

# RELATÓRIO - Trabalho Final

Fábio Pereira de Souza\*

27 de Junho de 2021

O trabalho final da disciplina de Otimização MultiObjetivo trata-se de uma comparação entre os algoritmos multiobjetivo NSGA-II, MOEA/D e MOEA/D-DE, em que a partir do código-fonte disponibilizado pelo professor da disciplina, Dr. Allysson Steve Mota Lacerda, foi solicitado fazer um comparativo apresentando os pontos que julgar pertinentes para os problemas dtlz1, dtlz2, dtlz3, dtlz4, relatando possíveis modificações e os resultados do IGD(Inverted Generational Distance) e HV(hypervolume) de cada execução. O código fonte e os slides foram disponibilizados para a apresentação nos seguintes formatos:

- Arquivo .ZIP com o código-fonte no formato NomeSobrenome.zip;
- Arquivo .PDF com os slides da apresentação para o dia 28/06;
- Arquivo .PDF com o relatório do trabalho final.

Este relatório tem como objetivo principal apresentar a comparação dos conjuntos de algoritmos do NSGA-II, MOEA/D e MOEA/D-DE para os problemas dtlz1, dtlz2, dtlz3 e dtlz4 com dois e três objetivos e, no mínimo, trinta execuções de cada combinação após pequenos ajustes de parâmetros ou operadores dos algoritmos.

Por se tratar de um trabalho final da disciplina de Otimização Multiobjetivo, visando levantamento de hipóteses e questionamentos a cerca dos três algoritmos multiobjetivos para os quatro problemas citados, o primeiro passo foi baixar os modelos disponibilizados pelo professor e logo em seguida fazer algumas pesquisas e rever a gravação das aulas para facilitar o entendimento do assunto.

Para a execução e alteração de alguns parâmetros ou operadores dos algoritmos foram utilizados o software MatLab na sua versão R2020a (9.8.0) instalado no Windows 10 64 bits com Processador AMD Ryzen 5 3600 6-Core Processor de 3.59 GHz e Memória RAM de 32,0GB.

A Fronteira Pareto (PF) para 2 (dois) objetivos dos problemas DTLZ1 e DTLZ2 estão representadas na Fig. 1, assim como DTLZ3 e DTLZ4 estão representados na Fig. 2. Já para os mesmos problemas com 3 (três) objetivos estão representados nas Fig. 3 e Fig.4, na sequência.

---

\*Email: fapers.ppgmcs@gmail.com e Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0804371329838093>

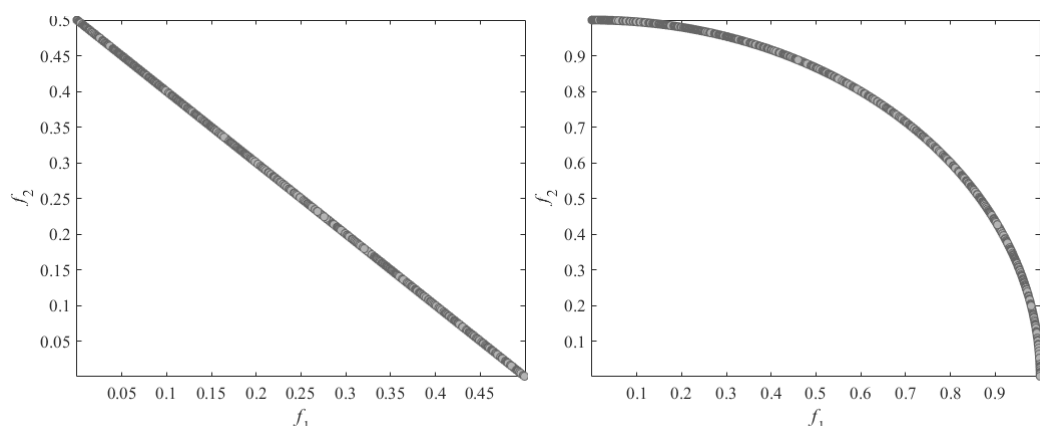


Figura 1 – Fronteira Pareto dos problemas DTLZ1 e DTLZ2 com 2 objetivos.

