

5

Metodologia para a Aplicação dos Métodos de Otimização

Nesta parte da pesquisa são detalhadas as características da implementação dos métodos de otimização descritos no capítulo anterior, os principais parâmetros de funcionamento a serem configurados em cada implementação, assim também é descrito o banco de imagens de CT que foi utilizado. Descrevem-se também o procedimento e os critérios utilizados para realizar os testes para a avaliação do desempenho dos métodos.

5.1.

Função Objetivo

A função objetivo, conforme apresentado na seção 3.3.1 *Cálculo da Vascularidade* é definida pela equação (3-5) através de uma função de três variáveis:

- Dois ângulos, que definem a direção do cilindro que modela o vaso. Estes ângulos, θ e φ , podem variar nos intervalos: $0 \leq \theta \leq \pi$ e $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ respectivamente.
- Um raio, R_2 , que determina o tamanho do cilindro interno que representa ao vaso, seus valores são definidos pelo usuário em função a rede vascular a ser segmentada.

Assim, nesta pesquisa o *problema de otimização* sem restrições é definido um problema de minimização da forma:

$$\min_{\mathbf{x} \in \Omega} \{f(\mathbf{x})\} \quad (4-1)$$

onde:

- $\mathbf{x} = \{\theta, \varphi, R_2\}$.
- $\Omega = \{\Omega_i \neq 0 \subset \mathfrak{R} : \min(x_i) \leq \Omega_i \leq \max(x_i); x_i \in \mathfrak{R} \forall i = 1, 2, 3\}$.
- $f_{\Omega}(\mathbf{x}) = \begin{cases} f(\mathbf{x}) & \text{if } \mathbf{x} \in \Omega \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases}$

5.2. Implementação dos Métodos de Otimização

Todos os métodos descritos no capítulo anterior foram implementados na linguagem de programação aberta C++, usando o software Qt Creator 2.4.1t. Na Tabela 2 são listados todos os métodos implementados neste trabalho, sete em total; e também são descritas duas características importantes deles, a primeira indicando se os métodos implementados têm restrições de bordas no seu funcionamento e a segunda se estes métodos precisam da definição de um ponto de partida para realizar a análise.

Método de Otimização	Restrição de bordas	Ponto Inicial
Evolução Diferencial (<i>DE</i>)	Sim	Não
Busca Generalizada de Padrões, etapa Search: desabilitado (<i>GPS</i>)	Sim	Sim
Busca Generalizada de Padrões, etapa Search: Evolução Diferencial (<i>GPS+DE</i>)	Sim	Não
Busca Generalizada de Padrões, etapa Search: Distribuição Uniforme (<i>GPS+UD</i>)	Sim	Não
Busca Direta de Malha Adaptativa, etapa Search: Off (<i>MADS</i>)	Sim	Sim
Busca Direta de Malha Adaptativa, etapa Search: Distribuição Uniforme (<i>MADS+UD</i>)	Sim	Não
Algoritmo Nelder – Mead (<i>NM</i>)	Não	Sim

Tabela 2. Características dos métodos de otimização implementados.

A implementação dos métodos de otimização se baseou tanto em referências na literatura como em algumas implementações já disponibilizadas pelos seus autores, assim, os métodos implementados tiveram como base as seguintes referências:

- Para o caso do algoritmo *DE* se utilizou a implementação desenvolvida por Lester E. Godwin (Godwin, 1998) e acondicionada por Dário Oliveira (Oliveira, 2013).
- Para o algoritmo *GPS*, sua implementação foi realizada completamente como uma classe em C++ e se tomou como base a descrição apresentada no *Global Optimization Toolbox User's Guide* (MathWorks, 2012).

- No caso do algoritmo *MADS*, seu código foi implementado em C++ dentro da classe GPS para aproveitar sua estrutura. Este algoritmo está baseado na descrição apresentada por Audet e Dennis (Audet & Dennis, 2006).
- Para a implementação do algoritmo *NM* se modificou o código desenvolvido por John H. Mathews (Mathews & Fink, 2004), implementado como função em C++, implementando o código como uma classe e se incrementou a definição do simplex inicial.

5.3.

