Projecto Óptimo de Ligações em Estruturas Metálicas segundo o Eurocódigo 3

Bernardo Carneiro Leão Relvas

Dissertação

Orientador na FEUP: Prof. Carlos Conceição António

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Junho 2009

Aos meus pais, Anselmo e Rita.

Resumo

Neste trabalho estudam-se detalhadamente os métodos de imputação dos custos ao projecto de ligações estruturais. Trata-se o problema do projecto óptimo de ligações estruturais não só com o objectivo de minimizar o peso mas também com o de minimizar os custos inerentes às ligações dos elementos estruturais, cumprindo as restrições geométricas e de integridade estrutural. Assim, são estudados dois tipos de ligações estruturais: Ligações topo a topo por cobrejuntas aparafusadas e Ligações viga - coluna soldadas. Com vista à obtenção do menor custo da ligação respeitando as restrições geométricas e de integridade estrutural impostas pela regulamentação em vigor – Eurocódigo 3 (EC3) e REAPE – recorre-se a um Algoritmo Genético.

Na parte da Ligação Aparafusada topo a topo por cobrejuntas apresenta-se a definição teórica para a ligação simétrica entre perfis iguais incluindo as restrições previstas no EC3. Estuda-se a interacção entre o custo da ligação e o valor das restrições violadas com o intuito de se classificarem e ordenarem as soluções candidatas a óptimas em termos de mérito melhorando assim o método de pesquisa das soluções óptimas de projecto. O valor total das restrições violadas de uma solução associado à respectiva constante de ponderação, constitui o termo restritivo da função de mérito. Neste trabalho "optimizam-se" as constantes de ponderação de cada termo restritivo para os perfis HEA 400, HEA 360, HEA 340, HEA 320 e HEA 300, e conclui-se que as constantes variam dentro da mesma ordem de grandeza e que a afinação da função de mérito através do peso do termo restritivo provoca uma melhoria generalizada no que diz respeito à obtenção de soluções óptimas mais baratas.

No âmbito das ligações viga-coluna aborda-se o caso específico das ligações rígidas. Apresenta-se a formulação teórica do problema de optimização inspirada na "*Recommandation ISO R 617"* para o caso da soldadura na ligação viga – coluna. Analisa-se a influência do tipo de carregamento nas soluções de projecto óptimo. Para o efeito estuda-se o domínio de valores dos esforços aplicados pelo "Uniform Design Method (UDM)". Resolvem-se alguns exemplos, cujas respectivas soluções óptimas são obtidas pelo Algoritmo Genético utilizado na primeira parte do trabalho.

Optimal Design of Connections in Metallic Structures

Abstract

The aim of this work is to make a detailed study about how to establish the costs on projects of structural connections. Regarding the problem of structural connections, we'll try to minimize its weight but also the costs of the structural elements connections, within its geometric constraints and structural integrity. Therefore, two types of structural connections are studied: bolted plate connections and beam to column welded connections. In order to obtain the cheapest connection within geometrical constraints and structural integrity following the standard rule – Eurocode 3 and REAPE standards –a Genetic Algorithm will be used.

Considering the bolted plate connection, the theoretical definition is used to symmetrical connections between two identical steel sections including the EC3 constraints. One must study the interaction between connection cost and the value of the violated constraints in order to establish a classification and rank the best solutions, by fitness, this way improving the search for the optimal project solutions. The total value of the violated constraints in a solution times the weighting constant is the constraint term of the fitness function. The weighting constants of each constraint term are "optimized" in this work for HEA 400, HEA 360, HEA 340, HEA 320 and HEA 300 profiles and one must conclude that these constants vary within the same order of magnitude and that the tuning of the fitness function through the weight of the constraint term will induce an altogether improvement in terms of getting cheaper optimal solutions.

In respect to beam-to-column connections the specific case of rigid connections is studied. The theoretical formulation of the problem of optimization inspired in the "Recommendation ISO R 617" is presented for the case of the welding in the case of beam-to-column connection. The influence of the type of loading in the solutions of best project is analyzed. So the worthy domain of the efforts applied generated by the "Uniform Design Method (UDM)" is studied. Some examples are solved, whose respective optimal solutions are obtained by the Genetic Algorithm used in the first part of this work.

Agradecimentos

Ao Exmo. Professor Doutor Carlos Conceição António presto a minha gratidão e o mais profundo reconhecimento das suas capacidades ímpares de pedagogia e do vasto conhecimento, de elevada qualidade, do universo da problemática multidisciplinar estudada nesta Tese.

Gostaria de expressar também o meu agradecimento ao Sr. João Ferreira da empresa INTEC, Lda. pelo apoio prestado aquando da construção da base de dados de aparafusaria e também à Sra. Ulrike Schmitz da empresa CarboWeld pela total disponibilidade e pelos esclarecimentos prestados no que toca à escolha dos materiais de soldadura.

Esta Tese não seria possível sem a assistência dos meus pais. Esta Tese também é deles e dos meus irmãos e dos meus amigos colegas de curso, sendo que todos me apoiaram e ajudaram sempre que precisei de tirar dúvidas sobre os temas mais básicos aos mais evoluídos. Muito Obrigado a todos por isso.

O autor agradece o apoio concedido pelo IDMEC – Instituto de Engenharia Mecânica. Pólo FEUP, através da Unidade de Métodos Numéricos em Mecânica e Engenharia Estrutural.

Índice de Conteúdos

1. Introdução…….…1
   1.1. Enquadramento e Objectivos da Tese……..1
   1.2. Organização da Tese……...2

2. Resenha Bibliográfica…….…...5
   2.1. Projecto Óptimo de Ligações Aparafusadas…….…...5
   2.2. Projecto Óptimo de Ligações Soldadas…….…...6

3. Ligações Aparafusadas: Definição do Problema……...11
   3.1. Introdução……....11
   3.2. Variáveis de Projecto……..12
   3.3. Restrições Geométricas……13
   3.4. Restrições de Integridade Estrutural……16
      3.4.1. Definição dos esforços……16
      3.4.2. Resistência ao corte dos parafusos……..19
      3.4.3. Resistência ao esmagamento……20
      3.4.4. Tracção da Cobrejunta……20
      3.4.5. Compressão da Cobrejunta……21
      3.4.6. Cobrejunta da Alma Sujeita a Flexão……22
   3.5. Função Objectivo……25

4. Projecto Óptimo de Ligações Aparafusadas……27
   4.1. Formulação do Problema de Optimização……..27
   4.2. Algoritmo de Optimização……..27
      4.2.1. Introdução……27
      4.2.2. Definição da Função de Mérito……..28
      4.2.3. Codificação das variáveis……...29
      4.2.4. Operadores do Algoritmo Genético……...…29
      4.2.5. Programação do Algoritmo de Optimização……32

5. . Exemplos de Aplicação de Projecto Óptimo de Ligações Aparafusadas...33
   5.1. Introdução……33
   5.2. Base de Dados……33
   5.3. Estudo da Influência da Penalização da Violação das Restrições

na Definição da Função de Mérito…….36
5.4. Afinação das Constantes da Função de Mérito…….37
5.4.1. Introdução……..37
5.4.2. Ligação topo a topo entre 2 perfis HEA 400……39
5.4.3. Ligação topo a topo entre 2 perfis HEA 360……46
5.4.4. Ligação topo a topo entre 2 perfis HEA 340……47
5.4.5. Ligação topo a topo entre 2 perfis HEA 320……48
5.4.6. Ligação topo a topo entre 2 perfis HEA 300……49
5.5. Resultados do Projecto Óptimo……50

6. Projecto Óptimo de Juntas Soldadas……..53
6.1. Introdução……53
6.2. Dimensionamento de Juntas Soldadas……...54
6.3. Ligação rígida viga-pilar……59
6.4. Custos e Processos de Fabrico……60
6.5. Definição e Formulação do Problema de Optimização……61
6.5.1. Introdução……..61
6.5.2. Definição das Variáveis de Projecto……62
6.5.3. Restrições Geométricas……..63
6.5.4. Restrições de Integridade Estrutural……63
6.5.5. Função de Custo da Soldadura……64
6.5.6. Formulação do problema de optimização……68

7. Projecto Óptimo de Ligações Soldadas: Aplicações……..71
7.1. Introdução……71
7.2. Ficheiro de Entrada de Dados……..71
7.2.1. Solicitação……72
7.2.2. Propriedades Mecânicas e Geométricas dos Elementos……..72
7.2.3. Parâmetros da Função de Custo……..72
7.2.4. Gama de Valores das Variáveis de Projecto……...73
7.2.5. Propriedades do Material a Depositar……..73
7.3. Exemplos de Aplicação……74
7.3.1. Simulação dos Esforços Aplicados pelo
"Uniform Design Method"…….....……..74

7.3.2. Resultados de Projecto Óptimo……76

8. Conclusões e Perspectivas de Trabalho Futuro……81

8.1. Conclusões……..81

8.2. Perspectivas de Trabalho Futuro……81

9. Referências……85

ANEXO A: Dados de Entrada do Programa……89

ANEXO B: Resultados dos Varrimentos, HEA 400……91

ANEXO C: Custos Vs. Restrições Violadas, HEA 400……..93

ANEXO D: As melhores soluções para a ligação de perfis HEA 400……..96

ANEXO E: Evolução do Melhor e Pior Mérito da Elite……102

ANEXO F: Biblioteca do Programa I……..…131

ANEXO G: Biblioteca do Programa II……....132

ANEXO H: Resultados obtidos durante a afinação da função de mérito para perfis HEA 360……..139

ANEXO I: Resultados obtidos durante a afinação da função de mérito para perfis HEA 340……140

ANEXO J: Valores admitidos para as variáveis de projecto para o perfil HEA 400……141

ANEXO K: Tabelas de referência do "Uniform Design Method (UDM)"…...…142

ANEXO L: Propriedades dos Eléctrodos……...144

Nomenclatura

a_1	Espessura dos cordões de soldadura dos banzos
a_2	Espessura dos cordões de soldadura da alma
$A^{(1)}{}_{net}$	Área útil da secção transversal da cobrejunta de banzo
$A^{(2)}{}_{v}$	Área bruta ao corte
$A^{(2)}{}_{v,net}$	Área útil ao corte
$A^{(k)}{}_{s}$	Área de corte de cada parafuso da cobrejunta **k**
A_f	Área da secção transversal do banzo
$A_{f,net}$	Área útil da secção transversal do banzo
b	Largura do banzo do perfil
C	Custo total da ligação soldada
$C_c{}^{(k)}$	Custo da cobrejunta **k**
$C_{maq}{}^{(k)}$	Custo de fabrico da cobrejunta **k**
c_p	Calor específico a pressão constante do material do eléctrodo
$C_p{}^{(k)}$	Custo do conjunto parafuso/anilhas/porca da cobrejunta **k**
$C_{weld,manufact}$	Custo de produção da ligação soldada
$C_{weld,mat}$	Custo associado aos consumíveis da ligação soldada
$d^{(k)}$	Diâmetro do parafuso da cobrejunta **k**
$d_0{}^{(k)}$	Diâmetro do furo da cobrejunta **k**
$e_1{}^{(k)}$	Distância da 1ª coluna de parafusos da cobrejunta **k**
$e_2{}^{(k)}$	Distância da 1ª linha de parafusos da cobrejunta **k**
$F^{(1)}{}_{V,Sd}{}^{1}$	Esforço de corte por parafuso do banzo superior
$F^{(1)}{}_{V,Sd}{}^{2}$	Esforço de corte por parafuso do banzo inferior
$f^{(1)}{}_{y}$	Tensão de cedência da cobrejunta de banzo

$F^{(2)}{}_{V,Sd}{}^{3}$	R_{max} segundo o Eurocódigo
$f^{(2)}{}_{y}$	Tensão de cedência da cobrejunta da alma
$F^{(k)}{}_{b,Rd}$	Resistência ao esmagamento da cobrejunta **k**
$f^{(k)}{}_{ub}$	Tensão de rotura à tracção do material do parafuso da cobrejunta **k**
$F^{(k)}{}_{V,Rd}$	Resistência do parafuso ao corte por plano de corte
f_i	Factor para determinar H_{max}
$f_p{}^{(k)}$	Folga entre o diâmetro do parafuso e o furo da cobrejunta **k**
f_u	Tensão de rotura à tracção do material do perfil
f_{weld}	Coeficiente da facilidade de execução da soldadura
f_y	Tensão de cedência do material do perfil
$g_i{}^{(k)}$	Restrição geométrica da cobrejunta **k**
h	Altura do perfil
$h_c{}^{(k)}$	Altura da cobrejunta **k**
H_{max}	Esforço de corte por parafuso da alma provocado por $M_{w,x,Sd}$ e por N_{xSd}
I_z	Momento de inércia do perfil segundo o eixo dos zz
K_0	Constante da Função de Mérito
K_1	Constante de ponderação do termo do custo
K_2	Constante de ponderação do termo restritivo
k_{weld}	Factor associado ao custo de trabalho num processo de soldadura
L_1	Comprimento dos cordões de soldadura dos banzos
L_2	Comprimento dos cordões de soldadura da alma
$L^{(1)}{}_{j}$	Distância máxima entre colunas da cobrejunta da cobrejunta de banzo
M	Momento flector que solicita a ligação soldada

$m_c^{(k)}$	Tensões de rotura à tracção e de cedência do material da chapa da cobrejunta **k**
$M_{C,Rd}$	Momento resistente da secção transversal da cobrejunta da alma
MER(**x**)	Função de Mérito
$M_{f,x,Sd}$	Parcela do momento flector aplicada ao banzo
$m_p^{(k)}$	Tensões de rotura à tracção e de cedência do material dos parafusos da cobrejunta **k**
$M_{pl,Rd}$	Momento plástico resistente
M_{Sd}	Momento flector aplicado à cobrejunta da alma
$M_{v,Rd}$	Momento resistente da secção transversal cobrejunta de alma reduzido pelo efeito de corte
$M_{w,x,Sd}$	Parcela do momento flector aplicado à alma
$M_{weld,i}$	Quantidade de consumível i dispendida
M_{zSd}	Momento Flector, dado do problema
N	Esforço normal que solicita a ligação soldada
$n_{(k)}$	Componente normal da tensão que solicita os cordões de soldadura do elemento **k**
$N_{b,Rd}$	Resistência à encurvadura global
$n_c^{(k)}$	Número de coluna da cobrejunta **k**
$N_{C,Rd}$	Resistência à encurvadura local da secção bruta
$n_l^{(k)}$	Número de linhas da cobrejunta **k**
N_R	Número total de restrições
N_{Sd}	Esforço nos parafusos do banzo segundo o eixo dos xx
$N_{t,Rd}$	Resistência à tracção por parafuso de banzo
N_v	Número de variáveis de projecto
N_{xSd}	Esforço normal, dado do problema
$p^{(k)}$	Passo da rosca do parafuso da cobrejunta **k**

$p_1^{(k)}$	Distância entre colunas de parafusos da cobrejunta **k**
$p_2^{(k)}$	Distância ente linhas de parafusos da cobrejunta **k**
r	Raio da aresta de concordância da interface banzo-alma
r_j	Restrições de integridade estrutural da ligação aparafusada
R_{max}	Resultante da combinação dos esforços H_{max} e V_{max}
s_j	Restrições de integridade estrutural da ligação soldada
T_{weld}	Tempo de produção do cordão de soldadura
$T_{weld,extra}$	Tempo associado ao manuseamento dos materiais de soldadura
$t^{(k)}$	Espessura da cobrejunta **k**
t_f	Espessura do banzo do perfil
t_w	Espessura da alma do perfil
V	Esforço transverso que solicita a ligação soldada
V_{max}	Esforço de corte por parafuso da alma provocado por $V_{x,Sd}$
$V_{pl,Rd}$	Resistência plástica ao esforço transverso
$V_{x,Sd}$	Esforço de corte nos banzos provocado pelo momento flector
V_{ySd}	Esforço de corte, dado do problema
$W, W(\mathbf{x})$	Função objectivo, FOBJ
w_{pl}	Módulo de flexão plástico
$\Psi_i(\mathbf{x})$	Vector das restrições geométricas e de integridade estrutural
α	Factor de imperfeição para a curva de encurvadura C
$\alpha^{(k)}$	
$\alpha_{(k)}$	Coeficiente redutor da tensão admissível do cordão
β_A	

β_{Lf}	Coeficiente de redução da resistência ao corte do parafuso aplicável a juntas longas
χ	
ε	
ϕ	Rotação da Ligação
ξ	Factor do termo restritivo
η	Expoente do termo restritivo
$\varphi_i(x)$	Valor de cada restrição
γ_{M0}	Coeficiente parcial de segurança (secções transversais)
γ_{M1}	Coeficiente parcial de segurança (encurvadura)
γ_{M2}	Coeficiente parcial de segurança (furos para parafusos)
γ_{Mb}	Coeficiente de segurança aplicado aos parafusos
λ	Esbelteza
λ_1	
ρ	
$\omega^1, \omega^1(\mathbf{x})$	Custo total da cobrejunta do banzo
$\omega^2, \omega^2(\mathbf{x})$	Custo total da cobrejunta da alma
$\bar{\lambda}$	
$\mathbf{x}$	Vector das variáveis de projecto
σ_{adm}	Tensão admissível do cordão de soldadura
σ_{ced}	Tensão de cedência
σ_e	Tensão equivalente no cordão de soldadura pelo critério de von Mises
σ_{rot}	Tensão de rotura
$\varsigma^{(k)}(\mathbf{x})$	Parcelas do custo total da ligação soldada

1. Introdução

1.1 Enquadramento e Objectivos da Tese

Na construção de estruturas metálicas há muitas vezes a necessidade de dividir os elementos de maior dimensão em partes mais pequenas, para facilitar ou mesmo possibilitar o transporte de tais elementos. Quando tal acontece incorre-se no processo de dimensionamento de uma ligação que promova o funcionamento dos elementos ligados, como se de uma peça única se tratasse. Neste trabalho apresentam-se as soluções mais económicas para unir perfis usando chapas, parafusos, porcas e anilhas de diversos aços respeitando as restrições impostas pelo Eurocódigo 3 (EC3) [1]. Este tipo de ligação é denominado de Ligação topo-a-topo por Cobrejunta e é aplicável aos seguintes casos: a) Ligações Rígidas segundo o §6.4.2.2, b) Ligações com resistência parcial segundo o §6.4.3.3, c) Ligações ao corte – Categoria A segundo o §6.5.3.1(2), d) Ligações traccionadas – Categoria D segundo o §6.5.3.2.

Os custos de projecto e de execução das ligações estruturais nos dias de hoje podem representar até 20% do custo total da obra (Figura 1.1) [2] o que torna legitima a necessidade de reduzir ao mínimo esses custos e justifica a preocupação e o esforço de optimização que se tem verificado desde então.

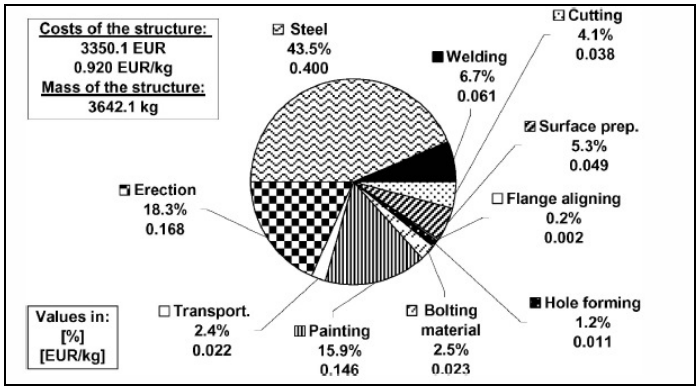


Figura 1.1 Diagrama representativo dos custos de uma estrutura de 2 pórticos e de 2 andares [2]

Neste trabalho são estudados dois tipos de ligações estruturais: Ligações Aparafusadas e Ligações Viga-Coluna Soldadas. Com vista à obtenção do menor custo da ligação respeitando as restrições geométricas e de integridade estrutural impostas pela regulamentação em vigor – EC3 [1] e REAPE [3] "Regulamento de Estruturas em Aço para Pontes e Edifícios"– recorre-se ao um algoritmo de optimização de carácter genético, descrito em Conceição António [4]. Na parte da Ligação Aparafusada topo-a-topo por cobrejuntas apresenta-se a definição teórica para Perfis Iguais incluindo as restrições previstas no EC3 [1]. O problema é estudado do ponto de vista da Imputação de Custos de mão-de-obra, criação de Bibliotecas de Materiais, afinamento da convergência do algoritmo genético e estudo da evolução do algoritmo em várias vertentes no sentido da obtenção das melhores soluções.

Na segunda parte do trabalho estuda-se o problema da Soldadura. No âmbito das Ligações viga-coluna aborda-se o caso específico das ligações rígidas. Apresenta-se a formulação teórica inspirada na "*Recommandation ISO R 617"* [5] para o caso da Soldadura em Ligação Viga-Coluna, analisando-se a gama de valores dos esforços instalados pelo UDM – "Uniform Design Method" [6]. Resolvem-se alguns exemplos, cujas respectivas soluções óptimas são obtidas pelo Algoritmo Genético utilizado na primeira parte do trabalho.

1.2 Organização da Tese

Esta Tese está organizada em torno de 3 partes fundamentais. A primeira parte é composta pelo segundo capítulo e centra-se no tema da optimização de ligações em geral. Neste capítulo apresenta-se uma resenha bibliográfica de trabalhos relacionados com esta tese, recentemente

produzidos por autores conceituados tanto no campo da optimização de ligações aparafusadas topo-a-topo como no das ligações soldadas.

A segunda parte é constituída pelos capítulos 3, 4 e 5. No terceiro capítulo definem-se os esforços presentes na ligação e enunciam-se as condições previstas no Eurocódigo 3 para o dimensionamento das ligações topo a topo por cobrejuntas aparafusadas. As restrições previstas pelo Regulamento Europeu para o dimensionamento de ligações viga-viga são de carácter geométrico e de integridade estrutural e perfazem um total de 52 inequações. No capítulo 4 apresenta-se a formulação do problema de projecto óptimo de ligações aparafusadas e descreve-se o Algoritmo Genético utilizado. Para resolver o problema de optimização desenvolveram-se módulos de programação em linguagem FORTRAN. No capítulo 5 apresenta-se a resolução de alguns exemplos.

A terceira parte constitui a parte associada à soldadura onde se abordam as ligações rígidas viga-coluna e é composta pelos capítulos 6 e 7. O capítulo 6 apresenta alguns processos de soldadura existentes, trata o problema da imputação dos custos do processo de soldadura manual de modo a definir a função objectivo e formula o problema de optimização. No capítulo 7 estuda-se a influência das componentes do vector solicitação no projecto óptimo. Neste contexto, geram-se os valores para esforços instalados na ligação soldada usando para o efeito o UDM – "Uniform Design Method" [6] afim de se obter uma boa representatividade do domínio de carregamento. Com os valores gerados obtêm-se as respectivas soluções de projecto óptimas usando um Algoritmo Genético.

No capítulo 8 referem-se algumas das conclusões mais importantes desta tese bem como as perspectivas de trabalho futuro em termos de desenvolvimentos complementares deste trabalho.

2. Resenha Bibliográfica

2.1 Projecto Óptimo de Ligações Aparafusadas

Nos anos 80, 90 e até mais recentemente têm-se registado grandes avanços no domínio da optimização estrutural com os trabalhos de Grierson e Lee [7], Hager e Balling [8], Xu e Grierson [9], Simões [10], Saka e Kameshki [11], Erbatur et al. [12] e Kameshki e Saka [13]. Apesar do sucesso destes trabalhos ao ponto de serem trabalhos de referência, pouca atenção era prestada à optimização das ligações uma vez que todo o problema era formulado de modo a que a função a optimizar, a chamada função objectivo, era o peso da estrutura. Acontece que tomar o peso ou o volume da estrutura, como muitos autores consideram, é uma mera hipótese simplificativa que não conduz necessariamente a melhores soluções em termos de custos. Estudos como os de Xu e Grierson [9] e Simões [10] para ligações semi-rígidas, reformulam o problema com uma função objectivo que combina o peso da estrutura e os custos das ligações. É então com o trabalho de Kravanja [14] que a hipótese do peso da estrutura é totalmente posta de parte e o problema é tratado unicamente por uma simples função de custo linear formada por propriedades geométricas influentes como o volume, a área de secções transversais, o comprimento de chapas, etc., quantidades que são convenientemente multiplicadas por constantes que retratam a sua importância relativa. Kravanja [14] aplica este tipo de função de custo à optimização da construção de portões de aço em centrais energéticas.

Em Jármai e Farkas [15] surge uma função de custo mais completa contemplando o volume da estrutura, densidade dos materiais envolvidos e variados tempos de fabricação incluindo: tempos de montagem dos elementos necessários, tempos de soldadura, de alisamento de chapas, de preparações superficiais, de pintura, de corte e tempos de rebarbagem. Embora esta função de custo seja uma das mais completa conseguida até então não engloba os custos dos

consumíveis. Além disso por tratar os elementos estruturais de forma individual nem os custos de transporte nem de montagem da estrutura são contemplados nesse trabalho.

A optimização de estruturas a nível da topologia estrutural tem-se vindo a desenvolver mais recentemente combinando as poucas soluções óptimas teóricas existentes, baseadas no peso mínimo. As soluções calculadas por processos automáticos usando algoritmos de pesquisa estruturada por processos automáticos podem assim ser comparadas com as soluções teóricas [16]. Em [17] aborda-se o tema da minimização do volume das barras de uma estrutura treliçada, iniciando o trabalho com considerações acerca da possibilidade de optimização simultânea entre geometria e tipo de ligações. O método tem a vantagem de apresentar soluções mais simples e mais realistas; permite ter em linha de conta a minimização do peso das ligações; e a estratégia computacional é a de envolver os problemas de uma forma modular. Apesar de tratar apenas o problema das ligações por rótula plana, este artigo apresenta a influência da localização das ligações em estruturas planas geradas por uma filosofia linear elástica e a geometria associada à minimização global do volume dessas estruturas.

Em [18] optimizam-se as ligações semi-rígidas e as bases das colunas via algoritmo genético baseadas em restrições de esforço e de deslocamento. A formulação apresentada nesse trabalho obtém o custo total mínimo que abrange os custos dos elementos e o custo das ligações, seleccionando as secções apropriadas de uma base de dados de secções de perfis do AISC (American Institute of Steel Construction) para perfis da série W. O método serve-se do modelo polinomial de Frye and Morris [19], para a modelação das ligações semi-rígidas. Os exemplos deste trabalho foram analisados segundo o comportamento não-linear da ligação viga-coluna tendo em conta o efeito $P-\Delta$ na interacção dos membros da ligação. Os resultados obtidos por este estudo devolvem soluções mais económicas mas resultam em maior instabilidade, a nível de rotação da estrutura.

2.2 Projecto Óptimo de Ligações Soldadas

Os métodos de produção de juntas soldadas têm sido objecto de grande investigação nos últimos anos dada a necessidade de produzir ligações estruturais cada vez mais seguras por um lado, e menos dispendiosas por outro. Da indústria automóvel à indústria militar, da construção civil à aeronáutica passando pela indústria metalúrgica, os custos das ligações têm um papel determinante no que diz respeito à tomada de decisões [20].

A implementação do projecto óptimo ao problema da soldadura segue duas linhas mestras opostas: a optimização dos parâmetros do processo ou a optimização de variáveis de projecto.

Do ponto de vista de projecto metalúrgico, o problema foca-se na escolha do melhor método para executar determinada tarefa e na optimização global dos parâmetros do processo. As variáveis do problema de optimização, ou seja, os parâmetros, surgem como a regulação da tensão e corrente eléctrica ideal, a escolha dos eléctrodos e sua protrusão, a velocidade de soldadura, a temperatura de pré-aquecimento das peças, a taxa de deposição, a diluição, a dureza final da zona afectada pela calor, etc.

Em 1953, Metropolis et al. propuseram um critério usado para simular o arrefecimento de um sólido que atinge um novo estado de menor energia [21]. Baseado no critério de Metropolis, Kirk-Patrick et al. desenvolve um algoritmo de optimização denominado "simulated annealing". [22]. Ficou demonstrado que o método "Simulated Annealing" possui várias vantagens em relação aos algoritmos de optimização tradicionais entre elas a facilidade de aplicação face a qualquer tipo de funções de custo ou de restrição e o facto do método de pesquisa ser independente das condições iniciais. Associando o conceito de redes neuronais com o método de pesquisa "Simulated Annealing" modelaram o problema da soldadura manual por arco submerso do ponto de vista do comportamento da superfície tendo como referência os métodos de endurecimento superficial, como a carbonitruração ou a têmpera, relacionando os parâmetros desses processos com a performance da soldadura [23]. A soldadura manual por arco submerso tem sido um processo cada vez mais utilizado pela eficácia comprovada tanto a nível tecnológico como a nível da rentabilidade para tarefas do dia-a-dia de pequenas séries. Os custos da soldadura manual são tomados cada vez mais como acessíveis quando comparados com os processos extremamente dispendiosos como a soldadura por feixe de electrões ou por feixe laser para a mesma demanda produtiva.

Em casos em que a procura é elevada recorre-se à soldadura automatizada. No que toca à soldadura por arco os sistemas de controlo dos automatismos são muitas vezes optimizados no sentido de melhorar a rentabilidade do processo. Em [24] estuda-se um método inovador de sintonização dos ganhos de controladores Proporcionais-Integrativos-Diferenciais (PID) aplicado ao processo automático de soldadura por arco metálico. Este método aborda o tema usando um algoritmo genético de modo a optimizar os ganhos do auto-sintonizador do controlador e com isso modelar de forma eficaz o mecanismo de alimentação energética do eléctrodo regulando a corrente eléctrica. O controlador proposto foi simulado e por experiências quanto à sua resposta transiente aplicado ao sistema real de soldadura. Finalmente, os ganhos obtidos pelo método proposto foram comparados com as regras de

sintonização do método Ziegler-Nichols, um dos métodos mais conhecidos na afinação dos ganhos de controladores.

Ainda do ponto de vista metalúrgico mas numa perspectiva termodinâmica pode-se também estudar a taxa de deposição de calor no processo de soldadura, quando o modelo físico não é completamente parametrizável [25].

Quando a representação do campo de temperaturas é passível de parametrização, usam-se combinações lineares de soluções da equação da condução do calor como função interpoladora em vez de representações estritamente explicitas do modelo físico dos métodos de deposição de calor. Este estudo é especialmente útil quando o campo de temperaturas não são parametrizáveis e torna-se necessário recorrer a interpolações aplicáveis a representações discretas. Neste caso é possível optimizar os parâmetros do interpolador, processo este baseado numa abordagem de problema inverso. Conhecendo o histórico do campo de temperaturas numa peça pode-se avaliar com maior certeza, por exemplo, a preponderância de determinado método à formação de micro-fissuras aquando do arrefecimento.

Na indústria militar recorre-se muitas vezes à soldadura TIG. Em [26] estuda-se a aplicação da soldadura TIG em ligas de titânio muito usada no fabrico de equipamento industrial avançado, turbinas a gás, carros de combate, etc. Graças à sua aplicabilidade e por ser um processo económico, este método tem se estabelecido como favorito na soldadura de ligas de titânio. No entanto, na zona de fusão e na zona afectada pelo calor este provoca o aumento do tamanho de grão que frequentemente induz em perda de propriedades mecânicas e elevada susceptibilidade à formação de fendas durante o arrefecimento. Consequentemente, neste trabalho tenta-se refinar a microestrutura da zona de fusão da liga usando TIG por corrente pulsada em vez de TIG por corrente directa. Desenvolve-se também um modelo matemático, pelo método da resposta da superfície e usando condições Kuhn-Tucker, que permite optimizar os parâmetros do processo de modo a obter o menor tamanho de grão possível e a maior dureza com soldadura TIG na liga em estudo. As condições Kuhn-Tucker, também conhecidas como condições de Karush-Kuhn-Tucker, ou condições KKT, são por seu lado consideradas uma generalização do método dos multiplicadores de Lagrange adaptada a restrições sob a forma de inequações, quando se pretende optimizar um problema não-linear.

Por outro lado, do ponto de vista do projecto mecânico, as variáveis a optimizar costumam estar associadas a dimensões dos cordões de soldadura, materiais a utilizar e, invariavelmente, o custo da ligação que garanta com segurança a fiabilidade da estrutura.

O método de Taguchi [27] é usado para formular o modelo experimental, para analisar o efeito de cada parâmetro no processo de soldadura na geometria do cordão de soldadura, e

para predizer o conjunto óptimo de parâmetros da soldadura. Em [28] utiliza-se este método para optimizar a geometria do cordão de soldadura por arco de gás de tungsténio. O método de Taguchi pode ser uma ferramenta bastante útil quando se pretende grande qualidade na preparação, execução e acabamento das juntas soldadas. Esta metodologia é bastante valiosa quando as variáveis de projecto são discretas e qualitativas. Recentemente, o método Taguchi tem sido utilizado por várias empresas em países de todo o mundo [29].

Uma abordagem possível no tratamento de problemas de optimização das variáveis de projecto em soldadura pode ser baseada nos tempos operacionais. Os métodos de optimização existentes actualmente formulam a função objectivo (a optimizar) de forma a representar os parâmetros qualitativos das juntas soldadas, i.e. os coeficientes que definem a forma da junta, a forma de penetração e também os parâmetros económicos do processo, como por exemplo os custos associados ao processo tecnológico, a avaliação da produtividade do processo e os tempos normais que determinada tarefa demora a ser executada (custos parcelares da soldadura ou acabamento). Em [30] os autores propõe alguns métodos para a resolução de problemas de optimização paramétricos condicionados baseados na pesquisa de soluções óptimas do grupo de variáveis a controlar. No que diz respeito às condições produtivas é importante usar a optimização convencional parametrizada tanto ao nível dos parâmetros de qualidade da junta soldada como dos parâmetros económicos dos processos de soldadura respectivos. No estudo de juntas de alta qualidade, por exemplo, aplica-se o método clássico dos multiplicadores de Lagrange onde o objectivo é a minimização do tempo de soldadura na presença de várias restrições. As restrições podem ser de carácter metalúrgico como a velocidade máxima de arrefecimento tendo em conta determinada profundidade ou forma de penetração para um dado intervalo de temperaturas, podem estar relacionadas com a alimentação eléctrica por parte do equipamento, ou podem ser restrições de resistência mecânica associados ao número de passagens e as localizações relativas dos cordões entre si. Os autores recomendam a satisfação individual e conjunta de cada uma das restrições.

Apesar de na maior parte das vezes as funções objectivo usadas na optimização de estruturas sejam baseadas no peso, ou seja, no par volume-densidade, os custos de montagem e de fabricação costumam ser negligenciados. Em [2] apresentam-se detalhadamente as expressões dos custos associados à manufactura de uma estrutura. Estes custos associados à produção das ligações incluem custos de preparação da superfície, custos de furação ou de soldadura, custos de pintura, custos de corte, custos dos materiais usados, custos de acabamento, custos de alinhamento dos perfis, etc. Estas expressões foram de grande utilidade na formação de uma função de custo parametrizada para a soldadura passível de optimização.

3. Ligações Aparafusadas: Definição do Problema

3.1 Introdução

A classificação do Eurocódigo 3 de ligações estruturais prevê 2 modos diferentes de o fazer. Esta classificação pode ser feita usando o momento resistente instalado, Figura 3.1 ou, por outro lado, o conceito de rigidez de rotação. Usando o momento resistente há alguma discórdia sobre a separação de zonas de resistência. Enquanto que a fronteira entre a região das ligações de resistência máxima e a região das ligações de resistência parcial é clara e bem definida pelo momento plástico resistente ($M_{pl,Rd}$), entre a ligação de resistência parcial e a ligação articulada a fronteira ($0{,}25M_{pl,Rd}$) é discutível [31].

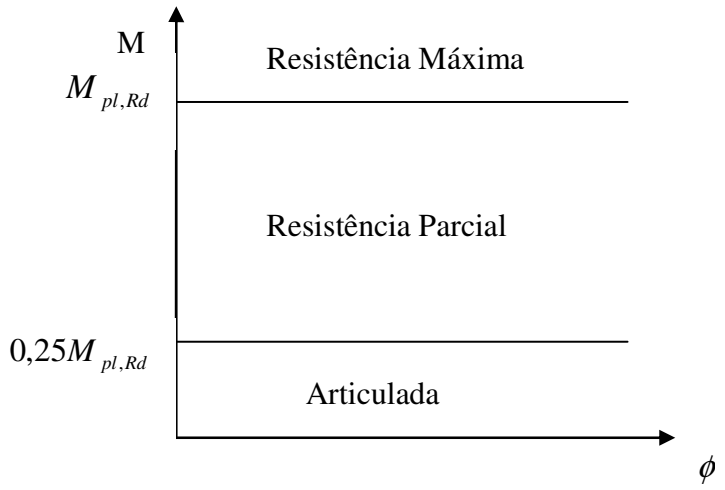


Figura 3.1 Classificação de ligações segundo o Eurocódigo 3 usando o Momento Resistente [31].

O Eurocódigo 3 [1] também refere outra possibilidade de classificação: segundo a rigidez de rotação. No §6.4.2.2 (1) define-se ligação rígida quando a deformação não tem influência significativa na distribuição das forças internas e nos momentos da estrutura nem na sua

deformação global. O §6.4.2.2 (2) propõe que a deformação de ligações rígidas seja tal que não reduza a resistência da estrutura em mais de 5%, ou seja, que se cumpra

$$\alpha_{ult} \geq 0{,}95\ \alpha_{ult,\infty} \tag{3.1}$$

onde α_{ult} é o coeficiente último de carga considerando o funcionamento real da ligação e $\alpha_{ult,\infty}$ é o coeficiente último de carga considerando as ligações nominalmente rígidas perfeitamente rígidas.

Finalmente, em [32] aquando do estudo de ligações viga-coluna propõe-se 3 novas classes para a classificação de ligações, no sentido de clarificar o conceito de ligações semi-rígidas, a saber:

- Ligações de classe 1, que podem formar rótula plástica com a capacidade de rotação para a análise plástica;
- Ligações de classe 2, que podem desenvolver o seu momento plástico resistente, mas têm capacidade de rotação limitada;
- Ligações de classe 3, são caracterizadas por rotura frágil que limita o seu momento resistente.

No trabalho acima referido estuda-se também o comportamento de vigas ligadas de forma semi-rígida sujeitas a um carregamento uniformemente distribuído. Quando a meio-vão o momento instalado atinge $M_{pl,Rd}$ a rotação (ϕ_0) fica caracterizada pela lei

$$\phi_o = \phi_{pl}(1 - 0.5\, M / M_{pl,Rd}) \tag{3.2}$$

Se em termos de secção transversal, o perfil for classe 1, a formação de rótula plástica irá aumentar a rotação da ligação em $3\phi_{pl}$. No caso da secção ser classe 2, a rotação da ligação irá aumentar em ϕ_{pl}. Então a rotação necessária para uma ligação semi-rígida pode ser definida por

$$\phi_{Cd} > \begin{cases} \phi_0 + 3\phi_{pl} & \text{para ligações de classe 1} \\ \phi_0 + \phi_{pl} & \text{para ligações de classe 2} \end{cases} \tag{3.3}$$

3.2 Variáveis de Projecto

Na definição do problema de optimização apresentado neste trabalho consideram-se apenas ligações topo a topo de perfis iguais com juntas aparafusadas e cobrejuntas, conforme se apresenta na Figura 3.2. Considere-se que a ligação aparafusada é composta por linhas e

colunas de parafusos com o respectivo par de anilhas e porca. A ligação é simétrica em relação ao plano médio do perfil paralelo à alma e também é simétrica ao plano que separa os dois perfis.

