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANISATION (NATO). ***Funding NATO***. Press & Media – Presse & Médias B-1110 Bruxelles Belgique. 2025. Disponível em: <https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_67655.htm>. Acesso em 4 set 25.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Performance budgeting in OECD countries**. OECD, 2007.

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANISATION (NATO). ***Defence Expenditure of NATO Countries (2014-2024)***. Press & Media – Presse & Médias B-1110 Bruxelles Belgique. 2024. Disponível em: <https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_226465.htm>. Acesso em 18 abr 2025.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Performance budgeting in OECD countries**. OECD, 2007.

OLIVEIRA, R. B.; GONÇALVES, C. A. **Orçamentação no Setor de Defesa: Uma Análise Comparada**. Revista de Economia & Finanças, v. 15, n. 2, p. 78-105, 2022.

OLIVEIRA, P. S.; CUNHA, C. H. Governança por resultados: um estudo de caso em uma organização pública federal. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa (RECADM)**, v. 19, n. 1, p. 154-169, jun. 2020.

OSYPENKO, Svitlana e ZHELNOVACH, O. e PYSAREVSKYI, S. ***Application of the result-oriented budgeting method in the management of the activities of the military unit***. Honra e lei (Tradução nossa), v. 2, n. 85, p. 91–96, 1 Jan 2023. Disponível em: <<http://chiz.nangu.edu.ua/article/download/282622/276805>>. Acesso em 25 MAIO 25.

PALUDO, A. V. **Administração Pública**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

PIETER D. WEZEMAN, LUCIE BÉRAUD-SUDREAU, ALEXANDRA MARKSTEINER AND NAN TIAN. ***A practical guide to state participation in the un report on military expenditures***. SIPRI Good Practice Guide, setembro 2022. Disponível em: <https://www.sipri.org/publications/2022/other-publications/practical-guide-state-participation-un-report-military-expenditures>. Acesso em 2 MAIO 2025.

REZENDE, Leandro Bolzan de. Otimização de Recursos Financeiros / Orçamentários. Brasília: Universidade de Brasília, 12 set. 2024. **Apresentação na disciplina Cadeia Produtiva Aeroespacial do Mestrado em Economia de Defesa e Espacial (AEB)**.

SANTOS, Almir Garnier; PESSÔA, Leonardo Antonio Monteiro; MOTA, Caroline Maria de Miranda; FREJ, Eduarda Asfora. ***A fitradeoff-based approach for strategic decisions on military budget***. Pesquisa Operacional, v. 43, n. spe1, 1 Jan 2023. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/pope/a/qBzTQQkNWmhz9SBKnyKjCHg/?lang=en&format=pdf>>

SANTOS, L. A.; MEDEIROS, J. C. A transição do orçamento tradicional para o orçamento por resultados no Brasil: avanços e obstáculos. **Revista Contabilidade & Finanças**, São Paulo, v. 29, n. 77, p. 327-342, maio/ago. 2018.

SAUNDERS, Mark N. K; LEWIS, Philip; THORNHILL, Adrian. **Research methods for business students**. 9ª edição. Harlow: Pearson, 2023

SCHMIDT, M., & BAUMANN, K. (2018). **Strategic R&D Portfolio Optimization in the Defense Sector Using Stochastic Linear Programming**. IEEE Transactions on Engineering Management, 65(3), 472-484.

SIANIPAR, Lia Kristina e SAPUTRO, Guntur Eko e SUNDARI, Sri. **Analisis Kritis Anggaran Pertahanan**. El-Mal, v. 5, n. 4, p. 1934–1944, 9 Feb 2024. Disponível em: <<https://journal-laaroiba.com/ojs/index.php/elmal/article/download/814/347>>. Acesso em 20 MAIO 25.

SILVA, Heber Miranda. **Orçamento de Defesa do Brasil e Gastos Militares Internacionais: um comparativo mundial**. Rio de Janeiro, 2020. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

SMITH, Ron. *Budgeting for defense in the United Kingdom*. **The Economics of Peace and Security Journal**, 19 Out 2024.

