

II-447 – OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO

Guilherme Marques Farias⁽¹⁾

Engenheiro Civil. Mestrando em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE).

Luis Henrique Magalhães Costa⁽²⁾

Engenheiro Civil. Doutor em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Professor Adjunto da Universidade Estadual Vale do Acaraú.

Gustavo Paiva Wayne Rodrigues⁽³⁾

Engenheiro Civil. Doutor em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Professor Adjunto da Universidade Estadual Vale do Acaraú.

Marco Aurélio Holanda de Castro⁽⁴⁾

Engenheiro Civil. PhD pela Drexel University - USA. Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará.

Ismael Furtado Pereira Lima⁽⁵⁾

Engenheiro Civil. Mestrando em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo Instituto Federal do Ceará (IFCE).

Endereço⁽¹⁾: Condomínio Village Água Fria, Apt. 303 – Edson Queiroz - Fortaleza - CE - CEP: 60812-370 - Brasil - Tel: (88) 9 9981-6982 - e-mail: guilhermemf15@gmail.com

RESUMO

O investimento em saneamento básico se faz cada vez mais necessário frente ao acelerado processo de urbanização e crescimento populacional enfrentado atualmente. Apesar desta constatação a situação no Brasil ainda está aquém do necessário para proporcionar um ambiente salubre à população, sobretudo, nas regiões norte e nordeste. Em relação aos sistemas de esgotamento sanitário, um dos entraves para a universalização está no alto custo de implantação dos mesmos. Motivado em contribuir para a mudança desta realidade, este estudo apresenta um modelo computacional que tem como objetivo otimizar o traçado de redes coletoras de esgoto através da minimização do seu custo de implantação. Para isso, se fez uso da técnica de algoritmos genéticos (AG), tendo como função objetivo a minimização do custo de implantação composto pela soma dos custos com tubulação e volume de material escavado. O modelo desenvolvido foi aplicado a uma malha hipotética contendo 15 trechos e 13 singularidades. Os resultados foram considerados satisfatórios, tendo o valor de custo obtido pelo AG se aproximado consideravelmente do menor custo possível para a referida rede. Além disso, destaca-se a eficiência da técnica quanto ao tempo computacional demandado no processo de simulação.

PALAVRAS-CHAVE: Redes coletoras de esgoto, otimização, algoritmo genético.

INTRODUÇÃO

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define saneamento básico como o controle de todos os fatores do meio físico do homem, que exercem ou podem vir a exercer efeitos nocivos sobre seu bem-estar social, físico e mental. No Brasil, o saneamento básico é um direito adquirido e garantido pela Constituição Federal, sendo suas diretrizes definidas pela Lei nº 11.445/2007.

O investimento em saneamento básico é condição necessária e primordial para o desenvolvimento social e econômico de uma nação, pois promove a cultura de saúde pública preventiva, reduzindo a busca por hospitais e postos de saúde. Além disso, podemos destacar a melhora substancial nos índices educacionais, a valorização imobiliária e o incentivo ao turismo.

Apesar da reconhecida importância do investimento em saneamento básico, o Brasil ainda está aquém dos níveis necessários à promoção de saúde pública de qualidade. Dados do Sistema Nacional de informações sobre Saneamento (SNIS) referentes ao ano de 2016, apresentados por Tomé (2018) apontam que em regiões como Norte e Nordeste os índices de cobertura por redes de esgotos são de apenas 10,5% e 26,8%, respectivamente. Entre os principais obstáculos considerados para que a universalização destes sistemas não seja atingida, está nas questões relacionadas à infraestrutura, principalmente o custo. Referindo-se a isso,

Sobrinho e Tsutiya (2000) pontuam que os maiores custos se relacionam a escavações, escoramentos, reaterros e reposição da camada de pavimentação em obras relacionadas às redes de esgoto.

Nessa perspectiva, existe a modelagem computacional para tratar o projeto dessas redes e otimizar os custos. Mais especificamente, a aplicação de algoritmo genético (AG) para esse fim. Essa metodologia se utiliza de uma ferramenta de busca daquele(s) parâmetros específicos que melhor atendem condições pré-definidas (GOLDBERG, 1989), de modo a otimizar problemas. Costa (2010) ainda completa que os AGs transformam uma população de indivíduos em gerações de descendentes, cada uma com um valor associado, denominado de aptidão, utilizando princípios de evolução e reprodução e técnicas de mutação e recombinação.

