

Comparação dos Algoritmos Evolutivos SPEA-R, NSGA-III e MOEA/D-DE Via Plataforma PlatEMO

Vinicius Ferraz
Engenharia de Sistemas
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte
Email: vinicius.ferraz@tjmg.jus.br

Abstract—Multiobjective optimization.

I. INTRODUÇÃO

A. Definições

Seja M = o número de objetivos.

Consideramos separadamente ambos os tipos de problema, segundo [SPEAR]:

MOP = Problema de Otimização Multiobjetivo — $M \leq 3$;

MaOP = Problema de Otimização de Muitos Objetivos — $M \geq 4$;

MOEA = AE = Algoritmo Evolutivo;

POF = Fronteira Pareto ótima;

POS = Conjunto Pareto ótimo;

GD = Distância Geracional — Calcule a distância de cada ponto p da POF Aproximada até a POF Verdadeira V inteira (mínimo sobre V); Divida pela cardinalidade de V ;

IGD = Distância Geracional Invertida — Calcule a distância de cada ponto p da POF Verdadeira até a POF Aproximada A inteira (mínimo sobre A); Divida pela cardinalidade de A ;

HV = Hipervolume abaixo do referencial = $(1, 1, \dots, 1) = v_{ref}$.

Tanto no cálculo de IGD como no de HV, o resultado é NaN se a população final estiver vazia, ou, como está nos fontes: se a dimensão de PopObj for diferente da dimensão de optimum.

O resultado de HV será zero, no caso de todos os pontos estiverem acima do referencial v_{ref} , ou, como está nos fontes, depois de retirar os pontos com alguma coordenada maior que 1, a população final ficar vazia.

B. O PlatEMO

Até a apresentação do seminário, nós estudávamos o código-fonte do SPEA-R, sem saber que existia o PlatEMO.

PlatEMO é uma sigla para Plataforma em MatLab para Otimização Multiobjetivo Evolucionária. Quando ela surgiu, havia os seguintes concorrentes ou opções:

(1) PISA — uma biblioteca de otimização multiobjetivo baseada em C;

(2) jMetal — uma biblioteca de otimização multiobjetivo baseada em Java orientada a objetos que consiste de vários MOEAs e MOPs;

(3) MOEA Framework — outra estrutura Java gratuita e de código aberto para otimização multiobjetivo, que fornece uma coleção abrangente de MOEAs e ferramentas necessárias para projetar, desenvolver, executar e testar MOEAs rapidamente;

(4) OTL — uma biblioteca de templates em C++ para otimização multiobjetivo, caracterizada por arquitetura orientada a objetos, técnica de template, módulos prontos para uso, experimentos em lote executados automaticamente e computação paralela.

Além disso, uma plataforma experimental baseada em Python também foi proposta como suplemento de OTL, para melhorar a eficiência do desenvolvimento e realizar experimentos em lote de forma mais conveniente.

(5) ParadisEO-MOEO — uma notável biblioteca MOEA projetada com base em componentes reconfiguráveis. Ela fornece uma ampla variedade de recursos relacionados a arquivo e estratégias de atribuição de aptidão utilizadas nos algoritmos evolucionários mais comuns baseados em Pareto, de modo que os usuários possam usar a biblioteca para gerar um grande número de novos MOEAs, recombinação desses componentes.

(6) AutoMOEA — outro modelo de MOEA proposto recentemente, estendido do ParadisEO-MOEO, que tem uma maior generalidade e mais cobertura abrangente de algoritmos e operadores.

Além disso, uma estrutura semelhante também foi adotada no ParadisEO-MO para o projeto de metaheurísticas baseadas em soluções únicas.

São diferenciais propostos pelo Platemo:

Biblioteca rica — grande quantidade de algoritmos e problemas;

Boa usabilidade — opção de interface amigável em MatLab, opção de código simples;

Fácil extensibilidade — código aberto, disponível no github, pode-se mesclar os algoritmos, criar novos problemas;

Considerações delicadas — por exemplo, geração de POFs com pontos uniformemente distribuídos.

Abaixo a tabela comparativa, retirada de [PlatEMO].

MOEA LIBRARY	LANGUAGE	TYPES OF MOEAS AVAILABLE	TYPES OF MOES AVAILABLE	USABILITY	COMPONENTS CONFIGURABILITY	EXTENSIBILITY
PARADISEO-MOEO [26]	C++	GENETIC ALGORITHM, SIMULATED ANNEALING, TABU SEARCH	MULTI-OBJECTIVE, COMBINATORIAL	NORMAL	HIGH	NORMAL
PISA [27]	C	GENETIC ALGORITHM	MULTI-OBJECTIVE, MANY-OBJECTIVE, COMBINATORIAL	NORMAL	LOW	NORMAL
JMETAL [23]	Java	GENETIC ALGORITHM, DIFFERENTIAL ALGORITHM, PARTICLE SWARM OPTIMIZATION	MULTI-OBJECTIVE, MANY-OBJECTIVE, COMBINATORIAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
OTL [25]	C++, Python	GENETIC ALGORITHM, DIFFERENTIAL ALGORITHM	MULTI-OBJECTIVE, MANY-OBJECTIVE, COMBINATORIAL	LOW	NORMAL	NORMAL
MOEA FRAMEWORK	Java	GENETIC ALGORITHM, DIFFERENTIAL ALGORITHM, PARTICLE SWARM OPTIMIZATION	MULTI-OBJECTIVE, MANY-OBJECTIVE, COMBINATORIAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
PlatEMO	MATLAB	GENETIC ALGORITHM, DIFFERENTIAL ALGORITHM, PARTICLE SWARM OPTIMIZATION, MEMETIC ALGORITHM, ESTIMATION OF DISTRIBUTION ALGORITHM, SURROGATE ASSISTED EVOLUTIONARY ALGORITHM	MULTI-OBJECTIVE, MANY-OBJECTIVE, COMBINATORIAL, LARGE-SCALE, EXPENSIVE	HIGH	NORMAL	HIGH

