

Proposta de algoritmo transgenético híbrido para o problema da Árvore Geradora Multiobjetivo baseada no operador *OWA*

Islame Felipe da Costa Fernandes

13 de Novembro de 2017

1 Introdução

Este texto relata a concepção, implementação, experimentos e análises de um algoritmo transgenético híbrido aplicado ao problema da Árvore Geradora Multiobjetivo com operador *Ordered Weighted Average* (*OWA*), chamada *OWA-ST*. De modo informal, pode-se dizer que o problema da *OWA-ST* consiste em encontrar uma árvore tal que o operador *OWA* seja mínimo. Tal operador, por sua vez, utiliza um vetor de pesos, o qual é aplicado no vetor objetivo ordenado da solução. A *OWA-ST* foi definida formalmente e revisada no primeiro trabalho de DIM0847 - Tópicos Avançados em Algoritmos Experimentais I, onde, na oportunidade, fez-se uma análise experimental dos seus modelos matemáticos (GALAND; SPANJAARD, 2012; FERNÁNDEZ et al., 2017). No segundo trabalho desta disciplina, foi proposto uma abordagem memética hibridizada com um procedimento de recozimento simulado (chamada *M-SA*). Neste trabalho, será proposto um algoritmo transgenético também hibridizado com recozimento simulado (chamado *T-SA*). Este texto omite detalhes da definição matemática da *OWA-ST* (explorada no primeiro relatório) e omite detalhes do *M-SA* (explorado no segundo relatório).

O algoritmo teratogenético proposto por este trabalho é inspirado naquele proposto por Monteiro, Goldberg e Goldberg (2010), o qual, por sua vez, é aplicado ao problema da Árvore Geradora Bi-objetivo (*AG-Bi*). De fato, entre os algoritmos meta-heurísticos que compõem o estado da arte da *AG-Bi*, o transgenético de Monteiro, Goldberg e Goldberg (2010) apresenta um dos melhores resultados (em tempo e qualidade de soluções). Almeja-se, assim, obter resultados semelhantes no problema da Árvore Geradora Multiobjetivo com preferência *OWA*. Cria-se, pois, um algoritmo transgenético inédito para o problema. De fato, até a data de escrita deste texto, a literatura não contemplava nenhuma meta-heurística para a *OWA-ST*. Eis, pois, a principal justificativa deste trabalho.

O objetivo desta pesquisa é (1) propor uma abordagem memética e uma transgenética aplicada ao problema objeto de estudo; (2) comparar o desempe-

nho do *M-SA* e do *T-SA* com o melhor exato da literatura (a saber, o modelo matemático de Fernández et al. (2017)); (3) comparar o desempenho das meta-heurísticas entre si, em termos de qualidade de solução e tempo de processamento; (4) demonstrar que o desempenho da transgenética computacional, na grande maioria dos casos, é superior a do memético. Para tanto, serão submetidas a experimentos computacionais 270 instâncias com 8 objetivos, possuindo de 30 a 1000 vértices, classificadas segundo critérios *k-trimmed*, *k-centrum* e *Hurwicz* e classes *correlated* e *anticorrelated*.

Este documento está organizado como segue: a Seção 2 apresenta de concepção do algoritmo transgenético proposto; a Seção 3 apresenta o resultados computacionais e discussões; por fim, a Seção 4 contém as considerações finais.

2 O algoritmo

Esta seção detalha o procedimento geral do algoritmo transgenético proposto, o qual pode ser apreciado no Algoritmo 1. A subseção 2.1 detalha como é criada a população inicial, a subseção 2.2 explica o funcionamento do repositório do hospedeiro e a subseção 2.3 disserta sobre os vetores transgenéticos propostos. Portanto, nesta e nas seções subsequentes, denotar-se-á um grafo $G(V, E)$, $|V| = n$, ponderado nas arestas com um de vetor M objetivos.

Os endossimbiontes são representados pela lista simples de arestas que compõem a árvore, conforme proposto por Raidl e Julstrom (2003). O *fitness* de um indivíduo é igual ao seu valor OWA. Inicialmente, *#popSize* endossimbiontes são criados e aquele de melhor *fitness* é guardado na variável *best*. O tamanho da população se mantém fixo até o fim do algoritmo. As cadeias de DNA de todos os endossimbiontes são inseridos no hospedeiro. O algoritmo começa, então, seu processo evolucionário, finalizando após *#max_gen* gerações. Em cada geração, um conjunto de *#numPlasTotal* plasmídeos é criado. Primeiramente, todos os plasmídeos tentam atacar o ótimo corrente. Em seguida, cada indivíduo da população sofre o ataque de pelo menos um plasmídeo (sorteado com probabilidade uniforme). Experimentos preliminares executados por esta pesquisa mostraram que a estratégia de atacar, separadamente, o *best* tem duas vantagens principais: (1) acelerar a convergência em direção a soluções melhores; (2) aumentar as chances de preencher o hospedeiro com informações genéticas de melhor qualidade. De fato, quando um plasmídeo consegue com sucesso atacar o ótimo corrente significa que um novo ótimo foi alcançado, o que explica a afirmação (1). Ademais, a cadeia de DNA do *best* é inserida no hospedeiro, tal como indicado na Linha 14 do Algoritmo 1, o que justifica a afirmativa (2). Deste modo, melhores plasmídeos podem ser criados nas iterações posteriores. Detalhes da sub-rotina da Linha 14 serão fornecidos pela subseção 2.2.

Após a atuação dos plasmídeos, os transposons entram em ação. Dois tipos de transposons são propostos. O primeiro é baseado no método *rmcPrim* (KNOWLES, 2002) e executa com probabilidade *#probTrans1* e o segundo é baseado em recozimento simulado e executa com probabilidade *#probTrans2*. Em

ambos os casos, o endossimbionte é substituído se, e somente se, o transposon conseguir gerar uma solução de *fitness* melhor. Esta ideia de aplicar probabilidades à atuação dos transposons foi inspirada em Monteiro, Goldbarg e Goldbarg (2010). A estratégia destes vetores será detalhada na subseção 2.3.

Algoritmo 1: *T-SA*

```

Entrada: Grafo  $G(V, E)$ 
Saída: Árvore com melhor custo OWA encontrado
1 P = getInitialPop(#popSize);
2 best =  $\infty$ ;
3 setBest(P, best);
4  $H = \{\}$ ; // representa o hospedeiro;
5 para todo  $p \in P$  faça
6   |  $H.addGeneticInfo(p)$ ;
7 fim
8 para  $g = 1 \dots \#max\_gen$  faça
9   |  $pl = criarPlasmideos(\#numPlasTotal, H)$ ; // cria-se um vetor de
   |  $\#numPlasTotal$  plasmídeos
10  para  $i = 1 \dots \#numPlasTotal$  faça
11    | // plasmídeos tentam, primeiramente, atacar o ótimo;
12    |  $\bar{b} = plasmid(pl[i], best)$ ;
13    | se  $OWA(\bar{b}) < OWA(best)$  então
14      | |  $H.addGeneticInfo(best)$ ;
15      | |  $best = \bar{b}$ ;
16    | fim
17  fim
18  para todo  $j = 1 \dots \#popSize$  faça
19    | // Agora, ataca-se os demais endossimbiontes
20    |  $t = random(1, \#numPlasTotal)$ ;
21    |  $\bar{p} = plasmid(pl[t], P[j])$ ;
22    | se  $OWA(\bar{p}) < OWA(P[j])$  então
23      | |  $H.addGeneticInfo(P[j])$ ;
24      | |  $P[j] = \bar{p}$ ;
25    | fim
26    | se  $random(0, 1) < \#probTrans1$  então
27      | |  $\bar{p} = primTrans(P[j])$ ;
28      | | se  $OWA(\bar{p}) < OWA(P[j])$  então
29        | | |  $H.addGeneticInfo(P[j])$ ;
30        | | |  $P[j] = \bar{p}$ ;
31      | | fim
32    | fim
33    | se  $random(0, 1) < \#probTrans2$  então
34      | |  $\bar{p} = P[j]$ ;
35      | |  $SA\_Trans(\bar{p})$ ;
36      | | se  $OWA(\bar{p}) < OWA(P[j])$  então
37        | | |  $H.addGeneticInfo(P[j])$ ;
38        | | |  $P[j] = \bar{p}$ ;
39      | | fim
40    | fim
41    | se  $OWA(P[j]) < OWA(best)$  então
42      | |  $best = P[j]$ ;
43    | fim
44  fim
45 fim
46 Retorne best;

```

2.1 População inicial

A população inicial do *T-SA* é idêntica a do *M-SA*. Uma vez que deseja-se avaliar a efetividade dos operadores transgenéticos face aos genéticos, de modo a haver maior igualdade possível entre os algoritmos, optou-se pela mesma população. Desde modo, os algoritmos podem partir da mesma configuração inicial. Entretanto, a subseção 2.1 do Trabalho 2 afirmava que alguns indivíduos da população inicial do *M-SA* seriam gerados com o método *Random Walk* (RAIDL; JULSTROM, 2003). Porém, esta estratégia foi revista e o método abandonado. Esta é, pois, a única diferença entre a versão do Trabalho 2 (depreciada) e a versão atual. A seguir, detalha-se a estratégia adotada por ambos os algoritmos.

A população inicial é formada por $\#popSize$ indivíduos gerados com o auxílio do método *rmcPrim* (KNOWLES, 2002). Este método é inspirado no algoritmo clássico de Prim (1957) e constrói uma solução adicionando arestas à solução parcial, as quais são escolhidas entre aquelas pertencentes ao corte formado pelos vértices contidos na solução parcial e os vértices não contidos. Porém, diferente de Prim (1957), a escolha do *rmcPrim* é randômica (probabilidade uniforme) e feita numa lista restritas de arestas candidatas (LRC). A cada iteração, o procedimento toma a aresta e (do corte) que seria escolhida pelo Prim clássico. A lista LRC será composta pelas arestas cujo custo escalarizado seja, no máximo, 0,03% maior que e .

O *rmcPrim* deve receber como argumento um vetor de escalarização. Considera-se quatro categorias de vetores de escalarização: as direções de referência do SPEA/R (JIANG; YANG, 2017) e os critérios *k-centrum* (TAMIR, 2001), *k-trimmed* (GALAND; SPANJAARD, 2012) e *Hurwicz* (HURWICZ, 1951). Sendo M a quantidade de objetivos, a obtenção dos vetores do SPEA/R dar-se pela divisão do espaço objetivo em $\kappa = 6$ camadas e pelos seguintes passos:

1. Criar um vetor central $\mathbf{C} = (1/M, \dots, 1/M)$
2. Criar um conjunto de vetores $\mathbf{B}_i = (b_1, \dots, b_M)$ onde $b_i = 1$ e $b_j = 0 \forall j \neq i, 1 \leq j \leq M, 1 \leq i \leq M$; \mathbf{B}_i é o i -ésimo ponto extremo e referente ao eixo do i -ésimo objetivo;
3. Criar κ vetores entre \mathbf{C} e \mathbf{B}_i . O r -ésimo vetor, $r \in \{1, \dots, \kappa\}$, \mathbf{D}_i^r , é gerado pela seguinte equação: $\mathbf{D}_i^r = \mathbf{C} + \frac{r}{\kappa}(\mathbf{B}_i - \mathbf{C})$;
4. Finalmente, para cada camada $r \in \{1, \dots, \kappa\}$ e cada $t \in \{1, \dots, r\}$, computar os seguintes pontos dentro da camada $\hat{\mathbf{D}}_{i,r}^t = \mathbf{D}_i^r + \frac{t}{r+1}(\mathbf{D}_{i+1}^r - \mathbf{D}_i^r)$;

O *k-centrum* consiste em sortear, com probabilidade uniforme, um inteiro $k \in [1, M]$ e gerar os pesos tais que $\omega_1 = \dots = \omega_k = 1/k$ e $\omega_{k+1} = \dots = \omega_M = 0$. O *k-trimmed* sorteia um inteiro $k \in [1, \frac{M}{2}]$ e atribui $\omega_1 = \dots = \omega_k = 0$, $\omega_{k+1} = \dots = \omega_{M-k} = \frac{1}{M-2k}$ e $\omega_{M-k+1} = \dots = \omega_M = 0$. Por fim, o critério *Hurwicz* determina um α e atribui $\omega_1 = \alpha$, $\omega_2 = \dots = \omega_{M-1} = 0$ e $\omega_M = 1 - \alpha$. A presente implementação sorteia, com probabilidade uniforme,

$\alpha \in \{0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8\}$. Esta variedade de vetores de escalarização proporciona a criação de soluções bem diversificadas, isto é, bem espalhadas pelo espaço de busca.

2.2 Material genético do hospedeiro

O material genético do hospedeiro é completamente formado *a posteriori*. Ou seja, as informações do hospedeiro emergem durante o processo evolutivo do algoritmo (GOLDBARG; GOLDBARG, 2013). Assim, o Algoritmo 1 não necessita calcular informações genéticas previamente. As informações adicionadas ao hospedeiro durante o processo evolucionário constituem bons limites superiores para o problema. Esta estratégia foi inspirada no trabalho de Monteiro, Goldbarg e Goldbarg (2010).

Seja H o conjunto de cadeias de DNA representando o hospedeiro. H pode armazenar no máximo $3 * \#popSize$ cadeias de material genético. O DNA do indivíduo $p \in P$ é adicionado ao hospedeiro H pela sub-rotina $H.addGeneticInfo(p)$. Esta sub-rotina, de acordo com o Algoritmo 1, é invocada sempre que o ataque de um vetor transgenético é bem sucedido e recebe como argumento o DNA original do indivíduo atacado. O objetivo é, ao invés de se desfazer complemento da cadeia atacada, guardá-la e utilizar seu material genético posteriormente. Com isso, visa-se transformar o hospedeiro num repositório de cadeias de DNA recicláveis. Experimentos preliminares realizados por esta pesquisa mostraram que, embora um endossimbionte seja atacado, porções de seu DNA podem ser reutilizadas para constituir bons vetores transgenéticos nas próximas gerações.

A sub-rotina $H.addGeneticInfo(p)$ insere diretamente em H a nova cadeia de DNA caso haja espaço (ou seja, caso a supracitada capacidade máxima não tenha sido atingida). Caso contrário, a nova cadeia p de DNA deve substituir a cadeia p_{max} de maior *fitness*. Assim, tenta-se manter uma sorte de elitismo nas cadeias de DNA do hospedeiro. Mais que isso, as estratégias ora relatadas conferem ao hospedeiro traços de um repositório dinâmico e elitista de material genético reciclável.

2.3 Vetores transgenéticos

Esta seção relata os operadores (ou vetores) transgenéticos utilizados pelo Algoritmo 1. São propostos plasmídeos simples e recombinados, descritos na Subseção 2.3.1, bem como transposons, descritos na Subseção 2.3.2.

2.3.1 Plasmídeos

Três tipos de plasmídeos são implementados: *plas1*, *plas2* e *plas3*. Suas diferenças serão detalhadas nos parágrafos subsequentes. A cada geração do Algoritmo 1, $\#numPlasTotal$ plasmídeos são criados, de modo que $\#numPlasTotal = \#numPlas1 + \#numPlas2 + \#numPlas3$, onde $\#numPlas1$, $\#numPlas2$ e $\#numPlas3$ representam, respectivamente, a quantidade de plasmídeos do tipo

1, 2 e 3. O tamanho, p_{size} , da cadeia genética transportada por qualquer plasmídeo p é sorteada com probabilidade uniforme entre $[2, \frac{n-1}{2}]$, onde n é a quantidade de vértices do grafo.

O *plas1* foi proposto por Monteiro, Goldbarg e Goldbarg (2010). Este é um plasmídeo recombinado cuja informação genética é construída com o auxílio do método *rmcPrim* (KNOWLES, 2002). Em verdade, neste contexto, utilizou-se uma adaptação do *rmcPrim* capaz de gerar uma árvore parcial (subárvore) com p_{size} arestas. Tais arestas constituem a cadeia genética do *plas1*. Os vetores de escalarização utilizados são construídos seguindo as mesmas metodologias dos vetores adotados na população inicial: as direções de referência do SPEA/R (JIANG; YANG, 2017) e os critérios *k-centrum* (TAMIR, 2001), *k-trimmed* (GALAND; SPANJAARD, 2012) e Hurwicz (HURWICZ, 1951).