As simulações através de modelos computacionais tem sido cada vez mais utilizadas na resolução de problemas em nosso cotidiano. Em casos específicos, engenheiros e projetistas se utilizam destes métodos para dar suporte à tomada de decisão, auxiliando-os no planejamento estratégico. Um trabalho desenvolvido por Costa, Castro e Ramos (2010) aplicou o algoritmo genético para otimização de custos em sistemas de abastecimento de água, sendo utilizado um modelo que permite determinar as estratégias de operação com custos energéticos reduzidos. O modelo proposto busca encontrar a configuração de operação das bombas que resulte no menor custo energético possível no horizonte temporal. Na área de saneamento básico o AG foi aplicado por Gameiro (2003) para otimizar o dimensionamento de uma rede coletora de esgoto sanitário, de modo a encontrar uma configuração de sistema que proporcione uma redução nos custos de implantação da mesma.

Apesar do uso constante dos AGs em diversos setores para otimizar problemas, percebe-se uma carência de trabalhos aplicando-os a traçados de redes coletoras de esgoto, de modo a otimizá-los. Assim, dada a importância da expansão da cobertura de redes de saneamento e a consistência da ferramenta de otimização, se faz válida a perspectiva de combinação das mesmas. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo utilizar a técnica de algoritmos genéticos em um modelo computacional para otimizar o traçado de redes coletoras de esgoto sanitário, retornando uma configuração que apresente o menor custo de instalação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo em questão foi desenvolvido em linguagem Java com o auxílio da IDE (*Integrated Development Environment*) *NetBeans*. Um dos atrativos para a escolha da linguagem de programação Java está no fato de a mesma ser orientada a objetos, o que permite uma melhor estruturação e organização das rotinas de códigos, assim como uma maior facilidade na identificação e tratamento de possíveis erros que possam vir a ocorrer. Em termos gerais, o modelo computacional apresentado neste trabalho recebe uma malha contida em um arquivo DXF constituída por singularidades e trechos e aplica a técnica de algoritmos genéticos de modo que, ao final do processamento de dados se obtenha uma configuração de traçado que proporcione uma redução de custos na rede.

A malha que o modelo recebe como parâmetro de entrada é composta pelo desenho de tubulações, singularidades e seus respectivos identificadores. Cada elemento do desenho contido no arquivo DXF é identificado pelos *layers* que os foram atribuídos no momento de sua criação. Para que a ferramenta computacional entenda o traçado contido no arquivo DXF cada elemento do desenho deve ser identificado em um *layer* exclusivo, não podendo este, representar outro tipo de elemento. Vale ressaltar que se deve indicar a “singularidade final” do traçado, sendo esta a que receberá todo o fluxo de vazões oriundos dos trechos coletores da rede. O DXF de entrada também deverá conter as cotas topográficas de cada singularidade, sendo sua inserção através de pontos cotados.

Algoritmos Genéticos (AGs) consistem numa técnica evolutiva baseada no princípio da seleção natural proposto por Charles Darwin em 1859. Foram concebidos por Holland (1975) com o intuito inicial de estudar os fenômenos relacionados à adaptação das espécies e da seleção natural que ocorre na natureza, bem como desenvolver uma maneira de incorporar esses conceitos aos computadores (POZO et al., 2012). Sendo assim, os AGs baseiam-se, principalmente na evolução das espécies como forma de alcançar a solução para um determinado problema. A técnica de algoritmos genéticos consiste em um processo iterativo composto por um conjunto de soluções iniciais denominadas “cromossomos”, geradas aleatoriamente e sujeitas a ação de operadores genéticos (seleção, cruzamento e mutação), de modo que no decorrer do processo se obtenham soluções cada vez melhores e que tendam a se aproximar da solução ótima para o problema. O processo

iterativo transcorre até que se atinja um critério de parada, podendo ser o alcance do grau de adequabilidade das soluções considerado satisfatório para o problema ou o número máximo de gerações, sendo o último o mais usual. As gerações referem-se a uma iteração completa que dá origem a um novo conjunto de cromossomos, denominado população de cromossomos.

