



UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AEROESPACIAIS

**LELAND DELGADO ASSIS, Ten Cel Av**

**Aeronaves remotamente pilotadas de pequeno porte: estudo comparativo para emprego bélico na Força Aérea Brasileira**

Rio de Janeiro

2022

UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AEROESPACIAIS

**LELAND DELGADO ASSIS, Ten Cel Av**

Aeronaves remotamente pilotadas de pequeno porte: estudo comparativo para  
emprego bélico na Força Aérea Brasileira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Aeroespaciais da Universidade da Força Aérea como requisito para obtenção do Título de Mestre em Ciências Aeroespaciais. Orientador: Prof. Dr. Afonso Farias de Sousa Junior, Cel Int R/1.

Rio de Janeiro

2022

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da UNIFA**

A848a	<p>Assis, Leland Delgado.</p> <p>Aeronaves remotamente pilotadas de pequeno porte: estudo comparativo para emprego bélico na Força Aérea Brasileira / Leland Delgado Assis – Rio de Janeiro: Universidade da Força Aérea, 2022. 122 f.: il., enc.</p> <p>Orientador: Afonso Faria de Sousa Junior. Dissertação (mestrado) – Universidade da Força Aérea, Rio de Janeiro, 2022. Referências: f. 115-118</p> <p>1. Aeronaves Remotamente Pilotadas de Pequeno Porte. 2. Teoria Geral dos Sistemas. 3. Modelo NK. I. Título. II. Sousa Junior, Afonso Faria. III. Universidade da Força Aérea.</p> <p>CDU: 629.73:355.354</p>
-------	--



MINISTÉRIO DA DEFESA  
COMANDO DA AERONÁUTICA  
UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AEROESPACIAIS

LELAND DELGADO ASSIS

**AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS DE PEQUENO PORTE: ESTUDO COMPARATIVO PARA  
EMPREGO BÉLICO NA FAB**

Disertação aprovada pelos membros da Banca Examinadora, no dia 02 de dezembro de 2022, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Aeroespaciais pela Universidade da Força Aérea (UNIFEA).

Rio de Janeiro, RJ, 02 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. AFONSO FARIAS DE SOUSA JUNIOR (CPF: 957.655.588-15) – UNIFEA  
Presidente da Banca de Defesa

Prof. Dr. IV

gov.br

Documento assinado digitalmente  
IVAN MUNIZ DE MESQUITA  
Data: 13/12/2022 09:14:09-0900  
Verifique em <https://verificador.jf.br>

91-68) – UNIFEA

Prof. Dr. NEWTON HIRATA (CPF: 878.558.119-00) – UNIFEA  
Examinador Interno

Prof. Dr. DINO LINCOLN FIGUEIROA SANTOS (CPF: 041.298.954-44) – UFRN  
Examinador Externo

Prof. Dr. OSVALDO ALBUQUERQUE FONSECA (CPF: 387.328.907-53) – ESG  
Examinador Externo

## **DEDICATÓRIA**

À minha família, razão e motivação para busca por uma vida justa e perfeita.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço à Deus, pela oportunidade de reconstruir um destino. Aos amigos Alexandre Gonçalves e Andre Kurowski, pela participação fundamental na concepção e na execução da pesquisa. Ao meu orientador, pela constante instigação à ampliação de percepções, perspectivas e horizontes. Ao meu irmão Stephan, pela dedicação, pela inteligência e pela paciência por compartilhar seus conhecimentos, que tanto contribuíram para a construção desse trabalho. À minha irmã Daphne, pelo exemplo de resiliência e de alegria de viver, além do fundamental amparo nos momentos difíceis. Aos meus pais, pois responsáveis pela inegável solidez de valores, ensinados desde a mais tenra idade. À minha esposa Georgia, alma gêmea de minh'alma, pela honra de compartilharmos essa jornada: você é a luz de minha vida, a dona dos meus sorrisos!!! Muito obrigado por nossa paz!!! E à nossa filha Clara, maior presente que a Providência Divina nos reservou, fonte de inspiração para buscarmos, no limite das forças, uma realidade melhor!!!

O verdadeiro objetivo da guerra é a paz (SUN TZU, 2022).

## RESUMO

O primeiro registro do emprego de aeronaves remotamente pilotadas de pequeno porte (AR3P) ocorreu na Guerra da Ucrânia de 2014, quando drones comerciais foram adaptados para o transporte de artefatos explosivos, em um cenário de Guerra de 4<sup>a</sup> Geração. Tal condição apresentou uma oportunidade (ofensivamente) ou uma ameaça (defensivamente), para os planejadores militares, em função das capacidades dessas plataformas aéreas, ao alcance da população em geral. Para discutir o assunto, foi elaborada uma construção teórica baseada na aplicação do Modelo NK de Kaffuman, à luz da Teoria Geral dos Sistemas de Bertalanffy, com a proposição da hipótese da equifinalidade. Nessa perspectiva, um efeito pode ser obtido a partir de diferentes possibilidades de emprego, no caso, uma quantidade variável de AR3P ou um A-29. Com base em pesquisa bibliográfica e documental, o estudo apresentou simulações sobre o emprego de AR3P, drones comerciais com peso máximo de 25 Kg, adaptados para transportar explosivos. Foram calculadas as respectivas capacidades de produzir dano, em comparação com as capacidades de um Embraer A-29 Super Tucano, em configuração de emprego ar-solo. Foram calculadas e simuladas as quantidades de 7 e 22 AR3P, conforme o Modelo NK: N representa o número de variáveis ou o número de AR3P; e K representa o nível de interdependência entre as variáveis ou a quantidade de AR3P empregados em um mesmo ponto focal, com a respectiva superposição de áreas de dano. Como conclusão, foi comprovada a equifinalidade, demonstrando-se a gravidade do emprego de AR3P, cujo grau de ameaça deve ser entendido como similar ao de um A-29. A máxima probabilidade de êxito foi demonstrada como  $K = 0$  ou  $K = 1$ , para  $N = 7$  e para  $N = 22$ . Ainda como produto desse estudo, foi apresentado um banco de dados para permitir outros delineamentos de emprego de AR3P.

**Palavras-chave:** Aeronaves Remotamente Pilotadas de Pequeno Porte. Teoria Geral de Sistemas. Modelo NK.

## **ABSTRACT**

*The first record of the use of small remotely piloted aircraft (AR3P) occurred in the 2014 Ukrainian War, when commercial drones were adapted to transport explosive devices, in a 4th Generation War scenario. Such condition presented an opportunity (offensively) or a threat (defensively) for military planners, depending on the capabilities of these platforms, within reach of the general population. To discuss the subject, a theoretical framework was elaborated based on the application of Kauffman's NK Model, in the light of Bertalanffy's General Systems Theory, with the proposition of the equifinality hypothesis. From this perspective, an effect can be obtained from different possibilities, in this case, a variable amount of AR3P or an A-29. Based on bibliographic and documentary research, the study presented simulations on the use of AR3P, commercial drones with a maximum weight of 25 kg, adapted to transport explosives. The respective capabilities to produce damage were calculated, in comparison with the capabilities of an Embraer A-29 Super Tucano, in air-to-ground configuration. The amounts of 7 and 22 AR3P were calculated and simulated, according to the NK Model: N represents the number of variables or the number of AR3P; and K represents the level of interdependence between the variables or the amount of AR3P used in the same focal point, with the respective superposition of damage areas. In conclusion, equifinality was confirmed, demonstrating the seriousness of the use of AR3P, whose threat level must be understood as similar to that of an A-29. The maximum probability of success was demonstrated as  $K = 0$  or  $K = 1$  for  $N = 7$  and for  $N = 22$ . Also as a product of this study, a database was presented allow other designs for the use of AR3P.*

**Keywords:** *Small Remotely Piloted Aircraft. General Systems Theory. Model NK.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Combinações de mutações de 2 a 5 alelos .....	31
<b>Figura 2</b> – Paisagem quadridimensional de um gene .....	32
<b>Figura 3</b> – Paisagem quadridimensional de aptidão de um gene .....	33
<b>Figura 4</b> – Contribuição para aptidão .....	34
<b>Figura 5</b> – Arquitetura genética no Modelo de Kauffman .....	36
<b>Figura 6</b> – Representação Gráfica do Modelo NK .....	37
<b>Figura 7</b> – Representação Pictorial do Método.....	45
<b>Figura 8</b> – Imagem do DJI MG-1S .....	52
<b>Figura 9</b> – Interdependências para $N = 5$ .....	58

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Exemplos sobre grau de dano .....	47
<b>Quadro 2</b> – Índice de Eficácia – BAFG-230 – Área em ft <sup>2</sup> .....	49
<b>Quadro 3</b> – Área vulnerável para projéteis em ft <sup>2</sup> - Ângulo de impacto de 90° .....	50
<b>Quadro 4</b> – Especificações técnicas – DJI MG-1S .....	52
<b>Quadro 5</b> – Efeitos dos Valores do Fator de Exposição (E) .....	54
<b>Quadro 6</b> – Comparação de áreas de eficácia em Ft <sup>2</sup> .....	57
<b>Quadro 7</b> – Resumo dos dados N = 7; K = 0 .....	63
<b>Quadro 8</b> – Resumo dos dados N = 7; K = 1 .....	65
<b>Quadro 9</b> – Resumo dos dados N = 7; K = 2 .....	66
<b>Quadro 10</b> – Resumo dos dados N = 7; K = 3 .....	68
<b>Quadro 11</b> – Resumo dos dados N = 7; K = 4 .....	69
<b>Quadro 12</b> – Resumo dos dados N = 7; K = 5 .....	71
<b>Quadro 13</b> – Resumo dos dados N = 7; K = 6 .....	72
<b>Quadro 14</b> – Comparação de N = 7; K = [0 a 6] .....	72
<b>Quadro 15</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 0 .....	76
<b>Quadro 16</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 1 .....	78
<b>Quadro 17</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 2 .....	79
<b>Quadro 18</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 3 .....	81
<b>Quadro 19</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 4 .....	82
<b>Quadro 20</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 5 .....	84
<b>Quadro 21</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 6 .....	85
<b>Quadro 22</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 7 .....	87
<b>Quadro 23</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 8 .....	88
<b>Quadro 24</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 9 .....	90
<b>Quadro 25</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 10 .....	91
<b>Quadro 26</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 11 .....	93
<b>Quadro 27</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 12 .....	94
<b>Quadro 28</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 13 .....	96
<b>Quadro 29</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 14 .....	97
<b>Quadro 30</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 15 .....	99
<b>Quadro 31</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 16 .....	100
<b>Quadro 32</b> – Resumo dos dados N = 22; K = 17 .....	102

<b>Quadro 33</b> – Resumo dos dados $N = 22$ ; $K = 18$ .....	103
<b>Quadro 34</b> – Resumo dos dados $N = 22$ ; $K = 19$ .....	105
<b>Quadro 35</b> – Resumo dos dados $N = 22$ ; $K = 20$ .....	106
<b>Quadro 36</b> – Resumo dos dados $N = 22$ ; $K = 21$ .....	108
<b>Quadro 37</b> – Resumo dos dados $N = 22$ ; $K = [0 \text{ a } 6]$ .....	110

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Distribuição de Picos $N = 7$ ; $K = 0$ .....	62
<b>Gráfico 2</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 7$ ; $K = 0$ .....	63
<b>Gráfico 3</b> – Distribuição de Picos $N = 7$ ; $K = 1$ .....	64
<b>Gráfico 4</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 7$ ; $K = 1$ .....	64
<b>Gráfico 5</b> – Distribuição de Picos $N = 7$ ; $K = 2$ .....	65
<b>Gráfico 6</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 7$ ; $K = 2$ .....	66
<b>Gráfico 7</b> – Distribuição de Picos $N = 7$ ; $K = 3$ .....	67
<b>Gráfico 8</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 7$ ; $K = 3$ .....	67
<b>Gráfico 9</b> – Distribuição de Picos $N = 7$ ; $K = 4$ .....	68
<b>Gráfico 10</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 7$ ; $K = 4$ .....	69
<b>Gráfico 11</b> – Distribuição de Picos $N = 7$ ; $K = 5$ .....	70
<b>Gráfico 12</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 7$ ; $K = 5$ .....	70
<b>Gráfico 13</b> – Distribuição de Picos $N = 7$ ; $K = 6$ .....	71
<b>Gráfico 14</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 7$ ; $K = 6$ .....	72
<b>Gráfico 15</b> – Comparação de parâmetros para $N = 7$ ; $K = [0 \text{ a } 6]$ .....	73
<b>Gráfico 16</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 0$ .....	75
<b>Gráfico 17</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 0$ .....	76
<b>Gráfico 18</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 1$ .....	77
<b>Gráfico 19</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 1$ .....	77
<b>Gráfico 20</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 2$ .....	78
<b>Gráfico 21</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 2$ .....	79
<b>Gráfico 22</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 3$ .....	80
<b>Gráfico 23</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 3$ .....	80
<b>Gráfico 24</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 4$ .....	81
<b>Gráfico 25</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 4$ .....	82
<b>Gráfico 26</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 5$ .....	83
<b>Gráfico 27</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 5$ .....	83
<b>Gráfico 28</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 6$ .....	84
<b>Gráfico 29</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 6$ .....	85
<b>Gráfico 30</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 7$ .....	86
<b>Gráfico 31</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 7$ .....	86
<b>Gráfico 32</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 8$ .....	87

<b>Gráfico 33</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 8$ .....	88
<b>Gráfico 34</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 9$ .....	89
<b>Gráfico 35</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 9$ .....	89
<b>Gráfico 36</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 10$ .....	90
<b>Gráfico 37</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 10$ .....	91
<b>Gráfico 38</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 11$ .....	92
<b>Gráfico 39</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 11$ .....	92
<b>Gráfico 40</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 12$ .....	93
<b>Gráfico 41</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 12$ .....	94
<b>Gráfico 42</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 13$ .....	95
<b>Gráfico 43</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 13$ .....	95
<b>Gráfico 44</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 14$ .....	96
<b>Gráfico 45</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 14$ .....	97
<b>Gráfico 46</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 15$ .....	98
<b>Gráfico 47</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 15$ .....	98
<b>Gráfico 48</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 16$ .....	99
<b>Gráfico 49</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 16$ .....	100
<b>Gráfico 50</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 17$ .....	101
<b>Gráfico 51</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 17$ .....	101
<b>Gráfico 52</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 18$ .....	102
<b>Gráfico 53</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 18$ .....	103
<b>Gráfico 54</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 19$ .....	104
<b>Gráfico 55</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 19$ .....	104
<b>Gráfico 56</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 20$ .....	105
<b>Gráfico 57</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 20$ .....	106
<b>Gráfico 58</b> – Distribuição de Picos $N = 22$ ; $K = 21$ .....	107
<b>Gráfico 59</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos $N = 22$ ; $K = 21$ .....	107
<b>Gráfico 60</b> – Distribuição de Picos para $N = 22$ em função de $K$ .....	109
<b>Gráfico 61</b> – Distribuição de Máximos e Mínimos para $N = 22$ em função de $K$ .....	109

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

**A-29** - Embraer EMB-314 Super Tucano  
**AEE** - Área de Eficácia Equivalente  
**ANAC** - Agência Nacional de Aviação Civil  
**AR3P** - Aeronaves Remotamente Pilotadas de Pequeno Porte  
**ARP** - Aeronaves Remotamente Pilotadas  
**BAFG** - Bomba Aérea de Fins Gerais  
**CAepc** - Controle Aeroespacial  
**CAS** - *Close Air Support*  
**CCj** - Comandante Conjunto  
**Cmd Cj** - Comando Conjunto  
**CPC** - Comparação dos Poderes em Combate  
**DECEA** - Departamento de Controle do Espaço Aéreo  
**D5** - Seção de Planejamento do Estado-Maior Conjunto  
**ED** - Equações diferenciais  
**EMC** - Estado-Maior Conjunto  
**FAB** - Força Aérea Brasileira  
**FAC** - Força Aérea Componente  
**GRO** - Gerenciamento do Risco Operacional  
**IE** - Índice de Efetividade  
**ISA** - *International Standard Atmosphere*  
**JMEM** - *Joint Munitions Effectiveness Manuals*  
**JWS** - *Joint Munitions Effectiveness Manuals Weaponering System*  
**JTCG/ME** - *Joint Technical Coordinating Group for Munitions Effectiveness*  
**OACI** - Organização da Aviação Civil Internacional  
**PETN** – Pentolite  
**PPC** - Processo de Planejamento Conjunto  
**RCS** - *Radar Cross Section*  
**RPA** - *Remotely Piloted Aircraft*  
**SAC** - Sistema Adaptativo Complexo  
**SISCEAB** - Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro  
**SISDABRA** - Sistema de Defesa Aeroespacial Brasileiro

**TGS** - Teoria Geral dos Sistemas

**TGS** - Teatro de Operações

**TRI** - Teorias de Relações Internacionais

**UA** - *Unmanned Aircraft*

**US Army** - United States Army

**USAF** - United States Air Force

**VANT** - Veículo Aéreo Não Tripulado

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1</b>	<b>Estrutura da Dissertação.....</b>	<b>26</b>
<b>2</b>	<b>SISTEMAS, MODELO NK E PLANEJAMENTO OPERACIONAL.....</b>	<b>28</b>
<b>2.1</b>	<b>Teoria Geral dos Sistemas.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2</b>	<b>Modelo NK de Kauffman.....</b>	<b>30</b>
<b>2.3</b>	<b>Emprego Bélico.....</b>	<b>38</b>
<b>2.4</b>	<b>Planejamento Operacional.....</b>	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODO, COMPARAÇÕES E SIMULAÇÃO.....</b>	<b>44</b>
<b>3.1</b>	<b>Delineamento Preliminar.....</b>	<b>45</b>
3.1.1	Seleção do modelo de emprego do A-29.....	45
3.1.2	Seleção do modelo de emprego de AR3P.....	51
3.1.3	AR3P versus A-29.....	56
3.1.3.1	<i>Eficácia comparada ao emprego de Metralhadora Calibre 0.50 in.....</i>	<i>56</i>
3.1.3.2	<i>Eficácia comparada ao emprego de BAFG-230.....</i>	<i>56</i>
<b>3.2</b>	<b>Modelo NK.....</b>	<b>57</b>
<b>3.3</b>	<b>Simulação.....</b>	<b>59</b>
<b>4</b>	<b>SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA N = 7.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1</b>	<b>Cenário N = 7 e K = 0.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2</b>	<b>Cenário N = 7 e K = 1.....</b>	<b>64</b>
<b>4.3</b>	<b>Cenário N = 7 e K = 2.....</b>	<b>65</b>
<b>4.4</b>	<b>Cenário N = 7 e K = 3.....</b>	<b>67</b>
<b>4.5</b>	<b>Cenário N = 7 e K = 4.....</b>	<b>68</b>
<b>4.6</b>	<b>Cenário N = 7 e K = 5.....</b>	<b>70</b>
<b>4.7</b>	<b>Cenário N = 7 e K = 6.....</b>	<b>71</b>
<b>4.8</b>	<b>Síntese dos resultados de N = 7.....</b>	<b>72</b>
<b>5</b>	<b>SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA N = 22.....</b>	<b>75</b>
<b>5.1</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 0.....</b>	<b>75</b>
<b>5.2</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 1.....</b>	<b>77</b>
<b>5.3</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 2.....</b>	<b>78</b>
<b>5.4</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 3.....</b>	<b>80</b>
<b>5.5</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 4.....</b>	<b>81</b>
<b>5.6</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 5.....</b>	<b>83</b>
<b>5.7</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 6.....</b>	<b>84</b>
<b>5.8</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 7.....</b>	<b>86</b>
<b>5.9</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 8.....</b>	<b>87</b>
<b>5.10</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 9.....</b>	<b>89</b>
<b>5.11</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 10.....</b>	<b>90</b>
<b>5.12</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 11.....</b>	<b>92</b>
<b>5.13</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 12.....</b>	<b>93</b>
<b>5.14</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 13.....</b>	<b>95</b>
<b>5.15</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 14.....</b>	<b>96</b>
<b>5.16</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 15.....</b>	<b>98</b>
<b>5.17</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 16.....</b>	<b>99</b>
<b>5.18</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 17.....</b>	<b>101</b>

<b>5.19</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 18.....</b>	<b>102</b>
<b>5.20</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 19.....</b>	<b>104</b>
<b>5.21</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 20.....</b>	<b>105</b>
<b>5.22</b>	<b>Cenário N = 22 e K = 21.....</b>	<b>107</b>
<b>5.23</b>	<b>Síntese dos dados de N = 22.....</b>	<b>108</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>111</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>115</b>
	<b>APÊNDICE A – Banco de dados de algoritmos.....</b>	<b>119</b>
	<b>APÊNDICE B – Banco de dados de N = 7.....</b>	<b>121</b>
	<b>APÊNDICE C – Banco de dados de N = 22.....</b>	<b>122</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Buscando compreender o emprego bélico de Aeronaves Remotamente Pilotadas de Pequeno Porte (AR3P)<sup>1</sup>, foi proposta uma metodologia de análise e de simulação, visando-se à comparação entre o emprego de um número variável de AR3P e o emprego de uma aeronave de asa fixa, pertencente à Força Aérea Brasileira (FAB), como grupo de controle.

Em função do cenário em estudo, foi utilizado um perfil de emprego da aeronave Embraer EMB-314 Super Tucano, que recebeu a denominação de A-29 pela FAB. Projetada com as características de uma aeronave de ataque leve, é ideal para ações de ataque, de reconhecimento armado ou de apoio aéreo aproximado – quando o vetor aéreo é utilizado em suporte a tropas amigas, obrigatoriamente em contato<sup>2</sup> com tropas inimigas, (BRASIL, 2020a; 2020b).

Uma breve contextualização, sobre a evolução dos conflitos armados, demonstra a representatividade da pesquisa proposta, voltada para a discussão do emprego bélico de AR3P que, em última instância, é objeto de interesse dos aspectos doutrinários relacionados com a tarefa de Controle Aeroespacial, vinculada ao domínio do espaço aéreo e do espaço (BRASIL, 2020a; 2020b).

A Guerra dos 30 Anos, além de reescrever os mapas da Europa Ocidental, deixou uma marca indelével no inconsciente coletivo dos envolvidos, em razão da destruição até então nunca observada. Assim, o Tratado de Westfália de 1648 “fundou o Estado moderno, ao afirmar o primado dos interesses seculares dos soberanos” (MAGNOLI, 2015, p. 12) e consolidou o Estado-Nação como ente político detentor da exclusividade e da legitimidade do uso da violência. Lind (2004a) classifica as guerras deste período como guerras de primeira geração.

Conforme Magnoli (2015) aponta, entre 1648 e 1789, existiu um processo de profissionalização dos exércitos e aperfeiçoamento de forças navais. Posteriormente, o período de 1789 a 1914 caracterizou-se pela capitalização da guerra, como consequência da Revolução Industrial. Houve um intenso processo de racionalização, que ratificou a soberania estatal do uso da violência, com

um sistema que enxergava a guerra como um fenômeno total, político e militar, amparado na mobilização de todos os recursos nacionais [...]. A obra de Clausewitz

---

<sup>1</sup> AR3P é o acrônimo sugerido pelo autor, do presente trabalho, que adota um modelo de indexação numérica das iniciais repetidas, típico de publicações militares. Refere-se a drones com peso máximo de decolagem menor ou igual 25 kg, conforme será melhor detalhado posteriormente.

<sup>2</sup> O termo “em contato” significa em presença de fogo inimigo, normalmente oriundo de infantaria ou de artilharia leve, blindadas ou não.

[...] desenhou os paradigmas usados pelos estadistas e pelos chefes militares para pensar a guerra. (MAGNOLI, 2015, p. 13).

Este cenário favoreceu o vertiginoso progresso alcançado pela engenharia bélica, levando ao desenvolvimento de artefatos que ampliaram ainda mais a capacidade de destruição: metralhadoras, fuzis de assalto, navios encouraçados, armas pesadas, submarinos e aviões. Por esta razão, também foram assinados diversos tratados, ratificando-se a preponderância dos Estados, com o objetivo de disciplinar o uso da violência (MAGNOLI, 2015). A Primeira Guerra Mundial, com a predominância da artilharia pesada, definiu a guerra de segunda geração (LIND, 2004a).

Progredindo o transcurso histórico, observou-se o início da globalização dos conflitos com a Primeira e a Segunda Guerras Mundiais. Os combates iniciados em 1939, caracterizados por grande mobilidade, definiram a chamada guerra de terceira geração (LIND, 2004a)

Posteriormente, uma prolongada Guerra Fria, decorrente da disputa geopolítica entre os Estados Unidos da América (EUA) e a União Soviética (URSS), originou diversos conflitos secundários, tais como a Guerra do Vietnã e a Invasão do Afeganistão (MAGNOLI, 2015).

O final da Guerra Fria “pareceu confirmar as superioridades militar, econômica e ideológica do Ocidente” (SCHUURMAN, 2011, p. 47).

[Entretanto], a ilusão criada de um mundo mais pacífico Pós-Guerra Fria não se concretizou, e o mundo está cada dia mais armado e os conflitos [têm] se multiplicado. Assim como o poder de infligir danos materiais e mortes em um novo cenário de guerra sem fronteiras, onde os valores estratégicos das ações de grupos irregulares visam à desestabilização do Estado e a imposição pela força e pelo medo suas ideologias. (MIRANDA; NASCIMENTO, 2011, p. 5).

Este contexto define, conforme Lind (2004a, p. 13), a guerra de quarta geração<sup>3</sup>, na qual o Estado perdeu o monopólio bélico ao lutar contra oponentes não-estatais, sendo que em “praticamente em todos os lugares o Estado está perdendo”.

Observa-se que o desenvolvimento tecnológico e doutrinário foi tão significativo que caracterizou os marcos ou mudanças entre gerações de guerras (LIND, 2004a) e, embora isoladamente não represente uma garantia de vitória, sempre interferiu na condução dos conflitos bélicos (JOHN, 2014).

Desde o uso de arcos compostos por Genghis Khan, passando pelo lançamento de artefatos nucleares na Segunda Guerra Mundial, as surpresas tecnológicas foram disruptivas

---

<sup>3</sup> Alguns autores referem-se às guerras de 5ª, 6ª ou outras gerações. Ocorre que, conforme Lind (2004b, tradução nossa) afirma, “embora as tentativas de pensar além das Quatro Gerações devam ser geralmente incentivadas, há alguns percalços a serem evitados. Um é o determinismo tecnológico, a falsa noção de que o resultado da guerra é geralmente determinado pela superioridade do equipamento.[...] Outro perigo relacionado é o mercantilismo tecnológico: inventar slogans comerciais, para vender novos programas de armas, alegando que eles mudam fundamentalmente a guerra”. Por essa razão, tais conceitos não serão discutidos nesse trabalho.

enquanto ameaças, pois associadas às estratégias empregadas e aos respectivos contextos históricos. Conseqüentemente, a utilização de veículos não tripulados se enquadra na mesma categoria (JOHN, 2014, p. 1).

O desenvolvimento tecnológico dos veículos não tripulados, do ponto de vista conceitual, iniciado “em 1898, [quando] Nicola Tesla construiu uma embarcação controlada por rádio, classificada pelo próprio como arma em potencial”, permitiu extensa experimentação durante o século XX, culminando com a construção de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) de categoria militar, com capacidade de lançamento de armamento inteligente (JOHN, 2014, p. 3, tradução nossa).

Conforme John (2014), existem duas explicações para a prevalência do interesse militar no uso de sistemas não tripulados. A primeira e mais óbvia é que a multiplicação de seu uso, ao redor do mundo, ocorreu em função do desenvolvimento tecnológico, dos custos e da persistência dos conflitos fomentados dentro da sociedade moderna. A segunda explanação, embora subjetiva, refere-se à fascinação provocada pela utilização de tais sistemas para o atendimento de diversos interesses e motivações, de pessoas físicas ou jurídicas. Engenheiros, filósofos, políticos e, especialmente, comandantes militares identificaram, respectivamente, conforme cada área de aplicação, uma série de vantagens.

Paralelo à construção de ARP militares, também ocorreu a disseminação de categorias comerciais, em diversas atividades de cunho civil, desde o controle de fronteiras até a realização de pesquisas, passando por vigilância e entretenimento, levando ao surgimento de ameaças associadas a tais oportunidades. Requisitos relacionados com a violação de privacidade, as interferências com o controle de tráfego aéreo, a segurança de instalações, dentre outros, passaram a compor o cenário de análise de riscos em função da utilização desses equipamentos em ambientes públicos (HARTMANN; GILES, 2016, p. 205).

[Por essa razão, os] drones desempenharam papéis críticos e decisivos em cinco grandes guerras nos últimos cinco anos (Síria, Líbia, Nagorno-Karabakh, Iêmen e Ucrânia). O sucesso deles foi auxiliado por sua capacidade de evitar a detecção e destruição por sistemas convencionais de defesa. Isso ocorre porque os sistemas de defesa são projetados, principalmente, para detectar e interceptar aeronaves e mísseis balísticos, que possuem uma grande seção reta radar (radar cross section – RCS) (AL-GARNI, 2022, p. 3, tradução nossa).

Em complemento, ao comparar a guerra da Guerra da Ucrânia de 2022 com a guerra de Yom Kippur, Hinkin (2022, p. 13, tradução nossa) afirma que a “efetividade dos drones teve mais a ver com sua contribuição relativa do que com sua contribuição absoluta.” Essa característica acompanhou a evolução do emprego dos ARP, provocando uma mudança de

paradigma na condução da guerra, com a demonstração de extensiva capacidade de destruição de equipamentos russos.

Dentro do contexto apresentado, o conflito da Ucrânia, no período de 2014 a 2016, representou um marco, do ponto de vista militar, pela introdução de um grande número de ARP adaptados para uso como armamento nas operações de guerra, embora projetados para uso civil. Tanto os separatistas quanto as forças armadas ucranianas utilizaram-se de equipamentos comerciais, com diversas gradações de modificação ou adaptação, demonstrando a capacidade de atuar em ações ofensivas e defensivas (HARTMANN; GILES, 2016, p. 211). Essa condição caracteriza o processo de *weaponization*<sup>4</sup>.

Partindo-se do ponto de vista acadêmico, não foram identificadas fontes disponíveis para um adequado aprofundamento da discussão sobre a Guerra de Ucrânia de 2014. Entretanto, verificou-se que a principal característica, decorrente da *weaponization* dos AR3P, vinculou-se à facilidade de acesso aos componentes, necessários para as respectivas adaptações, já que

as mesmas armas e munições que são adquiridas para serem utilizadas contra um inimigo externo também podem ser utilizadas contra adversários domésticos. Todavia, o ponto que queremos destacar é que os agentes encarregados do governo do Estado estão necessariamente obrigados a contemplarem ambas [as] dimensões simultaneamente. Em outras palavras, os agentes dos Estados não estão limitados a somente enfrentar as pressões da estrutura do sistema internacional. Estes mesmos agentes também enfrentam pressões da estrutura doméstica do Estado. A estrutura interna do Estado também pode ser pensada como geradora de um dilema de segurança que impele os agentes encarregados do governo a reproduzir o Estado de maneira particular. Governantes estão cientes de que o tecido do Estado pode ser destruído não somente por forças externas, mas também por forças internas. (HEYE, 2015, p. 111).

Conseqüentemente, o advento de *weaponization* também pode representar uma ameaça de interesse para a FAB pois, doutrinariamente, “ter o controle do espaço aéreo durante os tempos de paz, permite o controle de acesso também em tempos de tensão e fornece segurança contra ataques [*sic*] aéreos inimigos em tempos de conflito” (BRASIL, 2020b, p. 14).

Dessa forma, a compreensão sobre os efeitos obtidos com o emprego bélico de AR3P deve ser considerada, dentro dos planejamentos militares, para a análise sobre

os riscos operacionais, aqui conceituados como uma combinação de probabilidade e gravidade dos potenciais danos ao andamento de uma operação, [que] estarão associados à existência de perigos ou serão decorrentes de ações adversas advindas das possibilidades do oponente, de fatores ambientais e demais incertezas (BRASIL, 2020d, p. 35).

A justificativa e a relevância da pesquisa encontram eco no próprio transcurso histórico das guerras, que favoreceu o advento do emprego de AR3P.

---

<sup>4</sup> *Weaponization* significa adaptar um objeto para torná-lo apto para uso como armamento (OXFORD, 2021).

Após a Primeira Guerra Mundial, o “desejo passional de evitar a guerra determinou todo o curso e direção iniciais do estudo” (CARR, 2001, p. 11) das Teorias de Relações Internacionais (TRI). Entretanto, analisando-se a trajetória histórica, Creveld (1999, p. 183, tradução nossa) afirma que

após quatro séculos e meio de desenvolvimento, iniciado por volta de 1300, o Estado talvez seja a mais poderosa criação política de todos os tempos. Contando com forças armadas regulares (inicialmente os militares, depois a polícia e o sistema carcerário), impôs a ordem à sociedade até o ponto em que as únicas organizações capazes de as desafiar seriam outras do mesmo tipo.

Extrapolando tal conceituação, para o sistema anárquico internacional, afirmam Art e Waltz (1993) que as potências militares desempenhariam um papel de criadores da ordem no caos. Eventualmente este ordenamento é obtido pela ameaça do uso da força ou por sua efetiva aplicação, invariavelmente com reflexos de importância internacional. Basicamente, o estudo do emprego da força, neste cenário, vincula-se a quatro questões centrais:

- a) quais os meios que um Estado possui para empregar sua força militar?
- b) o que determina o modo como esta força será empregada?
- c) quais circunstâncias favorecerão a intenção de uso da força?
- d) como poderão controlar a corrida armamentista desenvolvida em seu entorno?

Ao responder a estas questões, intrinsecamente relacionadas com a possibilidade de emprego de AR3P, ao alcance da população, teremos uma descrição de uma possibilidade de estratégia de atuação de determinado Estado, com impacto direto nos planejamentos militares.

Assim, com a respectiva evolução das TRI, a obra de Waltz (2010) representou o marco teórico do Neorealismo, buscando explicações para os conflitos do cenário pós-Guerra Fria a partir de uma visão sistêmica.

Qualquer abordagem sobre política internacional, para que seja adequadamente denominada sistêmica precisa, no mínimo, tentar inferir algumas expectativas sobre o comportamento do Estado e de suas interações, a partir do conhecimento de elementos de nível sistêmico (WALTZ, 2010, p. 50, tradução nossa).

Por esta razão, não é possível compreender a política mundial apenas olhando para os Estados, sob risco de limitar-se o entendimento do cenário a simples descrições. Seria necessária uma constante revisão das variáveis em estudo, dada a complexidade das interações, em uma espiral lógica infundável. As eventuais omissões no estudo das interações internacionais levariam a uma falha conceitual que poderia comprometer o resultado da análise (WALTZ, 2010).

Waltz (2010) afirma que é necessário observar as interações dos diversos atores, que diferem da estrutura do Estado e podem alterar os resultados observados. A quantidade de variáveis e a quantidade de possibilidades de interações excluem a possibilidade de análise

apenas do conjunto geral, enquanto aparelho estatal. Desta forma, a visão sistêmica mostrará a lógica e o resultado global de interações e de fatos que poderiam permanecer sem explicação, caso fossem analisados isoladamente. Primordialmente seria possível entender por que ocorre um conflito, o que esperar do mesmo, como solucioná-lo e, como consequência, como alterar os respectivos resultados.

Assim, conforme Hartmann e Giles (2016) explicam, a utilização de AR3P como plataforma de armas, ao alcance da população, permitiu a potencialização da aplicação da violência, dadas as características dessas plataformas. Estando à disposição de diversos atores – tais como população, exército regular, forças irregulares – o emprego de AR3P ratifica as definições de guerra de quarta geração, com o “retorno da guerra entre um mundo de culturas, não meramente Estados, em conflito” (LIND, 2004a, p. 13). Além disso, Creveld (1999, p. 377, tradução nossa) afirmou que “a ascensão do Estado é inseparável do desenvolvimento da tecnologia moderna”. Portanto, reciprocamente, o estudo sobre o progresso técnico de artefatos bélicos, favorecerá a compreensão sobre fenômenos que podem provocar impactos sociais de projeção geopolítica.