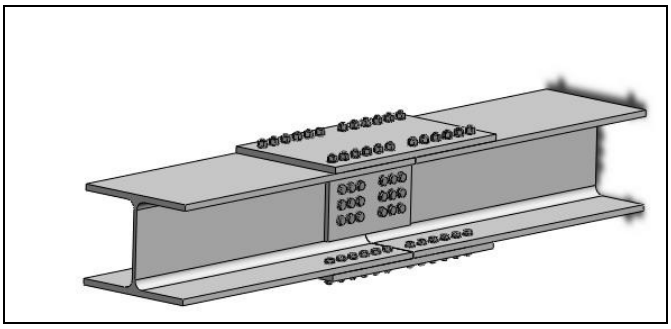


Figura 3.2 Ligação topo a topo de dois elementos estruturais com cobrejuntas aparafusadas.

As variáveis usadas no dimensionamento óptimo das juntas são designadas por variáveis de projecto. As variáveis de projecto são assim: $n_c^{(1)}$ e $n_c^{(2)}$, número de colunas de parafusos; $n_l^{(1)}$ e $n_l^{(2)}$, número de linhas de parafusos; $t^{(1)}$ e $t^{(2)}$, espessuras das cobrejuntas; $d^{(1)}$ e $d^{(2)}$, diâmetros dos parafusos; $p_l^{(1)}$ e $p_l^{(2)}$, distâncias entre colunas de parafusos; $m_p^{(1)}$ e $m_p^{(2)}$, materiais dos parafusos; $m_c^{(1)}$ e $m_c^{(2)}$, materiais das chapas de cobrejuntas. Os índices superiores indicam a localização: (1) no banzo e (2) na alma.

3.3 Restrições Geométricas

As restrições geométricas são aquelas que são previstas pelo Eurocódigo 3 [1] e destinam-se a criar uma zona útil de ligação tanto nos banzos como na alma.

As restrições definidas no Eurocódigo 3 [1], em formato de inequações, têm de ser modificadas para se adaptar ao formato usado no projecto óptimo que prevê a normalização das restrições e a sua transformação em igualdades. Deste modo, a primeira restrição que define o número mínimo de linhas é apresentada do seguinte modo:

$$g_l^{(k)} = n_l^{(k)} - \mathrm{INT}\left(\frac{h_c^{(k)} - 3d_0^{(k)}}{3d_0^{(k)}}\right) - 1 \le 0 \tag{3.4}$$

sendo o diâmetro do furo $d_0^{(k)}$ e a respectiva folga $f_p^{(k)}(d^{(k)})$ definidos pelo EC3, §7.5.2:

$$d_0^{(k)} = d^{(k)} + f_p^{(k)}(d^{(k)}) \tag{3.5}$$

com

$$f_p^{(k)}(d^{(k)}) = \mathrm{INT}\left\{2\times\left[\frac{d^{(k)}}{10} - \mathrm{INT}\left(\frac{d^{(k)}}{10}\right)\right]\right\} + \mathrm{INT}\left(\frac{d^{(k)}}{10}\right) \tag{3.6}$$

Impõem-se também restrições à distância mínima entre linhas, $p_2^{(k)}$. Pelo artigo 20º do REAPE [3] tem-se que:

$$p_2^{(k)} \geq 3\, d_0^{(k)} \tag{3.7}$$

que transformando-a para o formato admissível resulta em

$$g_2^{(k)} = 3\frac{d_0^{(k)}}{p_2^{(k)}} - 1 \leq 0 \tag{3.8}$$

$$g_3^{(k)} = \frac{p_2^{(k)}}{14t^{(k)}} - 1 \leq 0 \tag{3.9}$$

$$g_4^{(k)} = \frac{p_2^{k}}{200} - 1 \leq 0 \tag{3.10}$$

onde

$$p_2^{(k)} = \frac{h_c^{(k)} - 3d_0^{(k)}}{n_1^{(k)} - 1} \tag{3.11}$$

As restrições associadas às distâncias $e_1^{(k)}$ e $e_2^{(k)}$, considerando serviço exterior, são

$$g_5^{(k)} = \frac{1.2d_0^{(k)} - 4t^{(k)}}{40} - 1 \leq 0 \tag{3.12}$$

$$g_6^{(k)} = \frac{1.5d_0^{(k)} - 4t^{(k)}}{40} - 1 \leq 0 \tag{3.13}$$

onde $e_1^{(k)}$ e $e_2^{(k)}$ são denominados por distância da primeira coluna e linha, respectivamente, de furos no elemento de ligação (k). $e_1^{(k)}$ e $e_2^{(k)}$ são consideradas variáveis geométricas extra porque decorrem do processo de optimização e são definidas por

$$e_1^{(k)} = 1.7\, d_0^{(k)} \tag{3.14}$$

$$e_2^{(k)} = 1.5\, d_0^{(k)} \tag{3.15}$$

As restrições entre colunas, $p_1^{(k)}$, são,

$$g_7^{(k)} = 2.2\frac{d_0^{(k)}}{p_1^{(k)}} - 1 \le 0 \tag{3.16}$$

$$g_8^{(k)} = \frac{p_1^{(k)}}{14t^{(k)}} - 1 \le 0 \tag{3.17}$$

$$g_9^{(k)} = \frac{p_1^{(k)}}{200} - 1 \le 0 \tag{3.18}$$

As restrições de $e_1^{(k)}$ e $p_1^{(k)}$ para a classificação "baixo" da classe nominal das superfícies em contacto são:

$$g_{10}^{(k)} = \frac{1.7d_o^{(k)} - 4t^{(k)}}{40} - 1 \le 0 \tag{3.19}$$

$$g_{11}^{(k)} = \frac{2.5d_0^{(k)}}{p_1^{(k)}} - 1 \le 0 \tag{3.20}$$

Finalmente, deve-se impor a existência de pelo menos uma linha de parafusos,

$$g_{12}^{(k)} = 1 - \frac{h_c^{(k)}}{3d_0^{(k)}} \le 0 \tag{3.21}$$

E o número de linhas do banzo deve ser par:

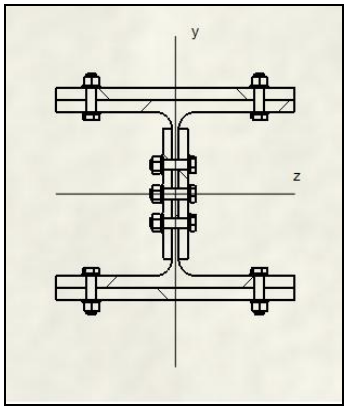
$$g_{13}^{(1)} = 2\mathrm{INT}\left(\frac{n_1^{(1)}}{2}\right) - n_1^{(1)} \tag{3.22}$$

As distâncias $p_1^{(k)}$ e $p_2^{(k)}$ são também sujeitas a restrições geométricas e de resistência estrutural definidas no §5.3.4 do EC3 [1], associadas à encurvadura da cobrejunta.

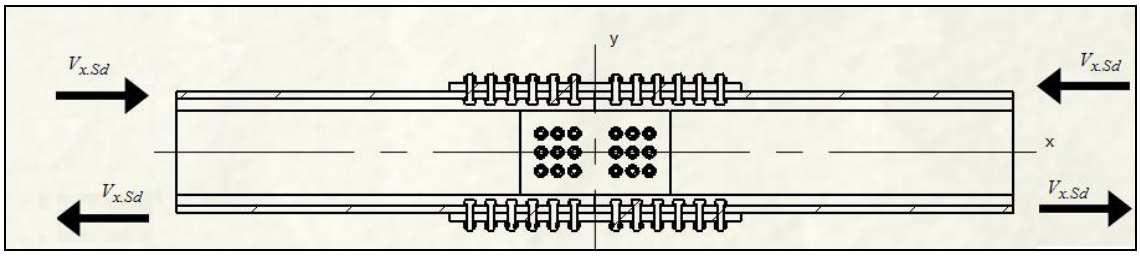
3.4 Restrições de Integridade Estrutural

3.4.1 Definição dos esforços

O segundo grupo de restrições que o EC3 [1] define refere-se à Integridade Estrutural e inclui as verificações de resistência a 5 tipos de solicitações diferentes: corte dos parafusos, esmagamento das chapas de cobrejunta, tracção das chapas de cobrejunta, compressão das chapas de cobrejunta e flexão da cobrejunta da alma.



a)



b)

Figura 3.3 Posicionamento dos Eixos de Referência da ligação a) numa vista em corte da ligação; b) e direcção do esforço de corte provocado pelo Momento Flector.

Na definição das acções em jogo neste problema considerou-se que os carregamentos são todos complanares com o pórtico da estrutura gerando um Momento Flector, Esforço Transverso e Esforço Normal. Se o perfil do pilar estiver orientado segundo o eixo de maior inércia, ou seja, o normal à alma no caso de perfis HEA, a deformação considerada será no plano da alma definida no caso presente pelo eixo dos zz (Figura 3.3 a)). Pode-se dizer que estamos perante um caso de flexão simples criado pelo Momento Flector, $M_{z,Sd}$. Por outro lado o Esforço de Corte ou Transverso será abreviado como $V_{y,Sd}$ e o Esforço Normal como $N_{x,Sd}$. Na direcção do eixo do perfil (xx) estão presentes o Esforço Normal ($N_{x,Sd}$) e um

Esforço Transverso ($V_{x,Sd}$) que resulta da excentricidade dos parafusos do banzo quando lhes é aplicado o Momento Flector ($M_{z,sd}$), conforme a Figura 3.3 b).

Segundo o EC3 [1], o Momento Flector, será suportado parcialmente pela alma e pelos banzos. Já o Esforço Transverso será suportado unicamente pelos parafusos da alma.

O momento a ser suportado pelos banzos é

$$M_{f.z.Sd} = 2\,b\,t_f \left(\frac{h - t_f}{2}\right)^2 \frac{M_{z.Sd}}{I_z} \tag{3.23}$$

sendo o restante suportado pela alma,

$$M_{w.z.Sd} = 1 - \frac{2\ b\ t_f \left(\frac{h - t_f}{2}\right)^2}{I_z}\ M_{z.Sd} \tag{3.24}$$

O Esforço Transverso, provocado pelo Momento Flector, a ser suportado pelos parafusos é

$$V_{x.Sd} = \frac{M_{f.z.Sd}}{h - t_f} \tag{3.25}$$

O Esforço de Corte sobre cada parafuso em cada banzo é calculado tendo em conta a contribuição do Esforço Normal:

$$F^{(1)}_{V.Sd^1} = \frac{-V_{x.Sd}}{n_l^{(1)}\ n_c^{(1)}} + \frac{N_{x.Sd}}{2\,n_l^{(1)}\ n_c^{(1)} + n_l^{(2)}\ n_c^{(2)}} \tag{3.26}$$

$$F^{(1)}{}_{V.Sd^2} = \frac{V_{x.Sd}}{n_l^{(1)} n_c^{(1)}} + \frac{N_{x.Sd}}{2\,n_l^{(1)}\ n_c^{(1)} + n_l^{(2)}\ n_c^{(2)}} \tag{3.27}$$

O Esforço de Corte a que o parafuso mais excêntrico na cobrejunta da alma vai estar sujeito é calculado a partir de duas componentes ortogonais entre si, V_{max} e H_{max}, sendo que o esforço de corte máximo é representado por R_{max}, conforme mostra a Figura 3.4.

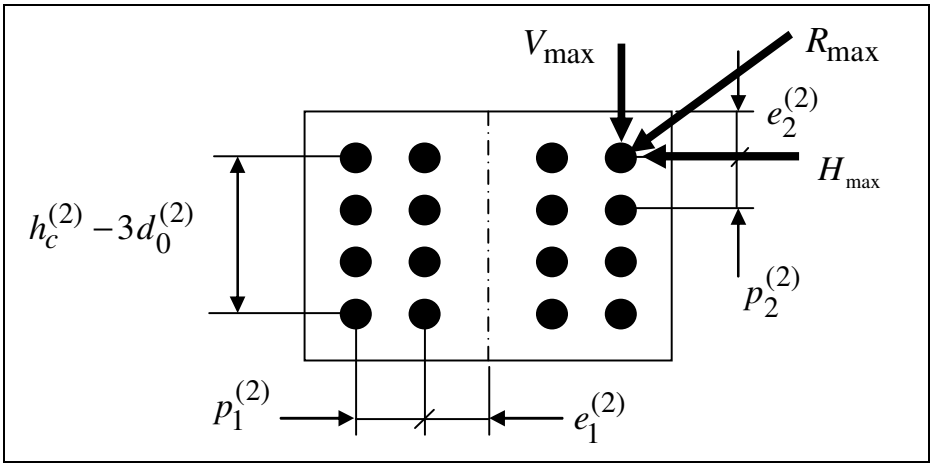


Figura 3.4 Esquema representativo dos esforços actuantes no parafuso mais solicitado da cobrejunta da alma.

Os esforços apresentados calculam-se do modo seguinte:

$$V_{máx} = \frac{V_{y.Sd}}{n_1^{(2)}\, n_c^{(2)}} \tag{3.28}$$

e

$$H_{máx} = f_i \frac{M_{w.z.Sd}}{h_c^{(2)} - 3d_0^{(2)}} + \frac{N_{x.Sd}}{2n_1^{(1)}\, n_c^{(1)} + n_1^{(2)}\, n_c^{(2)}} \tag{3.29}$$

tomando f_i a seguinte expressão pressupondo-se iguais distancias entre linhas e entre colunas de parafusos

$$f_i = \frac{6\,(n_1^{(2)} - 1)}{n_c^{(2)}\, n_1^{(2)}\, (n_1^{(2)} + 1)} \tag{3.30}$$

O esforço de corte máximo é então calculado por

$$R_{max} = \sqrt{V_{max}^2 + H_{max}^2} \tag{3.31}$$

Tem-se então, segundo o Eurocódigo 3 [1], para j=3 (alma) que

$$F_{V,Sd\,j}^{(2)} = R_{max} \tag{3.32}$$

3.4.2 Resistência ao corte dos parafusos

Considerando a notação vigente no Eurocódigo 3 [1], j = 1,2 para as cobrejuntas dos banzos e j = 3 para a cobrejunta da alma temos,

$$r_j = \frac{F^{(1)}_{V.Sd^j}}{\beta_{Lf}\ F^{(1)}_{V.Rd}} - 1 \le 0 \quad , j = 1, 2 \tag{3.33}$$

$$r_j = \frac{F^{(2)}_{V,Sd^j}}{F^{(2)}_{V,Rd}} - 1 \le 0 \quad , j = 3 \tag{3.34}$$

A resistência ao corte, $F^{(k)}_{V,Rd}$, é definida de modo diferente consoante a qualidade do material dos parafusos:

- Para parafusos das classes 4.6, 5.6, 8.8 com corpo todo roscado:

$$F^{(k)}_{V.Rd} = \frac{0.6\ f^{(k)}_{ub}\ A^{(k)}_{s}}{\gamma_{Mb}} \tag{3.35}$$

- Para parafusos das classes 4.8, 5.8, 10.9 com corpo todo roscado:

$$F^{(k)}_{V.Rd} = \frac{0.5\ f^{(k)}_{ub}\ A^{(k)}_{s}}{\gamma_{Mb}} \tag{3.36}$$

Nas duas equações anteriores γ_{Mb} é o coeficiente de segurança aplicável aos parafusos (§6.1.1 EC3 [1]), $f^{(k)}_{ub}$ é a tensão de rotura do parafuso e $A^{(k)}_{s}$ é a área resistente ao corte do corpo roscado do parafuso. Estas quantidades tomam os seguintes valores:

$$\gamma_{Mb} = 1.25 \qquad \text{e} \qquad A^{(k)}_{s} = \frac{\pi}{4}\left(d^{(k)} - 0.935\ p^{(k)}\left(d^{(k)}\right)\right)^2 \tag{3.37}$$

Na equação (3.33), β_{Lf} representa o coeficiente de redução de resistência ao corte do parafuso para juntas longas e é definido pela expressão:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L^{(1)}_{j} - 15\ d^{(1)}}{200\ d^{(1)}} \tag{3.38}$$

Esta condição está sujeita às seguintes restrições:

$$r_4^{(1)} = 15\,\frac{d^{(1)}}{L_j^{(1)}} - 1 \le 0 \tag{3.39}$$

$$r_5^{(1)} = \beta_{Lf} - 1 \le 0 \tag{3.40}$$

$$r_6^{(1)} = 1 - \frac{\beta_{Lf}}{0.75} \le 0 \tag{3.41}$$

3.4.3 Resistência ao esmagamento

A verificação da resistência tem as seguintes condições:

$$r_7^{(k)} = \frac{F_{V.Sd^j}^{(k)}}{F_{b.Rd}^{(k)}} - 1 \le 0 \tag{3.42}$$

$$r_8^{(k)} = \frac{F_{b.Rd}^{(k)}}{2f_{ub}^{(k)}\ d^{(k)}\ t^{(k)}} - 1 \le 0 \tag{3.43}$$

$$r_9^{(k)} = \frac{F_{b.Rd}^{(k)}}{1.0\ f_u^{(k)}\ d^{(k)}\ t^{(k)}} - 1 \le 0 \tag{3.44}$$

O parâmetro $f_u^{(k)}$ representa a tensão de rotura da cobrejunta e $F_{b,Rd}^{(k)}$ é dado por

$$F_{b.Rd}^{(k)} = \frac{2.5\ \alpha^{(k)}\ f_u^{(k)}\ d^{(k)}\ t^{(k)}}{\gamma_{Mb}} \tag{3.45}$$

onde

$$\alpha^{(k)} = MIN\left(\frac{1.2\ d^{(k)}}{3\ d_0^{(k)}},\ \frac{p_1^{(k)}}{3\ d_0^{(k)}} - \frac{1}{4},\ \frac{f_{ub}^{(k)}}{f_u^{(k)}},\ 1\right) \tag{3.46}$$

3.4.4 Tracção da Cobrejunta

A verificação de resistência da cobrejunta à tracção está definida no §5.1.3 do EC3 [1]. Para a ligação superar esta solicitação as seguintes restrições têm que ser cumpridas. No banzo à tracção tem-se

$$r_{10} = \frac{N_{Sd}}{N_{t.Rd}} - 1 \le 0 \tag{3.47}$$

Na equação (3.47), N_{Sd} representa o esforço normal instalado e $N_{t,Rd}$ é a resistência à tracção da cobrejunta que é dada por:

$$N_{t.Rd} = MIN\left(\frac{A^{(1)}\ f_y^{(1)}}{\gamma_{M0}},\ \frac{0.9\ A_{net}^{(1)}\ f_u^{(1)}}{\gamma_{M2}}\right) \tag{3.48}$$

onde $f_y^{(1)}$ e $f_u^{(1)}$ são respectivamente a tensão de cedência e a tensão de rotura à tracção para o aço segundo a norma EN10025 e $A_{net}^{(1)}$ é a área útil da secção transversal.

Os coeficientes de segurança apresentados na equação (3.49) estão definidos no §5.1.1 do EC3 nos seguintes termos:

- Resistência das Secções Transversais da Classe 1, 2 ou 3: $\gamma_{M0} = 1.1$
- Resistência das secções úteis nas zonas dos furos dos parafusos: $\gamma_{M2} = 1.25$

O mesmo parágrafo do Eurocódigo determina um factor de segurança para a resistência das ligações que se apresenta como $\gamma_{Mb} = 1.25$. No entanto a redução da secção transversal pode ser negligenciada desde que se cumpra a seguinte restrição:

$$r_{11} = \frac{f_y\ A_f\ \gamma_{M2}}{0.9\ f_u\ A_{f.net}\ \gamma_{M0}} - 1 \leq 0 \tag{3.49}$$

onde A_f e $A_{f,net}$ são a área da secção resistente sem e com furos, respectivamente.

3.4.5 Compressão da Cobrejunta

As restrições a serem verificadas são definidas no §5.1.4 do EC3 [1] e são as que se seguem:

a) Resistência das Secções Transversais para o banzo à compressão

$$r_{12} = \frac{N_{Sd}}{N_{c.Rd}} - 1 \leq 0 \tag{3.50}$$

em que N_{Sd} representa mais uma vez o esforço instalado e $N_{c,Rd}$ o valor da resistência à encurvadura local da secção bruta para secções das classes 1,2 e 3 e toma o valor de:

$$N_{c.Rd} = \frac{A^{(1)} f_y^{(1)}}{\gamma_{M0}} \tag{3.51}$$

b) Resistência à Encurvadura Global da cobrejunta sujeita à compressão

$$r_{13} = \frac{N_{Sd}}{N_{b.Rd}} - 1 \leq 0 \tag{3.52}$$

com $$N_{b.Rd} = \chi \ \beta_A \ A^{(1)} \ \frac{f_y^{(1)}}{\gamma_{M1}} \tag{3.53}$$

$$r_{14} = \chi - 1 \leq 0 \tag{3.54}$$

com $$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \tag{3.55}$$

onde $$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}\sqrt{\beta_A} \quad , \quad \lambda_1 = \pi\sqrt{\frac{E}{f_y^{(1)}}} \quad \text{e} \quad \phi = 1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \tag{3.56}$$

sendo $\beta_A = 1$ e $\alpha = 0.49$. O parâmetro α é um factor de imperfeição para a curva de encurvadura do tipo **c** conforme §5.5.3 do EC3 [1]. O coeficiente de esbelteza, λ para o modo de encurvadura representado na figura 4 pode ser determinado como,

$$\lambda = \text{MAX}\left(\frac{1.2\ d_0^{(1)}}{i^{(1)}}, \quad \frac{0.5\, p_1^{(1)}}{i^{(1)}}\right) \tag{3.57}$$

sendo $i^{(1)}$ o raio de giração mínimo da secção da cobrejunta em compressão.

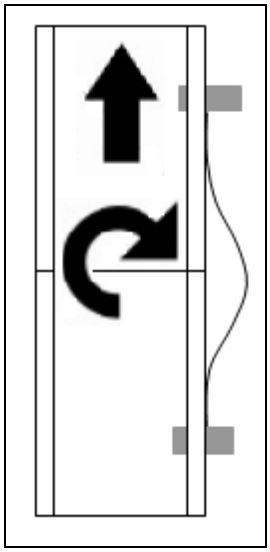


Figura 3.5 Modo de Encurvadura da chapa de cobrejunta do banzo à compressão.

3.4.6 Cobrejunta da Alma Sujeita a Flexão

O §5.1.5 do EC3 [1] refere todas as condições que devem ser verificadas para um dimensionamento correcto face a esta solicitação que se for flexão composta escreve-se:

$$r_{15} = \frac{M_{Sd}}{M_{c.Rd}} - 1 \leq 0 \tag{3.58}$$

onde o momento flector actuante sobre a cobrejunta da alma é M_{Sd}. Note-se que este Momento Flector não é o total instalado, mas sim o calculado na equação (3.24) que diz respeito à parte do Momento Flector suportado pela alma. Por outro lado, o momento resistente da secção transversal evidencia-se na expressão como $M_{c,Rd}$ e para secções da classe 1 e 2 calcula-se do seguinte modo:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl}^{(2)} \cdot f_y^{(2)}}{\gamma_{M0}} \tag{3.59}$$

Na equação anterior $f_y^{(2)}$ representa a tensão de cedência e W_{pl}, o módulo de flexão plástico é calculado do seguinte modo:

$$W_{pl}^{(2)} = \frac{t^{(2)} \ (h_c^{(2)})^2}{4} \tag{3.60}$$

Para garantir que a secção da cobrejunta se trata sempre como uma secção de classe 1 ou 2 envolve-se no processo uma restrição que força o problema nesse sentido:

$$r_{16} = \frac{h_c^{(2)}}{22 \ t^{(2)} \ \varepsilon} - 1 \leq 0 \tag{3.61}$$

com

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y^{(2)}}} \tag{3.62}$$

onde a tensão de cedência, f_y, vem em N/mm^2. Mais, quando a secção transversal for submetida a um esforço transverso, $V_{y,Sd}$, deve ter capacidade plástica para o absorver, ou seja, deve cumprir a seguinte restrição:

$$r_{17} = \frac{V_{y,Sd}}{V_{pl,Rd}} \leq 0 \tag{3.63}$$

com

$$V_{pl.Rd} = \frac{A_v^{(2)} \ f_y^{(2)}}{\sqrt{3} \ \gamma_{M0}} \tag{3.64}$$

sendo $V_{pl,Rd}$ a resistência plástica ao esforço transverso e $A_v^{(2)}$ a área resistente ao corte da cobrejunta da alma, calculada na seguinte forma:

$$A_v^{(2)} = h_c^{(2)}\ t^{(2)} \tag{3.65}$$

Por outro lado, quando a solicitação for de flexão com esforço transverso, a restrição associada à verificação da combinação dos esforços é, pelo §5.4.7 do EC3 [1]:

$$r_{18} = \frac{V_{y.Sd}}{0.5\ V_{pl.Rd}} - 1 < 0 \tag{3.66}$$

Se a inequação anterior se verificar não é necessário reduzir o momento resistente da cobrejunta calculado anteriormente definido na equação (3.59). Se tal não acontecer essa redução é obrigatória e processa-se do seguinte modo:

$$M_{c.Rd} \leq M_{V.Rd} \tag{3.67}$$

com

$$M_{V.Rd} = \left(w_{pl}^{(2)} - \frac{\rho\ A_v^{(2)}}{4\ t^{(2)}} \right) \frac{f_y^{(2)}}{\gamma_{M0}} \tag{3.68}$$

e

$$\rho = \left(\frac{2\ V_{y.Sd}}{V_{pl.Rd}} - 1 \right)^2 \tag{3.69}$$

A restrição que garante esta redução é:

$$r_{19} = \frac{M_{V,Rd}}{M_{c,Rd}} - 1 \leq 0 \tag{3.70}$$

De modo a contornar a verificação de resistência à encurvadura por esforço transverso deve-se garantir que:

$$r_{20} = \frac{h^{(2)}}{69\ \varepsilon\ t^{(2)}} - 1 < 0 \tag{3.71}$$

conforme §5.6.1 do EC3 [1], para almas não reforçadas como é o caso em estudo.

Não é necessário verificar o efeito dos furos da ligação na resistência ao esforço transverso se:

$$r_{21} = \frac{f_y^{(2)}\ A_v^{(2)}}{f_u^{(2)}\ A_{v.net}^{(2)}} - 1 < 0 \tag{3.72}$$

Onde $A_{v,net}^{(2)}$ representa a área resistente da secção com furos. Caso a restrição for violada, pode-se admitir uma área de corte efectiva de:

$$A_{v}^{(2)} = A_{v.net}^{(2)} \frac{f_{u}^{(2)}}{f_{y}^{(2)}} \tag{3.73}$$

3.5 Função Objectivo

O problema de optimização de ligações aparafusadas está associado à minimização do custo dos materiais e de produção das juntas aparafusadas cumprindo todas as restrições impostas pelo Eurocódigo 3 [1]. Para minimizar o custo da ligação é necessário formalizar qual é o custo de uma ligação qualquer, ou seja, construir a Função Objectivo, FOBJ.

FOBJ será constituída parcelarmente pelas seguintes funções:

a) Custo do conjunto parafuso/anilha/anilha/porca da cobrejunta (k),

$$C_{paraf}^{(k)} = C_{p}^{(k)} + 2C_{anilha}^{(k)} + C_{porca}^{(k)} \tag{3.74}$$

b) Custo do material da chapa de cobrejunta

$$C_{mat}^{(k)} = 2\ h_{c}^{(k)} \left[2.4\ d_{0}^{(k)} + p_{1}^{(k)}\ (n_{c}^{(k)} - 1)\right]\ t^{(k)}\ C_{c}^{(k)}\ \rho \tag{3.75}$$

onde $C_{c}^{(k)}$ é o custo unitário do material e ρ é o peso específico do material de construção.

A função objectivo para a cobrejunta genérica (k) é:

$$\omega^{(k)} = 2\ n_{c}^{(k)}\ n_{1}^{(k)} \left(C_{parf}^{(k)} + C_{maq}^{(k)}\right) + C_{mat}^{(k)} \tag{3.76}$$

onde $C_{maq}^{(k)}$ representa os custos de maquinagem.

Considerando a ligação completa, $k = 1,3$ (banzo) e $k = 2$ (alma) a função objectivo é:

$$FOBJ = \omega^{(1)} + \omega^{(2)} + \omega^{(3)} = 2\,\omega^{(1)} + \omega^{(2)} \tag{3.77}$$

porque $\omega^{(1)} = \omega^{(3)}$.

4. Projecto Óptimo de Ligações Aparafusadas

4.1 Formulação do Problema de Optimização

O problema de optimização associado ao projecto óptimo das ligações aparafusadas pode ser formulado matematicamente como um problema de minimização dos custos:

$$\text{Minimizar } \mathrm{FOBJ}(x) = 2\omega^{(1)}(x) + \omega^{(2)}(x) \tag{4.1}$$

sujeito às N_R e N_v restrições

$$\varphi_i(x) \leq 0 \quad , \quad i = 1,...,N_R \tag{4.2}$$

$$x_i^{inf} \leq x_i \leq x_i^{sup} \quad , \quad i = 1,...,N_v \tag{4.3}$$

onde os custos $\omega^{(k)}(x)$ estão definidos nas equações (3.74) a (3.77) e as funções $\varphi_i(x)$ na desigualdade (4.2) representam genericamente as funções $g_i^{(k)}$ e r_j associadas respectivamente às restrições geométricas e de integridade estrutural definidas no Capítulo 3. As restrições (4.3) estão associadas a limites geométricos ou tecnológicos impostos directamente nas variáveis de projecto x_i.

4.2 Algoritmo de Optimização

4.2.1 Introdução

A técnica de pesquisa evolucionária adoptada neste trabalho baseia-se num Algoritmo Genético (AG) que se encontra descrito em Conceição António [4]. A introdução dos

algoritmos genéticos (AGs) na optimização deve-se ao trabalho pioneiro de Holland [33] *e* Goldberg [34]. Os AGs são métodos de optimização baseados nas leis da selecção natural e da sobrevivência das espécies cuja formulação é conhecida nos meios científicos como Teoria de Darwin.

Os AGs usam em geral não o valor real das variáveis de projecto designado por fenotipo, mas sim um valor codificado designado por genotipo. Cada variável está associada a um domínio que em geral é discreto. Uma solução de projecto é formada por um vector onde cada componente corresponde ao valor de cada variável. À entidade composta pelos valores codificados de uma solução, chama-se *cromossoma*. O cromossoma é constituído por entidades mais pequenas designadas por *genes* que estão associadas ao valor codificado de cada variável.

De modo a promover as melhores soluções e implementar a selecção natural é necessário distinguir entre boas e más soluções. A qualidade das soluções pode ser medida através de uma *função de mérito* que é definida a partir de um modelo matemático simulado pelo computador e que permite classificar o valor de cada indivíduo/solução pertencente a uma população. Em suma, a medição relativa do mérito das soluções candidatas permite a ordenação e posterior selecção das melhores e a consequente utilização deste facto no AG no sentido duma evolução positiva do mérito da população de soluções.

No presente trabalho a Função de Mérito relaciona-se com os custos da ligação e com a amplitude da violação das restrições. A metodologia adoptada permite penalizar simultaneamente os custos e as transgressões das restrições fazendo convergir o algoritmo no sentido da solução óptima.

4.2.2 Definição da Função de Mérito

Um dos passos importante na pesquisa evolucionária é definir a Função de Mérito, MER(**x**), que está intimamente relacionado com a qualidade das soluções de projecto e a sua admissibilidade. O mérito é assim baseado no custo associado a cada solução de projecto representado pela função objectivo (FOBJ) e na verificação das respectivas restrições do problema. No entanto, de modo a que o mérito de cada solução seja afectado pelas restrições violadas, caso existam, ou seja, pela qualidade da solução, é necessário definir com precisão essa influência. Então o problema de optimização é rescrito maximizando o Mérito traduzido pela função MER(**x**)

$$\text{Maximizar } \mathrm{MER}(\mathbf{x}) = K_0 - K_1 \ \mathrm{FOBJ}(\mathbf{x}) - K_2 \sum_{i=1}^{N_R} \Psi_i(\mathbf{x}) \tag{4.4}$$

$$\text{com} \quad \Psi_i(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } \varphi_i(x) \le 0 \\ \xi \left[\varphi_i(x)\right]^{\eta} & \text{se } \varphi_i(x) > 0 \end{cases} \tag{4.5}$$

onde ξ e η são calculados usando um método de penalização gradativo [35], K_0 e K_1 são constantes arbitrárias e K_2 é igualmente uma constante arbitrária mas que por ter uma grande influência no mérito vai ser objecto de estudo de forma a optimizar essa constante para vários perfis. A técnica de introdução das restrições (4.2) na função de mérito concretizada através da equação (4.5) será objecto de análise no capítulo seguinte. As restantes restrições (4.3) são consideradas directamente aquando da definição das bases de dados usadas na pesquisa da solução óptima.

4.2.3 Codificação das variáveis

Atendendo à natureza discreta do domínio de todas as variáveis de projecto definidas na secção 3.2 adoptou-se uma codificação inteira para o respectivo genotipo.

Na realidade o número de colunas e de linhas de parafusos são valores inteiros havendo por isso uma correspondência directa entre o genotipo e o fenotipo. As variáveis relacionadas com os materiais dos parafusos e das chapas de cobrejuntas são associadas a um conjunto de propriedades mecânicas que caracterizam cada solução de projecto (material) como um todo, daí ser aconselhável a utilização de um número de código inteiro. As espessuras das cobrejuntas e os diâmetros dos parafusos por questões relacionadas com as dimensões (discretas) padronizadas de fabrico e comercialização também sugerem a utilização de um código inteiro.

Finalmente as distâncias entre colunas de parafusos por razões construtivas têm domínios bem definidos pelo que um discretização adequada permite a utilização de uma codificação inteira sem onerar os custos do processo de optimização.

4.2.4 Operadores do Algoritmo Genético

A técnica de pesquisa utilizada neste trabalho é caracterizada por três operadores que se baseiam numa estratégia elitista que preserva sempre um núcleo composto pelos melhores indivíduos da população [35], conforme a Figura 4.1.

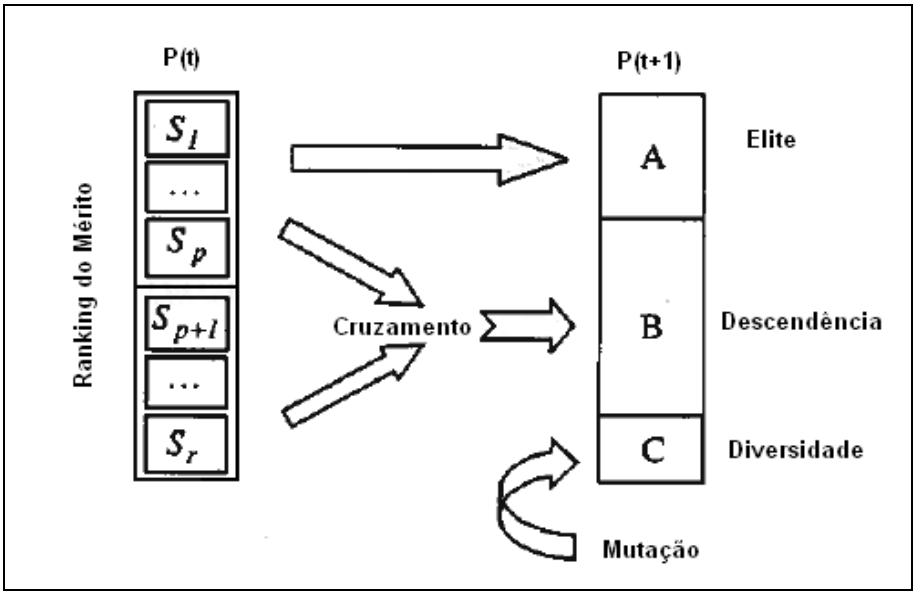


Figura 4.1 Operadores do Algoritmo Genético [34].

Os operadores são:

<u>Selecção</u>: Nesta operação escolhe-se a parte da população que será transferida para a próxima geração consoante o mérito de cada indivíduo dessa população. Adopta-se uma estratégia elitista onde só os N_A melhores cromossomas da população actual P^t passarão para a próxima população P^{t+1}. Com esta metodologia garante-se o aumento do mérito.

<u>Cruzamento</u>: Este operador transforma dois cromossomas (pais) num cromossoma (filho) tendo este genes de ambos progenitores. Após a ordenação baseada no mérito dos indivíduos da população, seleccionam-se dois progenitores:

o primeiro pertencente à elite, definido como

$$U = \left\{ S_1^t, S_2^t, ..., S_p^t \right\} \tag{4.6}$$

e o segundo escolhido na restante parte da população com méritos inferiores

$$L = \left\{ S_{p+1}^t, S_{p+2}^t, ..., S_{Npop}^t \right\} \tag{4.7}$$

onde N_{pop} é a dimensão da população. O processo de selecção de cada progenitor rege-se por uma função distribuição de probabilidade uniforme, Unif(0,1) e por isso diz-se que a selecção dá-se de forma quasi-aleatória, porque é controlada pela função. Por outro lado os dois processos de selecção dos progenitores são independentes.

Aqui, de modo a clarificar a analogia, deve-se entender "material genético" como qualquer parcela do cromossoma associado a um indivíduo/solução.

O material genético da descendência é obtido por um método de cruzamento uniforme no qual, como para a selecção, se faz uso da função distribuição de probabilidade Unif(0,1). Considere-se então que o gene z_i do descendente é escolhido entre dois valores possíveis: o do progenitor A com mérito alto, s_i, ou o do progenitor B com mérito baixo, t_i, conforme o resultado do valor gerado pela função Unif(0,1) em relação a determinada probabilidade previamente fixada, p_i^{cruz}. O processo pode ser representado como

$$z_i = \begin{cases} s_i & \prec= S_j \in U \text{ se } \mathrm{Unif}(0,1) \le p_i^{cruz} \\ t_i & \prec= S_j \in L \text{ se } \mathrm{Unif}(0,1) \ge p_i^{cruz} \end{cases} \tag{4.7}$$

O cruzamento dos progenitores encontra-se patente na Figura 4.2. Normalmente, p_i^{cruz} costuma ser 50%. Este tipo de cruzamento multiponto é conhecido na literatura da especialidade por "Parameterized Uniform Crossover" [36.].

Os cromossomas progenitores e descendente têm a mesma dimensão daqueles usados no problema em estudo. Num problema de optimização de ligações topo a topo por cobrejuntas existem 14 variáveis, XVAR(i): 7 relacionados com os banzos e 7 com a alma. A descodificação dessas variáveis é evidente da figura.

<u>Mutação</u>: de modo a evitar a ancoragem do processo de optimização em mínimos locais, há cromossomas cujos genes são gerados aleatoriamente e inseridos na população de modo a aumentar a diversidade da população de soluções e a garanti-la em cada geração. Este tipo de mutação diferente do método clássico de selecção e permuta de um gene no cromossoma, é designado com Mutação Implícita. Na realidade tem um efeito posterior no processo evolucionário. A diversidade da população é um factor chave que aumenta a probabilidade de encontrar o óptimo global e depende da dimensão do grupo elitista, N_A e do número de cromossomas N_C gerados "de novo" [35].