C. Lista de algoritmos

- 1) A-NSGA-III/ANSGAIII.m
- 2) AB-SAEA/ABSAEA.m
- 3) AGE-II/AGEII.m
- 4) AGE-MOEA/AGEMOEAM.m
- 5) AR-MOEA/ARMOEAM.m
- 6) BCE-IBEA/BCEIBEA.m
- 7) BiGE/BiGE.m
- 8) c-DPEA/cDPEA.m
- 9) C-MOEA-D/CMOEAD.m
- 10) C-TAEA/CTAEA.m
- 11) CA-MOEA/CAMOEAM.m
- 12) CCGDE3/CCGDE3.m
- 13) CCMO/CCMO.m
- 14) CMOEA-MS/CMOEAM.MS.m
- 15) CMOPSO/CMOPSO.m
- 16) CPS-MOEA/CPSMOEA.m
- 17) CSEA/CSEA.m
- 18) DAEA/DAEA.m
- 19) DCNSGA-III/DCNSGAIII.m
- 20) DEA-GNG/DEAGNG.m
- 21) DGEA/DGEA.m
- 22) DMOEA-eC/DMOEAEc.m
- 23) dMOPSO/dMOPSO.m
- 24) DN-NSGA-II/DNNSGAII.m
- 25) DSPCMDE/DSPCMDE.m
- 26) DWU/DWU.m
- 27) e-MOEA/eMOEA.m
- 28) EAG-MOEA-D/EAGMOEAD.m
- 29) EDN-ARMOEAE/EDNARMOEAM.m
- 30) EFR-RR/EFRR.m
- 31) EIM-EGO/EIMEGO.m
- 32) EMYO-C/EMYOc.m
- 33) ENS-MOEA-D/ENSMOEAD.m
- 34) FDV/FDV.m
- 35) g-NSGA-II/gNSGAII.m
- 36) GDE3/GDE3.m
- 37) GFM-MOEA/GFMMOEA.m
- 38) GLMO/GLMO.m
- 39) GrEA/GrEA.m
- 40) HeE-MOEA/HeEMOEAM.m
- 41) hpaEA/hpaEA.m
- 42) HypE/HypE.m
- 43) I-DBEA/IDBEAM.m
- 44) I-SIBEA/ISIBEA.m
- 45) IBEA/IBEA.m
- 46) ICMA/ICMA.m
- 47) IM-MOEA/IMMOEAM.m
- 48) IM-MOEA-D/IMMOEADM.m
- 49) K-RVEA/KRVEAM.m
- 50) KnEA/KnEA.m
- 51) KTA2/KTA2.m
- 52) LCSA/LCSA.m
- 53) LMEA/LMEA.m
- 54) LMOCSSO/LMOCSSO.m
- 55) LMOEA-DS/LMOEADS.m
- 56) LSMOF/LSMOF.m
- 57) M-PAES/MPAES.m
- 58) MaOEA-CSS/MaOEACSS.m
- 59) MaOEA-DDFC/MaOEADDFC.m
- 60) MaOEA-IGD/MaOEAIGD.m
- 61) MaOEA-IT/MaOEAIT.m
- 62) MaOEA-R&D/MaOEARD.m
- 63) MMOPSO/MMOPSO.m
- 64) MO-CMA/MOCMA.m
- 65) MOCcell/MOCcell.m
- 66) MOEA-D/MOEAD.m
- 67) MOEA-D-AWA/MOEADAWA.m
- 68) MOEA-D-CMA/MOEADCMAM.m
- 69) MOEA-D-DAE/MOEADDAE.m
- 70) MOEA-D-DE/MOEADDE.m
- 71) MOEA-D-DRA/MOEADDRA.m
- 72) MOEA-D-DU/MOEADDU.m
- 73) MOEA-D-DYTS/MOEADDYTS.m
- 74) MOEA-D-EGO/MOEADEGO.m
- 75) MOEA-D-FRRMAB/MOEADFRRMAB.m
- 76) MOEA-D-M2M/MOEADM2M.m
- 77) MOEA-D-MRDL/MOEADMRDL.m
- 78) MOEA-D-PaS/MOEADPaS.m
- 79) MOEA-D-STM/MOEADSTM.m
- 80) MOEA-D-UR/MOEADUR.m
- 81) MOEA-D-URAW/MOEADURAW.m
- 82) MOEA-DD/MOEADD.m
- 83) MOEA-DVA/MOEADVAM.m
- 84) MOEA-IGD-NS/MOEAIGDNS.m
- 85) MOEA-PC/MOEAPC.m
- 86) MOEA-PSL/MOEAPSL.m
- 87) MOMBI-II/MOMBII.m
- 88) MOPSO/MOPSO.m
- 89) MOPSO-CD/MOPSOCD.m
- 90) MO_Ring_PSO_SCD/MO_Ring_PSO_SCD.m
- 91) MP-MMEA/MPMMEA.m
- 92) MPSO-D/MPSOD.m
- 93) MSCMO/MSCMO.m
- 94) MSEA/MSEA.m
- 95) MSOPS-II/MSOPSII.m
- 96) MTS/MTS.m
- 97) MultiObjectiveEGO/MultiObjectiveEGOM.m
- 98) MyO-DEMR/MyODEMR.m

- 99) NMPSO/NMPSO.m
- 100) NNIA/NNIA.m
- 101) NSGA-II/NSGAII.m
- 102) NSGA-II+ARSBX/NSGAIIARSBX.m
- 103) NSGA-II-conflict/NSGAIIconflict.m
- 104) NSGA-II-SDR/NSGAIIISDR.m
- 105) NSGA-III/NSGAIII.m
- 106) NSLS/NSLS.m
- 107) one-by-one EA/onebyoneEA.m
- 108) OSP-NSDE/OSPNSDE.m
- 109) ParEGO/ParEGO.m
- 110) PB-NSGA-III/PBNSGAIII.m
- 111) PB-RVEA/PBRVEA.m
- 112) PeEA/PeEA.m
- 113) PESA-II/PESAII.m
- 114) PICEA-g/PICEAg.m
- 115) PM-MOEA/PMMOEA.m
- 116) POCEA/POCEA.m
- 117) PPS/PPS.m
- 118) PREA/PREA.m
- 119) r-NSGA-II/rNSGAII.m
- 120) RM-MEDA/RMMEDA.m
- 121) RPD-NSGA-II/RPDNSGAII.m
- 122) RPEA/RPEA.m
- 123) RSEA/RSEA.m
- 124) RVEA/RVEA.m
- 125) RVEA-iGNG/RVEAiGNG.m
- 126) RVEAa/RVEAa.m
- 127) S-CDAS/SCDAS.m
- 128) S3-CMA-ES/S3CMAES.m
- 129) SIBEA/SIBEA.m
- 130) SIBEA-kEMOSS/SIBEAkEMOSS.m
- 131) SLMEA/SLMEA.m
- 132) SMEA/SMEA.m
- 133) SMPPO/SMPPO.m
- 134) SMS-EGO/SMSEGO.m
- 135) SMS-EMOA/SMSEMOA.m
- 136) SparseEA/SparseEA.m
- 137) SparseEA2/SparseEA2.m
- 138) SPEA-R/SPEAR.m
- 139) SPEA2/SPEA2.m
- 140) SPEA2+SDE/SPEA2SDE.m
- 141) SRA/SRA.m
- 142) t-DEA/tDEA.m
- 143) TiGE-2/TiGE2.m
- 144) ToP/ToP.m
- 145) TriMOEA-TA&R/TriMOEATAR.m
- 146) Two_Arch2/Two_Arch2.m
- 147) VaEA/VaEA.m
- 148) WOF/WOF.m
- 149) WV-MOEA-P/WVMOEAP.m

D. Objetivo

Nossa estratégia é a mesma que a de [WFG].

- 1) Selecionar os AEs a comparar.

2) Escolher um conjunto de problemas de teste existentes, ou criar novos. Escolhemos todos os 242 disponíveis.