Principais Parâmetros do Funcionamento dos Protótipos

Na Tabela 3 se detalham os principais parâmetros de configuração de cada algoritmo implementado, assim como os valores utilizados na pesquisa, de maneira que as experiências adiante apresentadas possam ser replicadas por outros pesquisadores. Desta tabela pode se observar que os algoritmos de Busca Generalizada de Padrões e de Busca Direta de Malha Adaptativa possuem os mesmos parâmetros de configuração.

Algoritmo	Parâmetros de Entrada	Valores
<i>DE</i>	Número de dimensões	3
	Tamanho da população	400
	Número de gerações	1
<i>GPS</i> , <i>GPS+DE</i> , <i>GPS+UD</i> , <i>MADS</i> , <i>MADS+DE</i>	Número de dimensões	3
	Opção para o <i>Search</i>	<i>Off</i> , <i>DE</i> ou <i>UD</i>
	Número max. de iterações	400
	<i>Tamanho de malha</i> min.	0.0001
	Erro mínimo desejado	0.0001
<i>NM</i>	Número de dimensões	3
	Número max. de iterações	400
	Erro mínimo desejado	1E-17

Tabela 3. Parâmetros de configuração dos algoritmos de otimização.

5.4. Banco de Imagens

No desenvolvimento desta pesquisa se utilizou quinze exames com imagens de CT, entre reais e sintéticas. Estas imagens são detalhadas na Tabela 4, onde as três primeiras correspondem às imagens sintéticas e as restantes às imagens reais. Na tabela estão descritas basicamente as dimensões das imagens em cada exame de CT, com os valores em x e y representando as dimensões bidimensionais e os valores em z ao número de fatias por exame.

Exame de CT	Dimensões (voxels)		
	x	y	z
Synthetic1	150	150	150
Synthetic2	150	150	150
Synthetic3	128	128	128
OPF1 ⁷	512	512	60
OPF3	512	512	62
OPF4	512	512	67
OPF5	512	512	76
OPF6	512	512	101
OPF7	512	512	71
OPF8	512	512	85
OPF9	512	512	92
Coronary1	512	512	272
Coronary2	512	512	338
Liver1	512	512	64
Liver2	512	512	212

Tabela 4. Banco de Imagens de CT preparado na pesquisa.

Da Figura 27 à Figura 32 se amostram dois gráficos, o primeiro ilustra uma vista dos vasos em um tomo do exame de CT e no segundo é apresentado seu modelo 3D aproximado⁸. Cabe lembrar que, normalmente nas imagens de CT, os vasos sanguíneos aparecem com uma intensidade maior do que seu entorno.

⁷ OPF: Olfactory Projection Fibers, fibras nervosas do sistema olfativo, não é uma base de dados vascular, mas é usado para avaliar a robustez do segmentador.

⁸ As imagens 3D são uma representação aproximada porque foram obtidas a partir de um processo de umbralização só, estes modelos são apresentados no único objetivo de fornecer uma ideia da estrutura aproximada dos vasos sanguíneos.

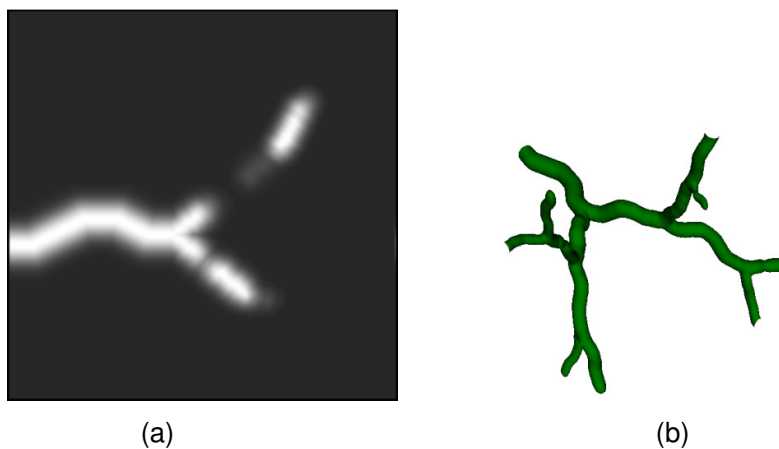


Figura 27. (a) Vista sagital de um vaso no exame Synthetic1, (b) Representação aproximada do seu modelo 3D.

