

PROJETO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POR ALGORITMO GENÉTICO

Mariano da Franca Alencar Neto¹ e Marco Aurélio de Castro Holanda²

Resumo: O presente trabalho aplicará o método de Algoritmos Genéticos (AG), através de um programa computacional especialmente desenvolvido para este propósito, ao projeto de uma rede de distribuição de água previamente abordada por outros métodos numéricos, com a devida calibração e discussão dos parâmetros envolvidos na perspectiva de comparação dos resultados. O AG se mostrou satisfatório, com convergência rápida para uma solução sub ótima, tendo analisado uma fração mínima do espaço de busca. Sua capacidade de refino para melhora da solução, porém, se mostrou pobre necessitando maior aprofundamento.

Abstract: This work presents a methodology based on genetic algorithm (GA) for lower cost design of water supply distribution networks, through software developed specifically for this. To establish the efficacy of GA based algorithm in comparison with Morgan technique several networks were optimized employing both the techniques. Parameters governing the convergence of the genetic algorithms are also discussed. GA provides a convenient technique in performing. The benefits of GA stem from their ability to converge rapidly on an optimal or near-optimal solution, having analyzed only a tiny fraction of the number of possible solutions available, but the capacity to get better the solutions with fine local tuning is poor.

Palavras-chave: Algoritmos Genéticos, Redes de distribuição de água, Métodos Computacionais

INTRODUÇÃO

Os Algoritmos Genéticos tem por foco o fenômeno da propagação de características inerentes aos indivíduos (soluções individuais do problema) que serão repassadas de uma geração (conjunto de várias soluções individuais) a outra.

Dois princípios norteiam os AGs, a seleção natural e os operadores genéticos, ambos de origem na biologia:

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Av. 13 de maio s/n Fortaleza-Ce, Brasil, mariano@cefetce.br

² Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici s/n Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Fortaleza-Ce, Brasil, marco@ufc.br

A Seleção Natural - No século XIX o naturalista *Charles Darwin* (1809-1882), observou em espécies distintas que na luta pela sobrevivência variações nas características individuais quando favoráveis tenderiam a ser preservadas e as desfavoráveis destruídas.

Duas são as teses que caracterizam “*A Origem das Espécies*”, a primeira é que todos os organismos descendem, com modificações, de ancestrais comuns, e que o principal agente de modificação é a ação da seleção natural sobre a variação individual. Outro ponto de extrema relevância é o conceito de mutabilidade ao acaso que norteasse essas mudanças nos espécimes.

“Os organismos *dotados de variações favoráveis estarão mais capacitados a sobreviver em determinado ambiente do que os que possuem variações desfavoráveis. Portanto, cada geração sucessiva estará melhor adaptada ao ambiente.*” (BAKEN, v.II, 1975, p.547)

A evolução é, então, a *mudança* nas propriedades das populações ao longo de gerações, determinando o sucesso ou fracasso da sobrevivência das espécies frente ao meio que exige adaptação.

Operadores Genéticos - Mendel, aplicando a lei da probabilidade a sucessivos experimentos de cruzamentos diversos, observou que as características conflitantes como alto e baixo, rugoso e liso, verde e amarelo, presentes nos pais eram repassados aos filhos em proporção definida. Além disso, características aparentemente suplantadas em dados cruzamentos, ressurgiam na geração posterior também em proporções definidas. Estabelecendo a teoria de recessão e dominância entre as estruturas que condicionam uma dada característica - genes. O genótipo de um indivíduo representa o conjunto de genes que o indivíduo carrega (suplantados ou não), enquanto seu fenótipo representa apenas aquelas características que se manifestam. Podemos então dizer que apesar de terem o mesmo fenótipo indivíduos podem ter diferentes genótipos, uma vez que podem carregar genes em regime de recessividade.

As transformações que os indivíduos sofrem ao longo de gerações e que são a base da teoria da evolução, têm sentido unidirecional do genótipo para o fenótipo. Tendo a manifestação de uma dada característica, o fenótipo, condicionada a prevalência entre os genes que compõe seu genótipo.