3) Escolher um conjunto de medidas nas quais comparar os conjuntos de resultados produzidos pelos AEs. Nossa comparação será pelo IGD e pelo HV, conforme [SPEAR].

É necessário gerar uma POF Verdadeira, com pontos uniformemente distribuídos.

4) Obter resultados para cada AE em cada problema de teste, ou pela Web ou por implementação.

Comparação de três algoritmos, executados dez vezes: cinco para MOPs, cinco para MaOPs.

5) Gerar medidas para os resultados e comparar os dados. Comparamos quantas vezes foi vencedor cada algoritmo, como critério para decidir qual é o melhor.

6) Redigir conclusões.

Nosso resultado para WFG não foi idêntico ao de [SPEAR], provavelmente porque utilizamos os parâmetros default.

Para executar os MaOPs, escolhemos $M = 5$ como parâmetro em todos os problemas, mas a maioria deles continuou fixo em $M \leq 3$.

Os problemas MaF8, MaF9, MLDMP e MPDMP têm $M = 10$ como parâmetro default, todos os outros têm $M \leq 3$.

II. DEFINIÇÃO DOS ALGORITMOS

NSGA-II — Algoritmo Genético de Classificação Não Dominado, conforme visto em aula;

MOEA/D — Decompõe um problema de otimização multi-objetivo em N subproblemas de otimização escalar, conforme visto em aula;

SPEA-R — Um Algoritmo Evolucionário de Pareto de Força Baseado em Direções de Referência;

NSGA-III — Versão atualizada do NSGA-II baseada em dominância, em que uma série de pontos de referência fornecidos são usados como uma diretriz para lidar com MaOPs; Mantém a diversidade da população por meio da preservação de nicho;

MOEA/D-DE — Nova versão do MOEA/D baseada em evolução diferencial, para lidar com MOPs contínuos com PSs complicados.

Este lançou exceção para os problemas: MOKP, MONRP, MOTSP, mQAP, Sparse_CN, Sparse_FS, Sparse_KP, Sparse_PM e ZDT5.

Algumas vezes retornaram NaN em todas as 5 execuções.

Quando retornaram NaN de 1 a 4 vezes, tornamos a executar até que deixassem de ser NaN em todas as 5 execuções.

Muitos problemas estão associados a algoritmos específicos.

III. DEFINIÇÃO DOS PROBLEMAS

Abaixo a sigla do problema, o ano de publicação, uma breve descrição e alguns comentários retirados do referido artigo.

- BT; 2016; Problemas de teste multiobjetivo com *bias*;
Os *bias*es no POS significam que uma pequena mudança nas variáveis de decisão de algumas soluções de Pareto pode causar mudanças significativas de seus vetores objetivos no espaço objetivo. Para lidar com o *bias*, o

operador de busca com habilidade muito poderosa na exploração deve ser considerado nos MOEAs.

- CF; 2008; Problemas de teste multiobjetivo restritos para a sessão especial e competição do CEC 2009; UF; 2008; Problemas de teste multiobjetivo irrestritos para a sessão especial e competição do CEC 2009; Mais instâncias de teste são necessárias para se assemelhar a problemas complicados da vida real e, assim, estimular a pesquisa do MOEA.
- DASCMP; 2020; MOPs com restrição de dificuldade ajustável e escalável;
Desenvolvemos um kit de ferramentas geral para construir CMOPs escaláveis e ajustáveis por dificuldade com três tipos de funções de restrição desenvolvidas para capturar os três tipos de dificuldade propostos:
Dificuldade 1: Solidez de dificuldade;
Geralmente, as POFs de CMOPs com solidez de diversidade têm muitos segmentos discretos, ou algumas partes que são mais difíceis de alcançar do que outras partes, porque grandes regiões inviáveis são impostas em sua proximidade. Como resultado, alcançar a POF completa é difícil para os CMOEAs.
Dificuldade 2: Solidez de viabilidade;
Para CMOPs de viabilidade sólida, a proporção de regiões viáveis no espaço de busca é geralmente muito baixa. É difícil para um CMOEa encontrar soluções viáveis em CMOPs com solidez de viabilidade. Muitas vezes no estágio inicial de um CMOEa, a maioria ou todas as soluções na população são inviáveis.
Dificuldade 3: Solidez de convergência;
CMOPs com solidez de convergência dificultam a convergência de CMOEAs para as POFs. Geralmente, CMOEAs encontram mais dificuldade em alcançar as POFs porque regiões inviáveis bloqueiam o caminho à medida que convergem para as POFs. Em outras palavras, a métrica de distância geracional (GD), que indica o desempenho da convergência, é difícil de minimizar no processo evolutivo.
- DOC; 2019; MOPs com restrições nos espaços de decisão e objetivos;
- DTLZ; 2005; Problemas de teste multiobjetivo escaláveis; Abordagem de múltiplas funções de objetivo único: A primeira abordagem é a mais intuitiva e tem sido usada implicitamente pelos primeiros pesquisadores do MOEA para construir problemas de teste. Nesta abordagem, M diferentes funções de objetivo único são usadas para construir um problema de teste multiobjetivo. Para simplificar o procedimento de construção, em muitos casos, diferentes funções objetivo são simplesmente usadas como diferentes traduções de uma única função objetivo.
Abordagem de baixo para cima: Nesta abordagem, uma função matemática que descreve a frente Pareto-ótima é assumida no espaço objetivo e um espaço de busca objetivo geral é construído a partir dessa frente para definir o problema de teste.
Abordagem da Superfície de Restrição: Ao contrário de

começar a partir de uma superfície Pareto-ótima predefinida na abordagem de baixo para cima, a abordagem de superfície de restrição começa por uma predefinição do espaço de busca geral.

- C1_DTLZ; 2014; DTLZ Restrito;
IDTLZ; 2014; DTLZ Invertido;
Em problemas com restrições do tipo 1, o valor ótimo da POF ainda é ótima, mas há uma barreira inviável na abordagem da POF. Isto é conseguido adicionando uma restrição ao problema original. A barreira oferece regiões inviáveis no espaço objetivo que um algoritmo deve aprender a superar, proporcionando assim uma dificuldade em convergir para a verdadeira POF.
Enquanto os problemas restritos do tipo 1 introduziram dificuldades em atingir toda a POF, com restrição de tipo 2 problemas são projetados para introduzir inviabilidade a uma parte da POF. Tais problemas testarão a capacidade de um algoritmo de lidar com POFs desconectadas.
Os problemas do tipo 3 envolvem múltiplas restrições e toda a POF do problema irrestrito não precisa ser ótima, em vez disso, porções das superfícies de restrição adicionadas constituem a POF.
- DC1_DTLZ; 2018; DTLZ com restrições no espaço de decisão;
- SDTLZ; 2014; DTLZ Escalado;
Por exemplo, multiplicar os objetivos por 10^0 , 10^1 , 10^2 .
- MaF; 2017; DTLZ Invertido;
Os 15 problemas têm propriedades diversas que cobrem uma boa representação de vários cenários do mundo real, como ser multimodal, desconectado, degenerado e/ou inseparável, e tendo uma forma de POF irregular, um POS complexo ou um grande número de variáveis de decisão.
- FCP; 2021; MOPs restritas propostas por Jiawei Yuan;
- IMOP; 2019; MOPs com POF irregular;
A POF deve ser complexa o suficiente, o que pode representar grandes desafios para MOEAs na preservação da diversidade. Enquanto isso, deve ser possível amostrar um conjunto de pontos de referência uniformemente distribuídos na POF para avaliação de desempenho. Deve ser fácil obter soluções na POF, o que permite que os MOEAs obtenham rapidamente um conjunto de soluções bem convergentes e, assim, gastem a maior parte dos recursos computacionais na diversificação dessas soluções para melhor diversidade.
- LIRCMOP; 2019; MOPs restritos com grandes regiões inviáveis;
- LSMOP; 2016; Problemas de teste multiobjetivo de larga escala;
1) Os problemas de teste podem ser gerados com uma formulação uniforme do projeto.
2) Os problemas de teste devem ser escaláveis para ter um número de funções objetivo.
3) Os problemas de teste devem ser escaláveis para ter qualquer número de variáveis de decisão.
4) As formas e localizações exatas das POFs são conhe-