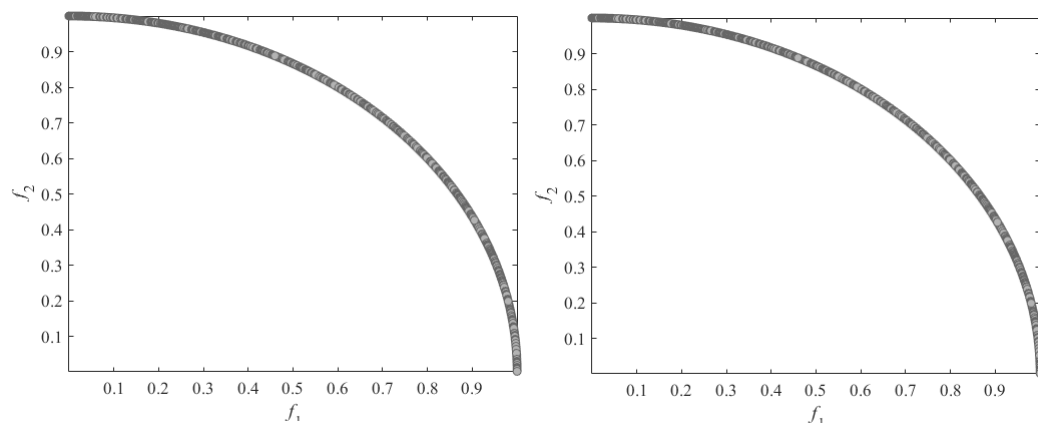


Figura 2 – Fronteira Pareto dos problemas DTLZ3 e DTLZ4 com 2 objetivos.

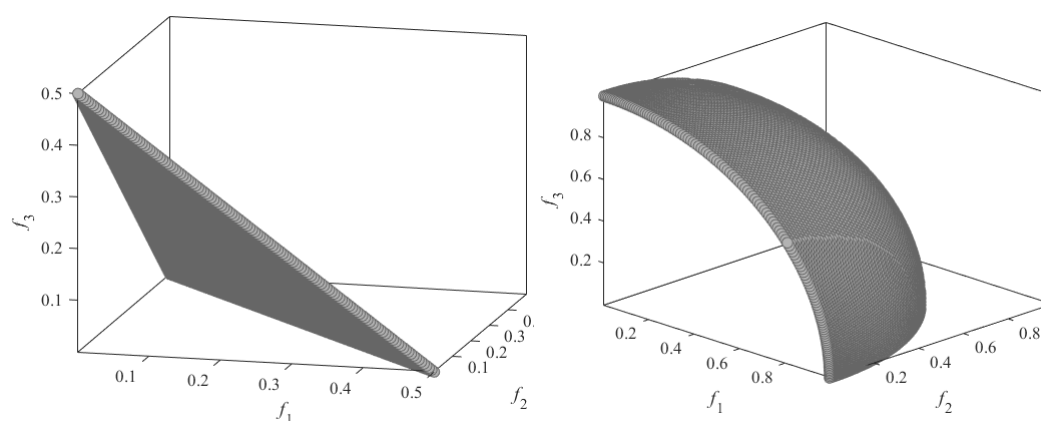


Figura 3 – Fronteira Pareto dos problemas DTLZ1 e DTLZ2 com 3 objetivos.