Os genes são encontrados em uma estrutura filamentosa existente nas células dos seres vivos - o cromossomo. Dependendo da variedade existente de uma dada característica teremos diferentes genes ocupando um mesmo locus (local na estrutura cromossômica) a cada uma dessas variedades dá-se o nome de alelo, mutações causam alterações nos alelos, consequentemente alteram o genótipo (introduzindo material genético novo) e podem chegar ao fenótipo do indivíduo.

Na reprodução biológica, pares de gametas (células reprodutoras) se duplicam gerando novas células e mais tarde novos indivíduos. A duplicação de um par cromossômico formado pela junção

dos gametas leva a uma estrutura de quatro filamentos unidos por uma pequena região, neste momento pode haver a troca de material entre os filamentos (uma vez que as estruturas podem estar entrelaçadas), confundindo a herança genética dos pais. Esse processo é conhecido de *Crossing-over* ou intercâmbio de frações cromossômicas. (ALBERTS, 1997, p. 564-566)

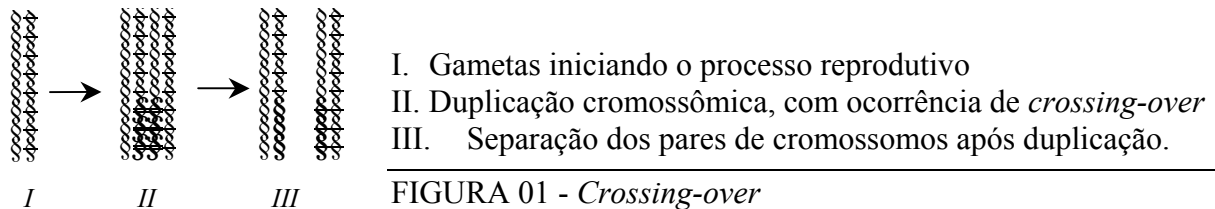


FIGURA 01 - *Crossing-over*

Adaptação dos conceitos Biológicos aos AGs - Na forma clássica, proposta por Holland (1975), o primeiro passo é a determinação dos parâmetros do problema (características individuais) a serem otimizados, esses parâmetros devem ser sensíveis à função de otimização ou função objetivo do problema, que por sua vez determina a habilidade de cada indivíduo para enfrentar o meio seletivo. Com os parâmetros definidos é necessário codificá-los, por exemplo, usando bits (zero ou um) ou valores inteiros, formando os genes. Aos parâmetros codificados e unidos damos o nome de cromossomo ou indivíduo. Na prática cada indivíduo representa uma solução para o problema.

Podemos dizer que o cromossomo (conjunto de parâmetros codificados) representa o **genótipo** e o valor da função de aptidão respectiva representa o **fenótipo** de cada indivíduo da população.

Ao iniciar a Rotina **AG** devemos gerar várias soluções (indivíduos) para o problema, geralmente de forma aleatória, constituindo assim um conjunto de soluções codificadas (população). A população inicial deve ser submetida à função de aptidão que estabelecerá valores para cada uma das soluções propostas. Aptidões para cada indivíduo. (GEN, 1996, P. 1-2)

Via sorteio ao acaso - probabilístico, onde quem tiver mais aptidão terá maiores chances de ser sorteado deve-se constituir uma nova população, com o mesmo tamanho da população inicial, conseqüentemente haverá a falta de alguns cromossomos e a presença repetida de outros - caracterizando uma população intermediária que entrará em processo de reprodução. Na constituição da população intermediária temos o princípio básico da seleção natural, onde quem tem maior adaptação ao meio tem maiores chances de se reproduzir gerando novas soluções e conseqüentemente passar seu material genético à geração seguinte.

A reprodução se efetiva via os operadores genéticos dos quais destacamos o crossover e a mutação.

Com os indivíduos postos em pares é executado o processo de cruzamento cromossômico - a semelhança do *crossing-over* biológico. Neste processo são emparelhados os cromossomos e novamente ao acaso é escolhido um ponto de corte para a troca do material genético, gerando os filhos. Os filhos então tomam o lugar dos pais para compor a nova geração. É introduzido então o conceito de mutação sorteando determinado locus em toda a população para uma troca de valores (alelos).

Poderão aparecer soluções melhores e piores do que a média já estabelecida para a geração anterior, entretanto devido à contínua seleção natural, soluções piores perecerão (terão poucas chances de reproduzir) e as melhores passarão seu material genético adiante para a próxima geração (terão maiores chances de reproduzir). Espera-se que ao longo das gerações possamos obter gerações mais aptas ao problema - com soluções individuais melhores.