cidas.

Dado um problema formulado por $F(x) = H(x^f)(I + G(x^s))$, o objetivo de otimização é encontrar o POS, denotado como $x^* = (x^{f*}, x^{s*})$, tal que $G(x^{s*}) = 0$ e $F(x^*) = H(x^{f*})$. Portanto, usando tal formulação de projeto, $H(x^f)$ é capaz de testar a capacidade de um algoritmo de alcançar diversas soluções ao longo da POF, e $G(x^s)$ é capaz de testar a capacidade de um algoritmo de convergir para a POF.

- MMF; 2018; Função de teste multiobjetivo multimodal;
 - 1) Devem ser funções de otimização multiobjetivo;
 - 2) Devem ter mais de um POS que corresponda a o mesmo POF;
 - 3) Eles devem variar em sua extensão de complexidade.
- MMMOP; 2019; Problemas de otimização multiobjetivo multimodal;
- MW; 2019; MOPs restritas propostas por Z. Ma e Y. Wang;
- SMOP; 2020; MOPs com soluções ótimas de Pareto esparsas; Esperso quer dizer que a maioria das variáveis de decisão das POS são zero.
- SMMOP; 2021; Problemas de otimização multiobjetivo multimodal esperso;
- TREE; 2020; O problema de estimativa de erro variante no tempo;

A estimativa de erro dos transformadores de tensão desempenha um papel importante nos sistemas modernos de fornecimento de energia. Os métodos de estimativa de erro existentes concentram-se principalmente em calibração, mas ignoram a propriedade de variação no tempo. Consequentemente, é difícil estimar eficientemente o estado dos transformadores de tensão em tempo real. Para resolver esse problema, elaboramos um problema de estimativa de erro variável no tempo em um problema de otimização multiobjetivo em larga escala, onde os múltiplos objetivos e restrições de desigualdade são formulados por estatísticas e regras físicas extraídas dos sistemas de distribuição de energia.
- VNT; 1996; MOPs propostas por R. Viennet;
- WFG; 2006; Problemas de teste multiobjetivo escaláveis e problema degenerado WFG3;
 - 1) Deve haver alguns problemas de teste unimodais para testar a velocidade de convergência em relação a diferentes geometrias ótimas de Pareto e condições de *bias*.
 - 2) Os três tipos principais de geometrias ótimas de Pareto a seguir devem ser cobertos pelo conjunto de testes: POFs degeneradas, POFs desconectadas e POS desconectados.
 - 3) A maioria dos problemas de teste deve ser multimodal e deve haver alguns problemas enganosos.
 - 4) A maioria dos problemas deve ser inseparável.
 - 5) Deve haver problemas que sejam inseparáveis e multimodais. Problemas unimodais e separáveis não são representativos de problemas do mundo real.
- ZDT; 2000; MOPs propostas por E. Zitzler, K. Deb, e L. Thiele;

Os quatro problemas abaixo estão na pasta “*MOPs with variable linkages*”:

- IMMOEA.F; 2015; MOPs para testar IM-MOEA;
- MOEADDE.F; 2009; Problemas estendidos para testar MOEA/D-DE;
- MOEADM2M.F; 2014; Problemas para testar MOEA/D-M2M;
- RMMEDA.F; 2008; Problemas para testar RM-MEDA;

Os 15 problemas abaixo estão na pasta “*Real-world MOPs*”:

- MLDMP; 2018; O problema de minimização de distância multilinha;
 - 1) seu POS está em um polígono regular no espaço de decisão bidimensional;
 - 2) essas soluções são semelhantes (no sentido da geometria euclidiana) às suas imagens no espaço objetivo de dimensão mais alta;
- MOKP; 1999; Problema da mochila 0/1 multiobjetivo; Sparse_KP; 1999; O problema da mochila multiobjetivo esperso;
- MONRP; 2007; Problema do próximo lançamento multiobjetivo;

Uma das primeiras questões a levar em conta por empresas de software é determinar o que devem ser incluídos no próximo lançamento de seus produtos, de forma que o maior número possível dos clientes fiquem satisfeitos, enquanto isso implica um custo mínimo para a empresa. Este problema é conhecido como o Problema da Próxima Versão (NRP).
- MOTSP; 2007; Problema do caixeiro viajante multiobjetivo;
- MPDMP; 2007; Problema de minimização de distância multiponto;
- mQAP; 2003; Problema de atribuição quadrática multiobjetivo;
- Sparse.CD; 2021; Problema de detecção da comunidade; Sparse.PO; 2021; Problema de otimização de portfólio; Sparse.SR; 2021; Problema de reconstrução de sinal esperso; Sparse.IS; 2021; Problema de seleção de instâncias;
- Sparse.CN; 2020; Problema crítico de detecção de nós; Sparse.FS; 2020; Problema de seleção de recursos; Sparse.NN; 2020; Problema de treinamento de rede neural; Sparse.PM; 2020; Problema de mineração de padrões.

IV. TABELAS COMPARATIVAS

A. $M \leq 3$

Trocamos NaN por $\pm\infty$, de forma que os outros algoritmos prevalecessem.