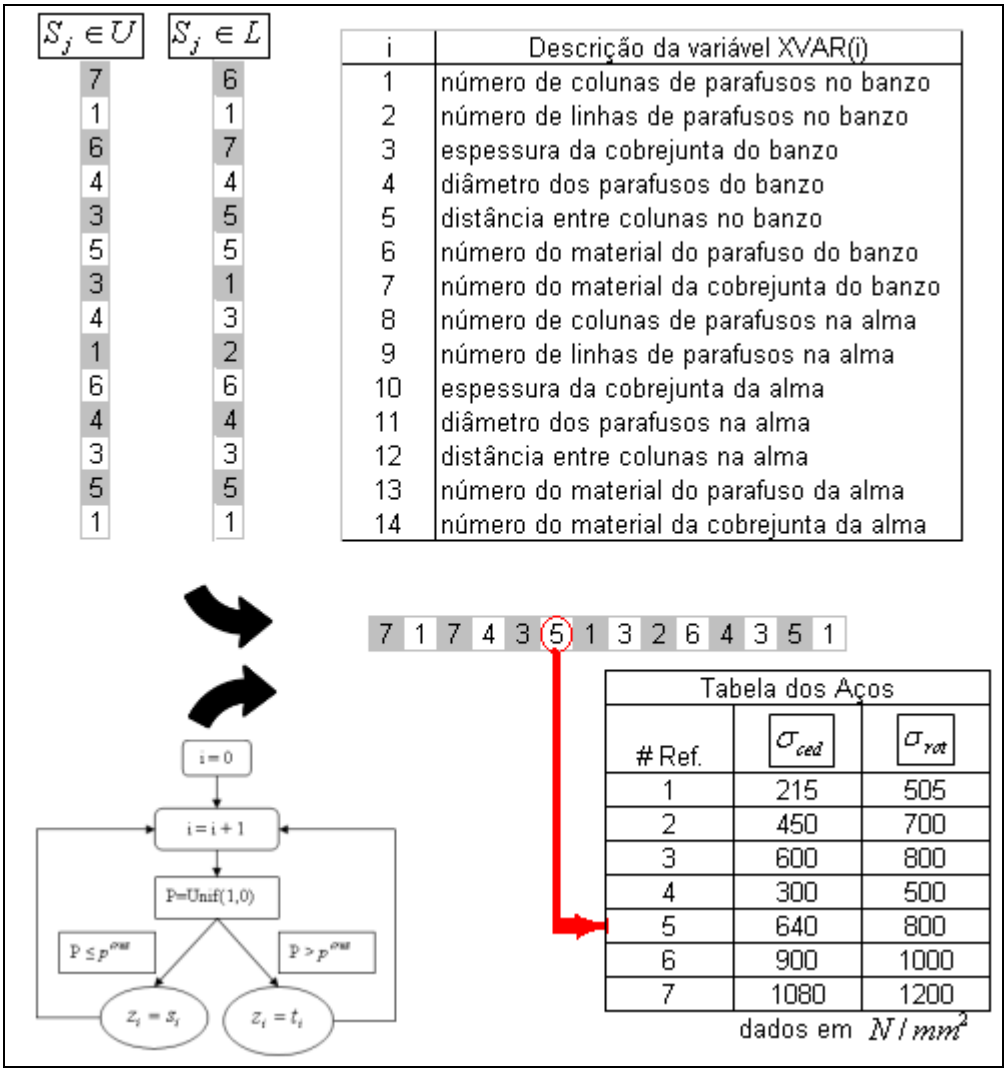


Figura 4.2 Operador Cruzamento baseado em codificação inteira.

4.2.5 Programação do Algoritmo de Optimização

O Programa de Optimização de Ligações Aparafusadas é composto por três componentes importantes: módulos do algoritmo genético, módulos de avaliação das restrições e o módulo de avaliação da função de mérito. Os módulos de programação foram executados em linguagem FORTRAN e são constituídos por várias subrotinas dentro de cada módulo. É dentro do módulo que processa a avaliação da função de mérito que se centra grande parte deste trabalho, Capítulo 5.

5. Exemplos de Aplicação de Projecto Óptimo de Ligações Aparafusadas

5.1 Introdução

Nesta secção são apresentados exemplos numéricos de projecto óptimo de ligações aparafusadas topo a topo com cobrejuntas. Para o efeito foi necessário criar bases de dados contendo toda a informação sobre as cargas aplicadas na estrutura e suportadas pela ligação aparafusada, as propriedades dos materiais usados, as restrições geométricas e tecnológicas de projecto, e os dados sobre os custos dos materiais e das operações de produção.

A utilização eficiente de um algoritmo genético (AG) na pesquisa da solução óptima de projecto implicou o estudo de dois aspectos fundamentais:

a) A análise dos parâmetros de penalidade usados para incluir as restrições do problema de projecto óptimo na definição da função de mérito;

b) A influência dos parâmetros do AG na pesquisa da solução óptima.

5.2 Base de Dados

Uma forma de obter a ligação aparafusada que cumpre todas as condições apresentadas anteriormente e é a mais barata, utilizando a base de dados disponível, pode ser conseguida através de um algoritmo genético como o que é descrito em Conceição António [4]. Durante o processo de pesquisa da melhor solução, o algoritmo usa a Base de Dados para definir o domínio de soluções para as variáveis de projecto. As bases de dados são constituídas aqui pelas Bibliotecas de Materiais e Custos de Processamento (Anexos F e G). Para este efeito foram criadas duas bibliotecas de dimensão diferente com o intuito de apreciar a influência da dimensão da Base de Dados na evolução do AG. Cada Biblioteca de Materiais inclui a Biblioteca de Parafusos e a Biblioteca de Furações.

No anexo G, na Biblioteca de Parafusos constam os preços dos parafusos, porcas e anilhas, em 3 aços inoxidáveis e 4 ferrosos, por diâmetro e comprimento disponíveis ou alturas no caso das porcas e anilhas segundo o catálogo da empresa INTEC [37]. Os aços são caracterizados pelo terno ordenado $(\sigma_{rot}, \sigma_{ced}, \nu)$ onde $\nu \times d$ representa a deformação à rotura do parafuso em relação ao seu diâmetro nominal, d. As classes de parafusos desta biblioteca são:

1. Parafuso em INOX A2 (505 MPa, 215 MPa, 0.6) com sextavado DIN 931, ref. 0120.
2. Parafuso em INOX A4-70 (700 MPa, 450 MPa, 0.4) com sextavado DIN 931, ref. 0985
3. Parafuso em INOX A4-80 (800 MPa, 600 MPa, 0.3) com sextavado DIN 931, ref. 0250
4. Parafuso em Aço ferroso da classe 5.6, (500 MPa, 300 MPa, 0.6), galvanizado a quente DIN 7990, ref. 1007
5. Parafuso em Aço ferroso da classe 8.8, (800 MPa, 640 MPa, 0.6) com sextavado DIN 931, ref. 0027
6. Parafuso em Aço ferroso da classe 10.9 (1000 MPa, 900 MPa, 0.5) com sextavado DIN 931, ref. 0409
7. Parafuso em Aço ferroso da classe 12.9 (1200 MPa, 1080 MPa, 0.6) com sextavado DIN 931, ref. 0914

As classes de porcas são:

1. Porca CL 5 com sextavado DIN 934, ref. 0096
2. Porca CL 8 com sextavado DIN 934, ref. 0099
3. Porca CL 10 com sextavado DIN 934, ref. 0416
4. Porca A2 com sextavado DIN 934, ref. 0132
5. Porca A4-80 com sextavado DIN 934, ref. 1125
6. Porca A4 com sextavado DIN 934, ref. 0260

E, por fim, as classes de anilhas são:

1. Anilha A2 plana simples DIN 125, ref. 0139
2. Anilha A4 plana simples DIN 125, ref. 0295
3. Anilha ST plana galvanizada DIN 125, ref. 0523.

Adicionalmente foi também criada a Biblioteca de Custos de Processamento onde constam os materiais e os custos das chapas de cobrejunta, os custos da sua furação para diferentes diâmetros e espessuras. O ficheiro que contém esta informação, contém também os passos (séries) das roscas dos parafusos. Os diâmetros de interesse para o processo de furação são

aqueles para os quais existem parafusos, a saber: 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 42 e 45. Os passos são definidos pela norma DIN 931. As espessuras das chapas, expressas em milímetros são: 5, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25, 30, 35 e 40. Considerou-se que as chapas podem ser feitas de 3 aços diferentes, definidos pelo par ordenado $(\sigma_{ced}, \sigma_{rot})$:

1. (235 MPa, 360 MPa)
2. (275 MPa, 410 MPa)
3. (335 MPa, 510 MPa).

A imputação dos Custos de Processamento é um processo semi-empírico baseado no volume de apara retirado do furo que se pretende fazer. O procedimento que se usou neste trabalho para a imputação dos custos assenta nos seguintes passos:

1. Cálculo do volume de material retirado para todos os pares de combinações (espessura, diâmetro), (t_i, d_j) com $i = 1,...,N_t$ e $j = 1,...,N_d$, onde N_t e N_d designam respectivamente, o número de espessuras e de diâmetros disponíveis para um dado material;

2. Cálculo do custo aproximado de um furo de um determinado par de referência (t^*, d^*) incluindo o custo de mão de obra, o custo hora/máquina, o custo dos consumíveis, o custo da energia, as obrigações fiscais, sociais e seguros, a margem de erro e o lucro associado;

3. Após ter determinado o custo do furo do par de referência (t^*, d^*), dividem-se os valores da tabela dos volumes obtida no Passo 1, pelo volume do par de referência (t^*, d^*) multiplicando-se de seguida pelo respectivo custo calculado no Passo 2;

4. De modo a obter os custos para os outros materiais, recorreu-se a uma relação de proporcionalidade directa com as tensões de cedência.

Como as bases de dados têm uma dimensão elevada e como o problema de optimização é um problema de análise combinatória de valores discretos, resulta da conjugação destes dois factores uma dimensão muito elevada do domínio de soluções de projecto. No entanto, o AG usa pequenas populações com um determinado número de indivíduos, em cada geração do processo de pesquisa da solução óptima. Estas populações são formadas por grupos de soluções de projecto para a ligação aparafusada em estudo, com méritos diferentes dependendo dos custos e do grau de violação das restrições associadas. A permuta estruturada de informação pelos operadores do AG suportada por um processo elitista permite a melhoria da solução de projecto com mérito mais elevado na população, durante o processo

evolucionário. Assim a pesquisa conduz sempre à obtenção de uma solução à qual corresponde o menor custo e à satisfação das restrições de projecto.

5.3 Estudo da Influência da Penalização da Violação das Restrições na Definição da Função de Mérito

A função de mérito, MER, é juntamente com a dimensão da biblioteca de materiais, um dos factores com mais importância na obtenção das melhores soluções óptimas. Considere-se o termo restritivo na definição da função de mérito estabelecida na equação (4.4) do Cap.4,

$$\Psi_i(\mathbf{x}) = \begin{cases} 0 & \text{se } \varphi_i(\mathbf{x}) \leq 0 \\ \xi\left[\varphi_i(\mathbf{x})\right]^{\eta} & \text{se } \varphi_i(\mathbf{x}) > 0 \end{cases} \tag{5.1}$$

Os valores dos parâmetros ξ e η são obtidos considerando dois níveis de violação das restrições com penalizações diferentes [4]. A uma violação fraca das restrições, φ_0 corresponderá uma penalização negligenciável p_0. Uma violação forte de valor φ_1 será penalizada com um valor elevado p_1. Usando estes dois níveis de violação - penalização obtêm-se os parâmetros na equação (5.1) da seguinte forma:

$$\xi = \frac{p_0}{(\varphi_0)^{\eta}} \tag{5.2}$$

e

$$\eta = \frac{\ln\left(\dfrac{p_0}{p_1}\right)}{\ln\left(\dfrac{\varphi_0}{\varphi_1}\right)} \tag{5.3}$$

O valor das parcelas $\Psi_i(\mathbf{x}) = \xi\left[\varphi_i(\mathbf{x})\right]^{\eta}$ do termo restritivo da função de mérito dependerá dos valores φ_0, φ_1, p_0, p_1 considerados para os dois níveis de violação/penalização. O valor numérico relativo entre as duas parcelas da função objectivo – os custos e o termo restritivo – condicionará a história do processo evolutivo de busca da solução óptima baseada no AG. A Figura 5.1 mostra a influência dos parâmetros em análise para três casos diferentes.

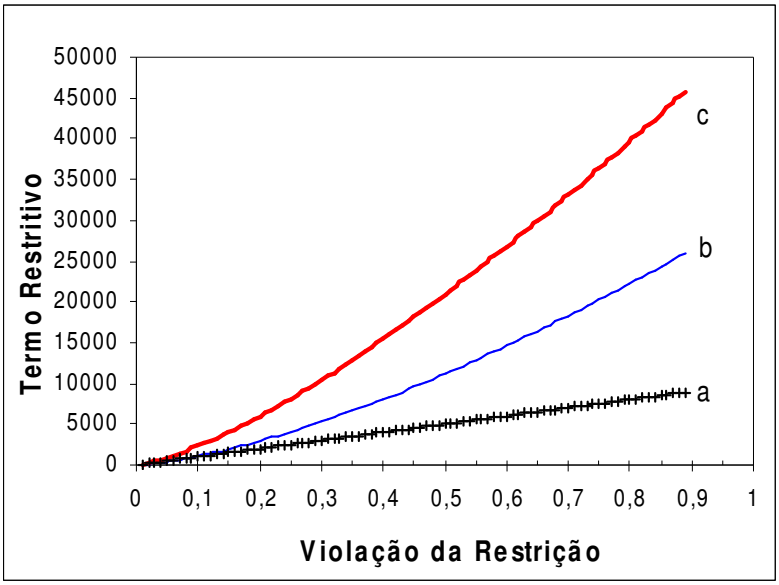


Figura 5.1 Variação do termo restritivo da Função de Mérito

a) $\varphi_0 = 0.01$, $\varphi_1 = 0.05$, $p_0 = 100$, $p_1 = 500$;

b) $\varphi_0 = 0.02$, $\varphi_1 = 0.06$, $p_0 = 100$, $p_1 = 500$;

c) $\varphi_0 = 0.01$, $\varphi_1 = 0.05$, $p_0 = 100$, $p_1 = 900$.

A curva a) considera uma penalização directamente proporcional à violação das restrições pois o expoente na equação (5.3) é igual a 1. Por outro lado no caso da curva b), mantendo os valores da penalização e alterando os valores de referência para a violação das restrições, verifica-se uma alteração significativa do valor do termo restritivo. No caso da curva c) constata-se que mantendo os valores de referência para a violação das restrições e aumentando apenas a penalidade mais forte, o termo restritivo é fortemente incrementado.

Nos exemplos apresentados neste trabalho utiliza-se a curva a) que é uma recta, ou seja, a penalização é proporcional ao valor da violação da restrição.

5.4 Afinação das Constantes da Função de Mérito

5.4.1 Introdução

Considerando a Função de Mérito definida no Capítulo 4, equação (4.4),

$$\mathrm{MER}(\mathbf{x}) = K_0 - K_1\ \mathrm{FOBJ}(\mathbf{x}) - K_2 \sum_{i=1}^{N_R} \Psi_i(\mathbf{x})$$

A introdução da constante K_0 destina-se a transformar o mérito numa grandeza positiva produzindo um efeito de translação na escala de valores escolhida. Depois de uma análise numérica prévia fixou-se o seu valor em $K_0 = 1.0 \times 10^6$.

As constantes K_1 e K_2 são no sentido lato do termo factores de ponderação do custo e do termo restritivo relacionado com a violação das restrições. A influência da ponderação na história do processo evolucionário associado ao AG é evidente. Atendendo à ordem de grandeza dos custos envolvidos e para facilitar a afinação dos constantes da Função de Mérito considera-se $K_1 = 1$. Este valor é aceitável considerando um custo genérico na ordem dos 1E+05, ou ordem 5, como se poderá verificar adiante (Anexo D). Em termos práticos, a afinação da Função de Mérito é facilitada considerando unicamente o peso da violação das restrições no processo de optimização.

De um modo preliminar estuda-se apenas a sensibilidade do processo evolucionário relativamente à constante K_2. Para determinar ordem mais provável da constante K_2 considerem-se os valores das constantes da equação (5.1): $\varphi_0 = 0.01$, $\varphi_1 = 0.05$, $p_0 = 100$, $p_1 = 500$. Usando estes valores determina-se que $\eta = 1$ e $\xi = 1.0 \times 10^4$. Atendendo à ordem do valor das restrições e à equação (5.1) conclui-se que para existir equilíbrio numérico entre as três parcelas da Função de Mérito, K_2 deve ser de ordem 2. Assim, pode-se concluir que a constante K_2 terá um valor algures compreendido entre 100 e 999. O procedimento utilizado para encontrar K_2 baseia-se num varrimento ao longo da gama [10, 950] em que para cada constante se representa o mérito e o custo. Como o objectivo é obter o máximo mérito e consequentemente o mínimo custo, representa-se também o rácio Mérito/Custo procurando o seu máximo. A abcissa do máximo Mérito/Custo representa a constante que dá melhores resultados para aquele perfil. A este procedimento dar-se-á o nome de "Tuning" Independente da Função de Mérito, porque a função de mérito de cada perfil é afinada de modo independente.

Durante a execução do algoritmo, procuram-se soluções que como já foi dito vejam o seu mérito melhorados de geração para geração. Originalmente o objectivo do problema de optimização era minimizar o custo satisfazendo as restrições, de acordo com as equações (4.1), (4.2) e (4.3). A pesquisa da solução óptima baseada num Algoritmo Genético obrigou a uma reformulação do problema de optimização envolvendo em simultâneo a função objectivo e as restrições do problema de acordo com as equações (4.4) e (4.5). Esta reformulação deu origem a um problema de maximização de uma função designada por função de Mérito que inclui um termo restritivo relacionado com a violação das restrições. A escolha adequada da constante K_2 influenciará positivamente o número de avaliações da Função de Mérito necessárias para obter o projecto óptimo.

5.4.2 Ligação topo a topo entre 2 perfis HEA 400

No algoritmo genético utilizou-se uma população de 21 indivíduos e considerou-se apenas a evolução do AG durante 300 gerações. Normalmente, 300 gerações é um número reduzido para obter soluções aceitáveis mas neste caso a evolução inicial do algoritmo é suficiente para saber se a constante é boa ou não em termos de geração de boas soluções futuras.

Os dados de entrada de todos os perfis encontram-se no Anexo A. A evolução do algoritmo foi amplamente estudada usando a ligação de perfis HEA 400 para a qual se apresentam resultados sobre evolução dos custos, méritos e restrições violadas ao longo do processo evolucionário para dois varrimentos diferentes da constante de ponderação do termos restritivo: $K_2 \in [10,200]$ com passo 5 e $K_2 \in [10,950]$ com passo igual a 50. Os resultados estão disponíveis no Anexo B.

Numa etapa inicial deste estudo, fez-se o varrimento do intervalo $K_2 \in [10,200]$, com passo igual a 5, para o qual se encontrou a constante K_2 óptima de 190. Depois percebeu-se que a ordem de grandeza da K_2, ordem 2, obrigava a executar um varrimento mais lato, ou seja $K_2 \in [10,950]$ com passo igual a 50. Os resultados obtidos para os dois varrimentos apresentam-se nas figuras 5.2 e 5.3 donde se pode concluir que quanto mais exigente for o varrimento, ou seja menor for o incremento, maior é a probabilidade de encontrar o valor óptimo exacto de K_2 o que implica, no entanto, um maior esforço de computação.

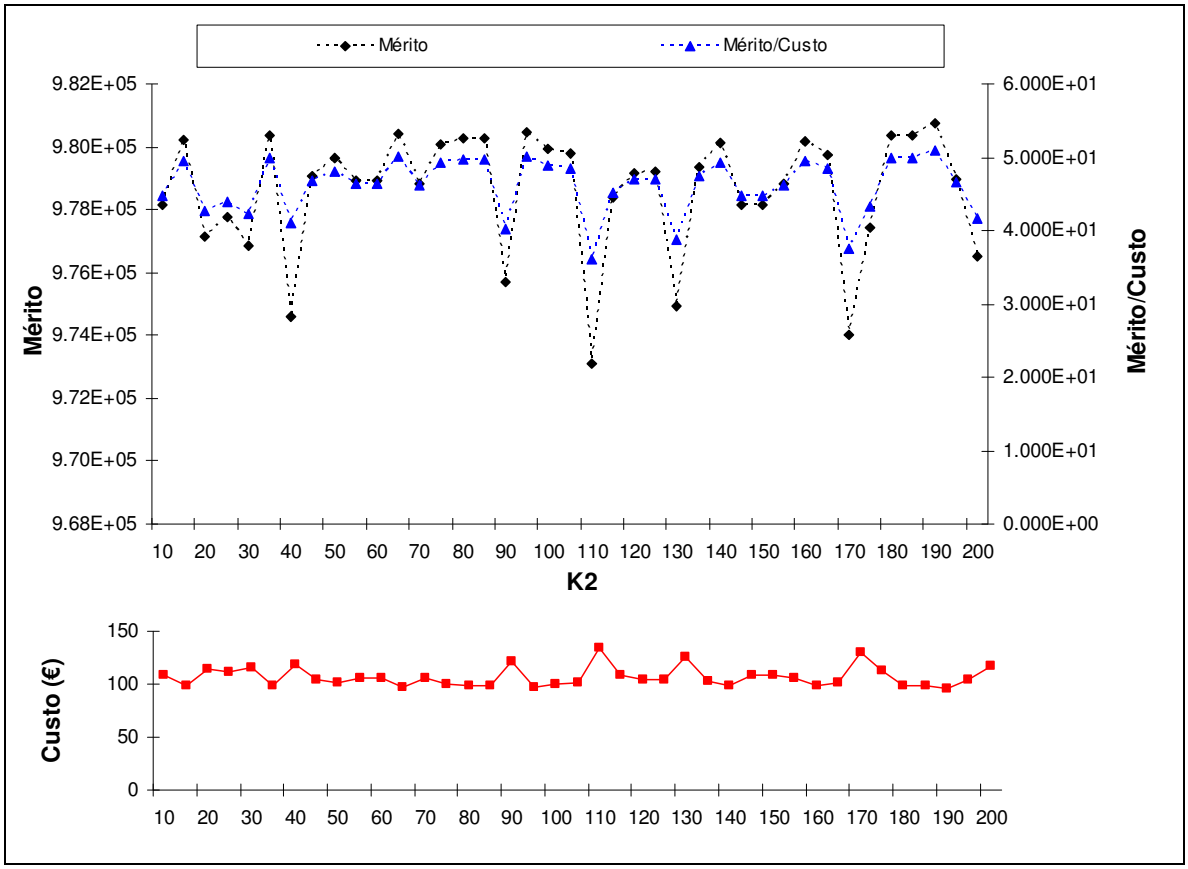


Figura 5.2 Mérito e custos obtidos para 300 gerações em função de K_2 (passo=5).

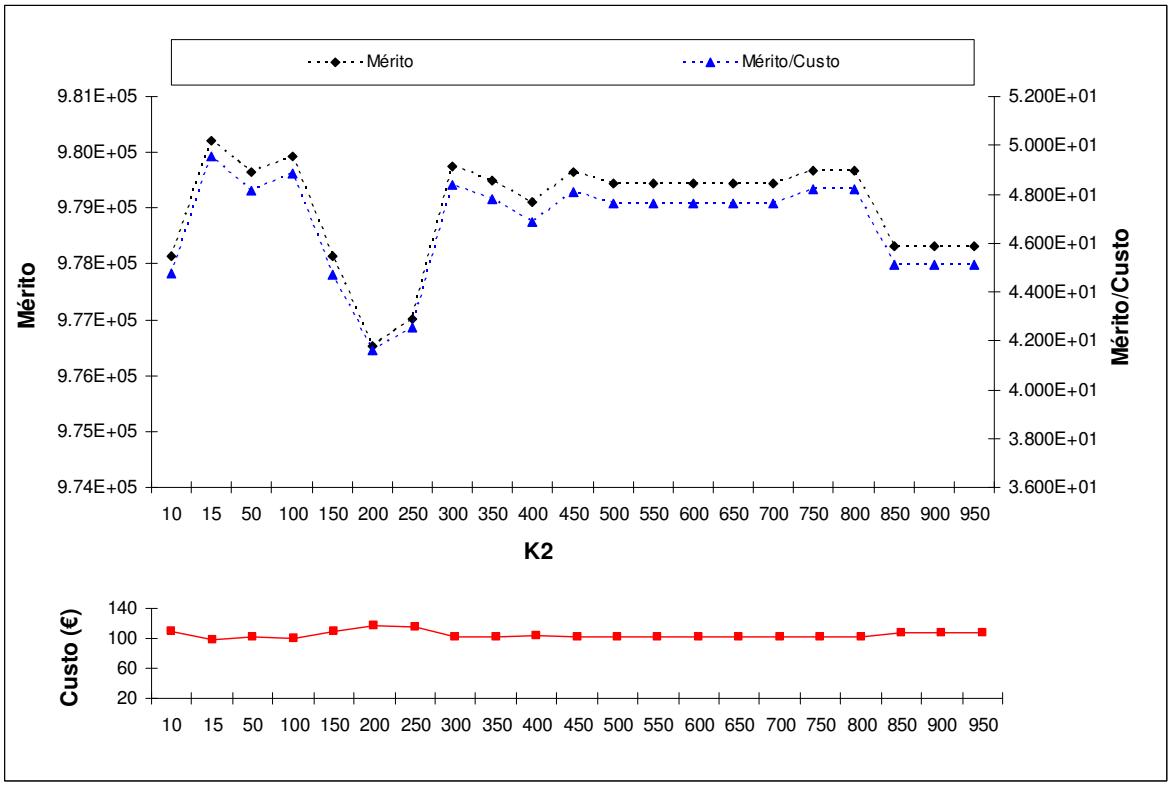


Figura 5.3 Mérito e custos obtidos para 300 gerações em função de K_2 (passo=50).

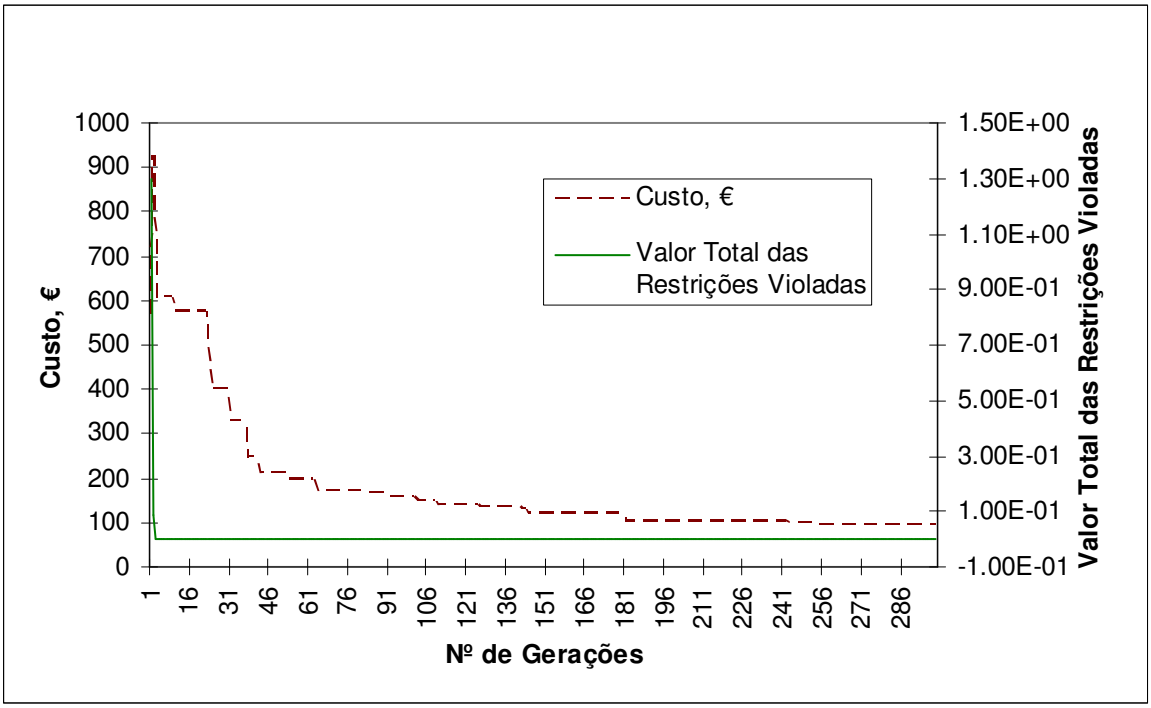


Figura 5.4 Evolução do custo da ligação e da violação das restrições para 300 gerações, usando $K_2 = 190$.

Após se ter encontrado a constante óptima K_2, parte-se para o estudo da evolução do processo de optimização em termos de custo da ligação aparafusada e da violação das restrições do problema, conforme a Figura 5.4.

Esta monitorização do algoritmo é importante porque permite verificar se as "injecções" de material genético aleatório pelo operador Mutação Implícita estão de facto a provocar o aumento da diversidade de material genético da população. Com a introdução de cromossomas completamente novos o algoritmo evita mínimos locais. A Figura 5.4 mostra que num estágio inicial o número de restrições violadas é diferente de zero mas na terceira geração já é nulo. Esta característica deste problema demonstra que as propriedades dos materiais da biblioteca se adequam às soluções calculadas. Os resultados estão disponíveis no Anexo C. Na sequência deste estudo tentou-se averiguar se outras funções de imputação de mérito seriam aceitáveis. Para tal, utilizou-se uma função com um formato diferente daquela utilizada anteriormente, MER_1. Recorde-se então as funções de mérito, MER_i:

$$MER_1 = 1.0E+06 - FOBJ - 190 \sum_{i=1}^{N_R} \Psi_i(\mathbf{x}) \tag{5.4}$$

$$\text{MER}_2 = 1.0\text{E}+06 + (1.0\text{E}+08/\text{FOBJ}) - \sum_{i=1}^{N_R} \Psi_i(\mathbf{x}) \tag{5.5}$$

com $\Psi_i(\mathbf{x})$ definido pela equação (4.5).

No caso de MER_2, o peso das restrições não foi afinado.

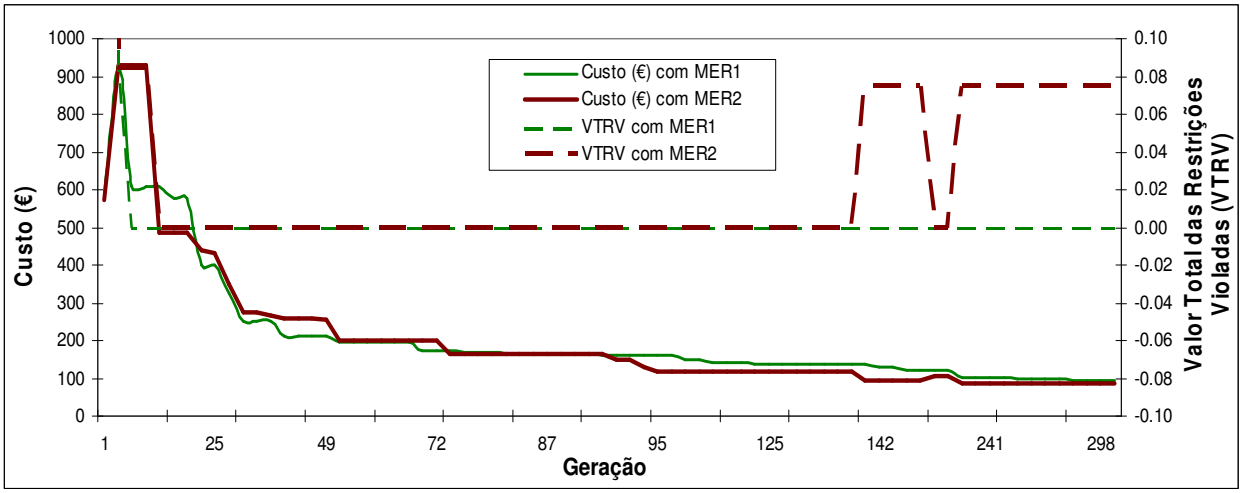


Figura 5.5 Evolução do custo da ligação e das restrições para diferentes funções de mérito.

Os resultados apresentados na Figura 5.5 e no Anexo D mostram que MER_2 é demasiado influenciável pela injecção de material genético proveniente da mutação e pelo facto da constante de ponderação do termo restritivo da função MER_2 não ter sido afinada. Isto é comprovado pelo facto da melhor solução para MER_2 exibir uma violação "tardia" das restrições durante o processo evolucionário considerado. Assim, a solução gerada não é óptima porque há restrições que são transgredidas. Por outro lado, recuando até à geração nº 169 por exemplo vê-se que as restrições são nulas em ambas MER_i e optando pela MER_2 haveria uma poupança de 10%.

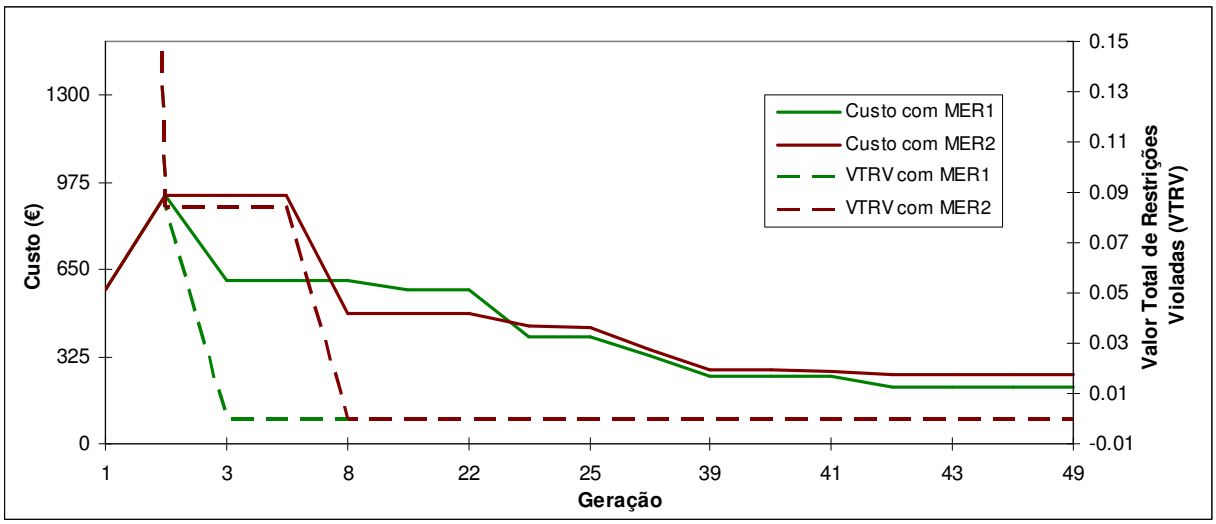


Figura 5.6 Evolução do Custo (€) e da Amplitude Total de Restrições Violadas (TRV) nas primeiras gerações do algoritmo.

No entanto, recuando ainda mais até à geração nº 49 (Figura 5.6) observa-se que recorrendo a MER_1 obtêm-se custos mais baixos do que aqueles da MER_2 representando uma poupança de 17,7% apesar de se estar a falar de valores mais elevados do que na geração nº 169. Daqui se pode depreender que para poucas gerações não se pode extrair conclusões sobre as vantagens da utilização de MER_1 ou de MER_2 no que diz respeito aos custos da ligação. Tal acontece devido ao facto do processo evolucionário ainda não estar totalmente amadurecido como se comprova pelo aparecimento "tardio" (entre as gerações 142 e 300) de soluções violadas no processo evolucionário.

Numa perspectiva mais alargada do ponto de vista do número de gerações, estudou-se também a evolução do mérito do par (melhor, pior) solução de determinada geração fazendo variar a dimensão da população de soluções. Este estudo permite acompanhar a evolução da elite das populações consideradas através do estudo da evolução da melhor e da pior solução deste grupo.

Numa fase final deste estudo, comparam-se também bibliotecas diferentes com o intuito de justificar que usando bibliotecas maiores teremos soluções mais baratas.

Considere-se então um aumento do número de gerações de 300 para 1500 gerações. Até agora a população tem sido mantida em 21 soluções, ou seja, em cada geração são geradas 21 soluções constituídas cada uma por uma combinação de parafusos, porcas, chapas e anilhas que podem violar, mais ou menos, as restrições impostas pelo Eurocódigo 3. A amplitude de violação das restrições, adicionada de forma pesada ao custo da ligação forma o mérito que conforme anteriormente descrito na Secção 4.2 é o objectivo de optimização deste trabalho.

Na figura 5.7 apresenta-se a evolução do mérito da melhor e da pior soluções da elite em cada geração para uma população de 21 e 30 indivíduos usando a função MER_1 para o perfil HEA400 usando a constante K_2 optimizada de 190. No Anexo E disponibilizam-se os resultados obtidos.

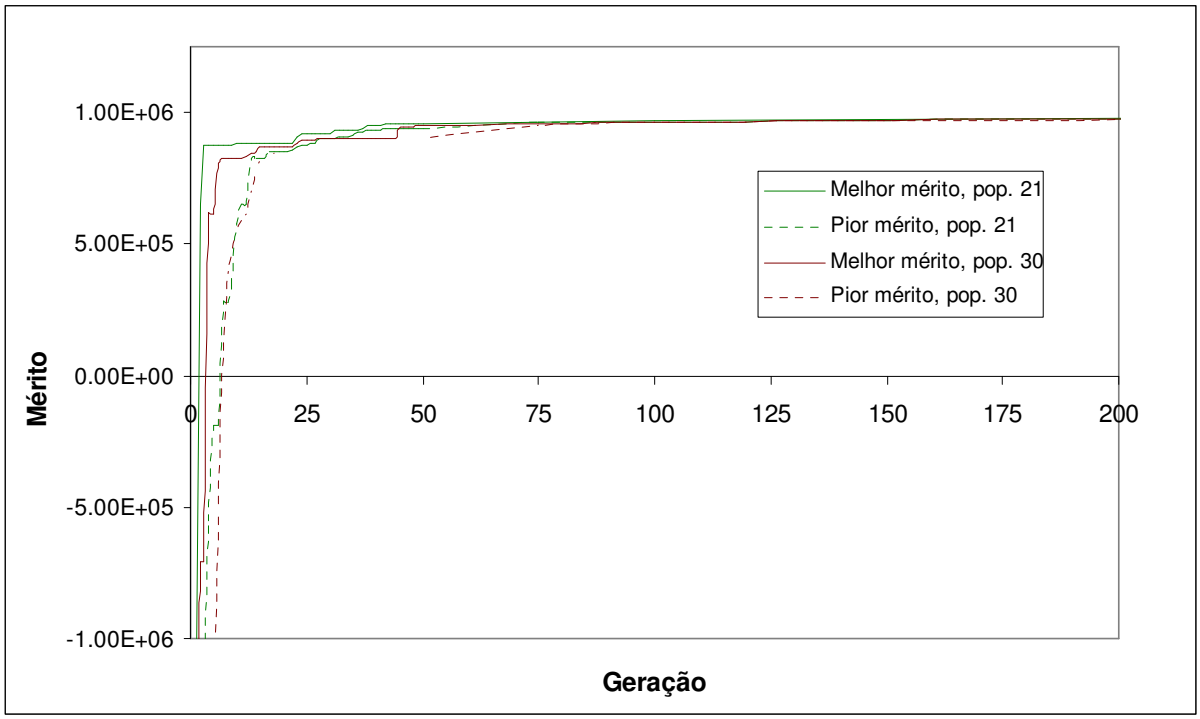


Figura 5.7 Evolução das elites das duas populações no início da pesquisa evolucionária.