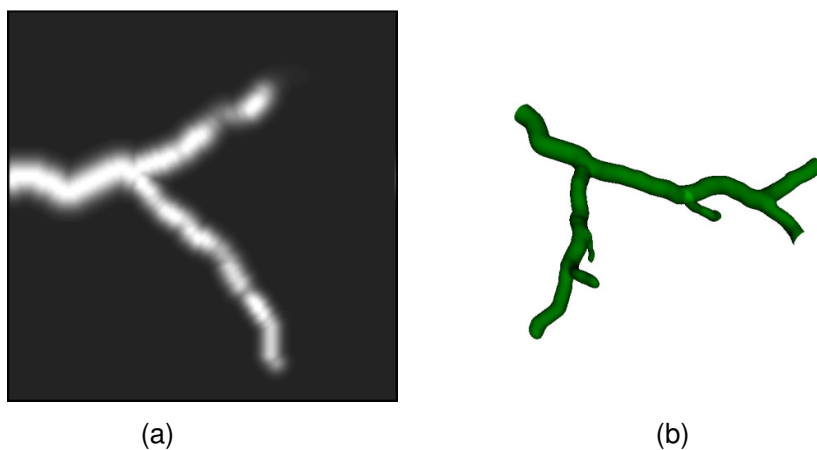


Figura 28. (a) Vista sagital de um vaso no exame Synthetic2, (b) Representação aproximada do seu modelo 3D.

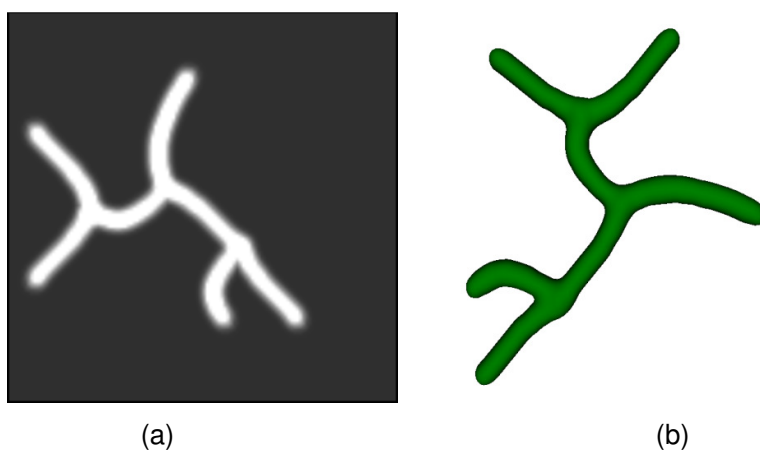


Figura 29. (a) Vista coronal de um vaso no exame Synthetic3, (b) Representação aproximada do seu modelo 3D.

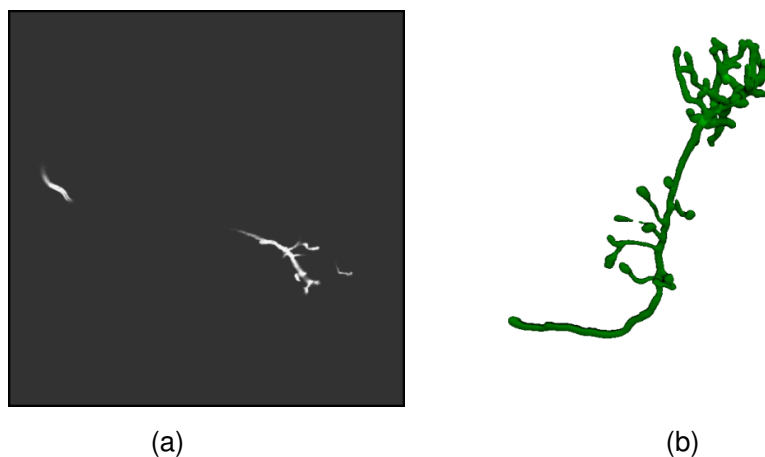


Figura 30. (a) Vista axial de um vaso no exame OPF1, (b) Representação aproximada do seu modelo 3D.