Problema	dim	dim2	RKD SPEAR	RKD NSGA-II	RKD MOEA/D	Molho RKD	HY SPEAR	HY NSGA-II	RKD MOEA/D	Molho HY
RT1	30	2	5.630051576978	3.527097338455	3.027313136254	NSGA-II	0	0	Empate	---
RT2	30	2	3.3661121264	1.713452124483	1.325002552519	NSGA-II	0	0.00972327723679	0	NSGA-II
RT3	30	2	3.280001722866	2.425311291478	3.954153566668	NSGA-II	0	0	Empate	---
RT4	30	2	3.150407114327	2.560635243037	3.798114491328	NSGA-II	0	0	Empate	---
RT5	30	2	3.640639519602	3.215240690727	3.599972725134	NSGA-II	0	0	Empate	---
RT6	30	2	0.919147314707	0.4623201593428	1.868265345775	NSGA-II	0.03101913600089	0.211271349154	0	NSGA-II
RT7	30	2	0.76231308362	0.3624051409756	0.814499763877	NSGA-II	0.0680817271335	0.219501268995	0.05650610739073	NSGA-II
RT8	30	2	3.324339784826	2.60528479063	4.41430681227	NSGA-II	0	0	Empate	---
RT9	30	2	3.786629071157	2.422231044418	3.469106623622	NSGA-II	0	0	Empate	---
CF1	10	2	0.5320145178613	0.0873061378018	3.599972725134	NSGA-II	0.19626013811284	0.43244212871128	0.099494266318625	NSGA-II
CF10	10	2	0.47970473871489	0.06758141814369	3.599972725134	SPEAR	0.08174501254549	0.578725838371	0.02525115660314	SPEAR
CF2	10	2	0.02670474627398	0.0717077084628	0.08112284121236	MOEA/D	0.5089421245139	0.56760083337753	0.01161703129261	MOEA/D
CF3	10	2	0.4259027678077	0.3134578237963	0.4545778604458	NSGA-II	0.00864601297262	0.047127424765	0.07680713778926	MOEA/D
CF4	10	2	0.1720797390899	0.120642411934	0.2223014041499	NSGA-II	0.3127664089912	0.3567806427905	0.3313827449239	NSGA-II
CF5	10	2	0.2915140574086	0.2714672404797	MOEA/D	0.21906017760575	0.21705424740729	MOEA/D	---	
CF6	10	2	0.5176102720108	0.41571610275656	0.51595140577534	MOEA/D	0.53777017108421	0.60404157377751	MOEA/D	---
CF7	10	2	0.2346840131878	0.3067840131278	0.3170645757217	NSGA-II	0.2766450162739	0.31213064184829	0.31213064184829	NSGA-II
CF8	10	2	0.4056142524349	0.4994681123852	0.4976970616165	SPEAR	0.1188472128464	0.14994535093162	0.1635519668764	NSGA-II
CF9	10	2	0.444051371923	0.4621200441033	0.4144912231914	NSGA-II	0.14623191302482	0.3070953262021	0.4315771798701	NSGA-II
DAMCOP1	30	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DAMCOP2	30	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DAMCOP3	30	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DAMCOP4	30	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DAMCOP5	30	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DAMCOP6	30	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DAMCOP7	30	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DAMCOP8	30	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DAMCOP9	30	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI	6	2	0.7143012221184	0.064027407978	0.08112284121236	NSGA-II	0.02278153471705	0.0883051308782	0.038810304768	NSGA-II
DOCI2	16	2	==	==	==	Empate	---	---	---	Empate
DOCI3	10	2	==	==	==	Empate	---	---	---	Empate
DOCI4	8	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI5	8	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI6	8	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI7	11	2	==	==	==	Empate	---	---	---	Empate
DOCI8	11	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI9	10	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI10	10	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI11	10	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI12	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI13	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI14	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI15	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI16	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI17	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI18	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI19	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI20	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI21	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI22	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI23	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI24	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI25	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI26	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI27	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI28	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI29	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI30	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI31	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI32	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI33	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI34	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI35	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI36	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI37	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI38	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI39	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI40	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI41	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI42	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI43	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI44	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI45	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI46	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI47	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI48	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI49	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI50	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI51	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI52	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI53	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI54	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI55	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI56	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI57	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI58	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI59	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI60	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI61	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI62	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI63	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI64	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI65	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI66	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI67	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI68	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI69	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI70	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI71	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI72	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI73	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI74	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI75	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI76	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI77	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI78	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI79	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI80	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI81	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI82	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI83	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI84	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI85	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI86	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI87	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI88	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI89	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI90	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI91	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI92	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI93	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI94	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI95	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI96	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI97	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI98	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI99	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II
DOCI100	12	2	==	==	==	NSGA-II	==	==	==	NSGA-II

Problema	dim	dim2	RKD SPEAR	RKD NSGA-II	RKD MOEA/D	Molho RKD	HY SPEAR	HY NSGA-II	RKD MOEA/D	Molho HY
MMF1	30	2	1.2623291746174	1.250000000000	1.254400000000	MOEA/D	0.90073113117944	0.89000000000005	0.90012602703467	MOEA/D
MMF2	30	2	0.5580890513227	0.6480046294348	0.6175080143608	NSGA-II	0.8572743260578	0.84961561126009	0.8499951558318	MOEA/D
MMF3	30	2	0.44489120925847	0.4433054183528	0.44022952376808	NSGA-II	0.8003481050078	0.79667771104647	0.8109999580008	MOEA/D
MMF4	30	2	0.62570917514909	0.61270000000000	0.61402921241514	NSGA-II	0.72118100997897	0.72091200000000	0.72299614202584	MOEA/D
MMF5	30	2	0.7684000490848	0.766727124374	0.6468047800132	MOEA/D	0.9627567278000	0.96000000000000	0.9604572512827	MOEA/D
MMF6	30	2	1.3819917075808	1.3780000000000	1.3782000000000	MOEA/D	0.90828008170666	0.90778300000000	0.90778300000000	NSGA-II
MMF7	30	2	1.0510810484425	1.0510442186252	1.051086044905	NSGA-II	0.86881035140001	0.87040002721225	0.87040002721225	MOEA/D
MMF8	30	2	3.7213710000000	3.7213710000000	3.7213710000000	NSGA-II	0.89909775140001	0.89943117100000	0.89943117100000	MOEA/D
MMF9	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF10	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF11	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF12	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF13	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF14	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF15	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF16	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF17	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF18	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF19	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF20	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF21	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF22	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF23	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF24	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF25	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF26	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF27	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF28	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF29	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF30	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF31	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF32	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF33	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF34	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF35	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF36	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF37	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF38	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF39	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF40	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF41	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF42	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF43	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF44	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF45	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF46	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF47	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF48	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF49	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF50	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF51	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF52	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF53	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF54	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF55	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF56	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF57	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF58	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF59	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF60	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF61	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF62	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF63	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF64	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF65	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF66	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF67	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF68	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF69	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF70	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF71	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF72	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF73	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF74	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF75	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF76	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF77	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF78	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF79	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF80	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF81	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF82	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF83	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF84	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF85	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF86	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF87	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF88	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF89	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF90	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF91	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF92	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF93	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF94	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF95	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF96	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF97	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF98	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF99	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate
MMF100	3	2	---	---	---	Empate	---	---	---	Empate