Algumas características favorecem o uso de AGs, dentre elas: não dependência de uma solução inicial próxima ao ótimo do problema; facilidade de lidar com variáveis discretas (no nosso caso, representadas pelos tubos comerciais); não necessidade do uso de derivadas das funções; maior desprendimento quanto a ótimos locais sondados durante a busca (GUPTA, 1999, p.441)

AG APLICADO A REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

“A rede de distribuição é o conjunto de tubulações, conexões e peças especiais destinada a conduzir água em quantidade e pressão suficientes para o abastecimento dos diversos pontos de consumo (uso doméstico, industrial e público).”(GOMES, 2002, p.09)

As redes de distribuição de água são formadas por trechos cujas características determinam a eficiência do sistema como todo. Para o caso de redes ramificadas a alteração em um dado conduto significará alterações dramáticas a jusante. No caso das redes malhadas, alteração em um dado conduto repercutirá de forma relativa, com maior impacto sobre os nós e trechos mais próximos. A análise do sistema de condutos codificados independentemente e unidos em uma solução se adapta bem a modelagem por AG, tendo os condutos como as variáveis de decisão.

O problema proposto se refere a projetar os diâmetros das tubulações, sendo conhecidas demandas e características topográficas da rede. Para cada conjunto de diâmetros projetados obteremos um conjunto de vazões e velocidades referentes aos trechos da rede e um conjunto de valores para as cotas piezométricas dos nós. Deve-se, inclusive, respeitar os condicionantes exigidos. Neste caso o problema é indeterminado e podemos ter um espaço muito grande de soluções possíveis, busca-se então uma solução economicamente ótima. Daí a busca pelas soluções de menor custo de implantação.

No sentido de aplicar o método de algoritmos genéticos a otimização de redes de distribuição de água optou-se pelo desenvolvimento de um aplicativo específico para este fim, em *DELPHI*, com as rotinas AG e interface gráfica própria.

O cálculo hidráulico é realizado através de uma biblioteca de uso livre presente no pacote EPANET, desenvolvido pela *U.S. Environmental Protection Agency*. O uso da biblioteca hidráulica do EPANET garante maior liberdade de implementação na medida em que possibilita o cálculo automático de várias redes a cada interação, de forma rápida e precisa, com especial ênfase ao método de cálculo adotado, proposto primeiramente por *Todini & Pilati* (1987).

A partir dos dados topográficos tais como comprimentos dos trechos e cotas dos nós, juntamente com as características da tubulação: diâmetros, demandas nos nós, tipo de material utilizado. É feita a simulação das condições hidráulicas da rede tendo como resultado o valor da vazão em cada trecho e a pressão piezométrica em cada nó.

A codificação - Para efeito de codificação adotou-se a codificação em binário tradicional, codificação em binário cinza e codificação com inteiros. Esta última materializada pelos próprios diâmetros dos tubos em milímetros.

Tabela 1 - Codificação dos diâmetros

Diâmetro (mm)	Código Binário Tradicional	Código Cinza	Codificação em Inteiros
50	0000	0000	50
75	0001	0001	75
100	0010	0011	100
150	0011	0010	150
200	0100	0110	200
250	0101	0111	250
300	0110	0101	300
350	0111	0100	350
400	1000	1100	400
450	1001	1101	450
500	1010	1111	500
600	1011	1110	600
700	1100	1010	700
800	1101	1011	800
900	1110	1001	900
1000	1111	1000	1000

População Inicial - Para a população inicial optou-se por gerar as soluções individuais aleatoriamente, sorteando dentre as opções comerciais uma para cada trecho e testando a solução hidráulicamente. Ao logo das simulações foi assumido que de cada 100 redes geradas aleatoriamente apenas uma estaria apta a satisfazer as condições de pressão impostas - proporção

1:100. Assim adotaremos esta proporção para a geração da população inicial. Esse valor é maior que a estatística observada para a rede escolhida como estudo de caso. Esse procedimento garante uma população de partida com alta diversidade e completamente apta.