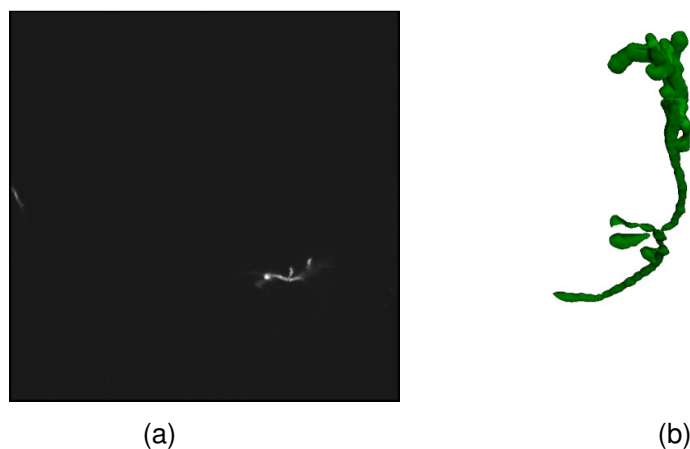


Figura 31. (a) Vista axial de um vaso no exame OPF3, (b) Representação aproximada do seu modelo 3D.

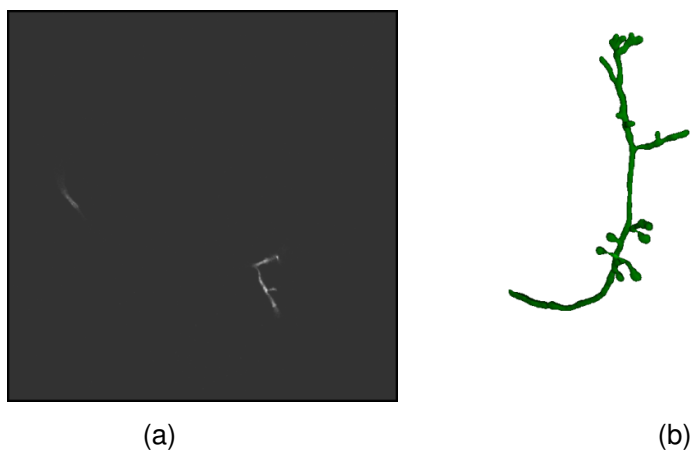


Figura 32. (a) Vista axial de um vaso no exame OPF7, (b) Representação aproximada do seu modelo 3D.

5.5. Procedimento Experimental

Convém enfatizar que o propósito subjacente a esta pesquisa é determinar o conjunto de parâmetros ótimos que modelem o cilindro que define o vaso sanguíneo através da avaliação de diferentes métodos de otimização. Não faz parte do escopo deste trabalho avaliar a qualidade nem acurácia do algoritmo segmentador proposto em (Oliveira, 2013).

Assim, a partir do banco de imagens disponível na pesquisa, construiu-se uma base de dados para avaliar quantitativamente os métodos testados neste estudo. Para a geração desta base de dados se realizaram os seguintes passos:

- Em cada exame de CT disponível apresentado na Tabela 4, se escolheu aleatoriamente 50 pontos, reconhecidos como pontos pertencentes ao vaso (ver Figura 33).

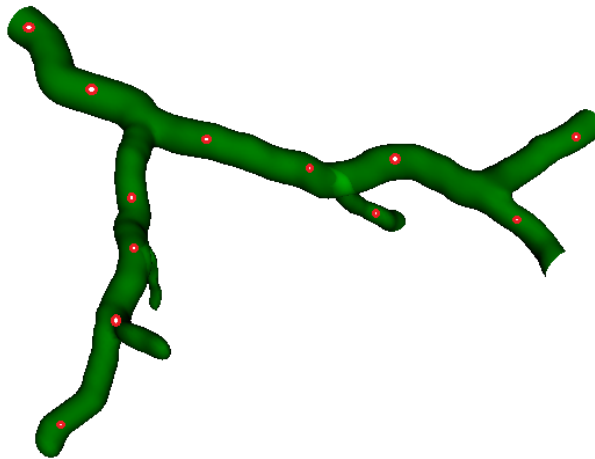


Figura 33. Em vermelho, escolha aleatória de alguns dos 50 pontos identificados como pertencentes ao vaso no exame de CT.

- Para cada ponto escolhido foi calculado o valor da vascularidade associada, isto para cada método de otimização implementado; é preciso mencionar que em tanto mais próximo do zero seja o valor da vascularidade, melhor será a representação do vaso sanguíneo fornecido pelo método de otimização.
- Adicionalmente à vascularidade, em cada ponto é anotado o número de vezes que cada método de otimização executa a função objetivo.