B. $M \geq 4$

Problema	dim	dim _r	IGD SPEA-R	IGD NSGA-III	IGD MOEA/D	Mulher IGD	HY SPEA-R	HY NSGA-III	IGD MOEA/D	Mulher HY
MaF1	2	10	0.807757768368	0.8762038576433	0.3449433610677	MOEA/D-DE	0	0.003067566755566	0.0077076564055	MOEA/D-DE
MaF2	2	10	0.840748010902	1.078454774827	0.399435837861	MOEA/D-DE	0.0001087611017679	0.003010671272971	0.008414263131318	MOEA/D-DE
MaF3	2	10	1.242761952002	0.891264147916	0.3617967560406	MOEA/D-DE	0.001073508308267	0.003714461774428	0.00813615801095	MOEA/D-DE
MMF1	2	10	0.52305703104106	0.3303157570613	0.3349645644406	MOEA/D-DE	0.0010036282079182	0.007515354453432	0.007502732317786	MOEA/D-DE
C1_DTLZ1	9	5	—	0.278984709816	0.230056357683	MOEA/D-DE	—	0.445261457899	0.3606845557661	NSGA-III
C1_DTLZ3	14	5	0.646326577930	11.608959511082	5.5734045210828	MOEA/D-DE	0	0	0.012414024322349	MOEA/D-DE
C1_DTLZ2	14	5	0.23625203117233	0.25108257079564	0.57457080140576	SPEA-R	0.5640176	0.6299468	0.14309148022007	NSGA-III
C1_DTLZ4	14	5	—	0.46309109100005	1.256165645839	NSGA-III	—	0.0377584	0.3764265671066	NSGA-III
CDTLZ2	14	5	0.00854068014069	0.06475496100084	0.0025762570233	NSGA-III	0.007575000000	0.00801799999932	0.0766616	NSGA-III
DC1_DTLZ1	9	5	2.236804312036	0.17566345532348	1.4811068954581	NSGA-III	0	0.622042321489998	0.1260757309067	NSGA-III
DC1_DTLZ3	14	5	4.4086677379903	2.37904188791222	3.8540087301338	NSGA-III	0	0	0.03608126257527	MOEA/D-DE
DC1_DTLZ2	9	5	—	—	0.15625801407742	MOEA/D-DE	—	—	0.37314204278262	MOEA/D-DE
DC1_DTLZ4	14	5	—	—	0.203861538415	NSGA-III	—	—	0.15752634263475	MOEA/D-DE
CD1_DTLZ1	9	5	—	—	3.8306715382784	NSGA-III	—	—	0.002749819261632	MOEA/D-DE
DC1_DTLZ3	14	5	0.8470270371688	0.2368068091519	18.271150091839	SPEA-R	0	0	0	Empate
DTLZ1	9	5	4.8206677901515	0.4620915141193	2.432526241841	NSGA-III	0.00376130100881	0.13774799048154	0.003971740773239	NSGA-III
DTLZ2	14	5	0.32300180700404	0.33043845847328	0.433070751388	NSGA-III	0	0.756498	0.493139	NSGA-III
DTLZ3	14	5	48.80486222383	19.1707037582772	7.410740466099	MOEA/D-DE	0	0	0.021703217428008	MOEA/D-DE
DTLZ4	14	5	0.2401841042084	0.27649160849187	0.47932646422724	SPEA-R	0	0.72462	0.3027342	SPEA-R
DTLZ5	14	5	0.2320076313316	0.16261289843936	0.039734165279308	MOEA/D-DE	0.002772630677992	0.00802460676747	0.11964107829083	MOEA/D-DE
DTLZ6	14	5	1.1398062207604	1.240810318164	0.04800157131078	MOEA/D-DE	0	0	0.31332120319104	MOEA/D-DE
DTLZ7	24	5	0.57105200898208	0.40079116525698	1.1795535552357	NSGA-III	0.10080153503364	0.17002055934385	0.001940836310963	NSGA-III
DTLZ8	50	5	0.502777094496	0.5005785215257	3.7140363361774	NSGA-III	0.24085012701535	0.35011792666132	0.204127712359048	NSGA-III
DTLZ9	50	5	14.506475590870	7.30600952263	4.516854525832	MOEA/D-DE	0	0	0	Empate
DTLZ10	9	5	0.47779798047296	0.47779798047296	0.47779798047296	NSGA-III	0	5.8307409905245	0.0010000000000000	Empate
DTLZ12	14	5	0.26270072546055	0.26270072546055	0.2553845134278	MOEA/D-DE	0.032570366775901	0.032755033665208	0.0615002176	MOEA/D-DE
IMOP1	9	5	2.9314261491371	1.6383122086991	5.8210843858113	NSGA-III	0.002077761260395	0.10166462383577	0.153077777777685	NSGA-III
IMOP2	14	5	1.808510197876	1.2234059586209	4.1503056458129	NSGA-III	0	0.750066	0.2061394	NSGA-III
LSMOP1	500	5	6.622696115389	6.4304080131414	2.397012860353	MOEA/D-DE	0	0	0	Empate
LSMOP2	500	5	0.1032008045441	0.1792161440057	0.14795625861697	NSGA-III	0.00000000000014	0.033336	0.00000000000000	NSGA-III
LSMOP3	500	5	36.393118868708	22.40142363382	13.40530690768	MOEA/D-DE	0	0	0	Empate
LSMOP4	500	5	0.3512100899711	0.3304814830143	0.309231374535	NSGA-III	0.7040215015379	0.782324	0.706376	NSGA-III
LSMOP5	500	5	18.39964250899	13.112189109023	5.414008581463	MOEA/D-DE	0	0	0	Empate
LSMOP6	500	5	7.9844778756267	7.2841005491897	20.74660672913	MOEA/D-DE	0	0	0	Empate
LSMOP7	500	5	23.066482571872	13.9352460941929	2.0515301694979	NSGA-III	0	0	0	Empate
LSMOP8	500	5	1.3080874085428	1.078767090467	1.1441663210333	MOEA/D-DE	0	0	0.0147820998036	NSGA-III
LSMOP9	500	5	126.97485763267	106.49561680647	24.820818720914	MOEA/D-DE	0	0	0	Empate