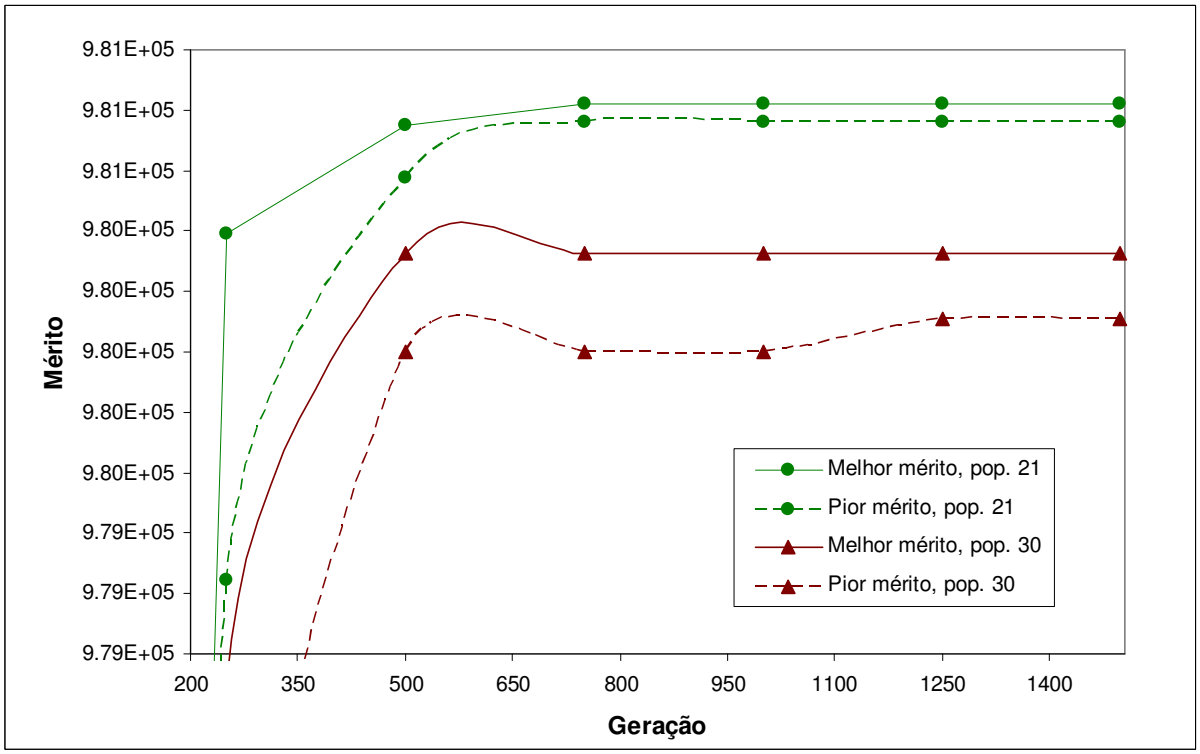


Figura 5.8 Evolução das elites das duas populações a partir das 200 gerações até ao fim.

Das figuras 5.7 e 5.8 pode-se concluir, que neste caso, uma população composta por 21 indivíduos/soluções gera soluções com melhor mérito do que aquela composta por 30 soluções

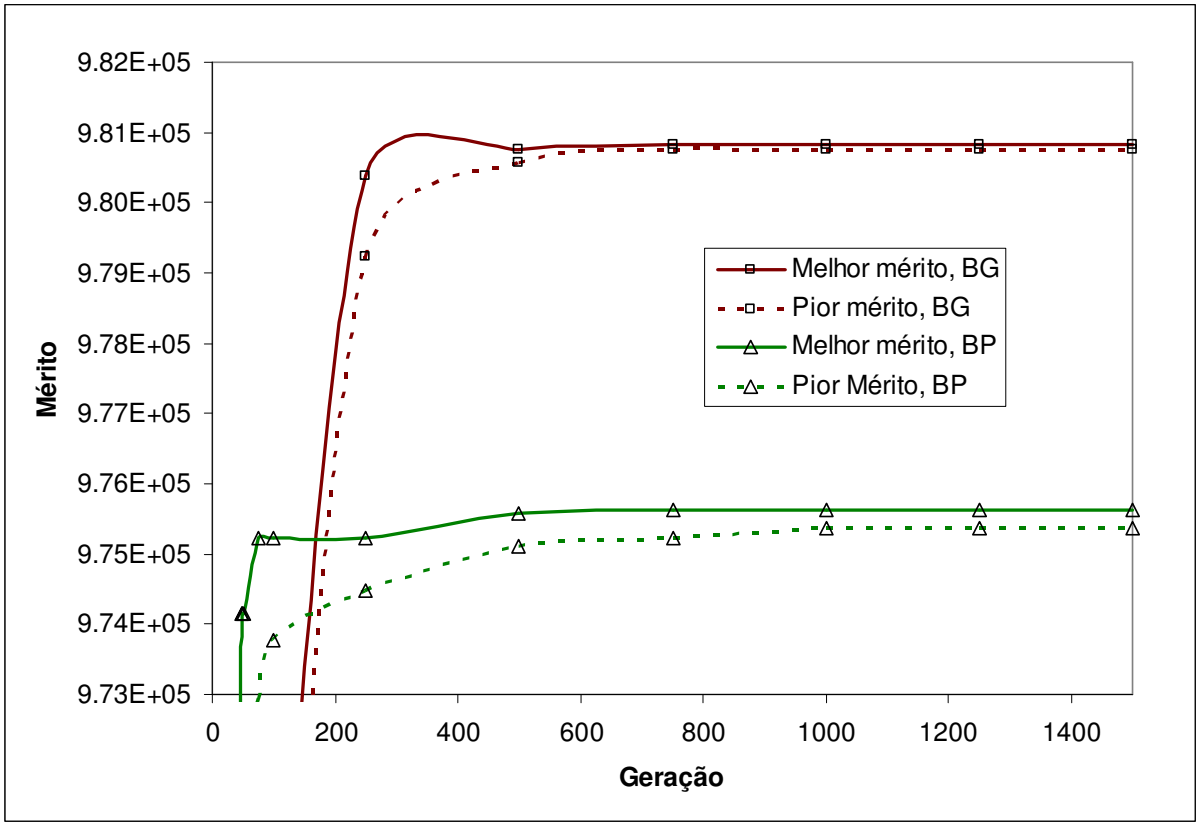


Figura 5.9 Evolução da elite para uma população de 21 soluções utilizando uma biblioteca grande (BG) e uma biblioteca pequena (BP).

Da figura 5.9 pode se tirar outra conclusão que já era esperada: utilizando bibliotecas maiores obtêm-se melhores resultados. Esta constatação não é generalizável porque neste caso a biblioteca pequena foi aumentada, isto é, definiram-se mais materiais dentro da gama pré-existente. Se pelo contrário se construísse uma nova biblioteca maior com materiais muito díspares os resultados poderiam não ser os mesmos e até piores se os materiais tivessem propriedades muito diferentes da gama aqui escolhida.

Nos anexos F e G apresentam-se duas bibliotecas de materiais. No anexo F, apresenta-se uma porção da biblioteca do Anexo G. A Biblioteca de Materiais é baseada, como aliás já referido, num só fornecedor para que o programa de optimização possa ser realmente útil fornecendo um custo proporcional ao real em todas as suas componentes e que varie sempre do mesmo modo.

Para finalizar a análise do algoritmo no que diz respeito ao perfil em questão, a figura 5.10 revela a vantagem mais importante em termos de dimensão de biblioteca que é o custo.

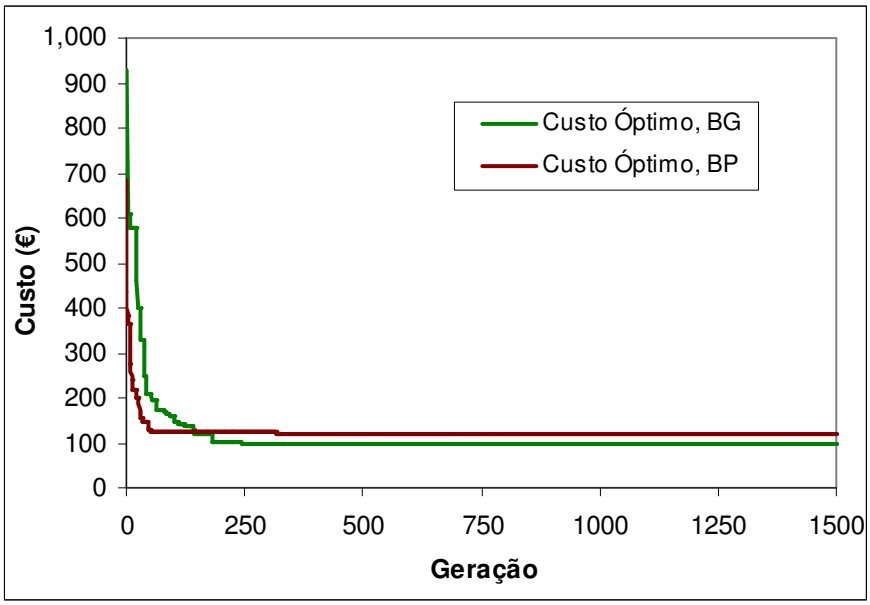


Figura 5.10 Comparação dos custos usando uma biblioteca grande (BG) e uma biblioteca pequena (BP).

O aumento da dimensão da biblioteca em cerca 450 % permitiu uma poupança de 21,3% no custo da ligação, no valor de € 25,93. Relacionando este resultado com o tamanho da base de dados conclui-se que cada linha de dados pode corresponder a eventualmente 3,5 cêntimos de poupança. Apesar de tudo, esta poupança é assinalável.

5.4.3 Ligação topo a topo entre 2 perfis HEA 360

Do mesmo modo que para a ligação anterior entre dois perfis HEA 400, nesta ligação procedeu-se à mesma afinação da função de mérito definida nas equações (4.4) e (4.5). Após determinação da grandeza mais correcta para K_2, ordem 2, na expressão do mérito e efectuou-se a sua afinação considerando o varrimento na gama de valores $K_2 \in [10,950]$.

Os resultados encontram-se no Anexo H bem como na figura 5.11.

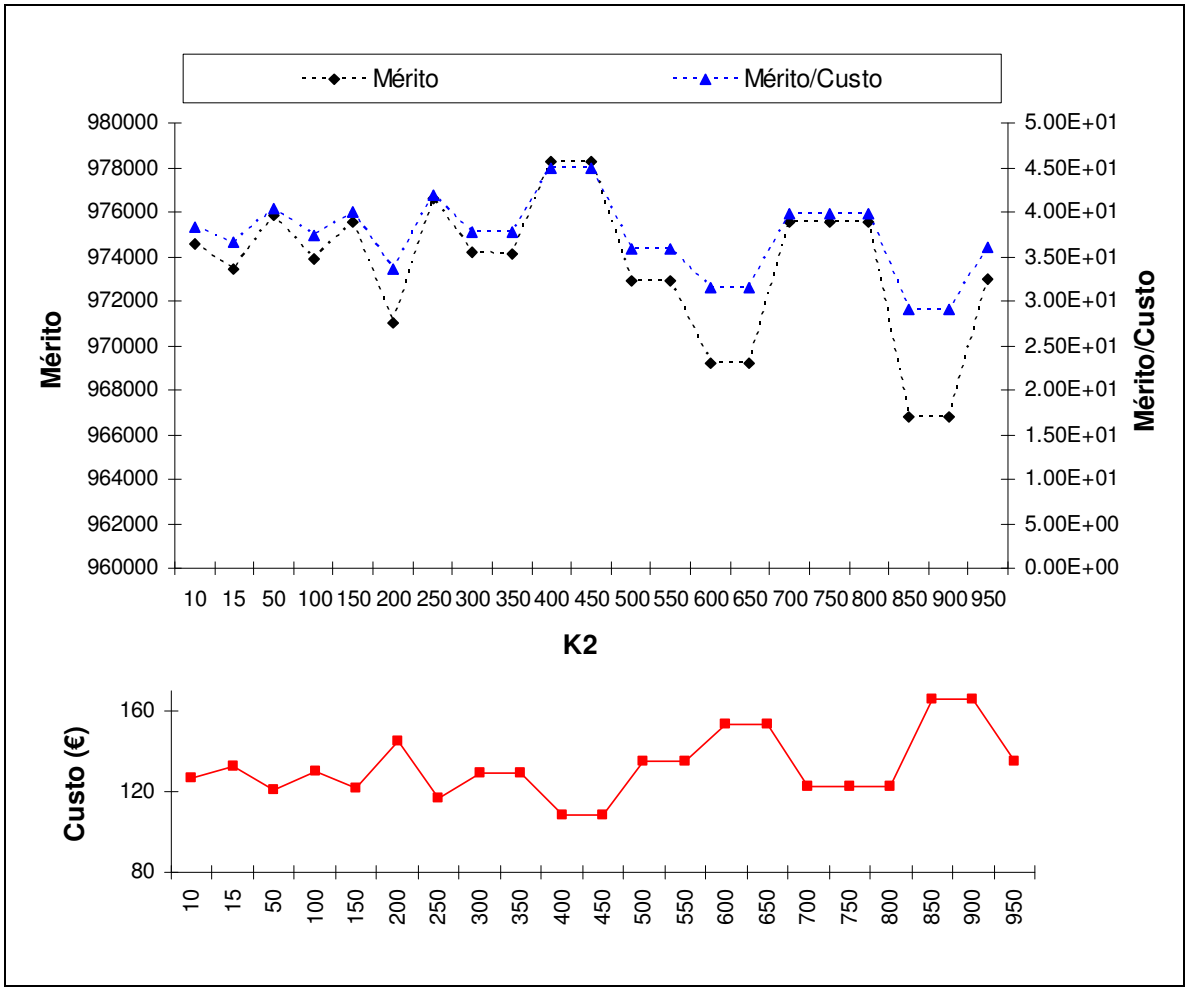


Figura 5.11 Afinação da Função de Mérito ao longo de 300 gerações para o perfil HEA 360.

A constante K_2 óptima encontrada é de 400. Assim a função de mérito toma a seguinte forma

$$MER = 1.0E + 06 - FOBJ - 400 \sum_{i=1}^{N_R} \Psi_i(\mathbf{x}) \tag{5.6}$$

com $\Psi_i(\mathbf{x})$ definido pela equação (4.5).

5.4.4 Ligação topo a topo entre 2 perfis HEA 340

A constante óptima encontrada é 15 e os dados são apresentados na Figura 5.12 e no Anexo I.

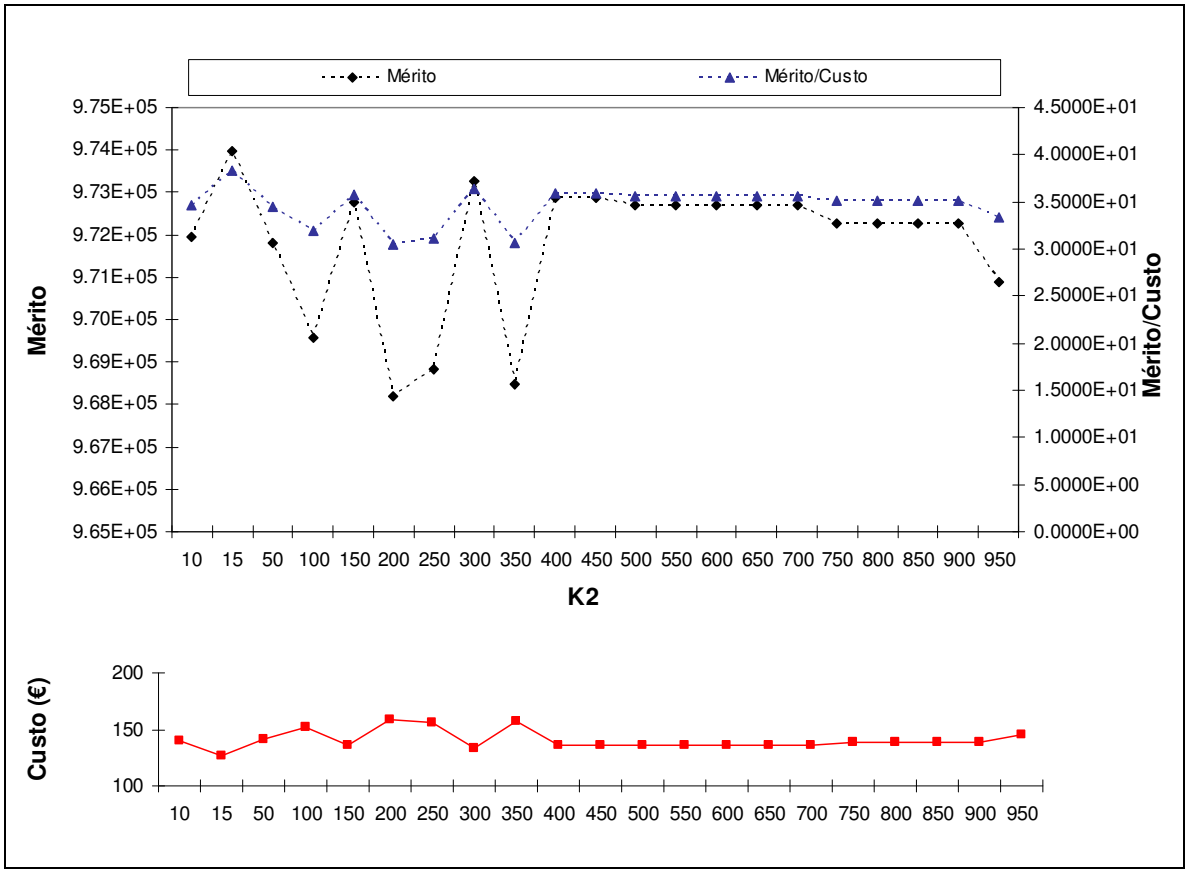


Figura 5.12 Afinação da Função de Mérito em função de K_2 ao longo de 300 gerações para o perfil HEA 340.

Apesar de no estudo prévio se ter concluído que a melhor ordem de grandeza de K_2 seria ordem 2, neste caso, com este varrimento, prova-se que pode não ser assim.. A constante K_2 óptima encontrada é 15. Assim a função de mérito toma a seguinte forma

$$MER = 1.0E + 06 - FOBJ - 15 \sum_{i=1}^{N_R} \Psi_i(\mathbf{x}) \tag{5.7}$$

com $\Psi_i(\mathbf{x})$ definido pela equação (4.5).

5.4.5 Ligação topo a topo entre 2 perfis HEA 320

Os resultados da afinação da Função de Mérito para esta ligação vêm na figura 5.13 e no Anexo J.

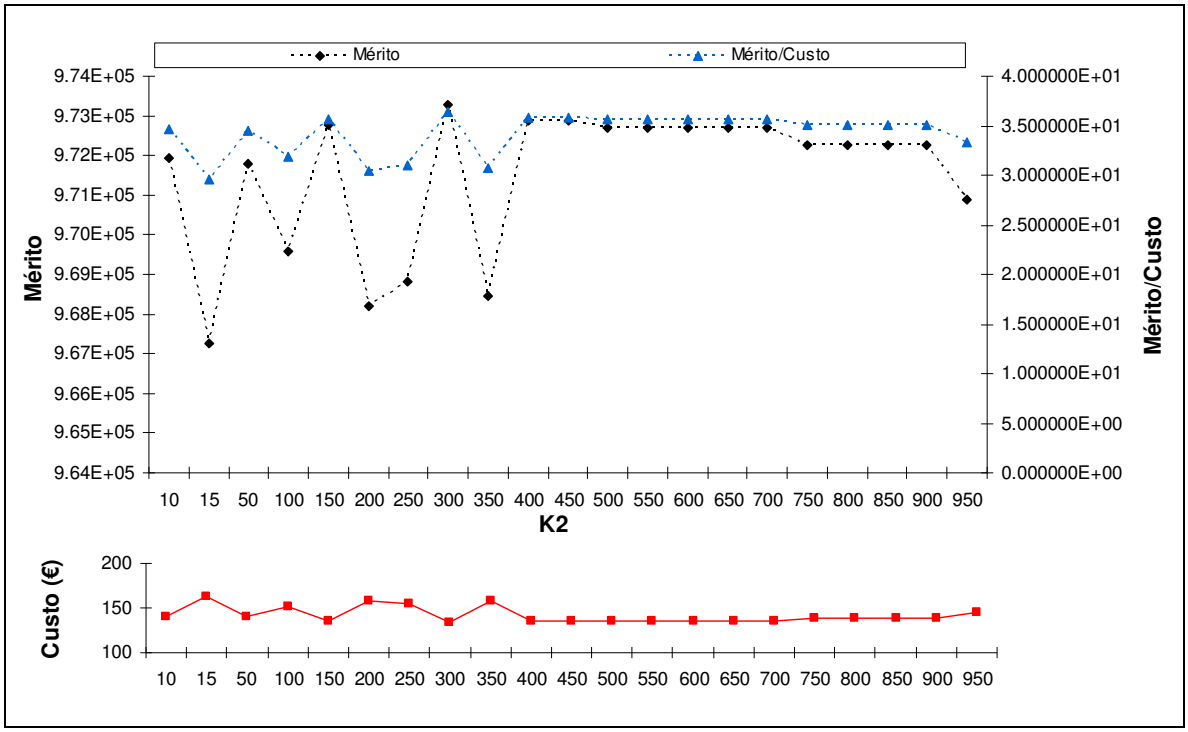


Figura 5.13 Afinação da Função de Mérito ao longo de 300 gerações para o perfil HEA 320.

O rácio mérito/custo é maximizado para $K_2 = 300$. Assim a função de mérito toma a seguinte forma

$$MER = 1.0E + 06 - FOBJ - 300 \sum_{i=1}^{N_R} \Psi_i(\mathbf{x}) \tag{5.8}$$

com $\Psi_i(\mathbf{x})$ definido pela equação (4.5).

5.4.6 Ligação topo a topo entre 2 perfis HEA 300

Os resultados para a ligação em estudo apresentam-se na figura 5.14 e estão disponíveis para consulta no Anexo K. Como se pode observar na figura 5.14 a constante óptima para este perfil é 200.

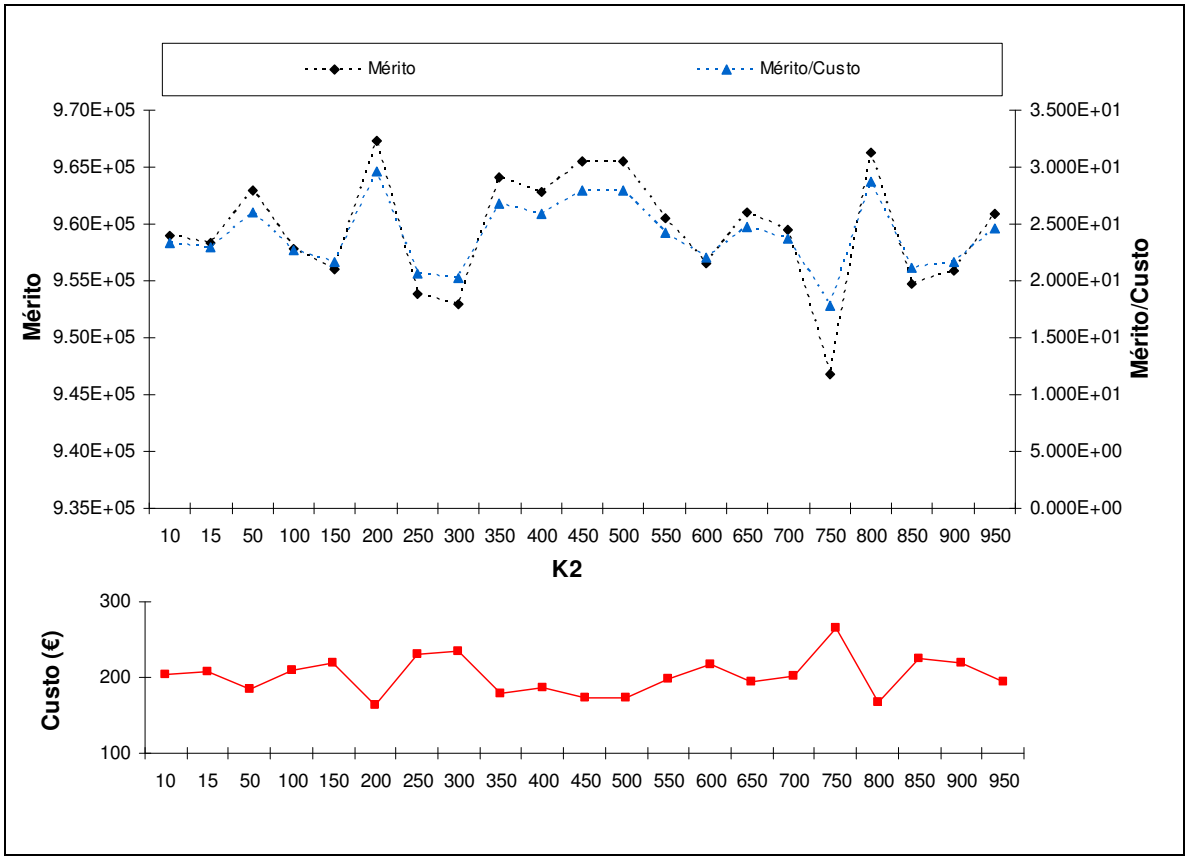


Figura 5.14 Afinação da Função de Mérito ao longo de 300 gerações para o perfil HEA 300

Assim função de mérito toma a seguinte forma

$$MER = 1.0E+06 - FOBJ - 200\sum_{i=1}^{N_R}\Psi_i(\mathbf{x}) \tag{5.9}$$

com $\Psi_i(\mathbf{x})$ definido pela equação (4.5).

5.5 Resultados do Projecto Óptimo

Utilizando a primeira constante obtida, aquela optimizada para o perfil HEA 400, K_2=190, calcularam-se as soluções óptimas para todos os outros perfis aumentando o número de gerações para 12000 e mantendo o número de indivíduos da população em 21. A dimensão da elite e do grupo de soluções proveniente da mutação é nos dois casos de 30% da população De seguida compararam-se as soluções resultantes com aquelas obtidas nas equações (5.4), (5.6), (5.7), (5.8) e (5.9) onde $\Psi_i(\mathbf{x})$ é definido pela equação (4.5). Os pares de soluções para cada perfil encontram-se na Tabela 5.1 comparados em termos de mérito relativamente à

solução com melhor mérito e em termos de preço de ligação. A solução mais barata para cada perfil é assinalada a verde.

Tabela 5.1 Soluções óptimas de projecto para os perfis estudados.

		Perfil									
		HEA400		HEA360		HEA340		HEA320		HEA300	
	Descodificação de variáveis	Tune INDEP	Tune 190	Tune INDEP	Tune 190	Tune INDEP	Tune 190	Tune INDEP	Tune 190	Tune INDEP	Tune 190
1	número de colunas de parafusos no banzo	6	6	7	5	7	4	5	4	6	6
2	número de linhas de parafusos no banzo	2	2	2	2	4	2	2	2	2	2
3	espessura da cobrejunta do banzo	20	20	15	15	25	20	25	25	20	25
4	diâmetro dos parafusos do banzo	16	16	16	18	12	22	20	22	18	18
5	distância entre colunas no banzo	50	50	40	70	45	110	75	110	55	55
6	número do material do parafuso do banzo	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6
7	número do material da cobrejunta do banzo	1	1	3	3	1	2	1	1	2	1
8	número de colunas de parafusos na alma	3	3	4	7	8	4	7	3	5	5
9	número de linhas de parafusos na alma	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2
10	espessura da cobrejunta da alma	15	15	15	15	15	15	15	20	15	20
11	diâmetro dos parafusos na alma	16	16	16	12	14	18	14	22	16	18
12	distância entre colunas na alma	40	40	40	30	75	45	35	55	40	45
13	número do material do parafuso da alma	5	5	5	5	6	5	5	5	5	6
14	número do material da cobrejunta da alma	1	1	1	1	2	2	3	2	3	3
	Mérito da Solução/ Maior Mérito x 100 %	100.00		99.78		90.62		98.85		99.11	
	Preço (€)	95.66	95.66	106.22	101.87	163.39	149.51	151.80	166.49	139.24	158.57

Dos resultados apresentados pode-se concluir que a afinação para os perfis HEA 320 e HEA 300 representam uma poupança de €14.72 e €19,38, respectivamente. Nos perfis HEA 340 e HEA 360 há vantagem em termos uma afinação para $K_2 = 190$.

De seguida apresenta-se o aspecto da configuração óptima para a ligação de perfis HEA 400.

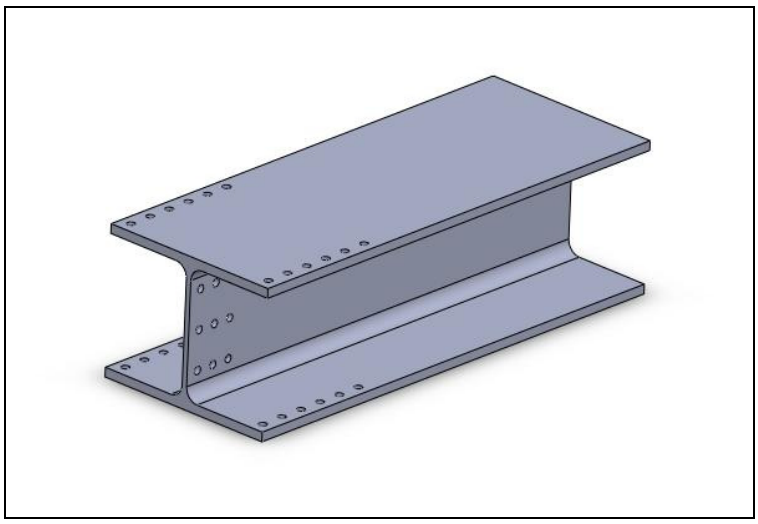


Figura 5.15 Perfil HEA400 com solução óptima para a ligação aparafusada com cobrejunta.

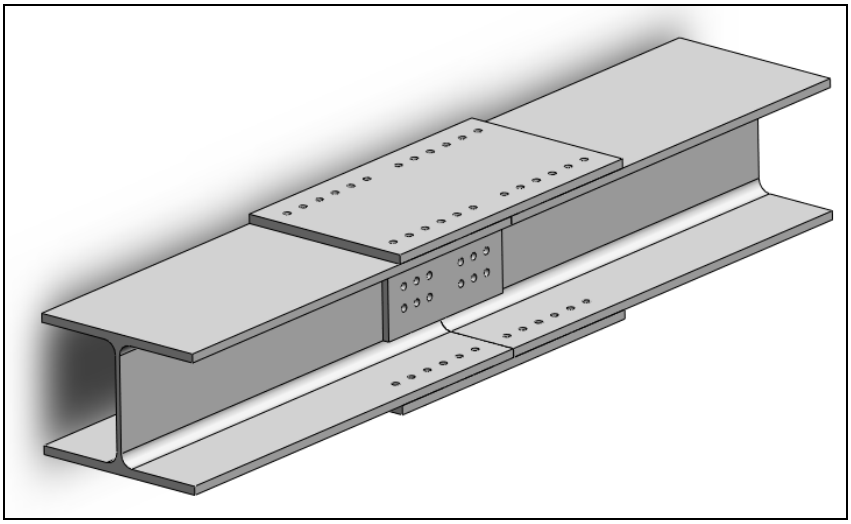


Figura 5.16 Perfis alinhados com chapas de cobrejunta prontas para aparafusamento.

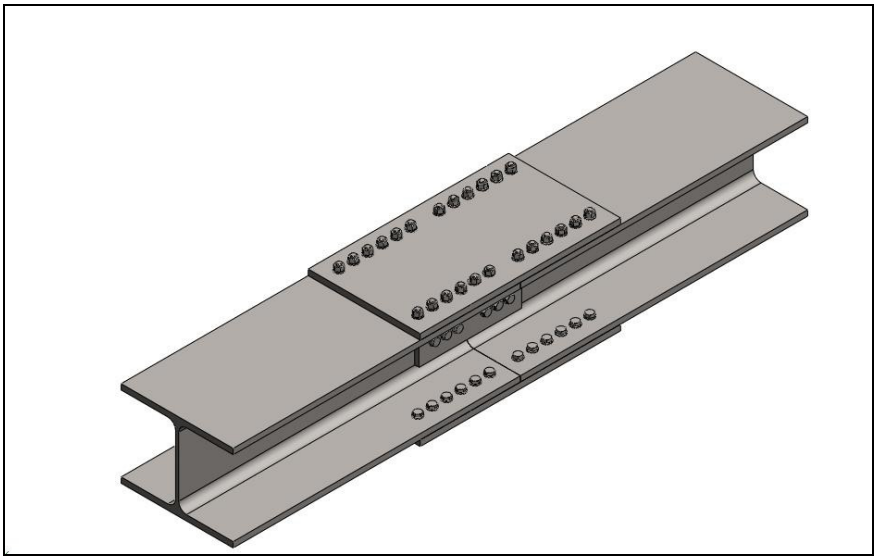


Figura 5.16 Ligação topo a topo por cobrejunta aparafusada de 2 perfis HEA 400.

6. Projecto Óptimo de Juntas Soldadas

6.1 Introdução

A ligação soldada enquadra-se no tipo de ligações denominadas rígidas. As ligações rígidas são aquelas ligações onde a transmissão do esforço devido ao Momento Flector é a acção principal para efeitos de cálculo. O comportamento da ligação é tal que o Momento Flector instalado é resistido por uma muito pequena rotação da ligação. Uma ligação perfeitamente rígida teria, teoricamente, para o Momento Flector instalado, rotação nula. No entanto, tal nunca é conseguido na prática.

São frequentemente usadas ligações rígidas em ligações viga-coluna em estruturas não contraventadas lateralmente onde a estabilidade estrutural é conseguida pela rigidez da ligação e pela resistência dos elementos que constituem a estrutura. Também se calculam ligações rígidas locais para obter a denominada ligação viga-coluna semi-rígida. As ligações semi-rígidas são conseguidas por intermédio de uma chapa frontal, ou flange, soldada à viga que posteriormente é aparafusada ao pilar. Tipicamente a flange tem 4 ou 8 furos [38]. Esta construção da ligação tem-se mostrado muito eficiente e tornou-se preferencial para ligações *in situ*. As considerações para o cálculo deste tipo de ligações encontram-se dispostas no Procedimento J.3.1 do EC3 [1] As ligações rígidas são também amplamente utilizadas em ligações topo-a-topo, lineares ou angulares do tipo joelho, por placa frontal.

Neste trabalho estudar-se-á a Ligação Viga-Coluna rígida utilizando soldadura manual para unir as duas peças, sem recorrer à placa frontal.

Segundo o §6.6.2.2 (1) do EC3 [1] a utilização de cordões de ângulo é aconselhável quando as faces dos elementos a ligar formarem um ângulo entre 60º e 120º. No presente caso a ligação será sempre em "T", formando um ângulo de 90º.

No §6.6.2.2 (8) do EC3 [1] tecem-se algumas considerações no que diz respeito às restrições geométricas associadas a cordões descontínuos. Na formulação do problema da optimização

dos cordões de soldadura não se considerou a possibilidade de haver cordões descontínuos, que eventualmente poderiam conduzir em alguns casos a custos menores.

6.2 Dimensionamento de Juntas Soldadas

Na formulação dos problemas de Soldadura recorre-se frequentemente ao Critério de Igual Resistência. Serve o referido Critério para conferir igual resistência a uma placa traccionada formada pela soldadura entre duas placas iguais e à placa contínua sem junta soldada. No caso da placa contínua, sem junta soldada, quando se encontrada sujeita a uma solicitação de tracção sabe-se que

$$\sigma = \frac{F}{A_{secção}} \tag{6.1}$$

onde $A_{secção}$ representa a área da secção transversal, resultando do dimensionamento da secção a imposição que $\sigma < \sigma_{adm}$.

No caso de uma placa traccionada com junta de penetração total o cálculo realiza-se do mesmo modo negligenciando as diferenças óbvias como sendo a heterogeneidade da microestrutura na zona afectada pelo calor, a sobreespessura ou as tensões residuais causadas pela contracção da peça durante o arrefecimento. Estas simplificações são justificadas da seguinte forma:

- A heterogeneidade metalúrgica da microestrutura entre o metal base, a zona de transição e a zona fundida não deve ser tomada em consideração nos cálculos de resistência porque se considera que o material depositado tem sempre propriedades mecânicas sempre iguais ou superiores ao metal base. Tal facto é suficiente como se verifica nos ensaios de homologação normalizados patentes em ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX – Welding Qualifications [39];
- A sobreespessura do cordão não enfraquece a peça desde que a concordância não introduza pontos de concentração de tensões;
- As tensões internas residuais não são tomadas em consideração no caso de juntas solicitadas estaticamente à tracção, pois acabam por ser eliminadas por deformação plástica localizada.

Em conclusão, nas juntas de penetração total, conveniente executadas e controladas, tudo se passa, do ponto de vista da resistência como se o metal base não sofresse qualquer descontinuidade.

No presente trabalho os cordões calculados serão sempre cordões de canto como os representados na Figura 6.1.

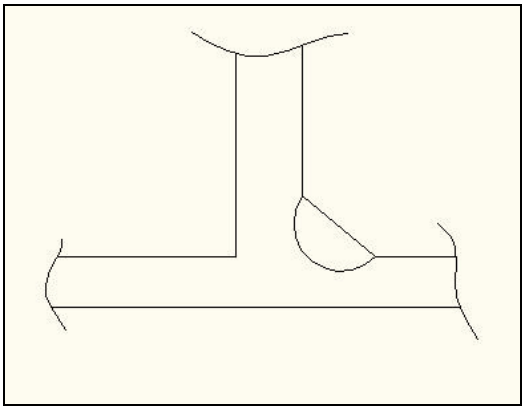


Figura 6.1 Representação de um cordão de canto.

Os cordões de canto ou de ângulo, devido à sua geometria particular impuseram a necessidade de estudar um novo modelo de cálculo. Esse modelo baseia-se na chamada "*Recommandation ISO R 617*" [5] na qual se preconizam os princípios do método para calcular entre outros o caso da ligação viga-pilar admitindo como simplificação que a secção transversal do cordão não está sujeita a nenhum tipo de tensão normal. A "*Recommandation ISO R 617*" [5] define inicialmente qual a secção resistente no caso de uma ligação de canto, introduzindo o conceito "altura da garganta" ou simplesmente "garganta". A "garganta" do cordão de soldadura é a altura do triângulo isósceles inscrito na secção transversal do cordão; a secção resistente é então a área rectangular resultante do produto da altura da garganta pelo comprimento do cordão subtraído de duas vezes a garganta. Esta redução do comprimento real do cordão serve para retirar as zonas extremas do cordão muitas vezes defeituosas devido à contracção do cordão durante o arrefecimento.