O *plas2* foi proposto por Rocha, Goldbarg e Goldbarg (2007) e adotado por Monteiro, Goldbarg e Goldbarg (2010). Este é um plasmídeo simples, cuja informação genética advém de uma cadeia de DNA escolhida com probabilidade uniforme no material genético do hospedeiro. Dada uma cadeia genética advinda do hospedeiro, p_{size} arestas são escolhidas com probabilidade uniforme, de modo que tais arestas formem um componente conexo, isto é, formem uma árvore parcial. A Figura 1 esquematiza a estratégia de construção do *plas2*.

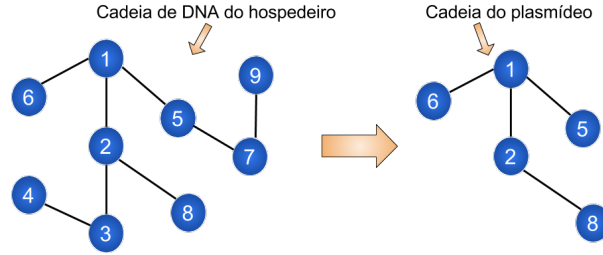


Figura 1: Esquematização do *plas2*

O *plas3* é proposto pelo presente trabalho. Este é um plasmídeo simples que obtém sua informação genética a partir de duas cadeias de DNA do hospedeiro. Sejam p_1 e p_2 duas cadeias de DNA. O *plas3* considera apenas as arestas em $(p_1 \cup p_2) - (p_1 \cap p_2)$. Destas arestas, p_{size} são escolhidas com probabilidade uniforme de modo a formar uma árvore parcial, obtendo, assim, a cadeia genética do *plas3*, cuja esquematização pode ser vista na Figura 2. A inspiração da proposta deste plasmídeo reside em tentar unir arestas que, possivelmente, ainda não se uniram pra formar uma árvore.

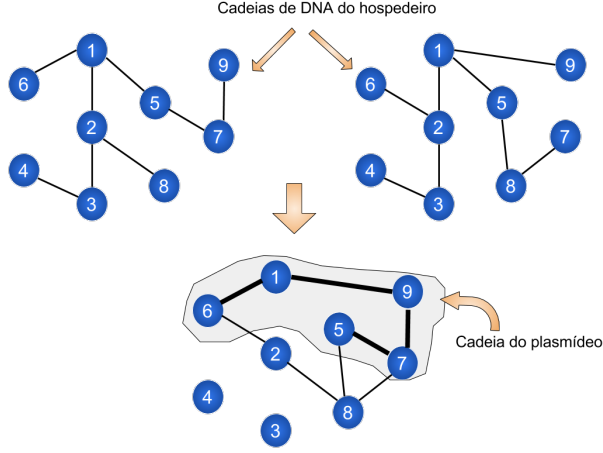


Figura 2: Esquemática do *plas3*

O procedimento de manipulação de uma solução p é idêntico para todos os plasmídeos. Uma árvore \bar{p} é construída inserindo, primeiramente, toda a cadeia genética do plasmídeo. Em seguida, tenta-se inserir as arestas de p em \bar{p} de modo a não formar ciclos. Caso necessário, arestas aleatórias da instância são inseridas em \bar{p} de modo a formar uma solução final. Esta estratégia foi utilizada por Monteiro, Goldberg e Goldberg (2010).

2.3.2 Transponsons

Dois transponsons são implementados: *primTrans* e *SA_Trans*. O primeiro foi proposto e utilizado por Monteiro, Goldberg e Goldberg (2010) e o segundo é proposto pelo presente trabalho.

A regra do *primTrans* consiste em, dado um endossimbionte $p \in P$, remover algumas arestas de p e completar a solução com o procedimento *rmcPrim* (KNOWLES, 2002). As arestas removidas, cuja quantidade é determinada aleatoriamente entre 90% e 95%, são escolhidas com probabilidade que depende do custo escalarizado obtido pela aplicação de um vetor de escalarização. Este vetor, por sua vez, é escolhido com probabilidade uniforme no mesmo conjunto de vetores utilizado no procedimento de construção da população inicial. Deste modo, quanto maior o custo escalarizado da aresta, maior a probabilidade de ela ser removida da solução. Em sequência, o algoritmo *rmcPrim* é invocado e, a fim de completar a solução, recebe o mesmo vetor de escalarização utilizado para remover as arestas.

A regra do *SA_Trans* consiste em realizar uma busca local baseada em recozimento simulado, cujo procedimento geral pode ser apreciado no Algoritmo 2. O transposon recebe um endossimbionte como argumento e considera todo seu DNA no processo de busca. O objetivo deste algoritmo é intensificar o *fitness* de tal endossimbionte, garantindo, simultaneamente, um certo grau de

diversificação. Eis, pois, a justificativa de adoção da referida meta-heurística: um razoável balanceamento dentre exploração e exploração num único procedimento de busca.

No Algoritmo 2, os parâmetros T_0 e L_0 denotam, respectivamente, a temperatura inicial e a quantidade de iterações nesta temperatura. Há ainda os parâmetros gerais F_T e F_L , que denotam, respectivamente, o fator de decaimento e o fator de crescimento da quantidade de iterações por temperatura. Ou seja, cai a temperatura, cresce a quantidade de iterações.

A cada iteração do Algoritmo 2, uma solução vizinha da solução corrente s é determinada randomicamente. O algoritmo sorteia uniformemente duas arestas, remove-as de s e religa seus vértices como no $2-OPT$. Tal estratégia de vizinhança foi utilizado por Rocha, Goldberg e Goldberg (2006) em sua busca tabu. Se o *fitness* da solução s' é melhor que o de s , então aquela passa a ser a solução corrente. Caso contrário, s' se torna a solução corrente com probabilidade $\exp\{-\frac{\Delta C}{T_i}\}$. Deste modo, percebe-se que quanto maior a temperatura, maior a probabilidade de s' ser considerada nas próximas iterações, mesmo que seu *fitness* não seja tão bom. Isso garante a diversificação. Conforme a temperatura diminui, tal probabilidade tende a zero e, assim, a diversificação tende a dar lugar à intensificação.

Algoritmo 2: *Simulated Annealing*

Entrada: sol: solução, T_0 : temperatura inicial, L_0 : quantidade inicial de iterações

```

1   $s = sol$ ;
2   $T_i = T_0$ ;
3   $L_i = L_0$ ;
4  enquanto  $T_i > 0$  faça
5      para  $i=1 \dots L_i$  faça
6          escolha randomicamente dois pares de aresta  $(v_l, v_{l+1})$  e  $(v_j, v_{j+1})$  em  $s$ ;
7          remova  $(v_l, v_{l+1})$  e  $(v_j, v_{j+1})$  de  $s$ ;
8          religue os vértices  $v_l, v_{l+1}, v_j, v_{j+1}$  e produza  $s'$ ;
9           $\Delta C = OWA(s') - OWA(s)$ ;
10         se  $\Delta C \leq 0$  então
11              $s = s'$ ;
12             se  $OWA(s) < OWA(sol)$  então
13                  $sol = s$ ;
14             fim
15         senão
16             se  $random(0, 1) < \exp\{-\frac{\Delta C}{T_i}\}$  então
17                  $s = s'$ ;
18             fim
19         fim
20     fim
21      $T_i = \frac{T_i}{F_T}$ ;
22      $L_i = L_i * F_L$ ;
23 fim
```

3 Experimentos computacionais

Apresenta-se, nesta seção, os resultados dos experimentos computacionais do algoritmo proposto. Todos os experimentos foram realizados numa máquina Intel Xeon W3520, 2.67 GHz, Sistema Operacional Ubuntu 14.04 LTS, 64 bits, 8GB de memória RAM. Os algoritmos foram implementados em linguagem C++ e compilados com compilador GNU g++ versão 4.8.4. O modelo de programação matemática de Fernández et al. (2017) foi implementado com o solver Gurobi versão 6.5.

3.1 Instâncias utilizadas

Os experimentos foram efetuados em 270 grafos completos, com 8 objetivos, tendo de 30 a 1000 vértices. Para cada quantidade n de vértices, foram geradas três instâncias distintas, denotadas, respectivamente, por $n.1$, $n.2$ e $n.3$. Todas as instâncias foram geradas com o gerador de Knowles (2002) considerando a correção proposta por Chen et al. (2007) (que impede de gerar arestas com peso negativo). Knowles (2002) classificou suas instâncias em três subgrupos: *correlated*, *anti-correlated* e *concave*. As duas primeiras dizem respeito à correlação β dos pesos das arestas (positivo e negativo, respectivamente). Os valores escolhidos para β foram 0, 2, 0, 5 e 0, 85 para instâncias *correlated* $n.1$, $n.2$ e $n.3$, respectivamente. Para instâncias *anti-correlated*, o parâmetro β assume valores $-0, 2$, $-0, 5$ e $-0, 85$ respectivamente para os grupos $n.1$, $n.2$ e $n.3$. Até a data dos experimentos aqui relatados, o gerador de Knowles (2002) não contemplava instâncias *concave* com mais de dois objetivos. Tal classe de instâncias foi, por isso, desconsiderada.

As instâncias precisam ser acrescidas de um vetor $w \in \mathbb{R}^M$ de pesos. Os critérios escolhidos para gerar o vetor w foram *k-centrum* (TAMIR, 2001), *k-trimmed* (GALAND; SPANJAARD, 2012) e o critério de Hurwicz (HURWICZ, 1951). O *k-centrum* consiste em sortear, com probabilidade uniforme, um inteiro $k \in [1, M]$ e gerar os pesos tais que $\omega_1 = \dots = \omega_k = 1/k$ e $\omega_{k+1} = \dots = \omega_M = 0$. O *k-trimmed* sorteia um inteiro $k \in [1, \frac{M}{2}]$ e atribui $\omega_1 = \dots = \omega_k = 0$, $\omega_{k+1} = \dots = \omega_{M-k} = \frac{1}{M-2k}$ e $\omega_{M-k+1} = \dots = \omega_M = 0$. Por fim, o critério *Hurwicz* determina um $\alpha \in \{0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8\}$ e atribui $\omega_1 = \alpha$, $\omega_2 = \dots = \omega_{M-1} = 0$ e $\omega_M = 1 - \alpha$.

3.2 Metodologia dos experimentos e de análise

Para cada instância, o *M-SA* e o *T-SA* foram executados 30 vezes. Foram observados dados como qualidade final da solução retornada, evolução da qualidade ao longo das gerações do processo evolucionário, tempo para atingir a melhor solução, tempo total e a contribuição de cada operador individualmente. Analisar a contribuição dos operadores genéticos e transgenéticos significa analisar a quantidade de vezes em que eles conseguiram, de fato, melhorar o *fitness* de uma solução. Falar-se-á, pois, em taxa de sucesso destes operadores. No caso do

M-SA, foi observada ainda a quantidade de vezes em que a população precisou ser renovada.

Ambas as meta-heurísticas foram comparadas com o melhor algoritmo exato da literatura para o *OWA-ST*. Fernández et al. (2017) propuseram um modelo matemático para o problema, o qual, segundo os autores e segundo experimentos preliminares realizados por esta pesquisa, apresenta excelentes resultados, principalmente para instâncias de grande porte. Fernández et al. (2017) ainda propuseram melhorias em seu modelo, diminuindo o conjunto de restrições e variáveis. Segundo os autores, tal modelo melhorado chega a ser melhor que aquele proposto por Galand e Spanjaard (2012).

Esta pesquisa comparou, em termos de qualidade de solução, o modelo melhorado de Fernández et al. (2017) com ambas as abordagens evolucionárias. A execução do modelo foi limitada em uma hora. Assim, visa-se verificar o quão boa é a qualidade da solução retornada pelas heurísticas quando comparada com aquela retornada pelo *solver* em até uma hora. Com este propósito, calculou-se o desvio percentual segundo a fórmula:

$$d_p = \frac{OWA(s_h) - OWA(s_s)}{OWA(s_s)} * 100 \quad (1)$$

onde s_s e s_h são, respectivamente, a solução retornada pelo *solver* e solução heurística mediana (das 30 execuções). O desvio percentual expressa o quão distante s_h está de s_s , com relação ao custo *OWA*. Note que, como o *solver* foi limitado a uma hora, então pode acontecer de $OWA(s_h) < OWA(s_s)$, o que implica $d_p < 0$, indicando que a solução heurística conseguiu ser melhor que a do *solver* limitado.

O *M-SA* e o *T-SA* foram ainda comparados entre si, no que se refere ao tempo de execução e qualidade de solução. Neste último aspecto, foi aplicado o teste de *Mann-Whitney one-tailed*, cuja implementação é disponibilizada pela ferramenta *PISA* (KNOWLES; THIELE; ZITZLER, 2006). O teste estatístico de *Mann-Whitney one-tailed* objetiva verificar se há diferença estatística significativa entre os resultados dos algoritmos. Considere duas amostras de resultados A e B . O teste de *Mann-Whitney* é não paramétrico e deve retornar um valor entre 0 e 1, chamado de *p-valor*, o qual indica se as amostras A e B advêm da mesma distribuição. O teste pressupõe a chamada hipótese nula e a hipótese alternativa. A hipótese nula pode ser enunciada da seguinte forma: " A e B advêm da mesma distribuição". A hipótese alternativa, por sua vez, no contexto do *Mann-Whitney one-tailed*, é definida como " A advém de uma distribuição melhor que B ". Assim, dado um nível de significância $\alpha = 0,05$, *p-valores* menores que 0,05 indicam que a hipótese nula deve ser rejeitada em favor da hipótese alternativa (" A melhor que B " no quesito qualidade de soluções). Valores acima de 0,95 indicam que a hipótese nula deve ser aceita. No presente relatório, considere *T-SA* como sendo a amostra A e *M-SA* como sendo a amostra B .

3.3 Ajuste de parâmetros

Os valores atribuídos aos parâmetros do *M-SA* e *T-SA* foram sugeridos pelo *IRACE* (LÓPEZ-IBÁÑEZ et al., 2016). O conjunto de treinamento é composto por instâncias de todos os critérios OWA (*k-centrum*, *k-trimmed* e *Hurwicz*), de ambas as classes *correlated* e *anticorrelated* e quantidade de vértice $n \in \{500, 600, 700, 800, 900, 1000\}$.

Tabela 1: Parâmetros do *M-SA*

$\#popSize = 100$	$\#propCross = 96\%$
$\#max_gen = 48$	$\#propMutation = 18\%$

Tabela 2: Parâmetros do *T-SA*

$\#popSize = 100$	$\#numPlasTotal = 19$
$\#max_gen = 48$	$\#numPlas1 = 4$
$\#probTrans1 = 72\%$	$\#numPlas2 = 7$
$\#probTrans2 = 45\%$	$\#numPlas3 = 8$

Tabela 3: Parâmetros do recozimento simulado

$\#T_0 = 20$	$L_0 = 14$
$\#F_T = 1,78$	$F_L = 1,43$

As Tabelas 1, 2 e 3 mostram, respectivamente, os valores dos parâmetros para o *M-SA*, *T-SA* e do recozimento simulado. Os parâmetros $\#popSize$ e $\#max_gen$ e os parâmetros do recozimento simulado são comuns a ambas meta-heurísticas. Os melhores valores destes parâmetros do *M-SA* (segundo o *IRACE*) foram também atribuídos ao *T-SA*. O objetivo é comparar o desempenho das abordagens evolucionárias quando ambas possuem os valores dos parâmetros comuns do *M-SA*.