Problema	dim	dim _r	IGD SPEA-R	IGD NSGA-III	IGD MOEA/D	Mulher IGD	HY SPEA-R	HY NSGA-III	IGD MOEA/D	Mulher HY
MaF1	14	5	0.1307748052374	0.2397865743333	0.1919774872846	MOEA/D-DE	0.0020126699772019	0.000801046227553	0.003701712222603	NSGA-III
MaF10	14	5	1.689992346099	1.3395134709753	2.2000195217608	NSGA-III	0.30110200945762	0.5070330857017	0.2142109176651	NSGA-III
MaF11	14	5	0.75800721444378	0.56306397371801	1.1041175423859	NSGA-III	0.031815840276668	0.36108383281157	0.00161334003245	NSGA-III
MaF12	14	5	1.24043017610000	0.4304080131414	2.397012860353	MOEA/D-DE	0.00763091910027	0.61177681974757	0.00276477092414	NSGA-III
MaF13	5	5	0.474076318023147	0.251098084591	0.16796526816097	MOEA/D-DE	0.006966263076533	0.15642751266609	0.2546726076535	MOEA/D-DE
MaF14	500	5	25.343864263061	13.4107782799533	0.55828355943283	MOEA/D-DE	0	0	0.000000000000000	MOEA/D-DE
MaF15	5	5	0.1032008045441	0.1792161440057	0.14795625861697	NSGA-III	0.00000000000014	0.033336	0.00000000000000	NSGA-III
MaF2	14	5	0.1501094230996	0.4289725250675	0.1610181287513	NSGA-III	0.12375123019689	0.150376808234976	0.1113879860044	NSGA-III
MaF3	14	5	7.9844778756267	7.2841005491897	20.74660672913	MOEA/D-DE	0	0	0	Empate
MaF4	14	5	323.759267836848	256.0257791812	524.28879776807	NSGA-III	0	0	0	Empate
MaF5	14	5	2.6860251195004	2.4258061702612	7.0120181581947	NSGA-III	0.7208804	0.7506112	0.380702	NSGA-III
MaF6	14	5	0.1261088137665	0.01726812681556	0.0114000036154	MOEA/D-DE	0.1035538	0.1228972	0.1122944	NSGA-III
MaF7	24	5	0.5391261784688	0.40904713700105	0.04589662100902	NSGA-III	0.1457034480032	0.16535264603943	0.001023410989374	NSGA-III
MaF8	2	2	2.0471001177802	0.1545088644017	0.14005207091762	NSGA-III	0.007916649781644	0.1197523464666	MOEA/D-DE	NSGA-III
MaF9	2	2	3.728068690092	0.71717543029126	0.147590061363	MOEA/D-DE	0.00476750055533	0.126312484230031	0.20174031903247	MOEA/D-DE
MMOP1	6	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP2	6	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP3	6	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP4	6	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP5	6	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP6	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP7	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP8	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP9	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP10	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP11	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP12	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP13	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP14	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP15	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP16	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP17	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP18	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP19	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP20	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP21	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP22	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP23	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP24	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP25	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP26	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP27	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP28	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP29	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP30	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP31	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP32	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP33	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP34	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP35	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP36	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP37	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP38	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP39	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP40	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP41	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP42	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP43	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP44	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP45	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP46	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP47	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP48	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP49	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate
MMOP50	7	5	—	—	—	Empate	—	—	—	Empate

Problema	dim	dim _r	IGD SPEA-R	IGD NSGA-III	IGD MOEA/D	Mulher IGD	HY SPEA-R	HY NSGA-III	IGD MOEA/D	Mulher HY
SMOP1	100	5	0.498718015927018	0.4995256669105	0.73313663184576	NSGA-III	0.533108	0.506302	0.1992624	NSGA-III
SMOP2	100	5	1.148345555987	1.160376225941	1.527336314003	SPEA-R	0.012152742061396	0.017807848831504	7.3000050057145...05	NSGA-III
SMOP3	100	5	1.483676114	1.493676114	1.527336314003	NSGA-III	0.03771412692171	0.03771412692171	0.03771412692171	NSGA-III
SMOP4	100	5	0.707428086266	0.707428086266	0.959500369000	SPEA-R	0.816631331333	0.7600950148114	0.7175796	NSGA-III
SMOP5	100	5	0.2111189571057	0.2102457748146	0.214480248000	NSGA-III	0.017513131313	0.009087641572	0.0787626	NSGA-III
SMOP6	100	5	0.112222222222222	0.0881400000000	0.1122222222222	NSGA-III	0.0911662133333	0.0911662133333	0.0911662133333	NSGA-III
SMOP7	100	5	0.112222222222222	0.1122222222222	0.1122222222222	NSGA-III	0.1122222222222	0.1122222222222	0.1122222222222	NSGA-III
SMOP8	100	5	0.112222222222222	0.1122222222222	0.1122222222222	NSGA-III	0.1122222222222	0.1122222222222	0.1122222222222	NSGA-III
SMOP9	100	5	0.112222222222222	0.1122222222222	0.1122222222222	NSGA-III	0.1122222222222	0.1122222222222	0.1122222222222	NSGA-III
SMOP10	100	5	0.112222222222222	0.1122222222222	0.1122222222222	NSGA-III	0.1122222222222	0.1122222222222	0.1122222222222	NSGA-III
WFG1	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG2	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG3	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG4	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG5	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG6	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG7	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG8	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG9	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG10	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG11	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG12	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG13	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG14	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG15	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG16	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG17	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG18	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG19	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG20	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG21	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG22	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG23	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG24	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG25	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG26	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG27	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG28	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG29	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG30	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG31	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG32	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG33	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG34	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG35	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG36	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG37	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG38	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG39	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG40	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG41	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG42	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG43	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG44	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG45	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG46	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG47	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG48	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG49	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG50	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG51	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG52	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG53	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG54	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG55	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG56	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG57	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG58	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG59	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG60	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG61	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG62	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG63	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG64	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG65	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG66	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	Empty
WFG67	14	5	0.1075540000000	0.1075540000000	0.1075540000000	SPEA-R	0.1075540000000			

São binários os problemas: MOKP, MONRP, Sparse_CD, Sparse_CN, Sparse_FS, Sparse_IS, Sparse_KP, Sparse_PM e ZDT5.

São de permutação os problemas: MOTSP e mQAP. Logo, considerando todos os problemas **discretos**, temos:

8 SPEA-R: MOKP, MONRP, Sparse_CD, Sparse_CN, Sparse_FS, Sparse_IS, Sparse_PM e MOTSP.

5 NSGA-III: Sparse_KP, Sparse_PM, ZDT5, MOTSP e mQAP.

2 MOEA/D-DE: Sparse_CD e Sparse_IS.

B. $M \geq 4$

Resultados $M \geq 4$	$M \leq 3$
MaF; 10; MOEA/D-DE MaF; 5; 14 NSGA-III, 13 MOEA/D-DE	2 SPEA-R, 19 NSGA-III, 4 MOEA/D-DE
MLDMP; 10; MOEA/D-DE MLDMP; 5; MOEA/D-DE	
MPDMP; 10; MOEA/D-DE MPDMP; 5; MOEA/D-DE	
C1_DTLZ; 1 SPEA-R; 4 NSGA-III, 3 MOEA/D-DE IDTLZ; 1 NSGA-III, 3 MOEA/D-DE	1 SPEA-R, 4 NSGA-III, 3 MOEA/D-DE NSGA-III
DC1_DTLZ; 1 SPEA-R; 4 NSGA-III, 6 MOEA/D-DE DTLZ; 2 SPEA-R; 8 NSGA-III, 7 MOEA/D-DE	1 SPEA-R, 2 NSGA-III, 8 MOEA/D-DE 2 SPEA-R, 13 NSGA-III, 3 MOEA/D-DE
CDTLZ; NSGA-III	NSGA-III
SDTLZ; NSGA-III	NSGA-III
LSMOP; 3 NSGA-III, 8 MOEA/D-DE	2 SPEA-R, 1 NSGA-III, 9 MOEA/D-DE
MMMOP; Tudo Empate	Tudo Empate
MW; NSGA-III	18 SPEA-R, 9 NSGA-III, 1 MOEA/D-DE
MOKP; 1 SPEA-R; 1 NSGA-III	SPEA-R
Sparse_KP; NSGA-III	NSGA-III
MOTSP; SPEA-R	1 SPEA-R, 1 NSGA-III
mQAP; 1 SPEA-R; 1 NSGA-III	NSGA-III
SMOP; 2 SPEA-R; 12 NSGA-III, 1 MOEA/D-DE	NSGA-III
SMMOP; Tudo Empate	Tudo Empate
WFG; 2 SPEA-R; 16 NSGA-III	4 SPEA-R, 14 NSGA-III

