

# Trabalho de Inteligência Computacional - Criptoaritmética

## Guilherme Pacheco de Oliveira - 11411BCC051

**Como foram realizados os testes:** Os testes pedem que o algoritmo seja executado um determinado número de vezes, nesse caso, a maioria dos testes serão 1000 execuções, para que cada execução seja totalmente independente, 1000 execuções significam 1000 chamadas do programa por linha de comando, e não um laço dentro do programa. Além disso, após cada teste, o processador entra em repouso por 100ms, para garantir que a semente não se repita. O tempo de repouso não é contabilizado no tempo de execução.

### Primeira Etapa:

**Problema: SEND + MORE = MONEY**  
**Letras Únicas: SENDMORY (8)**

**Tamanho da População:** 100 indivíduos.

**Gerações:** 50.

Para cada conformação foram executadas 1000 execuções independentes.

Crossover	Tipo Crossover	Mutação	Seleção	Sobrevivência	Convergência	Tempo Exec
60%	Cíclico	5%	Torneio	Reinserção	43.8%	22.15s
60%	Cíclico	5%	Roleta	Reinserção	47.5%	24.30s
60%	Cíclico	10%	Torneio	Reinserção	49.3%	21.99s
60%	Cíclico	10%	Roleta	Reinserção	62.6%	24.62s
60%	PMX	5%	Torneio	Reinserção	56.5%	22.06s
60%	PMX	5%	Roleta	Reinserção	64.5%	21.96s
60%	PMX	10%	Torneio	Reinserção	71.9%	22.05s
60%	PMX	10%	Roleta	Reinserção	85.9%	24.25s
80%	Cíclico	5%	Torneio	Reinserção	40.8%	26.22s
80%	Cíclico	5%	Torneio	Elitismo 20%	42.3%	27.21s
80%	Cíclico	5%	Roleta	Reinserção	46.6%	28.51s
80%	Cíclico	5%	Roleta	Elitismo 20%	43.8%	28.83s
80%	Cíclico	10%	Torneio	Reinserção	41.6%	26.32s
80%	Cíclico	10%	Torneio	Elitismo 20%	41.3%	27.23s
80%	Cíclico	10%	Roleta	Reinserção	56.4%	28.61s
80%	Cíclico	10%	Roleta	Elitismo 20%	56.7%	28.54s

80%	PMX	5%	Torneio	Reinserção	59.9%	25.92s
80%	PMX	5%	Torneio	Elitismo 20%	64.4%	26.47s
80%	PMX	5%	Roleta	Reinserção	84.8%	27.97s
80%	PMX	5%	Roleta	Elitismo 20%	88.6%	27.15s
80%	PMX	10%	Torneio	Reinserção	65.7%	26.77s
80%	PMX	10%	Torneio	Elitismo 20%	60.6%	26.90s
80%	PMX	10%	Roleta	Reinserção	82.5%	28.72s
80%	PMX	10%	Roleta	Elitismo 20%	92.0%	27.15s

As 5 melhores execuções possuem 2 coisas em comum: todas elas utilizam do crossover PMX e do método da roleta para seleção de pais, isso quer dizer que para esse problema esse crossover e essa seleção são mais eficientes.

Para os casos em que foram testados seleção por Reinserção Ordenada e Elitismo, pode-se perceber que o Elitismo resulta em uma pequena melhora, com exceção de um teste.

Sobre a mutação, no geral, os testes que utilizaram de 10% de mutação se saíram melhores que os que utilizaram 5%, mas nos últimos testes, a mutação maior piorou um pouco ou não resultou em melhoras significativas, isso pode ter acontecido pelo fato de que a variabilidade pelo crossover estava mais alta, produzindo mais efeito do que a mutação.

Considerando isso, as 5 configurações marcadas com amarelo foram selecionadas como as melhores por possuírem taxa de convergência maior de 80% e por serem muito melhores que as outras, tendo uma diferença de mais de 10% para a melhor em sequência dessas 5.

## Segunda Etapa:

Para a realização dos testes da segunda etapa, foram selecionadas as configurações:

Taxa Crossover	Crossover	Taxa Mutação	Seleção	Sobrevivência
60%	PMX	10%	Roleta	Reinserção
80%	PMX	5%	Roleta	Reinserção
80%	PMX	5%	Roleta	Elitismo
80%	PMX	10%	Roleta	Reinserção
80%	PMX	10%	Roleta	Elitismo

Elas serão referencias adiante como indo de C1 a C5, da ordem de cima para baixo.

### Problema: EAT + THAT = APPLE Letras Únicas: EATHPL (6)

Configuração	Convergência	Tempo
C1	30.2%	25.04s
C2	24.6%	29.15s
C3	34.9%	27.41s
C4	19.8%	28.68s
C5	36.7%	27.46s

### Problema: CROSS + ROADS = DANGER Letras Únicas: CROSADNGE (9)

Configuração	Convergência	Tempo
C1	5.4%	27.3s
C2	10%	27.86s
C3	9.5%	28.13s
C4	6.7%	28.045s
C5	16.1%	27.62s

**Problema: COCA + COLA = OASIS**  
**Letras Únicas: COALSI (6)**

Configuração	Convergência	Tempo
C1	9%	24.78s
C2	8.6%	28.70s
C3	9.7%	27.78s
C4	6.7%	28.94s
C5	12.7%	27.73s

**Problema: DONALD + GERALD = ROBERT**  
**Letras Únicas: DONALGERBT (10)**

Configuração	Convergência	Tempo
C1	4.7%	21.76s
C2	2.3%	26.04s
C3	6.8%	27.43s
C4	2.4%	26.07s
C5	7.4%	26.36s

As duas melhores execuções estão marcadas em amarelo, a única que aparece de forma unânime é a configuração 5 e sempre apresentando resultados melhores que a segunda colocada, a configuração 5 também foi a que apresentou melhor convergência no primeiro problema, então ela é escolhida como a melhor configuração.