3.4 Resultados

As Tabelas 4, 5 e 6 comparam os resultados meta-heurísticos com o resultado obtido pelo modelo de Fernández et al. (2017) melhorado, respectivamente, para os critérios *k-trimmed*, *k-centrum* e *Hurwicz*. Estas tabelas possuem duas grandes colunas: uma para a classe *correlated* e outra para a classe *anticorrelated*. A coluna do resultado exato mostra o valor *OWA* retornado pelo *solver* em até 1h, bem como seu *gap* final. Este *gap* representa quantos por cento o valor *OWA* encontrado pelo *solver* se distancia do valor relaxado calculado no nó raiz do *Branch-and-bound*. O tempo do *solver* foi omitido nestas tabelas, visto que em todas as instâncias o mesmo atingiu 1h. Em alguns casos, o *solver* não conseguiu retornar uma solução factível ou não conseguiu calcular o *gap* inicial. O símbolo

“—” é utilizado para denotar este fato. Na sequência, as tabelas apresentam as colunas com resultados do *M-SA* e *T-SA* tais como o tempo que o algoritmo levou para atingir a melhor solução e o tempo total (ambos em segundos), além do valor *OWA* mediano de 30 execuções e o seu desvio percentual em relação à solução do *solver*. O desvio percentual é calculado pela fórmula (1).

De acordo com as Tabelas 4, 5 e 6, respectivamente critérios *k-trimmed*, *k-centrum* e *Hurwicz*, a abordagem exata conseguiu executar instâncias *correlated* com até 700 vértices e *anticorrelated* com até 600. Este quadro se repetiu nos três critérios. Porém, a partir de 200 vértices das instâncias *k-trimmed*, o *solver* já não consegue um *gap* menor que 100% em ambas as classes. A partir de 500 vértices das instâncias *k-centrum*, em ambas as classes, o *solver* não consegue retornar o valor do *gap*. Por sua vez, no critério *Hurwicz*, o *solver* não retorna o *gap* a partir de 400 vértices de instâncias *correlated* e *anticorrelated*. Nas três tabelas, o desvio percentual negativo sugere que as abordagens meta-heurísticas superam, em poucos segundos, as soluções que o *solver* necessita 3600 segundos para encontrar.

Das 35 instâncias da classe *correlated* do critério *k-trimmed* em que o *solver* encontrou uma solução factível, *M-SA* conseguiu uma solução mediana melhor em 33 e o *T-SA* em 34. Isso representa 94,28% e 97,14% respectivamente. Das 33 instâncias da classe *anticorrelated* do mesmo critério, a abordagem memética supera o *solver* em 28 (84,85%) e a transgenética em 31 (93,94%). Das 35 instâncias *correlated k-centrum*, o *M-SA* encontrou uma solução mediana melhor em 27 (77,14%) e *T-SA* em 32 (91,43%); das 33 *anticorrelated* do mesmo critério, o *M-SA* lidera em 28 (84,85%) e o *T-SA* em 29 (87,88%) instâncias. Por sua vez, das 35 instâncias *correlated Hurwicz*, o *M-SA* supera o “exato” em 20 (57,14%) e o *T-SA* em 28 (80,00%); nas 33 *anticorrelated*, ambas as abordagens superam em 30 (90,91%) instâncias.

É preciso observar que as meta-heurísticas não conseguem superar o resultado do *solver* somente para instâncias de tamanho pequeno, no máximo 100 vértices. De fato, a maior vantagem destas abordagens se dá em instâncias de grande porte. Em todos os critérios, o desvio percentual da solução mediana tende a ser cada vez mais negativo conforme cresce o tamanho da instância. Isso significa que, quanto maior a quantidade de vértice, mais a solução mediana distancia-se da solução do *solver* limitado. Ademais, o desvio percentual máximo (positivo) do *M-SA* é 0,83%, 5,04% e 2,76% respectivamente para os critérios *k-trimmed*, *k-centrum* e *Hurwicz*. O *T-SA* distancia-se no máximo 0,47%, 4,40% e 1,50%, respectivamente. Observa-se ainda que, de modo geral, a porcentagem de instâncias em que a abordagem transgenética supera o *solver* é superior à abordagem memética. Este cenário sugere, pois, uma vantagem do *T-SA* face do *M-SA*.

Tabela 4: Comparação do *T-SA* e o *M-SA* com o resultado do *solver* para as instâncias *K-trimmed*

Inst.	Correlated									Anticorrelated										
	Exato			M-SA			T-SA			Exato			M-SA			T-SA				
	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana
30.1	737,50	89,69	0,20	0,98	722,50	-2,03	0,31	0,49	716,00	-2,92	884,50	74,13	0,46	0,98	877,92	-0,74	0,39	0,49	869,92	-1,65
30.2	646,17	88,08	0,24	0,96	650,75	0,71	0,33	0,49	646,83	0,10	714,50	71,20	0,39	0,97	702,50	-1,68	0,32	0,47	701,13	-1,87
30.3	302,25	88,59	0,01	0,97	298,75	-1,16	0,00	0,47	298,75	-1,16	241,00	90,25	0,20	0,96	243,00	0,83	0,20	0,47	240,50	-0,21
35.1	970,50	87,00	0,51	1,08	961,76	-0,90	0,42	0,53	945,59	-2,57	1 008,67	84,80	0,27	1,08	1002,09	-0,65	0,40	0,52	986,76	-2,17
35.2	731,75	86,61	0,15	1,07	737,50	0,79	0,37	0,51	728,00	-0,51	716,00	86,07	0,38	1,07	719,38	0,47	0,34	0,52	696,88	-2,67
35.3	322,00	95,34	0,20	1,07	317,25	-1,48	0,12	0,52	316,00	-1,86	322,00	87,42	0,03	1,09	324,50	0,78	0,16	0,52	323,50	0,47
40.1	1 098,17	94,49	0,01	1,18	1054,50	-3,98	0,01	0,59	1054,50	-3,98	1154,00	94,76	0,36	1,17	1098,75	-4,79	0,45	0,59	1093,12	-5,28
40.2	859,25	94,33	0,36	1,14	847,00	-1,43	0,34	0,58	835,13	-2,81	867,00	93,83	0,48	1,12	852,25	-1,70	0,42	0,58	844,75	-2,57
40.3	323,00	96,44	0,12	1,15	313,00	-3,10	0,29	0,58	309,50	-4,18	349,83	85,95	0,05	1,15	350,17	0,10	0,22	0,58	349,83	-0,00
45.1	1 271,50	96,56	0,40	1,32	1169,75	-8,00	0,51	0,67	1148,75	-9,65	1 545,75	97,67	0,55	1,33	1336,00	-13,57	0,54	0,68	1328,75	-14,04
45.2	923,50	97,02	0,33	1,30	900,50	-2,49	0,34	0,66	896,00	-2,98	925,00	85,57	0,34	1,30	910,00	-1,62	0,47	0,65	897,75	-2,95
45.3	396,33	94,58	0,25	1,31	391,17	-1,30	0,24	0,65	390,50	-1,47	400,00	92,79	0,05	1,30	400,50	0,12	0,16	0,65	400,33	0,08
50.1	1271,00	97,99	0,45	1,41	1188,75	-6,47	0,56	0,74	1176,00	-7,47	1357,00	98,49	0,48	1,41	1267,75	-6,58	0,61	0,73	1250,25	-7,87
50.2	1 021,34	95,69	0,02	1,40	1006,17	-1,49	0,01	0,73	1006,17	-1,49	1 087,17	88,89	0,24	1,39	1043,67	-4,00	0,53	0,72	1034,42	-4,85
50.3	442,75	97,06	0,19	1,40	440,38	-0,54	0,55	0,71	437,25	-1,24	449,25	97,50	0,11	1,39	441,50	-1,73	0,38	0,72	439,50	-2,17
100.1	3 426,50	99,45	1,29	3,21	2015,00	-41,19	1,32	1,75	2000,00	-41,63	4 400,84	99,72	2,00	3,19	2692,01	-38,83	1,59	1,73	2654,76	-39,68
100.2	2489,00	99,75	0,05	3,20	1761,17	-29,24	0,05	1,65	1761,17	-29,24	3 744,25	99,85	0,83	3,23	1848,75	-50,62	1,49	1,73	1838,75	-50,89
100.3	818,50	99,39	0,32	3,21	715,25	-12,61	1,10	1,68	713,13	-12,87	931,50	99,03	0,49	3,22	732,50	-21,36	0,98	1,68	730,00	-21,63
200.1	7 064,68	99,96	0,19	7,13	4273,84	-39,50	0,18	4,25	4273,84	-39,50	8 614,02	100,00	5,50	7,02	4840,26	-43,81	3,91	4,29	4796,43	-44,32
200.2	4338,00	100,00	2,28	7,08	2837,50	-34,59	3,24	4,31	2831,25	-34,73	4538,00	100,00	3,91	6,99	3332,38	-26,57	4,07	4,32	3315,75	-26,93
200.3	1544,00	100,00	2,37	7,06	1208,62	-21,72	3,24	4,34	1204,75	-21,97	1 935,84	99,97	1,20	7,12	1270,51	-34,37	3,43	4,33	1267,09	-34,55
300.1	11740,00	100,00	4,71	11,38	4793,50	-59,17	6,82	7,89	4776,25	-59,32	13067,00	100,00	7,55	11,14	6062,50	-53,60	6,75	7,85	6068,00	-53,56
300.2	11934,00	100,00	6,37	11,30	3909,75	-67,24	6,93	7,97	3894,00	-67,37	10025,00	100,00	5,02	11,28	4546,25	-54,65	7,30	8,05	4518,38	-54,93
300.3	7718,00	100,00	3,70	11,27	1558,00	-79,81	6,14	7,86	1551,00	-79,90	6844,00	100,00	5,42	11,40	1748,75	-74,45	7,41	8,10	1734,38	-74,66
400.1	14759,00	100,00	0,76	15,33	7744,02	-47,53	0,74	11,83	7744,02	-47,53	17 580,40	100,00	11,29	14,98	8884,69	-49,46	11,45	12,20	8799,19	-49,95
400.2	14 328,80	100,00	10,61	14,88	5499,50	-61,62	10,92	12,00	5490,50	-61,68	19094,00	100,00	8,03	15,19	5907,88	-69,06	10,60	12,31	5896,88	-69,12
400.3	9739,00	100,00	5,69	15,25	1993,50	-79,53	10,82	12,22	1971,00	-79,76	18515,00	100,00	7,47	15,15	2210,75	-88,06	10,60	12,48	2191,00	-88,17
500.1	21425,70	100,00	1,75	19,82	9331,52	-56,45	1,28	17,20	9331,52	-56,45	20076,00	100,00	8,79	19,19	9373,50	-53,31	15,74	17,70	9373,50	-53,31
500.2	16171,19	100,00	1,22	19,85	7162,85	-55,71	1,22	17,11	7162,85	-55,71	23757,75	100,00	8,99	19,43	7075,62	-70,22	14,97	17,62	7060,25	-70,28
500.3	17803,03	100,00	9,20	19,80	2671,67	-84,99	1,53	16,92	2671,51	-84,99	7448,00	100,00	2,04	19,72	2684,62	-63,96	14,44	17,32	2676,75	-64,06
600.1	23912,04	100,00	2,74	24,48	10809,50	-54,79	1,87	23,19	10809,50	-54,79	27431,00	100,00	13,76	23,75	11175,00	-59,26	19,80	23,64	11163,50	-59,30
600.2	18379,00	100,00	16,85	23,61	6768,00	-63,18	21,46	23,39	6753,25	-63,26	21245,04	100,00	10,38	24,20	9018,19	-57,55	21,83	23,90	8997,27	-57,65

Continua na próxima página

Tabela 4 – continuação da página anterior

Inst.	Correlated										Anticorrelated									
	Exato			M-SA			T-SA			Exato			M-SA			T-SA				
	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana
600.3	9822,02	100,00	8,69	24,50	3068,17	-68,76	2,17	22,78	3068,17	-68,76	13645,00	100,00	4,05	24,39	3079,50	-77,43	20,86	23,31	3064,88	-77,54
700.1	36152,00	100,00	16,29	28,52	9433,50	-73,91	26,88	30,43	9408,50	-73,98	—	—	20,32	27,84	12447,80	—	29,18	31,19	12441,80	—
700.2	—	—	4,33	29,50	9456,69	—	2,65	29,93	9456,69	—	—	—	7,07	29,35	10156,90	—	27,43	30,74	10147,00	—
700.3	34334,00	100,00	3,88	29,51	3246,50	-90,54	25,19	30,26	3238,88	-90,57	—	—	5,65	29,48	3523,75	—	26,75	30,54	3510,75	—
800.1	—	—	13,11	36,19	12643,60	—	35,49	39,19	12618,40	—	—	—	21,76	35,09	14120,40	—	36,76	39,40	14101,80	—
800.2	—	—	4,66	36,34	9780,50	—	33,39	38,61	9770,88	—	—	—	28,94	33,51	9973,50	—	37,42	39,80	9938,00	—
800.3	—	—	4,13	36,36	3721,75	—	35,25	39,01	3710,25	—	—	—	16,83	35,59	3677,75	—	34,84	38,80	3660,25	—
900.1	—	—	14,90	41,85	15565,90	—	4,77	47,02	15565,90	—	—	—	12,75	41,53	15540,40	—	40,55	48,33	15519,20	—
900.2	—	—	5,62	41,91	11798,50	—	4,18	46,77	11798,50	—	—	—	19,41	41,02	11752,80	—	43,78	47,91	11717,80	—
900.3	—	—	17,50	41,94	4273,84	—	4,88	47,22	4273,68	—	—	—	13,25	41,79	4343,75	—	42,63	47,42	4313,00	—
1000.1	—	—	20,27	46,15	12188,00	—	48,23	57,22	12154,80	—	—	—	41,41	43,27	20319,20	—	55,61	58,05	20079,00	—
1000.2	—	—	19,04	46,91	10165,80	—	49,54	57,64	10135,00	—	—	—	27,13	45,76	12951,00	—	51,71	57,46	12910,50	—
1000.3	—	—	18,64	47,44	4643,68	—	5,90	56,48	4643,68	—	—	—	31,50	45,62	4433,00	—	53,81	57,89	4398,50	—

4

Tabela 5: Comparação do *T-SA* e o *M-SA* com o resultado do *solver* para as instâncias *k-centrum*

Inst.	Correlated									Anticorrelated										
	Exato			M-SA			T-SA			Exato			M-SA			T-SA				
	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana
30.1	902,50	50,54	0,23	0,99	890,59	-1,32	0,37	0,51	887,84	-1,62	1 069,57	68,21	0,26	0,99	1052,07	-1,64	0,35	0,49	1047,57	-2,06
30.2	702,25	33,78	0,18	0,99	699,63	-0,37	0,26	0,48	697,25	-0,71	1 045,84	51,20	0,33	1,00	1037,09	-0,84	0,37	0,50	1033,59	-1,17
30.3	339,00	20,06	0,08	0,98	341,00	0,59	0,06	0,47	341,00	0,59	895,75	40,39	0,23	0,99	893,75	-0,22	0,32	0,48	892,50	-0,36
35.1	1 055,50	58,42	0,32	1,08	1040,34	-1,44	0,39	0,53	1034,59	-1,98	1 249,67	62,02	0,43	1,10	1232,92	-1,34	0,41	0,53	1222,42	-2,18
35.2	814,00	31,39	0,33	1,10	829,00	1,84	0,35	0,53	819,50	0,68	1 340,75	43,97	0,32	1,10	1319,12	-1,61	0,42	0,55	1315,00	-1,92
35.3	329,29	44,86	0,01	1,07	329,29	0,00	0,00	0,53	329,29	0,00	1639,00	46,67	0,73	1,13	1656,50	1,07	0,44	0,58	1657,00	1,10