Abaixo quantas vezes e em quais problemas cada algoritmo **real** predominou:

0 SPEA-R.

8 NSGA-III: MaF, C1_DTLZ, DTLZ, CDTLZ, SDTLZ, MW, SMOP e WFG.

6 MOEA/D-DE: MaF, MLDMP, MPDMP, IDTLZ, DC1_DTLZ e LSMOP.

Abaixo quantas vezes e em quais problemas cada algoritmo **discreto** predominou:

3 SPEA-R: MOKP, MOTSP e mQAP.

3 NSGA-III: MOKP, Sparse_KP e mQAP.

0 MOEA/D-DE.

VI. CONCLUSÃO

Em se tratando de IGD e HV, os três algoritmos têm sua utilidade, cada um em um tipo de problema.

Algumas situações analisadas foram: 1) *bias*; 2) irrestritos; 3) com restrições no espaço de decisão e objetivos; 4) escaláveis; 5) multimodais; 6) desconectados; 7) degenerados;

8) inseparáveis; 9) POF irregular; 10) POS complexo; 11) grande número de variáveis de decisão; 12) grandes regiões inviáveis; 13) POS esparsos; 14) variáveis linkadas;

15) problemas do mundo real.

Foram incomparáveis os problemas: DOC2, DOC3, DOC5, DOC7, FCP1, FCP2, FCP3, FCP4, MMMOP1 a 6, SMMOP1 a 8 e TREE6.

Em muitos casos, houve um quase empate entre dois deles.

Várias vezes, o algoritmo que foi o melhor para IGD foi diferente do que foi o melhor para HV.

Também, o algoritmo que foi o melhor para MOPs foi diferente do que foi o melhor para MaOPs.

Os algoritmos algumas vezes retornam NaN para IGD e HV, certas vezes sempre, outras vezes é possível corrigir com várias execuções consecutivas.

Para problemas reais, o NSGA-III é melhor na quantidade de algoritmos em que predominou. Em segundo lugar, o MOEA/D-DE. E em terceiro, o SPEA-R.

Para problemas discretos, o SPEA-R é melhor na quantidade de algoritmos em que predominou. Em segundo lugar, o NSGA-III. E em terceiro, o MOEA/D-DE.

Nosso resultado para WFG não foi idêntico ao de [SPEAR], provavelmente porque utilizamos os parâmetros default.

Acredito também que, no decorrer dos anos, os códigos fonte foram melhorados, o que interfere nos resultados dos artigos mais antigos.

Quando formos utilizar o PlatEMO para resolver qualquer problema, é necessário escolher mais de um algoritmo e avaliar os resultados, sem saber a POF Verdadeira.

Sugestão de trabalho futuro: Precisamos de uma métrica de uniformidade.

VII. REFERÊNCIAS

- [PlatEMO] Y. Tian, R. Cheng, X. Zhang, Y. Jin, Platemo: A matlab platform for evolutionary multi-objective optimization, IEEE Computational Intelligence Magazine 12 (2017) 73–87.
- [SPEAR] S. Jiang, S. Yang, A strength Pareto evolutionary algorithm based on reference direction for multiobjective and many-objective optimization, IEEE Trans. Evol. Comput. 21 (2017) 329–346.
- [NSGA3] K. Deb and H. Jain, “An evolutionary many-Objective optimization algorithm using reference-point based non-dominated sorting approach, Part I: Solving problems with box constraints,” IEEE Trans. Evol. Comput., vol. 18, no. 4, pp. 577–601, 2014.
- [MOEADDE] H. Li and Q. Zhang, “Multiobjective optimization problems with complicated Pareto sets, MOEA/D and NSGA-II,” IEEE Trans. Evol. Comput., vol. 13, no. 2, pp. 284–302, Apr. 2009.
- [WFG] S. Huband, P. Hingston, L. Barone, and L. While, “A review of multiobjective test problems and a scalable test problem toolkit,” IEEE Trans. Evol. Comput., vol. 10, no. 2, pp. 477–506, 2006.
- [BT] H. Li, Q. Zhang, and J. Deng, Biased multiobjective optimization and decomposition algorithm, IEEE Transactions on Cybernetics, 2017, 47(1): 52–66.
- [CF] Q. Zhang, A. Zhou, S. Zhao, P. N. Suganthan, W. Liu, and S. Tiwari, Multiobjective optimization test instances for the CEC 2009 special session and competition, School of CS & EE, University of Essex, Working Report CES-487, 2009.

[DASCMOP] Z. Fan, W. Li, X. Cai, H. Li, C. Wei, Q. Zhang, K. Deb, and E. Goodman, Difficulty adjustable and scalable constrained multi-objective test problem toolkit, *Evolutionary Computation*, 2020, 28(3): 339-378.

[DTLZ] K. Deb, L. Thiele, M. Laumanns, and E. Zitzler, Scalable test problems for evolutionary multiobjective optimization, *Evolutionary multiobjective Optimization. Theoretical Advances and Applications*, 2005, 105-145.

[IDTLZ] H. Jain and K. Deb, An evolutionary many-objective optimization algorithm using reference-point based non-dominated sorting approach, part II: Handling constraints and extending to an adaptive approach, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2014, 18(4): 602-622.

[SDTLZ] K. Deb and H. Jain, An evolutionary many-objective optimization algorithm using reference-point based non-dominated sorting approach, part I: Solving problems with box constraints, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2014, 18(4): 577-601.

[MaF] R. Cheng, M. Li, Y. Tian, X. Zhang, S. Yang, Y. Jin, and X. Yao, A benchmark test suite for evolutionary many-objective optimization, *Complex & Intelligent Systems*, 2017, 3(1): 67-81.

[IMOP] Y. Tian, R. Cheng, X. Zhang, M. Li, and Y. Jin, Diversity assessment of multi-objective evolutionary algorithms: Performance metric and benchmark problems, *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 2019, 14(3): 61-74.

[LSMOP] R. Cheng, Y. Jin, and M. Olhofer, Test problems for large-scale multiobjective and many-objective optimization, *IEEE Transactions on Cybernetics*, 2017, 47(12): 4108-4121.

[MMF] C. Yue, B. Qu, and J. Liang, A multi-objective particle swarm optimizer using ring topology for solving multimodal multiobjective Problems, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2018, 22(5): 805-817.

[TREE] C. He, R. Cheng, C. Zhang, Y. Tian, Q. Chen, and X. Yao, Evolutionary large-scale multiobjective optimization for ratio error estimation of voltage transformers, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2020, 24(5): 868-881.