**Melhor Configuração:** Taxa de mutação em 80%, Crossover PMX, Taxa de mutação de 10%, Seleção de pais pelo método da roleta e Elitismo como método de sobrevivência de indivíduos para a próxima geração.

## Terceira Etapa:

Inicialmente serão executados testes com a melhor configuração resultante da segunda etapa com tamanho da população de 200 indivíduos, 100 gerações e 25% de mutação, em seguida serão propostas algumas melhorias que devem produzir resultados melhores com mais ou menos o mesmo tempo.

Problema	Convergência	Tempo
SEND + MORE = MONEY	99.5%	107.46s
EAT + THAT = APPLE	71.3%	113.59s
CROSS + ROADS = DANGER	28.4%	112.97s
COCA + COLA = OASIS	24.8%	114.20s
DONALD + GERALD = ROBERT	33.9%	107.68s

Tempo médio de execução para os 5 problemas: **111.18s**

Algumas propostas de melhorias:

1. Não permitir a sobrevivência de indivíduos que são duplicatas de indivíduos já existentes - Aumentou muito o tempo de execução, sem melhoras significativas na convergencia.
2. Descartar a mutação caso não resulte em um indivíduo melhor - Não resultou em um aumento da convergência, muito pelo contrario.
3. Repetir o crossover até que o filho seja melhor que os pais

**Melhoria 02:** O primeiro teste executado é sem a melhoria, enquanto o segundo foi com a melhoria.

Problema	Convergência	Tempo
SEND + MORE = MONEY	99.5%	108.706
SEND + MORE = MONEY	100.0%	114.784
EAT + THAT = APPLE	71.2%	112.601
EAT + THAT = APPLE	78.4%	115.66
CROSS + ROADS = DANGER	32.1%	110.298
CROSS + ROADS = DANGER	22.6%	122.70
COCA + COLA = OASIS	29.8%	115.83
COCA + COLA = OASIS	19.5%	121.446

DONALD + GERALD = ROBERT	23.4%	106.799
DONALD + GERALD = ROBERT	15.7%	116.787

Essa mudança se mostrou eficaz nos primeiros dois problemas e provocou o efeito contrário nos outros problemas, provavelmente essa alteração funciona para problemas onde a convergência já é alta, nesse caso em específico, quando a convergência for maior de 70% essa mudança deve melhorar a convergência.

**Melhoria 03:** Fazer com que o fitness dos filhos seja igual ou melhor que o dos pais, não permitindo piores.

Problema	Convergência	Tempo	Melhorias
DONALD + GERALD = ROBERT	25.3%	107.74	-
DONALD + GERALD = ROBERT	13.4%	130.779	3
DONALD + GERALD = ROBERT	8%	128.89	2, 3
EAT + THAT = APPLE	76.4%	118.127	-
EAT + THAT = APPLE	73.0%	157.223	3
EAT + THAT = APPLE	60.9%	145.265	2, 3

Além de exceder o tempo limite, colocar essa limitação no crossover não implicou em uma convergência melhor para os dois problemas testados, nem a combinação das melhorias resultou numa melhora.

## Nova Função de Avaliação:

A nova função de avaliação proposta busca levar em consideração o peso de cada dígito de modo uniforme na hora de calcular o fitness do candidato, a forma como ela foi proposta funciona somente para casos em que as duas palavras de operando possuem o mesmo tamanho e a palavra de resultado possui um dígito a mais, ele funciona do seguinte modo:

1. Começa-se a ler cada palavra do problema da direita para a esquerda.
2. Guarda em um vetor (também da direita para a esquerda) o resultado de  $\text{digito\_palavra\_resultado} - (\text{digito\_palavra\_operando1} + \text{digito\_palavra\_operando2})$ , repete até sobrar um dígito nos operandos.
3. Para o último caso, considera-se os dois dígitos que sobram do resultado.
4. Ao final dos passos, se terá um vetor com a diferença entre cada dígito.

5. O fitness é calculado a partir desse vetor, e é da forma:  $n * 10^x - s$ , onde  $x$  é a quantidade de zeros no vetor,  $s$  é a soma dos números não nulos do vetor e  $n$  é uma constante que vale 100 no caso de todos os números serem 0, e 1 caso contrário.

**Testes feitos com a nova função de avaliação:** Sem utilização das melhorias propostas na etapa anterior.

Problema	Convergência	Tempo
SEND + MORE = MONEY	81.0%	118.36
EAT + THAT = APPLE	-	-
CROSS + ROADS = DANGER	25.2%	117.79
COCA + COLA = OASIS	18.0%	247.073
DONALD + GERALD = ROBERT	-	-