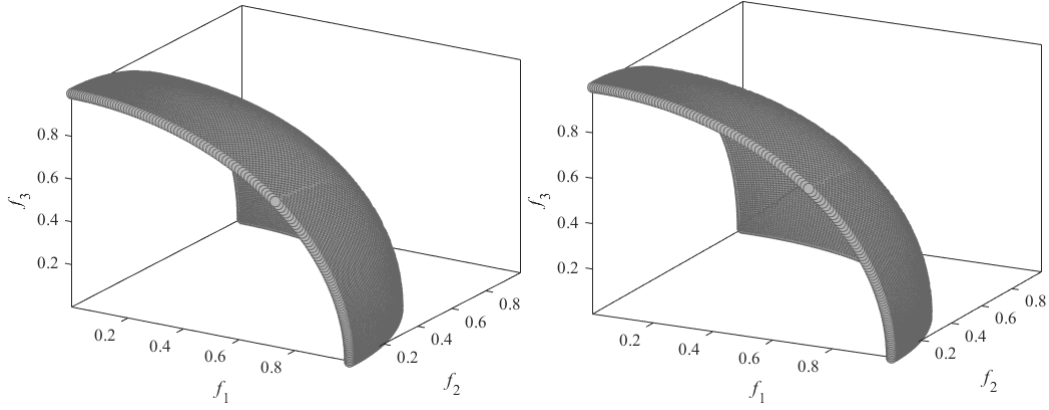


Figura 4 – Fronteira Pareto dos problemas DTLZ3 e DTLZ4 com 3 objetivos.

Tomando posse dos modelos disponibilizados e das configurações padrões foram feitas 30 (trinta) execuções para cada um dos três algoritmos e para cada um dos quatro problemas, com dois e três objetivos, ou seja,  $3 * 30 * 4 * 2 = 720$  execuções. Os resultados obtidos foram copiados para uma planilha do aplicativo Excel, por comodidade, e os resultados do IGD e HV registrados nas Tabela 1 e Tabela 2 logo em seguida. O tempo de execução foi de 1 (uma) hora e 42 (quarenta e dois) minutos, com tempo médio de 8,522 segundos por execução.

Nesse primeiro momento não foram feitas nenhuma mudança nos algoritmos modelo enviado pelo professor:

- NSGAII: método baseado em dominância Nondominated Sort e Crowding Distance com o (SBX), e indicadores de qualidade Inverted Generational Distance(IGD) e Hypervolume (HV) com algumas mudanças.
- MOEA/D: método baseado em decomposição Weighted Tchebycheff (TE) com o (SBX), e indicadores de qualidade (IGD) e (HV);
- MOEA/D-DE: método baseado em decomposição Weighted Tchebycheff (TE) com o (DE) e indicadores de qualidade (IGD) e (HV);

Tabela 1 – Resultados DTLZ: melhor IGD e (média) das 30 execuções

Problema (m)	NSGA-II	MOEA/D	MOEA/D-DE
DTLZ1 (2)	7,69E-03 (6,30E-01)	1,79E-03 (1,89E-03)	1,78E-03 (1,83E-03)
DTLZ2 (2)	5,09E-03 (6,14E-03)	4,72E-03 (4,72E-03)	4,76E-03 (4,79E-03)
DTLZ3 (2)	7,12E+00 (1,18E+01)	4,22E-03 (4,40E-03)	4,25E-03 (4,77E-03)
DTLZ4 (2)	5,38E-03 (6,10E-03)	4,21E-03 (5,05E-01)	4,23E-03 (4,24E-03)
DTLZ1 (3)	6,94E-01 (1,88E+00)	3,19E-02 (3,26E-02)	3,16E-02 (4,24E-02)
DTLZ2 (3)	1,04E-01 (1,17E-01)	7,17E-02 (7,29E-02)	7,26E-02 (7,44E-02)
DTLZ3 (3)	1,06E+01 (1,88E+01)	7,40E-02 (7,47E-02)	7,38E-02 (1,11E-01)
DTLZ4 (3)	8,41E-02 (9,71E-02)	5,93E-02 (2,64E-01)	5,21E-02 (6,14E-02)

Tabela 2 – Resultados DTLZ: melhor HV e média das 30 execuções

Problema (m)	NSGA-II	MOEA/D	MOEA/D-DE
DTLZ1 (2)	4,93E-01 (4,60E-02)	5,15E-01 (5,14E-01)	5,15E-01 (5,15E-01)
DTLZ2 (2)	2,28E-01 (2,25E-01)	2,30E-01 (2,30E-01)	2,30E-01 (2,30E-01)
DTLZ3 (2)	0,00E+00 (0,00E+00)	2,30E-01 (2,29E-01)	2,30E-01 (2,28E-01)
DTLZ4 (2)	2,28E-01 (2,27E-01)	2,30E-01 (1,13E-01)	2,30E-01 (2,30E-01)
DTLZ1 (3)	0,00E+00 (0,00E+00)	1,01E+00 (1,00E+00)	1,00E+00 (9,59E-01)
DTLZ2 (3)	5,40E-01 (5,01E-01)	6,46E-01 (6,42E-01)	6,45E-01 (6,38E-01)
DTLZ3 (3)	0,00E+00 (0,00E+00)	6,43E-01 (6,35E-01)	6,43E-01 (6,09E-01)
DTLZ4 (3)	5,60E-01 (5,38E-01)	6,40E-01 (3,35E-01)	6,39E-01 (6,16E-01)