Função de adaptação - A função de adaptação ou função objetivo deriva da função custo do sistema - custo da tubulação, que deverá ser minimizada. Entretanto devido a forma de seleção dos indivíduos fazer uso do método roleta com adaptação proporcional a função objetivo necessitamos transformar o problema de minimização em maximização em valores positivos. Para contornar o problema, invertemos o sinal da função de custo e introduzimos então uma constante positiva:

$$\text{Função Adaptação} = Cte - \sum_{i=1}^{Nt} CL_i$$

onde : C_i - custo unitário da tubulação no trecho i ; L_i - Comprimento da tubulação no trecho i

A constante introduzida (Cte) será igual ao maior valor encontrado da geração anterior mais dez por cento, com isso esperamos uma maior diferenças relativas entre as soluções havendo possibilitando uma ação mais efetiva da seleção natural - favorecendo a convergência do método via convergência da média das soluções em cada simulação e acentuação na tendência de queda da melhor solução.

É possível, durante o processo, obter soluções economicamente atraentes que não satisfazem as exigências de qualidade da rede, notadamente pressões nos nós e velocidades nos trechos. Neste caso adotaremos a exclusão da solução.

Formas de Seleção -Adotou-se uma única forma de seleção através do método da roleta. Cada indivíduo tem suas chances de serem sorteados proporcionalmente ao valor de sua função de adaptação.

Operadores Genéticos - Crossover

O *crossover* para ambos os casos binários e para a codificação inteira, segue a forma tradicional de troca de material cromossômico. Entretanto, para os casos binários há a possibilidade de durante o *crossover* se gerar uma codificação que não tenha correspondente entre os tubos comerciais (não acontece com a codificação inteira por não haver possibilidade de quebra do gene), quando este caso ocorre adotou-se um sorteio dentre todos os tubos disponíveis para substituir o gene atingido pelo *crossover* inviável.

Operadores Genéticos - Mutação

Binária - Dois tipos de mutação são adotados, o primeiro é a troca do bit, assim se um bit for escolhido para mutação este terá seu valor necessariamente trocado, se seu valor for zero passará

para um e vice-versa. O segundo tipo de mutação é a mutação dirigida estabelecendo a troca do bit necessariamente para o valor zero, ou seja, necessariamente o bit mutante forçará o gene a assumir a codificação de um tubo mais barato uma vez que os tubos estão codificados em ordem crescente de custo. Há ainda a possibilidade de tornar sem efeito a mutação para o caso do bit sorteado já ser de valor zero.

Inteiro - Para os valores inteiros também temos dois tipos de mutação, semelhante ao caso anterior, o primeiro é o sorteio aleatório entre todas as opções de tubos para substituir o tubo mutante. O segundo é o sorteio dirigido, onde o sorteio é feito apenas entre os tubos menores, contando inclusive com aquele que fora sorteado para mutação.

ESTUDO DE CASO

A rede escolhida foi abordada por AMARAL em 1998, denominado Cocorote. Esta rede conta com vinte e um nós, vinte e quatro trechos, quatro anéis e um único reservatório.

A escolha fora feita devido ao fato desta rede ter sido objeto de estudo estabelecendo comparações importantes para identificarmos aspectos de convergência do método. No estudo de Amaral (1998) a rede fora analisada por dois métodos: por uma implementação de programação linear feita a partir do método de MORGAN; e por um software comercial SUPEREDE (Amaral -1998).

Tabela 03 - Configuração de vazões nos nós - Cocorote

Trecho	Pressão Mínima (m)	Vazão (l/s)	Pressão Existente (m)
1	23,72	28,36	0,00
2	23,72	25,42	0,00
3	23,72	13,58	0,00
4	23,72	-	29,57
5	23,72	6,62	0,00
6	23,72	9,14	0,00
7	23,72	6,07	0,00
8	23,72	7,07	0,00
9	23,72	5,25	0,00
10	23,72	6,95	0,00
11	23,72	13,10	0,00
12	23,72	5,17	0,00
13	23,72	9,19	0,00
14	23,72	8,83	0,00
15	23,72	10,05	0,00
16	23,72	7,47	0,00
17	23,72	6,40	0,00
18	23,72	100,63	0,00
19	23,72	9,58	0,00
20	23,72	23,64	0,00
21	23,72	11,79	0,00

Reservatório no nó 04

Tabela 04 - Configuração dos Trechos Cocorote

Trecho	Comprimento (m)
1	200
2	350
3	270
4	330
5	230
6	230
7	180
8	200
9	315
10	260
11	400
12	200
13	290
14	220
15	180
16	180
17	290
18	270
19	290
20	230
21	190
22	230
23	285
24	180

Em consequência da escolha da rede, adotamos a tabela de preços unitários citada por Amaral 1998 - tabela 05, tendo o Departamento de Custos Operacionais da Companhia de Água e Esgoto do Ceará - CAGECE como fonte.