Para uma devida contextualização, ao discutir a Guerra da Ucrânia de 2022, Henkin (2022, p. 14) afirma que

drones carregando quaisquer coisas, desde bombas caseiras até mísseis antitanque, foram vistos no campo de batalha, incluindo o que provavelmente era um ARP chinês de US\$ 9.500, convertido em uma bomba voadora. *Loitering munitions*<sup>5</sup>, que são tecnicamente ARPs, também foram adicionados à contagem. Os ucranianos admitiram que, na ofensiva de Kherson, apenas a 92ª Brigada Mecanizada perdeu quatro peças de artilharia e dois veículos blindados para drones suicidas russos.

Esse cenário incrementa as incertezas globais, já que a “política internacional pode ser considerada, por vezes, um reino de acidentes e convulsões, com mudanças bruscas e imprevisíveis” (WALTZ, 2010, p. 65). Nesse contexto, o processo de gerenciamento de risco operacional buscará soluções mitigadoras para, contornando-se tais incertezas, contribuir para o sucesso das operações militares, de caráter ofensivo ou defensivo (BRASIL, 2020d).

Ao discutir a compreensão sobre os efeitos, que podem ser produzidos com o emprego das AR3P, com o objetivo de potencializá-los e/ou mitigá-los, em ações, respectivamente, ofensivas ou defensivas, a partir de uma metodologia específica, observa-se a possibilidade de incremento de capacidades operacionais para emprego por parte da FAB.

---

<sup>5</sup> “Uma *loitering munition* é um tipo de ARP projetado para engajar alvos terrestres da linha além da linha de visada, com uma ogiva explosiva. São muitas vezes portáteis e frequentemente destinam-se a possibilitar o emprego de munições de precisão por parte de unidades de infantaria. São equipados com câmeras eletro-ópticas e infravermelhas de alta resolução que permitem a localização, o acompanhamento e o guiamento do veículo até o alvo. Podem permanecer no ar por um longo período antes de atingir o alvo, dando tempo para decidir-se quando e o que atacar” (GETTINGER; MICHEL, 2017, p. 1, tradução nossa). Em razão da capacidade de permanência, extrapolando-se o escopo da pesquisa, esse tipo de ARP não será analisado.

Portanto, foi estudado um modelamento, dos efeitos que podem ser provocados por AR3P, vocacionado para aplicação nos planejamentos militares da Força Aérea Brasileira (FAB) (BRASIL, 2020a; 2020b), como o principal direcionamento para a formulação da questão-problema.

Inicialmente, Clausewitz (2003, p. 91) afirmou que “o combate determinou a existência de armas e de equipamento, que por sua vez modificaram o combate. Existe, portanto, uma ação recíproca entre os dois”, demonstrando a necessidade do aprimoramento contínuo da doutrina militar. Desta forma, este trabalho definir-se-á pela seguinte questão: de que forma as AR3P podem ser empregados pela Força Aérea Brasileira, alternativamente a um A-29, nas ações de natureza bélica?

A possibilidade de *weaponization* de AR3P, enquanto inovação tecnológica, provocará a ação recíproca proposta por Clausewitz (2003), vocacionada para o aperfeiçoamento das técnicas militares que, nesse estudo, estão vocacionadas para a compreensão do emprego do poder aeroespacial.

Assim, adotando-se os fatores contextuais relacionados com a seleção do tipo de plataforma aérea em estudo, elenca-se a definição de Gray (2012, pp. 9-17, tradução nossa) na qual o “Poder Aéreo deve ser definido como a habilidade de se fazer algo útil estrategicamente por meio do ar”, sendo o foco de interesse deste estudo as capacidades decorrentes, quais sejam, “o julgamento sobre o que se espera que os vetores executem”.

Recentemente, os veículos aéreos não tripulados (VANT) surgiram como uma nova força de alta tecnologia. Usá-los para alcançar a supremacia aérea pode resultar em uma profunda transformação militar. Como resultado, sua eficácia tem sido frequentemente testada e avaliada em jogos de guerra. Com várias vantagens de desempenho, como maior agilidade, maior durabilidade de sobrecarga e maior capacidade furtiva, os VANT têm evoluído gradualmente e estão substituindo os sistemas tripulados em muitas missões aéreas. (LIMA FILHO et al., 2022, p. 21727).

Em complemento, a DCA 1-1 Doutrina Básica da Força Aérea (BRASIL, 2020b, p. 14, grifo nosso) define que o

Controle Aeroespacial (CAepc) é a Tarefa realizada com os propósitos de dominar o espaço aéreo e o espacial de interesse e de impedir que o inimigo faça o mesmo. Ter o controle do espaço aéreo durante os tempos de paz, permite o controle de acesso também em tempos de tensão e fornece segurança contra ataques aéreos inimigos em tempos de conflito. Além disso, o adequado CAepc fornece às forças amigas a liberdade de conduzir operações no momento e local de sua escolha, sem interferência aérea inimiga. **Consequentemente, a capacidade de obter o CAepc é a de maior prioridade em qualquer operação militar.**

Conseqüentemente, as possibilidades de emprego de AR3P, por vincularem-se à utilização do espaço aéreo, devem ser inseridas, em um contexto adequado, de mais alta prioridade, nos planejamentos operacionais da FAB<sup>6</sup>.

Considerando o universo de possibilidades de emprego de AR3P como um Sistema Adaptativo Complexo (HOLLAND, 1995), a condução do estudo delimitará os parâmetros de análise comparativa do emprego das plataformas aéreas AR3P e A-29.

Será testada a hipótese da equifinalidade, isto é, “o fato de que o mesmo estado final pode ser alcançado partindo de diferentes condições iniciais e de diferentes maneiras” (BERTALANFFY, 2010, p. 112), considerando-se que:

- a) AR3P podem substituir um A-29 em ações de ataque a instalações prediais comuns ou não fortificadas;
- b) AR3P podem substituir um A-29 em ações de ataque a viaturas não blindadas e/ou aeronaves estacionadas e/ou aeronaves em taxiamento<sup>7</sup>; e
- c) AR3P podem substituir um A-29 em ações de ataque a pessoal militar.

Para um adequado detalhamento, Edward Luttwak (apud ALSINA JÚNIOR, 2014, p. 36)

postula que há “cinco níveis em que a estratégia se desenrola: técnico, tático, operacional, teatro de operações e grande estratégia”. Esta taxonomia permite destacar o foco da presente pesquisa que será, portanto, o nível técnico, relacionado com as interações dos equipamentos ou máquinas que produzem os efeitos da guerra.

Assim, buscando a compreensão sobre os efeitos que podem ser obtidos em combate, a presente pesquisa tem por objetivo geral analisar o emprego de AR3P, como plataforma aérea, com vistas ao aprimoramento das capacidades da tarefa de Controle Aeroespacial (BRASIL, 2020b), a serem utilizadas nos processos de Gerenciamento de Risco Operacional (BRASIL, 2020d).

Foram elencados os seguintes objetivos específicos para a pesquisa:

1. Examinar a normatização sobre AR3P em âmbito nacional;
2. Identificar as características técnicas de interesse para a parametrização dos perfis de emprego de interesse para o estudo;
3. Verificar a parametrização dos danos decorrentes do emprego de uma aeronave A-29;

---

<sup>6</sup> Atualmente a FAB emprega aeronaves remotamente pilotadas, Hermes 450 e Hermes 900, vocacionadas para a Tarefa de Inteligência, Vigilância e Reconhecimento (IVR). (BRASIL, 2020a; 2020b). Considerando que não há previsão de emprego de armamento por essas aeronaves, e que os respectivos pesos de máximos de decolagem extrapolam os 25kg, estão fora do escopo da pesquisa e, portanto, não serão analisados.

<sup>7</sup> Taxiamento é o “deslocamento de uma aeronave por seus próprios meios na superfície terrestre, exceto quando pousando ou decolando”. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011)

4. Verificar a parametrização dos danos decorrentes do emprego bélico de AR3P;
5. Analisar comparativamente o emprego de um número variável de AR3P versus o emprego de uma aeronave A-29;
6. Analisar quais as opções, com maior probabilidade de êxito, para o emprego de AR3P;
7. Apresentar um banco de dados, que forneça o método para os cálculos, sobre as probabilidades de êxito, em diferentes perfis de emprego de AR3P.

Com o objetivo de delimitar-se o escopo da pesquisa, não serão abordados os possíveis transbordamentos e/ou desdobramentos vinculados a aspectos éticos, econômicos, políticos, legais<sup>8</sup>, éticos, filosóficos, nem vinculadas a processos decisórios. Por extensão, também não serão abordadas as aplicações em cenários de Segurança Pública, nem em cenários de Operações de Garantia da Lei e da Ordem<sup>9</sup>. Entretanto, os dados apresentados poderão subsidiar estudos ulteriores sobre os aspectos mencionados.

## 1.1 Estrutura da Dissertação

A presente pesquisa tem um caráter exploratório, com foco nos Estudos de Defesa, em função da limitação sobre a disponibilidade de bibliografia, vinculada ao processo de *weaponization* de AR3P, consequência do recente desenvolvimento tecnológico dessas plataformas aéreas<sup>10</sup> e da ampliação do respectivo impacto na condução de operações militares (SCHUURMAN, 2011).

Um levantamento bibliográfico e documental fundamentou a discussão sobre os parâmetros de emprego bélico de AR3P, também chamadas drones, para comparação com os parâmetros de emprego de uma aeronave de asa fixa pertencente ao acervo da FAB, adotada como grupo de controle.

O capítulo 2 tratará da fundamentação teórica, definição de parâmetros e definição das variáveis de interesse. Inicialmente, um levantamento bibliográfico e documental apresentará as especificações técnicas de interesse para a construção do estudo.

---

<sup>8</sup> Consequentemente, não serão abordados aspectos relacionados com o Direito Internacional dos Conflitos Armados, nem sobre o Direito Internacional sobre Direitos Humanos.

<sup>9</sup> “Operação militar determinada pelo Presidente da República e conduzida pelas Forças Armadas de forma episódica, em área previamente estabelecida e por tempo limitado, que tem por objetivo a preservação da ordem pública e da incolumidade das pessoas e do patrimônio em situações de esgotamento dos instrumentos para isso previstos no art. 144 da Constituição ou em outras em que se presume ser possível a perturbação da ordem” (BRASIL, 2016, p. 192).

<sup>10</sup> Plataforma aérea é uma “aeronave, pilotada ou não, capaz de receber equipamentos para o cumprimento de missões específicas” (BRASIL, 2016, p. 210).

O capítulo 3 apresentará o método de pesquisa, iniciado com uma análise sobre o emprego bélico, para a definição do número variável de AR3P, comparado com o perfil de emprego de uma aeronave Embraer EMB-314 Super Tucano (A-29), visando-se à definição dos parâmetros do Modelo NK (KAUFFMAN, 1993). Tal modelo será utilizado para a obtenção de simulações matemáticas, com modelamento estatístico, para o estudo das interações entre as variáveis de interesse e seleção das opções mais eficientes de emprego.

O capítulo 4 discutirá a análise dos dados obtidos com as simulações obtidas a partir dos valores selecionados de “ $N = 7$ ”, apontando-se as opções mais eficientes conforme o método proposto.

O capítulo 5 discutirá a análise dos dados obtidos com as simulações obtidas a partir dos valores selecionados de “ $N = 22$ ”, apontando-se as opções mais eficientes conforme o método proposto.

O capítulo 6 apresenta a conclusão da pesquisa, elaborada com vistas ao aprimoramento dos processos de planejamento militar (BRASIL, 2020d).

Como produto entregável da pesquisa, foram anexados um conjunto de planilhas eletrônicas, que se configuram como banco de dados sobre o equacionamento de perfis de emprego de AR3P, nos cenários de interesse, para utilização em planejamentos militares. Com a repetição do método proposto, a simulação baseada no Modelo NK (KAUFFMAN, 1993) permitirá a discussão sobre a seleção da forma mais eficiente de aplicação bélica.

Cumprir-se-á a função social da Academia, pela contribuição para o cumprimento da missão básica da Força Aérea Brasileira, qual seja a de “manter a soberania do espaço aéreo e integrar o território nacional, com vistas à defesa da pátria” (BRASIL, 2020a).

## 2 SISTEMAS, MODELO NK E PLANEJAMENTO OPERACIONAL

Para alcançarem-se os objetivos propostos, foi elaborada uma construção teórica associada à confluência de três eixos de análise (BERTALANFFY, 2010), que serão discutidos detalhadamente, para fundamentar o posterior modelamento da simulação baseada no Modelo NK de Kauffman (1993).

### 2.1 Teoria Geral dos Sistemas

A construção teórica da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), proposta por Bertalanffy (2010), foi selecionada para o estudo dos efeitos obtidos com o emprego de AR3P, em conflitos armados, no contexto de guerras de quarta geração (LIND, 2004a).

Conforme a construção epistemológica proposta por Bertalanffy (2010, p. 15), para o estudo dos sistemas, existem “três aspectos principais, que não são separáveis em conteúdo, mas distinguíveis na intenção”: a ciência dos sistemas, a tecnologia de sistemas e a filosofia dos sistemas. O primeiro refere-se à pesquisa científica direcionada para a compreensão de cenários, com tal quantidade de variáveis, que provocaria uma confluência interdisciplinar para o entendimento, não só dos elementos, mas de suas interrelações. Além disso, o isomorfismo de sistemas, mesmo de naturezas diferentes, também pode facilitar a compreensão de processos. O segundo ponto refere-se ao desenvolvimento de ferramentas matemáticas e/ou computacionais que possibilitariam tal confluência de soluções, conforme uma epistemologia própria e distinta, por exemplo, do positivismo. Por fim, o último tópico refere-se à reformulação dos referenciais e da percepção de mundo, em função da concepção do “sistema” como novo paradigma científico.

Dessa forma, o conjunto dos três aspectos citados foi utilizado como alicerce para a construção teórica dessa pesquisa.

Com relação ao primeiro aspecto, para uma adequada compreensão sobre o emprego de AR3P, em razão da quantidade de variáveis envolvidas,

tornou-se necessário um “enfoque sistêmico”. Suponhamos que seja dado um certo objetivo. A descoberta dos meios e modos que levem à sua realização requer um especialista de sistemas (ou uma equipe de especialistas), para examinar as soluções possíveis e escolher as que prometem ter caráter ótimo com a máxima eficiência e o mínimo custo numa rede tremendamente complexa de interações. Isto exige técnicas complicadas e computadores para resolverem problemas que transcendem de muito a capacidade de qualquer matemático individual (BERTALANFFY, 2010, p. 22)

O delineamento do segundo aspecto, relacionado com a seleção de ferramentas matemáticas, foi obtido com a adoção do Modelo NK de Kauffman (1993) para a realização

das simulações de todas as possibilidades e/ou probabilidades decorrentes do emprego de um sistema de equações diferenciais compostas<sup>11</sup>, conforme definido pela TGS. Conforme afirma Bertalanffy (2010, p. 62), tal condição foi atendida pois “frequentemente encontramos leis formalmente idênticas ou isomórficas em campos diferentes”.

Por fim, o terceiro aspecto, vinculado a um novo paradigma científico, representa o fornecimento de subsídios para um projeto de mudança da compreensão dos riscos envolvidos com a possibilidade de emprego de AR3P, na concepção de planejamentos militares (BRASIL, 2020d), ao considerar que

um projeto é um esforço temporário e único realizado para entregar um resultado. Esse resultado é sempre uma mudança na organização seja o que for em seus processos, desempenho, produtos ou serviços. Essa transformação consiste, então, em uma lacuna entre o início e o estado final (VIDAL; MARLE; BOCQUET, 2010, p. 718).

Dessa forma, o aprimoramento da concepção de ações e de contrarreações militares, dentro de cada cenário de interesse, com a incorporação das análises sobre os efeitos decorrentes do emprego de AR3P, potencializará a redução dos “riscos operacionais, aqui conceituados como uma combinação de probabilidade e de gravidade dos potenciais danos ao andamento de uma operação” (BRASIL, 2020d, p. 235).

Considerando que o escopo da pesquisa está relacionado com a compreensão de efeitos, infere-se que a pesquisa está intrinsecamente vocacionada para o fornecimento de dados a serem utilizados nas análises sobre a gravidade decorrente do emprego de AR3P.

Por essa razão, as conclusões obtidas podem aprimorar o gerenciamento de risco operacional, nos planejamentos militares, subsidiando-se:

a) a identificação das ameaças; b) a avaliação dos riscos decorrentes dos perigos; c) a formulação de medidas para controle do risco; d) a avaliação do risco residual; e) a decisão de risco; f) a implementação das “medidas de controle do risco”; e g) a supervisão quanto à eficácia de tais medidas (BRASIL, 2020d, p. 236).

Para tanto, um conjunto de conceitos foi utilizado como projeto teórico do emprego de AR3P, à luz da TGS (BERTALANFFY, 2010), considerando-se que a complexidade é decorrente da dificuldade de compreensão, previsão ou controle de seu comportamento global, mesmo com uma razoável quantidade de dados disponibilizados (VIDAL; MARLE; BOCQUET, 2010).

Também foi incorporado o conceito de equifinalidade da TGS, para a construção da respectiva hipótese a ser testada, partindo-se do “fato de que o mesmo estado final pode ser

---

<sup>11</sup> As demonstrações matemáticas, de interesse para a pesquisa, serão detalhadas posteriormente.

alcançado partindo de diferentes condições iniciais e de diferentes maneiras” (BERTALANFFY, 2010, p. 112).

Em função da infinidade de variáveis, o esforço para compreensão do emprego bélico de AR3P pode ser entendido como um projeto de alta complexidade, denominando-se, para os objetivos deste estudo, como um Sistema Adaptativo Complexo (SAC) (HOLLAND, 1995) que, conforme descrito posteriormente, apresenta duas variáveis independentes, quantidade de explosivos e tipo de explosivos<sup>12</sup>; e duas variáveis dependentes, área de dano e a letalidade<sup>13</sup>, cuja relação é calculada em função o fator de exposição (BRASIL, 2020d). O SAC será caracterizado, portanto, pelo perfil de voo de um conjunto variável de AR3P, direcionados para a obtenção de efeitos bélicos sobre alvos específicos.

## 2.2 Modelo NK de Kauffman

A partir do estudo da biologia evolucionária, Kauffman (1993, p. 14, tradução nossa) propôs a ampliação do conceito criado por Darwin, ao buscar compreender a capacidade de auto-organização demonstrada nos processos randômicos de seleção natural, dentro do paradigma de um sistema adaptativo complexo:

costumamos recorrer à seleção natural para reconhecer a ordem que vemos, mas acho que a resposta às nossas perguntas sobre o as origens da ordem são mais amplas. Já temos alguma ideia dos tipos de ordem espontânea que podem afetar a evolução biológica, e acredito que devemos fazer uma avaliação mais profunda de tal auto-organização. Devemos olhar para toda e qualquer direção que pareça lucrativa, porque qualquer ordem espontânea, que possa surgir, estará disponível para o uso contínuo da evolução. [...] Ao mesmo tempo, trabalhos em matemática, física, química e biologia estão revelando o quão abrangente os poderes de auto-organização podem ser.

Tal mudança de paradigma deve focar três eixos principais: as fontes da ordem, as propriedades vinculadas à ordem que podem ser moldadas por colaboração e as propriedades dos sistemas complexos que aprimoram as capacidades de adaptação (KAUFFMAN, 1993).

O casamento evolutivo de auto-organização e seleção natural é regido por uma lei: seleção atinge e mantém sistemas complexos equilibrados na fronteira, ou no limite, entre a ordem e o caos. Esses sistemas são mais capazes de coordenar tarefas complexas e evoluir em um ambiente complexo. As propriedades típicas ou genéricas de tais sistemas equilibrados emergem como potenciais universais não históricos em biologia (KAUFFMAN, 1993, p. 15, tradução nossa).

A construção do modelamento baseou-se na concepção de Wright (1931; 1932), de que um genótipo poderia ser caracterizado como um espaço de possibilidades de distribuição dos

---

<sup>12</sup> A quantidade e o tipo de explosivos especificados, conforme discutido posteriormente, para permitir a parametrização da simulação.

<sup>13</sup> A área de dano e a letalidade são calculadas em função do Fator de Exposição, conforme discutido posteriormente.

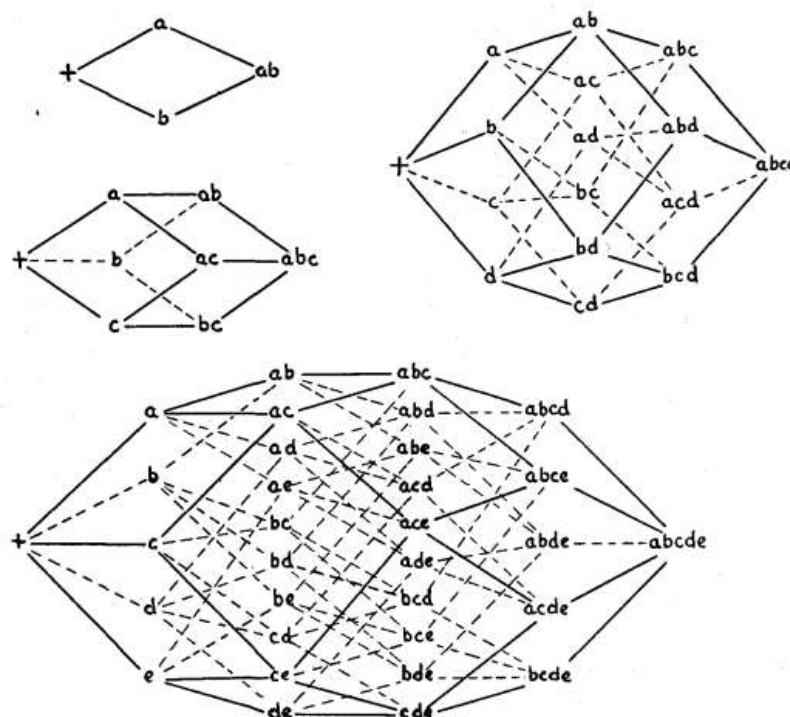
genes, denominada paisagem. Desenvolvendo-se o conceito, cada genótipo apresentaria também um conjunto de aptidões específicas que, distribuídos dentro da amostragem de possibilidades seria compreendido como “paisagem de aptidões” do genoma, ou código genético.

O código genético é o sistema bioquímico que estabelece as regras em que a sequência de nucleotídeos [ou aminoácidos] de um gene é transcrita em uma sequência de códons de mRNA e finalmente traduzido em uma sequência de aminoácidos de uma proteína correspondente. Este código é uma extensão do alfabeto de quatro letras das bases do DNA: adenina, guanina, citosina e timina, usualmente denotada por A, G, C, T onde o T no RNA é alterado para U, uracil. (SÁNCHEZ; MORGADO; GRAU, 2005, p. 1, tradução nossa).

Considerando o genoma como um sistema, a posição de cada gene, ou loci, representaria os respectivos componentes. Reciprocamente, para cada posição possível dos alelos, haveria em resultado genético distinto para a composição do genoma (KAUL; JACOBSON, 2006).

Em razão do acréscimo do número de alelos em estudo, existe o acréscimo dimensional na representação, conforme a Figura 1.

**Figura 1** – Combinações de mutações de 2 a 5 alelos



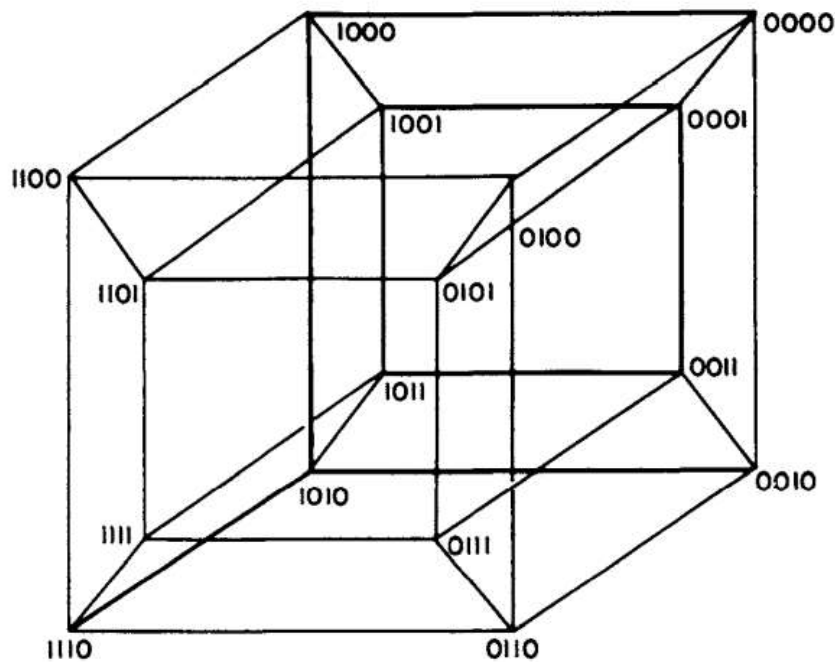
Fonte: Wright (1932, p. 357).

O efeito seletivo de uma mutação é condicional ao fundo genético em que aparece [...] Loci genéticos (ou seja, unidades de herança mendeliana) comumente exibem interações, o que implica que o efeito de uma mutação na aptidão (ou qualquer outro fenótipo) pode ser dependente dos alelos presentes em outros loci do genoma. Tais

interações são chamados de **epistasia** e são uma propriedade intrínseca do mapeamento do organismo deste o genótipo até o fenótipo. (WEINREICH; WATSON; CHAO, 2005, p. 1165, tradução nossa, grifo nosso).

Para a descrição dessas diversas epistasias, Kauffman (1993) propôs uma exemplificação gráfica a partir do estudo de uma organização proteica de um gene, baseada em dois aminoácidos, representados por “0” e “1”, em uma estrutura sequenciada de quatro desses aminoácidos. Assim, as 16 possibilidades poderiam ser representadas conforme a Figura 2. Nessa representação, partindo-se do ponto 0000, vão sendo registradas as possíveis mutações, uma a uma, até o ponto 1111. Essa seria uma simplificação da representação por letras A, G, C, T (SÁNCHEZ; MORGADO; GRAU, 2005), ao caracterizar a mudança ou mutação, a partir de uma distribuição inicial, como um exemplo de caráter universal.

**Figura 2** – Paisagem quadridimensional de um gene



**Fonte:** Kauffman (1993, p. 38).

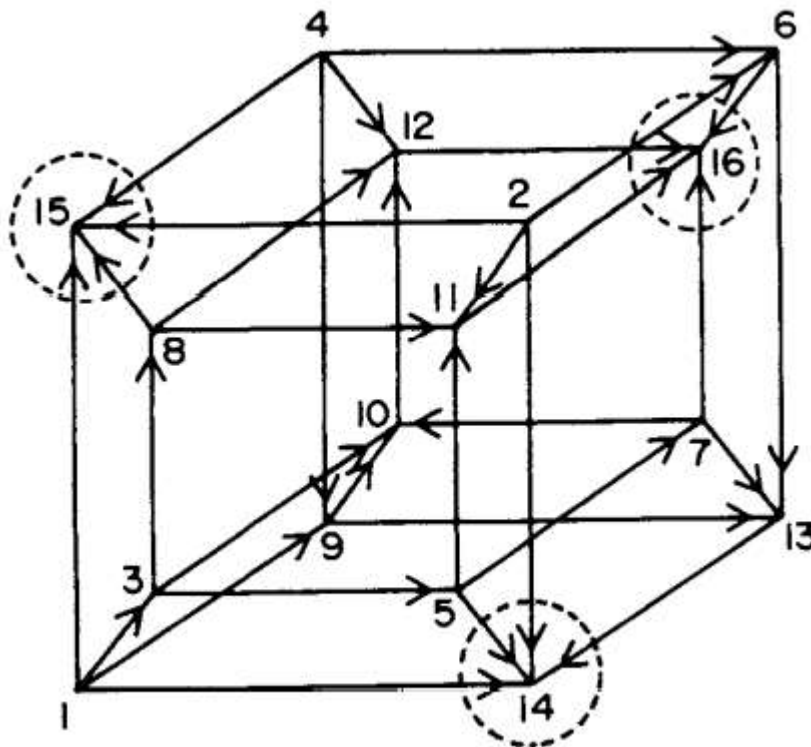
Apresentando uma adaptação do conceito da paisagens de aptidões, Kauffman (1993) demonstrou que estas poderiam ser estudadas a partir de um modelamento matemático, de caráter estocástico, que forneceria uma possibilidade de previsão dos genótipos com as melhores probabilidades de ocorrência, enquanto sistema adaptativo, a partir do estudo das respectivas paisagens de aptidões. Dentro dessas paisagens, cada pico representaria uma condição ótima. Portanto, conforme o exemplo anterior, a mesma estrutura proteica poderia ser

representada conforme um hipercubo booleano, com quatro dimensões, demonstrando-se as possibilidades de organização da paisagem ao longo do tempo.

Em todo conjunto finito podemos definir uma ordem parcial de diferentes maneiras. Mas aqui, a ordem parcial é definida de tal maneira que uma rede booleana das quatro bases é obtida e, conseqüentemente, sua álgebra booleana equivalente também é. Esta ordem parcial é obtida da ordem parcial das quatro bases de DNA definidas usando o número de ligação de hidrogênio e os tipos químicos de bases purina {A, G} e pirimidina {U,C}. (SÁNCHEZ; MORGADO; GRAU, 2005, p.4, tradução nossa).

Percebe-se que, no caso de uma progressão evolutiva, os vértices com o maior número de interconexões teriam maior probabilidade de ocorrência, representando os “picos do gráfico” nas posições 14, 15 e 16, configurando-se como os pontos ótimos locais, conforme a Figura 3.

**Figura 3** – Paisagem quadrimensional de aptidão de um gene



**Fonte:** Kauffman (1993, p. 38).

A contribuição de aptidão do gene  $W_i$ , no contexto do outros  $K$  genes, será consequência de uma atribuição aleatória nas combinações de alelos  $2^{(K+1)}$  dentro de  $K+1$  genes, ou possibilidades de loci. Assim, será possível definir-se a aptidão de um genótipo inteiro como a média das contribuições de todos os loci (KAUFFMAN, 1993, p. 42) a partir da fórmula:

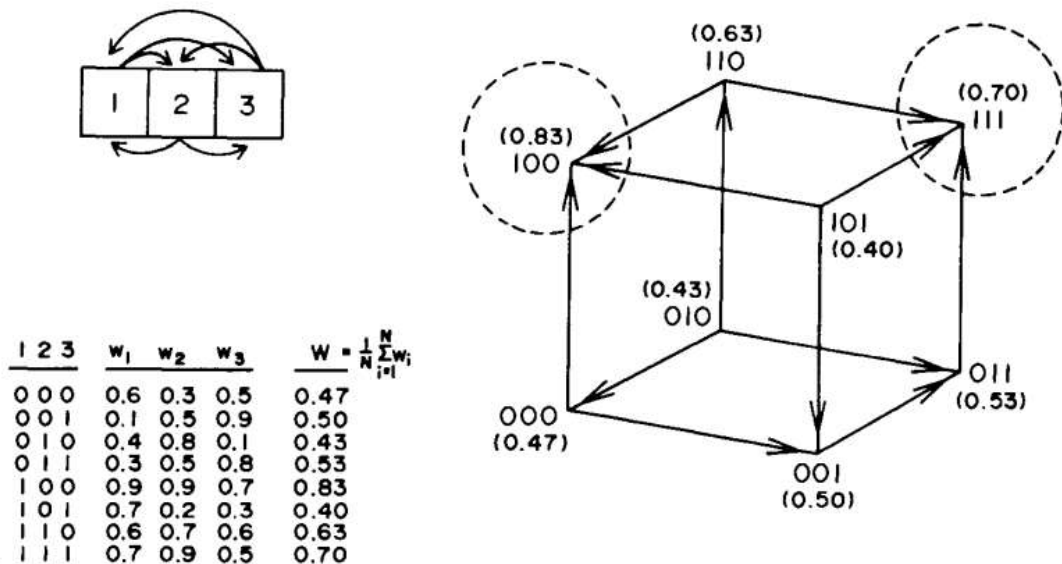
$$W = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i \quad (1)$$

Portanto, verificam-se os sinais de epistase, que poderá ser favorável ou deletéria (WEINREICH; WATSON; CHAO, 2005). As respectivas representações gráficas serão de

picos para as condições favoráveis, ou com maior número de correlações, e de vales para as condições deletérias, ou com menor número de correlações.

Exemplificando, com um valor hipotético de 2 alelos ( $K = 2$ ), representados por “0” e “1”, e considerando-se 3 genes de espaço amostral, teríamos  $2^3 = 8$  possibilidades para cada arranjo dos genes. Esse arranjo prevê uma paisagem para cada uma das posições genéticas possíveis que, representadas no cubo booleano, demonstram quais são as condições ótimas, conforme a Figura 4, com maior número de correlações, nas posições 100 e 111 (KAUFFMAN, 1993).

**Figura 4** – Contribuição para aptidão



Fonte: Kauffman (1993, p. 42).

Uma característica muito sensível do modelo são os valores de afinidade de intervalo atribuídos ao espaço dos genótipos. Este intervalo depende da suposição de que a aptidão valor atribuído a cada uma das combinações  $A^{K+1}$  de alelos influenciando cada alelo  $i$  foi sorteado aleatoriamente a partir do intervalo uniforme entre 0,0 e 1,0. Seria possível atribuir valores aleatórios de diferentes distribuições subjacentes – por exemplo, uma distribuição gaussiana com pico entre 0,0 e 1,0 em que os decimais aleatórios são mais propensos a estar perto de 0,5 do que perto de 0,0 e 1,0, ou uma distribuição em forma de U entre 0,0 e 1,0 em que os decimais aleatórios são mais propensos a estar perto de 1,0 ou 0,0 do que perto de 0,5. No caso gaussiano, esta escolha de alcance tenderia a “apertar” valores de aptidão atribuídos a todos os genótipos possíveis mais próximos da média dessa distribuição, 0,5. O uso da distribuição em forma de U tenderia a expandir o desvio de valores de aptidão atribuídos a todos os genótipos possíveis mais distantes da aptidão média do conjunto, 0,5. (KAUFFMAN, 1993, p. 43, tradução nossa).

Caracterizando cada paisagem, ou espaços de possibilidades, definidas para cada genótipo em análise,

as propriedades razoavelmente insensíveis das paisagens de adaptação geradas pelo modelo NK parecem incluir: o número de picos de aptidão no espaço do genótipo; os

comprimentos de caminhadas através de vizinhos mais aptos para ótimos de aptidão (equivalentemente, ao número de mutações aceitas em uma caminhada adaptativa); o número total de mutações testadas antes que um ótimo seja alcançado; a proporção de mutações aceitas e testadas em uma caminhada; o número de ótimos alternativos aos quais um genótipo pode escalar; o número de genótipos que podem subir para o mesmo ótimo; a taxa na qual a fração de vizinhos mais aptos diminui para zero ao longo das caminhadas para picos de adaptação; a semelhança de ótimos locais. (KAUFFMAN, 1993, p. 43, tradução nossa).

Consequentemente, o Modelo NK de Kauffman (1993) permite o estudo de redes de dados complexos, mesmo com naturezas diversas da concepção inicial – vocacionada para análises genéticas – na qual N representaria o número de elementos ou variáveis dentro de um sistema complexo.

A variável N refere-se ao número de atributos distintos em uma opção de política geral. Por exemplo, em uma escolha da estratégia de negócios de uma empresa, várias decisões devem ser tomadas, incluindo decisões sobre como o produto ou serviço deve ser comercializado, como questões de nome de marca e canais de distribuição; como deve ser produzido, como o grau em que as atividades serão realizadas dentro da empresa ou terceirizadas. A variável K refere-se à extensão em que o pagamento associado a uma opção de política depende de outras opções de política (GAVETTI; LEVINTHAL, 2000, p. 118, tradução nossa).

Comprovando tal flexibilidade, Frenken (2000) utilizou o Modelo NK para fundamentar o estudo da complexidade nas redes de inovação na história da indústria aeronáutica.

No modelo NK, a qualidade ou adequação de um ator na rede é simulada usando valores aleatórios para que a adequação de cada ator, e a adequação agregada da rede, seja calculada como a média  $f$  dos valores de adequação de todos os atores. A complexidade FXYZ de uma rede é indicada por K que se refere ao número de relações de dependência dentro de uma rede e possui um valor mínimo possível de  $K = 0$  e um valor máximo possível de  $K = N - 1$  (FRENKEN, 2000, p. 260, tradução nossa).

Segundo Frenken (2001) demonstrou, o Modelo NK (KAUFFMAN, 1993) foi empregado dentro de um contexto de engenharia de produção, para a análise da complexidade representada pelas interrelações, entre diferentes tarefas, necessárias para produzir uma saída específica.