Muitas iterações foram necessárias para obter-se um comparativo da média das métricas IGD, HV dos problemas levantados com dois e três objetivos. Fazendo pequenas alterações de parâmetros ou operadores nas metaheurísticas do NSGAII, MOEA/D e MOEA/D-DE é perceptível uma leve mudança de resultados em relação à versão padrão disponibilizada.

Num segundo momento da execução dos algoritmos, foram feitas algumas mudanças, sendo as principais relatadas aqui. Essas execuções duraram cerca de 1 (uma) hora e 32 (trinta e dois) minutos, com tempo médio de 8,228 segundos por execução:

- NSGAII<sup>a</sup>: o parâmetro  $n = 10$  para  $n = 100$ , e probabilidade de mutação de  $pMUT = 0.2$  para  $pMUT = 0.02$ ;
- MOEA/D<sup>a</sup>: manteve o padrão *TE* e alterou a heurística de *SBX* para *DE*;
- MOEA/DDE<sup>a</sup>: manteve o padrão *TE* e alterou a heurística de *DE* para *SBX*.

Resultados obtidos estão nas Tabela 3 e Tabela 4. No entanto houve um problema na conversão do padrão inglês para o brasileiro, então os resultados das tabelas 3, 4, 5 e 6, estavam equivocados, sendo necessário a execução novamente dos algoritmos, portanto, para as tabelas citadas utilizou-se 3 execuções apenas.

Tabela 3 – Resultados DTLZ: melhor IGD com 1 (uma) execução

Problema (m)	NSGA-II <sup>a</sup>	MOEA/D <sup>a</sup>	MOEA/D-DE <sup>a</sup>
DTLZ1 (2)	6.19E-01	1.78E-03	1.84E-03
DTLZ2 (2)	1.13E-02	4.72E-03	4.72E-03
DTLZ3 (2)	1.14E+00	4.22E-03	4.70E-03
DTLZ4 (2)	6.59E-03	4.21E-03	4.21E-03
DTLZ1 (3)	9.15E-01	3.26E-02	3.30E-02
DTLZ2 (3)	1.14E-01	7.35E-02	7.29E-02
DTLZ3 (3)	6.30E+00	7.42E-02	7.43E-02
DTLZ4 (3)	8.35E-02	8.12E-02	4.20E-01

Tabela 4 – Resultados DTLZ: melhor HV com 1 (uma) execução

Problema (m)	NSGA-II <sup>a</sup>	MOEA/D <sup>a</sup>	MOEA/D-DE <sup>a</sup>
DTLZ1 (2)	0.00E+00	5.15E-01	5.14E-01
DTLZ2 (2)	2.15E-01	2.30E-01	2.30E-01
DTLZ3 (2)	0.00E+00	2.30E-01	2.28E-01
DTLZ4 (2)	2.26E-01	2.30E-01	2.30E-01
DTLZ1 (3)	0.00E+00	1.00E+00	9.97E-01
DTLZ2 (3)	5.06E-01	6.42E-01	6.40E-01
DTLZ3 (3)	0.00E+00	6.42E-01	6.41E-01
DTLZ4 (3)	5.66E-01	6.30E-01	9.78E-02

Foram feitas outras alterações, num terceiro momento, com 30 (trinta) execuções. O tempo de execução foi de 1 (uma) hora e 49 (quarenta e nove) minutos. O tempo médio foi de 9,14497 segundos por execução:

- NSGAII<sup>b</sup>: o parâmetro  $n = 10$  para  $n = 100$ , as linhas de código  $if(u \leq 0.5)$  para  $if(u \leq 0.99)$  e se  $rand \leq 0.5$  para  $if(rand \leq 0.01)$ ;
- MOEA/D<sup>b</sup>: alterou o padrão  $TE$  para  $PBI$  e a heurística se manteve o padrão  $SBX$ ;
- MOEA/DDE<sup>b</sup>: alterou o padrão  $TE$  para  $PBI$  e alterou a heurística de  $DE$  para  $SBX$ .