Tabela 05 - Preços unitários da tubulação

Diâmetro (mm)	Custo unitário*(R\$/m)
50	2,22
75	4,37
100	7,02
150	14,27
200	24,05
250	35,55
300	51,14
350	249,02
400	304,07
450	361,94
500	412,15
600	534,27
700	684,08
800	835,81
900	1.004,04
1000	1.174,86
1200	1.592,26

**Valor do tubo mais gastos com o respectivo assentamento*

Obs: para efeito de análise binária excluímos o último diâmetro para trabalharmos com uma codificação de até 16 itens, ou seja, uma palavra binária de tamanho 4. As simulações não apresentaram maiores dificuldades, concentrando a busca em um espaço de diâmetros abaixo do excluído.

Resultados Amaral (1998):

Tabela 06 - Resultado método de MORGAN - Cocorote (AMARAL, 1998, p. 77)

Trecho	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Custo (R\$)
1	50	200,00			444,00
2	150	284,71	200	65,29	5.633,04
3	200	270,00			6.493,50
4	450	203,60	500	126,40	125.786,74
5	100	13,26	150	216,74	3.185,97
6	300	230,00			11.762,20
7	300	180,00			9.205,20
8	300	200,00			10.228,00
9	300	315,00			16.109,10
10	150	260,00			3.710,20
11	450	400,00			144.776,00
12	300	200,00			10.228,00
13	300	290,00			14.830,60
14	300	220,00			11.250,80
15	300	180,00			9.205,20
16	250	180,00			6.438,60
17	300	290,00			14830,60
18	350	270,00			67.235,40
19	400	290,00			88.180,30
20	300	230,00			11.762,20
21	200	190,00			4.569,50
22	250	230,00			8.227,10
23	300	285,00			14.574,90
24	300	180,00			9.205,20
Total					607.872,35

Obs.: O método de MORGAN permite a quebra de trechos em diâmetros diferentes, daí a existência de dois diâmetros nos trechos 2, 4 e 5.

Tabela 07 - Resultado SUPEREDE - Cocorote (AMARAL, 1998, p. 78)

Trecho	Diâmetro (mm)	Comprimento (m)	Custo (R\$)
1	250	200,00	7.154,00
2	250	350,00	12.519,50
3	300	270,00	13.807,80
4	400	330,00	100.343,10
5	150	230,00	3.282,10
6	400	230,00	69.936,10
7	400	180,00	54.732,60
8	400	200,00	60.814,00
9	300	315,00	16.109,10
10	100	260,00	1.825,20
11	400	400,00	121.628,00
12	300	200,00	10.228,00
13	300	290,00	14.830,60
14	300	220,00	11.250,80
15	250	180,00	6.438,60
16	250	180,00	6.438,60
17	250	290,00	10.373,30
18	400	270,00	82.098,90
19	400	290,00	88.180,30
20	300	230,00	11.762,20
21	200	190,00	4.569,50
22	200	230,00	5.531,50
23	250	285,00	10.194,45
24	250	180,00	6.438,60
Total			730.486,85

APLICAÇÃO E RESULTADOS

Após uma calibragem prévia dos parâmetros de número de indivíduos, números de gerações, probabilidade de cruzamento e probabilidade de mutação; cinco séries foram realizadas com os parâmetros fixados para avaliar o desempenho do algoritmo AG.

No resumo duas fases são notadas: uma de calibração do programa; e outra de otimização efetiva da rede Cocorote.