Continua na próxima página

Tabela 5 – continuação da página anterior

Inst.	Correlated									Anticorrelated										
	Exato		M-SA			T-SA			Exato		M-SA			T-SA						
	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana
40.1	1152,00	38,06	0,59	1,19	1155,25	0,28	0,41	0,61	1144,12	-0,68	1 458,17	68,11	0,68	1,19	1420,84	-2,56	0,50	0,60	1414,50	-2,99
40.2	933,50	34,07	0,40	1,17	957,25	2,54	0,47	0,61	943,00	1,02	1 573,25	45,16	0,49	1,18	1537,62	-2,26	0,46	0,60	1533,75	-2,51
40.3	340,86	54,27	0,01	1,14	339,43	-0,42	0,01	0,57	339,43	-0,42	1 883,50	47,97	0,76	1,23	1896,50	0,69	0,52	0,66	1896,25	0,68
45.1	1338,00	35,84	0,44	1,34	1348,25	0,77	0,50	0,70	1326,00	-0,90	1 644,25	43,45	0,71	1,37	1643,25	-0,06	0,64	0,71	1640,75	-0,21
45.2	987,71	71,59	0,03	1,34	971,28	-1,66	0,38	0,66	969,28	-1,87	1898,00	44,47	1,01	1,37	1974,25	4,02	0,54	0,69	1981,50	4,40
45.3	402,67	42,18	0,09	1,33	400,00	-0,66	0,08	0,65	400,00	-0,66	956,57	51,67	0,03	1,31	945,28	-1,18	0,02	0,66	945,28	-1,18
50.1	1442,00	37,00	0,53	1,42	1442,50	0,03	0,57	0,76	1426,00	-1,11	1 778,50	41,24	0,69	1,44	1791,25	0,72	0,62	0,77	1770,50	-0,45
50.2	1 084,71	70,67	0,26	1,40	1058,78	-2,39	0,58	0,73	1053,28	-2,90	1 590,14	69,19	0,27	1,39	1526,93	-3,98	0,47	0,73	1521,28	-4,33
50.3	470,75	28,89	0,26	1,41	471,13	0,08	0,57	0,75	465,50	-1,12	1 203,67	59,15	0,20	1,40	1159,50	-3,67	0,45	0,74	1158,00	-3,79
100.1	2622,00	76,18	1,73	3,23	2564,88	-2,18	1,48	1,78	2534,62	-3,33	3 404,67	84,27	2,34	3,19	3360,34	-1,30	1,70	1,83	3342,51	-1,83
100.2	1997,00	48,55	1,39	3,21	1918,75	-3,92	1,42	1,76	1895,25	-5,10	4199,00	56,04	2,95	3,24	4410,75	5,04	1,55	1,91	4360,00	3,83
100.3	781,86	90,52	0,19	3,22	735,57	-5,92	0,72	1,67	735,57	-5,92	2309,00	75,60	0,30	3,22	2020,64	-12,49	1,18	1,72	2019,36	-12,54
200.1	10580,00	96,19	3,13	7,03	4680,09	-55,76	3,62	4,34	4678,01	-55,78	10352,00	92,08	5,65	7,06	6611,88	-36,13	4,17	4,51	6567,75	-36,56
200.2	3 708,50	75,72	3,34	6,99	3469,00	-6,46	3,45	4,51	3460,50	-6,69	10508,00	94,41	2,31	7,10	5624,28	-46,48	3,76	4,43	5619,28	-46,52
200.3	9 892,02	98,83	0,72	7,17	1265,00	-87,21	3,18	4,30	1262,67	-87,24	8 612,25	86,26	2,83	7,11	5835,50	-32,24	3,73	4,53	5827,62	-32,33
300.1	17582,00	98,33	1,71	11,47	6609,99	-62,40	7,07	7,89	6602,71	-62,45	17425,00	97,22	2,37	11,44	8829,63	-49,33	6,81	7,97	8825,27	-49,35
300.2	13993,00	98,50	7,30	11,33	5021,38	-64,12	7,09	7,97	5008,88	-64,20	17837,00	91,65	8,43	11,23	10667,50	-40,19	6,93	7,99	10572,10	-40,73
300.3	16798,00	99,98	1,73	11,40	1768,00	-89,47	6,29	7,71	1764,09	-89,50	16947,00	95,25	2,59	11,38	6373,60	-62,39	6,54	8,00	6369,01	-62,42
400.1	20988,00	—	9,07	15,06	8587,50	-59,08	10,19	12,18	8569,25	-59,17	13 035,30	99,94	6,55	15,25	11557,30	-11,34	11,20	12,41	11545,80	-11,43
400.2	7 032,99	99,92	1,08	15,30	6173,57	-12,22	8,16	12,02	6172,28	-12,24	20195,00	99,96	3,07	15,39	10724,50	-46,90	10,37	12,12	10716,80	-46,93
400.3	19998,00	99,99	0,77	15,36	2246,28	-88,77	9,25	12,36	2245,28	-88,77	20045,00	99,96	1,41	15,39	7579,42	-62,19	10,45	12,24	7575,56	-62,21
500.1	24894,97	—	5,99	19,74	10283,80	-58,69	15,32	17,37	10278,10	-58,71	25116,05	—	11,46	19,37	14750,90	-41,27	15,95	17,72	14735,00	-41,33
500.2	24970,04	—	8,81	19,61	7661,68	-69,32	15,51	17,47	7645,27	-69,38	24670,50	—	12,39	19,44	17408,80	-29,43	15,34	17,86	17300,40	-29,87
500.3	24377,00	—	9,67	19,38	2831,25	-88,39	15,34	17,28	2808,75	-88,48	24792,00	—	17,83	19,12	24413,50	-1,53	15,07	19,03	24000,50	-3,19
600.1	30949,06	—	8,23	24,25	12059,90	-61,03	21,81	23,84	12037,80	-61,10	31096,00	—	19,37	23,12	18756,80	-39,68	19,98	24,60	18588,80	-40,22
600.2	30971,96	—	2,06	24,53	8956,71	-71,08	20,56	23,67	8954,49	-71,09	31256,00	—	19,34	23,32	20908,40	-33,11	21,44	24,22	20761,00	-33,58
600.3	29437,97	—	1,77	24,47	3162,14	-89,26	14,65	23,64	3160,28	-89,26	30596,00	—	11,21	24,16	17162,50	-43,91	22,28	23,87	17131,40	-44,01
700.1	—	—	7,90	29,32	14025,00	—	26,23	30,55	14008,70	—	—	—	23,42	27,57	21381,60	—	30,23	31,75	21135,50	—
700.2	35912,00	—	20,51	27,77	10345,00	-71,19	26,79	31,10	10301,50	-71,31	—	—	3,61	29,42	18124,50	—	26,82	30,89	18117,50	—
700.3	34333,96	—	2,41	29,57	3570,50	-89,60	22,96	30,58	3568,36	-89,61	—	—	5,06	29,48	14509,50	—	26,08	31,01	14502,20	—
800.1	—	—	22,85	34,67	15846,00	—	34,40	39,29	15829,80	—	—	—	19,27	35,87	22987,00	—	36,44	39,52	22961,80	—
800.2	—	—	3,11	36,34	11378,70	—	30,72	39,15	11375,70	—	—	—	21,43	35,31	22213,60	—	36,98	39,29	22168,00	—
800.3	—	—	3,12	36,39	4090,78	—	31,17	38,94	4089,28	—	—	—	12,94	35,89	22751,60	—	36,09	39,73	22715,40	—
900.1	—	—	31,47	39,07	17564,50	—	45,17	48,26	17533,00	—	—	—	34,90	38,77	27524,50	—	42,25	48,77	27355,20	—

Continua na próxima página

Tabela 5 – continuação da página anterior

Inst.	Correlated										Anticorrelated									
	Exato		M-SA				T-SA				Exato		M-SA				T-SA			
	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana
900.2	—	—	3,93	42,11	12615,80	—	39,43	47,85	12613,10	—	—	—	32,31	39,71	30808,90	—	43,33	49,21	30575,40	—
900.3	—	—	24,08	40,64	4524,00	—	40,98	47,78	4512,50	—	—	—	8,74	41,98	18514,30	—	45,92	48,23	18496,70	—
1000.1	—	—	9,03	47,57	18652,20	—	51,62	57,21	18634,60	—	—	—	41,09	43,19	30251,20	—	54,31	59,14	29829,20	—
1000.2	—	—	4,91	47,62	13843,20	—	45,57	57,36	13840,30	—	—	—	39,10	43,76	34243,10	—	55,98	58,54	33954,60	—
1000.3	—	—	31,16	45,38	4956,50	—	48,35	57,09	4932,75	—	—	—	19,47	46,84	28312,80	—	52,26	58,68	28276,10	—

Tabela 6: Comparação do *T-SA* e o *M-SA* com o resultado do *solver* para as instâncias *Hurwicz*

Inst.	Correlated										Anticorrelated									
	Exato		M-SA				T-SA				Exato		M-SA				T-SA			
	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana
30.1	518,40	49,04	0,33	0,99	532,70	2,76	0,37	0,49	520,80	0,46	1098,00	46,19	0,37	0,99	1085,00	-1,18	0,32	0,50	1087,10	-0,99
30.2	500,80	32,43	0,14	0,98	502,10	0,26	0,31	0,49	498,20	-0,52	778,00	81,00	0,34	0,97	574,20	-26,20	0,34	0,48	570,40	-26,68
30.3	271,10	15,42	0,04	0,98	271,10	0,00	0,03	0,47	271,10	0,00	982,30	74,69	0,17	0,99	852,60	-13,20	0,23	0,48	852,60	-13,20
35.1	796,40	46,89	0,46	1,10	809,80	1,68	0,44	0,54	803,10	0,84	675,60	75,87	0,51	1,09	530,50	-21,48	0,40	0,53	522,80	-22,62
35.2	647,80	35,41	0,36	1,10	647,85	0,01	0,35	0,53	641,55	-0,96	840,50	67,15	0,28	1,08	823,75	-1,99	0,45	0,53	816,85	-2,81
35.3	295,20	24,66	0,09	1,07	298,90	1,25	0,28	0,53	297,00	0,61	1 436,20	73,21	0,35	1,10	1263,60	-12,02	0,33	0,53	1263,20	-12,05
40.1	901,40	49,57	0,54	1,18	910,30	0,99	0,43	0,61	897,00	-0,49	559,60	68,23	0,40	1,16	542,80	-3,00	0,49	0,61	539,40	-3,61
40.2	731,50	39,79	0,42	1,16	738,50	0,96	0,38	0,60	725,55	-0,81	952,10	67,15	0,48	1,15	926,60	-2,68	0,45	0,58	922,10	-3,15
40.3	312,60	27,00	0,26	1,15	317,10	1,44	0,43	0,60	313,70	0,35	1 660,80	73,99	0,34	1,19	1452,80	-12,52	0,40	0,60	1451,00	-12,63
45.1	1 106,20	43,89	0,49	1,34	1111,05	0,44	0,54	0,69	1103,60	-0,24	862,70	62,29	0,50	1,32	848,70	-1,62	0,51	0,67	837,30	-2,94
45.2	872,00	37,80	0,38	1,34	856,70	-1,75	0,49	0,68	847,20	-2,84	1 593,60	70,97	0,56	1,34	1360,30	-14,64	0,58	0,68	1348,40	-15,39
45.3	167,60	60,14	0,07	1,31	167,60	0,00	0,16	0,65	167,40	-0,12	2 068,80	65,06	1,09	1,36	2082,10	0,64	0,45	0,71	2086,80	0,87
50.1	1 344,20	44,83	0,44	1,41	1307,40	-2,74	0,54	0,73	1288,20	-4,17	1 291,80	64,22	0,66	1,43	1142,60	-11,55	0,59	0,74	1138,70	-11,85
50.2	325,00	54,15	0,42	1,39	328,70	1,14	0,53	0,72	324,80	-0,06	1 985,80	64,10	0,80	1,43	1968,20	-0,89	0,53	0,78	1948,70	-1,87

Continua na próxima página

Tabela 6 – continuação da página anterior

Inst.	Correlated									Anticorrelated										
	Exato			M-SA			T-SA			Exato			M-SA			T-SA				
	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	OWA	Gap solver	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana	Tempo para atingir a solução mínima	Tempo total	OWA mediano	Desvio percentual da solução mediana
50.3	228,70	51,81	0,31	1,40	229,80	0,48	0,49	0,73	228,60	-0,04	2 341,70	62,04	1,10	1,44	2348,10	0,27	0,47	0,77	2350,55	0,38
100.1	2 478,20	54,26	1,52	3,23	2358,00	-4,85	1,50	1,84	2315,00	-6,59	3 282,60	67,76	1,59	3,22	2951,60	-10,08	1,37	1,78	2943,90	-10,32
100.2	621,20	60,91	1,04	3,21	550,30	-11,41	1,43	1,78	537,80	-13,43	4 134,70	64,21	2,73	3,21	4155,70	0,51	1,40	1,88	4038,25	-2,33
100.3	310,90	55,23	0,65	3,22	292,40	-5,95	1,17	1,71	287,40	-7,56	4 726,40	59,73	2,61	3,24	4786,30	1,27	1,13	1,90	4797,50	1,50
200.1	10580,00	95,47	4,92	7,08	1426,60	-86,52	3,76	4,49	1414,20	-86,63	6 520,40	60,45	4,50	7,10	6386,70	-2,05	3,75	4,71	6321,10	-3,06
200.2	10070,00	92,91	4,24	6,99	1693,00	-83,19	3,57	4,30	1670,00	-83,42	10508,00	88,38	4,95	7,02	4270,50	-59,36	3,85	4,49	4214,60	-59,89
200.3	1 053,50	55,15	1,93	7,15	935,75	-11,18	3,39	4,31	931,20	-11,61	9535,00	70,24	5,73	7,07	9351,90	-1,92	2,67	4,82	9307,30	-2,39
300.1	17582,00	99,81	7,25	11,31	5633,35	-67,96	6,43	8,04	5548,10	-68,44	17425,00	96,37	8,48	11,27	3215,90	-81,54	7,19	7,93	3204,00	-81,61
300.2	17265,00	99,93	7,95	11,19	1884,15	-89,09	6,82	8,07	1866,25	-89,19	12 432,20	89,38	8,25	11,31	11554,60	-7,06	6,02	8,28	11269,50	-9,35
300.3	16798,00	99,89	6,35	11,31	1310,40	-92,20	7,00	7,87	1298,45	-92,27	16947,00	93,89	6,06	11,47	5462,20	-67,77	6,74	7,92	5450,10	-67,84
400.1	20988,00	—	11,32	14,90	4481,80	-78,65	10,89	12,34	4474,10	-78,68	20658,00	—	11,99	14,94	7613,10	-63,15	11,13	12,70	7493,20	-63,73
400.2	20215,00	—	9,74	15,05	1718,40	-91,50	9,98	12,39	1633,30	-91,92	20195,00	—	11,57	14,95	5606,60	-72,24	11,77	12,64	5598,70	-72,28
400.3	19998,00	—	5,64	15,22	1677,55	-91,61	10,42	12,36	1662,95	-91,68	20045,00	—	11,69	15,12	18714,70	-6,64	6,73	13,02	18694,90	-6,74
500.1	24797,00	—	13,40	19,16	4293,20	-82,69	14,91	17,95	4275,85	-82,76	24833,60	—	14,36	19,06	5035,10	-79,72	16,52	18,35	5014,40	-79,81
500.2	24543,00	—	15,75	18,87	2888,50	-88,23	16,41	18,01	2874,55	-88,29	24685,20	—	17,51	18,79	21106,60	-14,50	14,41	18,75	19713,60	-20,14
500.3	24150,60	—	12,96	19,44	652,40	-97,30	15,68	17,55	627,60	-97,40	24748,80	—	15,96	19,08	23706,80	-4,21	10,61	19,05	23620,80	-4,56
600.1	30949,00	—	19,32	23,18	9765,60	-68,45	21,18	23,76	9700,40	-68,66	31096,00	—	17,51	23,52	8505,70	-72,65	19,84	23,83	8373,55	-73,07
600.2	30972,00	—	10,90	23,94	7603,50	-75,45	20,90	24,07	7584,50	-75,51	31256,00	—	20,95	23,19	15848,00	-49,30	22,09	24,47	15883,20	-49,18
600.3	29438,00	—	16,59	23,77	735,90	-97,50	21,64	23,65	719,60	-97,56	30596,00	—	20,23	23,63	28416,60	-7,12	13,74	25,15	28369,90	-7,28
700.1	36152,00	—	25,00	27,28	12699,80	-64,87	27,52	31,12	12579,90	-65,20	—	—	20,39	28,24	19595,70	—	26,91	31,33	19563,00	—
700.2	35912,00	—	21,34	27,84	6850,80	-80,92	28,91	31,01	6789,40	-81,09	—	—	25,00	27,78	18585,80	—	28,52	31,63	18357,00	—
700.3	—	—	17,04	28,97	810,00	—	26,23	30,54	795,40	—	—	—	16,78	28,87	12593,20	—	26,54	30,68	12555,30	—
800.1	—	—	23,84	34,73	12761,40	—	32,54	39,55	12599,00	—	—	—	28,49	33,99	23267,00	—	35,06	40,11	23090,70	—
800.2	—	—	25,33	34,17	8776,55	—	34,10	39,96	8722,60	—	—	—	28,04	34,50	10790,50	—	34,65	40,55	10783,50	—
800.3	—	—	16,11	35,79	3371,70	—	33,79	39,71	3358,50	—	—	—	24,46	35,36	21639,80	—	34,71	39,71	21472,80	—
900.1	—	—	33,18	39,02	7245,20	—	44,20	47,68	7081,95	—	—	—	30,97	39,61	25869,50	—	42,27	49,54	25807,10	—
900.2	—	—	20,26	40,73	8587,40	—	39,19	47,75	8483,70	—	—	—	32,46	39,00	23502,10	—	46,44	49,15	23508,00	—
900.3	—	—	23,04	40,92	1000,60	—	44,81	48,83	987,20	—	—	—	26,18	40,63	16249,40	—	43,19	48,27	16114,20	—
1000.1	—	—	33,75	44,69	13453,00	—	50,48	58,11	13384,40	—	—	—	35,38	44,21	17874,10	—	53,09	58,42	17416,60	—
1000.2	—	—	31,15	44,92	10596,20	—	50,80	57,69	10550,20	—	—	—	33,12	44,90	37101,20	—	43,26	59,18	36829,90	—
1000.3	—	—	28,03	45,67	1632,50	—	50,42	58,33	1609,75	—	—	—	37,22	45,02	47333,10	—	33,45	60,01	47052,60	—