Na Figura 6.2 apresenta-se a convenção utilizada para designar as tensões geradas pela solicitação exterior sobre o cordão.

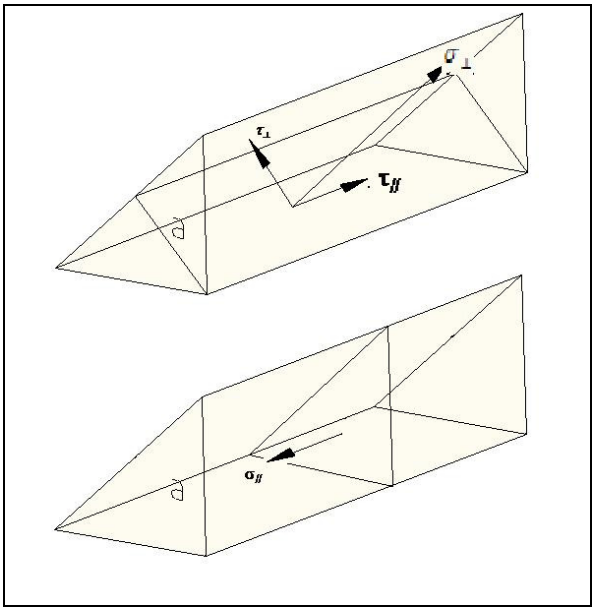


Figura 6.2 Tensões presentes num cordão de soldadura.

As tensões encontradas são:

- Tensão normal, representada por $\sigma_{\perp}$
- Tensão de corte perpendicular ao eixo do cordão, representada por $\tau_{\perp}$
- Tensão de corte paralela ao eixo do cordão, $\tau_{//}$
- Tensão normal à secção recta, representada por $\sigma_{//}$.

Com o intuito de obter a expressão de cálculo dos cordões de canto, a norma ISO socorre-se do Critério de Resistência von Mises que define a tensão equivalente σ_e:

$$\sigma_e{}^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \left(\sigma_x\sigma_y + \sigma_x\sigma_z + \sigma_y\sigma_z\right) + 3\left(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2\right) \tag{6.2}$$

No caso do cordão de canto o referencial pode ser aquele sugerido na figura 6.3 para o qual se calcula a tensão equivalente, substituindo as tensões cartesianas pelas tensões do problema

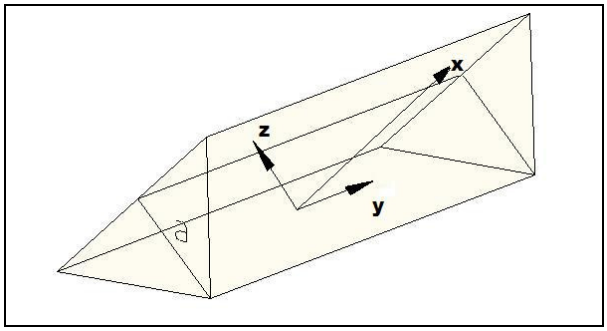


Figura 6.3 Sistema de coordenadas solidário com o cordão

$$\sigma_x = \sigma_\perp$$

$$\sigma_y = \sigma_{//}$$

$$\sigma_z = 0$$

$$\tau_{xy} = 0$$

$$\tau_{zx} = \tau_\perp$$

$$\tau_{yz} = \tau_{//} \tag{6.3}$$

resultando em

$$\sigma_e{}^2 = \sigma_\perp^2 + \sigma_{//}^2 - \sigma_{//}\sigma_\perp + 3\left(\tau_\perp^2 + \tau_{//}^2\right) \tag{6.4}$$

De forma a melhorar a aplicabilidade da expressão à realidade, justificada pela experiência, a expressão foi alterada para:

$$\sigma_e{}^2 = \sigma_\perp^2 + \sigma_{//}^2 - \sigma_{//}\sigma_\perp + \lambda\left(\tau_\perp^2 + \tau_{//}^2\right) \tag{6.5}$$

com λ normalmente valendo 1.8.

Experimentalmente chegou-se à conclusão que $\sigma_{//}$ não tem influência no comportamento do cordão e portanto não é normalmente considerada. Caso esta simplificação se verifique a equação do dimensionamento resulta:

$$\tau_e^2 = \sigma_\perp^2 + \lambda\left(\tau_{//}^2 + \tau_\perp^2\right) \tag{6.6}$$

A "*Recommandation ISO R 617*" [5] prevê, de modo a simplificar o cálculo das tensões, que se rebata a secção da garganta 45º sobre qualquer um dos lados do cordão. A este procedimento dá-se o nome de *Artificio da Garganta Rebatida* que será utilizado neste trabalho para efectuar o dimensionamento da ligação de forma mais prática. Após o cálculo das tensões no plano rebatido é obrigatório transportar correctamente as tensões calculadas ao plano de origem tendo cuidado com a transferência vectorial. As tensões no plano rebatido podem ser representadas como aquelas da Figura 6.4 e tomam as seguintes expressões de cálculo:

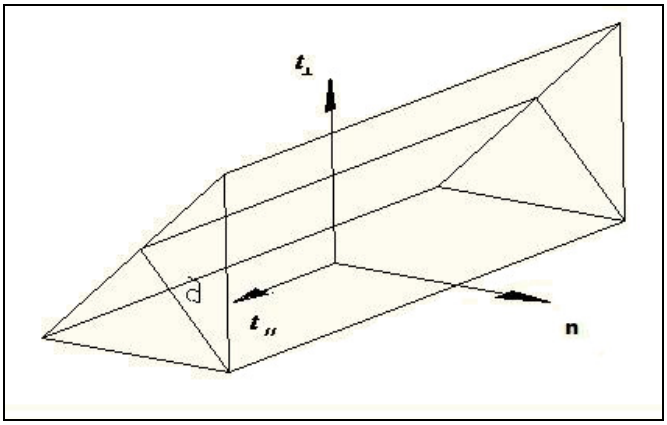


Figura 6.4 Tensões do cordão de soldadura rebatidas.

$$\sigma_\perp = \frac{\sqrt{2}}{2}(n + t_\perp)$$

$$\tau_\perp = \frac{\sqrt{2}}{2}(t_\perp - n)$$

$$\tau_{//} = t_{//} \tag{6.7}$$

Tomando $\lambda = 1.8$ a expressão para a tensão equivalente (6.6) vem:

$$1.4(n^2 + t_\perp^2) - 0.8\, n\, t_\perp + 1.8\, t_{//}^2 = \sigma_e^2 \tag{6.8}$$

expressão adoptada no REAPE [3] artigo 60º. A tensão equivalente deve ser reduzida por um coeficiente que incorpore a espessura do cordão. A tensão equivalente de dimensionamento pode ser definida por

$$\sigma_e = \alpha\, \sigma_{adm} \tag{6.9}$$

onde σ_{adm} é o valor da tensão admissível do metal base definido como sendo

$$\sigma_{adm} = \frac{2}{3}\sigma_{ced} \tag{6.10}$$

e α o factor que depende da espessura do cordão, ou altura da garganta, *a*, da seguinte forma:

$$\alpha = 0.8\left(1 + \frac{1}{a}\right) \qquad a \geq 3\ \text{mm} \tag{6.11}$$

segundo o artigo 60º do REAPE [3].

6.3 Ligação rígida viga-pilar

O tipo de ligação adoptado como exemplo neste trabalho é a ligação rígida viga-pilar. O modelo de dimensionamento usado baseia-se no trabalho de Paulo Castro [40]. Na figura 6.5 apresenta-se um exemplo da ligação soldada viga-pilar em análise com os esforços aplicados e as variáveis de projecto consideradas no dimensionamento óptimo.

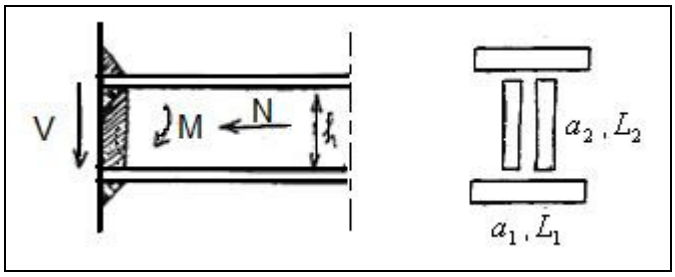


Figura 6.5 Definição dos esforços actuantes na ligação e respectivos cordões de soldadura da alma e dos banzos.

As tensões de dimensionamento são definidas tendo em conta que o Esforço Normal, N, solicita toda a secção resistente. O REAPE [3], no artigo 60º d), determina que o Esforço Transverso, V, solicita os cordões verticais definidos pelas variáveis a_2, L_2 enquanto que o Momento Flector, M, solicita os cordões horizontais definidos pelas variáveis a_1, L_1. Assim, no que diz respeito à ligação banzo-pilar, $k = 1$, esta é calculada do seguinte modo:

$$n_{(k)} = \frac{N}{2a_1l_1 + 2a_2l_2} \pm \frac{M}{ha_1l_1} \tag{6.12}$$

$$\sqrt{1.4\,n_{(k)}^2} = \alpha_{(k)}\sigma_{adm} \tag{6.13}$$

e, por outro lado a ligação alma-pilar, $k = 2$, é calculada pelas seguintes expressões:

$$n_{(k)} = \frac{N}{2a_1l_1 + 2a_2l_2} \tag{6.14}$$

$$t_{//} = \frac{V}{2a_2l_2} \tag{6.15}$$

$$\sqrt{1.4\left(\frac{N}{2a_1l_1 + 2a_2l_2}\right)^2 + 1.8\left(\frac{V}{2a_2l_2}\right)^2} = \alpha_{(k)}\sigma_{adm} \tag{6.16}$$

6.4 Custos e Processos de Fabrico

Como processo industrial, o custo da soldadura é uma variável importante na tomada de decisão dentro da empresa. Trata-se de um problema afectado por muitas variáveis diferentes como o custo dos equipamentos, custo do operador, custo dos materiais, custo da energia, etc. Dependendo do processo, o custo do equipamento varia desde métodos como a soldadura em atmosfera inerte (MIG) ou soldadura oxi-acetilénica tidos como baratos, até processos potencialmente caros como a soldadura por feixe laser e soldadura por feixe de electrões. Devido ao custo elevado certos métodos só são usados em operações altamente produtivas [41].

De um modo análogo, porque a automação e robôs fazem aumentar os custos do equipamento, estes só são implementados quando está em causa uma produtividade que se deseja elevada. O custo do operador está relacionado directamente com a taxa de deposição (a velocidade de soldadura), o preço hora/homem e o tempo operacional total, que inclui tanto o tempo de soldadura como o tempo de manuseamento das peças. O custo dos materiais inclui o custo dos materiais de base e de deposição e o custo dos gases que formam a atmosfera protectora. Finalmente, o custo da energia depende da demanda energética do processo e do tempo de arco, tempo esse durante o qual passa corrente formando o arco.

Os processos de soldadura por arco eléctrico apresentados no §6.6.1 (2) do EC3 [1] constituem toda uma panóplia de métodos para efectuar ligações rígidas entre componentes, a saber:

- Soldadura por arco eléctrico com eléctrodos revestidos
- Soldadura por arco eléctrico com fio eléctrodo revestido (sem atmosfera de protecção)
- Soldadura por arco submerso
- Soldadura em atmosfera inerte (MIG)
- Soldadura em atmosfera activa (MAG)
- Soldadura com fio eléctrodo revestido (em atmosfera activa)
- Soldadura com eléctrodo revestido a tungsténio em atmosfera inerte (TIG)

No entanto, o processo de soldadura mais utilizado, a soldadura manual com eléctrodos revestidos, é talvez aquele menos rentável. Porque é um processo onde a experiência do soldador desempenha o papel mais importante, a soldadura manual deve ser optimizada o mais possível ao nível dos consumíveis como energia, tempo de operação e quantidade e

qualidade do material depositado, ou seja, os eléctrodos. O conhecimento prévio das vantagens e desvantagens de cada método permite compatibilizar da melhor maneira exigência de qualidade, dificuldades operacionais e consequentemente custos.

Neste trabalho estuda-se a soldadura por arco eléctrico com eléctrodos revestidos. Este método consiste num arco eléctrico que é formado pelo contacto do eléctrodo (revestido) com a peça a ser soldada. O eléctrodo é consumido à medida que se vai formando o cordão de soldadura cuja protecção contra contaminações do ar atmosférico é feita pela atmosfera gasosa e escória, provenientes da fusão do seu revestimento.

O revestimento do eléctrodo tem outras funções além da protecção do cordão contra contaminantes. O revestimento estabiliza o arco eléctrico, adiciona elementos de liga à poça de fusão que melhoram as propriedades mecânicas do cordão e facilita a soldadura fora de posição. Os eléctrodos revestidos têm também a particularidade de serem fáceis de fabricar e de se encontrarem facilmente no mercado. Conforme já foi referido o custo do equipamento para este tipo de processo é tido como dos mais baratos.

A soldadura por arco eléctrico com eléctrodo revestido é bastante versátil, possibilitando a soldadura em locais de difícil acesso, mas a qualidade do cordão é inferior aos processos TIG e MIG. A reduzida taxa de deposição conduz a baixa produtividade. Com vista ao aumento da produtividade a automatização deste processo é possível mas também é trabalhosa. Apesar da qualidade do eléctrodo poder ser uma mais valia no que diz respeito à remoção da escória esta operação é um dos factores que mais encarece o custo operacional. Do ponto de vista da saúde do operador, este método requer medidas especiais de protecção porque produz respingos e fumos prejudiciais, altamente tóxicos. O impacto na saúde do soldador depende largamente da utilização de filtros especiais na máscara de solda em função da inalação dos fumos metálicos e da irradiação infravermelha agressiva à visão. O impacto ambiental na generalidade é significativo, dada a produção de resíduos das sobras do arame.

6.5 Definição e Formulação do Problema de Optimização

6.5.1 Introdução

O método de optimização deste problema é o mesmo utilizado para a optimização das cobrejuntas aparafusadas com algumas alterações. Do mesmo modo que para a optimização das ligações aparafusadas recorre-se à linguagem FORTRAN, implementando um algoritmo

genético que busca os materiais na biblioteca que formam entre si soluções candidatas a soluções óptimas. A função de mérito quantifica de forma relativa o custo e a intensidade das restrições violadas de cada solução separadamente. Em cada geração é feito o *ranking* das soluções candidatas a óptimas segundo o mérito e o terço com melhores méritos é preservado de geração para geração. Este grupo de soluções denominado por elite é preservado ao longo de todo o processo misturando-se em cada geração com soluções de mérito mais baixo e até com soluções geradas "de novo", mas que são importantes para aumentar a diversidade do material genético. O Programa de Optimização de Soldadura é composto por três componentes importantes: módulos do algoritmo genético, módulos de avaliação das restrições e o módulo de avaliação da função de mérito. Os módulos de programação foram executados em linguagem FORTRAN.

O custo da ligação é a quantidade que se pretende minimizar através da maximização do mérito. O mérito não é mais do que uma função que caracteriza a qualidade de uma solução de projecto considerando simultaneamente os custos e a satisfação das restrições impostas pelos códigos construtivos.

6.5.2 Definição das Variáveis de Projecto

A definição do problema de optimização de Soldadura passa pela definição das variáveis de projecto. Neste trabalho o objectivo é minimizar o custo da ligação através da maximização do mérito tal como ocorria na optimização das juntas aparafusadas. O objectivo não é definir a melhor posição de soldadura, optimizar a intensidade da corrente eléctrica a atravessar o eléctrodo ou a determinar a qualidade do material depositado mais rentável, mas sim as variáveis geométricas associadas ao projecto, numa perspectiva económica. Essa outra vertente, da optimização do processo de fabrico também é interessante porque os parâmetros referidos e outros, não são fixos e variam de trabalho para trabalho, de peça para peça.

Neste problema a preocupação é a de optimizar globalmente as dimensões dos cordões de soldadura tendo em vista o procedimento inspirado nas disposições da "*Recommandation ISO R 617*" [5]. As variáveis de projecto são:

- Espessura dos cordões dos banzos, a_1;
- Comprimento de cada cordão dos banzos, L_1;
- Espessura dos cordões da alma, a_2;
- Comprimento de cada cordão da alma, L_2.

Por razões de estabilidade estrutural, considera-se que os cordões de cada banzo são iguais, bem como os cordões da alma.

6.5.3 Restrições Geométricas

As restrições geométricas do dimensionamento de cordões de soldadura encontram-se definidas no §6.6.2 do EC3 [1]. No entanto, quando os cordões são considerados sempre contínuos, o dimensionamento torna-se mais fácil e as restrições geométricas passam a ser somente impostas pelas dimensões das peças a ligar. Neste trabalho admite-se que de um modo geral, nas ligações soldadas viga-coluna, a largura do banzo da viga é mais estreita do que a largura do banzo da coluna. Como já referido na secção 5.4.2, os cordões de soldadura da alma e dos banzos são iguais dois a dois. Assim, as restrições que se impõem em relação aos comprimentos são:

- No caso dos banzos, por razões de estabilidade estrutural, os cordões têm um comprimento mínimo de 20 mm e um comprimento máximo definido pelo utilizador no ficheiro de entrada de dados, correspondente à largura do banzo;
- No caso da alma, os cordões de soldadura têm igualmente um comprimento mínimo de 20 mm e um comprimento máximo definido pelo utilizador no ficheiro de entrada de dados, correspondente à altura da alma e à folga necessária para a execução dos cordões da ligação.

No que diz respeito à "altura da garganta" dos cordões, ou espessura, o limite inferior será definido em função do diâmetro do eléctrodo escolhido, que no caso do fornecedor escolhido [42], será de 3 mm. Por seu lado o limite superior devia ser definido pelo produto do número de passagens pela espessura de cada cordão. No entanto, de modo a evitar a formação de micro-fissuras devido à eventual espessura exagerada do cordão, a espessura será limitada a 35 mm.

Ao contrário do caso das ligações aparafusadas, as únicas restrições geométricas estão associadas aos valores do domínio das variáveis de projecto sendo automaticamente impostas aquando da leitura do ficheiro de dados de entrada. No anexo J apresentam-se esses valores para o caso em que a viga é um perfil HEA 400.

6.5.4 Restrições de Integridade Estrutural

As restrições de integridade estrutural são escritas no algoritmo, na rotina das restrições, e representam a equação (6.9) para o caso dos cordões da alma e dos banzos. As restrições de

integridade impõem que a tensão devida aos esforços instalados tem de ser obrigatoriamente menor ou igual à tensão admissível reduzida pelo coeficiente que é função da espessura do elemento (k): banzo $(k=1)$ ou alma $(k=2)$. Para os banzos, a restrição toma a seguinte expressão:

$$s_1 = \frac{\sqrt{1.4\,n_{(1)}^{\;2}}}{\alpha_{(1)}\,\sigma_{adm}} - 1 \leq 0 \tag{6.17}$$

onde $n_{(1)}$ se encontra definido na equação (6.12) e $\alpha_{(k)}$ na equação (6.11).

Para a alma a restrição envolve duas componentes da tensão:

$$s_2 = \frac{\sqrt{1.4\,n_{(2)}^{\;2} + 1.8\,t_{=}^{\;2}}}{\alpha_{(2)}\,\sigma_{adm}} - 1 \leq 0 \tag{6.18}$$

No caso da alma, de modo a contornar o sinal das tensões $(\pm)$ presentes na equação (6.12) no cálculo de $n_{(2)}$, adoptou-se uma estratégia baseada na maior tensão gerada. Este problema surge na hipótese do Momento Flector poder ser positivo ou negativo e que por uma questão de segurança se adopte para tensão de cálculo a maior das tensões geradas.

6.5.5 Função de Custo da Soldadura

Um obstáculo importante na optimização de estruturas metálicas é sem dúvida, o problema da imputação de custos operacionais e de materiais. Uma vez que o custo da hora/homem, o custo da energia, a disponibilidade dos materiais no mercado e mesmo as capacidades técnicas do operador dependem de país para país, de cidade para cidade, este é um problema muito específico que carece do empenho do programador em obter essa informação.

A função de custo total da soldadura pode ser definida de forma parcelar como

$$C = C_{weld,manufact} + C_{weld,mat} \tag{6.19}$$

onde $C_{weld,manufact}$ representa o custo da produção da ligação e $C_{weld,mat}$ representa o custo associado aos consumíveis utilizados para esse fim.

Segundo L. Pavlovcic [2] citando os estudos de Polajnar [43] a função do custo de produção da soldadura pode ser definido como

$$C_{weld,manufact.} = k_{weld}[f_{weld}T_{weld}(a_w)L_W + T_{weld,extra}] \tag{6.20}$$

sem incluir o custo dos consumíveis.

O trabalho de L. Pavlovcic [2] retrata o problema da ligação dos banzos à alma em perfis PRS: Perfis Reconstituídos Soldados. Neste caso, apesar dos materiais poderem ser diferentes tal facto não é considerado e assim todos os cordões são iguais e de espessura a_w. Embora o problema seja diferente daquele sobre o qual esta tese se debruça, o método da imputação de custos é igualmente válido, bastando para tal efectuar uma substituição da variável a_w pelas espessuras dos dois cordões, a_1 e a_2, como adiante se verá.

Seguidamente, inspecciona-se a equação (6.20) de modo a explicitar os factores que a constituem. Na equação (6.20) o factor k_{weld} contém os custos de trabalho, equipamento e depreciação técnica deste. Este factor pode ser entendido de um modo geral como o preço da hora/homem acrescido das responsabilidades sociais do empregador perante a Segurança Social, etc., das quais uma cota parte inclui a depreciação técnica dos equipamentos.

O factor f_{weld} tem como função afectar o tempo de produção quanto à facilidade da execução das soldaduras, fora de posição por exemplo, ou quanto ao facto destas serem, por exemplo, soldaduras curtas e esse facto encarecer bastante o processo.

O factor $T_{weld}(a_w)$ por seu lado, representa o tempo consumido na operação em função da espessura do cordão de soldadura. No trabalho de Pavlovčič [2], são apresentadas várias expressões para $T_{weld}(a_w)$ do tipo

$$T_{weld}(a_w) = A_{weld} a_w^2 + B_{weld} a_w + C_{weld} \quad \text{[horas]} \tag{6.21}$$

onde os coeficientes A_{weld}, B_{weld} e C_{weld} são próprios do processo de soldadura utilizado.

No artigo de Pavlovcic [2] apresenta-se uma relação possível entre o tempo de soldadura, a espessura do cordão e os vários processos de soldadura, Figura 6.6

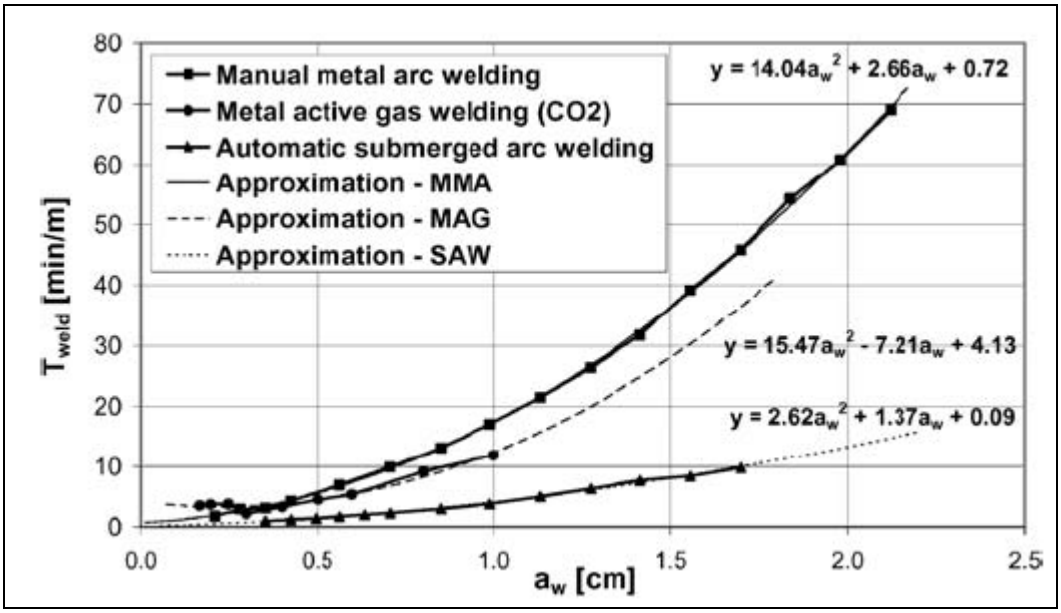


Figura 6.6 Curvas dos tempos de operação experimentais e respectivas aproximações em função da espessura do cordão para diferentes processos de soldadura [2], [43].

Para o processo de soldadura que se pretende usar neste trabalho a função $T_{weld}(a_w)$ pode ser tomada a expressão da aproximação para a soldadura manual por arco metálico:

$$T_{weld} = 14.04\, a_w^{\,2} + 2.66\, a_w + 0.72 \tag{6.22}$$

A expressão anterior tem em conta que a soldadura é executada ao baixo.

Visto que as unidades da Figura 6.6 não são as mesmas que se utilizam nos dados de entrada torna-se necessário efectuar alguns ajustes à equação (6.22) no sentido desta vir expressa em horas por metro para uma espessura de cordão apresentada em milímetros. Deste modo a expressão (6.22) toma a forma de

$$T_{weld} = (14.04 \times 0.01 a_w^{\,2} + 2.66 \times 0.1 a_w + 0.72)/60 \tag{6.23}$$

Sabendo que a remoção da escória pode ser um factor importante por ser um processo moroso, ele também é contemplado em $T_{weld,extra}$. Se tal não for necessário quer pela utilização de eléctrodos repelentes de escória quer pela baixa qualidade requerida, este factor pode ser desprezado.

De modo a garantir uma ligação estreita entre as variáveis de optimização e o problema relaciona-se a_w com a espessura dos elementos a ligar:

$$a_w = k_w\, t_w \tag{6.24}$$

Na soldadura de alma/banzo, t_w representa a espessura da chapa que irá constituir a alma do perfil e k_w toma o valor de 0.4, valor decorrente da experiência e da prática. No entanto, no contexto deste trabalho onde se pretende estudar a ligação rígida entre viga e coluna o valor de k_w será de 0.75. Este é um valor empírico em que se relacionaram alguns valores da Tabela 11 do manual da ESAB sobre preparação de juntas soldadas [44], que sugere que para uma soldadura de arco submerso num elemento de 8 mm de espessura a altura da garganta, a, pode ser de 6 mm em cordões de canto

Por outro lado, o factor L_w na expressão (101) representa o comprimento total de soldadura e é calculado como sendo 4 vezes o comprimento do elemento para o caso da ligação alma/banzo, isto porque existem 4 cordões iguais na ligação alma/banzo. Neste trabalho, L_w é calculado no decorrer do algoritmo da seguinte maneira:

$$L_w = 2L_1 + 4a_1 + 2L_2 + 4a_2 \tag{6.25}$$

porque inclui a folga que não contribui de forma resistente aos esforços instalados mas que é necessária para compensar o facto de muitas vezes os extremos dos cordões serem defeituosos.

A parcela associada aos consumíveis, presente na expressão (6.19) depende implicitamente do comprimento total dos cordões de soldadura, L_w, e pode ser definida do seguinte modo:

$$C_{weld,mat} = k_{m.weld,1}\, M_{weld,1}(a_w)\, L_w + k_{m.weld,2}\, M_{weld,2}(a_w) \tag{6.26}$$

O factor $k_{m.weld,i}$ representa o custo específico de cada consumível, $k_{m,weld,1}$ para o material do eléctrodo e ($k_{m,weld,2}$) para a energia eléctrica dispendida no processo. $M_{weld,i}$ representa a quantidade desse consumível utilizada.

No caso do consumo do eléctrodo, este pode ser aproximado por uma função quadrática à imagem do trabalho de Polajnar [43], dependente de a_w, do tipo

$$M_{weld,1} = A_m a_w^{\,2} + B_m a_w + C_m \tag{6.27}$$

Neste caso, $k_{m.weld,1}$ virá em $€/kg$, $M_{weld,i}$ em kg/m, L_w em m. Os parâmetros $A_{m.w,i}$, $B_{m.w,i}$ e $C_{m.w,i}$ da expressão (6.25) serão calculados na secção 6.2 com base na informação recolhida junto de um fabricante de eléctrodos revestidos.

Até este ponto, a espessura dos cordões de soldadura na ligação de perfis PRS teve um papel determinante porque foi com essa variável de projecto que Polajnar [43] principiou no seu

trabalho a imputação dos custos de soldadura. No entanto, de modo a validar o método para este problema basta distinguir duas funções de aproximação para a massa de eléctrodo consumida com os mesmos parâmetros A_m, B_m e C_m mas com variáveis de projecto diferentes. Para a massa de eléctrodo consumida por metro nos banzos, a aproximação toma a forma:

$$M_{weld,1} = A_m\, a_1^2 + B_m\, a_1 + C_m \tag{6.28}$$

e para alma:

$$M_{weld,1} = A_m\, a_2^2 + B_m\, a_2 + C_m \tag{6.29}$$

Por outro lado se o consumível for a energia eléctrica dispendida, $k_{m.weld,2}$ vem em $€/kJ$ e $M_{weld,2}$ vem em kJ. No entanto, neste caso o consumo energético não é uma aproximação quadrática, mas é calculado baseado na energia necessária para a fusão do eléctrodo, do modo seguinte:

$$M_{weld,2} = \text{massa do cordão}\left[c_p\left(T_{fusão} - T_{ambiente}\right) + Q_{latente\,de\,fusão}\right] \tag{6.30}$$

onde as massas dos cordões da alma e do banzo são de um modo geral diferentes e são calculadas usando as expressões (6.26) e (6.27) multiplicadas pelo comprimento total dos respectivos cordões de soldadura.

6.5.6 Formulação do problema de optimização

O problema de optimização associado ao projecto óptimo das ligações soldadas pode ser formulado matematicamente como um problema de minimização dos custos:

$$\text{Minimizar } FOBJ(\mathbf{x}) = \varsigma^{(1)}(\mathbf{x}) + \varsigma^{(2)}(\mathbf{x}) \tag{6.31}$$

sujeito às N_R e N_v restrições

$$\varphi_i(\mathbf{x}) \le 0 \quad , \quad i = 1,\ldots, N_R \tag{6.32}$$

$$x_i^{inf} \le x_i \le x_i^{sup} \quad , \quad i = 1,\ldots, N_v \tag{6.33}$$

onde os custos $\varsigma^{(k)}(\mathbf{x})$ são aqueles definidos nas equações (6.20) a (6.26) e as funções $\varphi_i(x)$ na desigualdade (6.32) representam genericamente as funções s_j associadas às restrições de integridade estrutural definidas na secção 6.5.4. As restrições (6.33) estão associadas a limites

geométricos ou tecnológicos impostos directamente nas variáveis de projecto x_i na secção 6.5.3.

7. Projecto Óptimo de Ligações Soldadas: Aplicações

7.1 Introdução

As aplicações possíveis do projecto óptimo de soldadura são variadas consoante o caso pretendido. No âmbito desta tese propõe-se o estudo das ligações rígidas viga-coluna para o qual se apresentarão soluções fixando um perfil para a viga e fazendo variar os carregamentos impostos. Na secção 7.2 apresenta-se um aspecto importante ao nível da programação: o ficheiro da Entrada de Dados. Este ficheiro contém informação associada às condições do problema e nesta secção descreve-se de um modo exaustivo o seu conteúdo. Na secção 7.2 principia-se o estudo da gama de valores admissíveis dos carregamentos no que respeita ao bom funcionamento do algoritmo. Se os carregamentos forem muito baixos o algoritmo fornece soluções enganosas e se os carregamentos forem muito elevados a biblioteca pode não ser suficiente para gerar soluções compatíveis com o regulamento, ou seja, violam sempre as restrições impostas. Por outro lado, um aspecto importante é a representatividade dos valores escolhido para simular o carregamento. Assim, o tratamento dos intervalos de valores para os três esforços é feito pelo UDM - Uniform Design Method [6], um dos métodos desenvolvidos para analisar problemas de multi-variáveis.

Na secção 7.4 apresentam-se os resultados decorrentes da utilização do UDM com o intuito de perceber a influência de cada componente do vector solicitação.

7.2 Ficheiro de Entrada de Dados

Uma das funções do algoritmo genético é ser um motor de busca servindo-se da biblioteca do programa. A biblioteca do programa encontra-se no ficheiro de entrada de dados e inclui informação relevante a ter em conta no funcionamento das rotinas da imputação dos custos e das restrições. Os dados de entrada são os seguintes:

- Vector das solicitações
- Propriedades Mecânicas e Geométricas dos Elementos a ligar;
- Parâmetros da Função de Custo;
- Gama de valores das Variáveis de Projecto;
- Propriedades associadas aos Custos Operacionais.

Nas subsecções seguintes explana-se o conteúdo de cada grupo de dados de entrada.

7.2.1 Solicitação

A solicitação a que a ligação está sujeita é lida nas primeiras três linhas do ficheiro de entrada, onde estão dispostos nesta ordem: Esforço Transverso, Momento Flector e Esforço Normal. O esforço transverso, V, e o esforço normal, N, estão escritos em Newton e o Momento Flector, M, em Newton metro.

7.2.2 Propriedades Mecânicas e Geométricas dos Elementos

No ficheiro dos dados de entrada, estabelece-se a tensão admissível. Como já foi referido na secção 1.2, a tensão admissível é 2/3 da tensão de cedência do metal base. Como nas ligações viga-pilar, ou viga-coluna, os materiais que constituem os elementos podem ser diferentes, considera-se σ_{adm} como sendo 2/3 da tensão limite convencional de proporcionalidade ou, simplesmente, tensão de cedência no caso dos aços, do material com menores propriedades mecânicas. Esta quantidade é introduzida pelo projectista. Na prática se o perfil for reconstituído soldado (PRS), as propriedades dos materiais que formam a alma e os banzos podem ainda ser diferentes, algo que não é considerado neste trabalho.
No ficheiro de entrada, a seguir à definição da tensão admissível é definida a altura da alma do perfil da viga, o única dado geométrico do perfil da viga que é necessário atribuir para a concretização do cálculo.

7.2.3 Parâmetros da Função de Custo

Esta é uma parte valiosa do ficheiro de entrada porque é aqui que se lêem os factores das expressões de imputação de custos. Parâmetros como a produtividade do soldador, tempos extraordinários de acabamento incluindo remoção de escória e manuseamento de peças, tempos para a eliminação das tensões residuais e custo da energia tendem a ser diferentes de país para país. No sentido de optimizar o processo, estes valores devem ser o mais verosímil possível.

O factor f_{weld}, por exemplo, presente na expressão (6.20) incorpora a capacidade operacional em termos de velocidade de passagem, o número de cordões simultâneos executáveis e produtividade do soldador a nível nacional. No exemplo proposto por Pavlovcic [2], a soldadura é automatizada por um robô que produz dois cordões simultâneos pelo método de arco submerso, tendo uma capacidade operacional de 80%. Assim o factor é calculado do seguinte modo

$$f_{weld} = \frac{1}{2 \times 0.8} = 0.625 \tag{7.1}$$

No entanto, numa perspectiva pessimista, toma-se $f_{weld} = 1.67$ porque admite-se que o soldador se encontra em condições normais de produtividade portuguesa de 60% em relação às condições perfeitas de produtividade.

7.2.4 Gama de Valores das Variáveis de Projecto

É óbvio que os comprimentos dos cordões de soldadura dos banzos não podem ser superiores à largura dos banzos propriamente ditos. No entanto, para salvaguardar que tal nunca acontece, o ficheiro de entrada contem a gama de valores que cada variável de projecto pode tomar, formando assim a base de dados do programa para os comprimentos permitidos. O único inconveniente deste pormenor é que a base de dados tem que ser alterada sempre que o perfil da viga o for. O mesmo acontece para o comprimento dos cordões da alma.

Por outro lado, as espessuras dos cordões podem ser mantidas para outros perfis a menos que o programa não encontre soluções. Se tal ocorrer, o limite mínimo pode ser reduzido procurando eléctrodos de diâmetro mais pequeno do que aqueles encontrados para este trabalho. Do lado do limite superior, conforme às condições de fabricação a gama pode ser estendida com base no conhecimento experimental no que diz respeito à formação de micro fissuras.

7.2.5 Propriedades do Material a Depositar

O material a depositar é definido pelo projectista. Este deve escolher um material que tenha uma tensão cedência superior a qualquer uma das tensões de cedência dos outros materiais a ligar para garantir que a integridade estrutural não é comprometida á partida pela ligação. Uma vez escolhido o material, o custo por unidade de massa deste é escrito no ficheiro de entrada para ser introduzido na expressão (6.24) no lugar de $k_{m.weld,1}$.

7.3 Exemplos de Aplicação

7.3.1 Simulação dos Esforços Aplicados pelo "Uniform Design Method"

Fixando um perfil para a viga a ligar ao pilar, podem-se variar os esforços e analisar a influência de cada componente nas variáveis de projecto. A "*Recommandation ISO R 617*" [5] é clara quando refere que o esforço normal solicita todos os cordões, o esforço transverso só solicita os cordões da alma e o momento flector só solicita os cordões dos banzos. Apesar disso é conveniente avaliar qual a gama de valores, ou as ordens de grandeza dos esforços, para as quais o algoritmo consegue produzir soluções que não violem as restrições impostas com a biblioteca disponível.

Um dos métodos para tratar problemas de multi-variáveis é o chamado UDM – Uniform Method Design, [6]. O UDM [6] como será chamada daqui em diante foi inicialmente desenvolvido para escolher de forma uniforme pontos experimentais num domínio disperso. Uma qualidade que distingue este método é o facto de ter sido introduzido o Método do Números Teóricos. A essência do Método dos Números Teóricos é a de conseguir encontrar um conjunto de pontos uniformemente dispersos num cubo unitário de dimensão s sendo este conjunto de pontos usado ao invés dos números aleatórios gerados pelo método de Monte Carlo (isto é, números quasi-aleatórios). O UDM [6] tem as seguintes vantagens: 1) é capaz de gerar conjuntos de valores com elevadas representatividades dentro do domínio; 2) não impõem demasiadas restrições num modelo; 3) acomoda o maior número possível de ordens de grandeza de cada variável. Dadas estas vantagens, o UDM [6] tem sido aplicado em áreas como a química e a engenharia química, farmacêutica, engenharia da qualidade, engenharia de sistemas, estatística, ciências computacionais e ciências naturais.

O UDM [6] aplicado ao estudo da influência dos esforços na soldadura, consiste nos passos seguintes:

1. Determinar os intervalos de valores dos três esforços que se pretendem estudar: o Esforço Transverso, o Momento Flector e o Esforço Normal;
2. Considerar uma partição do domínio de cada variável em 27 pontos uniformemente distribuídos;
3. Dispor os valores da partição de cada variável segundo a ordem determinada pelas colunas 1, 3 e 6 da tabela 1 do Anexo K. Estas colunas são escolhidas de acordo com a tabela 2 do Anexo K, considerando o número de variáveis da análise (esforços) e uma discrepância previamente definida.

De acordo com o processo de simulação acima referido torna-se necessário escolher 3 gamas de valores que constituem o domínio de estudo. Os intervalos são obtidos de forma iterativa, estreitando 3 domínios latos iniciais de valores até o algoritmo genético conseguir gerar 27 soluções que não violem as restrições pré-definidas. Desta forma garante-se que a gama escolhida é a mais representativa do domínio admissível pelo Algoritmo Genético (AG) . Os limites mínimos correspondentes aos domínios dos 3 esforços tendem a ser aqueles para os quais o algoritmo devolve soluções óptimas correspondentes aos limites mínimos do domínio das variáveis de projecto.