Em outro estudo, Assis (2015) utilizou o Modelo NK (KAUFFMAN, 1993) para avaliação do resultado de interdependências de variáveis, dentro de um cenário ou projeto empresarial de gestão de multinacionais, com a análise das interdependências entre a matriz e suas respectivas filiais.

A possibilidade de utilização de modelamentos matemáticos com números extremamente grandes, para o estudo de estruturas genéticas, originou o conceito de “Evolução Molecular Aplicada, com grande possibilidade de aplicação médica e industrial”. Essa condição permitiu a construção de um modelamento evolutivo que demonstrasse a capacidade de um sistema adaptar o seu comportamento, em função da complexidade do ambiente, conforme duas possibilidades. Na primeira, a seleção poderá ocorrer a partir do surgimento espontâneo da ordem. Na segunda, a seleção ocorrerá conforme as características específicas de um sistema adaptativo complexo, posicionado entre a ordem e o caos. (KAUFFMAN, 1993, p. 15, tradução nossa)

Uma das possíveis correlações, por exemplo, define que o desenvolvimento dos organismos está bloqueado dentro de uma perspectiva histórica. Isso ocorre pois,

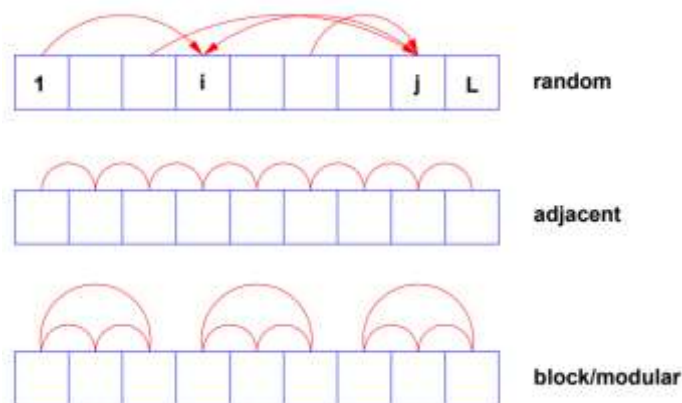
uma vez que os componentes são montados e uma vez que o sistema funciona, o sistema é um todo integrado. A remoção ou alteração brusca de qualquer componente provavelmente resultará em falha. Ou seja, as soluções, uma vez encontradas, são mais ou menos bloqueadas. [...] Não há dúvida de que a consciência sobre a influência histórica é adequada. A questão que devemos abordar é se pode haver uma ordem estatística dentro de tais processos (KAUFFMAN, 1993, p. 13, tradução nossa).

Consequentemente, esse é a chave para a aplicação do Modelo NK de Kauffman (1993) em estudos multidisciplinares, analisando-se as diversas configurações de um sistema adaptativo complexo, com o objetivo de prever qual seria a opção equivalente à seleção natural. Em outras palavras, qual seria a melhor resposta adaptativa, de um sistema, para um dado cenário.

Para atender aos objetivos deste trabalho, o Modelo NK (KAUFFMAN, 1993) foi adaptado ao cenário de emprego de AR3P, para simulação das interações de uma quantidade definida de 1 até “N” unidades de AR3P, com perfis de emprego distintos, baseados em “K” interdependências, ou seja, de atuação simultânea.

Além disso, conforme discutido por Krug (2014), a construção da arquitetura genética, dentro do Modelo NK de Kauffman (1993), pode ser randômica, adjacente ou modular, em diferentes padrões de inter-relacionamento, conforme ilustrado na Figura 5. Adotou-se a opção randômica, em função da melhor adequação ao escopo estudado.

**Figura 5** – Arquitetura genética no Modelo de Kauffman



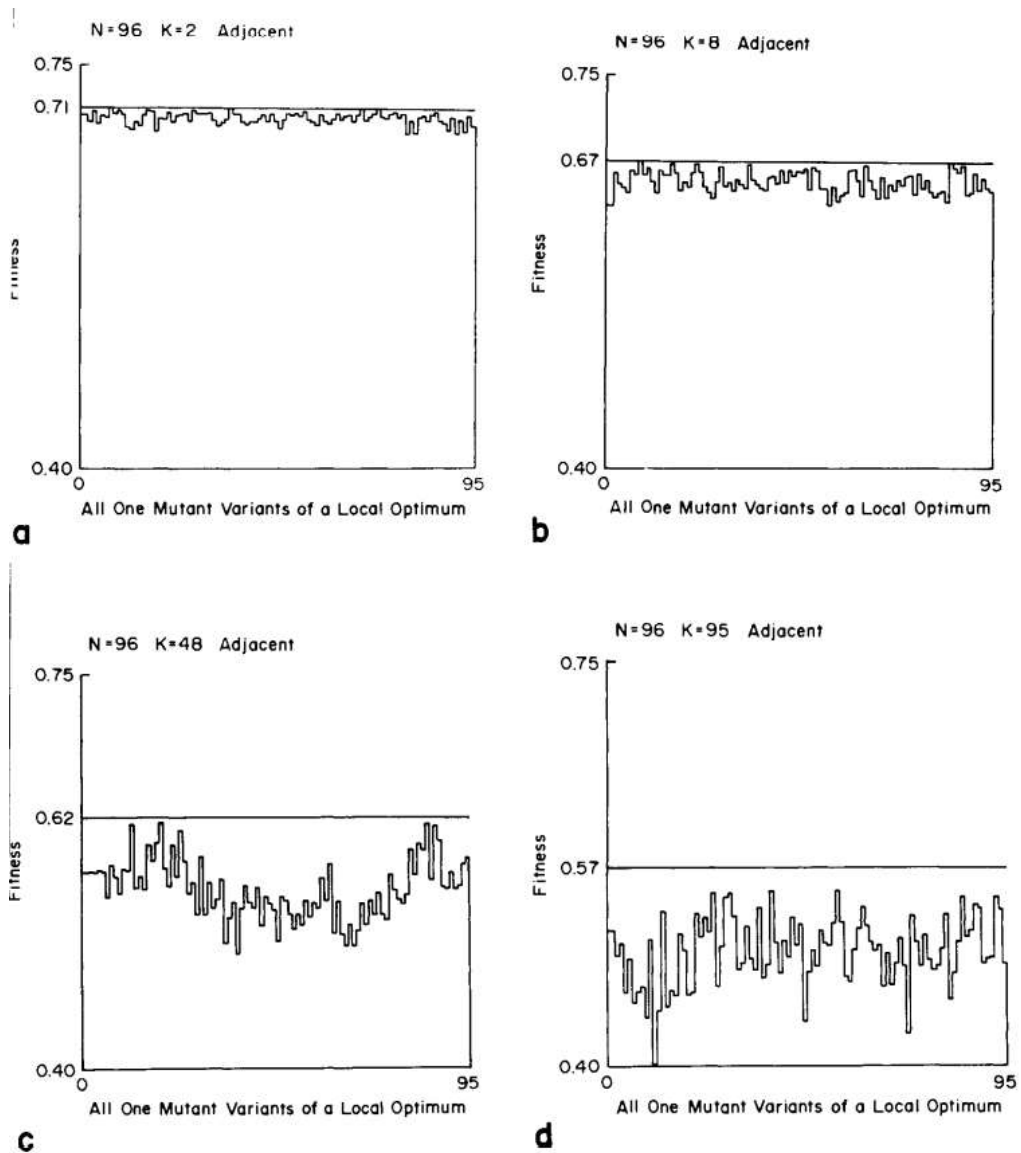
**Fonte:** Krug (2014).

Para permitir a comparação de dados, fundamentando a análise dos resultados, a representação gráfica do Modelo NK de Kauffman (1993) demonstra que,

sabendo-se que a população numa determinada paisagem irá buscar pontos ótimos (picos) de adaptação, segue que [...] um ótimo local é um pico local e um ótimo global é o maior pico dentre todos na paisagem de adaptação, e é caracterizado como a melhor adaptação possível em toda a paisagem (ASSIS, 2015, p. 39).

Portanto, quanto menor for o distanciamento do ponto ótimo, menor a probabilidade de sucesso. Conseqüentemente, o acréscimo de rugosidade, ou das oscilações na curva do gráfico, também representará a mesma condição, conforme ilustrado na Figura 6.

**Figura 6** – Representação Gráfica do Modelo NK



Fonte: Kauffman (1993, p. 59)

Para a construção do modelamento, foram realizadas comparações com um perfil de emprego da aeronave A-29 Super Tucano, a título de grupo de controle.

Em complemento, ressalta-se que, no caso do emprego

sem efeitos de interação, o cenário possui um único pico, sendo possível identificar políticas ou melhores práticas superiores, cuja superioridade é independente das outras características da empresa [ou da concepção de emprego] (GAVETTI; LEVINTHAL, 2000, p. 119, tradução nossa).

Dessa forma, os conceitos discutidos serão utilizados para a elaboração de uma simulação que representará, de forma pragmática, a seleção do melhor cenário para o emprego bélico de um número variável de AR3P.

### 2.3 Emprego Bélico

Conforme a visão neorrealista de Waltz (2010), a estabilidade global seria favorecida em um cenário de bipolaridade, tendendo para um equilíbrio geopolítico. Consequentemente, o advento dos conflitos de quarta geração (LIND, 2004a) caracterizou uma limitação dessa concepção, pois o desenrolar dos eventos históricos, do pós-Guerra Fria, provocou o distanciamento da condição de bipolaridade geopolítica e, consequentemente, do equilíbrio global esperado (MIRANDA; NASCIMENTO, 2011).

Assim, a compreensão dos efeitos de *weaponization* de AR3P, como potencializador da violência nas guerras de 4ª geração (LIND, 2004a), demandou-se uma fundamentação teórica capaz de absorver o grande número de variáveis envolvidas, sendo, portanto, selecionada a TGS (BERTALANFFY, 2010).

A partir de uma abordagem conceitual hipotética, quando o Ator A utiliza uma AR3P contra o Ator B, com o objetivo de provocar um efeito X, podemos iniciar uma série de considerações para buscar a compreensão de tal cenário.

Inicialmente, dentro do contexto apresentado, os Atores A e B podem ou não representar entes estatais, demonstrando que uma análise pontual não trará resultados.

Posteriormente, a magnitude do efeito X implicará amplo leque de possibilidades: dano, neutralização, destruição, paralisia estratégica, efeito psicológico etc.

Em complemento, as motivações inerentes ao emprego de AR3P, embora forneçam informações sobre o nível de atuação esperado: civilizacional, territorial, econômico, político, psicossocial etc., não serão analisados por extrapolarem o escopo do estudo.

Assim, os dados obtidos balizarão a construção das propostas de cursos de ação adequados para a potencialização do efeito, caso o analista seja partidário do Ator A, ou para a mitigação de risco, caso partidário do Ator B, típicos dos planejamentos militares.

Tal digressão, apresentada como um desenho hipotético, em razão da existência de uma infinidade de combinações possíveis, dentre as variáveis estudadas, levou ao encadeamento de uma rede de interações que, do ponto de vista teórico, equivale à utilização de uma análise sistêmica, à luz da TGS (BERTALANFFY, 2010), para a obtenção de dados de interesse para o aprimoramento dos planejamentos operacionais (BRASIL, 2020d), como consequência da compreensão e da inclusão do emprego de AR3P.

Em complemento, o delineamento dos efeitos produzidos, a partir do emprego de um número variável de AR3P, serão descritos a partir da abordagem técnico-militar, vinculada à construção da simulação conforme o Modelo NK de Kauffman (1993).

Fundamentando os cálculos, direcionados para a determinação dos possíveis efeitos, decorrentes do emprego das AR3P, foram delineados os parâmetros de emprego, para uma análise comparativa com o emprego de um A-29, a partir de estudos realizados pela United States Air Force (USAF) em parceria com o United States Army (US Army).

Em 1963, o Conselho de Apoio Aéreo Aproximado, um painel conjunto da USAF e do US Army, apresentou um relatório apontando falhas críticas quanto à completude e quanto à precisão de dados disponíveis para o planejamento do emprego ar-superfície de munições convencionais, ou não nucleares. Na ocasião, foi proposta a elaboração de uma publicação oficial que estabelecesse os requisitos de eficiência para o emprego aéreo contra alvos pré-determinados, que receberia o nome de *Joint Munitions Effectiveness Manuals* (Manuais Conjuntos sobre Eficácia de Armamentos – JMEM) (DRIELS, 2020).

Para tal tarefa, foi criado o *Joint Technical Coordinating Group for Munitions Effectiveness* (Grupo Conjunto de Coordenação Técnica sobre a Eficácia de Munições – JTCG/ME), que contou com a participação de cientistas, especialistas e militares. Ao longo da década de 1960, foram executados diversos aprimoramentos que resultaram na publicação de diversos relatórios e manuais. Foram incorporados dados obtidos nos campos de batalha, para validação dos dados obtidos a partir de modelamentos matemáticos e de experimentos controlados (DRIELS, 2020).

Ao longo das décadas de 1970, 1980 e 1990, o JTCG/ME sofreu modificações estruturais, incorporando a evolução de processo, métodos e doutrinas, para permitir a execução do planejamento do emprego militar com um modelamento padronizado, independentemente da força armada e do cenário naval, terrestre, aéreo etc. (DRIELS, 2020).

Com o desenvolvimento das tecnologias de informação, o conteúdo dos JMEM passou a ser disponibilizado na forma de ferramentas eletrônicas que, partir da década de 2000, passaram a adotar um paradigma centrado no alvo. Conforme essa nova abordagem, para o

estudo de um ataque a um alvo, é mais importante que se defina a efetividade de todos os armamentos que podem ser adequadamente empregados, independentemente da respectiva forma de lançamento. Esse novo modelamento recebeu o nome de *JMEM Weaponering System* (Sistema de Modelamento Bélico dos JMEM – JWS) (DRIELS, 2020).

Verificou-se que o modelamento do JWS, que representa o estado-da-arte sobre o tema, está alinhado como os objetivos da presente pesquisa. Por essa razão, a obra *Advanced Weaponering* de Morris R. Driels, editada pelo *American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc* foi selecionada, em função do completo detalhamento sobre

diversas metodologias utilizadas nos produtos operacionais do JTTCG/ME, incluído o JWS, amplamente utilizados pelo Exército, Marinha, Força Aérea e Fuzileiros Navais dos Estados Unidos, bem como por forças armadas de outros países (DRIELS, 2020, v. 1., p. 23, tradução nossa).

Em complemento, foram utilizados parâmetros propostos pelo manual do Comando da Aeronáutica MCA 135-2/2012 – Segurança de Explosivos (BRASIL, 2012, p. 14), elaborado a partir da tradução e adaptação do “*Air Force Manual 91-201 – Explosives Safety Standars* (AFMAN 91-201), publicação americana de referência para o trato com explosivos e munições”.

## 2.4 Planejamento Operacional

Para o entendimento adequado sobre o contexto em que ocorre um planejamento operacional, torna-se necessária a compreensão sobre o conceito de conflito, conforme apresentado no manual MD51-M04 – Doutrina Militar de Defesa (BRASIL, 2007).

As relações interpessoais, intergrupais e internacionais são orientadas para a satisfação de necessidades e para a conquista de objetivos, os quais sintetizam os interesses de cada ator. Os mecanismos de interação variam no tempo e no espaço, segundo a convergência ou a divergência de tais interesses. Quando prepondera a convergência, a cooperação entre os atores se faz naturalmente, ao passo que, em caso de divergência, instala-se o conflito. [Consequentemente, um] conflito é um fenômeno social caracterizado pelo choque de vontades decorrente do confronto de interesses, constituindo uma forma de buscar-se uma solução ou compromisso. Os meios a empregar e as ações a desenvolver dependem do poder relativo dos oponentes, da liberdade de ação concedida por outros atores e pela importância atribuída ao objetivo a conquistar ou manter. (BRASIL, 2007, p.21).

Assim, conforme o escopo proposto, serão analisados exclusivamente os aspectos relacionados com “emprego das FA contra ameaças externas ou forças de natureza militar, situação de maior complexidade para a manifestação da expressão militar do Poder Nacional.” (BRASIL, 2007, p.19). Essa condição representa uma limitação da pesquisa, para simplificação da análise, buscando-se o devido enquadramento nas doutrinas de emprego.

Por essa razão, o levantamento de dados, sobre a gravidade dos efeitos produzidos a partir do emprego de AR3P, visa ao aprimoramento dos planejamentos militares, conduzidos conforme procedimentos definidos no Manual MD30-M-01 Doutrina de Operações Conjuntas, do Ministério da Defesa (BRASIL, 2020d).

Inicialmente, para uma devida contextualização, temos que os níveis de decisão, vinculados ao emprego das Forças Armadas, são:

- a) Político: representado pelo Presidente da República, tem como órgão consultivo o Conselho de Defesa Nacional;
- b) Estratégico: representado pelo Ministro da Defesa (nível setorial), responsável pela direção superior das Forças Armadas);
- c) Operacional: representado pelo Comandante Operacional que será responsável pela elaboração dos Planos Operacionais, que atribuirão objetivos e responsabilidades para as Forças Componentes. O Comandante Conjunto será responsável pelas operações militares dentro do Teatro de Operações; e
- d) Tático: representado pelas Forças Componentes que, utilizando as doutrinas das respectivas Forças Armadas singulares, materializarão os planos operacionais a partir do emprego das capacidades militares, a partir do Exame de Situação Tático de cada Força Componente (BRASIL, 2020d).

[Considerando que a] segurança está relacionada à percepção da existência de ameaças que, eventualmente, podem se transformar em agressões. Tais ameaças podem ter origem e implicações no âmbito externo ou interno do país, podendo afetar, total ou parcialmente, os diversos campos do Poder Nacional. O preparo do país para a guerra envolve todos os setores da vida nacional. O planejamento, em todos os níveis, para atender a essa situação deve ser previamente elaborado, a fim de que a evolução da situação de normalidade para a situação de guerra ou conflito armado transcorra da forma mais rápida e eficiente (BRASIL, 2020d, v.1, p. 19).

Serão enfocados os níveis operacional e tático, conforme o escopo pesquisado, pois vinculados ao emprego direto das Forças Armadas, já que, em uma situação de conflito, poderão ser ativados, pelo Presidente da República, tantos Comandos Conjuntos (Cmd Cj) quantos necessários. Para cada Cmd Cj ativado, será atribuída a respectiva área de responsabilidade, denominada Teatro de Operações (TO), e será designado um Comandante Conjunto (CCj) (BRASIL, 2020d).

Dentro da estrutura do Cmd Cj, o Estado-Maior Conjunto (EMC) é o responsável por conduzir diversas análises para a composição do chamado Processo de Planejamento Conjunto (PPC), dentro do qual são analisadas as conjunturas política, estratégica, econômica, psicossociais, geográficas, para a elaboração de uma descrição completa sobre o cenário

operacional de interesse, visando-se à ulterior elaboração dos Planos de Operação (BRASIL, 2020d).

Por essa razão, o PPC constitui-se de três etapas: Exame de Situação Operacional, Elaboração de Planos e Ordens e Controle da Operação Planejada no Nível Operacional (BRASIL, 2020d).

A etapa de interesse é o Exame de Situação Operacional, executada em seis fases (BRASIL, 2020d), a saber:

- a) Fase 1 – Avaliação do Ambiente Operacional e Análise da Missão;
- b) Fase 2 – A Situação e sua Compreensão;
- c) Fase 3 – Possibilidade(s) do Inimigo, Linhas de Ação e Confronto;
- d) Fase 4 – Comparação das Linhas de Ação;
- e) Fase 5 – Decisão; e
- f) Fase 6 – Conceito Preliminar da Operação.

Em função da comprovação da hipótese de equifinalidade, demonstrou-se a necessidade da inclusão das AR3P nas análises conduzidas em todas as fases do PPC.

Durante a execução da Fase 1, por exemplo, a possibilidade de emprego de AR3P tem impacto na

apreciação preliminar do poder relativo das forças em presença. A partir desse momento, o Comandante terá condições de realizar uma apreciação inicial do poder relativo das forças em presença, tendo em vista o levantamento das principais forças de ambos os contendores e as conclusões retiradas da análise dos demais fatores. Nessas condições, poderá elaborar orientações específicas para o trabalho do seu [Estado-Maior] e do planejamento subsequente (BRASIL, 2020d, p. 47).

Além disso, durante a condução da Fase 2, a análise sobre a possibilidade de emprego de AR3P deve abordar o “estudo comparativo da composição e das características orgânicas das forças em oposição, incluindo-se aqueles elementos de apoio que possam interferir nas ações” (BRASIL, 2020d, p.53), denominado Comparação dos Poderes em Combate (CPC).

As AR3P também devem ser incluídas na análise de “Fatores de Força e Fraqueza” (BRASIL, 2020d, p. 55), que sintetizarão os requisitos anteriores, pois

o fator FORÇA não consiste somente dos aspectos militares como forças navais, terrestres ou aéreas, mas também de todos os apoios e os aspectos civis, sendo tudo sob a responsabilidade do Comandante Operacional (BRASIL, 2020d, p. 205).

Assim, a opção pelo emprego de AR3P deve ser incluída na Fase 3, na elaboração das linhas de ação e das possibilidades do inimigo (BRASIL, 2020d), para a construção das respectivas intenções de emprego, tanto das forças militares amigas, quanto das possibilidades de atuação das tropas inimigas. Nessa fase verifica-se a reciprocidade das ações militares, em contextos ofensivos versus defensivos.

Conseqüentemente, contribuirão para a decisão do comandante e para a elaboração da Concepção Preliminar de Operação, durante as Fases 5 e 6 do PPC (BRASIL, 2020d).

Conduzido em paralelo, durante o transcurso das diversas Fases, o Gerenciamento do Risco Operacional (GRO), representando um suporte para o processo decisório, analisa os perigos e ameaças, bem como as possíveis soluções para as respectivas mitigações, pois o

o comandante responsável pela condução das operações num determinado nível deve dispor dos recursos necessários para a redução ou eliminação dos riscos, além de autoridade para implementar as “medidas de controle do risco” julgadas necessárias (BRASIL, 2020d, p. 236).

Após a conclusão do PPC, elabora-se um Plano de Operações, que norteia a elaboração do planejamento das ações táticas, relacionadas ao emprego da Força Aérea, cuja fração adjudicada ao Cmd Cj é denominada Força Aérea Componente (FAC) (BRASIL, 2020d).

Considerando que a DCA 1-1/2020 – Doutrina Básica da FAB declara que a “capacidade de obter o CAepc é a de maior prioridade em qualquer operação militar” (BRASIL, 2020b, p. 14) e que o esforço para a obtenção de um adequado controle aeroespacial, mitiga os “riscos para a campanha ou operação, que tem o enfoque no nível operacional; e [de] riscos para as Forças Componentes que tem o enfoque no nível tático de emprego” (BRASIL, 2020, p. 234). Infere-se que, ainda que exista a possibilidade de transbordamento dos efeitos, para as diversas forças componentes, um adequado controle aeroespacial será obtido a partir da sinergia de esforços, a ser coordenada pela FAC.

Portanto, dentro da padronização dos planejamentos militares, o foco relacionado ao estudo da gravidade dos efeitos, que podem ser provocados pelo *weaponization* de AR3P, fornece informações para subsidiar a condução do processo de planejamento, enfocando a mitigação de riscos, a partir da determinação das opções mais eficientes de emprego daquele tipo de plataforma.

O gerenciamento do risco é o processo utilizado para administrar os riscos presentes em uma campanha ou operação militar, sendo uma atribuição da Seção de Planejamento (D5), compreendendo: a) a identificação das [ameaças]; b) a avaliação dos riscos decorrentes dos perigos; c) a formulação de medidas para controle do risco; d) a avaliação do risco residual; e) a decisão de risco; f) a implementação das “medidas de controle do risco”; e g) a supervisão quanto à eficácia de tais medidas, sendo este processo uma atribuição da Seção de Planejamento (D5) (BRASIL, 2020d, v. 2, p. 236).

Conforme abordado anteriormente, o GRO é um processo que permeia todas as etapas e todas as fases do PPC, ao buscar identificar e mitigar riscos. Retomando-se a questão do Controle Aeroespacial, atribuído à FAC, verifica-se o impacto da inclusão da AR3P na análise quanto à gravidade dos efeitos que podem ser obtidos, tanto ofensivamente quanto defensivamente. Assim, a compreensão sobre a gravidade dos efeitos decorrentes do emprego

de AR3P representa, portanto, um aprimoramento na condução dos processos dos planejamentos operacionais e táticos, com a aplicação da metodologia descrita a seguir.

### **3 MÉTODO, COMPARAÇÕES E SIMULAÇÃO**

Foram realizados levantamentos bibliográficos e documentais para a devida construção da resposta científica ao problema de pesquisa proposto, que buscou analisar de que forma os AR3P podem ser empregados, alternativamente a uma aeronave A-29, em ações de natureza bélica.

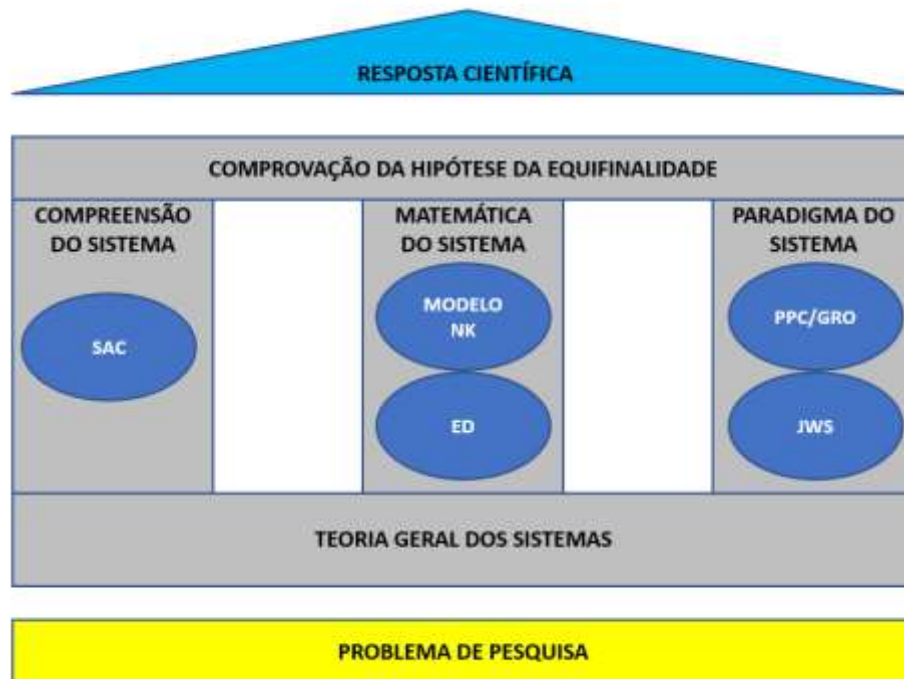
A solução metodológica foi alcançada com a utilização do Modelo NK de Kauffman (1993), à luz da TGS de Bertalanffy (2010), para o estudo do emprego de AR3P, a partir de simulações computacionais, conforme será discutido.

Elaborada a partir do problema de pesquisa, o método teve como base a TGS, com seus três eixos estruturantes, vinculados à descrição de um sistema: compreensão do sistema, matemática do sistema e paradigma do sistema. Dessa forma, foi possível construir a verificação da hipótese da equifinalidade (BERTALANFFY, 2010), a partir da compreensão do emprego de AR3P com um sistema, com conceitos específicos, quais sejam:

- a) a compreensão do sistema dos perfis de voo, enquadrado como um Sistema Adaptativo Complexo (SAC) (HOLLAND, 1995);
- b) a matemática do sistema, elaborada a partir de equações diferenciais (ED) complexas e do Modelo NK (KAUFFMAN, 1993); e
- c) o paradigma do sistema, vinculado ao PPC, com o respectivo GRO (BRASIL, 2020d), além dos parâmetros definidos pelo JWS (DRIELS, 2020).

Dessa forma, para uma melhor contextualização sobre a construção das conclusões, enquanto resposta científica, o método da pesquisa foi representado pictoricamente na Figura 7.

**Figura 7** – Representação Pictorial do Método



Fonte: O autor

### 3.1 Delineamento Preliminar

Para a construção da solução proposta, baseada no Modelo NK (Kauffman, 1993), foi necessário um delineamento dos dados relacionados com o emprego bélico das plataformas aéreas estudadas, para a definição dos parâmetros que serão utilizados na simulação.

#### 3.1.1 Seleção do modelo de emprego do A-29

Com relação à aeronave A-29, considerada como grupo de controle, foram utilizados os seguintes dados para a definição do perfil típico de emprego ar-solo: aeronave tipo biposto; 03 Bombas Aéreas de Fins Gerais (BAFG) 230<sup>14</sup>; metralhadoras com 500 cartuchos; altitude pressão na pista da base de 2.000ft; temperatura na decolagem 21°C (*International Standard Atmosphere* [ISA] + 10°C); altitude de cruzeiro 15.000ft; temperatura do ar externo no nível de cruzeiro -5°C; altitude pressão da área do objetivo 500ft; temperatura na altitude do objetivo 29°C (ISA + 15°C); permanência no objetivo de 5 minutos; pista pavimentada; comprimento de 3.000m; e ausência de obstáculos para decolagem e para pouso. Estas condições definem, após aproximações, um raio de ação de 150NM, tempo de voo de 120 minutos e 500kg de

<sup>14</sup> A BAFG 230 é similar às bombas do tipo Mk-82.

combustível consumido. Essa configuração é declarada, pelo manual do fabricante, como típica, para emprego ar-solo (EMBRAER, 2007).

Tal configuração foi selecionada por ser adequada para o planejamento de missões do tipo ar-solo, ou seja, de Ataque<sup>15</sup>, de Reconhecimento Armado<sup>16</sup> ou de Apoio Aéreo Aproximado<sup>17</sup> (BRASIL, 2020a; 2020b).

Conforme os objetivos da pesquisa, os seguintes tipos de alvos foram pré-selecionados:

- a) pessoal;
- b) instalações;
- c) viaturas não blindadas; e
- d) aeronaves no solo, estacionadas e/ou taxiando.

Com relação ao emprego bélico, Driels (2020, v.1, p. 217) afirma que analisar a vulnerabilidade de determinado alvo significa atribuir um valor numérico para determinar-se a eficácia de um armamento específico, designado Índice de Efetividade (IE). Reciprocamente, esse índice será obtido a partir da magnitude dos efeitos ou danos causados pela fragmentação e pelo sopro decorrentes da explosão.

Inicialmente, a natureza específica do efeito, a ser provocado no alvo, pode ser expresso em função do tipo de dano. Por exemplo, o termo “*kill*” pode ser utilizado para descrever uma graduação de destruição. Outro tipo de dano pode ser uma neutralização temporária, que passaria a ser expressa com relação a um determinado fator de tempo necessário para os respectivos reparos. Portanto, diferentes definições sobre grau de dano, intensidade do dano, *kill level*, dentre outros, serão considerados sinônimos e equivalentes (DRIELS, 2020, v. 1, p. 218).

Driels (2020) define os seguintes índices de eficiência, relacionados com a área média de eficácia decorrente de fragmentação, demonstrando que a correlação entre o tipo de alvo, o tipo de armamento e o IE será sempre variável, conforme o Quadro 1.

---

<sup>15</sup> Ataque: “empregar Meios Aeroespaciais utilizando-se de meios cinéticos para neutralizar ou destruir alvos oponentes fixos, estacionários e móveis na superfície, **previamente localizados e identificados**” (BRASIL, 2020, p. 28, grifo nosso).

<sup>16</sup> Reconhecimento armado: “empregar Meios Aeroespaciais para detectar, identificar, neutralizar ou destruir alvos oponentes fixos, estacionários ou móveis, na superfície, **em uma área ou rota previamente selecionada**” (BRASIL, 2020, p. 36, grifo nosso).

<sup>17</sup> Apoio Aéreo Aproximado: “Empregar Meios Aeroespaciais, utilizando-se de meios cinéticos contra alvos fixos, estacionários e móveis na superfície, para detectar, identificar e neutralizar **forças oponentes que estejam em contato direto** com forças amigas. Quando em contexto de operação internacional, emprega-se a terminologia em inglês de mesmo significado Close Air Support (CAS)” (BRASIL, 2020, p. 27, grifo nosso).

**Quadro 1** – Exemplos sobre grau de dano

TIPO DE ALVO	DEFINIÇÃO DE DANO ( <i>KILL</i> )
Veículos terrestres	K: dano catastrófico (irreparável) M0: dano de mobilidade, imediato M40: dano de mobilidade dentro de 40 minutos F: dano de poder de fogo (não poderá ser empregado)
Aeronave estacionada	PTO: reparos por no mínimo 5 minutos PTO4: reparos por no mínimo 4 horas PTO24: reparos por no mínimo 24 horas
Pessoal (tropa em pé)	Impossibilidade de defesa em até 30 segundos Impossibilidade de ataque em até 30 segundos Impossibilidade de ataque em até 15 minutos Impossibilidade de ressuprimento em até 12 horas

**Fonte:** Driels (2020, p. 218, adaptado).

Ressalta-se que, como o foco do presente estudo refere-se ao entendimento da gravidade dos efeitos produzidos por A3RP, o grau do dano, em cada um dos respectivos alvos, será considerado, no mínimo, como incapacitante.

Verifica-se que a configuração de emprego do A-29, selecionada para o escopo desse estudo, apresenta como armamentos as BAFG-230 e as metralhadoras de calibre 0,50 in., cujos IE serão discutidos nessa etapa.

Driels (2020) apresenta um modelamento, relacionado com o emprego de armamento lançado a partir de uma plataforma aérea, para fins educacionais. A distinção, entre os dados reais e os dados listados, refere-se aos métodos de obtenção das informações, que foram desclassificados para proporcionar a demonstração dos cálculos e dos princípios de engenharia de interesse.

Para o lançamento simultâneo de múltiplas bombas, no caso, as três disponíveis, há duas formas de estudar os resultados: a área letal individual é agregada à uma única área de probabilidade de danos ou cada área letal é analisada individualmente. Devem ser consideradas as distâncias das estações das bombas, as trajetórias de lançamento, os intervalos entre lançamentos e os erros prováveis. Em que pese o lançamento simultâneo de três bombas representar uma acréscimo nos efeitos produzidos, este arranjo representa, na prática, um acréscimo na probabilidade de destruição dos alvos de interesse (DRIEL, 2020). Para a simplificação dos cálculos, como limitação da pesquisa, será considerado o lançamento de uma

única BAFG-230, que apresenta um grau adequado de letalidade, para a devida comparação com os possíveis efeitos a serem obtidos com o emprego de um número variável de AR3P sobre os alvos.

Em complemento, a estratégia geral para o cálculo das estimativas de danos pode ser definida a partir da seleção de quatro tipos distintos de abordagem: alvo único, alvos complexos, alvos especiais ou uma área de alvos (DRIELS, 2020, v. 1, p. 355).

No caso de um alvo único, a parametrização do dano será apresentada em função de uma probabilidade de dano, calculada conforme o emprego de múltiplos artefatos ou de um artefato sobre o respectivo alvo (DRIELS, 2020, v. 1, p. 355). Considerando-se o enfoque da pesquisa, que trata sobre a possibilidade do emprego em múltiplos alvos, esse arranjo foi descartado.

Para o estudo sobre alvos complexos, Driels (2020, v. 2, p. 355) especifica a análise de uma coleção de alvos distintos, mas agrupados em uma correlação funcional. Como exemplo, temos uma bateria de mísseis de artilharia antiaérea, com veículos e/ou instalações distintas que, reunidas, executam uma missão de Defesa Antiaérea (BRASIL, 2020b). Consequentemente, o dano será analisado em relação ao respectivo impacto funcional do alvo. Esse tipo de análise extrapola o escopo desse estudo e, portanto, foi descartada.

Em complemento, os alvos especiais referem-se aos alvos que demandam uma metodologia específica e dedicada, com parametrizações distintas. Como exemplos, teríamos pontes, túneis ou estruturas prediais específicas (DRIELS, 2020, v. 1, p. 355). Considerando que tal arranjo extrapola o escopo do estudo, também foi descartado.

Por fim, para o caso de uma área de alvos, o cálculo dos danos é efetuado a partir da estimativa de uma área que contenha uma quantidade variável do mesmo tipo de alvos, a ser calculado como dano fracionado, para múltiplos artefatos ou para um único artefato (DRIELS, 2020, v. 1, p. 355). Essa estratégia pode ser entendida como um modelo de dano fracionado, relacionado com o respectivo IE, a ser expresso em função da área equivalente de eficácia, conforme os dados do Quadro 2.