Assim como os cromossomos dos seres humanos, que são estruturas compostas por DNA que carregam os genes que são responsáveis por definir suas características, os cromossomos do AG também são similares, sendo compostos por uma estrutura de dados que carrega os genes. Estes, por sua vez, carregam características que definem o grau de adaptabilidade do cromossomo ao meio, podendo ser expressos no formato binário (bit), inteiro ou real.

O modelo computacional em questão apresenta a representação dos cromossomos no formato binário, ou seja, cada gene poderá assumir apenas os valores de 0 ou 1. Cada cromossomo é a representação de uma configuração de traçado para uma rede coletora, sendo um par de genes os responsáveis por definir para os trechos coletores o sentido do escoamento e a classificação em ponta seca ou não. O gene que define o sentido do escoamento é baseado nas cotas topográficas que delimitam o trecho, podendo assumir o valor 0 caso o trecho obedeça ao caimento natural do terreno ou 1 caso contrário. Para que um trecho seja classificado como ponta seca o gene deve assumir o valor 0, na situação contrária, o gene assumirá o valor 1. A representação dos cromossomos pode ser observada na figura 1.

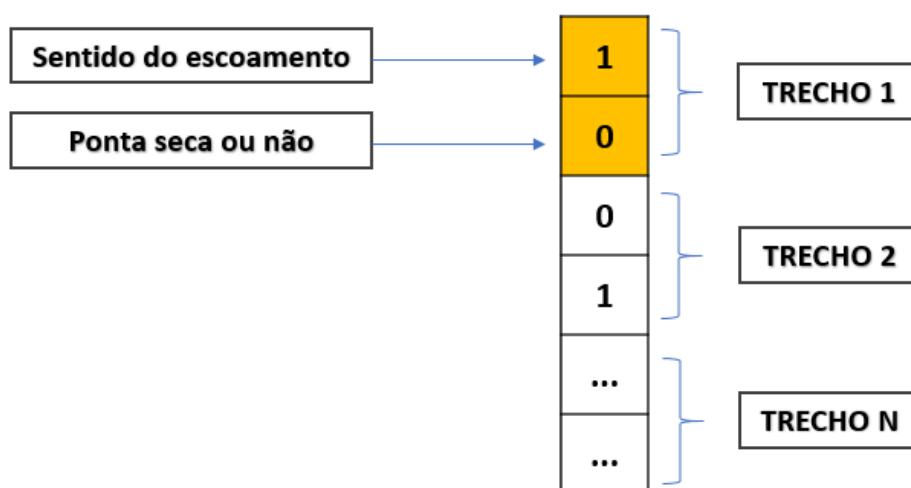


Figura 1: Representação de um cromossomo binário.

O grau de adaptação dos cromossomos no processo evolutivo é medido através de uma função objetivo aliada a um valor de aptidão, possibilitando que os mesmos sejam ordenados e classificados. O valor de aptidão pode ser considerado o elemento mais importante na estrutura que compõe um algoritmo genético, pois, através dele é possível medir o quão próximas as soluções (cromossomos) estão da solução ótima desejada, sendo possível mensurar sua qualidade em relação as demais.

O operador genético seleção é um dos mais importantes dentro do processo evolucionário de um AG, visto que, a partir dele serão selecionados os cromossomos mais aptos que irão, posteriormente, serem cruzados e gerarão descendentes que carregarão suas características. Existem diversos mecanismos de seleção, no entanto, para este estudo optou-se pela seleção por torneio devido a sua fácil implementação e a redução do tempo computacional que a mesma proporciona. O método do torneio consiste em escolher dois cromossomos da população aleatoriamente com igual probabilidade e selecionar o que tiver o melhor valor de aptidão. O processo se repete até que a população anterior seja reorganizada com os cromossomos selecionados.