Na Tabela 7.1 apresentam-se três dos domínios possíveis de grande representatividade dos domínios admissíveis pelo algoritmo de optimização. A amplitude de cada sub-intervalo é determinada pelo passo. Os esforços encontram-se nas seguintes unidades:

- Esforço Normal, N, Newton
- Esforço Transverso, V, Newton
- Momento Flector, M, Newton-metro.

Tabela 7.1 Gama de valores dos esforços utilizados

	Limite Inferior	Limite Superior	Passo
Gama de valores para V, N	2.60E+04	1.53E+06	57676.9
Gama de valores para M, Nmm	2.60E+04	2.60E+08	9999000
Gama de valores para N, N	2.60E+01	2.60E+04	999

Assim, usando as Tabelas 1 e 2 do Anexo K juntamente com os domínios dos esforços que melhor representam os esforços admissíveis, Tabela 7.1, geram-se as combinações de ternos de esforços de simulação pelo UDM [6]. Essas combinações encontram-se definidas na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 Tabela dos esforços aplicados usando o UDM [6].

Nº da Combinação	Esforços Aplicados		
	V	M	N
1	26000	80018000	14012
2	83677	170009000	1025
3	141354	260000000	16010
4	199031	70019000	3023
5	256708	160010000	18008
6	314385	250001000	5021
7	372062	60020000	20006
8	429738	150011000	7019
9	487415	240002000	22004
10	545092	50021000	9017
11	602769	140012000	24002
12	660446	230003000	11015
13	718123	40022000	26000
14	775800	130013000	13013
15	833477	220004000	26
16	891154	30023000	15011
17	948831	120014000	2024
18	1006508	210005000	17009
19	1064185	20024000	4022
20	1121862	110015000	19007
21	1179538	200006000	6020
22	1237215	10025000	21005
23	1294892	100016000	8018
24	1352569	190007000	23003
25	1410246	26000	10016
26	1467923	90017000	25001
27	1525600	180008000	12014

7.3.2 Resultados de Projecto Óptimo

Usando os ternos de valores gerados pelo UDM [6] correspondentes aos esforços de simulação obtêm-se as soluções óptimas de projecto usando o AG. O processo evolucionário, no qual o algoritmo genético se baseia, devolve soluções óptimas ao fim de 1000 gerações, com uma população de soluções de 21 indivíduos onde a dimensão da elite é 33% da dimensão da população tal como a quantidade de soluções provenientes da mutação, geradas "de novo". Conforme aliás já referido na Secção 6.5.3, a propósito da definição das Restrições Geométricas, as espessuras dos cordões de soldadura variam entre 3 mm e 35 mm e os comprimentos variam entre 20 mm e a largura do banzo da viga no caso dos banzos, e a altura da alma do perfil da viga no caso dos cordões da alma. A discretização do domínio de cada variável de projecto encontra-se patente no Anexo J.

Na Figura 7.2, apresenta-se um diagrama dos resultados cujas combinações dos esforços foram geradas pelo UDM [6] formando ternos ordenados (V, M, N) dispostos nas radiais do diagrama e cuja intensidade se dispõe do centro do círculo para o exterior.

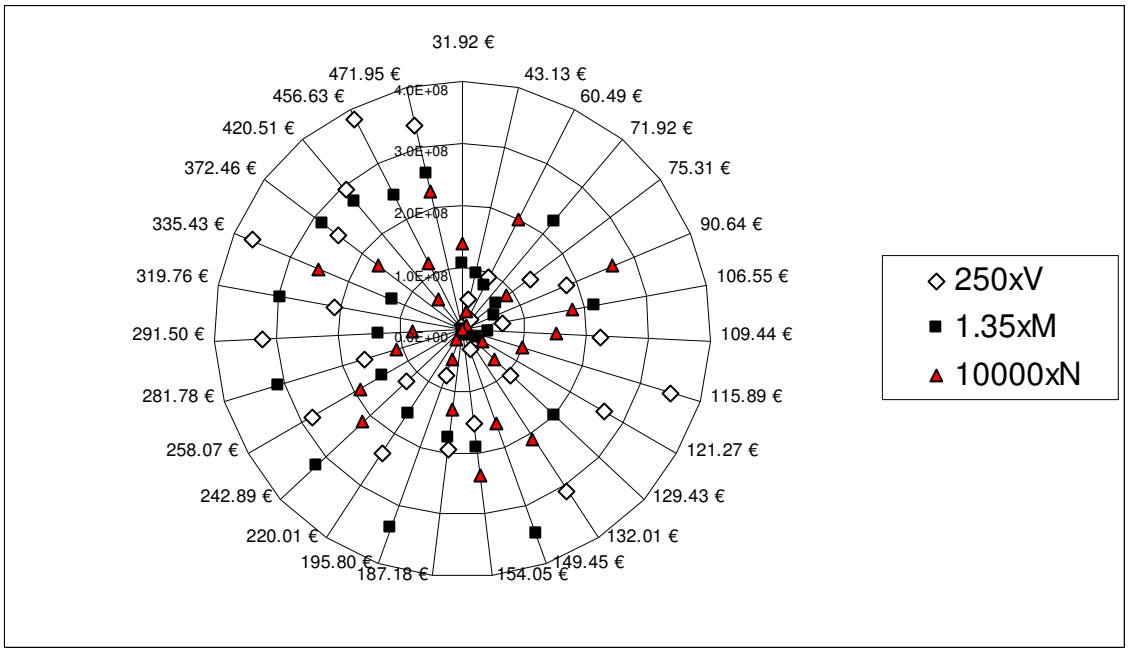


Figura 7.2 Custo de Soldadura Óptimo (€) obtido pelo AG, usando os esforços amplificados

O custo da ligação solicitada pelo terno ordenado de cada raio é apresentado na intersecção com a circunferência exterior. Na Figura 7.2 os esforços vêm amplificados para melhor compreensão dos resultados obtidos.

Os resultados do projecto óptimo acima mencionado apresentam-se na Tabela 7.2. Com as 27 combinações geradas pelo UDM [6] constituíram-se os carregamentos para os quais se calcularam as variáveis de projecto e o custo da ligação para essas condições usando o Algoritmo Genético descrito no Capítulo anterior.

O eléctrodo utilizado para fins de simulação é definido unicamente pelo seu preço unitário por unidade de massa. As características de vários eléctrodos encontram-se no Anexo L e correspondem aos produtos presentes no catálogo de materiais de soldadura CarboWeld [42]. Na Tabela 1 do Anexo L o preço 4,45 €/kg corresponde de forma unívoca ao eléctrodo Carbo MN B

Tabela 7.2 Resultados do Projecto Óptimo

Nº da combinação	Esforços Aplicados			Variável de Projecto				Custo da Ligação
				a, banzo	L, banzo	a, alma	L, alma	
	V	M	N	[3, 35]	[20, 390]	[3, 35]	[20, 295]	(€)
1	26000	80018000	14012	6	385	3	70	31.92
2	83677	170009000	1025	14	370	3.1	185	71.92
3	141354	260000000	16010	21	390	5.5	245	149.45
4	199031	70019000	3023	6.5	370	5	290	43.13
5	256708	160010000	18008	16	370	7	275	106.55
6	314385	250001000	5021	22	390	11	285	195.80
7	372062	60020000	20006	9	300	8	295	60.49
8	429738	150011000	7019	16	370	11	295	129.43
9	487415	240002000	22004	24	390	14	280	242.89
10	545092	50021000	9017	7	340	12	295	75.31
11	602769	140012000	24002	16	390	14	295	154.05
12	660446	230003000	11015	24	390	18	285	281.78
13	718123	40022000	26000	7	360	14	295	90.64
14	775800	130013000	13013	16	375	18	295	187.18
15	833477	220004000	26	24	390	21	295	319.76
16	891154	30023000	15011	8	225	18	295	109.44
17	948831	120014000	2024	16	375	21	295	220.01
18	1006508	210005000	17009	25	385	24	295	372.46
19	1064185	20024000	4022	8	195	20	295	121.27
20	1121862	110015000	19007	16	375	24	295	258.07
21	1179538	200006000	6020	25	390	27	295	420.51
22	1237215	10025000	21005	8	115	23	295	132.01
23	1294892	100016000	8018	16	390	26	295	291.50
24	1352569	190007000	23003	25	390	30	295	471.95
25	1410246	26000	10016	3	20	25	290	115.89
26	1467923	90017000	25001	16	380	29	295	335.43
27	1525600	180008000	12014	24	390	30	295	456.63

As soluções geradas pelo Algoritmo Genético associadas às combinações de esforços definidos com o auxílio do UDM [6] podem ser consideradas de boa qualidade quando comparadas com os resultados da "Recommandation ISO R 617" [5]. De modo a comprovar que o projecto óptimo é uma mais-valia útil em termos económicos atente-se no exemplo seguinte.

No caso do carregamento nº 25., com um terno de esforços aplicados de (545092 N, 50021000 Nmm, 9017 N), o AG gera a seguinte solução óptima com as seguintes dimensões de cordão de soldadura:

- Espessura dos cordões dos banzos de 7 mm;
- Comprimento dos cordões dos banzos de 380 mm;
- Espessura dos cordões da alma de 11 mm;
- Comprimento dos cordões da alma de 295 mm.

Considerando a tensão de cedência do perfil em causa como sendo

$\sigma_{ced} = 235\,\text{MPa}$

pela equação (6.10), a tensão admissível vale

$\sigma_{adm} = \frac{2}{3}\sigma_{ced} = 157\,\text{MPa}$.

Então, baseando esta análise numa lógica de tensão admissível restante, calculam-se as tensões a que os banzos e a alma estarão sujeitos

Pela equação (6.11) os coeficientes de redução da tensão admissível valem para os banzos e para a alma, respectivamente,

$$\alpha_1 = 0.8\left(1+\frac{1}{a_1}\right) = 0.8\left(1+\frac{1}{7}\right) = 0.9143 \qquad \text{e}$$

$$\alpha_2 = 0.8\left(1+\frac{1}{a_2}\right) = 0.8\left(1+\frac{1}{11}\right) = 0.8727\,.$$

Pela equação (6.12) e (6.13) a tensão a que os cordões dos banzos, com o carregamento enunciado, ficarão sujeitos é de

$\sigma_1 = 84.900\,MPa$.

No caso da alma, para o mesmo carregamento, pelas equações (6.14), (6.15) e (6.16) os cordões ficarão sujeitos a uma tensão

$\sigma_2 = 129.13\,MPa$.

Conforme se observa, as tensões a que os cordões ficarão sujeitos nunca excede a tensão admissível calculada de 157 MPa. Comparando estes valores com aqueles previstos na "Recommandation ISO R 617" [5] que permite calcular as dimensões dos cordões de soldadura para o estado limite de tensões instaladas iguais à tensão admissível, conclui-se que este método de pesquisa de soluções óptimas em que o algoritmo genético assenta conduz no sentido de poupança económica inevitável no que toca ao processo de soldadura aqui estudado porque gera tensões menores.

Na Figura 7.3 apresentam-se o custos da ligação quando esta é solicitada pelos ternos de esforços normalizados definidos na Tabela 7.3. Através da normalização dos esforços em relação ao limite superior da sua gama de valores correspondente, ou seja, em relação ao esforço máximo do domínio é possível avaliar um custo aproximado de um qualquer caso prático para este tipo de ligação em que o perfil da viga seja HEA 400.

Tabela 7.3 Custo da ligação quando solicitada pelos valores dos esforços normalizados.

V/Vmax	M/Max	N/Nmax	Custo (EUR)
0.017042	0.307762	0.538923	31.92
0.130461	0.269304	0.116269	43.13
0.243879	0.230846	0.769462	60.49
0.054849	0.653881	0.039423	71.92
0.357297	0.192388	0.346808	75.31
0.470715	0.153931	1.000000	90.64
0.168267	0.615423	0.692615	106.55
0.584133	0.115473	0.577346	109.44
0.924388	0.000100	0.385231	115.89
0.697552	0.077015	0.154692	121.27
0.281685	0.576965	0.269962	129.43
0.810970	0.038558	0.807885	132.01
0.092655	1.000000	0.615769	149.45
0.395103	0.538508	0.923154	154.05
0.508521	0.500050	0.500500	187.18
0.206073	0.961542	0.193115	195.80
0.621939	0.461592	0.077846	220.01
0.319491	0.923085	0.846308	242.89
0.735358	0.423135	0.731038	258.07
0.432909	0.884627	0.423654	281.78
0.848776	0.384677	0.308385	291.50
0.546327	0.846169	0.001000	319.76
0.962194	0.346219	0.961577	335.43
0.659745	0.807712	0.654192	372.46
0.773164	0.769254	0.231538	420.51
1.000000	0.692338	0.462077	456.63
0.886582	0.730796	0.884731	471.95

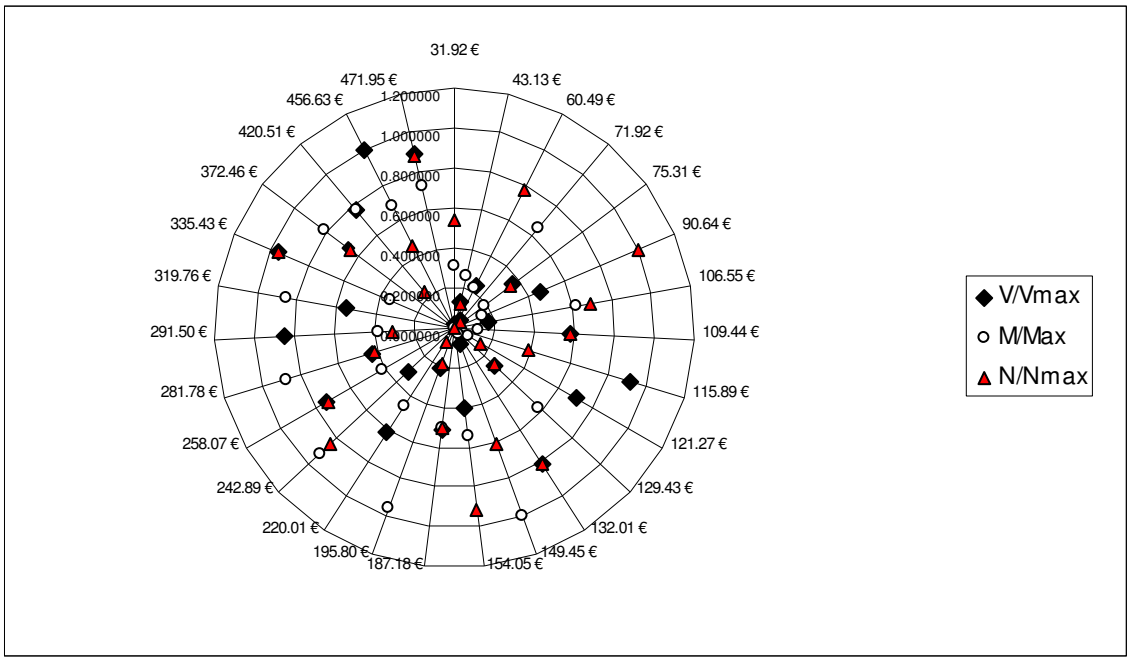


Figura 7.3 Custos óptimos das ligações soldadas (€) em função dos esforços normalizados.

8 Conclusões e Perspectivas de Trabalho Futuro

8.1 Conclusões

O projecto optimizado de estruturas metálicas é hoje em dia uma mais-valia atendendo aos custos envolvidos e às condições impostas pelos códigos construtivos. Em geral a optimização de estruturas metálicas baseia-se no peso da estrutura como variável relacionada com os custos de construção. Todavia, as estruturas metálicas obrigam ao seccionamento da estrutura em elementos estruturais mais pequenos por motivos diversos relacionados com a tecnologia de construção, o transporte e a montagem da estrutura. Daqui resulta a necessidade de considerar no projecto óptimo de estruturas metálicas o problema das ligações dos elementos estruturais. Este aspecto construtivo tem como consequência a exigência de um nível de detalhe mais elaborado dos custos e das restrições impostas pelas normas construtivas.

Neste trabalho estudaram-se detalhadamente os métodos de imputação dos custos ao projecto de ligações estruturais. Estudou-se o problema do projecto óptimo de ligações estruturais não só com objectivo de minimizar o peso mas também com o de minimizar os custos inerentes às ligações dos elementos estruturais, cumprindo as restrições geométricas e de integridade estrutural. Assim, são estudados dois tipos de ligações estruturais: Ligações aparafusadas topo a topo e Ligações viga - coluna soldadas. Com vista à obtenção do menor custo da ligação respeitando as restrições geométricas e de integridade estrutural impostas pela regulamentação em vigor – Eurocódigo 3 (EC3) [1] e REAPE [3] – recorre-se ao um algoritmo genético.

Na parte da Ligação Aparafusada topo a topo por cobrejuntas apresenta-se a definição teórica para perfis iguais incluindo as restrições previstas no EC3 [1]. O problema é estudado do ponto de vista da imputação de custos de mão-de-obra, criação de bibliotecas de materiais, afinamento da convergência do AG e estudo da evolução do algoritmo em várias vertentes no sentido da obtenção das melhores soluções.

O custo e as restrições associadas a uma ligação aparafusada de dois elementos estruturais, solicitada por um carregamento particular, são quantificados em conjunto pela função de mérito. Estudou-se a interacção entre o custo da ligação e o valor das restrições violadas com o intuito de se classificarem e ordenarem as soluções em termos de mérito melhorando assim o método de pesquisa das soluções óptimas de projecto. O valor total das restrições violadas de uma solução associado à respectiva constante de ponderação, constitui o termo restritivo da função de mérito. Neste trabalho "optimizam-se" as constantes de ponderação de cada termo restritivo para os perfis HEA 400, HEA 360, HEA 340, HEA 320 e HEA 300, e conclui-se que as constantes variam dentro da mesma ordem de grandeza e que a afinação da função de mérito através do peso do termo restritivo provoca uma melhoria generalizada no que diz respeito à obtenção de soluções óptimas mais baratas.

Na segunda parte do trabalho estuda-se o problema das ligações soldadas. No âmbito das ligações viga-coluna aborda-se o caso específico das ligações rígidas. Apresenta-se a formulação teórica do problema de optimização inspirada na "*Recommandation ISO R 617"* [5] para o caso da soldadura na ligação viga – coluna. Analisa-se a influência do tipo de carregamento nas soluções de projecto óptimo. Para o efeito estuda-se o domínio de valores dos esforços instalados pelo "Uniform Design Method (UDM)" [6]. Resolvem-se alguns exemplos, cujas respectivas soluções óptimas são obtidas pelo Algoritmo Genético utilizado na primeira parte do trabalho.

8.2 Perspectivas de Trabalho Futuro

No que diz respeito ao tema das ligações aparafusadas estudou-se nesta tese a ligação linear topo a topo por cobrejunta. No entanto, quando se recorre a ligações topo a topo também é possível executá-las por flange soldada a cada topo de viga, aparafusando de seguida as flanges ou soldando-as. As ligações topo a topo por flange têm outra vantagem em relação às ligações por cobrejunta que é a possibilidade de executar uma ligação angular com mais facilidade. As ligações angulares por flanges são aplicáveis a perfis de secção cheia do tipo I, H ou L e a perfis ocos do tipo tubular circular ou tubular rectangular, entre outros. As ligações estruturais por flanges aparafusadas são consideradas ligações semi-rígidas e podem ser analisadas recorrendo à sua curva característica momento-rotação sob o efeito da flexão e de cargas axiais, praticando uma estratégia de análise não linear. O problema baseia-se na verificação da rigidez rotacional da ligação. As ligações semi-rígidas por flange podem ser aparafusadas à flange correspondente à outra viga, constituindo uma ligação viga-viga ou pode ser aparafusada ao banzo ou à alma da coluna constituindo assim uma ligação semi-

rígida viga-coluna. Tanto uma ligação como outra são temas bastante interessantes e importantes ao nível da optimização de estruturas metálicas.

Quanto ao tema da soldadura, é conveniente estudar e programar também os restantes exemplos de ligações inspirados na "Recommandation ISO R 617" [5]. No que toca às ligações viga-coluna o problema pode ser complementado de várias formas. Usando perfis reconstituídos soldados (PRS), tanto na viga como na coluna, pode-se adoptar uma formulação onde os materiais dos banzos e das almas, são todos diferentes. Este problema pode ser extremamente útil no sentido de optimizar os custos de ligação no que respeita à construção da viga, da coluna e da própria ligação.

A combinação apropriada de alguns dos casos presentes na "Recommandation ISO R 617" [5] também permite calcular o dimensionamento de "goussets". Inspirada nos pressupostos da "Recommandation ISO R 617" [5] é possível implementar um procedimento de projecto óptimo de modo a calcular soluções de soldadura em chapas de "gousset" bem como calcular as dimensões do "gousset", propriamente dito.

No sentido de conseguir configurações de cordões de soldadura ainda mais baratas, deve ser adoptada a possibilidade desses cordões serem descontínuos e consequentemente mais curtos. Para tal, o Eurocódigo 3 [1] define as restrições geométricas apropriadas.

9 Referências

[1] – Eurocode 3 – "Design of Steel Structures" – Part 1.1: General rules and rules for buildings", CEN, Brussels, 1992.

[2] – Pavlovčič, L.; Krajnc, A.; Beg, D.: Cost Function analysis in structural optimization of steel frames. *Struct. Multisciplinary Optimization*, 28, 286-295, 2004.

[3] - REAPE - Regulamento de Estruturas em Aço para Pontes e Edifícios.

[4] – Conceição António, C.A.: An approach to reliability based design of composite structures under dynamic response. *Proceedings of ECCOMAS 2000-European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering*, Barcelona, Espanha, 2000.

[5] – "Calcul des cordons d'angles rectangles isocèles sollicités statiquement de façon que la section transversale ne subisse aucune contrainte ou tension normale", Recommandation ISO R 619, 1967

[6] – Cheng, J.; Li, Q.S.: A hybrid artificial neural network method with uniform design for structural optimization. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*,197 (2008) 3742-3750, 2008.

[7] – Grierson, D.; Lee, W.: Optimal sythesis of steel frameworks using standard sections. *J. Struct. Mech.* **12**(3), 335-370, 1984.

[8] - Hager, K.; Balling, R.,: New approach for discrete structural optimization. *J. Struct. Mech.* **114**(5), 1120-1134, 1988.

[9] – Xu, L.; Grierson, D.E.: Computer automated design of semi-rigid steel frameworks. *J. Struct. Eng*. **119**(6), 1740-1760, 1993.

[10] – Simões, L.M.C.: Optimization of semi-rigid connections. *Comput. Struct.* **60**(4), 531-539, 1996.

[11] – Saka, M.P.; Kameshki, E.S.: Optimum design of unbraced rigid frames. *Comput. Struct.* **69**(4), 432-442, 1998.

[12] – Erbatur, F.; Hasançebi, O.; Tütüncü, I.; Kılıç, H: Optimal design of planar and space structures with genetic algorithms. *Comput. Struct.* **75**(2), 209-224, 2000.

[13] – Kameshki, E.S.; Saka, M.P.: Optimum design of nonlinear steel frames with semi-rigid connections using a genetic algorithm. *Comput. Struct.* **79**(17), 1593-1604, 2001.

[14] **–** Kravanja, S.**:** *Simultaneous topology and parameter optimization of structures* (in Slovenian), Ph. D., Faculty of Civil Engineering, University of Maribor, pp. 121-122, 1996.

[15] – Jármai, K.; Farkas, J.: Cost calculation and optimisation of welded steel structures. *J. Constr. Steel Res.* **50**(2) 115-135, 1999.

[16] – Melchers, R.E.: On extending the range of Michell-like optimal topology structures. *J. Struct. Multidisciplinary Optimization,* Volume 29, Number 2 / February, 2005

[17] **–** McKeown, J.J.: Growing optimal pin-jointed frames. *J. Struct. Multidisciplinary Optimization,* 2005

[18] - Hayalioglu, M.S.; Degertekin S.O.: Design of non-linear steel frames for stress and displacement constraints with semi-rigid connections via genetic optimization. *J. Struct. Multidisciplinary Optimization,* 2004.

[19] - Frye, M.J. and Morris, G.A.: Analysis of flexibility connected steel frames. *Csn. J. Civ. Eng* 2, 280-291, 1975.

[20] **–** Farkas, J.: Fabrication aspects in the optimum design of welded structures. *J. Struct. Multidisciplinary Optimization*, 1990.

[21] **–** Metropolis, N.; Rosenbluth, A.; Rosenbluth, M.; Teller, A.; Teller, E.: Equation of state calculation by fast computing machines", *Journal of Chemical Physics*, 21, pp. 1087-1092, 1953.

[22]**-** Kirkpatrick, S.; Gellat, C. D.; Vecchi, M. P.: Optimization by Simulate Annealing. *Science*, **220**(4958), 671-680, 1983.

[23] – Tsai , H. L.; Tarng, Y. S.; Tseng, C. M.: Optimisation of Submerged Arc Welding Process parameters in Hardfacing, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***,** Taiwan, ROC, 1996.

[24] **–** Yan-Wen Huang, Pi-Cheng Tung and Cheng-Yu Wu,: Tuning PID control of an automatic arc welding system using a SMAW process, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology***,** Volume 34, Numbers 1-2, 2007.

[25] – Lambrakos, S. G.; Milewski, J. O.; Moore, P. G.,: "Weld analysis using an inverse-problem approach based on quasi-one-dimensional interpolation", *JOM Journal of the Minerals, Metals and Materials Society*, Volume 55, Number 6, 2003.

[26] **–** Balasubramanian, M.; Jayabalan, V.; Balasubramanian, V.: Response surface approach to optimize the pulsed current gas tungsten arc welding parameters of Ti–6Al–4V titanium alloy.*Metals and Materials International***,** Volume 13, Number 4 / July, 2007.

[27] **–** Taguchi, G.: Introduction to Quality Engineering**.** *Asian Productivity Organization***,** Tokio, 1990.

[28] – Tarng, Y. S.; Yang, W. H.: Optimisation of the Weld Bead Geometry in Gas Tungsten Arc Welding by the Taguchi Method. *The Internation Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Taipei, Taiwan, 1998.

[29] – Bendell, A.; Disney, J.; Pridmore, W. A.: Taguchi Methods: Applications in World Industry. *IFS Publications*, UK, 1989.

[30] **-** Babkin, A S; Epifantsev, L T.: Methods of calculating the optimum conditions of arc welding and surfacing. *Welding International*, Volume 18, Number 7 / July, 2004.

[31] – Gomes, F. C. T.: The EC3 classification of Joints and alternative proposals". *3rd European Conference on Steel Structures,* Volume II, Setembro, Coimbra, Portugal, 2002.

[32] – Gomes, F.C.T., Kuhlmann, U., De Matteis, G., and Mandara, A.: "Recent developments on classification of joints", *Proceedings of the International of the Internacional Conference on the Control of the Semi-rigid Behaviour of Civil Engineering Structural Connections*, Liege, Belgium (Ed. R. Maquoi), European Comission, Brussels, pp.187-198, 1998.

[33] - Holland, J.H.: Adaptation in Natural and Artificial Systems. *University of Michigan Press*, 1975.

[34] – Goldberg, D.E.: *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning.* Reading: Addison-Wesley, 1989.

[35] – Conceição António C.A.: A hierarchical genetic algorith for reliability based design of geometrically non-linear composite structures. *Composite Structures*, Volume 54, Issue 1, pp. 37-47, October 2001.

[36] – Spears WM, De Jong SK. On the Virtues of Parametrized Uniform Crossover. In: Belew RK, Booker LB, editors. *Proceedings of Fourth International Conference on Genetic Algorithms*. Los Atlos, CA: Morgan Kaufmann;. p. 230-6, 1991.

[37] **-** Lista de Produtos INTEC – Parafusaria e Fixações 2009.

[38] – Connection Design Manual for LiteSteel® Beam. LiteSteel Technologies, Capítulo 5, Novembro 2007.

[39] **-** ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX –Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers and Welding and Brazing Operators, *The American Society of Mechanical Engineers*, New York, New York, 2005.

[40] - Apontamentos de Órgãos de Máquinas, "Dimensionamento de Ligações Soldadas", Paulo Tavares de Castro, FEUP.

[41] - Weman, Klas. Welding processes handbook. New York, NY: *CRC Press LLC*, 2003.

[42] – Tabela de propriedades e preços de eléctrodos da empresa CarboWeld, Junho de 2009.

[43] – Polajnar, A.: *Handbook for planning and managing the manufacturing processes* (in Slovenian), Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor, 1991.

[44] – Manual of Welding Data and Joint Preparation, ESAB

ANEXO A: DADOS DE ENTRADA DO PROGRAMA

Legenda:

Espessura do banzo (mm)
Espessura da alma (mm)
Altura da cobrejunta do banzo (mm)
Altura da cobrejunta da alma (mm)
Esforço cortante (N)
Momento flector (Nmm)
Esforço normal (N)
Tensão de cedência do material do perfil (MPa)
Tensão de rotura à tracção do material do perfil (MPa)
Altura do perfil (mm)
Largura do banzo do perfil (mm)
Raio de concordância alma/banzo do perfil (mm)
Momento de inércia do perfil segundo o eixo zz (mm^4)

A1: HEA 400

19
11
290
295
100000
271542500
100000
235
360
390
300
27
450700000

A2 : HEA 360

17.5
10
290
207
100000
271542500
100000
235
360
350
300
27
330900000

A3 : HEA 340

16.5
9.5
290
189
100000
271542500
100000
235
360
330
300
27
276900000

A4 : HEA 320

15.5
9
290
171
100000
271542500
100000
235
360
310
300
27
229300000

A5 : HEA 300

14
8.5
290
154
100000
271542500
100000
235
360
290
300
27
182600000

ANEXO B: RESULTADOS DOS VARRIMENTOS EFECTUADOS PARA O PERFIL HEA 400

TABELA B1: RESULTADOS DO VARRIMENTO NO INTERVALO [10; 200] COM PASSO 5, POP.21, NGER 21, HEA 400

K_2	Mérito	Custo ($)	Mérito/Custo
10	9.781420E+05	2.185820E+04	4.474943E+01
15	9.802180E+05	1.978150E+04	4.955226E+01
20	9.771180E+05	2.288180E+04	4.270285E+01
25	9.777790E+05	2.222130E+04	4.400188E+01
30	9.768460E+05	2.315380E+04	4.218945E+01
35	9.803520E+05	1.964850E+04	4.989450E+01
40	9.745780E+05	2.375570E+04	4.102502E+01
45	9.790650E+05	2.093480E+04	4.676734E+01
50	9.796480E+05	2.035190E+04	4.813546E+01
55	9.789100E+05	2.108970E+04	4.641650E+01
60	9.789320E+05	2.106790E+04	4.646557E+01
65	9.804120E+05	1.958770E+04	5.005243E+01
70	9.788240E+05	2.117630E+04	4.622262E+01
75	9.800920E+05	1.990850E+04	4.922983E+01
80	9.802520E+05	1.974840E+04	4.963703E+01
85	9.802520E+05	1.974840E+04	4.963703E+01
90	9.756830E+05	2.431740E+04	4.012283E+01
95	9.804390E+05	1.956080E+04	5.012264E+01
100	9.799290E+05	2.007100E+04	4.882313E+01
105	9.797680E+05	2.023160E+04	4.842761E+01
110	9.731040E+05	2.689600E+04	3.618025E+01
115	9.783680E+05	2.163220E+04	4.522739E+01
120	9.791830E+05	2.081670E+04	4.703834E+01
125	9.791910E+05	2.080920E+04	4.705568E+01
130	9.749110E+05	2.508930E+04	3.885764E+01
135	9.793570E+05	2.064320E+04	4.744211E+01
140	9.801100E+05	1.988990E+04	4.927677E+01
145	9.781320E+05	2.186840E+04	4.472810E+01
150	9.781320E+05	2.186840E+04	4.472810E+01
155	9.788200E+05	2.118010E+04	4.621413E+01
160	9.801700E+05	1.983040E+04	4.942765E+01
165	9.797550E+05	2.024500E+04	4.839491E+01
170	9.740250E+05	2.597510E+04	3.749841E+01
175	9.774520E+05	2.254770E+04	4.335041E+01
180	9.803570E+05	1.964310E+04	4.990847E+01
185	9.803570E+05	1.964310E+04	4.990847E+01
190	**9.807480E+05**	**1.925240E+04**	**5.094160E+01**
195	9.789810E+05	2.101950E+04	4.657489E+01
200	9.765260E+05	2.347360E+04	4.160103E+01

TABELA B2 : RESULTADOS DO VARRIMENTO NO INTERVALO [10; 950] COM PASSO 50, POP.21, NGER 300, HEA 400

K_2	Mérito	Custo	Mérito/Custo
10	9.781420E+05	21,858.20 $	4.474943E+01
15	9.802180E+05	19,781.50 $	4.955226E+01
50	9.796480E+05	20,351.90 $	4.813546E+01
100	9.799290E+05	20,071.00 $	4.882313E+01
150	9.781320E+05	21,868.40 $	4.472810E+01
200	9.765260E+05	23,473.60 $	4.160103E+01
250	9.770220E+05	22,978.00 $	4.251989E+01
300	9.797570E+05	20,243.50 $	4.839860E+01
350	9.794970E+05	20,503.30 $	4.777265E+01
400	9.790970E+05	20,902.90 $	4.684025E+01
450	9.796360E+05	20,364.20 $	4.810579E+01
500	9.794290E+05	20,571.10 $	4.761189E+01
550	9.794290E+05	20,571.10 $	4.761189E+01
600	9.794290E+05	20,571.10 $	4.761189E+01
650	9.794290E+05	20,571.10 $	4.761189E+01
700	9.794290E+05	20,571.10 $	4.761189E+01
750	9.796680E+05	20,332.10 $	4.818332E+01
800	9.796680E+05	20,332.10 $	4.818332E+01
850	9.783160E+05	21,684.30 $	4.511633E+01
900	9.783160E+05	21,684.30 $	4.511633E+01
950	9.783160E+05	21,684.30 $	4.511633E+01

ANEXO C: CUSTOS VS. RESTRIÇÕES VIOLADAS, HEA 400, POP. 21, NGER 300

Geração	Custo ($)	Nº de Restr. Violadas
1	1.15E+05	1.30E+00
2	1.86E+05	8.45E-02
3	1.22E+05	0.00E+00
4	1.22E+05	0.00E+00
5	1.22E+05	0.00E+00
6	1.22E+05	0.00E+00
7	1.22E+05	0.00E+00
8	1.22E+05	0.00E+00
9	1.22E+05	0.00E+00
10	1.16E+05	0.00E+00
11	1.16E+05	0.00E+00
12	1.16E+05	0.00E+00
13	1.15E+05	0.00E+00
14	1.15E+05	0.00E+00
15	1.15E+05	0.00E+00
16	1.15E+05	0.00E+00
17	1.15E+05	0.00E+00
18	1.15E+05	0.00E+00
19	1.15E+05	0.00E+00
20	1.15E+05	0.00E+00
21	1.15E+05	0.00E+00
22	1.15E+05	0.00E+00
23	9.26E+04	0.00E+00
24	8.05E+04	0.00E+00
25	8.05E+04	0.00E+00
26	8.05E+04	0.00E+00
27	8.05E+04	0.00E+00
28	8.05E+04	0.00E+00
29	8.05E+04	0.00E+00
30	8.05E+04	0.00E+00
31	6.56E+04	0.00E+00
32	6.56E+04	0.00E+00
33	6.55E+04	0.00E+00
34	6.55E+04	0.00E+00
35	6.55E+04	0.00E+00
36	6.55E+04	0.00E+00
37	6.35E+04	0.00E+00
38	4.99E+04	0.00E+00
39	4.99E+04	0.00E+00
40	4.99E+04	0.00E+00
41	4.99E+04	0.00E+00
42	4.23E+04	0.00E+00
43	4.23E+04	0.00E+00
44	4.23E+04	0.00E+00
45	4.23E+04	0.00E+00
46	4.23E+04	0.00E+00
47	4.23E+04	0.00E+00
48	4.23E+04	0.00E+00
49	4.23E+04	0.00E+00
50	4.23E+04	0.00E+00
51	4.23E+04	0.00E+00
52	4.23E+04	0.00E+00
53	3.94E+04	0.00E+00
54	3.94E+04	0.00E+00
55	3.94E+04	0.00E+00
56	3.94E+04	0.00E+00
57	3.94E+04	0.00E+00
58	3.94E+04	0.00E+00
59	3.94E+04	0.00E+00
60	3.94E+04	0.00E+00
61	3.94E+04	0.00E+00
62	3.94E+04	0.00E+00
63	3.94E+04	0.00E+00
64	3.43E+04	0.00E+00
65	3.43E+04	0.00E+00
66	3.43E+04	0.00E+00
67	3.43E+04	0.00E+00
68	3.43E+04	0.00E+00
69	3.43E+04	0.00E+00
70	3.43E+04	0.00E+00
71	3.43E+04	0.00E+00
72	3.43E+04	0.00E+00
73	3.43E+04	0.00E+00
74	3.43E+04	0.00E+00
75	3.43E+04	0.00E+00
76	3.43E+04	0.00E+00
77	3.43E+04	0.00E+00
78	3.43E+04	0.00E+00
79	3.43E+04	0.00E+00
80	3.40E+04	0.00E+00
81	3.40E+04	0.00E+00
82	3.40E+04	0.00E+00
83	3.40E+04	0.00E+00
84	3.32E+04	0.00E+00
85	3.32E+04	0.00E+00
86	3.32E+04	0.00E+00
87	3.32E+04	0.00E+00
88	3.32E+04	0.00E+00
89	3.32E+04	0.00E+00
90	3.32E+04	0.00E+00
91	3.19E+04	0.00E+00
92	3.19E+04	0.00E+00
93	3.19E+04	0.00E+00
94	3.19E+04	0.00E+00
95	3.19E+04	0.00E+00
96	3.19E+04	0.00E+00
97	3.19E+04	0.00E+00
98	3.19E+04	0.00E+00

99	3.19E+04	0.00E+00
100	3.19E+04	0.00E+00
101	3.19E+04	0.00E+00
102	2.98E+04	0.00E+00
103	2.98E+04	0.00E+00
104	2.98E+04	0.00E+00
105	2.98E+04	0.00E+00
106	2.95E+04	0.00E+00
107	2.95E+04	0.00E+00
108	2.95E+04	0.00E+00
109	2.95E+04	0.00E+00
110	2.82E+04	0.00E+00
111	2.82E+04	0.00E+00
112	2.82E+04	0.00E+00
113	2.82E+04	0.00E+00
114	2.82E+04	0.00E+00
115	2.82E+04	0.00E+00
116	2.82E+04	0.00E+00
117	2.82E+04	0.00E+00
118	2.82E+04	0.00E+00
119	2.82E+04	0.00E+00
120	2.82E+04	0.00E+00
121	2.82E+04	0.00E+00
122	2.82E+04	0.00E+00
123	2.82E+04	0.00E+00
124	2.77E+04	0.00E+00
125	2.77E+04	0.00E+00
126	2.75E+04	0.00E+00
127	2.75E+04	0.00E+00
128	2.75E+04	0.00E+00
129	2.75E+04	0.00E+00
130	2.75E+04	0.00E+00
131	2.75E+04	0.00E+00
132	2.75E+04	0.00E+00
133	2.75E+04	0.00E+00
134	2.75E+04	0.00E+00
135	2.75E+04	0.00E+00
136	2.75E+04	0.00E+00
137	2.75E+04	0.00E+00
138	2.75E+04	0.00E+00
139	2.75E+04	0.00E+00
140	2.75E+04	0.00E+00
141	2.75E+04	0.00E+00
142	2.59E+04	0.00E+00
143	2.59E+04	0.00E+00
144	2.44E+04	0.00E+00
145	2.44E+04	0.00E+00
146	2.44E+04	0.00E+00
147	2.44E+04	0.00E+00
148	2.44E+04	0.00E+00
149	2.44E+04	0.00E+00
150	2.44E+04	0.00E+00
151	2.44E+04	0.00E+00
152	2.44E+04	0.00E+00