**Quadro 2** – Índice de Eficácia – BAFG-230 – Área em ft<sup>2</sup>

ALVO	TIPO DE DANO ( <i>KILL</i> )	<i>HIGH EXPLOSIVE</i> (HE)
Blindado	K	750
Aeronave Estacionada	PTO-4	40000
Caminhão	M	15000
Edificação Residencial	Neutralização	4000
Edificação Militar	Neutralização	500
Edificação Comercial	Neutralização	2000
Pessoal (Tropa em pé)	ATQ 5 min	15000

Fonte: Driels (2020, p. 635, adaptado).

Consequentemente, por eliminação, em função da simplificação dos cálculos, foi escolhido o modelo de análise de área de alvos para uma adequada parametrização do emprego de um número variável de AR3P.

Assim, retomando-se o conceito de área de eficácia (DRIELS, 2020), observa-se que, em função da fragilidade estrutural típica das aeronaves (BRASIL, 2020a), a fragmentação produzida por uma BAFG-230 é capaz de provocar danos em uma área 2,67 vezes maior, se comparada, por exemplo, com a área de eficácia determinada para o emprego contra um caminhão. Consequentemente, foi adotada a área relacionada com o emprego contra um caminhão que, por ser mais restritiva, atenderá aos requisitos de danos incapacitantes, tanto para aeronaves quanto para viaturas não blindadas.

Paralelamente, o método de área do alvo também foi escolhido para analisarem-se as metralhadoras de calibre 0.50 in. Assim, para uma adequada compreensão sobre o modelamento de emprego desse armamento, verifica-se que,

quando múltiplas munições são lançadas de uma aeronave, ou disparadas de um canhão, a trajetória e o intervalo entre cada projétil determinam a área no solo afetada por todas as munições. Essa área pode ou não conter superposições, produzindo-se diferentes efeitos nas áreas dos elementos dos alvos [...] [Em complemento,] para armamentos lançados de aeronaves, a velocidade inicial será função do ângulo de mergulho da aeronave, da velocidade de ejeção da arma [, no caso a velocidade de saída do cano,] e da velocidade horizontal da aeronave no momento do lançamento (DRIELS, 2020, v. 1, pp 79-80, tradução nossa).

Além disso, considerando-se que a velocidade de saída do projétil do cano é constante, e que a velocidade do projétil decai com a distância de voo do projétil, infere-se que o dano, em função da variação da energia cinética, varia em função da distância do alvo. Dessa forma, seguindo o modelamento proposto, para a simplificação dos cálculos, a análise sobre o emprego

das metralhadoras .50 adotou o alvo como referencial. Em outras palavras, os danos foram traduzidos em termos de área de dano, para uma adequada comparação de efeitos. Assim, a área vulnerável, ou seja, a área de dano possível, varia conforme a distância do alvo e/ou a velocidade do projétil.

Além disso, considerando que “o ângulo de impacto de um armamento pode determinar a sua eficiência” (DRIELS, 2020, v. 1, p. 79), foram consideradas as trajetórias de impacto a 90° para os projéteis da metralhadora .50, portanto em sua máxima eficiência, para melhor equivalência com trajetória da onda de choque e/ou estilhaços produzidos por um artefato explosivo, no caso um AR3P. Assim, os respectivos valores de área vulnerável, em função da velocidade de impacto do projétil, foram apresentados no Quadro 3.

**Quadro 3** – Área vulnerável para projéteis em ft<sup>2</sup> - Ângulo de impacto de 90°

CALIBRE	VELOCIDADE DE IMPACTO (Ft/s)	ÁREA VULNERÁVEL (Ft <sup>2</sup> )
0,50 in.	1000	0,22
	2000	9,72
	3000	13,07
	4000	13,54
	5000	14,24
	MÉDIA	10,16

**Fonte:** Driels (2020, p. 289, adaptado).

Consequentemente, para que todas as possibilidades de utilização das metralhadoras .50 sejam consideradas, em função das diferentes variáveis de emprego, foi adotada a média das áreas vulneráveis, como área de eficácia, para ângulos de impacto de 90°, vinculada à neutralização de um alvo. Essa condição foi estabelecida para viabilizar a ulterior comparação com o emprego de A3RP.

Os efeitos a serem produzidos, por uma eventual rajada de projéteis de calibre .50, para fins de simplificação, foram considerados como superpostos na mesma área de eficácia.

### 3.1.2 Seleção do modelo de emprego de AR3P

Para o delineamento dos parâmetros das AR3P, foram analisadas as normatizações dos seguintes órgãos governamentais ligados à normatização do uso de ARP: o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

O DECEA é o órgão central do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) que, por sua vez, é integrado ao Sistema de Defesa Aeroespacial Brasileiro (SISDABRA). Esta peculiaridade, portanto, permite que o Comando da Aeronáutica otimize as diversas ações voltadas para o Controle Aeroespacial<sup>18</sup>, tarefa operacional atribuída à FAB (BRASIL, 2020a; 2020b). Aquele Departamento define que

segundo a [Organização da Aviação Civil Internacional –] OACI, as aeronaves não tripuladas, em inglês, *Unmanned Aircraft (UA)*, são subdivididas em três categorias: *Remotely Piloted Aircraft (RPA)*, Aeromodelos e Autônomas. As duas primeiras possuem características semelhantes, são aeronaves não tripuladas e pilotadas a partir de uma estação de pilotagem remota. Contudo, as RPA, diferentemente dos aeromodelos, serão utilizadas com a finalidade não recreativa [...]. Já as aeronaves não tripuladas e classificadas como autônomas possuem a característica de não permitir a intervenção humana, uma vez iniciado o voo (BRASIL, 2020c, p. 7).

Em complemento, conforme definido pela ANAC, as

RPA são classificados de acordo com o peso máximo de decolagem (PMD) da RPA da seguinte maneira: (1) Classe 1: RPA com peso máximo de decolagem maior que 150 kg; (2) Classe 2: RPA com peso máximo de decolagem maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg; e (3) Classe 3: RPA com peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg (BRASIL, 2017, p. 5).

Portanto, considerando-se a condição relacionada com a facilidade de aquisição dos equipamentos, foram selecionadas as plataformas RPA de classe 3, ou seja, com peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg.

Conforme o mesmo requisito, verificou-se o painel eletrônico sobre os registros de drones, do site da ANAC, que permite a realização de levantamentos específicos de dados a partir da seleção de filtros específicos. Constatou-se que, dos 94.518 registros, 80.014 são do fabricante DJI (BRASIL, 2022), representando 84,65% da amostragem total. Em função dessa condição, o fabricante DJI foi selecionado como a opção de interesse para o estudo.

O portfólio de equipamentos comercializados pela DJI, conforme o site da empresa, apresentou-se dividido em duas categorias, a saber: “drones com câmeras” e “especializados”. Esta segunda categoria apresentou-se subdividida em “*enterprise*” e “*agriculture*” (DJI, 2020). Dentre todas as versões de drones oferecidos, foram priorizados os seguintes requisitos:

- a) peso de decolagem menor ou igual a 25 kg; e

---

<sup>18</sup> Tarefa realizada com os propósitos de dominar o espaço aéreo e o espacial de interesse e de impedir que o inimigo faça o mesmo” (BRASIL, 2020b, p. 14).

b) maior capacidade de carga.

Conseqüentemente, por exclusão, foi selecionado o modelo MG-1S (DJI, 2020), representado na Figura 8, cujas especificações técnicas de interesse foram apresentadas no Quadro 4.

**Figura 8** – Imagem do DJI MG-1S



Fonte: DJI (2020)

**Quadro 4** – Especificações técnicas – DJI MG-1S

ESPECIFICAÇÃO	VALOR
Peso padrão de decolagem	23,8 Kg (Nível do Mar)
Peso máximo de decolagem	24,8 Kg (Nível do Mar)
Carga operacional padrão	10 kg/22,05 lbs
Tempo máximo de voo 23,8 Kg	10 minutos
Tempo máximo de voo 13,8 Kg	22 minutos
Velocidade máxima (modo GPS)	12 m/s
Precisão do módulo radar	< 10 cm
Teto máximo de operação ao nível do mar	2000 m
Alcance máximo teórico (inferido) <sup>19</sup>	7200m

Fonte: DJI (2020, tradução nossa, adaptado).

<sup>19</sup> O alcance máximo teórico foi calculado a partir das informações de tempo máximo de voo com máxima capacidade de carga (23,8 kg) e velocidade máxima.

Conforme a abordagem conceitual, discutida anteriormente, cada unidade de AR3P transporta 10kg de explosivos, cujo emprego foi simulado para a obtenção dos efeitos analisados.

A partir dessa condição, a primeira questão relacionada com a parametrização do emprego de AR3P, refere-se à definição da quantidade de unidades a serem empregadas, ou seja, quais são os respectivos valores de “N” do Modelo NK (KAUFFMAN, 1993) para cada perfil a ser simulado.

Driels (2020, pp. 219-226) afirma que a parametrização sobre fragmentação depende das características físicas do projétil ou da cabeça de guerra, dentro das quais a massa, o formato e o tipo de material influenciarão no resultado a ser calculado. Considerando que, para o emprego de AR3P, não há massa projetada para fragmentação, tais efeitos serão considerados nulos.

Consequentemente, serão considerados os efeitos do sopro, para o emprego de AR3P, conforme o manual MCA 135/2012 Segurança de Explosivos (BRASIL, 2012, p. 114), pois

ao se executar uma detonação, um efeito sempre estará presente: a onda de choque. A onda de choque provocada por uma determinada quantidade de explosivo terá maior efeito sobre um alvo quanto maior for a proximidade entre o foco da detonação e este. Este efeito também variará de acordo com a quantidade de explosivo que está sendo detonado. Assim, caso seja necessário prever os efeitos de uma detonação sobre um determinado alvo, temos uma expressão com duas variáveis: a quantidade de explosivo e a distância entre este e o alvo. Com o intuito de tornar o cálculo mais simples, criou-se o fator "K". Este fator está ligado diretamente ao efeito de uma detonação sobre seu alvo, traçando uma ligação entre a quantidade de explosivo e a distância até o ponto de interesse.

Com o objetivo de diferenciar o “Fator K” (vinculado aos cálculos sobre explosivos) da “Variável K” (relacionada com o Modelo NK), convencionou-se a alteração da notação sobre o Fator de Exposição que é “usado em uma fórmula, na qual a quantidade de explosivo é informada” (BRASIL, 2012, p.114):

$$d = K \times \sqrt[3]{m} \quad (2)$$

“Onde d = distância em pés; K = fator de exposição; m = massa líquida de TNT equivalente à massa de explosivo encontrada, em libras” (BRASIL, 2012, p. 114).

Consequentemente, em razão da convenção adotada, teremos que o Fator de Exposição foi representado por “E”, logo:

$$K = E \quad (3)$$

A fórmula (2) passou a ser representada da seguinte forma:

$$d = E \times \sqrt[3]{m} \quad (4)$$

A variação do Fator de Exposição representa a letalidade ou grau de dano relacionado com o efeito a ser obtido, conforme ilustrado no Quadro 5.

**Quadro 5** – Efeitos dos Valores do Fator de Exposição (E)

FATOR E	PESSOAL	CONCRETO
6	Pessoal será morto diretamente pelo sopro ou por fragmentos do prédio. Tombamento de veículos.	Destruído
7	Idem anterior	Completa destruição de paredes de concreto reforçado
8	Probabilidade de morte	---
9	---	Danos estruturas de concreto
11	Probabilidade de danos pulmonares	Ruptura de estruturas de alvenaria

**Fonte:** Brasil (2012, pp. 115 e 209, adaptado).

Considerando a busca pelo entendimento do emprego de AR3P, os valores, apontados no Quadro 5, estão alinhados como os objetivos da pesquisa, pois

como se pode ver, com fatores “[E]” iguais ou inferiores a 11, trabalha-se com a quase certeza de morte dos indivíduos presentes. Danos permanentes a [sic] audição poderão ocorrer em indivíduos expostos a um fator “[E]” igual ou inferior a 18. Ocorrerá perda temporária de audição nos indivíduos expostos a um fator igual a 24. Estruturas de concreto armado serão demolidas caso sujeitas a um “[E]” igual ou inferior a 7. Vidraça expostas a um fator igual ou inferior a 50 quebrar-se-ão. (BRASIL, 2012, p. 115)

Além disso, o valor da massa foi calculado conforme o respectivo tipo de explosivo, pois a

fórmula foi criada com base no TNT. Como frequentemente encontraremos outros explosivos, que não o trotil, faz-se necessário que se aplique um fator de conversão, o qual nos fornecerá a quantidade de TNT necessária para se obter os mesmos resultados que serão obtidos com aquela quantidade de explosivo. [...] Por exemplo, o PETN<sup>20</sup> é cerca de 45% mais brisante que o TNT, por isto, o fator de conversão do PETN é 1,45. Isto quer dizer que são necessários 45% a mais de TNT para se obter o mesmo resultado alcançado com uma determinada quantidade de PETN. A maioria

<sup>20</sup> PETN, Pentolite ou Nitropenta “é um alto explosivo com elevado poder de brisância, praticamente não higroscópico e com grande estabilidade química, o que favorece a estocagem por grandes períodos. Pode ter os seguintes empregos: carregamento de cordéis detonantes, reforçadores e espoleta; [...] carregamento de granadas de mão e projéteis de pequeno calibre; carregamento sob pressão de bombas, minas terrestres e munição de artilharia quando dessensibilizado com cera; e carregamento sob fusão de cargas moldadas para prospecção sísmográfica e abertura de fornos siderúrgicos” (IMBEL, 2022).

dos materiais de demolição usados na FAB são compostos de TNT, PETN ou Pentolite (BRASIL, 2012, p. 114).

Considerando a proposta de verificação da hipótese da equifinalidade, para a obtenção de efeitos em viaturas, instalações, pessoas e aeronaves estacionadas, foram calculados os respectivos efeitos decorrentes do emprego de uma unidade de AR3P sendo carregada com 10 kg de PETN.

Para a obtenção dos danos indicados, foi selecionado o fator de exposição equivalente a 11, conforme o Quadro 5. Temos a seguinte distância de efetividade para o emprego contra pessoas e instalações de alvenaria:

$$d_1 = 11 \times \sqrt[3]{10 \times 1,45} \quad (5)$$

$$d_1 = 26,82 \text{ ft}$$

Foi utilizada a fórmula de cálculo de uma área circular, para elaboração dos cálculos:

$$A = \pi R^2 \quad (6)$$

Conseqüentemente, considerando-se o cálculo decorrente do Fator de Exposição selecionado, para a obtenção de determinado efeito sobre pessoas ou edificações, a área circular em ft<sup>2</sup> foi denominada como a Área de Eficácia Equivalente<sup>21</sup> (AEE). Inserindo-se o valor de raio obtido com a fórmula (5), teremos (DRIELS, 2020):

$$A_1 = \pi 26,82^2$$

$$A_1 = 2260 \text{ ft}^2 \quad (7)$$

Com relação ao emprego em viaturas não blindadas, foi selecionado o Fator E equivalente a 6, que representa o tombamento de veículos dentro da seguinte distância:

$$d_2 = 6 \times \sqrt[3]{10 \times 1,45} \quad (8)$$

$$d_2 = 14,63 \text{ ft}$$

A respectiva Área de Eficácia Equivalente calculada foi:

$$A_2 = 672,42 \text{ ft}^2 \quad (9)$$

Os dados apresentados permitiram a elaboração de uma análise comparativa sobre o emprego de um número variável de A3RP versus o emprego de um A-29.

---

<sup>21</sup> Foi considerado o valor de  $\pi = 3,1416$

### 3.1.3 AR3P versus A-29

#### 3.1.3.1 Eficácia comparada ao emprego de Metralhadora Calibre 0.50 in

Para a comparação de eficácia, entre armamentos de diferentes naturezas, foram consideradas as respectivas áreas de eficácia, em formato circular, para a devida simplificação matemática.

Com relação à comparação de eficácia de um projétil de calibre 0.50 in., considerando-se o valor médio de 10,16 ft<sup>2</sup>, conforme Quadro 3, verificou-se que uma AR3P possui uma área de eficácia equivalente a 26,82 ft<sup>2</sup>. Portanto, representa uma área de eficácia equivalente a 2,64 vezes a área de vulnerabilidade de um projétil de 0.50 in.

Consequentemente, comprovou-se a eficácia do emprego de apenas um AR3P contra pessoal, se comparado à área de eficácia dos projéteis de calibre 0.50in, mesmo que empregados em forma de rajada, conforme descrito anteriormente. Assim, temos a primeira verificação da hipótese de equifinalidade, relacionada com o emprego contra pessoal.

#### 3.1.3.2 Eficácia comparada ao emprego de BAFG-230

Guardadas as proporções, verificou-se que o emprego de uma AR3P apresenta uma probabilidade de eficácia determinada, vinculada ao Fator de Exposição, para a obtenção de danos em instalações, pessoal, viaturas não blindadas e aeronaves estacionadas.

Atendendo aos objetivos específicos desse estudo, a exata definição dessa proporção revestiu-se de interesse, a partir da comparação das áreas de eficácia de uma BAFG-230 e de um número específico de unidades de AR3P.

Com o objetivo de definirem-se a quantidades de AR3P, necessária para a verificação da hipótese de equifinalidade (BERTALANFFY, 2010), considerou-se o efeito letal, vinculado ao adequado Fator de Exposição, sobre as seguintes áreas, extraídas do Quadro 2 e do Quadro 3:

- a) 10,16 ft<sup>2</sup>, para a neutralização de uma pessoa;
- b) 4.000 ft<sup>2</sup>, para a neutralização de instalações; e
- c) 15.000ft<sup>2</sup>, para a neutralização de aeronaves ou viaturas não blindadas.

Dividindo-se os valores das áreas, pelos valores calculados das áreas de Eficácia Equivalente, obtidas com as fórmulas (6) e (7), conforme o caso, foram encontradas, após arredondamentos, as quantidades de 1, 2, 7 e 22 unidades de AR3P, necessárias, respectivamente, para o emprego contra edificação comercial, edificação residencial, tropa a pé e viaturas/aeronaves. Os dados foram tabulados no Quadro 6.

**Quadro 6** – Comparação de áreas de eficácia em Ft<sup>2</sup>

ALVO	TIPO DE DANO (KILL)	BAFG-230 (A)	A3RP (B)	PROPORÇÃO (A/B)	QUANTIDADE DE AR3P
Edificação Comercial	Neutralização	2000	2260	0,88	1
Edificação Residencial	Neutralização	4000	2260	1,77	2
Pessoal (Tropa em pé)	Impossibilidade de Ataque em 5 minutos	15000	2260	6,64	7
Caminhão	M	15000	672,42	22,3	22

Fonte: Brasil (2012; adaptado).

Considerando-se que, conforme as características do Modelo NK (KAUFFMAN, 1993), os valores de  $N = 1$  e  $N = 2$  limitam o estudo de distintas interdependências. Considerando-se a inconsistência da comparação dos danos a serem obtidos com um A-29, versus os danos a serem obtidos com uma ou duas AR3P. Considerando-se a dificuldade na computação dos dados do Modelo NK, conforme será descrito a seguir. Em razão do exposto, tais valores foram descartados das simulação, como limitação da pesquisa.

Dessa forma, os valores de  $N = 7$  e de  $N = 22$  foram submetidos à simulação, conforme será discutido no próximo tópico.

### 3.2 Modelo NK

Retomando o modelo teórico abordado anteriormente, Bertalanffy (2010) afirma que a TGS busca apresentar um modelamento matemático para o estudo dos sistemas que, no presente estudo, será obtido a partir do Modelo NK de Kauffman (1993).

Partindo-se de uma composição das fórmulas (4) e (6), a representação de cada unidade de AR3P, será definida como uma unidade de massa equivalente de TNT, descrita conforme a fórmula:

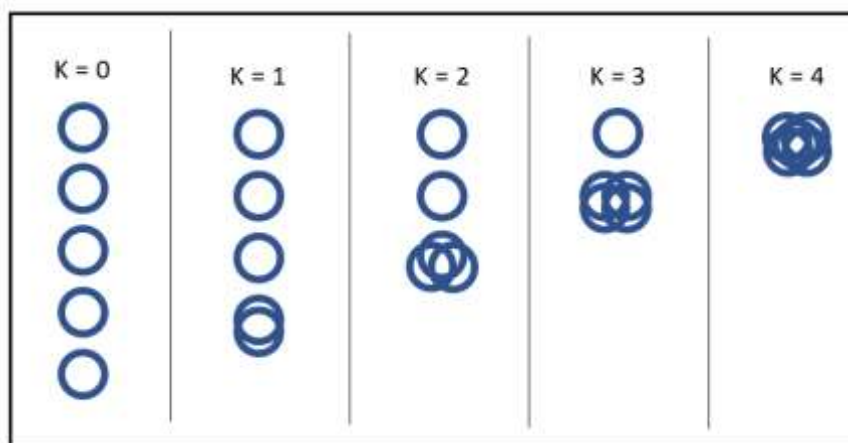
$$m_i = \left( \frac{\sqrt{A_i/\pi}}{E_j} \right)^3 \quad (10)$$

Onde:  $m_i$  = massa equivalente de TNT individual;  $A_i$  = área circular de efetividade individual; e  $E_j$  = Fator de Exposição.

Dessa forma, considerando-se o Modelo NK (KAUFFMAN, 1993), ao simularem-se as interações de um número variável de “N” unidades de AR3P, a variação da interdependência “K” significará a variação sobre a atuação simultânea em um mesmo ponto. Portanto, a variação da interdependência representará a quantidade de AR3P que lançarão a respectiva carga de explosivos em um mesmo ponto focal.

Na condição de interdependência nula, cada unidade de AR3P fará o emprego em um ponto calculadamente distinto das demais. Na condição de interdependência máxima, todas as unidades de AR3P farão o emprego no mesmo ponto<sup>22</sup>. Essas condições foram ilustradas na Figura 9.

**Figura 9** – Interdependências para N = 5



**Fonte:** O autor.

Partindo-se da fórmula (6) teremos que, para a interdependência nula ( $K = 0$ ), as unidades de AR3P atuarão em pontos calculadamente distintos. O resultado do emprego foi expresso em função de uma área de efetividade – nesse caso com um valor máximo para o sistema – decorrente do somatório das respectivas áreas circulares de efetividade individuais:

$$f_N(K = 0) = A_{máx} = \sum_1^i A_i \quad (11)$$

Para o cenário de maior interdependência ( $K = N - 1$ ), modificando-se a fórmula (6), teremos que todas as unidades de AR3P atuarão no mesmo ponto, o que equivale ao somatório das respectivas massas equivalentes de TNT. Essa condição provoca um Fator de Exposição que terá, nesse caso, um valor máximo para o sistema:

<sup>22</sup> Considerando-se o parâmetro de precisão de navegação < 10cm, conforme listado no Quadro 4, os eventuais erros de posição foram desprezados.

$$f_N (K = N - 1) = E_{m\acute{a}x} = \left( \sqrt{A/\pi} \times \sqrt[3]{\sum_1^i m_i} \right)^{-1} \quad (12)$$

Infere-se que, a partir das Fórmulas (11) e (12), para os demais valores de interdependência ( $K \neq 0; K \neq N - 1$ ), teremos o resultado do emprego, calculado a partir de uma composição da função da Área Circular Total com a função do Fator de Exposição Total, ambas variando conforme a interdependência. Essa construção equivale à seguinte representação:

$$f_N (K) = \begin{cases} f_1(A, K) \\ f_2(E, K) \end{cases} \quad (13)$$

Prosseguindo na elaboração da metodologia proposta, conforme a TGS, Bertalanffy (2010, p. 84) define que “matematicamente, um sistema pode ser definido de várias maneiras. Para ilustrar, escolhemos um sistema de equações diferenciais simultâneas” que, adaptadas para representar o cálculo do resultado do emprego de um sistema com “N” unidades de AR3P, com diferentes interdependências, matematicamente equivale à seguinte fórmula:

$$f_N(A(K), E(K)) = \begin{cases} \frac{df}{dA} \times \frac{dA}{dK} \\ \frac{df}{dE} \times \frac{dE}{dK} \end{cases} \quad (14)$$

Onde: N = número de unidades de AR3P; K = interdependência; A = área circular efetiva global; E = fator de exposição global.

Verifica-se que qualquer alteração, em uma variável envolvida, implicará mudanças nas demais variáveis e, por conseguinte, no resultado de todo o sistema (BERTALANFFY, 2010).

Esse arranjo foi simulado, conforme o modelamento proposto por Kauffman (1993), buscando-se a opção com maior probabilidade de êxito, dentre diferentes possibilidades baseadas em interdependências distintas.

### 3.3 Simulação

Conforme descrito anteriormente, as simulações baseadas no Modelo NK de Kauffman (1993) buscaram descrever quais as melhores opções, dentre as paisagens de aptidão possíveis para o cenário em estudo.

Para a realização das simulações computacionais, inicialmente, foi utilizado o algoritmo criado por Maciej Workiewicz, obtido a partir de acesso ao site específico de internet de Fioretti (2021), além do software Google Colab.

Após diversos erros na condução das simulações, a partir de algoritmos pesquisados, foi selecionado o projeto criado em Python. Inicialmente construída sem vinculação com as necessidades acadêmicas, essa linguagem de programação despertou o interesse de pesquisadores e cientistas pela aplicação em pesquisas científicas de caráter exploratório, interativo e vocacionados para simulações computacionais. A linguagem Python permite uma série de implementações, adequadas para a realização de cálculos numéricos, a partir de diversas funcionalidades, matemáticas e numéricas, inseridas ao longo do seu desenvolvimento (MILLMAN; AIVAZIS, 2011).

Foram inseridas as variáveis “N” e “K” para a obtenção dos respectivos dados e gráficos, com seguintes parâmetros para a condução das simulações e para a definição das paisagens conforme o Modelo NK (KAUFFMAN, 1993):

- a) interação matricial randômica, para permitir a inserção dos distintos valores de N e de K;
- b) 10.000 interações, em cada perfil, para a criação das paisagens;
- c) os valores médios de picos foram arredondados até a primeira casa decimal; e
- d) os valores médios, tanto máximos quanto mínimos, foram arredondados até a terceira casa decimal.

Ocorreram diversas falhas nos algoritmos para  $N = 22$ , pois extrapolaram a capacidade de processamento de computadores comuns, sendo essa a principal limitação da pesquisa.

Com o objetivo de permitir a execução de uma simulação com o mesmo algoritmo, para todas as variáveis “N” e “K” de interesse, foi solicitado o apoio do Instituto de Tecnologia da Aeronáutica, por e-mail, ao pesquisador Andre Rossi Kuroswiski, que corrigiu os erros, nos códigos em Python. Em complemento, foi utilizado um sistema computacional, com máquina virtual de 20 núcleos, para rodar a simulação. Foi utilizado o software Microsoft Visual Studio para a elaboração dos projetos de simulação.

Para simplificação dos cálculos, em função da carga das interações exigirem 17 dias ininterruptos de cálculo, a simulação dos valores de  $N = 22$  foram reduzidas para 1.000 interações, sem prejuízo para a qualidade do estudo.

O banco de dados produzido como entregável, incluindo-se os códigos/algoritmos utilizados, foram inseridos como apêndices à pesquisa, conforme a lista abaixo:

- a) Apêndice A: Banco de dados de Algoritmos;
- b) Apêndice B: Banco de Dados de  $N = 7$ ; e;
- c) Apêndice C: Banco de Dados de  $N = 22$ .

A análise dos dados permitiu o atendimento aos demais objetivos da pesquisa.

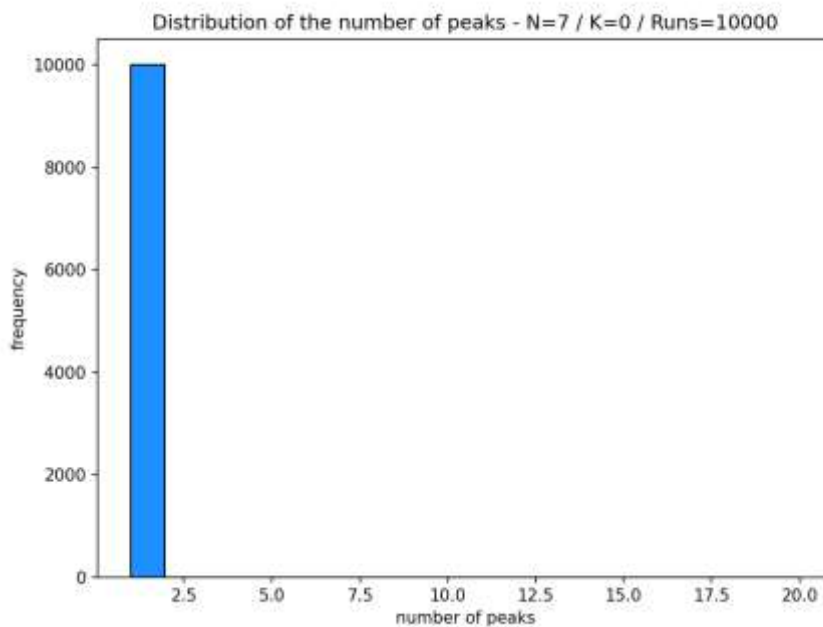
## 4 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA $N = 7$

Conforme apontado no capítulo anterior, segue-se o detalhamento dos resultados obtidos com as simulações dos parâmetros de  $N = 7$ , vinculados ao Modelo NK de Kauffman (1993), seguida de uma análise comparativa, visando-se à seleção das melhores opções.

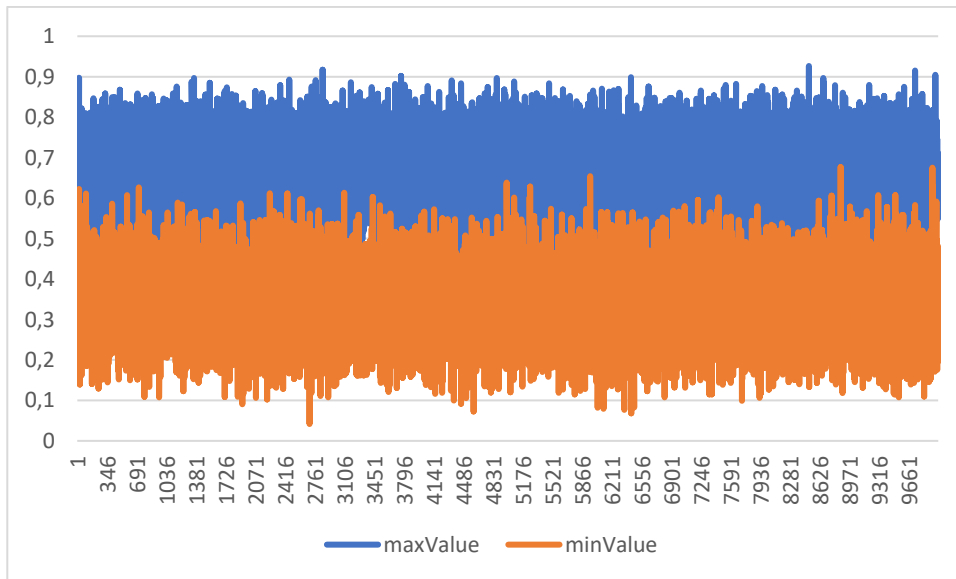
Os gráficos 1 ao 14, bem como os quadros 7 ao 13, apresentam os resultados da simulação.

### 4.1 Cenário $N = 7$ e $K = 0$

**Gráfico 1** – Distribuição de Picos  $N = 7$ ;  $K = 0$



**Fonte:** O autor

**Gráfico 2** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 7; K = 0

**Fonte:** O autor

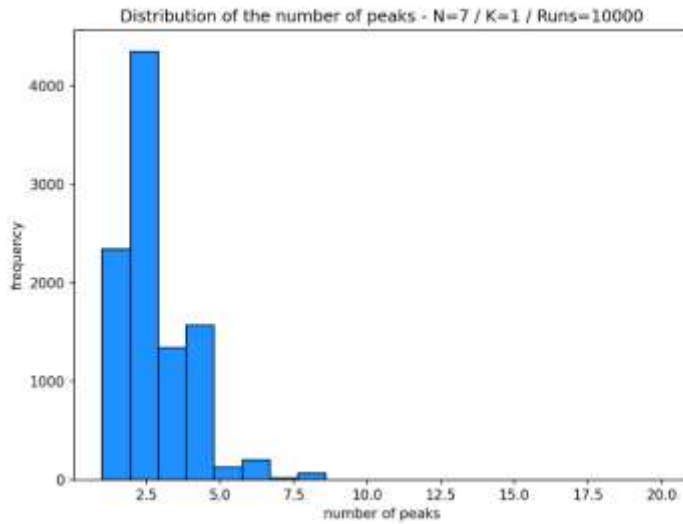
**Quadro 7** – Resumo dos dados N = 7; K = 0

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	1
Número máximo de picos	1
Número mínimo de picos	1
Valor médio máximo	0,666
Valor médio mínimo	0,333
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,333

**Fonte:** o autor.

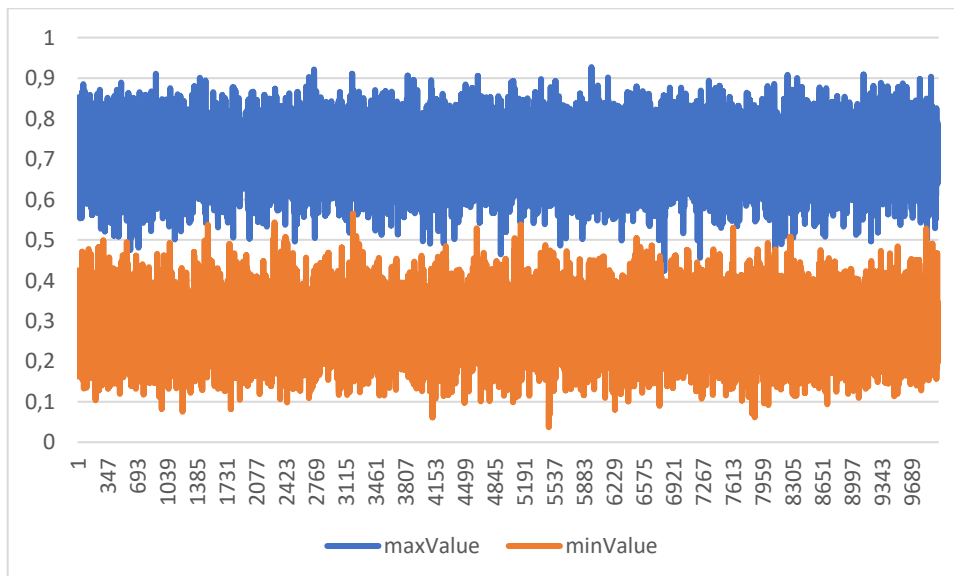
## 4.2 Cenário N = 7 e K = 1

Gráfico 3 – Distribuição de Picos N = 7; K = 1



Fonte: O autor

Gráfico 4 – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 7; K = 1



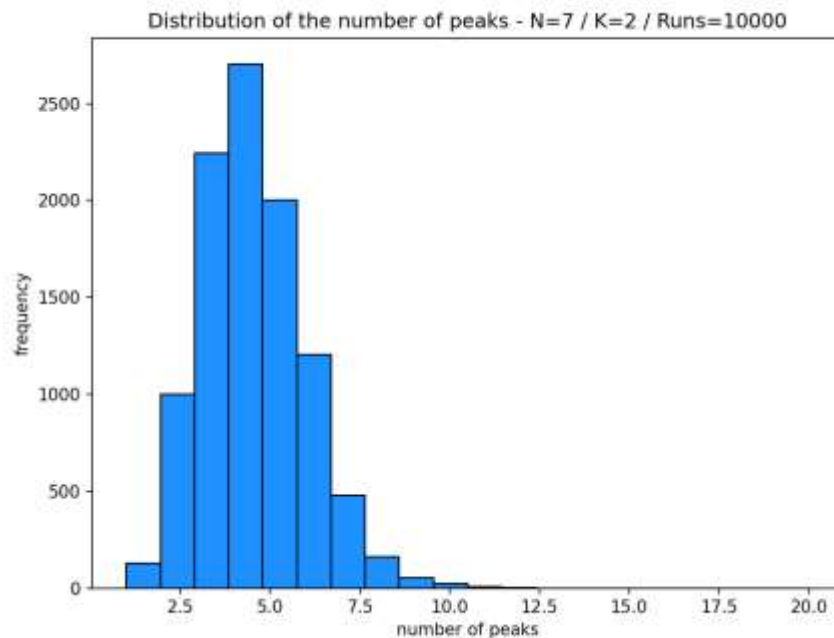
Fonte: O autor

**Quadro 8** – Resumo dos dados  $N = 7$ ;  $K = 1$ 

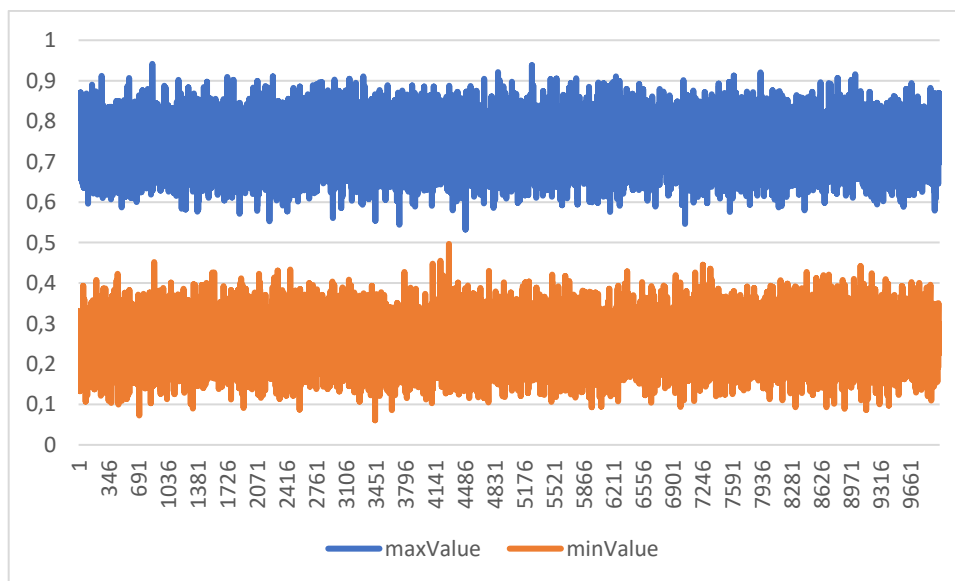
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	2,379
Número máximo de picos	8
Número mínimo de picos	1
Valor médio máximo	0,712
Valor médio mínimo	0,287
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,425

Fonte: o autor.