Os resultados obtidos estão nas Tabela 5 e Tabela 6, portanto, como havia falado nos resultados anteriores, estavam equivocados, sendo necessário fazer menos execuções.

Tabela 5 – Resultados DTLZ: melhor IGD de 1 (uma) execução

Problema (m)	NSGA-II <sup>b</sup>	MOEA/D <sup>b</sup>	MOEA/D-DE <sup>b</sup>
DTLZ1 (2)	7.19E-01	2.71E-03	3.14E-03
DTLZ2 (2)	8.73E-03	4.72E-03	5.60E-03
DTLZ3 (2)	3.30E-01	4.28E-03	6.53E-03
DTLZ4 (2)	6.58E-03	4.21E-03	4.73E-03
DTLZ1 (3)	9.21E-01	2.03E-02	3.13E-02
DTLZ2 (3)	1.20E-01	5.51E-02	8.07E-02
DTLZ3 (3)	2.83E+00	5.71E-02	1.15E-01
DTLZ4 (3)	1.15E-01	4.20E-01	4.69E-02

Tabela 6 – Resultados DTLZ: melhor HV de 1 (uma) execução

Problema (m)	NSGA-II <sup>b</sup>	MOEA/D <sup>b</sup>	MOEA/D-DE <sup>b</sup>
DTLZ1 (2)	0.00E+00	5.10E-01	5.08E-01
DTLZ2 (2)	2.20E-01	2.30E-01	2.26E-01
DTLZ3 (2)	1.40E-02	2.29E-01	2.22E-01
DTLZ4 (2)	2.27E-01	2.30E-01	2.28E-01
DTLZ1 (3)	0.00E+00	1.05E+00	1.01E+00
DTLZ2 (3)	4.56E-01	6.84E-01	5.90E-01
DTLZ3 (3)	0.00E+00	6.75E-01	5.03E-01
DTLZ4 (3)	5.45E-01	9.78E-02	6.08E-01

Foram feitas outras alterações, num quarto momento, com 30 (trinta) execuções. O tempo de execução foi de 1 (uma) hora e 56 (cinquenta e seis) minutos. O tempo médio de execução foi de 9,72 segundos:

- NSGAII<sup>c</sup>: o parâmetro  $n = 10$  para  $n = 100$ , probabilidade de mutação de  $pMUT = 0.2$  para  $pMUT = 0.02$ , alteração da mutação para  $POPn(i, d) = POPn(i, d) + 0.5 * (rand - 0.5) * (xmax(d) - xmin(d))$ , a linha se  $u \leq 0.5$  foi mudado para  $if(u \leq 0.99)$  e se  $rand \leq 0.5$  foi mudado para  $if(rand \leq 0.01)$ ;
- MOEA/D<sup>c</sup>: o padrão  $TE$  foi modificado para  $PBI$  e alterou-se a heurística de  $SBX$  para  $DE$ ;
- MOEA/DDE<sup>c</sup>: o padrão  $TE$  foi alterado para  $PBI$  e alterou-se a heurística de  $TE$  para  $SBX$ .

Os resultados obtidos estão nas Tabela 7 e Tabela 8. Estes resultados estão corrigidos.