Após a seleção dos mais aptos os cromossomos escolhidos em pares são submetidos a um teste para verificar a probabilidade de cruzamento. O teste consiste em gerar um número aleatório entre 0 e 1 e compará-lo a um parâmetro do AG denominado taxa de cruzamento, que também é um número entre 0 e 1. Caso o valor aleatório seja menor ou igual ao valor da taxa de cruzamento, o par de cromossomos selecionado irá cruzar, caso contrário, não haverá cruzamento e os cromossomos selecionados irão preservar suas características para as próximas gerações. A literatura recomenda que os valores da taxa de cruzamento estejam no intervalo entre 0,6 e 0,9. No processo de cruzamento em um ponto, escolhido para este estudo, gera-se um número inteiro aleatório que definirá um ponto de cruzamento, a partir deste, os genes dos “pais” serão trocados dando origem aos descendentes denominados “filhos”, comumente diz-se que há uma troca de caldas entre os pais. Este processo pode ser observado na figura 2.

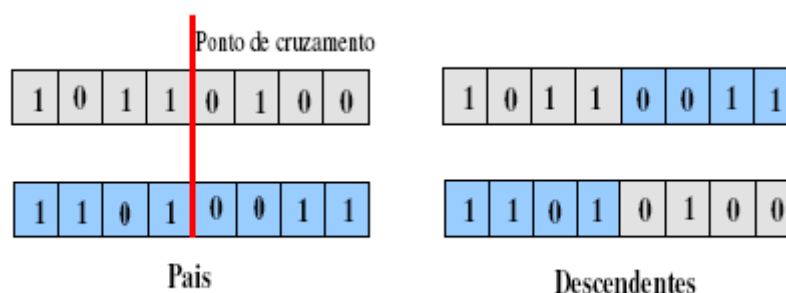


Figura 2: Representação do cruzamento em um ponto.

O operador probabilístico de mutação incide sobre os cromossomos “filhos” gerados a partir do cruzamento. Nesta etapa os genes dos cromossomos são alterados mediante uma probabilidade denominada taxa de mutação. Para cada gene, compara-se a taxa de mutação com um número gerado aleatoriamente entre 0 e 1. A alteração do valor do gene ocorrerá se o aleatório for menor ou igual a taxa de mutação. Vale salientar que ao tratarmos de cromossomos com representações binárias, como no caso, o gene só poderá ser alterado para o valor 0 ou 1, ou seja, se o gene possuir 0, com a mutação o mesmo receberá 1 e vice-versa. Este processo permite que a população seja diversificada, de forma a evitar que os cromossomos se concentrem em uma única região do espaço de busca.

O modelo computacional desenvolvido neste estudo terá como função objetivo a minimização do custo de implantação (C_i) de uma rede coletora de esgoto, e, por consequência, o valor da aptidão será o número correspondendo ao referido custo. O valor de (C_i), expresso em R\$, é dado pela equação 1, onde NT equivale ao número de trechos da rede coletora de esgoto, L é o comprimento do trecho e V representa a estimativa do volume de material a ser escavado no processo de abertura da vala. Os valores de ($CTub$) e ($CEsc$) são obtidos em SEINFRA (2017) e correspondem, respectivamente, ao custo com tubulação por metro e custo de escavação por metro cúbico. Vale ressaltar que ($CTub$) varia de acordo com o diâmetro e ($CEsc$) de acordo com a profundidade da vala a ser escavada.

$$C_i = \sum_{i=1}^{NT} [(C_{Tub(i)} \cdot L_{(i)}) + (C_{Esc(i)} \cdot V_{(i)})] \quad (1)$$

O valor do diâmetro do tubo coletor, assim como o valor do volume de material a ser escavado (V) são obtidos através do dimensionamento hidráulico da rede coletora de esgoto, sendo este, norteado pelas orientações da ABNT (1986) listadas abaixo:

- **Vazão mínima considerada para dimensionamento hidráulico:** para a determinação das dimensões de qualquer trecho, a vazão não deve ser inferior a 1,5 L/s, o que equivale à vazão média de uma descarga de vaso sanitário. Sempre que a vazão de jusante de qualquer trecho for menor que 1,5 L/s, este valor deve ser utilizado para os cálculos hidráulicos;
- **Diâmetro mínimo do coletor:** não deve ser inferior a 100 mm. As concessionárias de saneamento costumam exigir no mínimo 150 mm para a rede coletora pública;