### 4.3 Cenário $N = 7$ e $K = 2$

**Gráfico 5** – Distribuição de Picos  $N = 7$ ;  $K = 2$ 

Fonte: O autor

**Gráfico 6** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 7; K = 2

**Fonte:** O autor

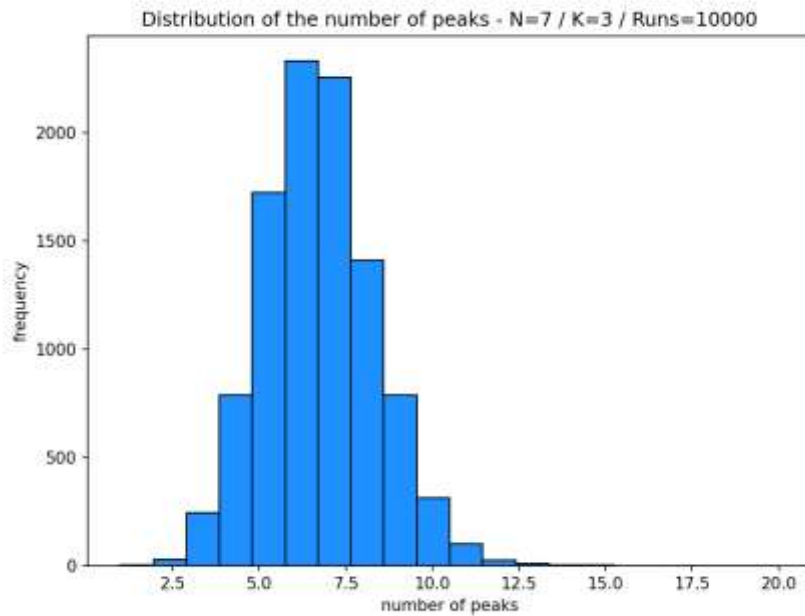
**Quadro 9** – Resumo dos dados N = 7; K = 2

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	4,231
Número máximo de picos	12
Número mínimo de picos	2
Valor médio máximo	0,742
Valor médio mínimo	0,257
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,485

**Fonte:** O autor.

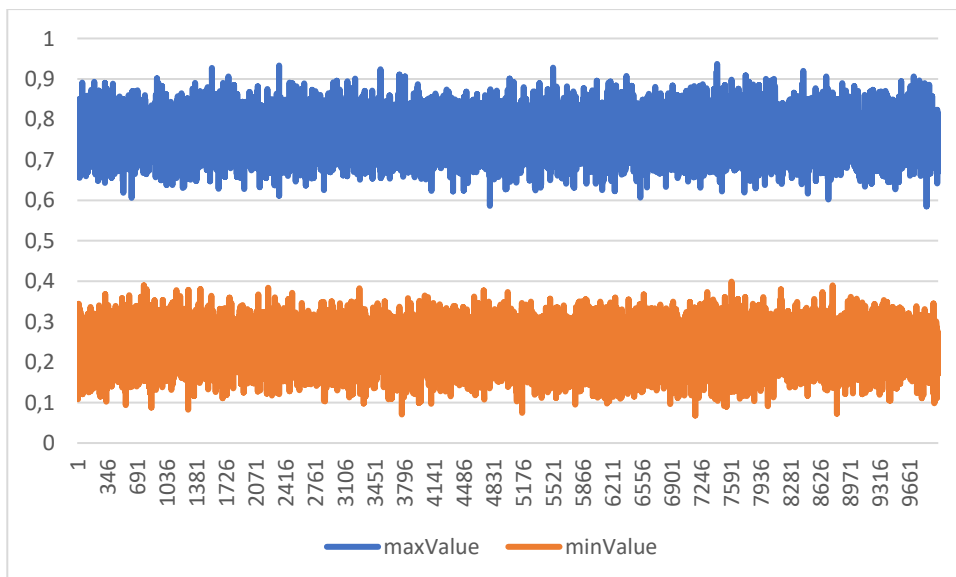
#### 4.4 Cenário N = 7 e K = 3

Gráfico 7 – Distribuição de Picos N = 7; K = 3



Fonte: O autor

Gráfico 8 – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 7; K = 3



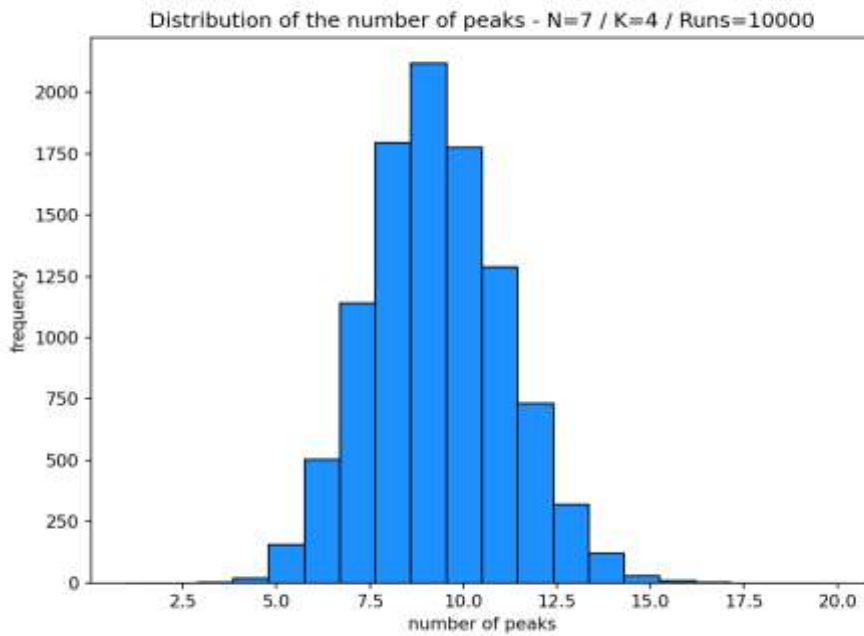
Fonte: O autor

**Quadro 10** – Resumo dos dados  $N = 7$ ;  $K = 3$ 

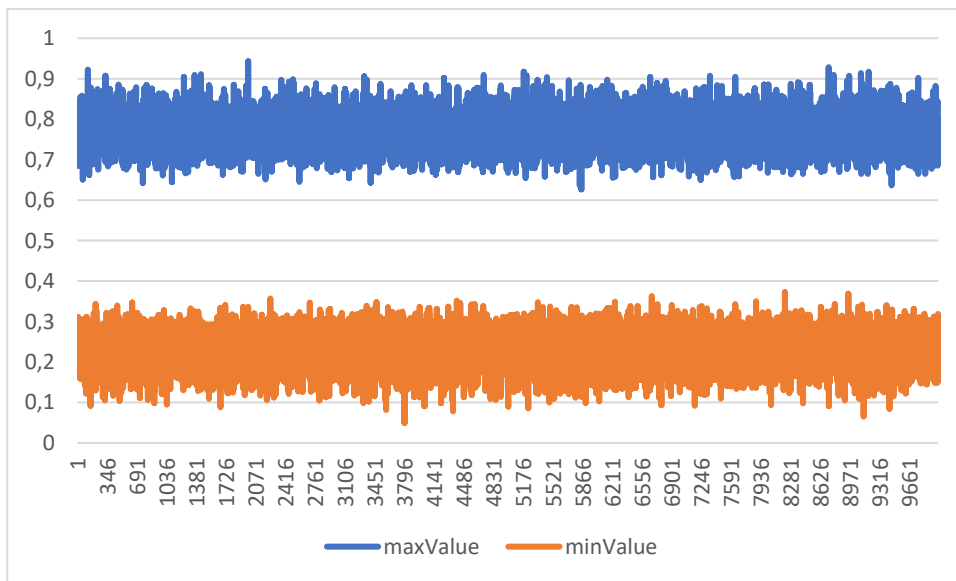
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	6,527
Número máximo de picos	15
Número mínimo de picos	1
Valor médio máximo	0,759
Valor médio mínimo	0,240
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,519

Fonte: o autor.

#### 4.5 Cenário $N = 7$ e $K = 4$

**Gráfico 9** – Distribuição de Picos  $N = 7$ ;  $K = 4$ 

Fonte: O autor

**Gráfico 10** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 7; K = 4

**Fonte:** O autor

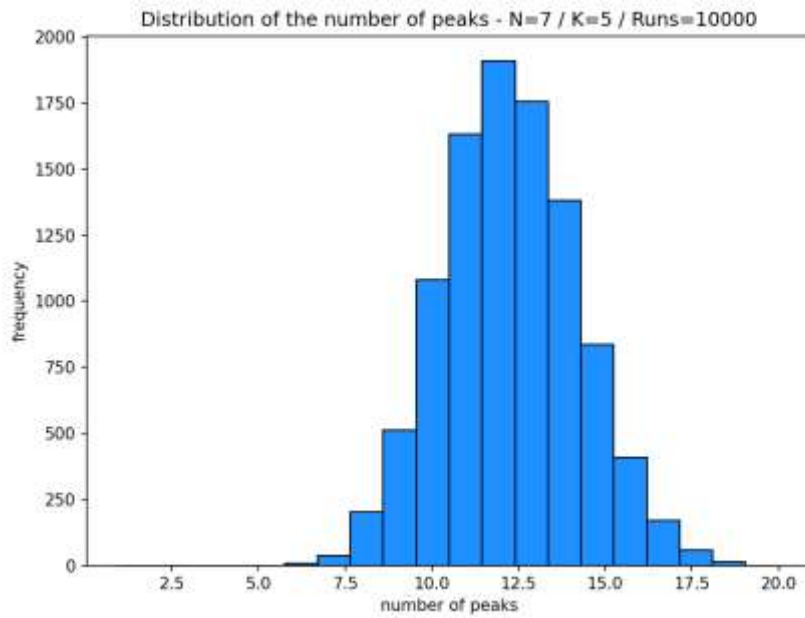
**Quadro 11** – Resumo dos dados N = 7; K = 4

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	9,233
Número máximo de picos	17
Número mínimo de picos	3
Valor médio máximo	0,768
Valor médio mínimo	0,232
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,536

**Fonte:** o autor.

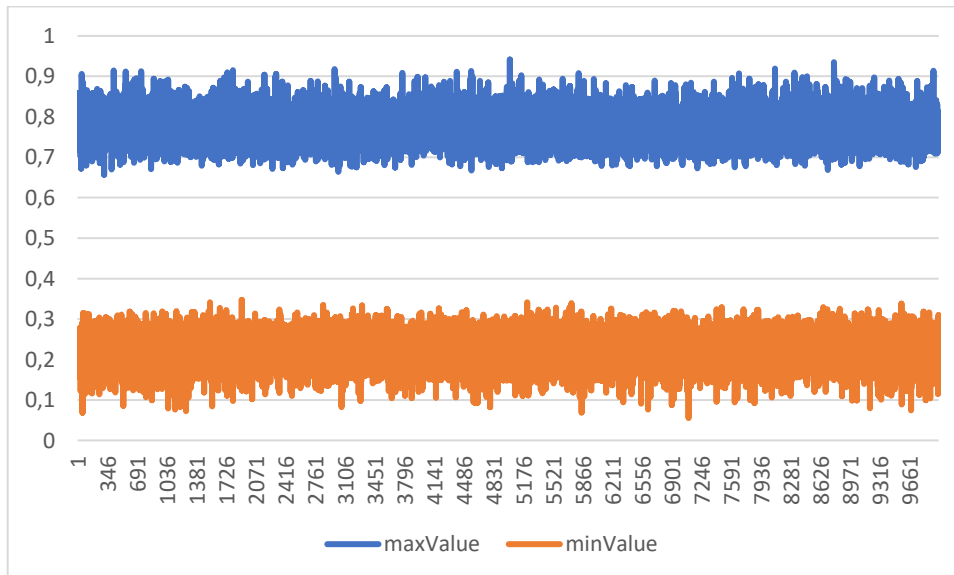
#### 4.6 Cenário N = 7 e K = 5

Gráfico 11 – Distribuição de Picos N = 7; K = 5



Fonte: O autor

Gráfico 12 – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 7; K = 5



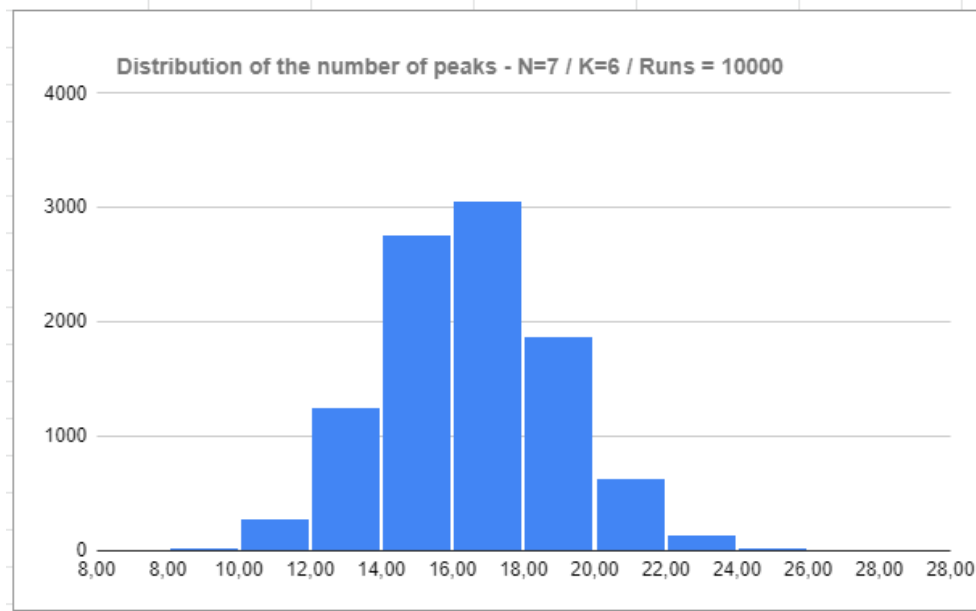
Fonte: O autor

**Quadro 12** – Resumo dos dados  $N = 7$ ;  $K = 5$ 

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	12,358
Número máximo de picos	19
Número mínimo de picos	6
Valor médio máximo	0,772
Valor médio mínimo	0,227
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,545

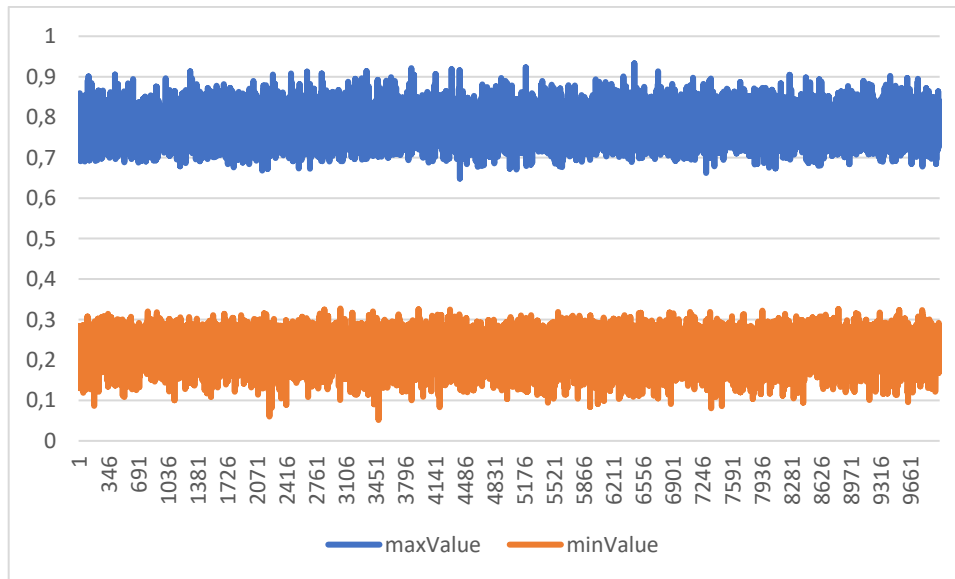
Fonte: o autor.

#### 4.7 Cenário $N = 7$ e $K = 6$

**Gráfico 13** – Distribuição de Picos  $N = 7$ ;  $K = 6$ <sup>23</sup>

Fonte: O autor

<sup>23</sup> Ocorreu um erro na geração automática do gráfico, sendo necessária a elaboração manual, em razão da extrapolação das marcações definidas como default pelo algoritmo original.

**Gráfico 14** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 7; K = 6

Fonte: O autor

**Quadro 13** – Resumo dos dados N = 7; K = 6

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	16
Número máximo de picos	24
Número mínimo de picos	9
Valor médio máximo	0,775
Valor médio mínimo	0,227
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,548

Fonte: O autor.

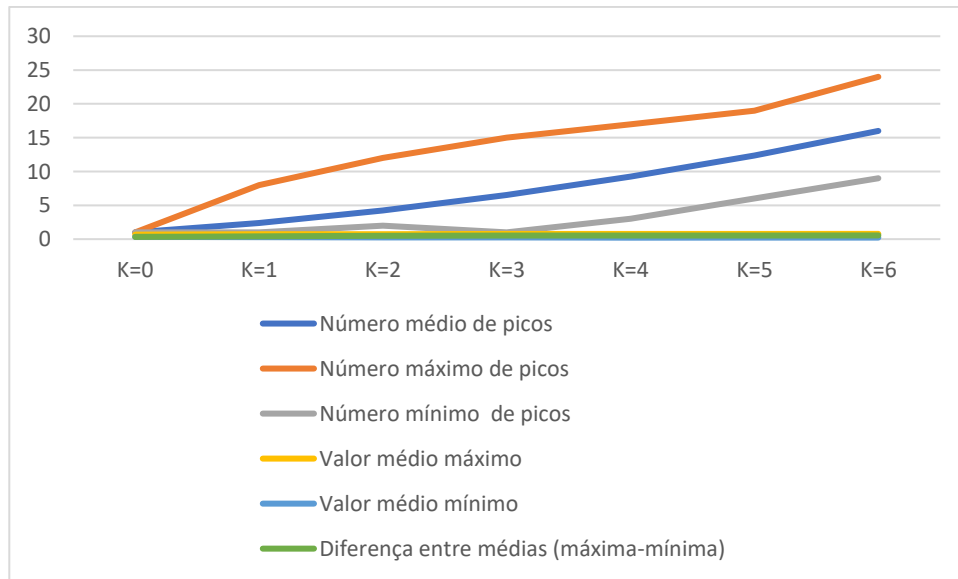
#### 4.8 Síntese dos resultados de N = 7

O quadro 14 e o gráfico 15 apresentam a síntese dos resultados para N = 7.

**Quadro 14** – Comparação de N = 7; K = [0 a 6]

PARÂMETRO	K = 0	K = 1	K = 2	K = 3	K = 4	K = 5	K = 6
Número médio de picos	1	2,379	4,231	6,527	9,233	12,358	16
Número máximo de picos	1	8	12	15	17	19	24
Número mínimo de picos	1	1	2	1	3	6	9
Valor médio máximo	0,666	0,712	0,742	0,759	0,768	0,772	0,775
Valor médio mínimo	0,333	0,287	0,257	0,24	0,232	0,227	0,227
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,333	0,425	0,485	0,519	0,536	0,545	0,548

Fonte: o autor.

**Gráfico 15** – Comparação de parâmetros para  $N = 7$ ;  $K = [0 \text{ a } 6]$ 

**Fonte:** o autor.

Em primeiro lugar, destacou-se a simetria observada em  $K = 0$ , garantindo uma opção ótima em razão da baixa rugosidade do gráfico. Significa que todas as situações simuladas tendem para um mesmo resultado aproximado, com reduzida dispersão de probabilidade, quanto ao critério de sucesso ou insucesso.

Conforme esperado, nessa condição, cada AR3P é empregado isoladamente. Assim, no cenário de interdependência nula, foi demonstrada a condição esperada de um pico máximo, equivalente à condição de máxima área de efetividade, decorrente do somatório das áreas individuais de cada AR3P.

Além disso, observou-se uma simetria, com a média dos valores mínimos representando 50% da média dos valores máximos e, portanto, igualando-se as respectivas diferenças.

Observou-se um incremento da rugosidade das paisagens à medida em que se aumenta o valor de  $K$ , em razão do acréscimo progressivo do número de picos máximos.

O maior salto foi observado quando da passagem de  $K = 0$  para  $K = 1$ . Esta condição reflete o considerável acréscimo na complexidade, gerando diferentes opções de solução que, embora não sejam ótimas, podem ser consideradas aceitáveis.

A partir de  $K \geq 2$  observa-se uma tendência de acréscimo da quantidade de picos de mínimo, ou vales, que representam as condições deletérias. Associado ao acréscimo constante da rugosidade, com o aumento de picos de máximo, as opções de  $K$  variando entre 2 e 6 representam uma alavancagem de opções negativas.

Portanto, verificou-se que, dentre todas as opções simuladas, o cenário com maior probabilidade de sucesso será  $K = 0$ .

Em complemento, para  $K = 1$ , considerando que, embora ocorra o acréscimo da rugosidade, com um acréscimo de picos de máximo, a quantidade de picos de mínimo, ou soluções deletérias, apresentam a tendência a manterem-se constantes com relação a  $K = 0$ . Consequentemente,  $K = 1$  também pode ser considerada uma opção com maior probabilidade de êxito.

As demais opções foram descartadas, em razão do acréscimo das respectivas probabilidades de insucesso.

## 5 SIMULAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA $N = 22$

Seguindo a mesma lógica do capítulo anterior, segue-se o detalhamento dos resultados obtidos com as simulações dos parâmetros de  $N = 22$ , vinculados ao Modelo NK de Kauffman (1993), seguida de uma análise comparativa, visando-se à seleção das melhores opções.

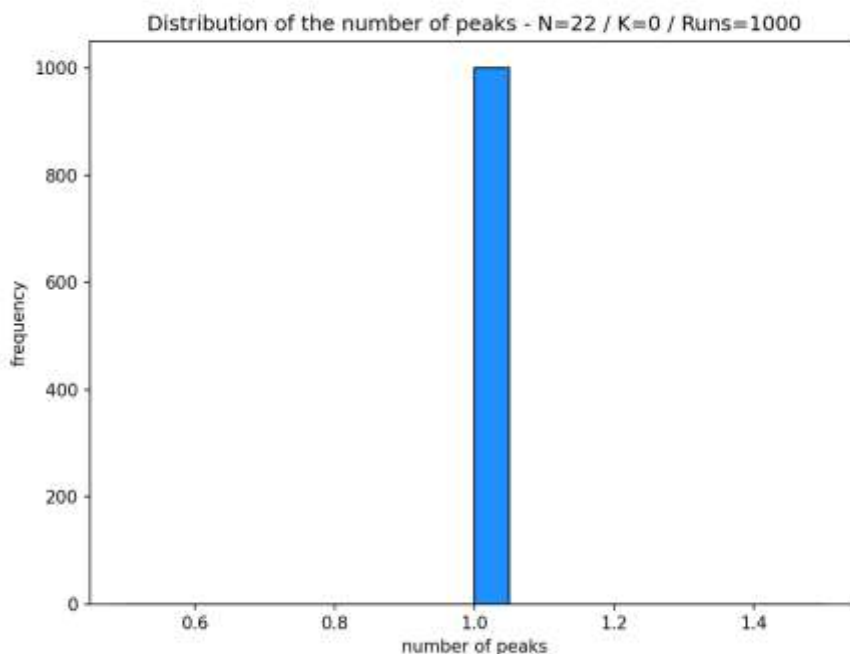
Os gráficos 16 ao 59, bem como os quadros 15 ao 36, apresentam os resultados da simulação.

### 5.1 Cenário $N = 22$ e $K = 0$

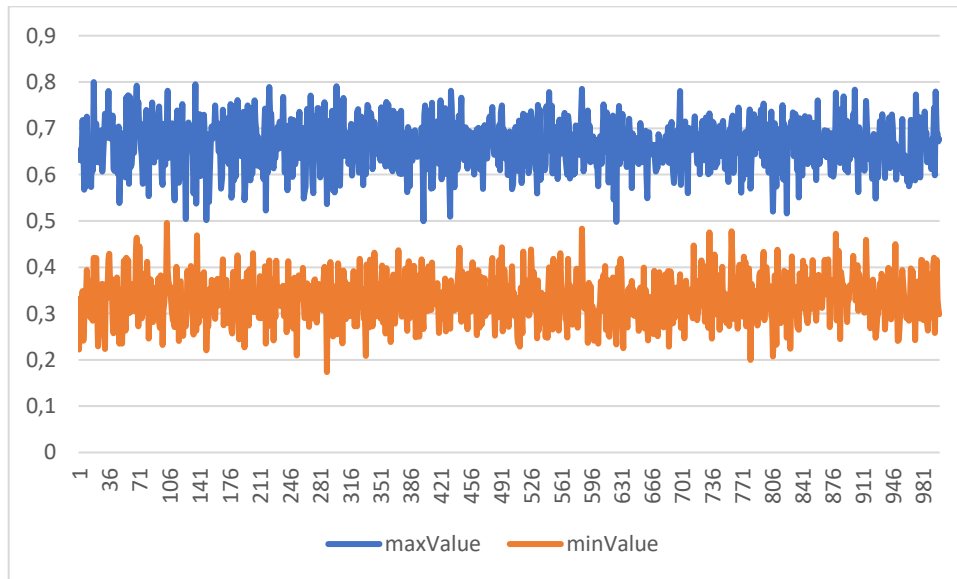
Replicando-se a construção do capítulo anterior, segue-se a apresentação dos dados obtidos com simulação dos parâmetros de  $N = 22$ , vinculados ao Modelo NK de Kauffman (1993).

Ao final do capítulo, a comparação dos dados obtidos subsidiou a análise visando-se à seleção das opções mais eficientes.

**Gráfico 16** – Distribuição de Picos  $N = 22$ ;  $K = 0$



**Fonte:** O autor.

**Gráfico 17** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 0

Fonte: O autor.

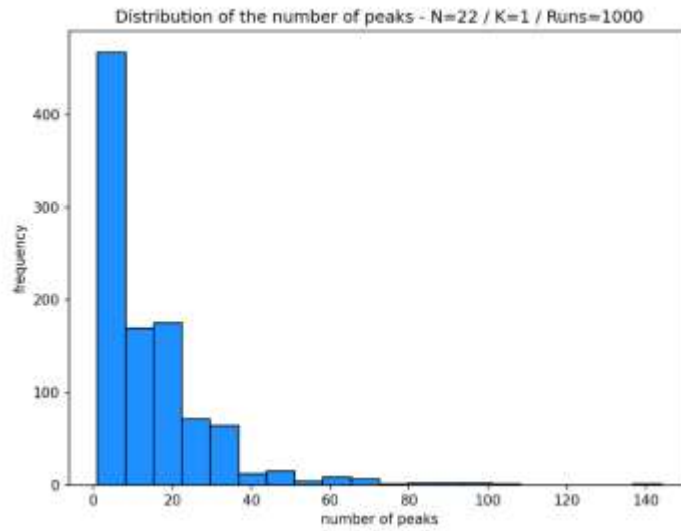
**Quadro 15** – Resumo dos dados N = 22; K = 0

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	1
Número máximo de picos	1
Número mínimo de picos	1
Valor médio máximo	0,665
Valor médio mínimo	0,332
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,333

Fonte: O autor.

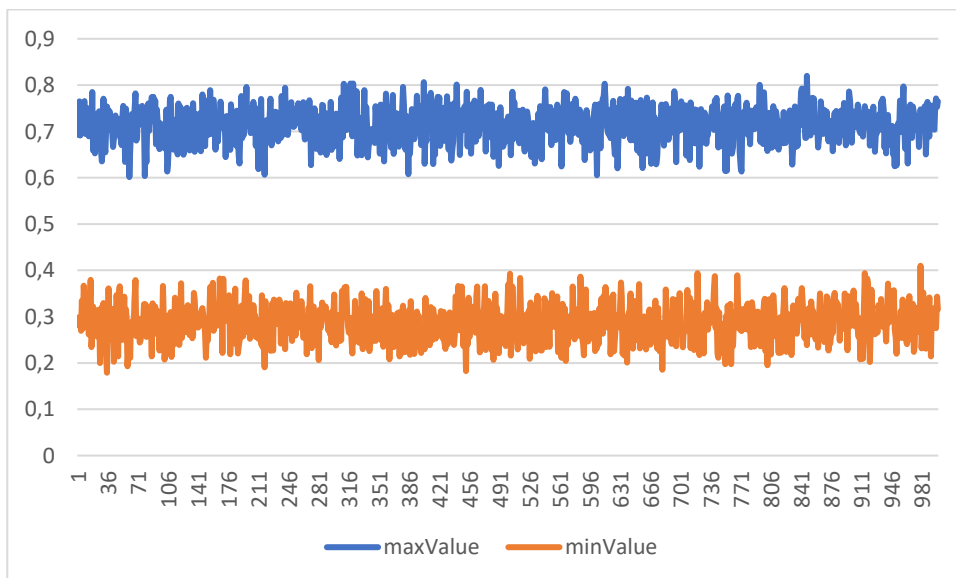
## 5.2 Cenário N = 22 e K = 1

**Gráfico 18** – Distribuição de Picos N = 22; K = 1



**Fonte:** O autor.

**Gráfico 19** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 1



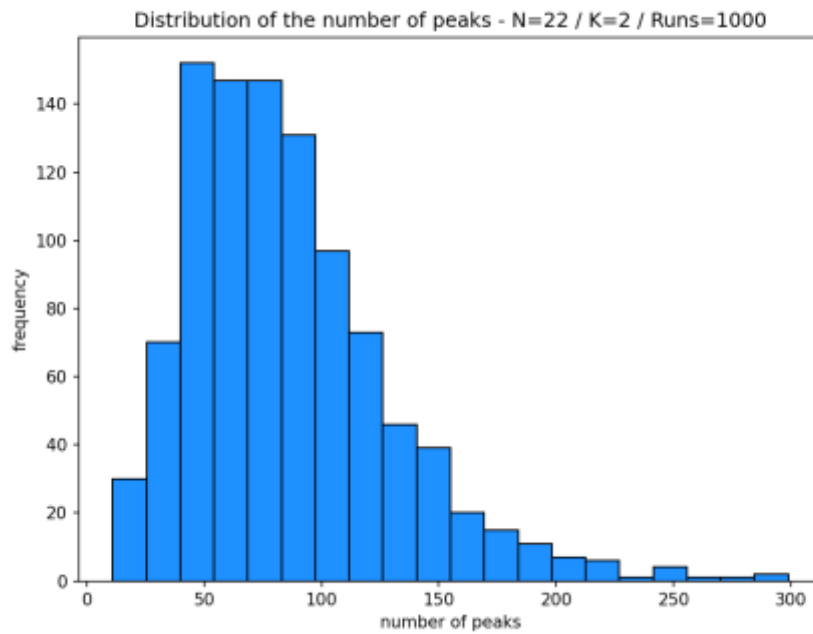
**Fonte:** O autor.

**Quadro 16** – Resumo dos dados  $N = 22$ ;  $K = 1$ 

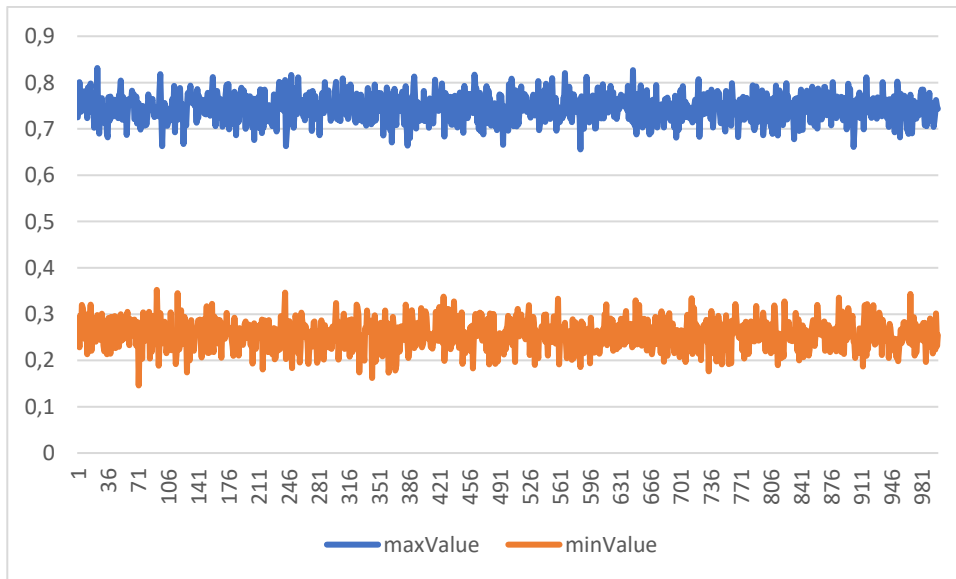
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	14,64
Número máximo de picos	144
Número mínimo de picos	1
Valor médio máximo	0,714
Valor médio mínimo	0,287
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,427

Fonte: O autor.

### 5.3 Cenário $N = 22$ e $K = 2$

**Gráfico 20** – Distribuição de Picos  $N = 22$ ;  $K = 2$ 

Fonte: O autor.