STOCKHOLM INTERNATIONAL PEACE RESEARCH INSTITUTE (SIPRI). **SIPRI Military Expenditure Database**. Abril 2024. Disponível em: <<https://www.sipri.org/databases/milex>>. Acesso em: 17 ABR 25.

TAHA, Hamdy A. **Operations Research: An Introduction**. 10. ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education, 2017.

UNITED NATIONS, **Office for Disarmament Affairs Military Expenditures Database**. Disponível em: <<https://milex-reporting.unoda.org/en/states>>. Acesso em: 14. jun. 25.

WILLIAMS, H. Paul. **Model Building in Mathematical Programming**. 5. ed. Chichester: Wiley, 2013.

ZHANG, W., LEE, H., & CHEN, J. (2021). **Optimizing Defense Logistics: A Multi-Echelon Inventory and Transportation Model**. Omega, 102, 102315.

ANEXO A - RESULTADO DO TESTE HARP

HARP - Heightening your Awareness of your Research Philosophy

(VERSÃO ADAPTADA)

Saunders, M., Lewis, P. and Thornhill, A. (2019), Research Methods for Business Students. 8th ed. London: Prentice Hall. (pp.161-164)

Considerando a sua pesquisa e seus valores e visões de mundo, por favor indique se concorda ou não com as declarações abaixo. Não existem respostas erradas.

Marque "x" na sua resposta.

		Concordo totalmente	Concordo	Concordo um pouco	Discordo um pouco	Discordo	Discordo totalmente
Suas visões quanto a natureza da realidade (ontologia)							
1	Organizações são reais assim como objetos físicos		x				
2	Eventos em organizações são causados por mecanismos subjacentes e profundos		x				
3	O mundo social que habitamos é um mundo de múltiplos significados, interpretações e realidades		x				
4	"Organização" não é uma coisa sólida ou estática, mas um fluxo de processos e práticas coletivas	x					
5	Aspectos "reais" das organizações são aqueles que impactam nas práticas organizacionais		x				
Suas visões sobre o conhecimento e o que se constitui como conhecimento aceitável (epistemologia)							
6	Pesquisa organizacional deve prover explicações científicas, objetivas, precisas e válidas sobre como o mundo da organização realmente funciona		x				
7	Teorias e conceitos nunca fornecem conhecimento completamente correto, mas pesquisadores podem utilizar o pensamento racional para decidir quais teorias and conceitos são melhores que outros			x			
8	Conceitos e teorias são muito simplistas para capturar a completa riqueza do mundo				x		
9	O que geralmente conta como "real", "verdadeiro" e "válido" é determinado por pontos de vistas politicamente dominantes				x		
10	Conhecimento aceitável é aquele que permite que as coisas sejam feitas com sucesso			x			
Suas visões sobre o papel dos valores dos pesquisadores na pesquisa (axiologia)							
11	As crenças e valores dos pesquisadores devem ser excluídas da pesquisa		x				
12	Pesquisadores devem tentar ser o mais objetivos e realistas possível	x					
13	As crenças e valores dos pesquisadores são chave para a interpretação dele do mundo social	x					
14	Pesquisadores devem discutir aberta e criticamente seus próprios valores e crenças			x			
15	Pesquisa molda e é moldada por aquilo que o pesquisador acredita e duvida		x				
Suas visões sobre o propósito da pesquisa							
16	O propósito da pesquisa é descobrir fatos e regularidades e prever eventos futuros			x			
17	O propósito da pesquisa organizacional é oferecer explicação sobre como e por que organizações e sociedades são estruturadas			x			
18	O propósito da pesquisa é criar um entendimento novo que permite as pessoas verem o mundo de novas formas		x				
19	O propósito da pesquisa é examinar e questionar as relações de poder que sustentam as formas convencionais de pensar e agir			x			
20	O propósito da pesquisa é resolver problemas e melhorar práticas futuras		x				
Suas visões sobre o que constitui dado (informação) significativo							
21	Coisas que não podem ser mensuradas não tem significado para o propósito da pesquisa				x		
22	Teorias e achados organizacionais devem ser avaliados em razão de seu poder explanatório das causas do comportamento organizacional		x				
23	Para ser significativo, a pesquisa deve incluir as interpretações das experiências dos próprios participantes e dos pesquisadores			x			
24	Ausências e silêncios no mundo que nos cerca são tão importantes quanto o que é proeminente e óbvio		x				
25	Significado emerge do engajamento prático, experimental e crítico com o mundo		x				
Suas visões sobre a natureza da estrutura e ação							
26	O comportamento humano é determinado por forças naturais				x		
27	As escolhas e ações das pessoas são sempre limitadas pelas normas, regras e tradições sociais em que estão inseridas					x	
28	A construção de significado dos indivíduos são sempre específicas em razão de suas experiências, cultura e história		x				
29	Estrutura, ordem e forma são construções humanas			x			
30	Pessoas podem utilizar rotinas e adaptações criativas para instigar inovação e mudança			x			