153	2.44E+04	0.00E+00
154	2.44E+04	0.00E+00
155	2.44E+04	0.00E+00
156	2.44E+04	0.00E+00
157	2.44E+04	0.00E+00
158	2.44E+04	0.00E+00
159	2.44E+04	0.00E+00
160	2.44E+04	0.00E+00
161	2.44E+04	0.00E+00
162	2.44E+04	0.00E+00
163	2.44E+04	0.00E+00
164	2.44E+04	0.00E+00
165	2.44E+04	0.00E+00
166	2.44E+04	0.00E+00
167	2.44E+04	0.00E+00
168	2.44E+04	0.00E+00
169	2.40E+04	0.00E+00
170	2.40E+04	0.00E+00
171	2.40E+04	0.00E+00
172	2.40E+04	0.00E+00
173	2.40E+04	0.00E+00
174	2.40E+04	0.00E+00
175	2.40E+04	0.00E+00
176	2.40E+04	0.00E+00
177	2.40E+04	0.00E+00
178	2.40E+04	0.00E+00
179	2.40E+04	0.00E+00
180	2.40E+04	0.00E+00
181	2.07E+04	0.00E+00
182	2.05E+04	0.00E+00
183	2.05E+04	0.00E+00
184	2.05E+04	0.00E+00
185	2.05E+04	0.00E+00
186	2.05E+04	0.00E+00
187	2.05E+04	0.00E+00
188	2.05E+04	0.00E+00
189	2.05E+04	0.00E+00
190	2.05E+04	0.00E+00
191	2.05E+04	0.00E+00
192	2.05E+04	0.00E+00
193	2.05E+04	0.00E+00
194	2.05E+04	0.00E+00
195	2.05E+04	0.00E+00
196	2.05E+04	0.00E+00
197	2.05E+04	0.00E+00
198	2.05E+04	0.00E+00
199	2.05E+04	0.00E+00
200	2.05E+04	0.00E+00
201	2.05E+04	0.00E+00
202	2.05E+04	0.00E+00
203	2.05E+04	0.00E+00
204	2.05E+04	0.00E+00
205	2.05E+04	0.00E+00
206	2.05E+04	0.00E+00

207	2.05E+04	0.00E+00
208	2.05E+04	0.00E+00
209	2.05E+04	0.00E+00
210	2.05E+04	0.00E+00
211	2.05E+04	0.00E+00
212	2.05E+04	0.00E+00
213	2.05E+04	0.00E+00
214	2.05E+04	0.00E+00
215	2.05E+04	0.00E+00
216	2.05E+04	0.00E+00
217	2.05E+04	0.00E+00
218	2.05E+04	0.00E+00
219	2.05E+04	0.00E+00
220	2.05E+04	0.00E+00
221	2.05E+04	0.00E+00
222	2.05E+04	0.00E+00
223	2.05E+04	0.00E+00
224	2.05E+04	0.00E+00
225	2.05E+04	0.00E+00
226	2.05E+04	0.00E+00
227	2.05E+04	0.00E+00
228	2.05E+04	0.00E+00
229	2.05E+04	0.00E+00
230	2.05E+04	0.00E+00
231	2.05E+04	0.00E+00
232	2.05E+04	0.00E+00
233	2.05E+04	0.00E+00
234	2.05E+04	0.00E+00
235	2.05E+04	0.00E+00
236	2.05E+04	0.00E+00
237	2.05E+04	0.00E+00
238	2.05E+04	0.00E+00
239	2.05E+04	0.00E+00
240	2.05E+04	0.00E+00
241	2.05E+04	0.00E+00
242	2.05E+04	0.00E+00
243	1.98E+04	0.00E+00
244	1.96E+04	0.00E+00
245	1.96E+04	0.00E+00
246	1.96E+04	0.00E+00
247	1.96E+04	0.00E+00
248	1.96E+04	0.00E+00
249	1.96E+04	0.00E+00
250	1.96E+04	0.00E+00
251	1.96E+04	0.00E+00
252	1.96E+04	0.00E+00
253	1.96E+04	0.00E+00
254	1.93E+04	0.00E+00
255	1.93E+04	0.00E+00
256	1.93E+04	0.00E+00
257	1.93E+04	0.00E+00
258	1.93E+04	0.00E+00
259	1.93E+04	0.00E+00
260	1.93E+04	0.00E+00
261	1.93E+04	0.00E+00
262	1.93E+04	0.00E+00
263	1.93E+04	0.00E+00
264	1.93E+04	0.00E+00
265	1.93E+04	0.00E+00
266	1.93E+04	0.00E+00
267	1.93E+04	0.00E+00
268	1.93E+04	0.00E+00
269	1.93E+04	0.00E+00
270	1.93E+04	0.00E+00
271	1.93E+04	0.00E+00
272	1.93E+04	0.00E+00
273	1.93E+04	0.00E+00
274	1.93E+04	0.00E+00
275	1.93E+04	0.00E+00
276	1.93E+04	0.00E+00
277	1.93E+04	0.00E+00
278	1.93E+04	0.00E+00
279	1.93E+04	0.00E+00
280	1.93E+04	0.00E+00
281	1.93E+04	0.00E+00
282	1.93E+04	0.00E+00
283	1.93E+04	0.00E+00
284	1.93E+04	0.00E+00
285	1.93E+04	0.00E+00
286	1.93E+04	0.00E+00
287	1.93E+04	0.00E+00
288	1.93E+04	0.00E+00
289	1.93E+04	0.00E+00
290	1.93E+04	0.00E+00
291	1.93E+04	0.00E+00
292	1.93E+04	0.00E+00
293	1.93E+04	0.00E+00
294	1.93E+04	0.00E+00
295	1.93E+04	0.00E+00
296	1.93E+04	0.00E+00
297	1.93E+04	0.00E+00
298	1.93E+04	0.00E+00
299	1.93E+04	0.00E+00

ANEXO D: AS MELHORES SOLUÇÕES PARA LIGAÇÃO DE PERFIS HEA 400 NGER.300, POP. 21 USANDO 2 FUNÇÕES DE MÉRITO DIFERENTES

	Melhores Soluções, MER 1		Melhores Soluções, MER 2	
Nº de Geração	Custo ($)	Nº de Restrições Violadas	Custo ($)	Nº de Restrições Violadas
1	1.15E+05	1.30E+00	1.15E+05	1.30E+00
2	1.86E+05	8.45E-02	1.86E+05	8.45E-02
3	1.22E+05	0.00E+00	1.86E+05	8.45E-02
4	1.22E+05	0.00E+00	1.86E+05	8.45E-02
5	1.22E+05	0.00E+00	1.86E+05	8.45E-02
6	1.22E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
7	1.22E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
8	1.22E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
9	1.22E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
10	1.16E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
11	1.16E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
12	1.16E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
13	1.15E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
14	1.15E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
15	1.15E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
16	1.15E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
17	1.15E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
18	1.15E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
19	1.15E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
20	1.15E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
21	1.15E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
22	1.15E+05	0.00E+00	9.72E+04	0.00E+00
23	9.26E+04	0.00E+00	8.80E+04	0.00E+00
24	8.05E+04	0.00E+00	8.80E+04	0.00E+00
25	8.05E+04	0.00E+00	8.66E+04	0.00E+00
26	8.05E+04	0.00E+00	7.89E+04	0.00E+00
27	8.05E+04	0.00E+00	7.49E+04	0.00E+00
28	8.05E+04	0.00E+00	7.03E+04	0.00E+00
29	8.05E+04	0.00E+00	7.03E+04	0.00E+00
30	8.05E+04	0.00E+00	7.03E+04	0.00E+00
31	6.56E+04	0.00E+00	7.03E+04	0.00E+00
32	6.56E+04	0.00E+00	7.03E+04	0.00E+00
33	6.55E+04	0.00E+00	7.03E+04	0.00E+00
34	6.55E+04	0.00E+00	7.03E+04	0.00E+00
35	6.55E+04	0.00E+00	7.03E+04	0.00E+00
36	6.55E+04	0.00E+00	5.49E+04	0.00E+00
37	6.35E+04	0.00E+00	5.49E+04	0.00E+00
38	4.99E+04	0.00E+00	5.49E+04	0.00E+00
39	4.99E+04	0.00E+00	5.49E+04	0.00E+00
40	4.99E+04	0.00E+00	5.49E+04	0.00E+00
41	4.99E+04	0.00E+00	5.36E+04	0.00E+00
42	4.23E+04	0.00E+00	5.20E+04	0.00E+00
43	4.23E+04	0.00E+00	5.20E+04	0.00E+00
44	4.23E+04	0.00E+00	5.20E+04	0.00E+00
45	4.23E+04	0.00E+00	5.20E+04	0.00E+00
46	4.23E+04	0.00E+00	5.20E+04	0.00E+00
47	4.23E+04	0.00E+00	5.20E+04	0.00E+00

48	4.23E+04	0.00E+00	5.20E+04	0.00E+00
49	4.23E+04	0.00E+00	5.14E+04	0.00E+00
50	4.23E+04	0.00E+00	5.14E+04	0.00E+00
51	4.23E+04	0.00E+00	5.14E+04	0.00E+00
52	4.23E+04	0.00E+00	5.14E+04	0.00E+00
53	3.94E+04	0.00E+00	4.29E+04	0.00E+00
54	3.94E+04	0.00E+00	4.29E+04	0.00E+00
55	3.94E+04	0.00E+00	4.29E+04	0.00E+00
56	3.94E+04	0.00E+00	4.29E+04	0.00E+00
57	3.94E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
58	3.94E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
59	3.94E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
60	3.94E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
61	3.94E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
62	3.94E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
63	3.94E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
64	3.43E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
65	3.43E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
66	3.43E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
67	3.43E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
68	3.43E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
69	3.43E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
70	3.43E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
71	3.43E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
72	3.43E+04	0.00E+00	3.98E+04	0.00E+00
73	3.43E+04	0.00E+00	3.34E+04	0.00E+00
74	3.43E+04	0.00E+00	3.34E+04	0.00E+00
75	3.43E+04	0.00E+00	3.34E+04	0.00E+00
76	3.43E+04	0.00E+00	3.34E+04	0.00E+00
77	3.43E+04	0.00E+00	3.34E+04	0.00E+00
78	3.43E+04	0.00E+00	3.34E+04	0.00E+00
79	3.43E+04	0.00E+00	3.34E+04	0.00E+00
80	3.40E+04	0.00E+00	3.34E+04	0.00E+00
81	3.40E+04	0.00E+00	3.34E+04	0.00E+00
82	3.40E+04	0.00E+00	3.34E+04	0.00E+00
83	3.40E+04	0.00E+00	3.29E+04	0.00E+00
84	3.32E+04	0.00E+00	3.29E+04	0.00E+00
85	3.32E+04	0.00E+00	3.29E+04	0.00E+00
86	3.32E+04	0.00E+00	3.29E+04	0.00E+00
87	3.32E+04	0.00E+00	3.29E+04	0.00E+00
88	3.32E+04	0.00E+00	3.29E+04	0.00E+00
89	3.32E+04	0.00E+00	3.29E+04	0.00E+00
90	3.32E+04	0.00E+00	3.29E+04	0.00E+00
91	3.19E+04	0.00E+00	3.29E+04	0.00E+00
92	3.19E+04	0.00E+00	3.02E+04	0.00E+00
93	3.19E+04	0.00E+00	3.02E+04	0.00E+00
94	3.19E+04	0.00E+00	2.58E+04	0.00E+00
95	3.19E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
96	3.19E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
97	3.19E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
98	3.19E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
99	3.19E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
100	3.19E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
101	3.19E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00

102	2.98E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
103	2.98E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
104	2.98E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
105	2.98E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
106	2.95E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
107	2.95E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
108	2.95E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
109	2.95E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
110	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
111	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
112	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
113	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
114	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
115	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
116	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
117	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
118	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
119	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
120	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
121	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
122	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
123	2.82E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
124	2.77E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
125	2.77E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
126	2.75E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
127	2.75E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
128	2.75E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
129	2.75E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
130	2.75E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
131	2.75E+04	0.00E+00	2.40E+04	0.00E+00
132	2.75E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
133	2.75E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
134	2.75E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
135	2.75E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
136	2.75E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
137	2.75E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
138	2.75E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
139	2.75E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
140	2.75E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
141	2.75E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
142	2.59E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
143	2.59E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
144	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
145	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
146	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
147	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
148	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
149	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
150	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
151	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
152	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
153	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
154	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
155	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02

156	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
157	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
158	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
159	2.44E+04	0.00E+00	1.92E+04	7.46E-02
160	2.44E+04	0.00E+00	2.16E+04	0.00E+00
161	2.44E+04	0.00E+00	2.16E+04	0.00E+00
162	2.44E+04	0.00E+00	2.16E+04	0.00E+00
163	2.44E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
164	2.44E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
165	2.44E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
166	2.44E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
167	2.44E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
168	2.44E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
169	2.40E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
170	2.40E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
171	2.40E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
172	2.40E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
173	2.40E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
174	2.40E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
175	2.40E+04	0.00E+00	2.15E+04	0.00E+00
176	2.40E+04	0.00E+00	1.80E+04	7.46E-02
177	2.40E+04	0.00E+00	1.80E+04	7.46E-02
178	2.40E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
179	2.40E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
180	2.40E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
181	2.07E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
182	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
183	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
184	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
185	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
186	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
187	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
188	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
189	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
190	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
191	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
192	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
193	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
194	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
195	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
196	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
197	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
198	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
199	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
200	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
201	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
202	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
203	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
204	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
205	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
206	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
207	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
208	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
209	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02

210	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
211	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
212	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
213	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
214	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
215	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
216	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
217	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
218	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
219	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
220	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
221	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
222	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
223	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
224	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
225	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
226	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
227	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
228	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
229	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
230	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
231	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
232	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
233	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
234	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
235	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
236	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
237	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
238	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
239	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
240	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
241	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
242	2.05E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
243	1.98E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
244	1.96E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
245	1.96E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
246	1.96E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
247	1.96E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
248	1.96E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
249	1.96E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
250	1.96E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
251	1.96E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
252	1.96E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
253	1.96E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
254	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
255	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
256	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
257	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
258	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
259	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
260	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
261	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
262	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
263	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02

264	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
265	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
266	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
267	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
268	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
269	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
270	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
271	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
272	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
273	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
274	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
275	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
276	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
277	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
278	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
279	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
280	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
281	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
282	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
283	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
284	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
285	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
286	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
287	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
288	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
289	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
290	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
291	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
292	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
293	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
294	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
295	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
296	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
297	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
298	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02
299	1.93E+04	0.00E+00	1.77E+04	7.46E-02

ANEXO E: EVOLUÇÃO DO MELHOR E DO PIOR MÉRITO DA ELITE:

1. BIBLIOTECA GRANDE (BG), COM CADA GERAÇÃO DE SOLUÇÕES COM 21 INDIVIDUOS;
2. BIBLIOTECA GRANDE (BG), COM CADA GERAÇÃO DE SOLUÇÕES COM 30 INDIVIDUOS;
3. BIBLIOTECA PEQUENA (BP), COM CADA GERAÇÃO DE SOLUÇÕES COM 30 INDIVIDUOS

PARA 1500 GERAÇÕES E USANDO A FUNÇÃO DE MÉRITO MER1

	1)		2)		3)	
	BEST	WORST	BEST	WORST	BEST	WORST
Nº geração						
1	-1.59E+06	-1.37E+07	-1.59E+06	-2.55E+07	1.68E+05	-9.68E+06
2	6.54E+05	-9.47E+06	-7.07E+05	-1.16E+07	6.59E+05	-4.08E+06
3	8.78E+05	-1.59E+06	-7.07E+05	-6.29E+06	9.24E+05	-4.48E+05
4	8.78E+05	-5.54E+05	6.17E+05	-2.98E+06	9.24E+05	-9.96E+04
5	8.78E+05	-1.89E+05	6.17E+05	-1.59E+06	9.27E+05	1.68E+05
6	8.78E+05	-1.89E+05	8.10E+05	-5.16E+05	9.27E+05	5.88E+05
7	8.78E+05	2.78E+05	8.26E+05	1.29E+05	9.27E+05	5.88E+05
8	8.78E+05	2.78E+05	8.26E+05	3.93E+05	9.27E+05	7.79E+05
9	8.78E+05	3.44E+05	8.26E+05	4.57E+05	9.44E+05	9.06E+05
10	8.84E+05	5.78E+05	8.26E+05	5.40E+05	9.44E+05	9.06E+05
11	8.84E+05	6.54E+05	8.26E+05	5.87E+05	9.52E+05	9.19E+05
12	8.84E+05	6.54E+05	8.30E+05	6.17E+05	9.52E+05	9.19E+05
13	8.85E+05	8.27E+05	8.44E+05	7.02E+05	9.56E+05	9.27E+05
14	8.85E+05	8.27E+05	8.52E+05	7.85E+05	9.56E+05	9.35E+05
15	8.85E+05	8.28E+05	8.69E+05	8.14E+05	9.56E+05	9.37E+05
16	8.85E+05	8.28E+05	8.69E+05	8.14E+05	9.56E+05	9.38E+05
17	8.85E+05	8.49E+05	8.72E+05	8.27E+05	9.56E+05	9.38E+05
18	8.85E+05	8.49E+05	8.72E+05	8.44E+05	9.56E+05	9.38E+05
19	8.85E+05	8.49E+05	8.72E+05	8.44E+05	9.56E+05	9.38E+05
20	8.85E+05	8.50E+05	8.72E+05	8.51E+05	9.56E+05	9.44E+05
21	8.85E+05	8.50E+05	8.72E+05	8.53E+05	9.56E+05	9.45E+05
22	8.85E+05	8.59E+05	8.72E+05	8.53E+05	9.60E+05	9.48E+05
23	9.07E+05	8.69E+05	8.80E+05	8.55E+05	9.60E+05	9.50E+05
24	9.20E+05	8.75E+05	8.92E+05	8.64E+05	9.60E+05	9.52E+05
25	9.20E+05	8.78E+05	8.92E+05	8.69E+05	9.60E+05	9.53E+05
26	9.20E+05	8.84E+05	8.92E+05	8.69E+05	9.60E+05	9.55E+05
27	9.20E+05	8.84E+05	8.92E+05	8.69E+05	9.60E+05	9.55E+05
28	9.20E+05	9.03E+05	8.98E+05	8.72E+05	9.66E+05	9.56E+05
29	9.20E+05	9.03E+05	8.98E+05	8.72E+05	9.67E+05	9.57E+05
30	9.20E+05	9.03E+05	8.98E+05	8.73E+05	9.69E+05	9.60E+05
31	9.34E+05	9.03E+05	8.98E+05	8.80E+05	9.69E+05	9.61E+05
32	9.34E+05	9.07E+05	8.98E+05	8.80E+05	9.69E+05	9.61E+05
33	9.34E+05	9.07E+05	8.98E+05	8.84E+05	9.69E+05	9.61E+05
34	9.34E+05	9.07E+05	8.98E+05	8.84E+05	9.69E+05	9.62E+05
35	9.34E+05	9.16E+05	8.98E+05	8.84E+05	9.71E+05	9.66E+05
36	9.34E+05	9.24E+05	8.98E+05	8.86E+05	9.71E+05	9.66E+05
37	9.36E+05	9.27E+05	8.98E+05	8.86E+05	9.71E+05	9.67E+05
38	9.50E+05	9.33E+05	8.98E+05	8.86E+05	9.71E+05	9.67E+05

39	9.50E+05	9.34E+05	8.98E+05	8.88E+05	9.71E+05	9.69E+05
40	9.50E+05	9.34E+05	8.98E+05	8.88E+05	9.71E+05	9.69E+05
41	9.50E+05	9.34E+05	8.98E+05	8.88E+05	9.71E+05	9.69E+05
42	9.58E+05	9.36E+05	8.98E+05	8.90E+05	9.71E+05	9.69E+05
43	9.58E+05	9.36E+05	8.98E+05	8.90E+05	9.71E+05	9.69E+05
44	9.58E+05	9.36E+05	8.98E+05	8.90E+05	9.71E+05	9.69E+05
45	9.58E+05	9.36E+05	9.41E+05	8.90E+05	9.71E+05	9.69E+05
46	9.58E+05	9.36E+05	9.44E+05	8.92E+05	9.73E+05	9.69E+05
47	9.58E+05	9.38E+05	9.44E+05	8.95E+05	9.74E+05	9.71E+05
48	9.58E+05	9.38E+05	9.44E+05	8.97E+05	9.74E+05	9.71E+05
49	9.58E+05	9.38E+05	9.50E+05	8.98E+05	9.74E+05	9.71E+05
50	9.58E+05	9.39E+05	9.50E+05	8.98E+05	9.74E+05	9.71E+05
51	9.58E+05	9.41E+05	9.50E+05	8.98E+05	9.74E+05	9.71E+05
52	9.58E+05	9.41E+05	9.50E+05	8.98E+05	9.75E+05	9.71E+05
53	9.61E+05	9.41E+05	9.50E+05	8.99E+05	9.75E+05	9.71E+05
54	9.61E+05	9.50E+05	9.50E+05	9.01E+05	9.75E+05	9.71E+05
55	9.61E+05	9.50E+05	9.50E+05	9.34E+05	9.75E+05	9.73E+05
56	9.61E+05	9.50E+05	9.56E+05	9.39E+05	9.75E+05	9.73E+05
57	9.61E+05	9.50E+05	9.56E+05	9.40E+05	9.75E+05	9.73E+05
58	9.61E+05	9.51E+05	9.56E+05	9.41E+05	9.75E+05	9.73E+05
59	9.61E+05	9.52E+05	9.56E+05	9.43E+05	9.75E+05	9.73E+05
60	9.61E+05	9.59E+05	9.56E+05	9.44E+05	9.75E+05	9.73E+05
61	9.61E+05	9.59E+05	9.56E+05	9.45E+05	9.75E+05	9.73E+05
62	9.61E+05	9.59E+05	9.56E+05	9.45E+05	9.75E+05	9.73E+05
63	9.61E+05	9.59E+05	9.56E+05	9.46E+05	9.75E+05	9.73E+05
64	9.66E+05	9.59E+05	9.56E+05	9.46E+05	9.75E+05	9.73E+05
65	9.66E+05	9.60E+05	9.56E+05	9.46E+05	9.75E+05	9.73E+05
66	9.66E+05	9.60E+05	9.57E+05	9.47E+05	9.75E+05	9.73E+05
67	9.66E+05	9.60E+05	9.57E+05	9.47E+05	9.75E+05	9.73E+05
68	9.66E+05	9.60E+05	9.57E+05	9.49E+05	9.75E+05	9.73E+05
69	9.66E+05	9.60E+05	9.57E+05	9.50E+05	9.75E+05	9.73E+05
70	9.66E+05	9.60E+05	9.57E+05	9.50E+05	9.75E+05	9.73E+05
71	9.66E+05	9.60E+05	9.57E+05	9.50E+05	9.75E+05	9.73E+05
72	9.66E+05	9.60E+05	9.57E+05	9.50E+05	9.75E+05	9.73E+05
73	9.66E+05	9.60E+05	9.57E+05	9.50E+05	9.75E+05	9.73E+05
74	9.66E+05	9.60E+05	9.59E+05	9.52E+05	9.75E+05	9.73E+05
75	9.66E+05	9.61E+05	9.59E+05	9.53E+05	9.75E+05	9.73E+05
76	9.66E+05	9.61E+05	9.59E+05	9.53E+05	9.75E+05	9.73E+05
77	9.66E+05	9.61E+05	9.59E+05	9.54E+05	9.75E+05	9.73E+05
78	9.66E+05	9.61E+05	9.59E+05	9.55E+05	9.75E+05	9.73E+05
79	9.66E+05	9.61E+05	9.59E+05	9.56E+05	9.75E+05	9.73E+05
80	9.66E+05	9.61E+05	9.59E+05	9.56E+05	9.75E+05	9.73E+05
81	9.66E+05	9.61E+05	9.59E+05	9.56E+05	9.75E+05	9.73E+05
82	9.66E+05	9.62E+05	9.61E+05	9.56E+05	9.75E+05	9.73E+05
83	9.66E+05	9.63E+05	9.61E+05	9.56E+05	9.75E+05	9.73E+05
84	9.67E+05	9.65E+05	9.61E+05	9.56E+05	9.75E+05	9.74E+05
85	9.67E+05	9.65E+05	9.61E+05	9.56E+05	9.75E+05	9.74E+05
86	9.67E+05	9.65E+05	9.61E+05	9.56E+05	9.75E+05	9.74E+05
87	9.67E+05	9.65E+05	9.61E+05	9.56E+05	9.75E+05	9.74E+05
88	9.67E+05	9.65E+05	9.61E+05	9.56E+05	9.75E+05	9.74E+05
89	9.67E+05	9.65E+05	9.63E+05	9.57E+05	9.75E+05	9.74E+05
90	9.67E+05	9.65E+05	9.63E+05	9.57E+05	9.75E+05	9.74E+05
91	9.68E+05	9.66E+05	9.63E+05	9.57E+05	9.75E+05	9.74E+05
92	9.68E+05	9.66E+05	9.63E+05	9.57E+05	9.75E+05	9.74E+05

93	9.68E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.59E+05	9.75E+05	9.74E+05
94	9.68E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.59E+05	9.75E+05	9.74E+05
95	9.68E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.59E+05	9.75E+05	9.74E+05
96	9.68E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.59E+05	9.75E+05	9.74E+05
97	9.68E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.61E+05	9.75E+05	9.74E+05
98	9.68E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.61E+05	9.75E+05	9.74E+05
99	9.68E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.61E+05	9.75E+05	9.74E+05
100	9.68E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.61E+05	9.75E+05	9.74E+05
101	9.68E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.62E+05	9.75E+05	9.74E+05
102	9.70E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.62E+05	9.75E+05	9.74E+05
103	9.70E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.62E+05	9.75E+05	9.74E+05
104	9.70E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.62E+05	9.75E+05	9.74E+05
105	9.70E+05	9.66E+05	9.66E+05	9.62E+05	9.75E+05	9.74E+05
106	9.70E+05	9.66E+05	9.70E+05	9.62E+05	9.75E+05	9.74E+05
107	9.70E+05	9.66E+05	9.70E+05	9.63E+05	9.75E+05	9.74E+05
108	9.70E+05	9.66E+05	9.70E+05	9.63E+05	9.75E+05	9.74E+05
109	9.70E+05	9.66E+05	9.70E+05	9.63E+05	9.75E+05	9.74E+05
110	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.63E+05	9.75E+05	9.74E+05
111	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.64E+05	9.75E+05	9.74E+05
112	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.64E+05	9.75E+05	9.74E+05
113	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.64E+05	9.75E+05	9.74E+05
114	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.64E+05	9.75E+05	9.74E+05
115	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.64E+05	9.75E+05	9.74E+05
116	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.64E+05	9.75E+05	9.74E+05
117	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.64E+05	9.75E+05	9.74E+05
118	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.64E+05	9.75E+05	9.74E+05
119	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.64E+05	9.75E+05	9.74E+05
120	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.64E+05	9.75E+05	9.74E+05
121	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.64E+05	9.75E+05	9.74E+05
122	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.64E+05	9.75E+05	9.74E+05
123	9.72E+05	9.67E+05	9.70E+05	9.65E+05	9.75E+05	9.74E+05
124	9.72E+05	9.68E+05	9.70E+05	9.65E+05	9.75E+05	9.74E+05
125	9.72E+05	9.68E+05	9.70E+05	9.65E+05	9.75E+05	9.74E+05
126	9.73E+05	9.69E+05	9.70E+05	9.65E+05	9.75E+05	9.74E+05
127	9.73E+05	9.69E+05	9.70E+05	9.66E+05	9.75E+05	9.74E+05
128	9.73E+05	9.70E+05	9.70E+05	9.66E+05	9.75E+05	9.74E+05
129	9.73E+05	9.70E+05	9.71E+05	9.67E+05	9.75E+05	9.74E+05
130	9.73E+05	9.70E+05	9.71E+05	9.67E+05	9.75E+05	9.74E+05
131	9.73E+05	9.70E+05	9.71E+05	9.67E+05	9.75E+05	9.74E+05
132	9.73E+05	9.70E+05	9.71E+05	9.67E+05	9.75E+05	9.74E+05
133	9.73E+05	9.70E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
134	9.73E+05	9.70E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
135	9.73E+05	9.71E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
136	9.73E+05	9.71E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
137	9.73E+05	9.71E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
138	9.73E+05	9.71E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
139	9.73E+05	9.71E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
140	9.73E+05	9.71E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
141	9.73E+05	9.71E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
142	9.74E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
143	9.74E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
144	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
145	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
146	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05

147	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
148	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
149	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
150	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
151	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
152	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
153	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
154	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
155	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.68E+05	9.75E+05	9.74E+05
156	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.69E+05	9.75E+05	9.74E+05
157	9.76E+05	9.72E+05	9.71E+05	9.69E+05	9.75E+05	9.74E+05
158	9.76E+05	9.73E+05	9.76E+05	9.69E+05	9.75E+05	9.74E+05
159	9.76E+05	9.73E+05	9.76E+05	9.70E+05	9.75E+05	9.74E+05
160	9.76E+05	9.73E+05	9.76E+05	9.70E+05	9.75E+05	9.74E+05
161	9.76E+05	9.73E+05	9.76E+05	9.70E+05	9.75E+05	9.74E+05
162	9.76E+05	9.73E+05	9.76E+05	9.70E+05	9.75E+05	9.74E+05
163	9.76E+05	9.73E+05	9.76E+05	9.70E+05	9.75E+05	9.74E+05
164	9.76E+05	9.73E+05	9.76E+05	9.70E+05	9.75E+05	9.74E+05
165	9.76E+05	9.73E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
166	9.76E+05	9.73E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
167	9.76E+05	9.73E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
168	9.76E+05	9.73E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
169	9.76E+05	9.74E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
170	9.76E+05	9.74E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
171	9.76E+05	9.74E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
172	9.76E+05	9.74E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
173	9.76E+05	9.74E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
174	9.76E+05	9.74E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
175	9.76E+05	9.74E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
176	9.76E+05	9.74E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
177	9.76E+05	9.74E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
178	9.76E+05	9.74E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
179	9.76E+05	9.74E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
180	9.76E+05	9.75E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
181	9.79E+05	9.76E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
182	9.79E+05	9.76E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
183	9.79E+05	9.76E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
184	9.79E+05	9.76E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
185	9.79E+05	9.76E+05	9.76E+05	9.71E+05	9.75E+05	9.74E+05
186	9.79E+05	9.76E+05	9.76E+05	9.72E+05	9.75E+05	9.74E+05
187	9.79E+05	9.76E+05	9.76E+05	9.72E+05	9.75E+05	9.74E+05
188	9.79E+05	9.76E+05	9.76E+05	9.72E+05	9.75E+05	9.74E+05
189	9.79E+05	9.76E+05	9.78E+05	9.73E+05	9.75E+05	9.74E+05
190	9.79E+05	9.76E+05	9.78E+05	9.73E+05	9.75E+05	9.74E+05
191	9.79E+05	9.78E+05	9.78E+05	9.73E+05	9.75E+05	9.74E+05
192	9.79E+05	9.78E+05	9.78E+05	9.73E+05	9.75E+05	9.74E+05
193	9.79E+05	9.78E+05	9.78E+05	9.73E+05	9.75E+05	9.74E+05
194	9.79E+05	9.78E+05	9.78E+05	9.73E+05	9.75E+05	9.74E+05
195	9.79E+05	9.78E+05	9.78E+05	9.73E+05	9.75E+05	9.74E+05
196	9.79E+05	9.78E+05	9.78E+05	9.73E+05	9.75E+05	9.74E+05
197	9.79E+05	9.78E+05	9.78E+05	9.73E+05	9.75E+05	9.74E+05
198	9.79E+05	9.78E+05	9.78E+05	9.73E+05	9.75E+05	9.74E+05
199	9.79E+05	9.78E+05	9.78E+05	9.73E+05	9.75E+05	9.74E+05
200	9.79E+05	9.78E+05	9.79E+05	9.74E+05	9.75E+05	9.74E+05

201	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.74E+05	9.75E+05	9.74E+05
202	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05	9.74E+05
203	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05	9.74E+05
204	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05	9.74E+05
205	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05	9.74E+05
206	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05	9.74E+05
207	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05	9.74E+05
208	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05	9.74E+05
209	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
210	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
211	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
212	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
213	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
214	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
215	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
216	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
217	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
218	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
219	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
220	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
221	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
222	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
223	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
224	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
225	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
226	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
227	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
228	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
229	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
230	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
231	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
232	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
233	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
234	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
235	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05	9.74E+05
236	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
237	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
238	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
239	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
240	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
241	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
242	9.79E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
243	9.80E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
244	9.80E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
245	9.80E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
246	9.80E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
247	9.80E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
248	9.80E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
249	9.80E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
250	9.80E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
251	9.80E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
252	9.80E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
253	9.80E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
254	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05

255	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
256	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
257	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
258	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
259	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
260	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.77E+05	9.75E+05	9.74E+05
261	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
262	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
263	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
264	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
265	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
266	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
267	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
268	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
269	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
270	9.81E+05	9.79E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
271	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
272	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
273	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
274	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
275	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
276	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
277	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
278	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
279	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
280	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
281	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
282	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
283	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
284	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
285	9.81E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
286	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.78E+05	9.75E+05	9.74E+05
287	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.74E+05
288	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.74E+05
289	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.74E+05
290	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
291	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
292	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
293	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
294	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
295	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
296	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
297	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
298	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
299	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
300	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
301	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
302	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
303	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
304	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
305	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
306	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
307	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
308	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05

309	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
310	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
311	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
312	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
313	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
314	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
315	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
316	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.75E+05	9.75E+05
317	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
318	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
319	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
320	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
321	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
322	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
323	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
324	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
325	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
326	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
327	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
328	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
329	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
330	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
331	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
332	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
333	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
334	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
335	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
336	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
337	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
338	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
339	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
340	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
341	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
342	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
343	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
344	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
345	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
346	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
347	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
348	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
349	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
350	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
351	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
352	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
353	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
354	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
355	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
356	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
357	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
358	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
359	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
360	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
361	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
362	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05

363	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
364	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
365	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
366	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
367	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
368	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
369	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
370	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
371	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
372	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
373	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
374	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
375	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
376	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
377	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
378	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
379	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
380	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
381	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
382	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
383	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
384	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
385	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.79E+05	9.76E+05	9.75E+05
386	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
387	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
388	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
389	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
390	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
391	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
392	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
393	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
394	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
395	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
396	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
397	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
398	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
399	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
400	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
401	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
402	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
403	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
404	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
405	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
406	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
407	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
408	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
409	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
410	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
411	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
412	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
413	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
414	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
415	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
416	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

417	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
418	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
419	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
420	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
421	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
422	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
423	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
424	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
425	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
426	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
427	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
428	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
429	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
430	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
431	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
432	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
433	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
434	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
435	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
436	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
437	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
438	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
439	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
440	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
441	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
442	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
443	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
444	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
445	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
446	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
447	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
448	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
449	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
450	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
451	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
452	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
453	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
454	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
455	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
456	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
457	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
458	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
459	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
460	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
461	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
462	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
463	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
464	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
465	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
466	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
467	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
468	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
469	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
470	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

471	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
472	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
473	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
474	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
475	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
476	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
477	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
478	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
479	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
480	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
481	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
482	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
483	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
484	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
485	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
486	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
487	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
488	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
489	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
490	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
491	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
492	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
493	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
494	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
495	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
496	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
497	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
498	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
499	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
500	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
501	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
502	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
503	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
504	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
505	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
506	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
507	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
508	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
509	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
510	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
511	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
512	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
513	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
514	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
515	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
516	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
517	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
518	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
519	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
520	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
521	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
522	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
523	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
524	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

525	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
526	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
527	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
528	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
529	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
530	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
531	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
532	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
533	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
534	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
535	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
536	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
537	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
538	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
539	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
540	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
541	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
542	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
543	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
544	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
545	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
546	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
547	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
548	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
549	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
550	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
551	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
552	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
553	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
554	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
555	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
556	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
557	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
558	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
559	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
560	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
561	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
562	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
563	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
564	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
565	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
566	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
567	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
568	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
569	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
570	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
571	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
572	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
573	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
574	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
575	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
576	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
577	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
578	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

579	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
580	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
581	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
582	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
583	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
584	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
585	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
586	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
587	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
588	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
589	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
590	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
591	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
592	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
593	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
594	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
595	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
596	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
597	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
598	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
599	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
600	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
601	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
602	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
603	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
604	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
605	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
606	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
607	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
608	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
609	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
610	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
611	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
612	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
613	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
614	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
615	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
616	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
617	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
618	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
619	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
620	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
621	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
622	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
623	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
624	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
625	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
626	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
627	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
628	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
629	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
630	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
631	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
632	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

633	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
634	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
635	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
636	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
637	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
638	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
639	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
640	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
641	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
642	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
643	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
644	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
645	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
646	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
647	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
648	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
649	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
650	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
651	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
652	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
653	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
654	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
655	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
656	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
657	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
658	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
659	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
660	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
661	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
662	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
663	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
664	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
665	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
666	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
667	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
668	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
669	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
670	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
671	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
672	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
673	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
674	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
675	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
676	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
677	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
678	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
679	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
680	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
681	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
682	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
683	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
684	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
685	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
686	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

687	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
688	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
689	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
690	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
691	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
692	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
693	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
694	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
695	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
696	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
697	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
698	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
699	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
700	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
701	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
702	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
703	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
704	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
705	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
706	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
707	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
708	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
709	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
710	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
711	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
712	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
713	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
714	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
715	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
716	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
717	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
718	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
719	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
720	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
721	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
722	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
723	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
724	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
725	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
726	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
727	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
728	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
729	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
730	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
731	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
732	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
733	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
734	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
735	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
736	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
737	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
738	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
739	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
740	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

741	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
742	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
743	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
744	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
745	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
746	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
747	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
748	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
749	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
750	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
751	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
752	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
753	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
754	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
755	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
756	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
757	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
758	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
759	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
760	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
761	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
762	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
763	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
764	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
765	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
766	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
767	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
768	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
769	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
770	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
771	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
772	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
773	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
774	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
775	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
776	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
777	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
778	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
779	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
780	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
781	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
782	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
783	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
784	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
785	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
786	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
787	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
788	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
789	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
790	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
791	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
792	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
793	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
794	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