**Gráfico 21** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 2

**Fonte:** O autor.

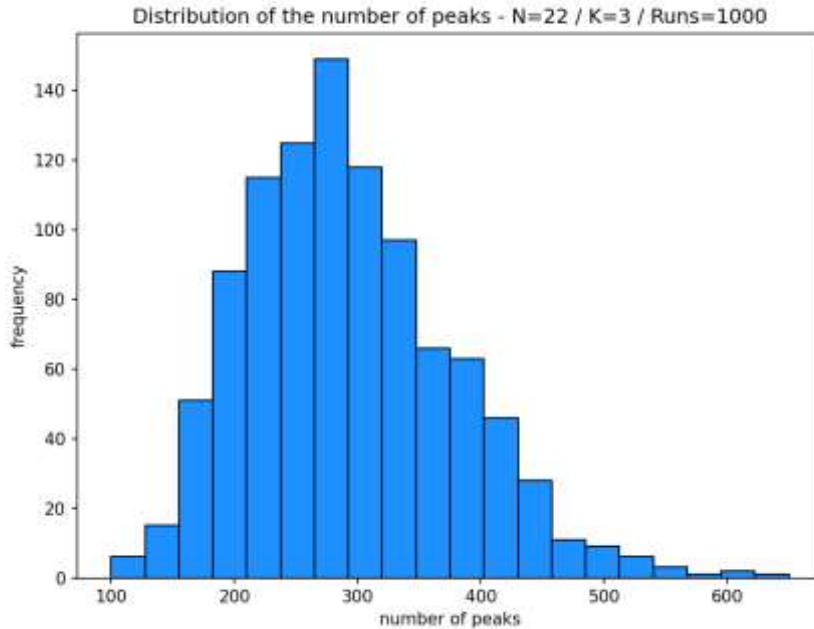
**Quadro 17** – Resumo dos dados N = 22; K = 2

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	85,856
Número máximo de picos	299
Número mínimo de picos	11
Valor médio máximo	0,745
Valor médio mínimo	0,256
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,489

**Fonte:** O autor.

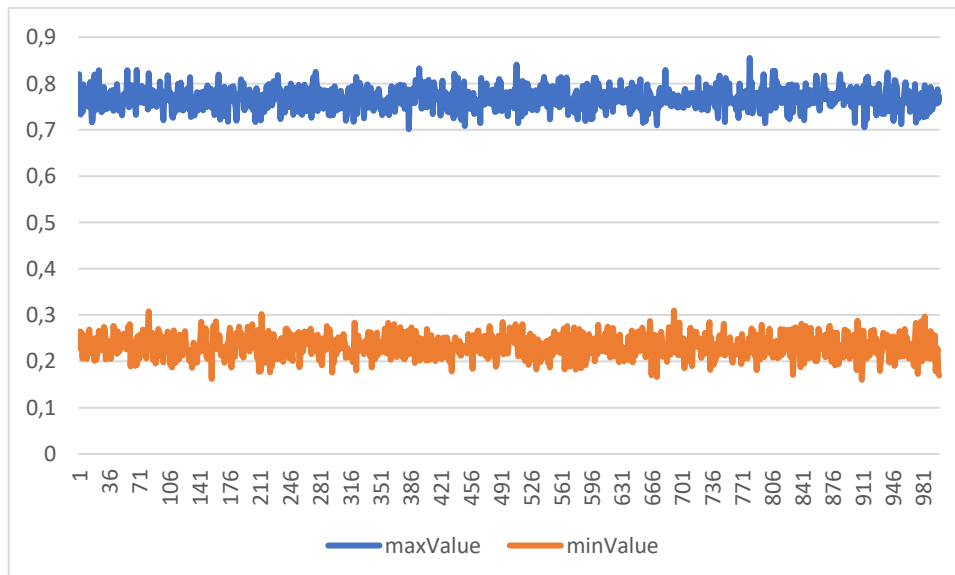
## 5.4 Cenário N = 22 e K = 3

**Gráfico 22** – Distribuição de Picos N = 22; K = 3



**Fonte:** O autor.

**Gráfico 23** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 3



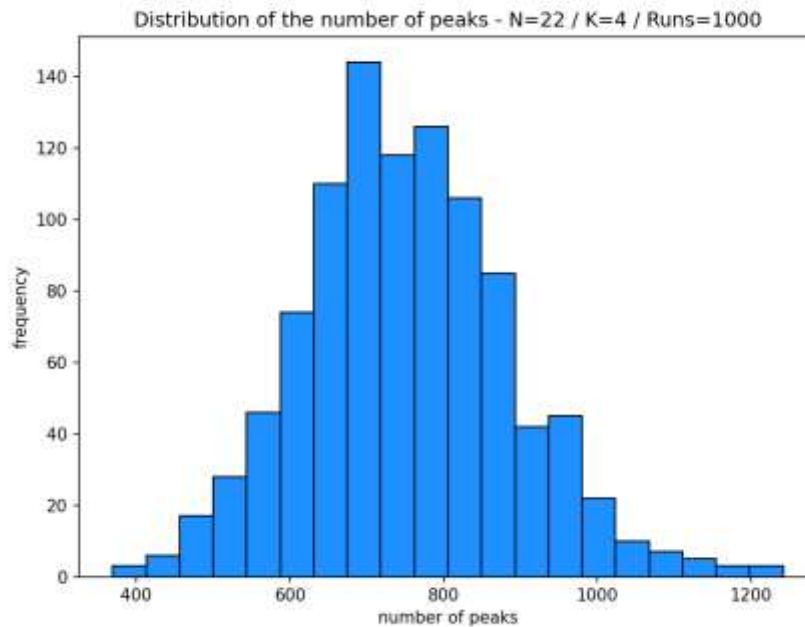
**Fonte:** O autor.

**Quadro 18** – Resumo dos dados  $N = 22$ ;  $K = 3$ 

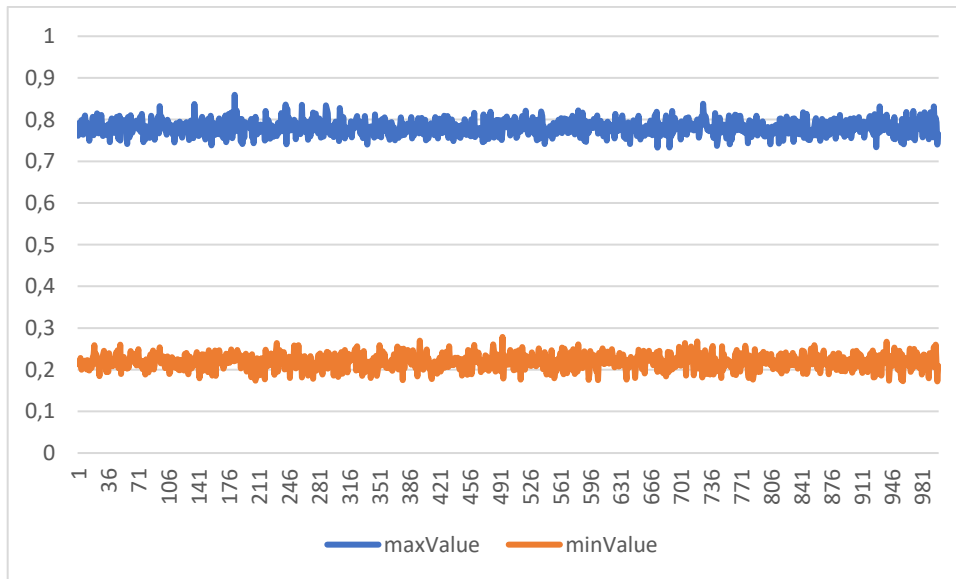
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	292,153
Número máximo de picos	650
Número mínimo de picos	100
Valor médio máximo	0,768
Valor médio mínimo	0,233
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,535

Fonte: O autor.

## 5.5 Cenário $N = 22$ e $K = 4$

**Gráfico 24** – Distribuição de Picos  $N = 22$ ;  $K = 4$ 

Fonte: O autor.

**Gráfico 25** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 4

**Fonte:** O autor.

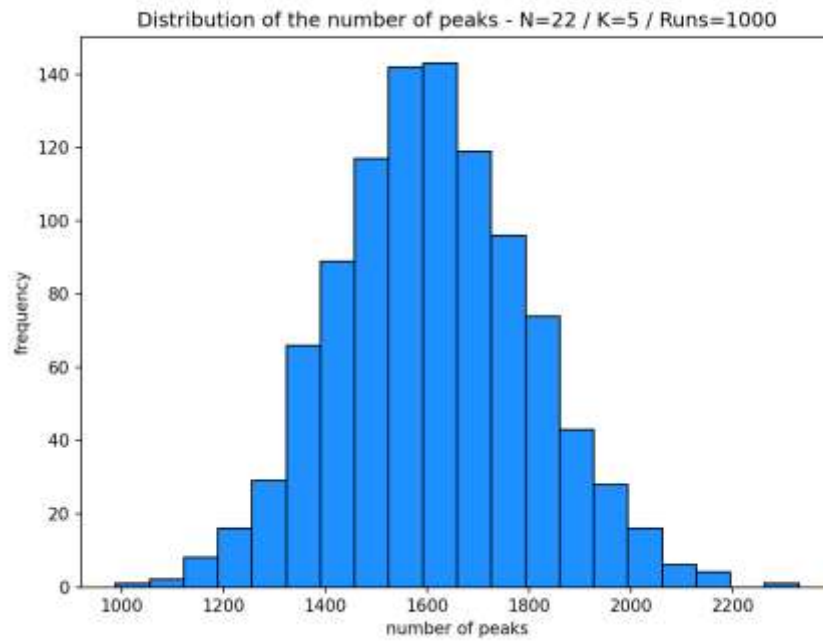
**Quadro 19** – Resumo dos dados N = 22; K = 4

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	751,925
Número máximo de picos	1242
Número mínimo de picos	369
Valor médio máximo	0,781
Valor médio mínimo	0,219
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,562

**Fonte:** O autor.

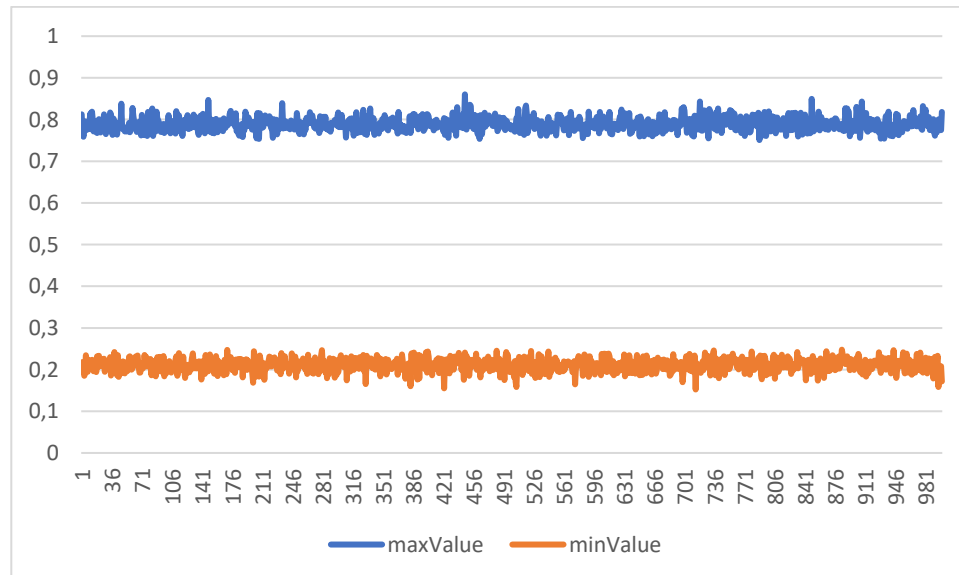
## 5.6 Cenário N = 22 e K = 5

**Gráfico 26** – Distribuição de Picos N = 22; K = 5



**Fonte:** O autor.

**Gráfico 27** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 5



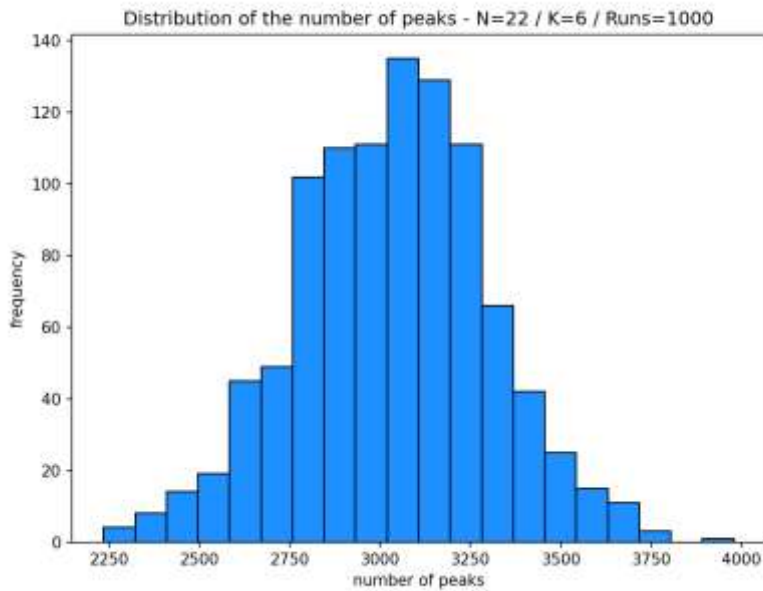
**Fonte:** O autor.

**Quadro 20** – Resumo dos dados  $N = 22$ ;  $K = 5$ 

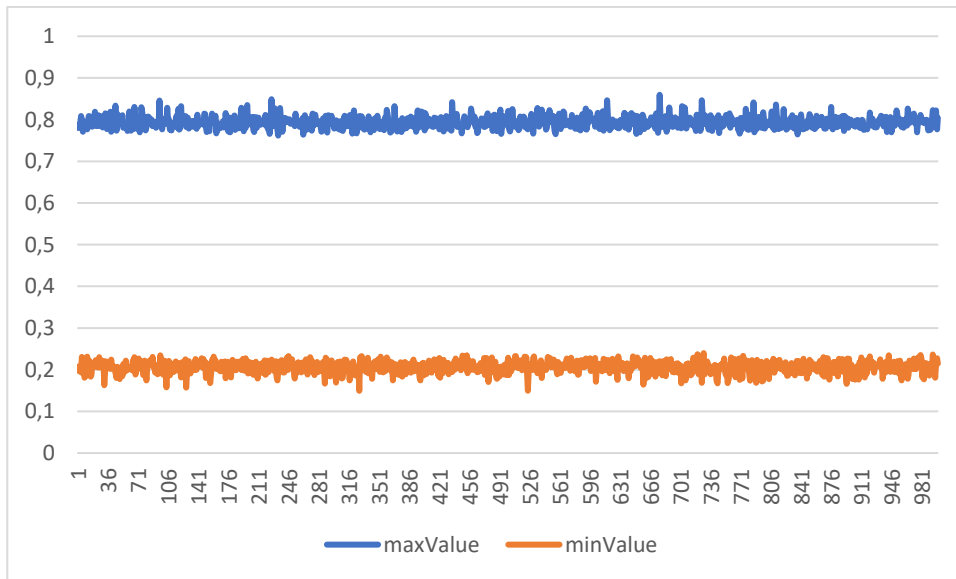
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	1610,756
Número máximo de picos	2.330
Número mínimo de picos	987
Valor médio máximo	0,789
Valor médio mínimo	0,211
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,578

Fonte: O autor.

## 5.7 Cenário $N = 22$ e $K = 6$

**Gráfico 28** – Distribuição de Picos  $N = 22$ ;  $K = 6$ 

Fonte: O autor.

**Gráfico 29** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 6

**Fonte:** O autor.

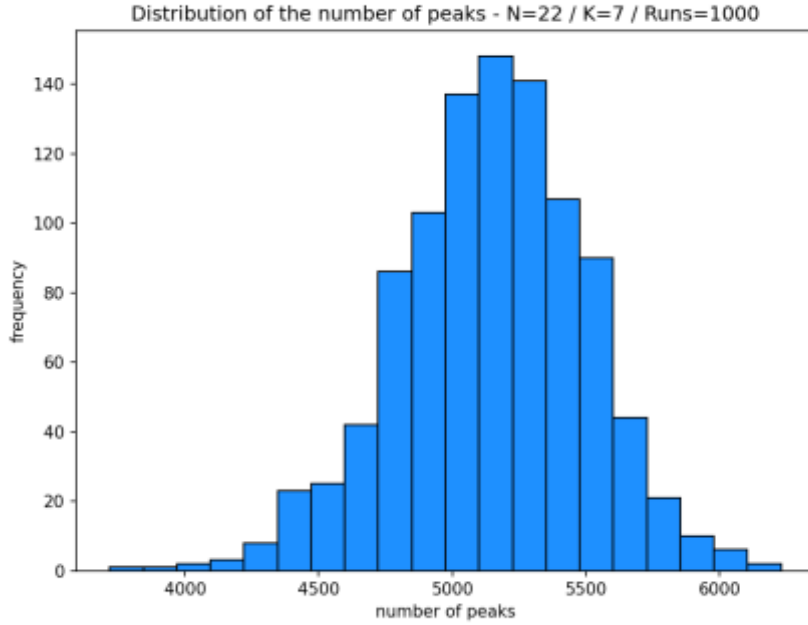
**Quadro 21** – Resumo dos dados N = 22; K = 6

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	3033,925
Número máximo de picos	3979
Número mínimo de picos	2235
Valor médio máximo	0,793
Valor médio mínimo	0,207
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,586

**Fonte:** O autor.

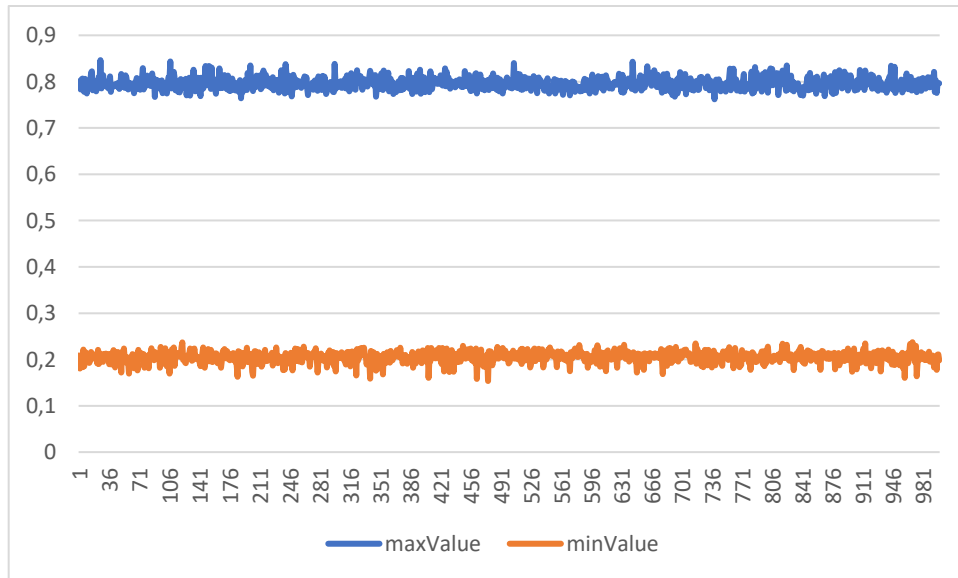
5.8 Cenário N = 22 e K = 7

Gráfico 30 – Distribuição de Picos N = 22; K = 7



Fonte: O autor.

Gráfico 31 – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 7



Fonte: O

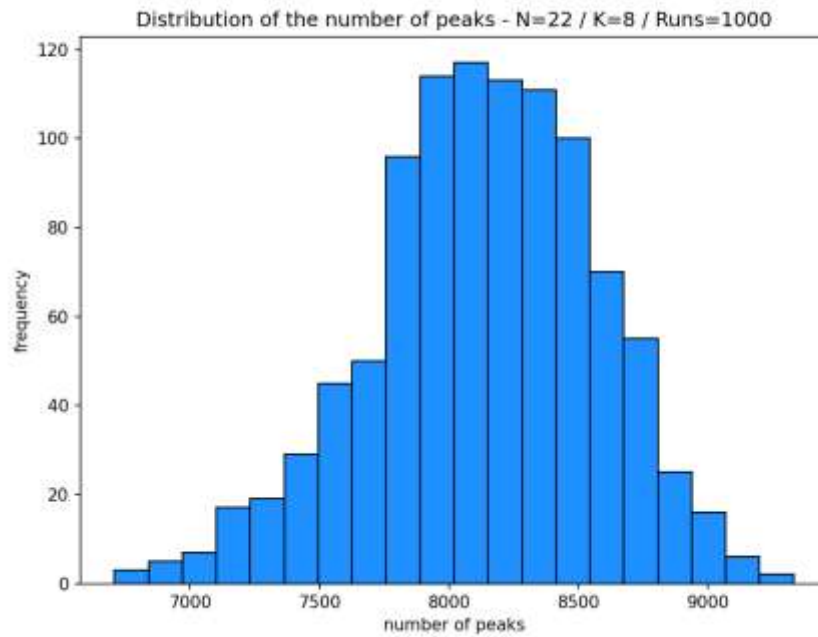
autor.

**Quadro 22** – Resumo dos dados  $N = 22$ ;  $K = 7$ 

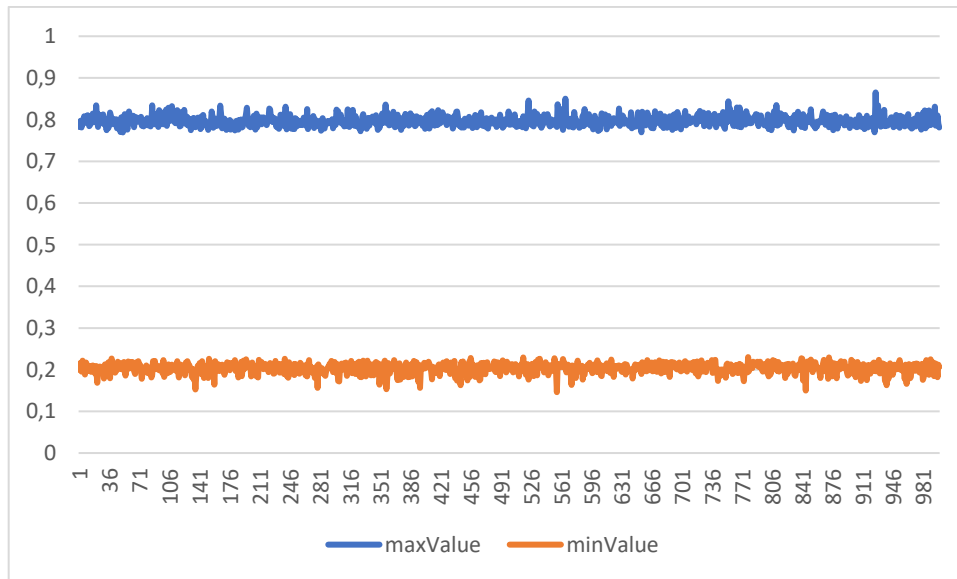
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	5146,118
Número máximo de picos	6231
Número mínimo de picos	3718
Valor médio máximo	0,796
Valor médio mínimo	0,205
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,591

Fonte: O autor.

## 5.9 Cenário $N = 22$ e $K = 8$

**Gráfico 32** – Distribuição de Picos  $N = 22$ ;  $K = 8$ 

Fonte: O autor.

**Gráfico 33** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 8

**Fonte:** O autor.

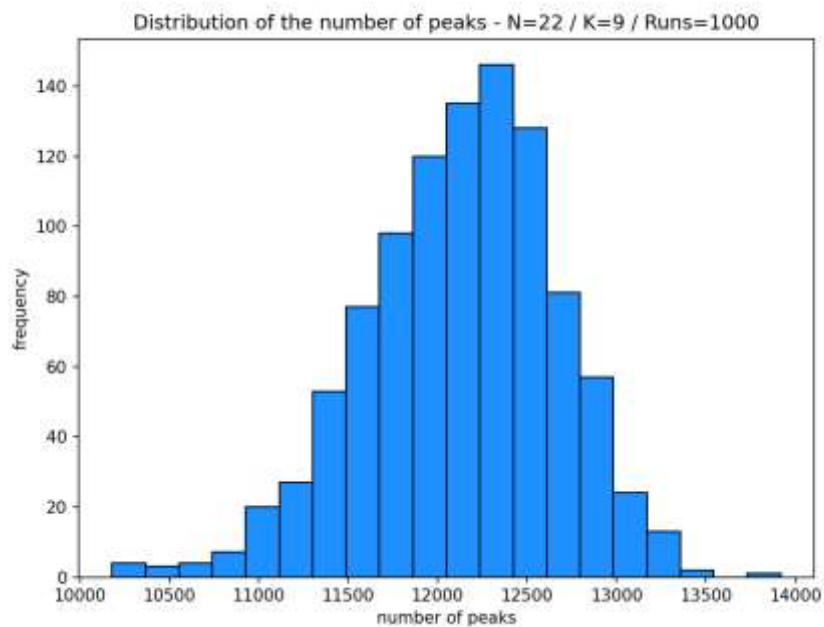
**Quadro 23** – Resumo dos dados N = 22; K = 8

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	8134,666
Número máximo de picos	9331
Número mínimo de picos	6708
Valor médio máximo	0,797
Valor médio mínimo	0,204
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,593

**Fonte:** O autor.

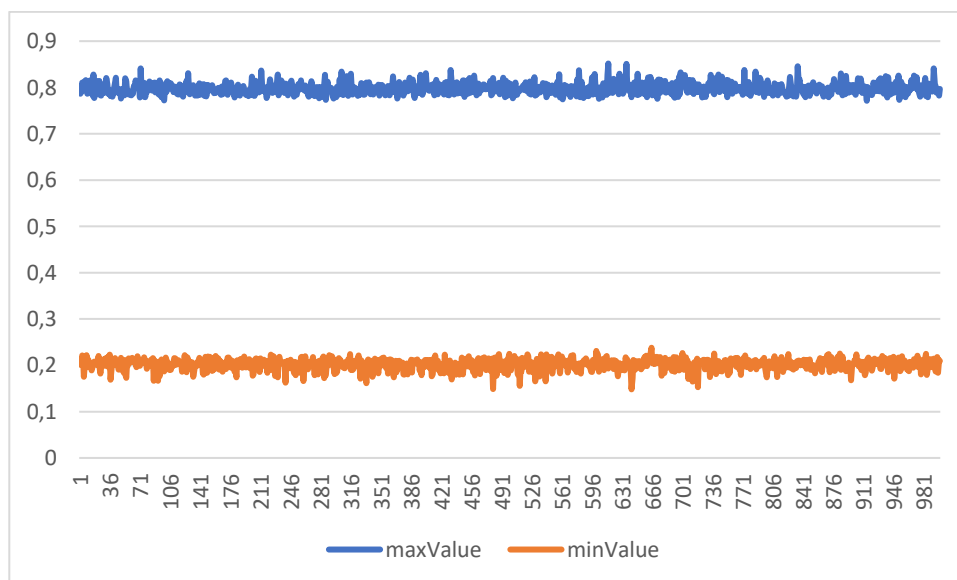
## 5.10 Cenário N = 22 e K = 9

Gráfico 34 – Distribuição de Picos N = 22; K = 9



Fonte: O autor.

Gráfico 35 – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 9



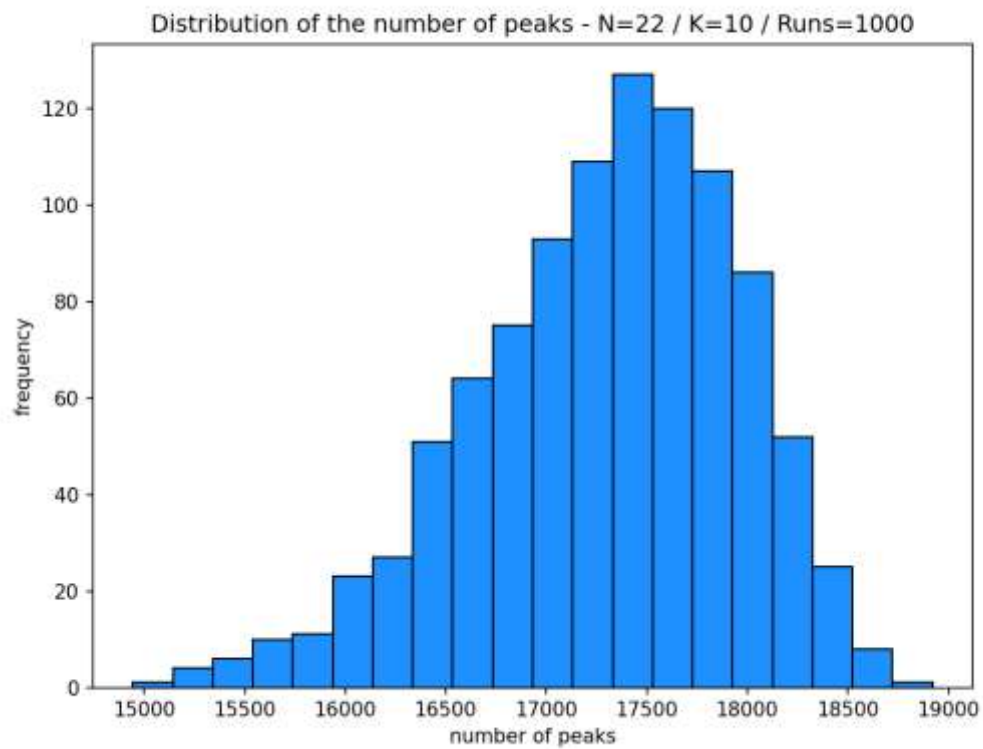
Fonte: O autor.

**Quadro 24** – Resumo dos dados N = 22; K = 9

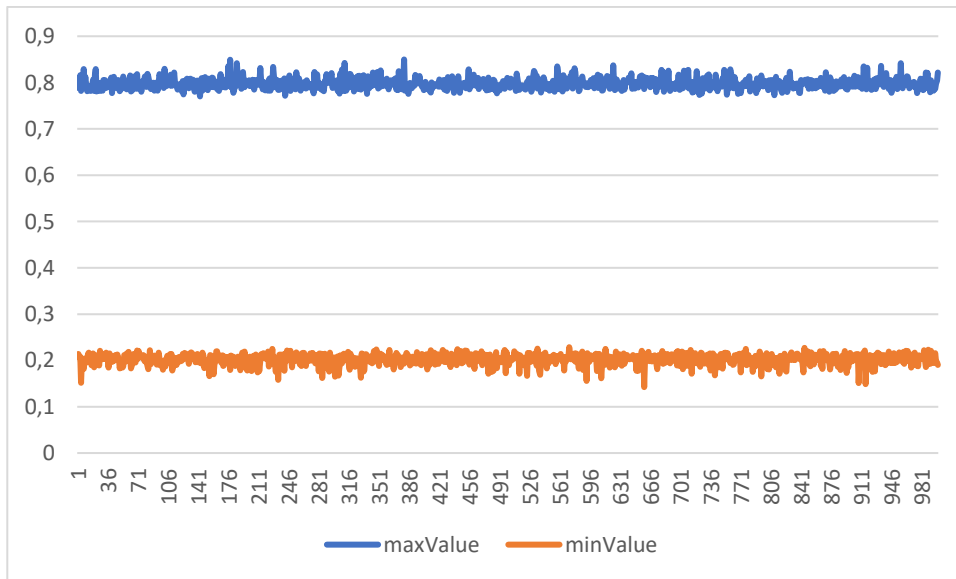
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	12127,69
Número máximo de picos	13917
Número mínimo de picos	10179
Valor médio máximo	0,798
Valor médio mínimo	0,202
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,596

Fonte: O autor.

### 5.11 Cenário N = 22 e K = 10

**Gráfico 36** – Distribuição de Picos N = 22; K = 10

Fonte: O autor.

**Gráfico 37** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 10

**Fonte:** O autor.

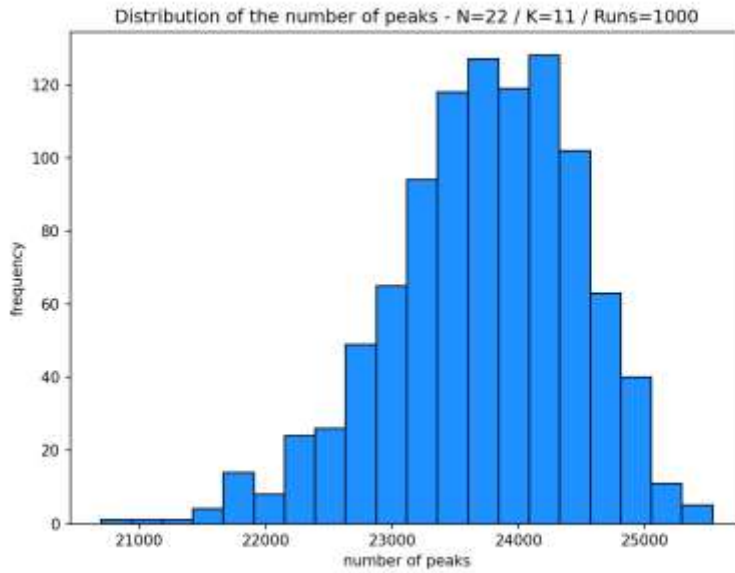
**Quadro 25** – Resumo dos dados N = 22; K = 10

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	17296,5
Número máximo de picos	18921
Número mínimo de picos	14943
Valor médio máximo	0,798
Valor médio mínimo	0,202
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,596

**Fonte:** O autor.

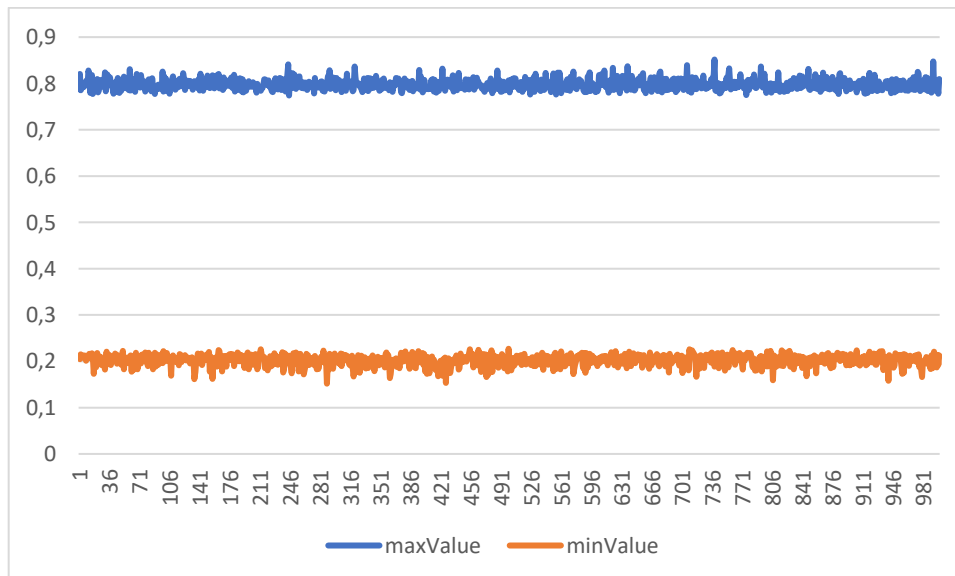
## 5.12 Cenário N = 22 e K = 11

**Gráfico 38** – Distribuição de Picos N = 22; K = 11



**Fonte:** O autor.

**Gráfico 39** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 11



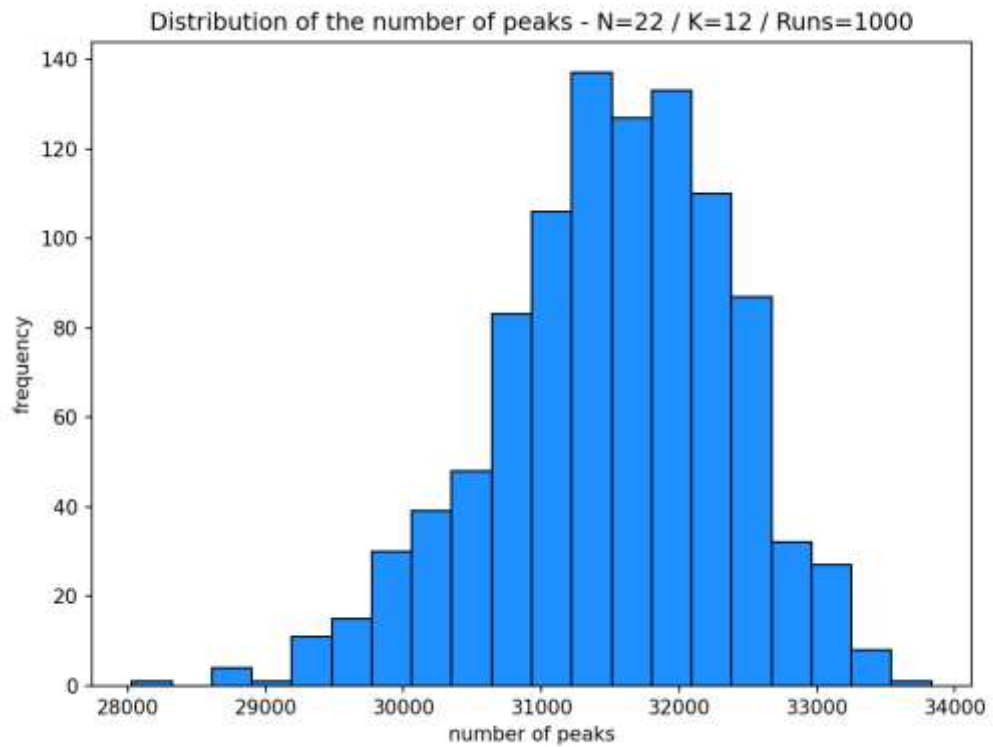
**Fonte:** O autor.