A Figura 3 contém os gráficos das curvas de crescimento do tempo total (em segundos) do *M-SA* e *T-SA* em função do tamanho da instância. A figura está organizada em forma matricial, onde a primeira e segunda linhas denotam, respectivamente, as classes *correlated* e *anticorrelated* e as colunas denotam os critérios *k-trimmed*, *k-centrum* e *Hurwicz* (nesta ordem). Diante da semelhança entre as curvas da Figura 3, pode-se dizer que o tempo dos algoritmos não sofre grande variação em função do critério OWA ou classe. Todavia, é preciso observar a diferença de tempo entre o *M-SA* e o *T-SA*. De modo geral, em concordância com a Tabelas 4, 5 e 6, o segundo supera o primeiro em instâncias *correlated* e *anticorrelated* de tamanho até 600. Mais precisamente, a abordagem transgenética apresenta menor tempo médio em 73,33% das instâncias, isoladamente, de cada combinação entre critério OWA (*k-trimmed*, *k-centrum* e *Hurwicz*) e classe de correlação. A única exceção são as instâncias *Hurwicz anticorrelated*, onde a transgenética ganha em 66,67%. Do total de instâncias, o *T-SA* leva vantagem em 72,22%. Entretanto, em instâncias possuindo de 700 a 1000 vértices, o *M-SA* leva vantagem, mas a diferença total é no máximo 15,95s.

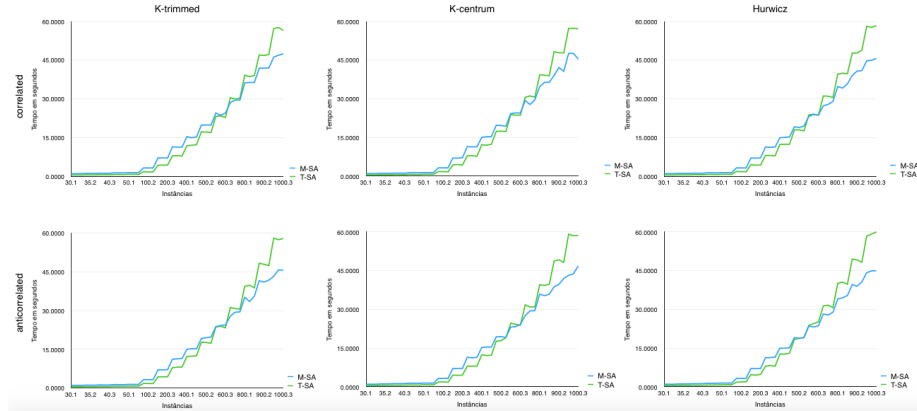


Figura 3: Tempo em segundos em função do tamanho das instâncias

Os gráficos da Figura 4 apresentam o comparativo do tempo que cada algoritmo levou para encontrar sua melhor solução. Nestes gráficos, o eixo horizontal representa o tamanho das instâncias e o vertical representa a porcentagem do seu tempo total que o algoritmo necessitou para atingir sua melhor solução. Esta análise é importante porque ajuda a compreender se o processo evolucionário encontra-se ou não estagnado. Uma baixa porcentagem significa que o algoritmo não conseguiu evoluir adequadamente, ficando, pois, estagnado o restante do processamento. Porém, diante de uma alta porcentagem pode-se apenas inferir que, pelo menos, a melhor solução foi atingida nos últimos instantes do processamento. Assim, apreciando a Figura 4, observa-se que, de modo geral, a evolução do *M-SA* apresenta mais momentos de estagnação. Por outro lado, o *T-SA* consegue conduzir a evolução de sua melhor solução até os últimos instantes do processo. Contudo, ambos os algoritmos apresentaram maior indicio de

estagnação nas instâncias *k-trimmed correlated*. Nas instâncias *Hurwicz*, ambos atingiram seus respectivos resultados nas últimas iterações. Nas demais categorias de instâncias, o transgenético usufrui melhor do seu tempo, ao passo que o memético encontra-se mais estagnado. Assim, pode-se dizer que, de modo geral, o *T-SA*, com a ajuda de seus operadores, consegue aproveitar melhor o tempo total de processamento a fim de retornar uma melhor solução.

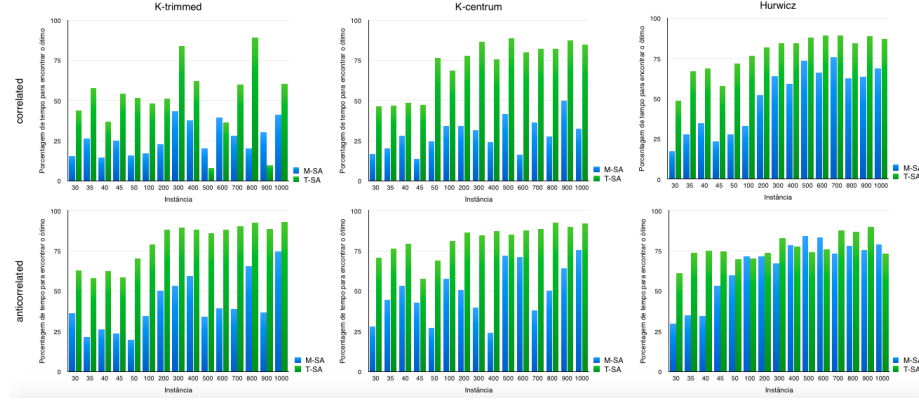


Figura 4: Porcentagem do tempo que cada algoritmo necessitou para atingir seu melhor valor OWA, em função do tamanho das instâncias

No que se refere ao quesito qualidade de solução, efetuou-se o teste de *Mann-Whitney one-tailed*, a fim de comparar o *M-SA* e o *T-SA*. A Tabela 7 exibe os *p-valores*. Considerando 0,05 o nível de significância, então *p-valores* menores que 0,05 indicam que o *T-SA* ganhou em tal quesito (células em verde); *p-valores* maiores que 0,95 indicam que o *M-SA* retornou melhores soluções (célula vermelha); *p-valores* entre 0,05 e 0,95 (inclusive) apontam para inconclusão (células brancas). Assim, de acordo com a Tabela 7, o *T-SA* apresentou melhores soluções em 232 instâncias e o *M-SA* em apenas uma instância. Isso representa, respectivamente, 85,93% e 0,37% do conjunto de casos de testes. Em 37 instâncias (13,7%), a análise é inconclusiva.

Considerando cada critério OWA isoladamente, constata-se que o *T-SA* obteve as melhores soluções em 76 (84,44%), 82 (91,11%) e 74 (82,22%) instâncias, respectivamente, dos critérios *k-trimmed*, *k-centrum* e *Hurwicz*. Apenas neste último critério, em uma instância, a saber 45.3 da classe *anticorrelated*, o *M-SA* conseguiu superar o *T-SA*. Isso representa 1,11% das instâncias com critério *Hurwicz*. Os resultados foram inconclusivos em 14 (15,56%), 8 (8,89%) e 15 (16,67%) instâncias, respectivamente, dos critérios *k-trimmed*, *k-centrum* e *Hurwicz*. Estes resultados levam a crer que o critério *Hurwicz* foi, para a abordagem transgenética, ligeiramente mais difícil que os demais.

Agora, considera-se cada classe (*correlated* e *anticorrelated*) isoladamente. Na primeira classe, o *T-SA* superou o *M-SA* em 117 instâncias, o que representa 86,67%. Na segunda classe, a abordagem transgenética superou a memética em

115 (85,19%) instâncias. Ademais, esta superou aquela em apenas uma instância *anticorrelated*, o que representa 0,74%. Os resultados foram inconclusivos em 13,33% e 14,07% das instâncias *correlated* e *anticorrelated* respectivamente. Destes resultados, pode-se observar que a classe *anticorrelated* foi ligeiramente mais difícil para a abordagem transgenética.

Tabela 7: *p-valores* para 8 objetivos

Instância	K-trimmed		K-centrum		Hurwicz	
	Correlated	Anticorrelated	Correlated	Anticorrelated	Correlated	Anticorrelated
30.1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,6470
30.2	0,0000	0,0113	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
30.3	0,5000	0,0000	0,0822	0,0000	0,5000	0,0025
35.1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0045	0,0000
35.2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0000	0,0000
35.3	0,0000	0,0000	0,5000	0,7861	0,0000	0,0000
40.1	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003
40.2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0005
40.3	0,0000	0,0000	0,5000	0,2479	0,0000	0,0000
45.1	0,0000	0,0000	0,0000	0,2389	0,0028	0,0000
45.2	0,0000	0,0000	0,0000	0,8943	0,0000	0,0000
45.3	0,0000	0,0000	0,0003	0,1587	0,0000	0,9961
50.1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0010	0,0000	0,0282
50.2	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1895
50.3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,7855
100.1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1452
100.2	0,5000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0172
100.3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,7962
200.1	0,5000	0,0000	0,0140	0,0000	0,0020	0,0152
200.2	0,0000	0,0000	0,0111	0,0000	0,0000	0,0066
200.3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
300.1	0,0000	0,9221	0,0000	0,0000	0,0000	0,0585
300.2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0282	0,0179
300.3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
400.1	0,5000	0,0000	0,0028	0,0000	0,1538	0,1275
400.2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0097
400.3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,2081
500.1	0,5000	0,1720	0,0000	0,0000	0,0812	0,1976
500.2	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0034	0,0036
500.3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0034
600.1	0,5000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0002	0,0103
600.2	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8145
600.3	0,0053	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0459
700.1	0,0000	0,4296	0,0000	0,0000	0,0000	0,0085

Continua na próxima página

Tabela 7 – continuação da página anterior

Instância	K-trimmed		K-centrum		Hurwicz	
	Correlated	Anticorrelated	Correlated	Anticorrelated	Correlated	Anticorrelated
700.2	0,1587	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0207
700.3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
800.1	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0007
800.2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0405
800.3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
900.1	0,0001	0,0000	0,0000	0,0001	0,0008	0,0074
900.2	0,5000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,1170
900.3	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003
1000.1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0621	0,0008
1000.2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
1000.3	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001

3.5 Outras estatísticas

Esta subseção destina-se a avaliar estatísticas inerentes a cada uma das abordagens meta-heurísticas. As análises e gráficos aqui relatados referem-se às tabelas contidas no Apêndice A. As estatísticas foram coletadas durante os experimentos dos algoritmos, 30 execuções por instância, onde todos os operadores atuam simultaneamente, conforme descrito nas seções anteriores deste trabalho. Assim, para cada instância, foi calculada a média, de 30 execuções, da estatística correspondente.

Os gráficos da Figura 5 exibem a taxa média de sucesso dos operadores meméticos em função do tamanho das instâncias. A primeira e segunda linhas da figura contêm os gráficos referentes às instâncias *correlated* e *anticorrelated*, respectivamente. As instâncias dos critérios *k-trimmed*, *k-centrum* e *Hurwicz* estão, respectivamente, organizados na primeira, segunda e terceira colunas. Os operadores de cruzamento e o recozimento simulado apresentam as maiores taxas de sucesso e apresentam semelhança de efetividade em todos os critérios da classe *correlated*, bem como nas instâncias *k-trimmed anticorrelated*. Nas instâncias *k-centrum* e *Hurwicz* da classe *anticorrelated*, o recozimento simulado supera o operador de cruzamento na maioria das instâncias. A taxa de sucesso do operador de mutação manteve-se, em todos os casos, inferior aos operadores supracitados.

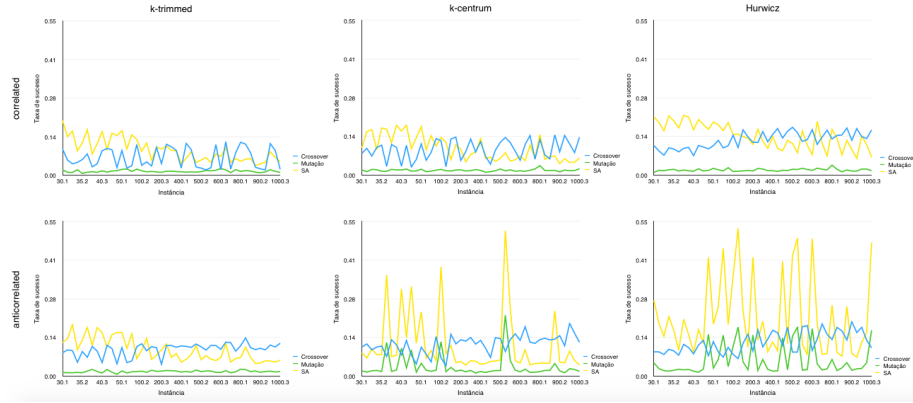


Figura 5: Taxas de sucesso dos operadores meméticos em função do tamanho das instâncias

A taxa de sucesso dos operadores transgenéticos representam o sucesso que tais vetores têm em seus ataques. Tais taxas podem ser apreciadas, visualmente, nos gráficos da Figura 6, a qual está organizada de modo semelhante à Figura 5. Em todas as categorias de instâncias, de modo geral, o *plas2* apresenta o melhor desempenho. Os demais vetores, cujas taxas estão abaixo do *plas2*, demonstram semelhança ou complementariedade entre si. Nas instâncias *k-trimmed*, sobretudo, pouco se nota diferença entre os operadores, à exceção do *plas2*. Nas instâncias *k-centrum* e *Hurwicz*, o *plas3* e o *SA_Trans*, ambos propostos por esta pesquisa, aumentam seu protagonismo. Nas instâncias *Hurwicz anticorrelated*, o sucesso do *plas2*, *plas3* e do *SA_Trans* são semelhantes. Em algumas instâncias *anticorrelated* com critérios *k-centrum* e *Hurwicz*, o *SA_Trans* chega a ter mais sucesso que o *plas2*. Deve-se observar, contudo, que as taxas de sucesso do *plas2*, *plas3* e *SA_Trans* comportam-se de modo visivelmente irregular, apresentando picos e vales em função do tamanho das instâncias. Ao contrário destes, as taxas de *plas1* e *primTrans* pouco variam, mas, sobretudo em instâncias *k-centrum* e *Hurwicz*, ficam inferior aos demais vetores. Entretanto, experimentos preliminares realizados por esta pesquisa constataram que o desligamento do *plas1* e *primTrans* carrega perda de desempenho do *T-SA* no quesito qualidade de solução.