Como exemplo da base de dados dos pontos escolhidos numa imagem e dos resultados que podem ser obtidos a partir deles, na Tabela 5 se apresenta uma parte destes dados correspondentes a 20 pontos na primeira imagem sintética apresentada na Tabela 4, e também são apresentados os resultados da vascularidade e do número de execuções da função objetivo para os métodos *DE* e *GPS* na avaliação destes pontos. A base completa é formada por 50 pontos que são avaliados pelos 7 métodos apresentados na Tabela 2, aplicados para cada uma das imagens apresentadas na Tabela 4.

Pontos Escolhidos			Método <i>DE</i>		Método <i>GPS</i>	
x	y	z	Vascularidade	Num. Execuções	Vascularidade	Num. Execuções
31	9	1	0,195101	400	0,086984	252
32	12	4	0,360832	400	0,419197	180
31	13	7	0,194803	400	0,427308	144
31	14	8	0,289698	400	0,439527	156
31	15	10	0,407339	400	0,476814	120
33	14	13	0,344705	400	0,457445	300
33	15	14	0,172354	400	0,339705	228
34	15	16	0,327604	400	0,417409	132
34	16	18	0,243829	400	0,423825	180
36	17	19	0,380317	400	0,580580	192
34	18	21	0,467982	400	0,597794	120
37	19	22	0,264387	400	0,601452	120
37	20	23	0,232671	400	0,566343	192
40	22	26	0,136455	400	0,093845	264
62	38	40	0,198825	400	0,457649	144
63	41	47	0,261079	400	0,457270	156
64	42	49	0,212627	400	0,489939	156
105	32	52	0,195797	400	0,187266	204
99	33	53	0,219892	400	0,152778	276
70	47	55	0,328642	400	0,523529	204

Tabela 5. Parte da base de dados com a vascularidade de 20 pontos na imagem Synthetic1.

Uma primeira avaliação do desempenho dos métodos de otimização é realizada através da análise das médias de suas vascularidades, considerando ao método com a menor média como aquele com o melhor desempenho. Uma avaliação mais rigorosa é realizada através de um teste de hipótese.

Assim, nesta pesquisa aplicou-se um teste de hipótese pareado para a avaliação quantitativa dos métodos de otimização. Para isso, em princípio define-se as seguintes variáveis:

- m_0 : Representa a menor média da vascularidade dentre todos os métodos.
- m_i : Representa às médias dos demais métodos, um a cada vez, com $i = 1, 2, \dots, 6$.
- $\mu_i = m_0 - m_i$, é o parâmetro a ser avaliado no teste de hipótese i^9 .

Com base no acima descrito, cada teste de hipótese é estabelecido com as seguintes considerações:

- Nível de Significância: $\gamma = 5\%$
- Hipótese Nula: $H_0: \mu_i = 0$
- Hipótese Alternativa: $H_1: \mu_i \neq 0$

Os valores de saída que o teste fornece são o P_{value_i} e CI_i (intervalo de confiança). Os critérios de decisão para o teste são definidos através do valor do P_{value_i} , e são principalmente dois:

- Rejeitar H_0 se $P_{value_i} < \gamma$; isto significa que os desempenhos dos métodos m_0 e m_i podem ser considerados diferentes.
- Não rejeitar H_0 se $P_{value_i} > \gamma$; isto significa que os desempenhos de m_0 e m_i não podem ser considerados diferentes, indicando que os métodos avaliados no teste terão um desempenho similar.

Nos casos em que o teste constatar que o $P_{value_i} < \gamma$, será necessário analisar o CI para avaliar quão diferente serão os desempenhos dos métodos de otimização avaliados, isto para determinar se o método em questão terá um melhor o pior desempenho do que aquele com a menor média da vascularidade (m_0). Assim, o CI poderá ser interpretado da seguinte maneira: Quanto mais afastado, e menor que zero, for o intervalo de confiança do método m_i (CI_i), tanto pior será o seu desempenho em relação ao desempenho do método m_0 ; caso contrário, tanto mais afastado e maior que zero for CI_i , tanto melhor será o seu desempenho do que aquele obtido com o método m_0 .

⁹ A cada exame de CT diferente serão realizados 6 testes de hipótese.