**Quadro 26** – Resumo dos dados N = 22; K = 11

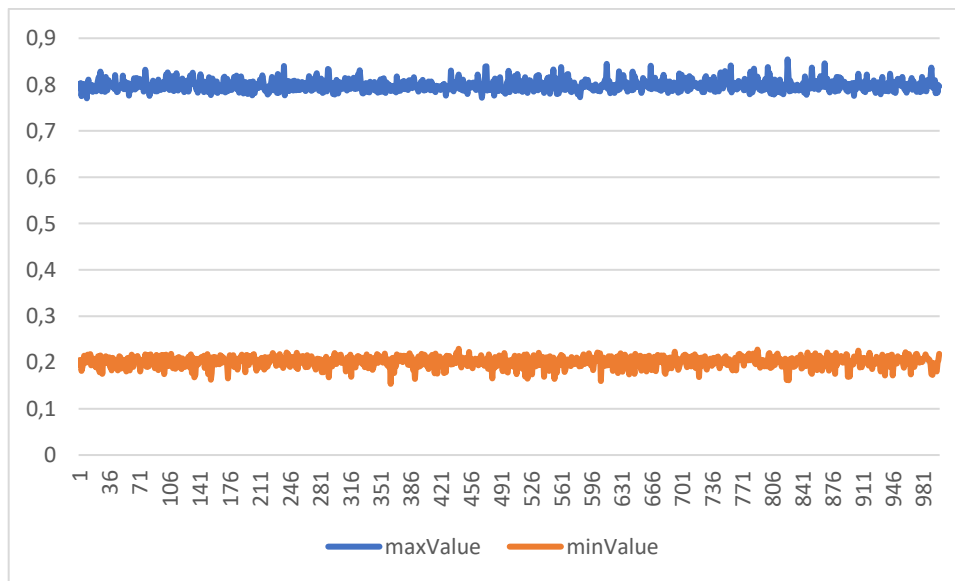
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	23731,26
Número máximo de picos	25537
Número mínimo de picos	20699
Valor médio máximo	0,798
Valor médio mínimo	0,202
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,596

Fonte: O autor.

### 5.13 Cenário N = 22 e K = 12

**Gráfico 40** – Distribuição de Picos N = 22; K = 12

Fonte: O autor.

**Gráfico 41** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 12

**Fonte:** O autor.

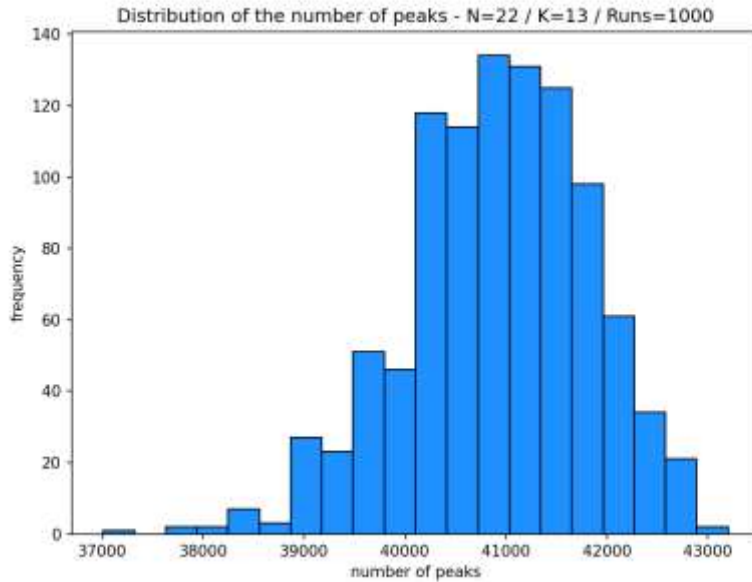
**Quadro 27** – Resumo dos dados N = 22; K = 12

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	31519,75
Número máximo de picos	33831
Número mínimo de picos	28030
Valor médio máximo	0,798
Valor médio mínimo	0,202
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,596

**Fonte:** O autor.

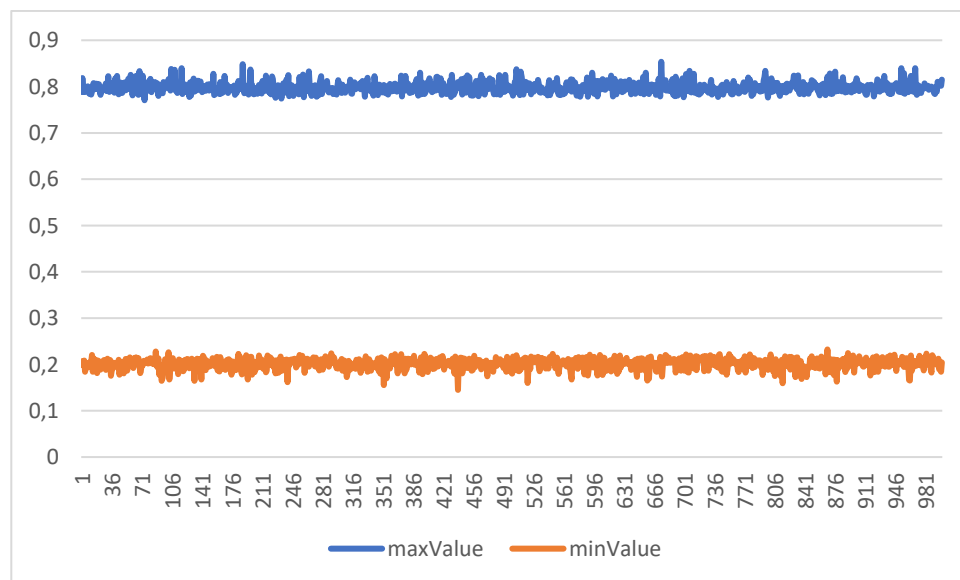
## 5.14 Cenário N = 22 e K = 13

Gráfico 42 – Distribuição de Picos N = 22; K = 13



Fonte: O autor.

Gráfico 43 – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 13



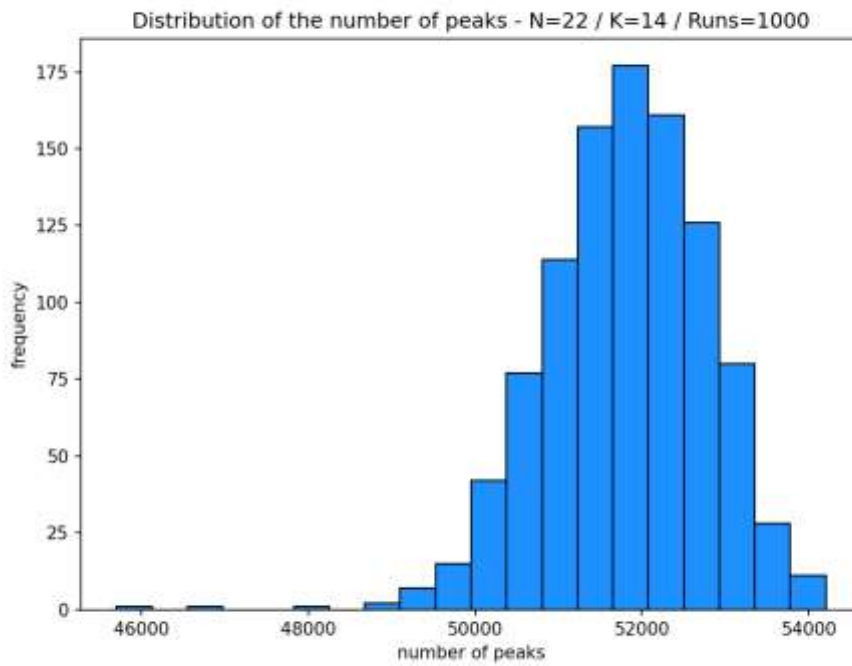
Fonte: O autor.

**Quadro 28** – Resumo dos dados  $N = 22$ ;  $K = 13$ 

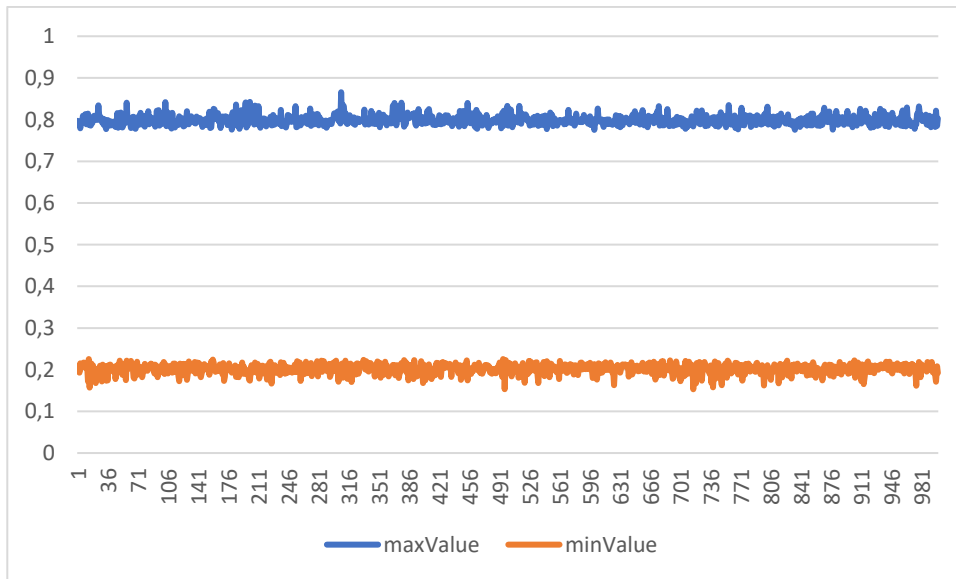
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	40920,5
Número máximo de picos	43201
Número mínimo de picos	37010
Valor médio máximo	0,798
Valor médio mínimo	0,201
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,597

Fonte: O autor.

### 5.15 Cenário $N = 22$ e $K = 14$

**Gráfico 44** – Distribuição de Picos  $N = 22$ ;  $K = 14$ 

Fonte: O autor.

**Gráfico 45** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 14

Fonte: O autor.

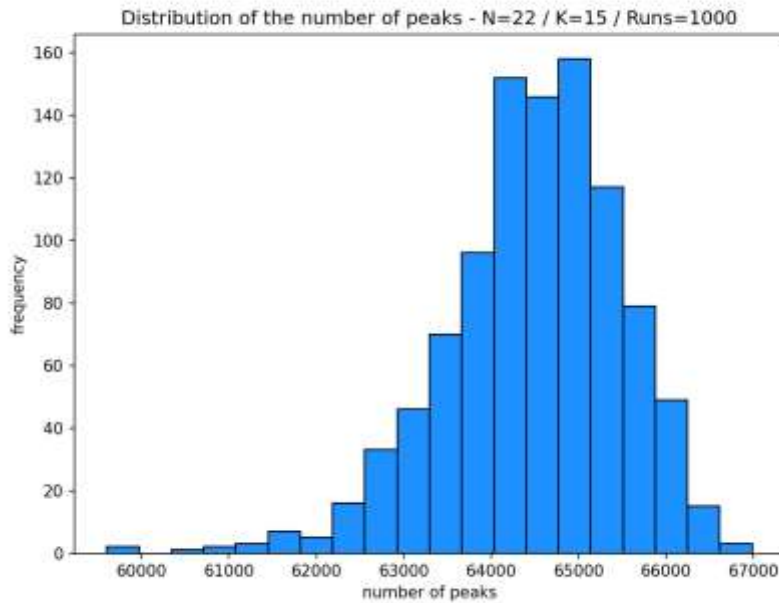
**Quadro 29** – Resumo dos dados N = 22; K = 14

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	51813,42
Número máximo de picos	54206
Número mínimo de picos	45701
Valor médio máximo	0,799
Valor médio mínimo	0,202
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,597

Fonte: O autor.

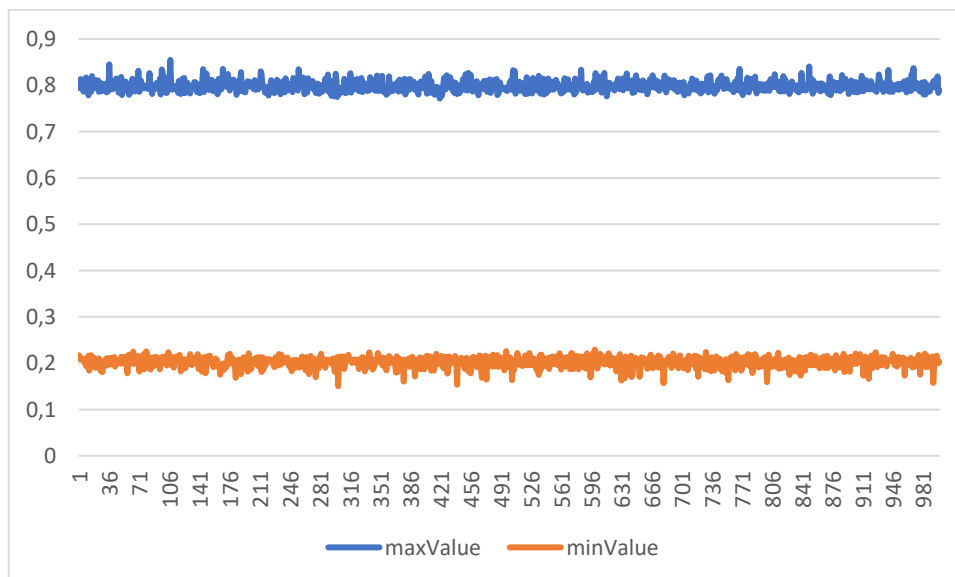
## 5.16 Cenário N = 22 e K = 15

**Gráfico 46** – Distribuição de Picos N = 22; K = 15



**Fonte:** O autor.

**Gráfico 47** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 15



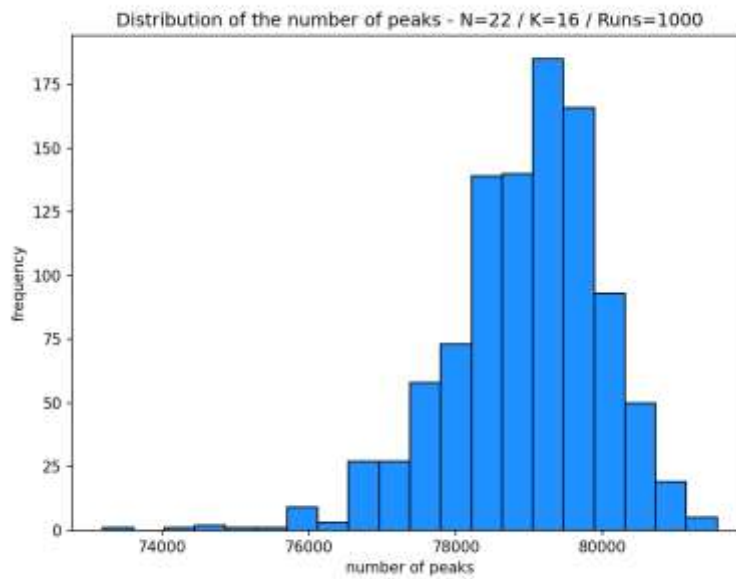
**Fonte:** O autor.

**Quadro 30** – Resumo dos dados N = 22; K = 15

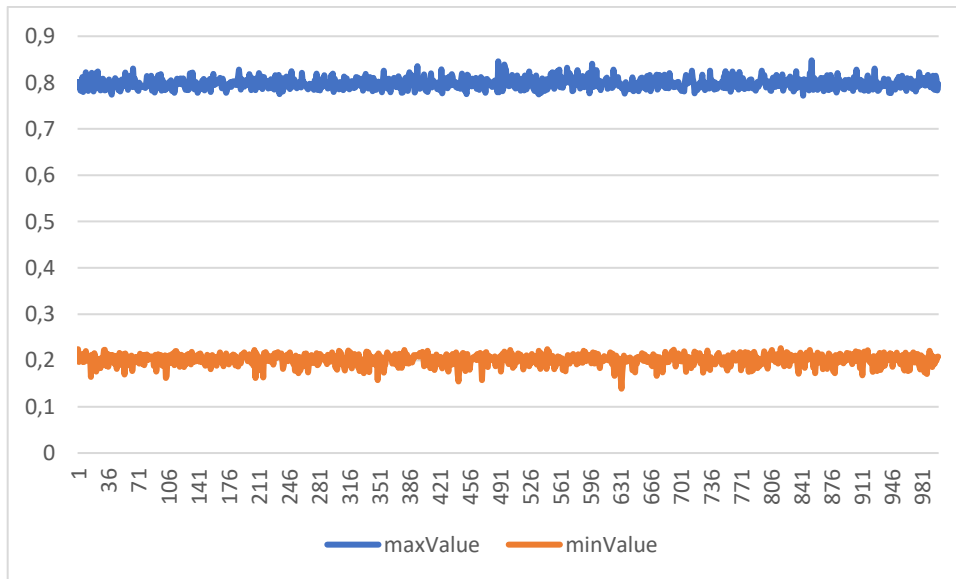
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	64493,5
Número máximo de picos	66986
Número mínimo de picos	59603
Valor médio máximo	0,799
Valor médio mínimo	0,202
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,597

Fonte: O autor.

### 5.17 Cenário N = 22 e K = 16

**Gráfico 48** – Distribuição de Picos N = 22; K = 16

Fonte: O autor.

**Gráfico 49** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 16

**Fonte:** O autor.

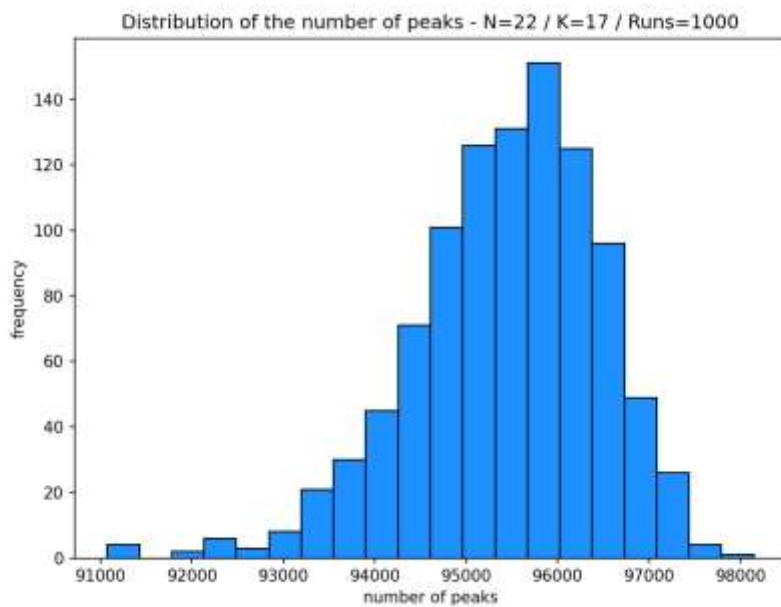
**Quadro 31** – Resumo dos dados N = 22; K = 16

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	78957,74
Número máximo de picos	81559
Número mínimo de picos	73196
Valor médio máximo	0,798
Valor médio mínimo	0,202
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,596

**Fonte:** O autor.

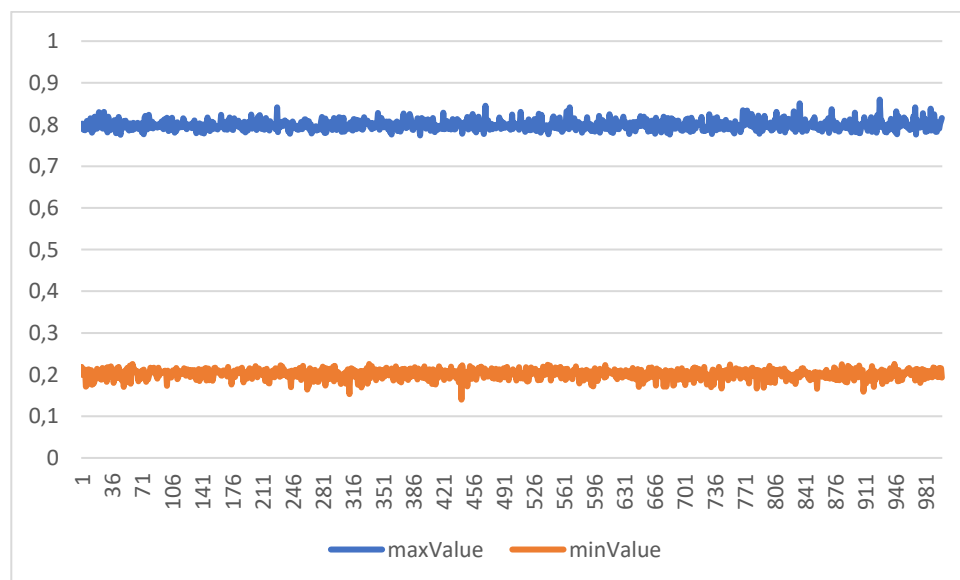
## 5.18 Cenário N = 22 e K = 17

Gráfico 50 – Distribuição de Picos N = 22; K = 17



Fonte: O autor.

Gráfico 51 – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 17



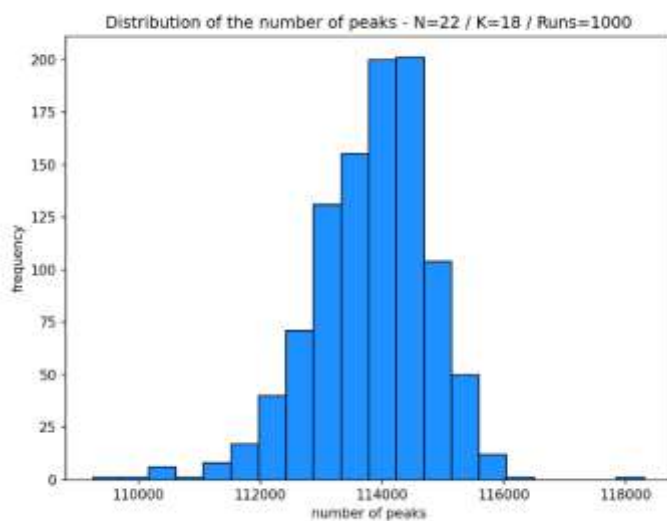
Fonte: O autor.

**Quadro 32** – Resumo dos dados N = 22; K = 17

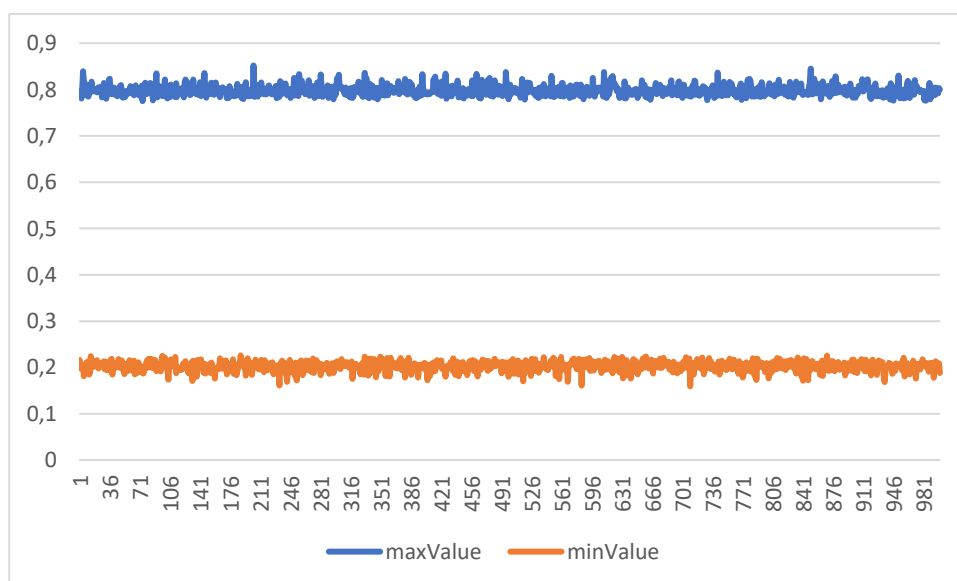
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	95441,46
Número máximo de picos	98146
Número mínimo de picos	91069
Valor médio máximo	0,798
Valor médio mínimo	0,201
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,597

Fonte: O autor.

### 5.19 Cenário N = 22 e K = 18

**Gráfico 52** – Distribuição de Picos N = 22; K = 18

Fonte: O autor.

**Gráfico 53** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 18

**Fonte:** O autor.

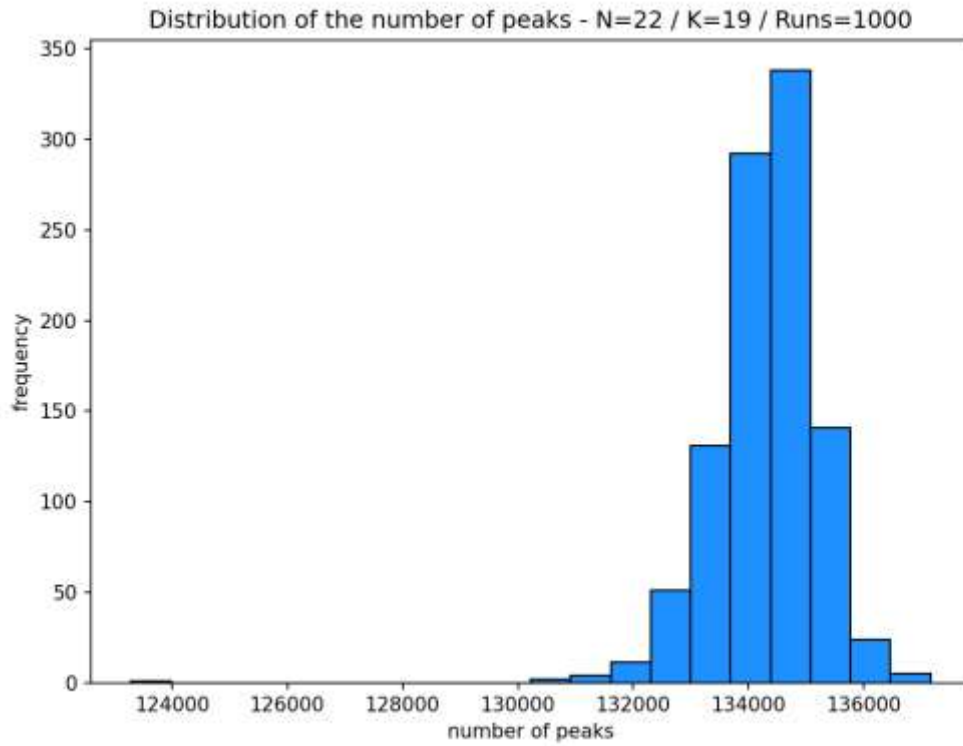
**Quadro 33** – Resumo dos dados N = 22; K = 18

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	113840,6
Número máximo de picos	118306
Número mínimo de picos	109257
Valor médio máximo	0,798
Valor médio mínimo	0,202
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,596

**Fonte:** O autor.

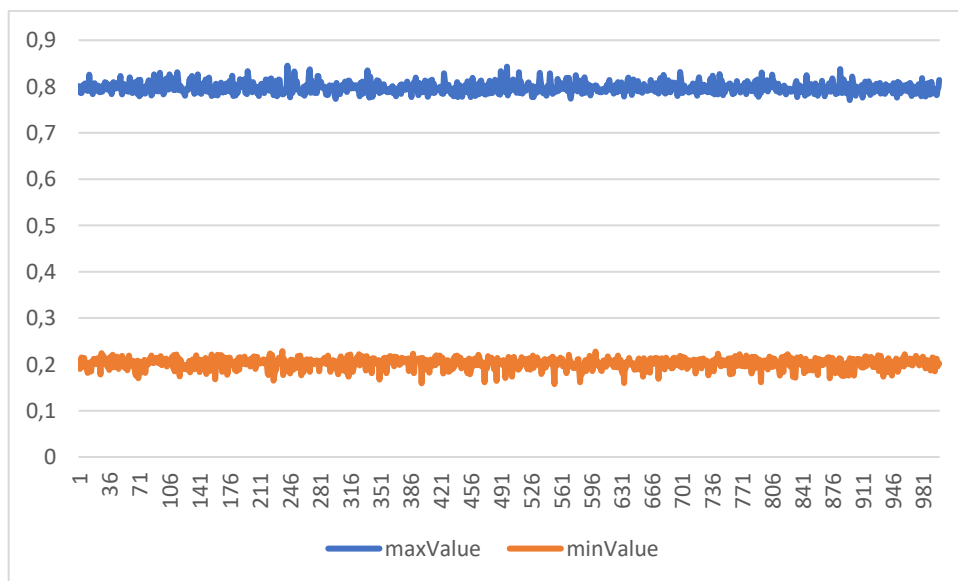
**5.20 Cenário N = 22 e K = 19**

**Gráfico 54** – Distribuição de Picos N = 22; K = 19



Fonte: O autor.

**Gráfico 55** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 19



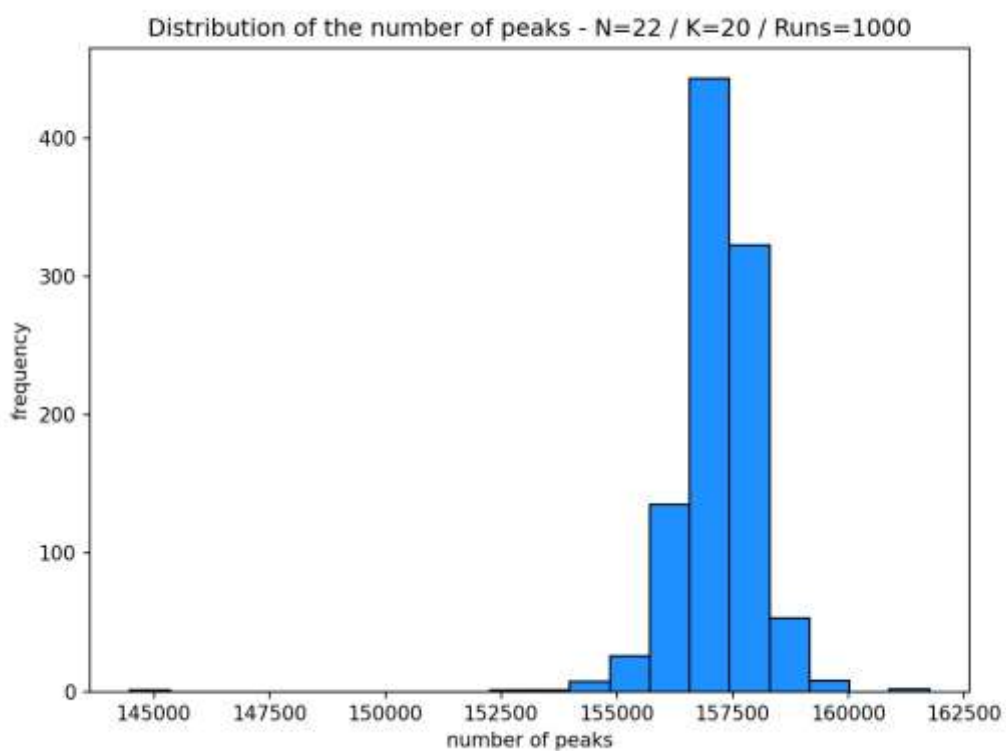
Fonte: O autor.

**Quadro 34** – Resumo dos dados N = 22; K = 19

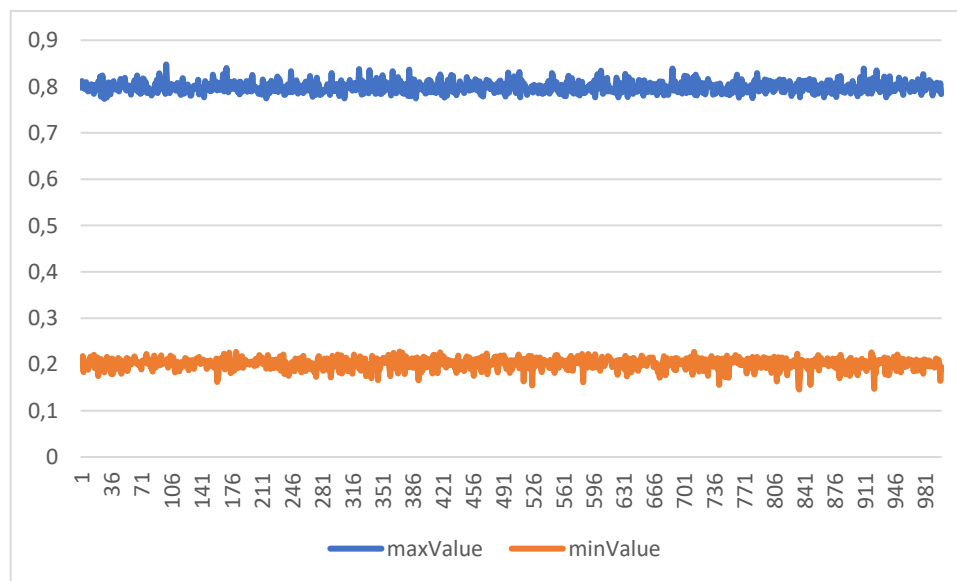
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	134321,3
Número máximo de picos	137159
Número mínimo de picos	123281
Valor médio máximo	0,797
Valor médio mínimo	0,202
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,595

Fonte: O autor.

## 5.21 Cenário N = 22 e K = 20

**Gráfico 56** – Distribuição de Picos N = 22; K = 20

Fonte: O autor.

**Gráfico 57** – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 20

**Fonte:** O autor.

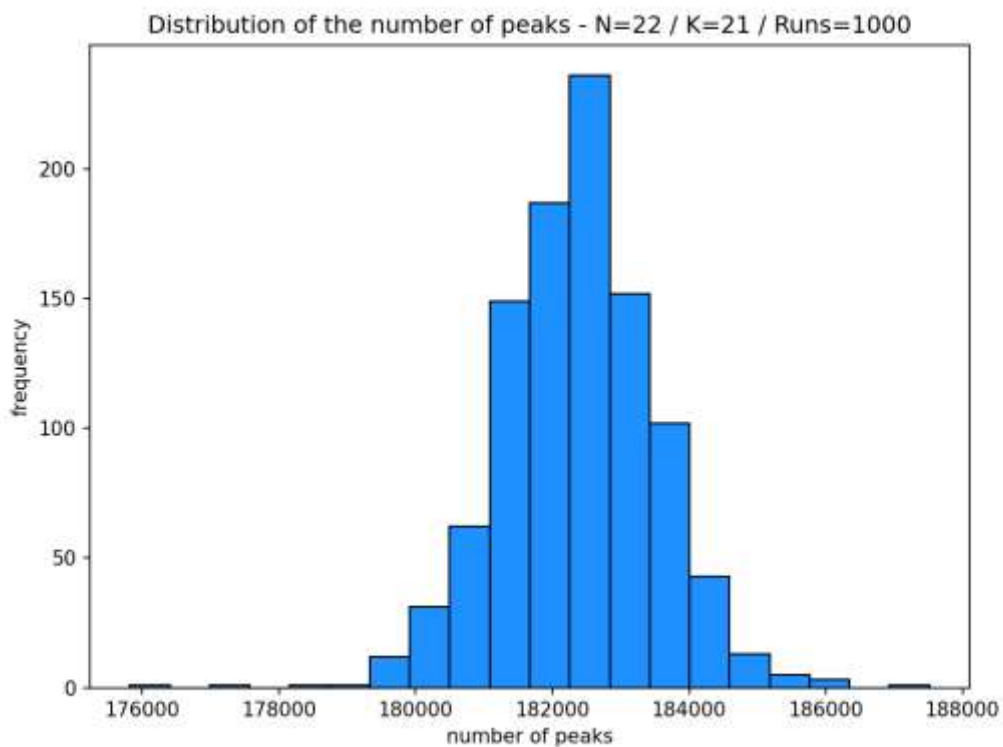
**Quadro 35** – Resumo dos dados N = 22; K = 20

PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	157203,6
Número máximo de picos	161750
Número mínimo de picos	144479
Valor médio máximo	0,798
Valor médio mínimo	0,202
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,596

**Fonte:** O autor.

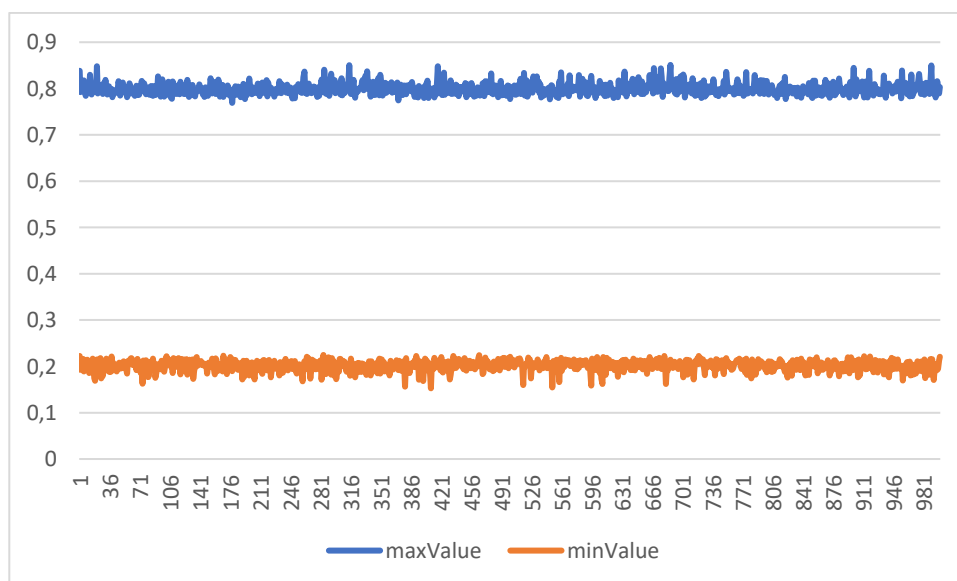
## 5.22 Cenário N = 22 e K = 21

Gráfico 58 – Distribuição de Picos N = 22; K = 21



Fonte: O autor.