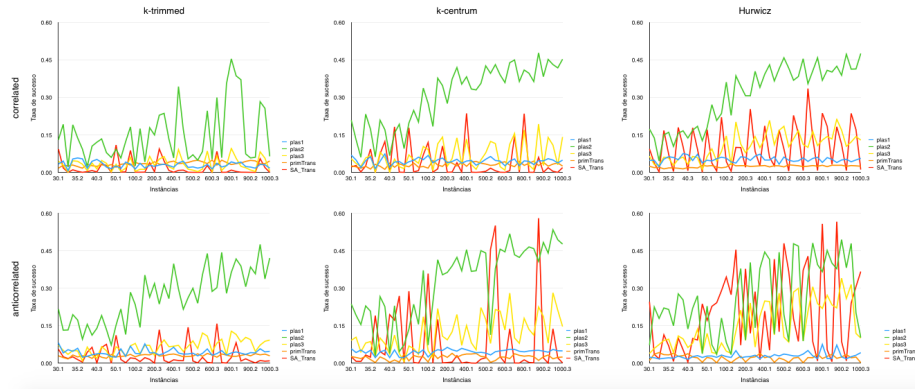


Figura 6: Taxas de sucesso dos operadores transgenéticos em função do tamanho das instâncias

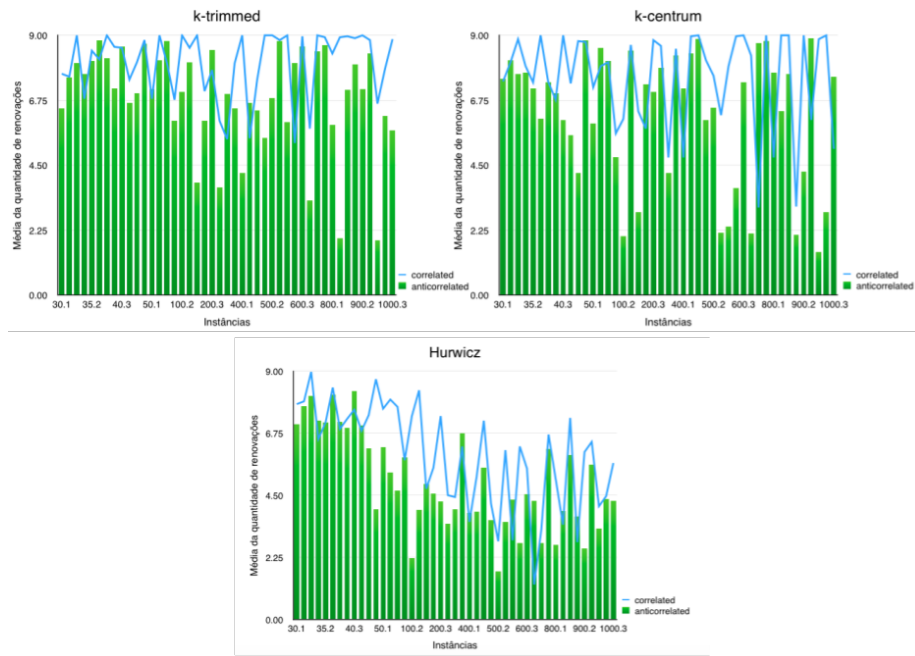


Figura 7: Taxas média de renovação da população, efetuada pelo *M-SA*, em função do tamanho das instâncias

Os gráficos da Figura 7 ilustram a quantidade média de renovações da população que o *M-SA* necessitou efetuar. Cada gráfico apresenta tal informação para as instâncias *correlated* (linha azul) e *anticorrelated* (barra verde). A média geral da quantidade de renovações para instâncias *correlated* com critérios *k-trimmed*,

k-centrum e *Hurwicz* foi 8,04, 7,51 e 5,98, respectivamente. Para instâncias *anticorrelated* estes valores são 6,83, 6,22 e 4,99, respectivamente. Nota-se, pois, elevada quantidade média de renovações para instâncias *k-trimmed* e *k-centrum*, sobretudo da classe *correlated*. De fato, em média, o *M-SA* precisou renovar as populações das instâncias *correlated* com mais frequência. As instâncias *Hurwicz* apresentam as menores quantidade de renovações.

Por fim, e não menos importante, avaliou-se a quantidade de vezes que cada algoritmo necessitou calcular a função a função objetivo do problema. Em média, em instâncias *correlated* com critérios *k-trimmed*, *k-centrum* *Hurwicz*, o *M-SA* avaliou a função objetivo $1,17707E+06$, $1,17703E+06$ e $1,17690E+06$ vezes respectivamente. O *T-SA*, por sua vez, avaliou 539049,53, 538113,42 e 538506,82 vezes, respectivamente. A média de avaliações em instâncias *anticorrelated* com critérios *k-trimmed*, *k-centrum* *Hurwicz* do *M-SA* foi $1,17697E+06$, $1,17692E+06$ e $1,17681E+06$, respectivamente. O *T-SA* avaliou 538363,16, 540331,80 537130,47 vezes, respectivamente. Estes dados mostram que a abordagem transgenética, executando a mesma quantidade de gerações (iterações) da abordagem memética, avalia a função objetivo em uma quantidade bem menor de vezes.

4 Considerações finais

Este texto propôs uma abordagem transgenética híbrida aplicada ao problema da Árvore Geradora Multiobjetivo com preferência definida pelo operador *OWA*. O algoritmo transgenético demonstrou possuir, para o conjunto de instâncias utilizadas, desempenho consideravelmente superior ao do memético. De fato, o *T-SA* ganhou, em termos de qualidade de solução, na esmagadora maioria das instâncias. De modo geral, os operadores transgenéticos demonstraram ser mais eficazes na busca por melhores soluções. O *T-SA* também ganhou, em termos de tempo computacional, na maioria das instâncias. Porém, o *M-SA* apresenta, no quesito tempo, vantagem para instâncias com mais de 600 vértices. Ademais, ambas as abordagens meta-heurísticas demonstraram ser mais eficientes e eficazes que a abordagem de programação linear (FERNÁNDEZ et al., 2017) limitada em uma hora.

Como trabalho futuro, sugere-se realizar experimentos de ambos as meta-heurísticas, bem como da abordagem exata, com 5 e 10 objetivos.

Referências

- CHEN, G. et al. The multi-criteria minimum spanning tree problem based genetic algorithm. *Information Sciences*, v. 117, n. 22, p. 5050–5063, 2007.
- FERNÁNDEZ, E. et al. Ordered weighted average optimization in multiobjective spanning tree problem. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 260, n. 3, p. 886–903, 2017.
- GALAND, L.; SPANJAARD, O. Exact algorithms for owa-optimization in multiobjective spanning tree problems. *Computers & Operations Research*, Elsevier, v. 39, n. 7, p. 1540–1554, 2012.
- GOLDBARG, M. C.; GOLDBARG, E. F. G. Transgenética computacional. In: LOPES, H. S.; RODRIGUES, L. C. de A.; STEINER, M. T. A. (Ed.). *Meta-Heurísticas em Pesquisa Operacional*. 1. ed. Curitiba, PR: Omnipax, 2013. cap. 7, p. 99–112. ISBN 978-85-64619-10-4.
- HURWICZ, L. Optimality criteria for decision making under ignorance. *Cowles Commission Discussion Paper*, v. 370, p. 370, 1951.
- JIANG, S.; YANG, S. A strength pareto evolutionary algorithm based on reference direction for multiobjective and many-objective optimization. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, IEEE, v. 21, n. 3, p. 329–346, 2017.
- KNOWLES, J. *Local-search and hybrid evolutionary algorithms for Pareto optimization*. Tese (Doutorado) — Department of Computer Science, University of Reading, Reading, UK, 2002.
- KNOWLES, J.; THIELE, L.; ZITZLER, E. *A tutorial on the performance assessment of stochastic multiobjective optimizers*. [S.l.], 2006.
- LÓPEZ-IBÁÑEZ, M. et al. The irace package: Iterated racing for automatic algorithm configuration. *Operations Research Perspectives*, Elsevier, v. 3, p. 43–58, 2016.
- MONTEIRO, S. M. D.; GOLDBARG, E. F. G.; GOLDBARG, M. C. A new transgenetic approach for the biobjective spanning tree problem. In: *IEEE CEC 2010 Congress on Evolutionary Computation, 2010, Barcelona. Proceedings of IEEE CEC 2010 Congress on Evolutionary Computation*. [S.l.]: Piscataway, IEEE, 2010. v. 1, p. 519–526.
- PRIM, R. C. Shortest connection networks and some generalizations. *Bell System Technical Journal*, v. 36, p. 1389–1401, 1957.
- RAIDL, G. R.; JULSTROM, B. A. Edge sets: an effective evolutionary coding of spanning trees. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, v. 7, n. 3, p. 225–239, 2003.

ROCHA, D. A. M.; GOLDBARG, E. F. G.; GOLDBARG, M. C. A memetic algorithm for the biobjective minimum spanning tree problem. In: *6th European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization, 2006. Budapest, Lecture Notes in Computer Science*. [S.l.]: Heidelberg, Springer Berlin, 2006. v. 3906, p. 222–233.

ROCHA, D. A. M.; GOLDBARG, E. F. G.; GOLDBARG, M. C. A new evolutionary algorithm for the bi-objective minimum spanning tree. In: *SDA'07 Seventh International Conference on Intelligent Systems Design and Applications, 2007, Rio de Janeiro. Proceedings of ISDA'07*. [S.l.]: IEEE Computer Society, 2007. v. 1, p. 735–740.

TAMIR, A. The k-centrum multi-facility location problem. *Discrete Applied Mathematics*, Elsevier, v. 109, n. 3, p. 293–307, 2001.

Apêndice A

Tabela 8: Média da taxa de sucesso dos operadores meméticos e outras estatísticas para instâncias *k-trimmed*

Instância	Correlated					Anticorrelated				
	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
30.1	0,09	0,02	0,20	7,67	1,17703E+06	0,08	0,01	0,12	6,47	1,17694E+06
30.2	0,05	0,01	0,14	7,57	1,17703E+06	0,09	0,01	0,13	7,53	1,17702E+06
30.3	0,04	0,01	0,16	9,00	1,17715E+06	0,09	0,01	0,18	8,03	1,17706E+06
35.1	0,05	0,02	0,09	6,80	1,17696E+06	0,05	0,01	0,09	7,67	1,17703E+06
35.2	0,06	0,01	0,12	8,47	1,17710E+06	0,09	0,01	0,13	8,10	1,17707E+06
35.3	0,08	0,01	0,16	8,17	1,17708E+06	0,07	0,02	0,17	8,83	1,17714E+06
40.1	0,03	0,01	0,08	9,00	1,17715E+06	0,11	0,02	0,11	8,20	1,17708E+06
40.2	0,04	0,01	0,11	8,60	1,17711E+06	0,09	0,02	0,17	7,17	1,17699E+06
40.3	0,09	0,02	0,16	8,57	1,17711E+06	0,05	0,01	0,15	8,60	1,17711E+06
45.1	0,10	0,01	0,09	7,47	1,17702E+06	0,11	0,02	0,10	6,67	1,17695E+06
45.2	0,09	0,02	0,15	8,07	1,17707E+06	0,10	0,01	0,15	7,00	1,17698E+06
45.3	0,03	0,02	0,14	8,83	1,17714E+06	0,04	0,01	0,15	8,70	1,17712E+06
50.1	0,09	0,02	0,16	6,80	1,17696E+06	0,10	0,02	0,16	7,13	1,17699E+06
50.2	0,03	0,02	0,09	9,00	1,17715E+06	0,05	0,01	0,10	8,13	1,17707E+06
50.3	0,03	0,01	0,14	8,03	1,17707E+06	0,05	0,01	0,15	8,80	1,17713E+06
100.1	0,11	0,02	0,13	6,77	1,17696E+06	0,10	0,02	0,06	6,03	1,17690E+06
100.2	0,04	0,02	0,09	9,00	1,17715E+06	0,11	0,02	0,09	7,03	1,17698E+06
100.3	0,05	0,01	0,12	8,57	1,17711E+06	0,09	0,01	0,13	8,07	1,17707E+06
200.1	0,03	0,01	0,05	9,00	1,17715E+06	0,10	0,02	0,06	3,90	1,17672E+06
200.2	0,10	0,01	0,10	7,07	1,17698E+06	0,10	0,02	0,07	6,03	1,17690E+06
200.3	0,04	0,01	0,09	7,80	1,17705E+06	0,04	0,02	0,09	8,50	1,17711E+06
300.1	0,11	0,01	0,11	6,03	1,17690E+06	0,11	0,02	0,11	3,73	1,17671E+06
300.2	0,10	0,02	0,09	5,40	1,17685E+06	0,11	0,02	0,07	6,97	1,17698E+06
300.3	0,09	0,01	0,09	8,03	1,17707E+06	0,10	0,02	0,08	6,47	1,17694E+06
400.1	0,03	0,01	0,04	9,00	1,17715E+06	0,11	0,01	0,05	4,23	1,17675E+06
400.2	0,11	0,01	0,06	5,43	1,17685E+06	0,11	0,02	0,06	6,67	1,17695E+06
400.3	0,09	0,01	0,08	7,47	1,17702E+06	0,10	0,01	0,08	6,40	1,17693E+06
500.1	0,03	0,01	0,05	9,00	1,17715E+06	0,11	0,02	0,11	5,43	1,17685E+06
500.2	0,03	0,01	0,05	9,00	1,17715E+06	0,10	0,02	0,06	6,83	1,17697E+06

Continua na próxima página

Tabela 8 – continuação da página anterior

Instância	Correlated					Anticorrelated				
	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
500.3	0,02	0,02	0,06	8,83	1,17714E+06	0,09	0,02	0,07	8,80	1,17713E+06
600.1	0,03	0,02	0,05	9,00	1,17715E+06	0,11	0,02	0,06	6,00	1,17690E+06
600.2	0,11	0,02	0,08	5,27	1,17684E+06	0,11	0,01	0,05	8,03	1,17707E+06
600.3	0,02	0,02	0,07	8,97	1,17715E+06	0,09	0,01	0,07	8,60	1,17712E+06
700.1	0,12	0,02	0,10	5,77	1,17688E+06	0,12	0,02	0,11	3,27	1,17667E+06
700.2	0,02	0,01	0,05	9,00	1,17715E+06	0,12	0,01	0,05	8,43	1,17710E+06
700.3	0,08	0,02	0,06	8,93	1,17714E+06	0,09	0,01	0,06	8,67	1,17712E+06
800.1	0,12	0,01	0,05	8,37	1,17709E+06	0,11	0,02	0,07	5,90	1,17689E+06
800.2	0,11	0,02	0,06	8,93	1,17714E+06	0,14	0,02	0,10	1,97	1,17656E+06
800.3	0,08	0,02	0,06	8,97	1,17715E+06	0,10	0,02	0,07	7,10	1,17699E+06
900.1	0,03	0,01	0,04	8,90	1,17714E+06	0,09	0,02	0,04	8,00	1,17706E+06
900.2	0,02	0,01	0,04	9,00	1,17715E+06	0,10	0,01	0,05	7,13	1,17699E+06
900.3	0,02	0,01	0,05	8,83	1,17714E+06	0,09	0,02	0,05	8,37	1,17709E+06
1000.1	0,11	0,02	0,08	6,63	1,17695E+06	0,11	0,02	0,05	1,90	1,17656E+06
1000.2	0,09	0,01	0,06	7,83	1,17705E+06	0,10	0,01	0,05	6,20	1,17692E+06
1000.3	0,02	0,01	0,05	8,87	1,17714E+06	0,12	0,02	0,06	5,70	1,17687E+06