Fase I - Calibração das Configurações e Parâmetros

A correta aplicação da otimização pelos AGs, depende fundamentalmente do correto ajuste das configurações e parâmetros do problema, requerendo destreza e experiência do projetista. Penalidades inapropriadas poderão distorcer os resultados inviabilizando a correta percepção da região ótima do problema. Intervalos altos ou pequenos dos operadores genéticos (*crossover* e

mutação) poderão resultar na degeneração do algoritmo em busca meramente aleatória. (MORLEY, 2001, p. 467).

Adotamos inicialmente, nessa fase, valores para a população de 50 indivíduos gerados a partir de uma população aleatória prévia de 5.000 indivíduos. Foram adotados os valores de 0.75 e 0.01 para as taxas iniciais de mutação e *crossover*, respectivamente ao longo de 75 a 100 gerações.

Na fase de calibração, a codificação binária, se mostrou mais suave em seu decrescimento, entretanto atinge estabilidade em um patamar de custos superior a codificação com números inteiros, que por sua vez mostrou resultados melhores em termos absolutos. Assim, para a segunda fase adotamos a codificação inteira.

Fase II - Otimização da Rede Cocorote resultado

Ao término da primeira fase fixamos os valores de número de indivíduos de 150 retirados de uma população de 15000 indivíduos, o valor do *crossover* na ordem 0.75 e mutação na ordem 0.05. Com mutação dirigida. E codificação em Inteiro.

Após Cinco simulações.

Tabela 08 - resultados AG cocorote

Série	Média (R\$)	Melhor resultado (R\$)
1	798.600,60	752.512,60
2	803.879,80	744.182,30
3	752.340,40	691.593,10
4	831.095,20	775.886,10
5	856.587,60	820.560,60

Tabela 09 - Comparação com MORGAN e SUPEREDE

Série	Melhor resultado (R\$)	Diferença MORGAN	Diferença SUPEREDE
1	752.512,60	24%	3.0%
2	744.182,30	22%	1.9%
3	691.593,10	14%	-5.3%
4	775.886,10	28%	6.2%
5	820.560,60	35%	12.3%

Obtivemos como melhor resultado um valor que está acima do método de MORGAN na ordem de 14%, este valor tende a cair se retificarmos a solução de Morgan adotando apenas um tubo por trecho (o resultado pelo método de MORGAN desmembra três trechos da rede em duas tubulações, opção que não fora codificada para a rotina AG). Em comparação com o programa SUPEREDE, as

soluções apresentadas se aproximam tendo inclusive para a solução melhor solução uma economia de 5%. **Características hidráulicas da melhor solução:**

Tabela 10 - Resultados hidráulicos da melhor solução pelo AG, características dos trechos

Trecho	1o Nó	2o Nó	Velocidade (m/s)	Pd Cg Un (m/Km)	Diâmetro (mm)	C Hazen-Williams
1	1	2	0.561	1.25	250	140
2	2	3	0.477	3.77	75	140
3	3	4	1.461	21.42	100	140
4	4	5	1.338	3.19	500	130
5	5	1	1.779	13.74	200	140
6	4	6	1.276	7.43	200	140
7	6	7	0.985	4.60	200	140
8	7	8	0.792	3.07	200	140
9	8	9	0.567	1.65	200	140
10	9	10	0.464	5.75	50	140
11	10	5	1.258	2.81	450	140
12	9	11	0.762	4.59	150	130
13	11	12	0.190	1.10	50	140
14	12	13	0.271	0.59	150	140
15	13	14	0.786	4.24	150	140
16	14	15	0.322	0.36	300	140
17	15	16	0.894	1.71	450	130
18	16	17	1.169	2.81	450	130
19	17	10	0.979	1.79	500	130
20	15	18	1.548	6.62	300	140
21	18	19	0.498	1.82	150	140
22	19	20	0.393	4.23	50	140
23	20	21	0.497	1.00	250	140
24	21	16	1.152	6.15	200	140

-

Tabela 11 - Resultados hidráulicos da melhor solução pelo AG, características dos nós

Nó	Pressão (m)	Elevação (m)
1	25.36	0.00
2	25.11	0.00
3	23.79	0.00
5	28.52	0.00
6	27.86	0.00
7	27.03	0.00
8	26.42	0.00
9	25.90	0.00
10	27.39	0.00
11	24.98	0.00
12	24.66	0.00
13	24.79	0.00
14	25.55	0.00
15	25.62	0.00
16	26.11	0.00
17	26.87	0.00
18	24.10	0.00
19	23.75	0.00
20	24.72	0.00
21	25.01	0.00
4	0.00	29.57

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao verificarmos os dados finais, observamos que no início das gerações a tendência de convergência é rápida indicando uma aproximação acentuada em direção a uma solução ótima, entretanto a rotina AG desenvolvida carece de eficácia quanto ao refinamento das soluções próximas ao ótimo global, apresentando via de regra tendência a convergência prematura em valores sub-ótimos.