Gráfico 59 – Distribuição de Máximos e Mínimos N = 22; K = 21



Fonte: O autor.

**Quadro 36** – Resumo dos dados  $N = 22$ ;  $K = 21$ 

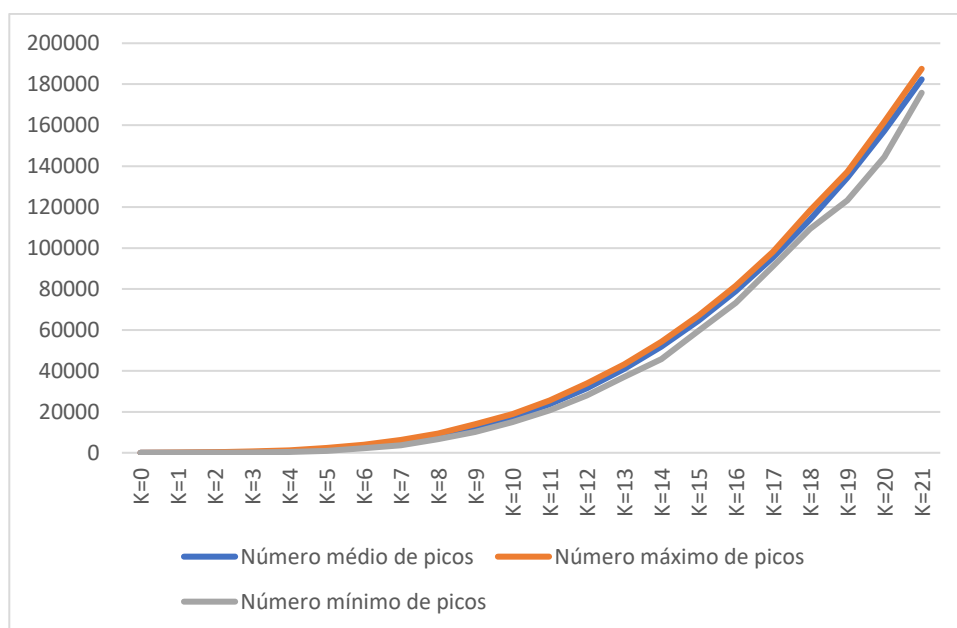
PARÂMETRO	VALOR
Número médio de picos	182369,5
Número máximo de picos	187517
Número mínimo de picos	175818
Valor médio máximo	0,799
Valor médio mínimo	0,202
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,597

Fonte: O autor.

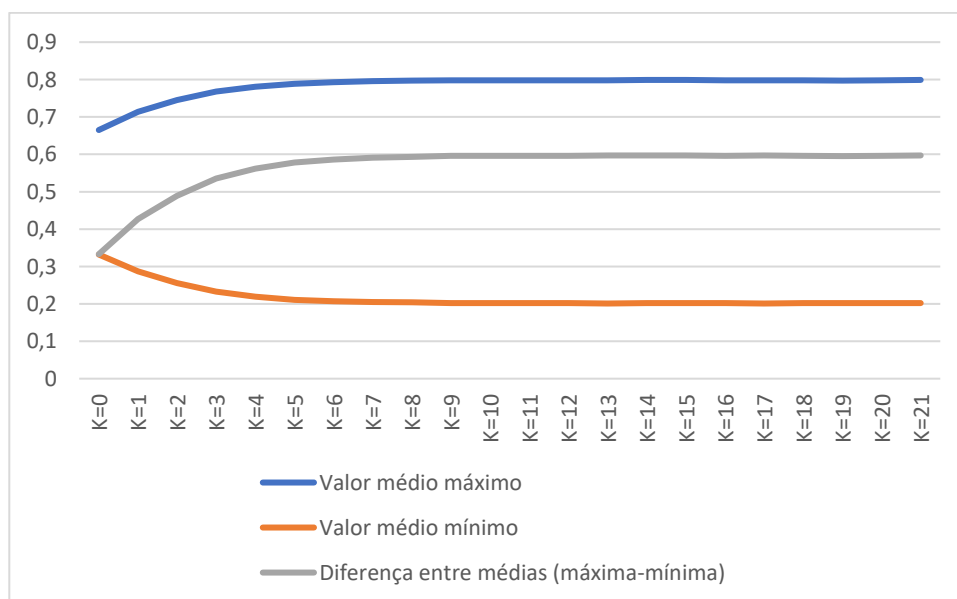
### 5.23 Síntese dos dados de $N = 22$

Em primeiro lugar, destacou-se a simetria observada em  $K = 0$ , garantindo uma opção ótima em razão da baixa rugosidade do gráfico. Significa que todas as situações simuladas tendem para uma mesma probabilidade, com reduzida dispersão de resultados, quanto ao critério de sucesso ou insucesso.

Os gráficos 60 e 61 demonstraram que, a partir de  $K \geq 7$ , verificou-se o atingimento de um platô no gráfico, com relação à distribuição de máximos e mínimos. As variações numéricas, de cada índice, foram inferiores aos arredondamentos. Entretanto, continuou a ocorrer o acréscimo do número máximo de picos, ou seja, da rugosidade da paisagem. Observou-se, também, que há uma alavancagem progressiva na quantidade dos picos de mínimos, que representam soluções deletérias. Consequentemente, essas opções foram descartadas.

**Gráfico 60** – Distribuição de Picos para  $N = 22$  em função de  $K$ 

Fonte: O autor.

**Gráfico 61** – Distribuição de Máximos e Mínimos para  $N = 22$  em função de  $K$ 

Fonte: O autor.

Assim, foi realizada uma análise detalhada sobre os resultados dos valores de  $K \leq 6$ .

**Quadro 37** – Resumo dos dados  $N = 22$ ;  $K = [0 \text{ a } 6]$ 

PARÂMETRO	K = 0	K = 1	K = 2	K = 3	K = 4	K = 5	K = 6
Número médio de picos	1	14,64	85,856	292,153	751,925	1610,756	3033,925
Número máximo de picos	1	144	299	650	1242	2330	3979
Número mínimo de picos	1	1	11	100	369	987	2235
Valor médio máximo	0,665	0,714	0,745	0,768	0,781	0,789	0,793
Valor médio mínimo	0,332	0,287	0,256	0,233	0,219	0,211	0,207
Diferença entre médias (máxima-mínima)	0,333	0,427	0,489	0,535	0,562	0,578	0,586

**Fonte:** O autor.

Considerando a compilação de dados, apresentada no Quadro 37, verificou-se que há um acréscimo considerável na rugosidade das paisagens a partir de  $K \geq 2$ , em função do aumento considerável da quantidade de picos, tanto de máximos quanto de mínimos.

Em complemento, embora tenha sido observado o acréscimo de picos de máximo, a quantidade de picos de mínimo, ou vales, equivalentes às opções deletérias, permaneceu constante para os valores de  $K = 0$  ou  $K = 1$ . Consequentemente, estatisticamente, estas são as opções de emprego, para  $N = 22$ , com a maior probabilidade de sucesso.

Ao término da análise dos dados, obtidos com as simulações executadas com o Modelo NK de Kauffman (1993), foi possível construir-se a conclusão do estudo.

## 6 CONCLUSÃO

Em busca da compreensão sobre os diversos conflitos, com o objetivo final de manutenção da paz (CARR, 2001), foram criadas diversas TRI para explicar o mundo, de forma científica e lógica (CASTRO, 2016).

Para a devida contextualização, o presente estudo apresentou a progressão histórica das guerras, passando por quatro gerações, conforme proposto por Lind (2004a). Partindo das Guerras de Primeira Geração, temos a criação do Estado, enquanto detentor do monopólio da aplicação da violência, cujo ápice foi representado pelas Guerras Napoleônicas. Posteriormente, as Guerras de Segunda Geração tiveram a Primeira Guerra Mundial como marco, decorrente do desenvolvimento da engenharia bélica. Depois, as Guerras de Terceira Geração tiveram foco na mobilidade, tendo como marco a Segunda Guerra Mundial. Por fim, as Guerras de Quarta Geração foram caracterizadas pela perda do monopólio estatal da violência, por parte dos Estados, observada após o término da Guerra Fria.

Considerando que o desenvolvimento do Estado não pode ser dissociado do desenvolvimento tecnológico (CREVELD, 1999), valorizou-se o estudo das progressões técnicas, tais como o *weaponization* de AR3P, para a otimização dos planejamentos militares.

Assim, foram discutidos os impactos decorrentes do uso de ARP em diversos conflitos, com especial atenção para os conflitos da Ucrânia de 2014. Aquele cenário representou um marco, do ponto de vista militar, com o registro das primeiras adaptações de drones comerciais, de pequeno porte, ou AR3P, para o uso como armas, configurando-se o processo de *weaponization*.

A compreensão sobre a gravidade dos efeitos produzidos pelas AR3P, em última instância, pode trazer implicações geopolíticas, pois conforme Art e Waltz (1993) afirmam, o estudo do emprego da força vincula-se a quatro questões centrais: quais os meios que um Estado possui para empregar sua força militar? O que determina o modo como esta força será empregada? Quais circunstâncias favorecerão a intenção de uso da força? Como poderão controlar a corrida armamentista desenvolvida em seu entorno?

As respostas para cada uma das questões propostas acima, intrinsecamente relacionadas com a possibilidade de emprego de AR3P, ao alcance da população, permitem uma descrição da estratégia de atuação de determinado Estado, com impacto direto nos planejamentos militares.

Assim, a análise sobre o emprego bélico de AR3P apresentou um número tal de variáveis, que levou à seleção da Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 2010) para a

construção metodológica, baseada nos eixos da compreensão do sistema, da matemática do sistema e do paradigma do sistema. Tal construção permitiu a comprovação da hipótese da equifinalidade, segundo a qual um mesmo objetivo pode ser alcançado a partir de diversas possibilidades distintas, ou seja, tanto por um A-29 quanto por um número específico de AR3P. Elaborado a partir do problema de pesquisa, o método teve como base a TGS, com seus três eixos estruturantes, vinculados à descrição de um sistema. Dessa forma, foi possível construir a verificação da hipótese da equifinalidade (BERTALANFFY, 2010), a partir da compreensão do emprego de AR3P com um sistema, com conceitos específicos, quais sejam: a compreensão do sistema dos perfis de voo, enquadrado como um Sistema Adaptativo Complexo (HOLLAND, 1995); a matemática do sistema, elaborada a partir de equações diferenciais complexas e do Modelo NK (KAUFFMAN, 1993); e o paradigma do sistema, vinculado ao Processo de Planejamento Conjunto (PPC), com o respectivo Gerenciamento do Risco Operacional (GRO) (BRASIL, 2020d), além dos parâmetros definidos pelo *Joint Munitions Effectiveness Manuals Weaponering System (JWS)* (DRIELS, 2020).

Portanto, foram realizadas simulações computacionais, visando-se ao levantamento de dados vinculados à compreensão e ao dimensionamento dos efeitos, obtidos com o emprego de um número variável de AR3P, a partir da comparação com os efeitos decorrentes do emprego de uma aeronave A-29, selecionada em função de uma configuração típica de emprego ar-solo, como grupo de controle para o estudo.

Foram delineados os cenários a serem testados quanto à possibilidade de emprego de AR3P, alternativamente a um A-29, com um número específico de unidades, para a obtenção de efeitos incapacitantes nas seguintes condições: ataque a instalações prediais comuns ou não fortificadas; ataque a viaturas não blindadas; ataque a aeronaves estacionadas ou em taxiamento; e ataque a pessoal militar.

Após a realização de uma revisão documental, sobre a legislação vigente no Brasil, relacionada com a normatização do uso de AR3P, as especificações selecionadas apontaram para o fabricante com maior número de equipamentos registrados junto à ANAC. Com vistas à proposta de emprego, em cenários de 4ª Geração, ou seja, com artefatos disponíveis para a população, foi selecionado o modelo MJ-1S, com 10 Kg de capacidade de carga pois, no portfólio do fabricante DJI, apresentou a maior capacidade de carga para o peso máximo de decolagem de 25 Kg.

Dessa forma, foram propostas as parametrizações necessárias, para que cada uma das hipóteses fosse testada. A partir do cálculo dos efeitos e da letalidade, que poderiam ser produzidos, com cada unidade conduzindo 10kg de explosivos, de forma a equipararem-se com

os efeitos produzidos por uma BAFG-230 lançada por um A-29, foram calculadas as quantidades necessárias de AR3P. Tais quantidades foram demonstradas como sendo: 1 para neutralização de edificações comerciais; 2 para neutralização de edificações residenciais; 7 para paralização de tropa a pé; e 22 para a destruição de viaturas pesadas, não blindadas e/ou para a neutralização de pátios com aeronaves estacionadas ou taxiando.

Dessa forma, para aplicação do Modelo NK (KAUFFMAN, 1993), a variável “N” foi definida como a quantidade de AR3P. A variável “K”, significando a interrelação, foi definida como o emprego concentrado em um só ponto, calculado. Dessa forma, “K” simulou a amplitude dos efeitos, variando entre a máxima área de efetividade (com  $K = 0$ ) até o máximo fator de exposição (com  $K = N - 1$ ).

Os gráficos produzidos pelo Modelo KN (KAUFFMAN, 1993), apresentam os picos de máxima como opções de sucesso e os vales, ou picos de mínimo, como opções deletérias. Quando maior a quantidade de picos, maior a rugosidade da paisagem de opções, demonstrando que podem existir um número maior de opções possíveis, mas com uma menor probabilidade global de ocorrência.

Considerando-se que, conforme as características do Modelo NK (KAUFFMAN, 1993), os valores de  $N = 1$  e  $N = 2$  limitam o estudo de distintas interdependências. Considerando-se a inconsistência da comparação dos danos a serem obtidos com um A-29, versus os danos a serem obtidos com uma ou duas AR3P. Considerando-se a dificuldade na computação dos dados do Modelo NK, conforme apresentado anteriormente. Em razão disso, tais valores foram descartados da simulação, como limitação da pesquisa. Conseqüentemente, a simulação foi realizada com os valores de  $N = 7$  e  $N = 22$ .

Para o algoritmo simulado de  $N = 7$ , verificou-se que as opções de  $K = 0$  ou de  $K = 1$  foram as opções com a máxima probabilidade de êxito, em função da constância com relação ao número de vales das respectivas paisagens.

Para o algoritmo simulado de  $N = 22$ , verificou-se um acréscimo considerável na rugosidade das paisagens a partir de  $K \geq 2$ , em função do aumento da quantidade de picos, tanto de máximos quanto de mínimos. Verificou-se o atingimento de um platô nos gráficos dos dados referentes a  $K \geq 7$ , levando ao descarte dessas opções em razão da alavancagem na quantidade de picos de mínimo ou vales. Em complemento, embora tenha sido observado o acréscimo de picos de máximo, a quantidade de vales, equivalentes às opções deletérias, permaneceu constante para os valores de  $K = 0$  ou  $K = 1$ . Conseqüentemente, estas opções foram selecionadas como aquelas com a maior probabilidade de sucesso para  $N = 22$ .

Consequentemente, tais conclusões demonstram a necessidade da inclusão dos AR3P, em grau de ameaça equivalente a um A-29, na elaboração do Processo de Planejamento Conjunto (PPC) (BRASIL, 2020d), no transcurso das 6 fases. Seja a partir das análises preliminares sobre a situação e a sua Compreensão, na Comparação de Capacidades Combatentes, na definição de linhas de ação e possibilidades do inimigo, na comparação da linhas de ação e na decisão do comandante, vários aspectos podem ser aprimorados, para a construção de soluções operacionais eficientes.

Em complemento, as soluções operacionais balizam a construção das soluções táticas, especificamente caracterizadas pela aplicação da FAB, seja como Força Aérea Componente, seja como Força Singular, notadamente vocacionada para a obtenção do grau desejado de Controle Aeroespacial.

Em razão do exposto, a possibilidade de obtenção de efeitos bélicos, dentro de um cenário de guerra de 4ª geração, em grau de ameaça equivalente ao de um A-29, com atores que podem ser distintos dos entes estatais (LIND, 2004a), potencializa a gravidade do impacto social, a partir do emprego das AR3P. Tal condição foi comprovada a partir da corroboração da hipótese da equifinalidade, dentro do qual o mesmo estado final pode ser atingido a partir de diferentes possibilidades, restando demonstrado que um número específico de AR3P pode substituir um A-29 quando comparadas as gravidades dos efeitos a serem obtidos.

Em paralelo, a compreensão desse fato contribui para a eficiência das análises de gestão de risco operacional, nos planejamentos militares, a partir da inclusão dos AR3P, como ameaças, nos cenários de interesse.

Consequentemente, as plataformas de armas, construídas a partir do *weaponization* das AR3P, devem ser incluídas nos planejamentos militares, pois representam uma ameaça, quantificada em grau de paridade com um A-29, em cumprimento ao GRO (BRASIL, 2020d).

Por fim, restaram cientificamente demonstradas as formas mais eficientes de emprego das AR3P, pela Força Aérea Brasileira, alternativamente a um A-29, em ações de natureza bélica.

Conforme a perspectiva de imposição da ordem sobre o caos, apontada por Art e Waltz (1993), os dados obtidos podem subsidiar estudos futuros, vinculados à compreensão sobre os impactos geopolíticos decorrentes do emprego das AR3P.

## REFERÊNCIAS

- AL-GARNI, Ahmed Daifullah. **Drones in the ukrainian war: will they be an effective weapon in future wars?**. Rasanhah. [S. l.: s. n.], 2022. Disponível em: <https://rasanah-iiis.org/english/wp-content/uploads/sites/2/2022/08/Drones-in-the-Ukrainian-War-Will-They-Be-an-Effective-Weapon-in-Future-Wars.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.
- ART, Robert J.; WALTZ, Kenneth N. Waltz. **The use of force: military power and international politics**. 4. ed. Lanham: Rowman & Littlefield Publishers, 1993.
- ASSIS, Stephan Delgado. **Interdependência entre subsidiárias estrangeiras e adaptação de multinacionais: simulações a partir do modelo NK**. 2015. 109 f. Dissertação Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Administração) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015. Disponível em: [http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/Administracao\\_AssisSD\\_1.pdf](http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/Administracao_AssisSD_1.pdf). Acesso em: 25 mar. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15971-1:2011**. Projeto ABNT 08;020.30-009-1: aeronáutica e espaço – vocabulário – parte 1 – aeronaves. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2011. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=87991>. Acesso em: 06 out. 2021.
- BERTALANFFY, Ludwig Von. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 2010.
- BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. **Painel de Drones Cadastrados**. [S. l.: s. n.], 14 abr. 2022. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/aceso-a-informacao/dados-abertos/areas-de-atuacao/aeronaves/drones-cadastrados/painel-de-drones-cadastrados>. Acesso em: 22 maio 2022.
- BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. **Resolução n. 419, de 2 de maio de 2017**. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial RBAC-E n. 94 - Requisitos Gerais para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil. Brasília, DF: ANAC, 2017.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria COMGAP n. 22, de 29 de maio de 2012. Aprova a edição do Manual que trata de Segurança de Explosivos. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, 2012.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria DECEA n. 112/DGCEA, de 22 de maio de 2020. Aprova a reedição da ICA 100-40, Instrução sobre Aeronaves não tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, 2020c.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria n. 1.224/GC3, de 10 de novembro de 2020. Aprova a reedição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira – Volume 1. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, 2020a.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Portaria n. 1.225/GC3, de 10 de novembro de 2020. Aprova a reedição da Doutrina Básica da Força Aérea Brasileira – Volume 2. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, 2020b.

BRASIL. Ministério da Defesa. Portaria Normativa n. 9/GAP/MD, de 13 de janeiro de 2016. Aprova o Glossário das Forças Armadas – MD35-G-01 (5ª Edição/2015). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 14, 21 jan. 2016.

BRASIL. Ministério da Defesa. Portaria Normativa n. 84/GM-MD, de 15 de setembro de 2020. Aprova a Doutrina de Operações Conjuntas – MD30-M-01/Volumes 1 e 2 (2ª Edição/2020). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2020d.

BRASIL. Ministério da Defesa. Portaria Normativa n. 113 /SPEAI/MD, de 1º de fevereiro de 2007. Dispõe sobre a “Doutrina Militar de Defesa – MD51-M-04”. **Boletim do Ministério da Defesa**, Brasília, DF, n. 6/MD, de 9 fev. 2007.

CARR, Edward Hallett. **Vinte anos de crise: 1919-1939: uma introdução ao estudo das Relações Internacionais**. 2. ed. Tradução: Luiz A. F. Machado. São Paulo: IOESP, 2001. (Clássicos IPRI, 1). Disponível em: [http://funag.gov.br/biblioteca/download/40-Vinte\\_Anos\\_de\\_Crise\\_-\\_1919-1939.pdf](http://funag.gov.br/biblioteca/download/40-Vinte_Anos_de_Crise_-_1919-1939.pdf). Acesso em: 25 mar. 2021.

CASTRO, Thales. **Teorias das Relações Internacionais**. 2. ed., rev. e atual. Brasília, DF: FUNAG, 2016. Disponível em: [http://funag.gov.br/biblioteca/download/1152-Teoria\\_das\\_Relacoes\\_Internacionais-novo.pdf](http://funag.gov.br/biblioteca/download/1152-Teoria_das_Relacoes_Internacionais-novo.pdf). Acesso em: 25 mar. 2021.

CLAUSEWITZ, Clausewitz Von. **Da guerra**. 2. Ed. São Paulo: Martins Fontes, 2003.

CREVELD, Martin Van. **The rise and decline of the state**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

DJI. **MG-1S Especificações**. c2021. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mg-1s/info#specs>. Acesso em: 8 jun. 2021.

DRIELS, Morris. **Weaponering –Two Volume SET**. Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2020.

EMBRAER. **Manual de Voo - Manual Suplementar de Dados de Desempenho Aeronave A-29A (Monoposto) A-29B (Biposto)**. São José dos Campos: EMBRAER, 2007.

FIORETTI, Guido. **Fioretti's Homepage**. Disponível em: <http://www.cs.unibo.it/fioretti/CODE/NK/index.html>. Acesso em: 16 out. 2021.

FRENKEN, Koen. **A complexity approach to innovation networks**. The case of the aircraft industry (1909–1997). *Research Policy*, 29, 257-272. [S.l.]: Elsevier, 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733399000645?via%3Dihub>. Acesso em: 25 mar. 2021.

FRENKEN, Koen. **Modelling the organization of innovative activity using the NK-model**. In Nelson-and-Winter Conference, 12-16. Aalborg 2001. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.86.7068&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 25 mar. 2021.

GAVETTI, Giovanni; LEVINTHAL, Daniel. Looking forward and looking backward: Cognitive and experiential search. **Administrative science quarterly**, v. 45, n. 1, p. 113-137, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.2307%2F2666981>. Acesso em: 25 mar. 2021.

GETTINGER, Dan; MICHEL, Arthur Holland. **Loitering munitions. Center for the Study of the Drone**, 2017. Disponível em: <https://dronecenter.bard.edu/files/2017/02/CSD-Loitering-Munitions.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

GRAY, Collin. **Airpower for Strategic Effect**. Montgomery, Estados Unidos da América: Air University Press, 2012.

HARTMANN, Kim; GILES, Keir. UAV Exploitation: A New Domain for Cyber Power. **Anais da 8th International Conference on Cyber Conflict and Cyber Power**. Bruxelas: OTAN, 2016.

HENKIN, Yagil. **The “Big Three” Revisited**. Expeditions with MCUP. [S.l.]: USMC University, 2022. Disponível em: [https://www.usmcu.edu/Portals/218/EXP\\_Henkin\\_BigThreeRevisited\\_\\_PDF.pdf](https://www.usmcu.edu/Portals/218/EXP_Henkin_BigThreeRevisited__PDF.pdf). Acesso em: 10 nov. 2022.

HEYE, Thomas Ferdinand. Democracia, controle civil e gastos militares no Pós-Guerra Fria: uma análise realista. **Carta Internacional**, v. 10, n. 1, p. 105-134, 2015.

HOLLAND, John Henry. **Hidden order: How adaptation builds complexity**. Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1996.

IMBEL. **Explosivos para emprego militar**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.imbel.gov.br/index.php/explosivos>. Acesso em: 01 out. 2022.

JOHN, David F. **Unmanned Systems in Perspective**. Fort Leavenworth: Army Press, 2014. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA612259.pdf>. Acesso em 25 mar. 2021.

KAUFFMAN, Stuart A. **The origins of order: Self-organization and selection in evolution**. New York: Oxford University Press, 1993.

KAUL, Hemanshu; JACOBSON, Sheldon H. Global optima results for the Kauffman NK model. **Mathematical programming**, v. 106, n. 2, p. 319-338, 2006. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/226402098\\_Global\\_optima\\_results\\_for\\_the\\_Kauffman\\_NKmodel](https://www.researchgate.net/publication/226402098_Global_optima_results_for_the_Kauffman_NKmodel). Acesso em: 15 maio 2022.

KRUG, Joachim. **Fitness Landscapes and Adaptive Evolution**. Simons Institute for the Theory of Computing. Berkeley University, 2014. Disponível em: <https://simons.berkeley.edu/talks/joachim-krug-2014-05-02>. Acesso em: 21 ago. 2022.

LIMA FILHO Geraldo Mulato, et. al. Optimization of Unmanned Air Vehicle Tactical Formation in War Games. **IEEE Access**, vol. 10, p. 21727-21741, 2022. Disponível em: doi: 10.1109/ACCESS.2022.3152768. Acesso em: 14 jun. 2022.

LIND, William S. **Fifth Generation Warfare?** [S. l.: s. n.], 2004b. Disponível em: <https://archive.lewrockwell.com/lind/lind9.html>. Acesso em: 1 out. 2022.

LIND, William S. Understanding fourth generation war. **Military review**, v. 84, n. 5, p. 12, 2004a. Disponível em: <https://go-gale.ez422.periodicos.capes.gov.br/ps/i.do?id=GALE%7CA123580058&v=2.1&u=capes&it=r&p=AONE&sw=w>. Acesso em: 22 abr. 2020.

MAGNOLI, Demétrio (Org.). **História das Guerras**. 5. ed. São Paulo: Contexto, 2015.

MILLMAN, K. Jarrod; AIVAZIS, Michael. Python for scientists and engineers. **Computing in Science & Engineering**, v. 13, n. 2, p. 9-12, 2011. UC Berkeley, 2011. Disponível em: <https://escholarship.org/uc/item/93s2v2s7>. Acesso em: 16 out. 2021.

MIRANDA, Wando Dias.; NASCIMENTO, Durbens Martins. Conflitos assimétricos e o estado: o neoterrorismo e os novos paradigmas para formulação de políticas de defesa nacional. In: **Proceedings of the 3rd ENABRI 2011 3° Encontro Nacional ABRI 2011**, 2011, São Paulo (SP, Brazil) [online]. 2011 [cited 07 August 2019]. Disponível em: [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC0000000122011000300057&lng=en&nrm=iso](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000122011000300057&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 25 mar. 2021.

OXFORD. **Oxford Learner's Dictionaries**. [S.l.]: Oxford University Press, 2021. Disponível em: <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/weaponization>. Acesso em: 24 mar. 2021.

SÁNCHEZ, Robersy; MORGADO, Eberto; GRAU, Ricardo. A genetic code Boolean structure. I. The meaning of Boolean deductions. **Bulletin of mathematical biology**, v. 67, n. 1, p. 1-14, 2005.

SHUURMAN, Bart. Clausewitz e os Estudiosos da “Nova Guerra”. **Military Review**, [s. l.], ed. Setembro-Outubro 2011, p. 47-56, 2011. Disponível em: [https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/Portuguese/MilitaryReview\\_20111031\\_art009POR.pdf](https://www.armyupress.army.mil/Portals/7/military-review/Archives/Portuguese/MilitaryReview_20111031_art009POR.pdf). Acesso em: 25 mar. 2021.

TZU, Sun. **A arte da guerra**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2022. Kindle.

VIDAL, Ludovic-Alexandre; MARLE, Franck; BOCQUET, Jean-Claude. Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process. **International Journal of Project Management**, [s. l.], v. 29, n. 6, p. 718-727, August 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.07.005>. Acesso em: 19 mar. 2021.

WALTZ, Kenneth N. **Theory of International Politics**. Long Grove, IL: Waveland, 2010.

WEINREICH, Daniel M.; WATSON, Richard A.; CHAO, Lin. Perspective: sign epistasis and genetic constraint on evolutionary trajectories. **International Journal Of Organic Evolution**, v. 59, n. 6, p. 1165-1174. Society for the Study of Evolution. 2005.

WRIGHT, Sewall. **Evolution in Mendelian populations**. Genetics, v. 16, n. 2, p. 97, University of Chicago. Chicago, 1931.

WRIGHT, Sewall. Proc. 6th Int. congress of genetics. **The Roles of Mutation, Inbreeding, Crossbreeding And Selection In Evolution**. University of Chicago, Chicago 1932.

## APÊNDICE A – Banco de dados de algoritmos

Foi elaborado um projeto em Visual Studio para compilação. O executável, NKTest, rodando com parâmetros de linha de comando (n,k,t), definem o teste feito. Há um Run.bat para testagem. Em paralelo, foi elaborado um script em Python, que busca automaticamente os diversos N/K, depois de rodar as simulações, gerando os gráficos em Python.

Os algoritmos/arquivos/projetos/códigos utilizados estão disponíveis em: [https://github.com/lelandlda/AR3P\\_MODELNK\\_ARQUIVOS.git](https://github.com/lelandlda/AR3P_MODELNK_ARQUIVOS.git)

O código abaixo foi criado por Andre Rossi Kuroswiski, para correção da falhas apresentadas no código de Maciej Workiewicz, conforme disponibilizado no site <http://www.cs.unibo.it/fioretti/CODE/NK/index.html> (FIORETTI, 2021).

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Sun Jul 24 14:50:57 2022

@author: ieav-asa
"""

import os
import subprocess
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

#Force the Working Directory for the file directory
abspath = os.path.abspath(__file__)
dname = os.path.dirname(abspath)
os.chdir(dname)

#% % %
N = 22
T = 1000

for K in range(22):
    #FNULL = open(os.devnull, 'w') #use this if you want to suppress output to stdout from the subprocess
    args = f'NKTest.exe -n {N} -t {T} -k {K}'
    #subprocess.call(args, stdout=FNULL, stderr=FNULL, shell=False)
    subprocess.Popen(args, shell=False)

#% % %

N = 7
T = 10000
for K in range(6):

    #summaryDf = pd.DataFrame(summaryData, columns = ["N","K","peaks","max_values", "min_values"])
    runName = f'.\N{N}_IT{T}/Results_N{N}_K{K}_Iterations_{T}'
    summaryDf = pd.read_csv(runName + ".csv", delimiter=',')
    # *** CALCULATING SUMMARY STATISTICS *****
```

```
# Let's print some summary statistics of our sample of NK landscapes
print("\nSummary statistics for IMatrix: ' + ' K=' + str(K))
print('average number of peaks: ' + str(np.mean(summaryDf.peaks)))
print('maximum number of peaks: ' + str(np.max(summaryDf.peaks)))
print('minimum number of peaks: ' + str(np.min(summaryDf.peaks)))
print('average maximum value: ' + str(np.mean(summaryDf.maxValue)))
print('average minimum value: ' + str(np.mean(summaryDf.minValue)))

#plot histogram of the number of local peaks in our sample
plt.figure(1, facecolor='white', figsize=(8, 6), dpi=150) # for screens with
#higher resolution change dpi to 150 or 200. For normal use 75.
plt.hist(summaryDf.peaks, bins=20, range=(1, 20), color='dodgerblue', edgecolor='black') # adjust if necessary
plt.title(f'Distribution of the number of peaks - N={N} / K={K} / Runs={T}', size=12)
plt.xlabel('number of peaks', size=10)
plt.ylabel('frequency', size=10)
plt.savefig(runName + ".png")
plt.show()
```

## APÊNDICE B – Banco de dados de $N = 7$

O banco de dados de  $N = 7$  está disponível em:  
[https://github.com/lelandlda/AR3P\\_MODELNK\\_N7.git](https://github.com/lelandlda/AR3P_MODELNK_N7.git).

Nesse banco de dados constam as seguintes planilhas:

- a) Results\_N7\_K0\_Iterations\_10000.csv;
- b) Results\_N7\_K1\_Iterations\_10000.csv;
- c) Results\_N7\_K2\_Iterations\_10000.csv;
- d) Results\_N7\_K3\_Iterations\_10000.csv;
- e) Results\_N7\_K4\_Iterations\_10000.csv;
- f) Results\_N7\_K5\_Iterations\_10000.csv; e
- g) Results\_N7\_K6\_Iterations\_10000.csv.

**APÊNDICE C – Banco de dados de N = 22**

O banco de dados de N = 22 está disponível em:

[https://github.com/lelandlda/AR3P\\_MODELNK\\_N22.git](https://github.com/lelandlda/AR3P_MODELNK_N22.git)

Nesse banco de dados constam as seguintes planilhas:

- a) Results\_N22\_K0\_Iterations\_1000.csv;
- b) Results\_N22\_K1\_Iterations\_1000.csv;
- c) Results\_N22\_K2\_Iterations\_1000.csv;
- d) Results\_N22\_K3\_Iterations\_1000.csv;
- e) Results\_N22\_K4\_Iterations\_1000.csv;
- f) Results\_N22\_K5\_Iterations\_1000.csv;
- g) Results\_N22\_K6\_Iterations\_1000.csv;
- h) Results\_N22\_K7\_Iterations\_1000.csv;
- i) Results\_N22\_K8\_Iterations\_1000.csv;
- j) Results\_N22\_K9\_Iterations\_1000.csv;
- k) Results\_N22\_K10\_Iterations\_1000.csv;
- l) Results\_N22\_K11\_Iterations\_1000.csv;
- m) Results\_N22\_K12\_Iterations\_1000.csv;
- n) Results\_N22\_K13\_Iterations\_1000.csv;
- o) Results\_N22\_K14\_Iterations\_1000.csv;
- p) Results\_N22\_K15\_Iterations\_1000.csv;
- q) Results\_N22\_K16\_Iterations\_1000.csv;
- r) Results\_N22\_K17\_Iterations\_1000.csv;
- s) Results\_N22\_K18\_Iterations\_1000.csv;
- t) Results\_N22\_K19\_Iterations\_1000.csv;
- u) Results\_N22\_K20\_Iterations\_1000.csv; e
- v) Results\_N22\_K21\_Iterations\_1000.csv.