795	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
796	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
797	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
798	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
799	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
800	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
801	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
802	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
803	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
804	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
805	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
806	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
807	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
808	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
809	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
810	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
811	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
812	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
813	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
814	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
815	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
816	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
817	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
818	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
819	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
820	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
821	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
822	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
823	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
824	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
825	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
826	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
827	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
828	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
829	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
830	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
831	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
832	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
833	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
834	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
835	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
836	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
837	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
838	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
839	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
840	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
841	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
842	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
843	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
844	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
845	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
846	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
847	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
848	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

849	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
850	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
851	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
852	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
853	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
854	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
855	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
856	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
857	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
858	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
859	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
860	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
861	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
862	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
863	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
864	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
865	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
866	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
867	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
868	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
869	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
870	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
871	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
872	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
873	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
874	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
875	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
876	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
877	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
878	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
879	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
880	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
881	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
882	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
883	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
884	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
885	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
886	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
887	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
888	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
889	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
890	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
891	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
892	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
893	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
894	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
895	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
896	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
897	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
898	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
899	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
900	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
901	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
902	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

903	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
904	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
905	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
906	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
907	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
908	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
909	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
910	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
911	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
912	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
913	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
914	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
915	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
916	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
917	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
918	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
919	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
920	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
921	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
922	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
923	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
924	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
925	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
926	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
927	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
928	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
929	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
930	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
931	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
932	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
933	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
934	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
935	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
936	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
937	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
938	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
939	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
940	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
941	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
942	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
943	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
944	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
945	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
946	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
947	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
948	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
949	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
950	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
951	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
952	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
953	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
954	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
955	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
956	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

957	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
958	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
959	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
960	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
961	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
962	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
963	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
964	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
965	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
966	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
967	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
968	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
969	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
970	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
971	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
972	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
973	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
974	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
975	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
976	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
977	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
978	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
979	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
980	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
981	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
982	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
983	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
984	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
985	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
986	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
987	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
988	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
989	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
990	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
991	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
992	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
993	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
994	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
995	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
996	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
997	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
998	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
999	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1000	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1001	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1002	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1003	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1004	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1005	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1006	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1007	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1008	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1009	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1010	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

1011	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1012	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1013	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1014	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1015	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1016	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1017	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1018	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1019	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1020	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1021	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1022	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1023	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1024	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1025	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1026	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1027	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1028	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1029	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1030	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1031	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1032	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1033	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1034	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1035	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1036	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1037	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1038	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1039	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1040	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1041	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1042	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1043	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1044	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1045	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1046	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1047	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1048	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1049	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1050	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1051	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1052	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1053	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1054	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1055	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1056	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1057	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1058	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1059	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1060	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1061	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1062	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1063	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1064	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

1065	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1066	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1067	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1068	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1069	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1070	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1071	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1072	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1073	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1074	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1075	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1076	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1077	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1078	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1079	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1080	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1081	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1082	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1083	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1084	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1085	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1086	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1087	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1088	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1089	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1090	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1091	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1092	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1093	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1094	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1095	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1096	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1097	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1098	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1099	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1100	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1101	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1102	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1103	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1104	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1105	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1106	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1107	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1108	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1109	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1110	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1111	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1112	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1113	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1114	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1115	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1116	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1117	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1118	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

1119	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1120	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1121	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1122	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1123	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1124	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1125	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1126	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1127	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1128	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1129	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1130	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1131	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1132	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1133	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1134	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1135	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1136	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1137	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1138	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1139	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1140	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1141	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1142	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1143	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1144	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1145	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1146	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1147	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1148	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1149	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1150	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1151	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1152	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1153	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1154	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1155	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1156	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1157	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1158	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1159	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1160	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1161	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1162	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1163	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1164	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1165	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1166	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1167	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1168	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1169	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1170	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1171	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1172	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

1173	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1174	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1175	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1176	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1177	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1178	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1179	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1180	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1181	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1182	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1183	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1184	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1185	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1186	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1187	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1188	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1189	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1190	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1191	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1192	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1193	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1194	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1195	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1196	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1197	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1198	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1199	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1200	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1201	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1202	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1203	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1204	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1205	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1206	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1207	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1208	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1209	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1210	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1211	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1212	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1213	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1214	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1215	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1216	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1217	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1218	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1219	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1220	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1221	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1222	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1223	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1224	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1225	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1226	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

1227	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1228	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1229	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1230	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1231	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1232	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1233	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1234	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1235	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1236	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1237	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1238	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1239	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1240	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1241	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1242	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1243	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1244	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1245	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1246	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1247	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1248	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1249	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1250	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1251	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1252	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1253	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1254	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1255	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1256	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1257	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1258	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1259	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1260	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1261	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1262	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1263	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1264	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1265	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1266	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1267	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1268	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1269	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1270	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1271	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1272	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1273	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1274	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1275	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1276	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1277	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1278	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1279	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1280	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

1281	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1282	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1283	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1284	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1285	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1286	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1287	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1288	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1289	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1290	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1291	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1292	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1293	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1294	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1295	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1296	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1297	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1298	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1299	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1300	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1301	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1302	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1303	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1304	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1305	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1306	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1307	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1308	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1309	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1310	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1311	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1312	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1313	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1314	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1315	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1316	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1317	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1318	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1319	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1320	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1321	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1322	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1323	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1324	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1325	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1326	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1327	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1328	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1329	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1330	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1331	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1332	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1333	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1334	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

1335	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1336	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1337	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1338	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1339	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1340	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1341	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1342	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1343	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1344	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1345	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1346	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1347	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1348	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1349	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1350	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1351	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1352	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1353	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1354	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1355	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1356	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1357	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1358	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1359	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1360	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1361	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1362	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1363	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1364	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1365	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1366	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1367	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1368	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1369	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1370	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1371	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1372	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1373	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1374	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1375	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1376	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1377	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1378	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1379	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1380	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1381	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1382	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1383	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1384	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1385	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1386	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1387	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1388	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

1389	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1390	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1391	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1392	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1393	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1394	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1395	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1396	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1397	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1398	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1399	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1400	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1401	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1402	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1403	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1404	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1405	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1406	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1407	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1408	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1409	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1410	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1411	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1412	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1413	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1414	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1415	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1416	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1417	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1418	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1419	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1420	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1421	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1422	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1423	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1424	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1425	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1426	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1427	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1428	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1429	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1430	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1431	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1432	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1433	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1434	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1435	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1436	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1437	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1438	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1439	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1440	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1441	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1442	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

1443	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1444	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1445	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1446	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1447	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1448	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1449	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1450	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1451	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1452	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1453	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1454	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1455	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1456	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1457	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1458	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1459	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1460	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1461	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1462	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1463	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1464	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1465	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1466	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1467	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1468	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1469	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1470	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1471	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1472	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1473	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1474	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1475	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1476	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1477	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1478	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1479	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1480	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1481	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1482	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1483	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1484	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1485	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1486	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1487	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1488	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1489	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1490	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1491	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1492	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1493	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1494	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1495	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1496	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

1497	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1498	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05
1499	9.81E+05	9.81E+05	9.80E+05	9.80E+05	9.76E+05	9.75E+05

ANEXO F: BIBLIOTECA DO PROGRAMA I

TABELA F1 - BIBLIOTECA DE MATERIAIS

2		
1		
800	640	.6
15		
20	13.6	
25	15.2	
30	16.7	
35	18.5	
40	20	
45	22	
50	23.2	
55	25	
60	27	
65	29	
70	30	
75	33	
80	38	
90	43	
100	47	
15		
20	20	
25	22	
30	24.5	
35	26.4	
40	29	
45	32	
50	33.2	
55	36	
60	37.4	
65	42.5	
70	42.5	
75	47.1	
80	54.1	
90	63	
100	70	
14		
25	45	
30	48	
35	54	
40	57.5	
45	62.1	
50	66	
55	70.4	
60	75	
65	80	
70	90.2	
75	92.1	
80	110	
90	120	
100	140	
12		
35	94	
40	100	
45	105	
50	112	
55	119	
60	126	
65	140	
70	140	
75	154	
80	170	
90	200	
100	215	
9		
50	238	
55	265	
60	285	
65	332	
70	332	
75	360	
80	360	
90	385	
100	415	
7		
60	796	
65	915	
70	940	
75	960	
80	960	
90	1040	
100	1080	
2		
1000	900	.5
11		
20	45	
25	47	
30	50	
35	54	
40	57	
45	60	
50	63	
55	70	
60	77	
70	89	
80	106	
11		
20	69	
25	72	
30	76	
35	81	
40	85	
45	90	
50	95	
55	101	
60	107	
70	121	
80	137	
9		
30	139	
35	147	
40	154	
45	163	
50	173	
55	182	
60	191	
70	218	
80	247	
9		
30	303	
35	303	
40	304	
45	312	
50	325	
55	337	
60	354	
70	380	
80	421	
9		
30	303	
35	303	
40	304	
45	312	
50	325	
55	337	
60	354	
70	380	
80	421	
7		
40	500	
45	500	
50	500	
55	550	
60	580	
70	673	
80	732	
8.4	10.8	14.8 18
	21.5	25.6
2	2.4	3.2 4
	4.8	6
	1	
	6.8	2.6
	10.3	4
	20	11.5
	42	11.5
	75	42
	180	80
	2	
	18	2.6
	26	4

	48	11.5				140	42					15	15	
	88	11.5				360	80							

TABELA F2 – BIBLIOTECA DE FURAÇÕES

3	6	11	58							
10	12	16	20	24	30					
1.5	1.75	2	2.5	3	3.5					
5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40
1										
235	360									
78	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5				
78	0.6	0.72	0.96	1.2	1.44	1.8				
78	0.8	0.96	1.28	1.6	1.92	2.4				
78	1	1.2	1.6	2	2.4	3				
78	1.2	1.44	1.92	2.4	2.88	3.6				
78	1.5	1.8	2.4	3	3.6	4.5				
78	2	2.4	3.2	4	4.8	6				
78	2.5	3	4	5	6	7.5				
78	3	3.6	4.8	6	7.2	9				
78	3.5	4.2	5.6	7	8.4	10.5				
78	4	4.8	6.4	8	9.6	12				
2										
275	410									
90	0.625	0.75	1	1.25	1.5	1.875				
90	0.75	0.9	1.2	1.5	1.8	2.25				
90	1	1.2	1.6	2	2.4	3				
90	1.25	1.5	2	2.5	3	3.75				
90	1.5	1.8	2.4	3	3.6	4.5				
90	1.875	2.25	3	3.75	4.5	5.625				
90	2.5	3	4	5	6	7.5				
90	3.125	3.75	5	6.25	7.5	9.375				
90	3.75	4.5	6	7.5	9	11.25				
90	4.375	5.25	7	8.75	10.5	13.125				
90	5	6	8	10	12	15				
3										
335	510									
100	0.7	0.9	1.2	1.4	1.7	2.2				
100	0.9	1	1.4	1.7	2.1	2.6				
100	1.2	1.4	1.8	2.3	2.8	3.5				
100	1.4	1.7	2.3	2.9	3.5	4.3				
100	1.7	2.1	2.8	3.5	4.1	5.2				
100	2.2	2.6	3.5	4.3	5.2	6.5				
100	2.9	3.5	4.6	5.8	6.9	8.6				
100	3.6	4.3	5.8	7.2	8.6	10.8				
100	4.3	5.2	6.9	8.6	10.4	12.9				
100	5	6	8.1	10.1	12.1	15.1				
100	5.8	6.9	9.2	11.5	13.8	17.3				

ANEXO G: BIBLIOTECA DO PROGRAMA II

TABELA G1 – BIBLIOTECA DE MATERIAIS

7
1
505 215 0.6
14
40.00 1.03
50.00 1.21
55.00 1.29
60.00 1.38
65.00 1.47
70.00 1.56
75.00 1.65
80.00 1.83
90.00 2.02
100.00 2.29
110.00 2.47
120.00 2.65
130.00 2.93
150.00 3.29
20
30.00 1.38
40.00 0.72
45.00 1.58
50.00 1.71
55.00 1.84
60.00 1.97
65.00 2.07
70.00 2.20
75.00 2.33
80.00 2.46
85.00 2.59
90.00 2.72
100.00 2.94
110.00 3.21
120.00 3.47
130.00 7.73
140.00 8.28
150.00 8.83
170.00 4.93
210.00 16.15
11
50.00 2.50
60.00 5.74
70.00 6.45
80.00 7.18
90.00 7.79
100.00 8.52
120.00 10.05
140.00 11.38
160.00 25.69
180.00 37.23
200.00 31.66
15
50.00 6.30
55.00 6.77
60.00 7.24
65.00 7.71
70.00 8.18
75.00 8.65
80.00 9.12
90.00 10.06
100.00 10.94
110.00 11.89
120.00 12.83
130.00 13.53
140.00 14.48
150.00 38.55
160.00 43.72
10
70.00 12.86
80.00 14.28
90.00 15.62
100.00 17.05
110.00 18.47
120.00 19.89
130.00 52.38
140.00 55.93
150.00 59.48
200.00 110.34
19
60.00 12.18
65.00 12.89
70.00 13.59
75.00 14.30
80.00 15.01
90.00 16.42
100.00 17.83
105.00 18.54
110.00 19.24
120.00 20.66
130.00 53.70
140.00 57.23
150.00 62.23
160.00 70.30
170.00 62.96
190.00 69.60
200.00 85.71
210.00 115.46
260.00 140.82
2
90.00 60.55
100.00 65.69
12
70.00 54.18
80.00 58.14
90.00 65.14
100.00 70.62
110.00 76.10
120.00 81.42
130.00 85.23
140.00 90.55
150.00 95.88
160.00 109.64
180.00 121.18
220.00 143.44
4
110.00 131.90
120.00 141.03
140.00 155.23
170.00 320.64
1
100.00 155.64
1
20 500
1
20 500
1
20 500
1
20 500
2
700 450 0.4
12
40.00 0.82
45.00 0.89
50.00 0.96
55.00 1.02
60.00 1.09
65.00 1.19
70.00 1.24
80.00 2.91
90.00 3.19
100.00 3.62
110.00 3.91
120.00 4.20
17
35.00 1.14
40.00 1.15
50.00 1.35
55.00 1.46
60.00 1.56
65.00 1.64
70.00 1.74
80.00 3.90
90.00 4.31
100.00 4.66
110.00 5.08
120.00 5.50
130.00 6.13
140.00 13.12
150.00 13.99
250.00 75.59
300 90.071
5
60.00 9.10
70.00 10.77
80.00 11.39
100.00 13.51
120.00 15.92
18
50.00 9.98
55.00 10.73
60.00 11.48
65.00 12.22
70.00 12.97
75.00 13.71
80.00 14.46
90.00 15.95
100.00 17.35
110.00 18.84
120.00 20.34
130.00 21.46
140.00 22.95
150.00 61.10
180.00 74.79
200.00 82.77
250.00 129.31
300.00 149.26
3
60.00 18.50
70.00 20.38
90.00 24.77
14
60.0 19.31
65.00 20.43
70.00 21.55
80.00 23.79
90.00 26.03
100.00 28.27
110.00 30.50
120.00 32.74
130.00 34.05
140.00 36.29
150.00 98.65
160.00 111.44
170.00 117.17
180.00 123.40
4
80.00 35.01
90.00 38.39
100.00 41.66

140.00 135.16
12
60.00 52.80
70.00 44.93
80.00 45.10
90.00 45.42
100.00 122.24
110.00 127.84
120.00 129.07
130.00 135.10
140.00 143.55
150.00 151.99
200.00 210.39
220.00 227.38
2
100.00 77.59
120.00 89.43
1
100.00 677.30
1
20 500
2
120.00 427.83
150.00 501.82
1
20 500
1
20 500
1
20 500
3
800 600 0.3
12
40.00 0.85
45.00 0.92
50.00 1.00
55.00 1.06
60.00 1.12
65.00 1.21
70.00 1.28
80.00 2.91
90.00 3.22
100.00 3.76
110.00 4.07
120.00 4.36
15
35.00 0.68
40.00 1.19
45.00 1.30
50.00 1.41
55.00 1.52
60.00 1.62
65.00 1.71
70.00 1.81
80.00 4.05
90.00 4.48
100.00 4.85
110.00 5.29
120.00 5.72
130.00 6.24
140.00 4.46
5
60.00 9.85
70.00 10.15
80.00 10.45
90.00 10.76
100.00 11.06
16
50.00 10.38
55.00 11.15
60.00 11.93
65.00 12.71
70.00 13.48
75.00 14.26
80.00 15.03
90.00 16.50
100.00 18.04
110.00 19.59
120.00 21.14
130.00 22.31
140.00 23.86
150.00 63.53
180.00 89.04
200.00 97.22
3
60.00 18.50
70.00 18.60
90.00 49.96
14
60.00 20.08
65.00 21.24
70.00 22.40
75.00 23.57
80.00 24.73
90.00 27.06
100.00 29.39
110.00 31.71
120.00 34.04
130.00 35.40
140.00 37.73
150.00 102.56
160.00 129.10
180.00 152.95
4
80.00 52.05
90.00 54.33
100.00 55.41
140.00 200.32
11
60.00 38.81
70.00 41.10
80.00 42.45
90.00 42.94
100.00 116.38
110.00 125.41
120.00 134.19
130.00 140.46
140.00 149.24
200.00 218.74
220.00 300.97
2
100.00 70.34
120.00 88.43
1
100.00 1313.27
1
70.00 1519.25
2
120.00 490.75
150.00 518.80
1
20 500
1
20 500
1
20 500
4
500 300 0.6
1
20 500
1
20 500
4
65.00 4.23
75.00 5.04
90.00 8.35
110.00 20.98
1
20 500
4
80.00 35.65
90.00 40.74
150.00 55.12
170.00 90.22
1
20 500
1
20 500
1
20 500
2
120.00 226.75
130.00 226.75
1
20 500
1
20 500
1
20 500
5
800 640 0.6
21
35.00 0.11
40.00 0.12
45.00 0.13
50.00 0.13
55.00 0.14
60.00 0.15
65.00 0.17
70.00 0.17
75.00 0.20
80.00 0.20
90.00 0.44
100.00 0.49
110.00 0.64
120.00 0.69
130.00 0.78
140.00 0.96
150.00 1.06
160.00 1.36
170.00 1.41
180.00 1.56
200.00 1.83
21
45.00 0.18
50.00 0.19
55.00 0.20
60.00 0.22
65.00 0.49
70.00 0.49
75.00 0.57
80.00 0.59
85.00 0.73
90.00 0.64
100.00 0.71
110.00 0.92
120.00 0.99
130.00 1.09
140.00 1.32
150.00 1.45
160.00 1.89
170.00 1.95
180.00 2.30
200.00 2.64
220.00 3.27
17
50.00 0.33
55.00 0.35
60.00 0.37
65.00 0.82
70.00 0.83
75.00 0.91
80.00 0.91
90.00 1.01
100.00 1.12
110.00 1.33
120.00 1.55
130.00 1.68
140.00 1.88
150.00 2.04
160.00 2.60
200.00 2.86

210.00 6.56
24
50.00 0.39
55.00 0.42
60.00 0.87
65.00 0.92
70.00 0.98
75.00 1.07
80.00 1.16
85.00 1.19
90.00 1.19
100.00 1.32
110.00 1.43
120.00 1.59
130.00 1.72
140.00 2.15
150.00 2.29
160.00 5.15
170.00 5.57
180.00 6.38
200.00 7.52
220.00 9.39
240.00 26.67
250.00 12.82
260.00 33.08
360.00 99.82
13
60.00 1.48
70.00 1.62
80.00 1.77
90.00 1.94
100.00 2.15
110.00 1.94
120.00 2.55
140.00 6.65
150.00 7.13
160.00 8.65
180.00 10.31
190.00 10.50
200.00 10.61
20
60.00 1.67
65.00 1.52
70.00 1.58
75.00 1.72
80.00 1.73
85.00 1.81
90.00 2.04
100.00 2.10
110.00 2.26
120.00 12.48
130.00 13.65
140.00 16.26
150.00 17.24
160.00 21.13
170.00 23.00
180.00 25.21
190.00 27.28
200.00 29.08
220.00 39.07
240.00 43.68
18
70.00 2.63
75.00 2.65
80.00 2.67
85.00 2.75
90.00 2.87
100.00 6.22
110.00 6.82
120.00 7.62
130.00 8.17
140.00 10.59
150.00 11.21
160.00 31.26
170.00 31.71
180.00 36.66
190.00 39.98
200.00 43.04
220.00 55.12
300.00 74.72
21
70.00 2.66
80.00 5.41
85.00 6.11
90.00 6.24
100.00 6.30
110.00 6.91
120.00 7.71
130.00 8.27
140.00 10.72
150.00 11.35
160.00 12.66
170.00 13.27
180.00 14.84
190.00 16.17
200.00 17.42
210.00 49.88
220.00 24.20
240.00 24.65
250.00 62.27
320.00 141.73
380.00 201.60
10
80.00 9.88
90.00 26.65
100.00 27.77
120.00 32.26
130.00 32.99
140.00 35.52
150.00 42.46
160.00 46.64
180.00 53.82
200.00 61.54
17
85.00 35.44
90.00 38.27
100.00 39.70
110.00 45.29
120.00 45.90
130.00 47.99
140.00 50.84
150.00 54.53
160.00 59.19
170.00 65.19
180.00 68.34
190.00 67.28
200.00 78.27
220.00 86.55
240.00 82.76
280.00 136.30
320.00 252.56
7
100.00 27.75
120.00 32.68
140.00 81.84
150.00 85.37
160.00 96.42
180.00 110.24
200.00 121.38
13
100.00 74.78
110.00 74.83
120.00 85.00
130.00 98.64
140.00 102.50
150.00 106.19
160.00 113.48
180.00 136.85
190.00 142.98
200.00 146.80
220.00 156.74
240.00 166.69
280.00 179.60
1
120.00 159.50
1
140.00 208.78
2
160.00 163.62
180.00 174.39
6
1000 900 0.5
4
40.00 0.30
50.00 0.44
70.00 0.46
75.00 0.50
8
40.00 0.39
50.00 0.41
70.00 0.51
80.00 1.11
90.00 1.25
100.00 3.00
180.00 7.21
220.00 12.80
5
50.00 0.54
55.00 0.61
70.00 0.67
80.00 0.74
180.00 7.61
13
50.00 0.66
65.00 1.39
70.00 1.52
75.00 2.02
80.00 2.22
90.00 2.43
100.00 4.99
110.00 5.50
130.00 6.66
160.00 6.78
180.00 9.73
200.00 11.97
250.00 16.27
5
70.00 3.16
90.00 3.22
100.00 6.57
120.00 6.71
140.00 5.01
14
65.00 2.59
70.00 2.64
75.00 2.76
90.00 3.10
100.00 3.59
120.00 3.91
150.00 8.96
170.00 11.77
180.00 13.15
210.00 72.55
230.00 72.80
240.00 602.10
300.00 679.95
400.00 118.21
6
70.00 4.85
90.00 10.30
100.00 27.79
120.00 7.31
160.00 43.75
200.00 49.35
14
80.00 4.96
90.00 5.37
100.00 6.43
110.00 8.53
120.00 9.68
130.00 10.02
140.00 22.53
150.00 49.00
160.00 25.68
170.00 29.38
180.00 34.97
190.00 39.96
340.00 1564.20
400.00 166.12
3

90.00 42.09
200.00 39.71
270.00 1213.72
5
90.00 26.79
120.00 29.74
140.00 91.35
150.00 94.31
240.00 99.35
1
180.00 156.86
2
160.00 167.06
380.00 337.11
1
20 500
1
20 500
1
240.00 498.90
7
1200 1080 0.6
1
20 500
1
20 500
1
80.00 2.90
3
75.00 5.45
90.00 8.54
110.00 6.17
1
20 500
4
65.00 4.23
75.00 5.04
90.00 8.35
110.00 20.98
1
20 500
4
80.00 35.65
90.00 40.74
150.00 55.12
170.00 90.22

1
20 500
1
20 500
2
120.00 226.75
130.00 226.75
1
20 500
1
20 500
1
20 500
10 12 14 16
18 20 22 24
27 30 33 36
39 42 45
2 2.5 2.5 3
3 3 3 4 4
4 5 5 6
7 8
1
0.1488 0.02025
0.2276 0.09
0.3492 0.1207
0.4249 0.1503
1.438 0.1953
1.7102 0.2247
5.1316 0.2502
6.6464 0.424
25.477 1.0664
36.524 1.3716
40.861 2.0586
500 500
500 500
500 500
500 500
2
0.235 0.0836
0.3579 0.1347
0.5105 0.1861
1.3812 0.258
2.3724 0.6762
3.0542 0.7516

7.6704 0.8582
10.5904 1.4578
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
3
0.393 0.0836
0.6037 0.1347
0.7822 0.1861
2.2496 0.258
3.331 0.6762
5.5806 0.7516
11.2532 0.8582
25.314 1.4578
28.64 1.9828
77.458 2.488
82.081 7.3016
101.152 8.2468
500 500
500 500
500 500
4
0.0727 0.0068
0.0841 0.0223
0.1361 0.0511
0.2105 0.0516
0.4236 0.0546
0.996 0.0591
1.1132 0.0627
1.3278 0.128
2.5752 0.273
5.952 0.3147
12.9888 0.3579
500 500
500 500
500 500
500 500
5
0.026 0.0068
0.0387 0.0223
0.0615 0.0511
0.155 0.0516

0.2224 0.0546
0.2976 0.0591
0.9992 0.0627
1.3592 0.128
2.4288 0.273
3.2928 0.3147
13.204 0.3579
18.387 0.5479
46.026 0.656
60.56 1.5014
80.828 2.5712
6
0.0292 0.0068
0.146 0.0223
0.0849 0.0511
0.09795 0.0516
0.3129 0.0546
0.778 0.0591
1.2818 0.0627
1.4124 0.128
1.6196 0.273
2.8172 0.3147
21.329 0.3579
25.062 0.5479
85.819 0.656
500 500
500 500
7
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
500 500
15 15

TABELA G2 – BIBLIOTECA DE FURAÇÕES

3	15	11	58								
10	12	14	16	18	20	22	24	27	30	33	36
	39	42	45								
1.5	1.75	2	2	2.5	2.5	2.5	3	3	3.5	3.5	4
	4	4.5	4.5								
5	6	8	10	12	15	20	25	30	35	40	
1											
235	360										
78	0.5	0.6	0.8	1	1.2	1.5	2	2.5	3	3.5	4.3
	5	5.9	6.9	7.9							

78	0.6	0.72	0.96	1.2	1.44	1.8	2.4	3	3.6	4.2	5.1
	6.1	7.1	8.3	9.5							
78	0.8	0.96	1.28	1.6	1.92	2.4	3.2	4	4.8	5.6	6.8
	8.1	9.5	11	12.7							
78	1	1.2	1.6	2	2.4	3	4	5	6	7	8.5
	10.1	11.9	13.8	15.8							
78	1.2	1.44	1.92	2.4	2.88	3.6	4.8	6	7.2	8.4	10.2
	12.2	14.3	16.5	19							
78	1.5	1.8	2.4	3	3.6	4.5	6	7.5	9	10.5	12.8
	15.2	17.8	20.7	23.7							
78	2	2.4	3.2	4	4.8	6	8	10	12	14.1	17
	20.3	23.8	27.6	31.6							
78	2.5	3	4	5	6	7.5	10	12.5	15	17.6	21.3
	25.3	29.7	34.5	39.6							
78	3	3.6	4.8	6	7.2	9	12	15	18	21.1	25.5
	30.4	35.6	41.3	47.5							
78	3.5	4.2	5.6	7	8.4	10.5	14	17.5	21	24.6	29.8
	35.4	41.6	48.2	55.4							
78	4	4.8	6.4	8	9.6	12	16	20	24	28.1	34
	40.5	47.5	55.1	63.3							
2											
275	410										
90	0.625	0.75	1	1.25	1.5	1.875	2.5	3.125	3.75	4.1	5
	5.9	7	8.1	9.3							
90	0.75	0.9	1.2	1.5	1.8	2.25	3	3.75	4.5	4.9	6
	7.1	8.3	9.7	11							
90	1	1.2	1.6	2	2.4	3	4	5	6	6.6	8
	9.5	11.1	12.9	14.8							
90	1.25	1.5	2	2.5	3	3.75	5	6.25	7.5	8.2	10
	11.8	13.9	16.1	18.5							
90	1.5	1.8	2.4	3	3.6	4.5	6	7.5	9	9.9	11.9
	14.2	16.7	19.4	22.2							
90	1.875	2.25	3	3.75	4.5	5.625	7.5	9.375	11.25	12.3	14.9
	17.8	20.9	24.2	27.8							
90	2.5	3	4	5	6	7.5	10	12.5	15	16.5	19.9
	23.7	27.8	32.3	37							
90	3.125	3.75	5	6.25	7.5	9.375	12.5	15.625	18.75	20.6	24.9
	29.6	34.8	40.3	46.3							
90	3.75	4.5	6	7.5	9	11.25	15	18.75	22.5	24.7	29.9
	35.5	41.7	48.4	55.5							
90	4.375	5.25	7	8.75	10.5	13.125	17.5	21.875	26.25	28.8	34.8
	41.5	48.7	56.4	64.8							
90	5	6	8	10	12	15	20	25	30	32.9	39.8
	47.4	55.6	64.5	74.1							
3											
335	510										
100	0.7	0.9	1.2	1.4	1.7	2.2	3.6	4.5	5.4	5	6.1
	7.2	8.5	9.8	11.3							
100	0.9	1	1.4	1.7	2.1	2.6	4.32	5.4	6.48	6	7.3
	8.7	10.2	11.8	13.5							
100	1.2	1.4	1.8	2.3	2.8	3.5	5.76	7.2	8.64	8	9.7
	11.5	13.6	15.7	18							
100	1.4	1.7	2.3	2.9	3.5	4.3	7.2	9	10.8	10	12.1
	14.4	16.9	19.6	22.6							
100	1.7	2.1	2.8	3.5	4.1	5.2	8.64	10.8	12.96	12	14.6
	17.3	20.3	23.6	27.1							
100	2.2	2.6	3.5	4.3	5.2	6.5	10.8	13.5	16.2	15	18.2
	21.7	25.4	29.5	33.8							
100	2.9	3.5	4.6	5.8	6.9	8.6	14.4	18	21.6	20	24.3
	28.9	33.9	39.3	45.1							

100	3.6	4.3	5.8	7.2	8.6	10.8	18	22.5	27	25.1	30.3
	36.1	42.3	49.1	56.4							
100	4.3	5.2	6.9	8.6	10.4	12.9	21.6	27	32.4	30.1	36.4
	43.3	50.8	58.9	67.7							
100	5	6	8.1	10.1	12.1	15.1	25.2	31.5	37.8	35.1	42.4
	50.5	59.3	68.8	78.9							
100	5.8	6.9	9.2	11.5	13.8	17.3	28.8	36	43.2	40.1	48.5
	57.7	67.8	78.6	90.2							

ANEXO H: RESULTADOS OBTIDOS DURANTE A AFINAÇÃO DA FUNÇÃO DE MÉRITO, MER, PARA PERFIS HEA, POP 21, NGER 300

K_2	Mérito	Custo	Mérito/Custo
10	9.745890E+05	25,410.60 $	3.835364E+01
15	9.733980E+05	26,601.50 $	3.659185E+01
50	9.758470E+05	24,152.90 $	4.040289E+01
100	9.738780E+05	26,121.80 $	3.728219E+01
150	9.755800E+05	24,420.40 $	3.994939E+01
200	9.710120E+05	28,987.90 $	3.349715E+01
250	9.766370E+05	23,363.10 $	4.180254E+01
300	9.741820E+05	25,817.70 $	3.773311E+01
350	9.741480E+05	25,851.50 $	3.768246E+01
400	9.782370E+05	21,762.80 $	4.494996E+01
450	9.782370E+05	21,762.80 $	4.494996E+01
500	9.729250E+05	27,074.80 $	3.593471E+01
550	9.729250E+05	27,074.80 $	3.593471E+01
600	9.692420E+05	30,758.20 $	3.151166E+01
650	9.692420E+05	30,758.20 $	3.151166E+01
700	9.755110E+05	24,488.80 $	3.983499E+01
750	9.755110E+05	24,488.80 $	3.983499E+01
800	9.755110E+05	24,488.80 $	3.983499E+01
850	9.667610E+05	33,238.90 $	2.908523E+01
900	9.667610E+05	33,238.90 $	2.908523E+01
950	9.729980E+05	27,002.00 $	3.603429E+01

ANEXO I : RESULTADOS OBTIDOS DURANTE A AFINAÇÃO DA FUNÇÃO DE MÉRITO, MER, PARA PERFIS HEA 340, POP 21, NGER 300

K_2	Mérito	Custo	Mérito/Custo
10	9.719430E+05	28,056.80 $	3.464198E+01
15	9.739790E+05	25,433.00 $	3.829588E+01
50	9.717950E+05	28,204.70 $	3.445507E+01
100	9.695830E+05	30,417.00 $	3.187635E+01
150	9.727560E+05	27,243.80 $	3.570559E+01
200	9.682000E+05	31,800.00 $	3.044654E+01
250	9.688300E+05	31,169.80 $	3.108233E+01
300	9.732710E+05	26,728.90 $	3.641268E+01
350	9.684710E+05	31,528.70 $	3.071712E+01
400	9.728650E+05	27,135.00 $	3.585277E+01
450	9.728650E+05	27,135.00 $	3.585277E+01
500	9.727050E+05	27,295.30 $	3.563635E+01
550	9.727050E+05	27,295.30 $	3.563635E+01
600	9.727050E+05	27,295.30 $	3.563635E+01
650	9.727050E+05	27,295.30 $	3.563635E+01
700	9.726960E+05	27,303.50 $	3.562532E+01
750	9.722520E+05	27,747.90 $	3.503876E+01
800	9.722520E+05	27,747.90 $	3.503876E+01
850	9.722520E+05	27,747.90 $	3.503876E+01
900	9.722520E+05	27,747.90 $	3.503876E+01
950	9.708880E+05	29,111.90 $	3.335021E+01

ANEXO J: VALORES ADMITIDOS PARA AS VARIÁVEIS DE PROJECTO PARA PERFIL HEA 400

Legenda:
Espessura do cordão do banzo, a_1
Comprimento de cada cordão dos banzos, L_1
Espessura do cordão da alma, a_2
Comprimento de cada cordão da alma, L_2
(em milímetros)

a_1	L_1	a_2	L_2
3	20	3	20
3.1	25	3.1	25
3.3	30	3.3	30
3.5	35	3.5	35
4	40	4	40
4.5	45	4.5	45
5	50	5	50
5.5	55	5.5	55
6	60	6	60
6.5	65	6.5	65
7	70	7	70
8	75	8	75
9	80	9	80
10	85	10	85
11	90	11	90
12	95	12	95
14	100	14	100
16	105	16	105
18	110	18	110
20	115	20	115
21	120	21	120
22	125	22	125
23	130	23	130
24	135	24	135
25	140	25	140
26	145	26	145
27	150	27	150
28	155	28	155
29	160	29	160
30	165	30	165
35	170	35	170
	175		175
	180		180
	185		185
	190		190
	195		195
	200		200
	205		205
	210		210
	215		215
	220		220
	225		225
	230		230
	235		235
	240		240
	245		245
	250		250
	255		255
	260		260
	265		265
	270		270
	275		275
	280		280
	285		285
	290		290
	295		295
	300		300
	305		
	310		
	315		
	320		
	325		
	330		
	335		
	340		
	345		
	350		
	355		
	360		
	365		
	370		
	375		
	380		
	385		
	390		

ANEXO K: TABELAS DE REFERÊNCIA DO "UNIFORM DESIGN METHOD (UDM)"

TABELA K1 - U_{27} (27^{10})

Número do vector	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
1	1	5	9	11	13	15	17	19	25	27
2	2	10	18	22	26	2	6	10	22	26
3	3	15	27	5	11	17	23	1	19	25
4	4	20	8	16	24	4	12	20	16	24
5	5	25	17	27	9	19	1	11	13	23
6	6	2	26	10	22	6	18	2	10	22
7	7	7	7	21	7	21	7	21	7	21
8	8	12	16	4	20	8	24	12	4	20
9	9	17	25	15	5	23	13	3	1	19
10	10	22	6	26	18	10	2	22	26	18
11	11	27	15	9	3	25	19	13	23	17
12	12	4	24	20	16	12	8	4	20	16
13	13	9	5	3	1	27	25	23	17	15
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	19	23	25	27	1	3	5	11	13
16	16	24	4	8	12	16	20	24	8	12
17	17	1	13	19	25	3	9	15	5	11
18	18	6	22	2	10	18	26	6	2	10
19	19	11	3	13	23	5	15	25	27	9
20	20	16	12	24	8	20	4	16	24	8
21	21	21	21	7	21	7	21	7	21	7
22	22	26	2	18	6	22	10	26	18	6
23	23	3	11	1	19	9	27	17	15	5
24	24	8	20	12	4	24	16	8	12	4
25	25	13	1	23	17	11	5	27	9	3
26	26	18	10	6	2	26	22	18	6	2
27	27	23	19	17	15	13	11	9	3	1

TABELA K2 – DEFINIÇÃO DAS COLUNAS A UTILIZAR

Número de variáveis aleatórias	**Número de Colunas**	**Discrepância, *D***
2	1, 4	0.0600
3	1, 3, 6	0.1009
4	1, 4, 6, 9	0.1189
5	2, 5, 7, 8, 10	0.1378

ANEXO L: PROPRIEDADES DOS ELÉCTRODOS

	Composiçao									
	C	Si	Mn	T.rot. Mpa	T. ced. Mpa	Diâmetro	Comprimento	Peso (g)	P.Unit. (kg)	Preço Unit. (EUR/kg)
CARBO RC 3 BLAU	0.07	0.3	0.5	500	380	2	300	9.5	0.0095	5.5
						2.5	350	18.9	0.0189	3.96
						3.2	350	31.2	0.0312	3.23
						4	350	45.1	0.0451	3.95
CARBO MN B	0.06	0.5	1.4	600	460	2.5	350	21.4	0.0214	4.45
						3.2	350	47.5	0.0475	4.1
						4	450	72.5	0.0725	3.89
						5	450	109.1	0.1091	3.89
CARBO B 10	0.07	0.5	1	530	420	2.5	350	23.8	0.0238	3.54
						3.2	350	35.7	0.0357	3.16
						4	450	66.6	0.0666	2.98
						5	450	113	0.113	2.84
CARBO BR 10 D	0.07	0.4	0.7	530	420	2.5	350	21	0.021	4.28
						3.2	350	35.6	0.0356	3.93
						4	450	66.3	0.0663	3.72
CARBO RC 3	0.07	0.3	0.5	510	420	2	350	9.9	0.0099	5.05
						2.5	350	17.8	0.0178	3.54
						3.2	350	30.2	0.0302	2.95
						4	350	44.7	0.0447	2.81
						5	450	90	0.09	2.81
CARBO RRB 7	0.08	0.3	0.6	510	380	2.5	350	20.2	0.0202	3.68
						3.2	350	33.2	0.0332	3.3
						4	350	51.5	0.0515	3.23
						5	450	102.2	0.1022	3.23
CARBO RR 6	0.06	0.4	0.5	520	420	2	300	11.2	0.0112	4.98
						2.5	350	21.5	0.0215	3.54
						3.2	350	36	0.036	2.98
						4	450	69	0.069	2.84
						5	450	112.7	0.1127	2.84