A codificação binária e a codificação de números inteiros tiveram resultados similares, entretanto os valores em inteiros tendem a chegar na região de convergência em menos gerações do que a binária, provavelmente devido às características de mutação. Em todas as simulações o uso da mutação dirigida obteve resultados melhores do que a mutação aleatória, entretanto vale ressaltar que isto acarreta a perda de diversidade na população que poderá se refletir, sobretudo se aliada à penalidade excludente, nas convergências prematuras para sub-ótimos.

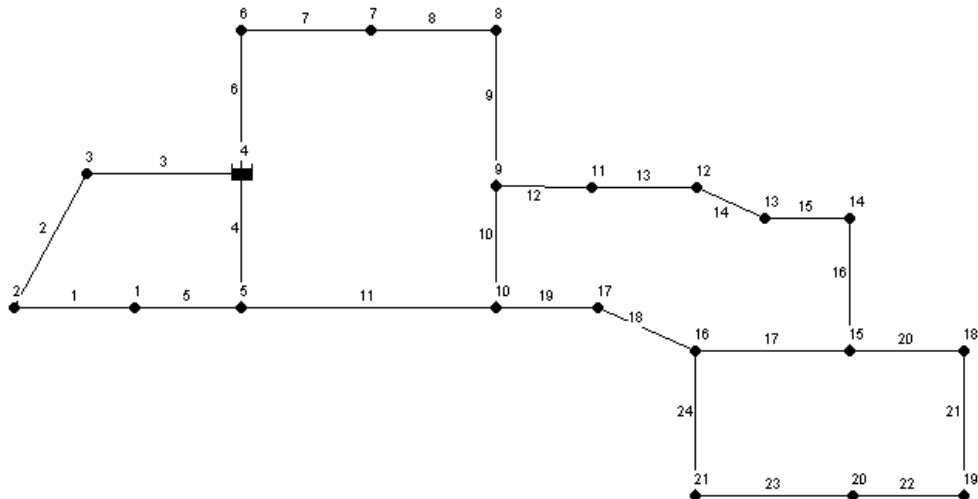


FIGURA 02 - Rede Cocorote, Numeração trechos e nós.