ANEXO A - CONTINUAÇÃO

Gráfico 6 - Resultado geral por filosofia

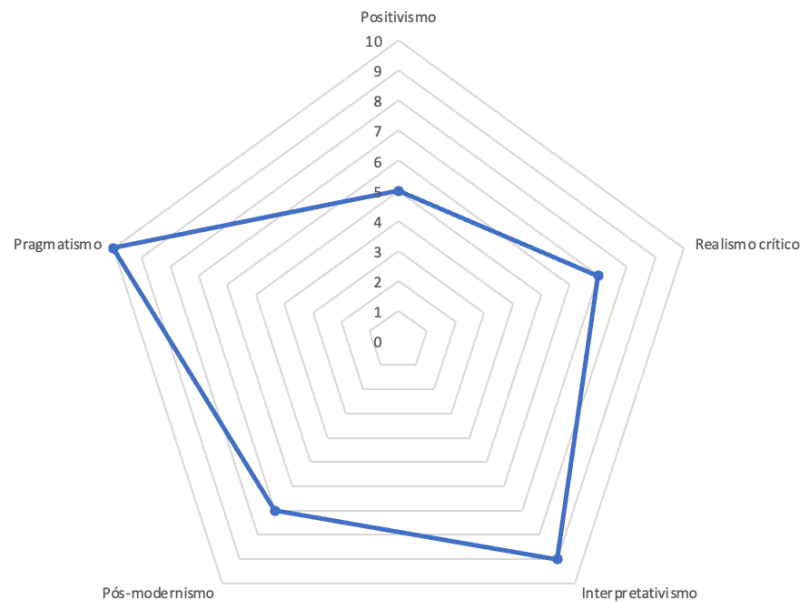
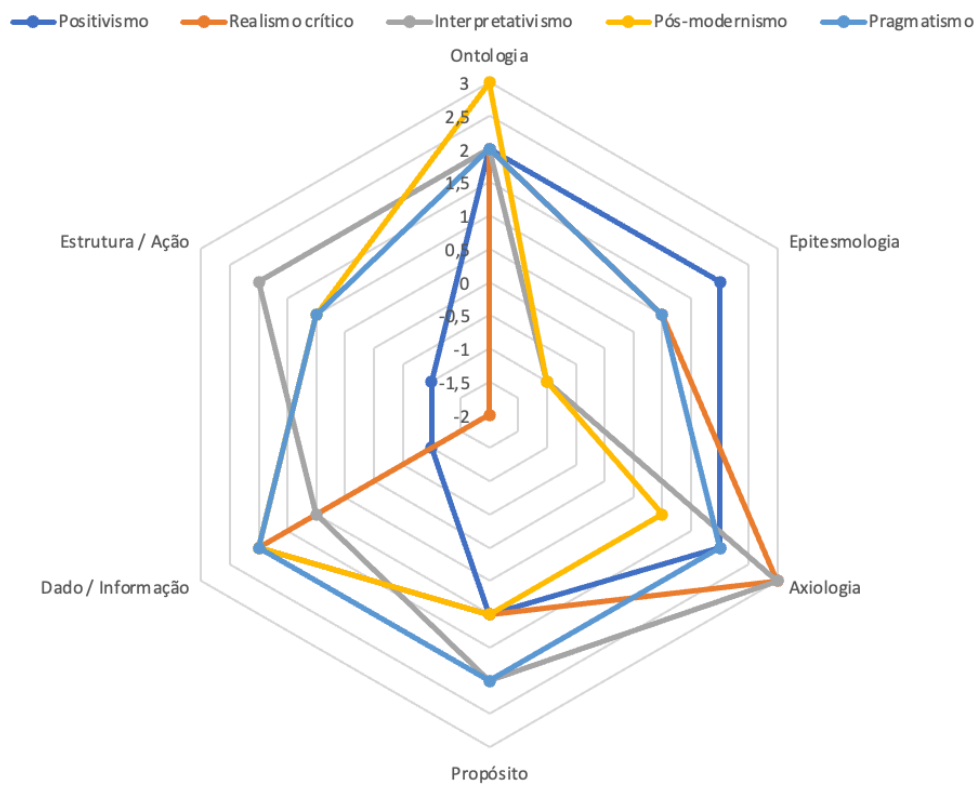