Tabela 9: Média da taxa de sucesso dos operadores meméticos e outras estatísticas para instâncias *k-centrum*

Instância	Correlated					Anticorrelated				
	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
30.1	0,08	0,02	0,10	7,40	1,17701E+06	0,10	0,02	0,08	7,50	1,17702E+06
30.2	0,09	0,01	0,15	8,07	1,17707E+06	0,11	0,01	0,06	8,13	1,17707E+06
30.3	0,07	0,02	0,16	8,87	1,17714E+06	0,09	0,02	0,10	7,67	1,17703E+06
35.1	0,10	0,02	0,09	7,93	1,17706E+06	0,10	0,02	0,08	7,70	1,17704E+06
35.2	0,11	0,01	0,17	7,37	1,17701E+06	0,11	0,02	0,08	7,17	1,17699E+06

Continua na próxima página

Tabela 9 – continuação da página anterior

Instância	Correlated					Anticorrelated				
	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
35.3	0,03	0,01	0,16	9,00	1,17715E+06	0,07	0,12	0,36	6,10	1,17691E+06
40.1	0,11	0,02	0,12	7,40	1,17701E+06	0,13	0,02	0,07	7,37	1,17701E+06
40.2	0,10	0,02	0,18	6,77	1,17696E+06	0,11	0,02	0,07	7,00	1,17698E+06
40.3	0,03	0,02	0,16	9,00	1,17715E+06	0,07	0,10	0,31	6,07	1,17690E+06
45.1	0,11	0,02	0,18	7,33	1,17701E+06	0,13	0,03	0,14	5,53	1,17686E+06
45.2	0,03	0,01	0,09	8,80	1,17713E+06	0,07	0,09	0,32	4,23	1,17675E+06
45.3	0,06	0,01	0,13	8,77	1,17713E+06	0,04	0,01	0,12	8,83	1,17714E+06
50.1	0,11	0,02	0,17	7,20	1,17700E+06	0,10	0,04	0,23	5,93	1,17689E+06
50.2	0,05	0,01	0,09	7,93	1,17706E+06	0,08	0,02	0,06	8,57	1,17711E+06
50.3	0,08	0,01	0,14	8,07	1,17707E+06	0,05	0,02	0,09	8,10	1,17707E+06
100.1	0,13	0,02	0,10	5,60	1,17687E+06	0,14	0,02	0,05	4,77	1,17680E+06
100.2	0,12	0,02	0,13	6,10	1,17691E+06	0,06	0,12	0,39	2,03	1,17657E+06
100.3	0,03	0,01	0,12	8,67	1,17712E+06	0,04	0,02	0,08	8,47	1,17710E+06
200.1	0,13	0,01	0,05	6,37	1,17693E+06	0,15	0,03	0,11	2,87	1,17664E+06
200.2	0,13	0,02	0,11	5,77	1,17688E+06	0,11	0,02	0,05	7,30	1,17700E+06
200.3	0,05	0,02	0,09	8,83	1,17714E+06	0,13	0,02	0,05	7,03	1,17698E+06
300.1	0,08	0,01	0,05	8,63	1,17712E+06	0,12	0,01	0,04	7,87	1,17705E+06
300.2	0,13	0,02	0,07	4,77	1,17680E+06	0,14	0,02	0,05	4,23	1,17675E+06
300.3	0,08	0,02	0,08	8,53	1,17711E+06	0,11	0,01	0,05	8,30	1,17709E+06
400.1	0,12	0,02	0,13	4,77	1,17680E+06	0,13	0,02	0,04	7,17	1,17699E+06
400.2	0,07	0,01	0,06	8,97	1,17715E+06	0,10	0,01	0,04	8,37	1,17709E+06
400.3	0,04	0,01	0,06	9,00	1,17715E+06	0,07	0,02	0,05	8,87	1,17714E+06
500.1	0,09	0,01	0,05	8,13	1,17708E+06	0,14	0,02	0,05	6,07	1,17690E+06
500.2	0,12	0,02	0,06	7,60	1,17703E+06	0,13	0,02	0,06	6,50	1,17694E+06
500.3	0,13	0,01	0,08	6,23	1,17692E+06	0,09	0,22	0,52	2,17	1,17658E+06
600.1	0,11	0,02	0,05	7,93	1,17706E+06	0,13	0,05	0,24	2,37	1,17660E+06
600.2	0,08	0,01	0,05	8,97	1,17715E+06	0,15	0,02	0,05	3,70	1,17671E+06
600.3	0,05	0,01	0,07	9,00	1,17715E+06	0,13	0,01	0,05	7,37	1,17701E+06
700.1	0,11	0,01	0,05	8,30	1,17709E+06	0,18	0,02	0,09	2,13	1,17658E+06
700.2	0,14	0,02	0,11	3,03	1,17665E+06	0,12	0,01	0,04	8,73	1,17713E+06
700.3	0,06	0,02	0,06	9,00	1,17715E+06	0,12	0,01	0,04	8,80	1,17713E+06
800.1	0,13	0,03	0,14	4,77	1,17680E+06	0,13	0,02	0,05	7,70	1,17704E+06
800.2	0,07	0,02	0,06	9,00	1,17715E+06	0,13	0,02	0,05	6,37	1,17693E+06
800.3	0,06	0,02	0,06	9,00	1,17715E+06	0,13	0,02	0,05	7,67	1,17704E+06
900.1	0,14	0,02	0,07	3,07	1,17666E+06	0,13	0,04	0,23	2,10	1,17658E+06

Continua na próxima página

Tabela 9 – continuação da página anterior

Instância	Correlated					Anticorrelated				
	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
900.2	0,08	0,01	0,04	9,00	1,17715E+06	0,14	0,02	0,05	4,27	1,17676E+06
900.3	0,14	0,02	0,06	6,07	1,17690E+06	0,11	0,01	0,05	8,90	1,17714E+06
1000.1	0,11	0,01	0,04	8,87	1,17714E+06	0,19	0,03	0,09	1,50	1,17652E+06
1000.2	0,08	0,02	0,05	9,00	1,17715E+06	0,15	0,02	0,05	2,87	1,17664E+06
1000.3	0,13	0,02	0,06	5,07	1,17682E+06	0,12	0,02	0,04	7,57	1,17703E+06

Tabela 10: Média da taxa de sucesso dos operadores meméticos e outras estatísticas para instâncias *Hurwicz*

Instância	Correlated					Anticorrelated				
	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
30.1	0,10	0,01	0,21	7,80	1,17704E+06	0,09	0,05	0,27	7,07	1,17699E+06
30.2	0,09	0,02	0,19	7,90	1,17705E+06	0,09	0,03	0,19	7,73	1,17704E+06
30.3	0,07	0,02	0,16	8,97	1,17715E+06	0,08	0,02	0,14	8,10	1,17707E+06
35.1	0,10	0,02	0,21	6,53	1,17694E+06	0,09	0,02	0,21	7,20	1,17700E+06
35.2	0,09	0,02	0,19	7,13	1,17699E+06	0,09	0,02	0,16	7,13	1,17699E+06
35.3	0,08	0,01	0,17	8,40	1,17710E+06	0,07	0,02	0,09	8,13	1,17707E+06
40.1	0,09	0,02	0,21	6,90	1,17697E+06	0,11	0,02	0,20	7,17	1,17699E+06
40.2	0,10	0,01	0,21	7,27	1,17700E+06	0,10	0,02	0,15	6,93	1,17698E+06
40.3	0,07	0,01	0,16	7,60	1,17703E+06	0,08	0,02	0,08	8,27	1,17708E+06
45.1	0,10	0,02	0,20	6,83	1,17697E+06	0,11	0,01	0,16	7,03	1,17698E+06
45.2	0,10	0,01	0,18	7,40	1,17701E+06	0,13	0,02	0,12	6,20	1,17692E+06
45.3	0,09	0,02	0,16	8,70	1,17712E+06	0,07	0,15	0,42	4,00	1,17673E+06
50.1	0,10	0,02	0,19	7,63	1,17703E+06	0,12	0,03	0,18	6,23	1,17692E+06
50.2	0,12	0,02	0,18	7,97	1,17706E+06	0,09	0,06	0,25	5,33	1,17684E+06
50.3	0,10	0,01	0,16	7,70	1,17704E+06	0,07	0,14	0,45	4,67	1,17679E+06
100.1	0,10	0,03	0,19	5,77	1,17688E+06	0,10	0,03	0,18	5,87	1,17689E+06

Continua na próxima página

Tabela 10 – continuação da página anterior

Instância	Correlated					Anticorrelated				
	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do crossover	Média da taxa de sucesso da mutação	Média da taxa de sucesso do SA	Média da quantidade de renovações da população	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
100.2	0,14	0,01	0,14	7,37	1,17701E+06	0,08	0,11	0,36	2,23	1,17659E+06
100.3	0,10	0,01	0,15	8,30	1,17709E+06	0,06	0,17	0,53	3,97	1,17673E+06
200.1	0,16	0,01	0,14	4,73	1,17679E+06	0,12	0,05	0,23	4,90	1,17681E+06
200.2	0,14	0,02	0,13	5,50	1,17686E+06	0,15	0,02	0,10	4,57	1,17678E+06
200.3	0,12	0,01	0,11	7,37	1,17701E+06	0,09	0,15	0,42	4,27	1,17675E+06
300.1	0,12	0,02	0,16	4,50	1,17678E+06	0,16	0,02	0,13	3,47	1,17669E+06
300.2	0,15	0,02	0,12	4,43	1,17677E+06	0,10	0,06	0,19	4,00	1,17673E+06
300.3	0,12	0,02	0,09	6,27	1,17692E+06	0,13	0,02	0,09	6,73	1,17696E+06
400.1	0,14	0,01	0,14	3,53	1,17669E+06	0,16	0,02	0,12	3,87	1,17672E+06
400.2	0,17	0,01	0,09	5,17	1,17683E+06	0,15	0,02	0,09	3,90	1,17672E+06
400.3	0,13	0,02	0,09	7,20	1,17700E+06	0,11	0,13	0,41	5,50	1,17686E+06
500.1	0,16	0,02	0,12	4,20	1,17675E+06	0,17	0,02	0,11	3,60	1,17670E+06
500.2	0,17	0,02	0,11	2,83	1,17664E+06	0,08	0,14	0,43	1,73	1,17654E+06
500.3	0,15	0,02	0,08	6,13	1,17691E+06	0,08	0,17	0,49	3,53	1,17669E+06
600.1	0,12	0,02	0,16	2,87	1,17664E+06	0,18	0,02	0,11	4,33	1,17676E+06
600.2	0,13	0,02	0,11	6,27	1,17692E+06	0,18	0,02	0,07	2,77	1,17663E+06
600.3	0,16	0,02	0,07	5,47	1,17685E+06	0,09	0,17	0,49	4,53	1,17678E+06
700.1	0,11	0,02	0,19	1,27	1,17651E+06	0,13	0,04	0,19	4,30	1,17676E+06
700.2	0,13	0,02	0,11	3,27	1,17667E+06	0,19	0,02	0,08	2,77	1,17663E+06
700.3	0,16	0,02	0,07	6,70	1,17696E+06	0,15	0,03	0,08	6,17	1,17691E+06
800.1	0,13	0,04	0,16	5,07	1,17682E+06	0,13	0,06	0,25	2,70	1,17662E+06
800.2	0,14	0,02	0,13	3,43	1,17669E+06	0,17	0,02	0,08	3,93	1,17673E+06
800.3	0,14	0,01	0,07	7,30	1,17701E+06	0,16	0,03	0,07	5,97	1,17690E+06
900.1	0,17	0,02	0,12	2,80	1,17663E+06	0,13	0,05	0,25	3,73	1,17671E+06
900.2	0,12	0,01	0,09	6,07	1,17690E+06	0,19	0,02	0,08	2,57	1,17661E+06
900.3	0,16	0,01	0,06	6,43	1,17693E+06	0,15	0,03	0,07	5,60	1,17687E+06
1000.1	0,14	0,02	0,14	4,10	1,17674E+06	0,17	0,03	0,12	3,30	1,17667E+06
1000.2	0,13	0,02	0,11	4,47	1,17677E+06	0,13	0,05	0,15	4,37	1,17676E+06
1000.3	0,16	0,02	0,06	5,67	1,17687E+06	0,10	0,16	0,48	4,30	1,17676E+06

Tabela 11: Média da taxa de sucesso dos operadores transgenéticos e outras estatísticas para instâncias k -trimmed

Instância	Correlated						Anticorrelated						Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans		
30.1	0,03	0,13	0,04	0,02	0,09	543116,00	0,08	0,22	0,07	0,03	0,06	540018,00	
30.2	0,05	0,19	0,03	0,03	0,02	552846,00	0,04	0,13	0,05	0,02	0,03	525887,00	
30.3	0,01	0,02	0,00	0,03	0,00	540830,00	0,05	0,13	0,04	0,02	0,02	536759,00	
35.1	0,05	0,19	0,05	0,03	0,01	533651,00	0,05	0,19	0,05	0,03	0,03	530042,00	
35.2	0,06	0,14	0,04	0,02	0,00	541416,00	0,06	0,17	0,05	0,03	0,01	544934,00	
35.3	0,05	0,09	0,03	0,02	0,00	542875,00	0,02	0,10	0,01	0,03	0,00	547220,00	
40.1	0,02	0,02	0,01	0,03	0,00	547955,00	0,03	0,16	0,06	0,03	0,04	544264,00	
40.2	0,04	0,10	0,04	0,03	0,01	554530,00	0,03	0,11	0,03	0,02	0,06	547389,00	
40.3	0,05	0,12	0,01	0,02	0,00	548533,00	0,04	0,14	0,02	0,03	0,00	542179,00	
45.1	0,04	0,13	0,05	0,03	0,03	551178,00	0,04	0,19	0,07	0,02	0,06	543696,00	
45.2	0,02	0,08	0,04	0,03	0,03	543873,00	0,04	0,13	0,05	0,02	0,08	535030,00	
45.3	0,01	0,06	0,00	0,03	0,00	550327,00	0,03	0,07	0,01	0,04	0,00	547866,00	
50.1	0,03	0,09	0,03	0,02	0,11	545210,00	0,02	0,15	0,07	0,03	0,11	541066,00	
50.2	0,02	0,06	0,00	0,03	0,00	555021,00	0,06	0,22	0,05	0,03	0,01	540262,00	
50.3	0,04	0,12	0,02	0,03	0,00	540226,00	0,03	0,12	0,03	0,03	0,00	554177,00	
100.1	0,03	0,18	0,06	0,03	0,09	541406,00	0,07	0,28	0,07	0,04	0,02	534811,00	
100.2	0,01	0,03	0,00	0,04	0,00	555784,00	0,04	0,23	0,08	0,03	0,02	531611,00	
100.3	0,04	0,18	0,01	0,03	0,00	524457,00	0,04	0,14	0,04	0,03	0,01	528535,00	
200.1	0,02	0,04	0,01	0,04	0,00	541839,00	0,08	0,35	0,07	0,03	0,02	517940,00	
200.2	0,03	0,18	0,06	0,03	0,04	532344,00	0,04	0,26	0,07	0,03	0,02	547249,00	
200.3	0,02	0,15	0,03	0,04	0,00	545198,00	0,04	0,32	0,03	0,04	0,00	532624,00	
300.1	0,03	0,23	0,05	0,03	0,09	537562,00	0,03	0,24	0,07	0,03	0,13	541357,00	
300.2	0,03	0,24	0,06	0,03	0,05	549243,00	0,04	0,32	0,09	0,03	0,01	552159,00	
300.3	0,03	0,13	0,02	0,04	0,01	548398,00	0,05	0,26	0,07	0,04	0,00	552137,00	
400.1	0,02	0,06	0,01	0,05	0,00	539286,00	0,06	0,40	0,07	0,04	0,01	525208,00	
400.2	0,04	0,34	0,09	0,03	0,01	515881,00	0,04	0,30	0,07	0,03	0,01	542481,00	
400.3	0,04	0,17	0,04	0,04	0,01	542060,00	0,04	0,22	0,05	0,03	0,01	554721,00	
500.1	0,02	0,05	0,01	0,04	0,00	539460,00	0,04	0,26	0,07	0,03	0,14	539674,00	
500.2	0,02	0,07	0,01	0,05	0,00	536450,00	0,04	0,30	0,09	0,03	0,01	538859,00	
500.3	0,02	0,05	0,00	0,05	0,00	530306,00	0,03	0,24	0,06	0,04	0,00	538121,00	
600.1	0,02	0,08	0,01	0,04	0,00	541832,00	0,04	0,35	0,12	0,03	0,02	537195,00	
600.2	0,03	0,25	0,09	0,04	0,03	533367,00	0,06	0,44	0,11	0,04	0,00	546792,00	
600.3	0,01	0,05	0,00	0,05	0,00	526371,00	0,03	0,29	0,05	0,03	0,00	534233,00	
Continua na próxima página													