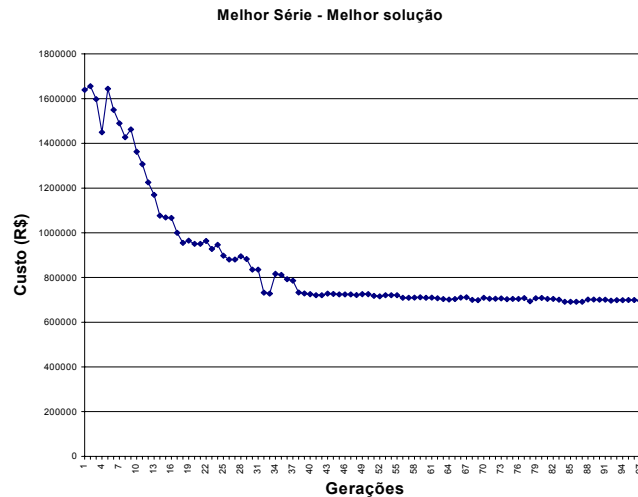


FIGURA 03 - Gráficos Melhor Solução - Melhor série

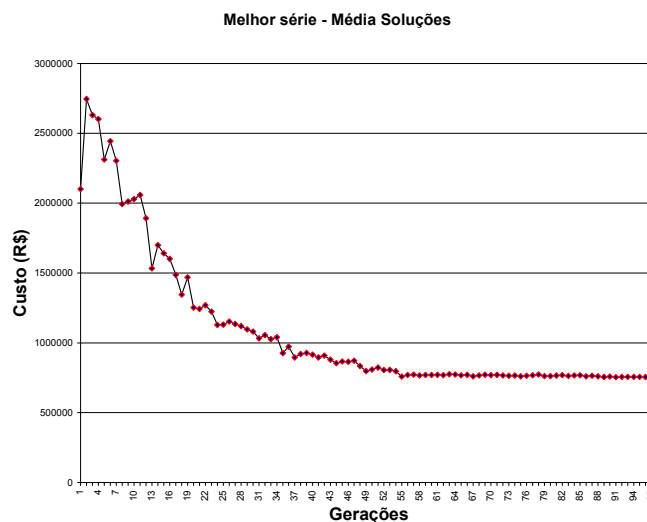


FIGURA 04 - Gráfico Média - Melhor série

CONCLUSÃO

Os métodos que utilizam os Algoritmos Genéticos introduzem uma alternativa aos processos clássicos de otimização. Nas rotinas em AG o foco se dá na função de adaptação usando a modelagem física do problema somente como validação das etapas subsequentes.

No caso da aplicação em redes de distribuição de água, apesar de não ter apresentado valores melhores do que a otimização que fora tomado como referência, a convergência rápida do método é notória, indicando a validade da aplicação. Entretanto, há necessidade de maior refino da solução final.

Dos parâmetros modelados destacamos a mutação dirigida que é introduzida aqui de forma consistente, fazendo com que a codificação tanto inteira quanto binária possibilite apontar sempre para diâmetros inferiores (mais baratos) ou iguais ao existente. O uso da penalidade excludente serviu para qualificar melhor as populações iniciais, sobretudo para a qualificação da primeira população gerada em número maior que aquela que irá atuar na rotina AG. Entretanto, a penalidade excludente retira material genético que poderá fazer falta no processo de refino para as gerações finais da aplicação. A busca de funções de penalidade que permitam uma diversidade mais favorável ao refino das soluções é promissora, para isso é atraente se trabalhar com a magnitude de violação dos padrões de pressões. A otimização por AG permite uma grande flexibilidade visto que se concentra na função custo da rede, possibilitando ao projetista um vasto espaço de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, P. S., Otimização de redes de Distribuição de Água - Análise e Implementação da Metodologia de Morgan, Dissertação (Mestrado em Eng. Civil) UFC, Fortaleza, 1998
- BAKEN, J. W.; ALLEN G. E., Estudo de Biologia, Edgard Blücher Ltda, São Paulo, 1975
- FORREST, S., Mitchell, M., What Makes a Problem Hard for Genetic Algorithm ? Some Anomalous Results and Their Explanation, in Machine Learning, v. 13 Nos 2-3, Kluwer Academic publishers, London, 1993
- FRANCA ALENCAR, Otimização de Redes de distribuição de água por Algoritmos Genéticos, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) UFC, Fortaleza, 2003
- GEN, Mitsuo; CHENG, R., Genetic Algorithms and Engineering Design, John Willy e Sons, New York, 1996
- GOLDBERG, David E., Genetic Algorithms in Theory and Practice. New York: Oxford University Press, 1996
- GOMES, H. Pimentel, Sistemas de Abastecimento de Água - Dimensionamento Econômico, Editora Universitária UFPb, João Pessoa, 2002.
- GUPTA, Indrani, et al, Genetic algorithm for optimization of water distribution systems, Environmental Modelling & Software, v. 14, Elsevier Science Ltd, 1999.
- MICHALEWICZ, Z., Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, 2a ed. Springer-Verlag, New York EUA 1994
- MORLEY, M.S. et al. Ganet: genetic algorithm platform for pipe network optimization, Advances in Engineering Software, v. 32, Elsevier Science Ltd, 2001.
- PONTE, V. M., Otimização de Redes de Distribuição de Água aplicando programação Linear e não linear, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), UFC, Fortaleza, 2000

PORTO, R. M., Hidráulica Básica, 2a edição, Editora Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - EESC USP, São Carlos, São Paulo, 2003

TODINI, R. and Pilati, S, A Gradient Algorithm for the Analysis of pipe Networks, Proceeding of an international conference held at Leicester Polytechnic, UK, sept. 1987.