Gráfico 7 - Visões por Filosofias



ANEXO B - SIMULAÇÕES COM O MODELO DE OTIMIZAÇÃO

O presente anexo apresenta os resultados das simulações realizadas com a utilização do modelo em estudo. O objetivo central consiste em demonstrar a influência do parâmetro “limite orçamentário” na obtenção dos resultados obtidos, a fim de gerar subsídios para análise e validação do modelo para aplicação no contexto estudado.

1. DADOS DE ENTRADA

Os dados de entrada do modelo foram obtidos na base de dados do SIOPLEEx durante a elaboração da POAEx 2026. As informações qualitativas e quantitativas se referem a dez processos pertencentes a vertente de manutenção da capacidade operativa, sob gestão do Comando Logístico (COLOG).

Inicialmente, o ODS inseriu as informações qualitativas de cada processo no Sistema, descrevendo o processo finalístico, seu indicador de desempenho, sua unidade de medida e a polaridade do indicador.

No que tange aos dados quantitativos, para a construção dos valores orçamentários e metas de resultados, o COLOG recebeu previamente do ODG, os pré-limites orçamentários disponibilizados em 3 (três) cenários hipotéticos (mínimo, desejável e ideal)³³.

Com isso, a gestão estratégica do COLOG projetou as metas de desempenho a serem alcançadas em cada cenário e tais informações foram inseridas na base de dados do SIOPLEEx, permanecendo a disposição do ODG (governança orçamentária).

Uma característica comum aos processos selecionados é o fato de os indicadores de desempenho apresentarem uma correlação direta (polaridade) “maior melhor”. Ou seja, o sucesso do indicador é atrelado a um aumento no seu número.

Particularmente, para o presente estudo, as informações foram tratadas inicialmente para preservar os dados sensíveis, conforme já exposto na Seção 4.3 do presente estudo.

A TABELA 3 sintetiza as informações obtidas e os valores e desempenho pós-tratamento das informações, que serviram de base para as diversas simulações realizadas:

³³ A construção dos cenários hipotéticos foi realizada a partir da análise de informações relativas à série histórica orçamentária, de informações e perspectivas para o Orçamento 2026 obtidas no canal técnico e de estudos prospectivos do cenário econômico Brasileiro atual e seus reflexos para a elaboração da peça orçamentária do EB.