Tabela 7 – Resultados DTLZ: melhor IGD e média nas 30 execuções

Problema (m)	NSGA-II <sup>c</sup>	MOEA/D <sup>c</sup>	MOEA/D-DE <sup>c</sup>
DTLZ1 (2)	4,16E-03 (3,50E-01)	1,78E-03 (1,78E-03)	1,81E-03 (1,98E-03)
DTLZ2 (2)	6,26E-03 (8,08E-03)	4,72E-03 (4,72E-03)	4,72E-03 (4,72E-03)
DTLZ3 (2)	6,82E-02 (3,13E-01)	4,21E-03 (4,21E-03)	4,23E-03 (4,70E-03)
DTLZ4 (2)	6,05E-03 (4,12E-01)	4,21E-03 (3,17E-01)	4,21E-03 (2,54E-01)
DTLZ1 (3)	9,67E-01 (2,31E+00)	2,04E-02 (2,06E-02)	2,03E-02 (2,07E-02)
DTLZ2 (3)	1,02E-01 (1,15E-01)	5,52E-02 (5,53E-02)	5,50E-02 (5,51E-02)
DTLZ3 (3)	3,77E+00 (7,55E+00)	5,66E-02 (1,75E+00)	5,66E-02 (5,72E-02)
DTLZ4 (3)	4,74E-02 (8,28E-02)	3,62E-02 (8,73E-02)	3,63E-02 (9,55E-02)

Tabela 8 – Resultados DTLZ: melhor HV e média nas 30 execuções

Problema (m)	NSGA-II <sup>c</sup>	MOEA/D <sup>c</sup>	MOEA/D-DE <sup>c</sup>
DTLZ1 (2)	5,06E-01 (1,58E-01)	5,15E-01 (5,15E-01)	5,15E-01 (5,13E-01)
DTLZ2 (2)	2,25E-01 (2,22E-01)	2,30E-01 (2,30E-01)	2,30E-01 (2,30E-01)
DTLZ3 (2)	1,47E-01 (5,80E-02)	2,30E-01 (2,30E-01)	2,30E-01 (2,28E-01)
DTLZ4 (2)	2,28E-01 (1,33E-01)	2,30E-01 (1,57E-01)	2,30E-01 (1,72E-01)
DTLZ1 (3)	0,00E+00 (0,00E+00)	1,05E+00 (1,05E+00)	1,05E+00 (1,05E+00)
DTLZ2 (3)	5,35E-01 (5,08E-01)	6,81E-01 (6,80E-01)	6,85E-01 (6,84E-01)
DTLZ3 (3)	0,00E+00 (0,00E+00)	6,85E-01 (5,39E-01)	6,85E-01 (6,76E-01)
DTLZ4 (3)	5,85E-01 (5,44E-01)	6,72E-01 (5,96E-01)	6,72E-01 (5,79E-01)

O arquivo zip com o código implementado foi postado e disponibilizado também no gitHub <<https://github.com/fapers/MeusTreinamentos/tree/master/mestrado/ppgmcs/m06-otimizacao-multiobjetivo/atividade-final>>, assim como este arquivo em pdf com os resultados obtidos e levantamentos de alguns pontos considerados pertinentes dos três algoritmos para os quatro problemas e os slides para a apresentação no dia 28/06/2021.

Diante dos resultados obtidos e as configurações de parâmetros e operadores propostos percebe-se que dentre os algoritmos NSGA-II, MOEA/D, MOEA/D-DE, NSGA-II<sup>a</sup>, MOEA/D<sup>a</sup> e MOEA/D-DE<sup>a</sup>, NSGA-II<sup>b</sup>, MOEA/D<sup>b</sup> e MOEA/D-DE<sup>b</sup>, NSGA-II<sup>c</sup>, MOEA/D<sup>c</sup> e MOEA/D-DE<sup>c</sup>, o algoritmo que se mostrou mais indicado para os problemas dtlz1, dtlz2, dtlz3 e dtlz4 foi o MOEA/D<sup>c</sup>. Percebe-se também que a pior combinação para o MOEA/D foi a utilização *TE* com *PBI* a qual acabou perdendo para o MOEA/D-DE no DTLZ1 (2) e DTLZ3 (2).

É importante ressaltar que no percurso da execução deste trabalho houve um problema ao copiar os resultados do MatLab para o Excel que impediu a finalização das 4 (quatro) etapas que havia sido previstas. Como o Excel estava utilizando o padrão brasileiro os números vieram totalmente diferentes da conversão de ponto para vírgula e só foi detectado na finalização deste relatório. Os resultados dos primeiro e quarto momentos relacionados nas tabela 1, 2, 7 e 8, foram corrigidos, já os resultados das tabela 3, 4, 5 e 6 estão sendo corrigidos, pois os valores foram alterados automaticamente pela planilha e não houve tempo suficiente para refazer.