Continua na próxima página

Tabela 11 – continuação da página anterior

Instância	Correlated						Anticorrelated					
	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
700.1	0,04	0,30	0,07	0,03	0,08	530373,00	0,04	0,30	0,08	0,02	0,16	537972,00
700.2	0,02	0,06	0,01	0,05	0,00	542570,00	0,05	0,44	0,10	0,04	0,00	534778,00
700.3	0,03	0,35	0,03	0,04	0,00	532870,00	0,03	0,28	0,03	0,03	0,00	527932,00
800.1	0,04	0,45	0,10	0,03	0,01	537792,00	0,04	0,36	0,13	0,03	0,02	538102,00
800.2	0,04	0,39	0,06	0,04	0,00	522069,00	0,05	0,42	0,12	0,03	0,08	535909,00
800.3	0,04	0,37	0,02	0,04	0,00	538017,00	0,04	0,39	0,09	0,03	0,01	530013,00
900.1	0,02	0,07	0,02	0,04	0,00	543597,00	0,04	0,31	0,10	0,04	0,02	539141,00
900.2	0,02	0,06	0,01	0,05	0,00	524872,00	0,04	0,39	0,09	0,03	0,01	521761,00
900.3	0,02	0,06	0,00	0,05	0,00	532521,00	0,04	0,36	0,05	0,04	0,00	537021,00
1000.1	0,03	0,28	0,08	0,03	0,05	517521,00	0,06	0,48	0,07	0,03	0,01	545412,00
1000.2	0,03	0,26	0,06	0,03	0,02	528250,00	0,05	0,34	0,09	0,04	0,01	533351,00
1000.3	0,02	0,06	0,00	0,05	0,00	533946,00	0,05	0,42	0,09	0,03	0,01	528454,00

Tabela 12: Média da taxa de sucesso dos operadores transgenéticos e outras estatísticas para instâncias *k-centrum*

Instância	Correlated						Anticorrelated					
	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
30.1	0,07	0,21	0,05	0,03	0,02	562807,00	0,06	0,24	0,09	0,03	0,03	543204,00
30.2	0,05	0,13	0,04	0,02	0,03	533518,00	0,04	0,19	0,10	0,02	0,01	544127,00
30.3	0,02	0,06	0,02	0,02	0,00	530738,00	0,05	0,15	0,05	0,02	0,01	530021,00
35.1	0,05	0,23	0,06	0,02	0,03	526760,00	0,04	0,23	0,08	0,03	0,03	528909,00
35.2	0,06	0,17	0,07	0,01	0,09	528639,00	0,05	0,21	0,09	0,01	0,02	539982,00
35.3	0,01	0,06	0,00	0,03	0,00	559802,00	0,02	0,03	0,03	0,00	0,19	550825,00
40.1	0,04	0,21	0,08	0,02	0,07	555256,00	0,05	0,27	0,10	0,03	0,05	539032,00
40.2	0,07	0,17	0,06	0,01	0,12	558853,00	0,05	0,23	0,08	0,02	0,03	541597,00
40.3	0,02	0,07	0,00	0,04	0,00	550319,00	0,02	0,04	0,04	0,00	0,19	559579,00

Continua na próxima página

Tabela 12 – continuação da página anterior

Instância	Correlated						Anticorrelated					
	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
45.1	0,04	0,16	0,05	0,02	0,18	558246,00	0,05	0,23	0,11	0,01	0,17	546330,00
45.2	0,04	0,19	0,02	0,03	0,00	532454,00	0,02	0,05	0,04	0,00	0,27	522614,00
45.3	0,03	0,10	0,01	0,03	0,00	533110,00	0,02	0,07	0,01	0,04	0,00	553803,00
50.1	0,04	0,20	0,07	0,02	0,18	555283,00	0,04	0,14	0,07	0,01	0,29	541813,00
50.2	0,05	0,25	0,05	0,04	0,00	551138,00	0,05	0,24	0,06	0,03	0,00	548198,00
50.3	0,06	0,20	0,04	0,02	0,01	562631,00	0,04	0,16	0,04	0,03	0,00	550750,00
100.1	0,05	0,34	0,10	0,02	0,07	536387,00	0,05	0,37	0,19	0,03	0,03	548488,00
100.2	0,07	0,28	0,09	0,02	0,12	528671,00	0,02	0,07	0,05	0,01	0,36	540693,00
100.3	0,04	0,18	0,01	0,05	0,00	539377,00	0,04	0,24	0,02	0,04	0,00	543369,00
200.1	0,05	0,38	0,11	0,03	0,01	525246,00	0,05	0,41	0,22	0,02	0,18	525432,00
200.2	0,06	0,35	0,14	0,02	0,11	559293,00	0,05	0,35	0,11	0,03	0,00	544913,00
200.3	0,04	0,28	0,02	0,04	0,00	539102,00	0,06	0,36	0,09	0,02	0,00	546524,00
300.1	0,04	0,37	0,06	0,04	0,00	525820,00	0,05	0,39	0,13	0,04	0,00	550828,00
300.2	0,05	0,42	0,14	0,03	0,04	533349,00	0,05	0,42	0,19	0,02	0,03	527949,00
300.3	0,04	0,35	0,03	0,04	0,00	525397,00	0,06	0,37	0,07	0,03	0,00	540559,00
400.1	0,05	0,38	0,13	0,02	0,24	524599,00	0,05	0,45	0,15	0,04	0,00	543309,00
400.2	0,05	0,33	0,03	0,04	0,00	531257,00	0,05	0,37	0,08	0,04	0,00	526882,00
400.3	0,03	0,33	0,01	0,04	0,00	551070,00	0,04	0,37	0,05	0,04	0,00	540453,00
500.1	0,04	0,36	0,05	0,04	0,00	531098,00	0,04	0,45	0,22	0,03	0,02	534820,00
500.2	0,05	0,43	0,08	0,03	0,00	526683,00	0,04	0,44	0,18	0,03	0,02	537771,00
500.3	0,06	0,40	0,12	0,03	0,02	531769,00	0,03	0,11	0,08	0,00	0,46	543340,00
600.1	0,05	0,43	0,12	0,03	0,01	545957,00	0,05	0,38	0,21	0,01	0,55	530460,00
600.2	0,05	0,39	0,02	0,04	0,00	538022,00	0,05	0,46	0,21	0,03	0,03	540054,00
600.3	0,03	0,36	0,01	0,04	0,00	550988,00	0,05	0,45	0,13	0,02	0,00	542526,00
700.1	0,04	0,44	0,11	0,03	0,01	527011,00	0,06	0,52	0,28	0,02	0,14	542205,00
700.2	0,05	0,45	0,16	0,02	0,14	539689,00	0,06	0,43	0,10	0,04	0,00	534628,00
700.3	0,03	0,36	0,01	0,04	0,00	535971,00	0,05	0,42	0,08	0,03	0,00	546649,00
800.1	0,05	0,41	0,17	0,03	0,23	526167,00	0,05	0,45	0,18	0,03	0,01	532412,00
800.2	0,04	0,40	0,03	0,04	0,00	538245,00	0,05	0,47	0,14	0,03	0,00	534388,00
800.3	0,03	0,36	0,01	0,05	0,00	540487,00	0,05	0,46	0,11	0,03	0,00	541452,00
900.1	0,05	0,48	0,19	0,03	0,06	537590,00	0,05	0,41	0,23	0,01	0,58	521526,00
900.2	0,05	0,38	0,03	0,04	0,00	540860,00	0,05	0,48	0,19	0,03	0,02	539878,00
900.3	0,05	0,45	0,14	0,02	0,02	523744,00	0,04	0,44	0,08	0,03	0,00	545425,00
1000.1	0,05	0,43	0,11	0,03	0,00	537972,00	0,06	0,53	0,28	0,02	0,14	540868,00
1000.2	0,04	0,42	0,03	0,04	0,00	518060,00	0,05	0,49	0,21	0,02	0,02	542242,00

Continua na próxima página

Tabela 12 – continuação da página anterior

Instância	Correlated						Anticorrelated					
	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
1000.3	0,05	0,45	0,14	0,03	0,02	505669,00	0,05	0,48	0,15	0,02	0,00	544104,00

Tabela 13: Média da taxa de sucesso dos operadores transgenéticos e outras estatísticas para instâncias *Hurwicz*

Instância	Correlated					Anticorrelated						
	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
30.1	0,05	0,17	0,06	0,02	0,09	542369,00	0,02	0,07	0,04	0,01	0,25	538183,00
30.2	0,05	0,14	0,03	0,02	0,04	542880,00	0,02	0,22	0,06	0,04	0,04	537510,00
30.3	0,02	0,05	0,03	0,02	0,00	537829,00	0,02	0,18	0,07	0,04	0,02	532173,00
35.1	0,05	0,15	0,06	0,01	0,17	539516,00	0,02	0,22	0,09	0,03	0,11	540109,00
35.2	0,06	0,16	0,06	0,02	0,07	540653,00	0,02	0,22	0,10	0,03	0,07	535688,00
35.3	0,06	0,10	0,03	0,02	0,00	547511,00	0,02	0,15	0,04	0,04	0,01	529340,00
40.1	0,05	0,16	0,05	0,02	0,18	551236,00	0,03	0,28	0,11	0,03	0,10	558193,00
40.2	0,08	0,17	0,06	0,01	0,10	547186,00	0,02	0,25	0,10	0,03	0,05	541730,00
40.3	0,07	0,14	0,03	0,02	0,01	573963,00	0,02	0,14	0,06	0,04	0,00	537700,00
45.1	0,05	0,17	0,06	0,02	0,18	544152,00	0,03	0,22	0,08	0,03	0,10	549415,00
45.2	0,07	0,18	0,06	0,02	0,09	544484,00	0,03	0,27	0,14	0,02	0,09	541648,00
45.3	0,04	0,13	0,01	0,03	0,00	542887,00	0,02	0,04	0,04	0,00	0,24	545184,00
50.1	0,05	0,18	0,06	0,03	0,17	533055,00	0,03	0,23	0,12	0,02	0,17	530726,00
50.2	0,05	0,27	0,09	0,03	0,04	538461,00	0,03	0,07	0,04	0,02	0,23	552772,00
50.3	0,05	0,21	0,04	0,02	0,01	547472,00	0,02	0,04	0,04	0,00	0,24	533564,00
100.1	0,06	0,24	0,08	0,02	0,22	545206,00	0,03	0,18	0,08	0,03	0,29	523342,00
100.2	0,06	0,36	0,15	0,02	0,04	543884,00	0,03	0,08	0,05	0,01	0,34	537699,00
100.3	0,04	0,23	0,03	0,04	0,00	541276,00	0,02	0,03	0,04	0,00	0,27	541650,00
200.1	0,04	0,39	0,20	0,03	0,10	531537,00	0,05	0,26	0,13	0,02	0,45	547799,00
200.2	0,06	0,34	0,11	0,03	0,10	518541,00	0,02	0,38	0,21	0,03	0,07	530851,00
Continua na próxima página												

Tabela 13 – continuação da página anterior

Instância	Correlated						Anticorrelated					
	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado	Média da taxa de sucesso do plas1	Média da taxa de sucesso do plas2	Média da taxa de sucesso do plas3	Média da taxa de sucesso do primTrans	Média da taxa de sucesso do SA_Trans	Média da quantidade de vezes em que o fitness foi avaliado
200.3	0,06	0,31	0,08	0,03	0,02	521784,00	0,03	0,09	0,09	0,01	0,38	541162,00
300.1	0,05	0,31	0,10	0,02	0,25	530907,00	0,03	0,40	0,24	0,02	0,12	523166,00
300.2	0,07	0,40	0,14	0,02	0,08	549750,00	0,03	0,14	0,06	0,03	0,29	543223,00
300.3	0,07	0,34	0,10	0,03	0,03	533193,00	0,02	0,38	0,19	0,04	0,01	531725,00
400.1	0,05	0,39	0,13	0,03	0,19	538901,00	0,03	0,44	0,25	0,02	0,21	548518,00
400.2	0,05	0,43	0,21	0,02	0,06	523836,00	0,02	0,42	0,25	0,03	0,05	538670,00
400.3	0,06	0,37	0,11	0,03	0,03	544347,00	0,03	0,12	0,11	0,00	0,42	528497,00
500.1	0,03	0,41	0,17	0,03	0,17	541648,00	0,03	0,44	0,28	0,02	0,13	539172,00
500.2	0,06	0,46	0,18	0,02	0,09	540861,00	0,04	0,19	0,10	0,01	0,48	550088,00
500.3	0,05	0,42	0,10	0,03	0,00	531018,00	0,03	0,09	0,08	0,00	0,37	552547,00
600.1	0,04	0,37	0,13	0,03	0,23	536566,00	0,03	0,48	0,28	0,02	0,18	530051,00
600.2	0,05	0,38	0,17	0,03	0,16	540893,00	0,03	0,47	0,30	0,02	0,09	537646,00
600.3	0,06	0,45	0,11	0,02	0,01	521960,00	0,04	0,09	0,09	0,00	0,37	535699,00
700.1	0,04	0,35	0,10	0,02	0,34	542900,00	0,05	0,34	0,21	0,02	0,43	527305,00
700.2	0,06	0,41	0,16	0,03	0,14	536625,00	0,03	0,48	0,31	0,02	0,09	537737,00
700.3	0,06	0,46	0,11	0,02	0,01	522820,00	0,02	0,39	0,24	0,04	0,01	518050,00
800.1	0,04	0,37	0,13	0,03	0,24	536933,00	0,08	0,37	0,22	0,02	0,56	532042,00
800.2	0,06	0,41	0,14	0,02	0,18	547189,00	0,02	0,45	0,27	0,03	0,05	552299,00
800.3	0,05	0,40	0,13	0,03	0,03	548290,00	0,02	0,40	0,23	0,04	0,01	535835,00
900.1	0,04	0,42	0,21	0,03	0,18	520839,00	0,07	0,38	0,22	0,02	0,57	536049,00
900.2	0,05	0,39	0,17	0,03	0,11	529461,00	0,03	0,49	0,34	0,02	0,09	530920,00
900.3	0,05	0,47	0,10	0,02	0,01	545092,00	0,02	0,38	0,26	0,03	0,01	515384,00
1000.1	0,04	0,41	0,12	0,03	0,24	530066,00	0,03	0,48	0,31	0,02	0,24	515104,00
1000.2	0,05	0,41	0,14	0,03	0,17	529610,00	0,03	0,20	0,12	0,02	0,31	551204,00
1000.3	0,06	0,48	0,13	0,02	0,01	533220,00	0,04	0,10	0,10	0,00	0,37	533502,00