Tabela 3 - Processos, valores e metas projetadas por cenário (Dados de entrada)

Processo	Indicador de Desempenho	Unidade de Medida	Cenário Mínimo		Cenário Desejável		Cenário Ideal	
			Valor Mínimo (R\$)	Meta Min	Valor Desejável (R\$)	Meta Desejável	Valor Ideal (R\$)	Meta Ideal
Gerir Logística de Suprimento de Material Classe II – Eqpt Ind, Mat Estacionamento e Aljt	Índice de atendimento de demandas Sist Cdt Nec Log	%	9.251.253,00	66%	18.351.561,90	77%	23.816.974,95	92%
Gerir Logística de Suprimento de Material Classe III - Óleo Diesel	Índice de estoque de óleo diesel	Meses (%)	40.501.873,80	6 (33%)	64.606.870,00	9 (50%)	130.169.549,00	18 (100%)
Gerir Logística de Suprimento de Material Classe V - Munição Leve	Índice de estoque de munição leve	%	26.390.636,10	50%	31.709.964,24	80%	92.031.286,00	95%
Gerir Logística de Suprimento de Material Classe V - Pesada	Índice de estoque de munição pesada	%	76.026.500,25	55%	85.629.847,65	78%	156.967.913,30	95%
Gerir Logística de Suprimento de Material Classe V - Não Letal	Índice de estoque de munição não letal	%	6.103.766,15	55%	6.296.516,66	78%	6.939.018,36	89%
Gerir Logística de Suprimento de Material Classe V - Granadas e Explosivos	Índice de estoque de granadas e explosivos	%	1.689.235,20	57%	1.801.850,88	65%	2.158.467,20	72%
Gerir Manutenção Preventiva das Viaturas Operacionais Blindadas (sobre lagartas)	Índice de disponibilidade de Viatura Blindada sobre lagarta - Preventiva	%	11.175.866,10	34%	15.250.984,92	48%	29.452.171,68	88%
Gerir Manutenção Corretiva das Viaturas Operacionais Blindadas (sobre lagartas)	Índice de disponibilidade de Viatura Blindada sobre lagarta - Corretiva	%	11.625.864,30	40%	16.089.424,56	52%	28.125.497,28	88%
Gerir Manutenção Preventiva do Armamento Leve	Índice de disponibilidade de Armamento Leve	%	2.244.952,80	30%	2.860.483,23	45%	5.419.840,40	75%
Gerir Manutenção Corretiva do Armamento Leve	Índice de disponibilidade de Armamento Leve	%	1.490.572,80	30%	1.893.454,15	40%	3.262.169,00	75%
Somatório (Σ) (R\$) /Média global de desempenho			186.500.520,50	45%	244.490.958,19	61%	478.342.887,17	87%

Fonte: Base de dados do SIOPLEEx (elaboração da POAEx 2026 – fase quantitativa do PLOA EB/2026)

2. VARIAÇÃO DO PARÂMETRO “VALOR ORÇAMENTÁRIO DISPONÍVEL”

Para proceder a análise e validação do modelo, foi adotado o valor orçamentário disponível como parâmetro variável para realização das simulações, mantendo-se constantes os demais dados de entrada.

Foram estabelecidos 7 (sete) cenários orçamentários distintos para aferir o comportamento e a eficiência do modelo. O QUADRO 5 sintetiza os cenários simulados e suas respectivas características:

Quadro 5 - Cenários simulados e suas características

Cenário	Valor Orçamentário Disponível (R\$)	Faixa simulada	Interpretação da Faixa
C1	244.490.958,19	Idêntico ao Σ valor desejável (CENÁRIO BASE)	Funcionamento adequado dos processos, com metas desejáveis asseguradas.
C2	180.000.000,00	Abaixo do Σ Valor mínimo	Limitação extrema, possibilidade de inviabilidade dos processos
C3	186.500.520,50	Idêntico ao Σ valor mínimo	Operação crítica, tudo no limite minimamente viável
C4	220.000.000,00	Entre o Σ valor mínimo e o Σ valor desejável	Alívio parcial, mas os processos permanecem pressionados
C5	300.000.000,00	Entre o Σ valor desejável e o Σ valor ideal	Conforto crescente, avaliação de retornos (comparação entre desempenhos dos processos)
C6	478.342.887,17	Idêntico ao Σ valor ideal	Pleno atendimento dos processos e o máximo de resultado possível (limite da capacidade)
C7	490.000.000,00	Acima do Σ valor ideal	Análise de retornos marginais nulos. Possível ineficiência (extrapola capacidades dos processos)

Fonte: elaborado pelo autor.

3. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

As simulações realizadas com a extensão Solver do Microsoft Excel, foram efetivadas sob condições e estrutura de cálculo semelhante em cada um dos cenários. O detalhamento das configurações utilizadas se encontram na Seção 3.3 do trabalho.

Os resultados das simulações são apresentados na FIGURA 7, na sequência. Já os indicadores e parâmetros utilizados para análise e discussão dos resultados encontra-se na FIGURA 8. Quanto ao simulador e os relatórios de respostas gerados disponibiliza-se o acesso e consulta a planilha Excel utilizada na presente dissertação por intermédio do link a seguir:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1NcUKpXturh9i7EqMHWka_49K3_56rJoH/edit?usp=sharing&oid=111260132726103115709&rtpof=true&sd=true

Figura 7 - Resultados das simulações - Cenários C1 a C7

RESULTADO DAS SIMULAÇÕES															
CENÁRIOS SIMULADOS		CENÁRIO 1 (BASE)		CENÁRIO 2 (180 MI)		CENÁRIO 3		CENÁRIO 4		CENÁRIO 5		CENÁRIO 6		CENÁRIO 7 (490 MI)	
Nr Ord	Processo	ALOCÇÃO FINAL	RESULTADO FINAL	ALOCÇÃO FINAL	RESULTADO FINAL	ALOCÇÃO FINAL	RESULTADO FINAL	ALOCÇÃO FINAL	RESULTADO FINAL	ALOCÇÃO FINAL	RESULTADO FINAL	ALOCÇÃO FINAL	RESULTADO FINAL	ALOCÇÃO FINAL	RESULTADO FINAL
1	Gerir Logística de Suprimento de Material Classe II – Eqpt Ind, Mat Estacionamento e Ajlt	11.292.108,58	68%	9.251.253,00	66%	9.251.253,00	66%	9.251.253,00	66%	23.816.974,95	92%	23.816.974,95	92%	23.816.974,95	92%
2	Gerir Logística de Suprimento de Material Classe III - Óleo Diesel	40.501.873,80	33%	40.501.873,80	33%	40.501.873,80	33%	40.501.873,80	33%	83.486.049,24	64%	130.169.549,00	100%	130.169.549,00	100%
3	Gerir Logística de Suprimento de Material Classe V - Munição Leve	31.709.964,24	80%	26.390.636,10	50%	26.390.636,10	50%	31.709.964,24	80%	31.709.964,24	80%	92.031.286,00	95%	92.031.286,00	95%
4	Gerir Logística de Suprimento de Material Classe V - Pesada	85.629.847,65	78%	76.026.500,25	55%	76.026.500,25	55%	76.026.500,25	55%	85.629.847,65	78%	156.967.913,30	95%	156.967.913,30	95%
5	Gerir Logística de Suprimento de Material Classe V - Não Letal	6.939.018,36	79%	6.103.766,15	55%	6.103.766,15	55%	6.296.516,66	78%	6.939.018,36	79%	6.939.018,36	79%	6.939.018,36	79%
6	Gerir Logística de Suprimento de Material Classe V - Granadas e Explosivos	2.158.467,20	72%	1.689.235,20	57%	1.689.235,20	57%	2.158.467,20	72%	2.158.467,20	72%	2.158.467,20	72%	2.158.467,20	72%
7	Gerir Manutenção Preventiva das Viaturas Operacionais Blindadas (sobre lagartas)	29.452.171,68	88%	11.175.866,10	34%	11.175.866,10	34%	17.247.918,17	54%	29.452.171,68	88%	29.452.171,68	88%	29.452.171,68	88%
8	Gerir Manutenção Corretiva das Viaturas Operacionais Blindadas (sobre lagartas)	28.125.497,28	88%	11.625.864,30	40%	11.625.864,30	40%	28.125.497,28	88%	28.125.497,28	88%	28.125.497,28	88%	28.125.497,28	88%
9	Gerir Manutenção Preventiva do Armamento Leve	5.419.840,40	75%	2.244.952,80	30%	2.244.952,80	30%	5.419.840,40	75%	5.419.840,40	75%	5.419.840,40	75%	5.419.840,40	75%
10	Gerir Manutenção Corretiva do Armamento Leve	3.262.169,00	75%	1.490.572,80	30%	1.490.572,80	30%	3.262.169,00	75%	3.262.169,00	75%	3.262.169,00	75%	3.262.169,00	75%
SOMATÓRIO (R\$) / Média Global (%)		244.490.958,19	74%	186.500.520,50	45%	186.500.520,50	45%	220.000.000,00	68%	300.000.000,00	79%	478.342.887,17	86%	478.342.887,17	86%

Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 8 - Indicadores e parâmetros para análise e discussão dos resultados.

CENÁRIOS SIMULADOS	VALOR ORÇAMENTÁRIO DISPONÍVEL	ORÇAMENTO ALOCADO (SOLVER)	Meta Desempenho Otimizada (%)	ORÇAMENTO UTILIZADO (%)	ORÇAMENTO REMANESCENTE	META MÍNIMA GLOBAL	META IDEAL GLOBAL	% META IDEAL	% ACIMA DO MÍNIMO	EFICIÊNCIA ORÇAMENTÁRIA	Custo por Ponto da Meta	Ganho Marginal (Meta Média)
C1 a C7 (variações do limite orçamentário)	Valor orçamentário testado em cada cenário	Valor orçamentário alocado	Metas atingidas pelo Solver	% do limite efetivamente usado	Quantia não utilizada do orçamento	Informação de Entrada (ODS)	Informação de Entrada (ODS)	(Meta Média) + (Meta Ideal Global)	(Meta Média – Meta Mínima) ÷ (Meta Mínima)	Meta Média ÷ Valor Alocado	Valor Alocado ÷ Meta Média	Diferença da meta entre este cenário e o anterior
				Avaliar o quanto do orçamento disponível está sendo efetivamente utilizado em cada cenário.	Medir o montante de recursos que sobraram após a alocação ótima			Revela quão próximo o seu resultado chegou da meta ideal máxima em cada cenário.	Mostra o quanto o desempenho superou o mínimo aceitável, especialmente importante para cenários restritivos.	Indica quanto de meta foi atingido para cada unidade monetária investida, mostrando eficiência. Quanto maior, melhor.	Mostra o custo para cada unidade da meta atingida. Quanto menor, melhor.	Avalia o ganho marginal na meta ao elevar o orçamento entre cenários consecutivos.
C2	180.000.000,00	R\$ 186.500.520,50	45%	104%	-6.500.520,50	45%	86%	52%	0%	0,00000000241286	414.445.601,11	-
C3	186.500.520,50	R\$ 186.500.520,50	45%	100%	0,00	45%	86%	52%	0%	0,00000000241286	414.445.601,11	0%
C4	220.000.000,00	R\$ 220.000.000,00	68%	100%	0,00	45%	86%	79%	51%	0,00000000309091	323.529.411,76	23%
C1	244.490.958,19	R\$ 244.490.958,19	74%	100%	0,00	45%	86%	86%	64%	0,00000000302670	330.393.186,74	6%
C5	300.000.000,00	R\$ 300.000.000,00	79%	100%	0,00	45%	86%	92%	76%	0,00000000263333	379.746.835,44	5%
C6	478.342.887,17	R\$ 478.342.887,17	86%	100%	0,00	45%	86%	100%	91%	0,00000000179787	556.212.659,50	7%
C7	490.000.000,00	R\$ 478.342.887,17	86%	98%	11.657.112,83	45%	86%	100%	91%	0,00000000179787	556.212.659,50	0%
	PONTO DE SATURAÇÃO ORÇAMENTÁRIA	Propósito: Identifica em qual cenário aumentos no orçamento geram retornos marginais cada vez menores.										

Fonte: elaborado pelo autor.