- **Tensão trativa mínima:** para assegurar a autolimpeza do coletor, este parâmetro não deve ser inferior a 1,0 Pa (1,0 N/m²).
- **Velocidade máxima:** a velocidade não deve ser superior a 5,0 m/s para evitar riscos às estruturas e cargas abrasivas nas paredes dos coletores.
- **Declividade mínima:** para garantir as condições mínimas de arraste, a declividade mínima do coletor deve obedecer à seguinte expressão (para n de Manning = 0,013): $I_{min} = 0,005 Q^{-0,47}$, sendo I_{min} em m/m e Q (vazão de esgoto no coletor) em L/s;
- **Lâmina d'água:** deve, no máximo, alcançar 75% do diâmetro do coletor, garantindo condições de escoamento livre e de ventilação. Entretanto, nos casos em que a velocidade de fim de plano no coletor ultrapassar a velocidade crítica, a lâmina d'água não deve ser superior a 50% do diâmetro do tubo.

Para o dimensionamento, o modelo proposto requer, além das características físicas do traçado como cotas topográficas e comprimento de trechos, alguns parâmetros, tais como: populações de início e fim de plano, consumo per capita, coeficiente de retorno, coeficiente de máxima vazão diária (k1), coeficiente de máxima vazão horária (k2), taxa de contribuição de infiltração, coeficiente de manning, recobrimento mínimo e diâmetro mínimo.

O cálculo do volume a ser escavado (V) é feito por meio da multiplicação entre a área lateral da vala e a largura da vala, sendo esta, obtida sob as orientações da ABNT (1992), onde seu valor é calculado em função do diâmetro nominal do coletor, cota de corte e tipo de escoramento utilizado. O cálculo da área lateral da vala (A_l) é feito por meio da equação 2, admitindo que esta é representada por um trapézio formado pelos lados h_m , h_f , I_t e I_0 , conforme mostra a figura 3.

$$A_l = \frac{[(CT_j - CC_j) + (CT_m - CC_m)]}{2} L \quad (2)$$

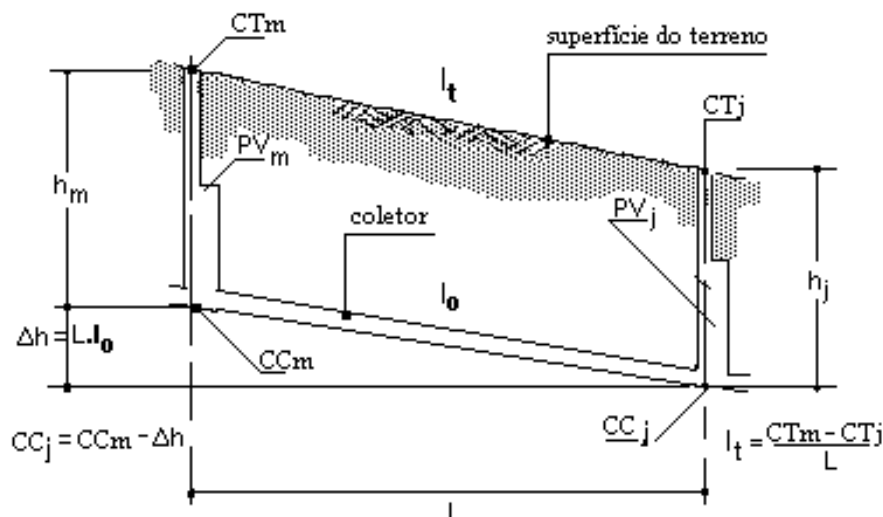


Figura 3: Perfil longitudinal de um trecho coletor de esgoto

A resolução de problemas com restrições limita o uso dos AGs em sua forma original, principalmente pelo fato de não existir a garantia de que a viabilidade da solução será mantida após o cruzamento ou mutação, como também quando a população inicial é gerada. O problema principal é tratar as soluções inviáveis (LENIVE, 1997). Para resolver este problema, o modelo proposto incrementa no processo evolucionário um teste de viabilidade que tem como objetivo verificar se a solução trazida pelos cromossomos satisfaz as condições necessárias para que a mesma seja considerada viável e apta a ser dimensionada, para isso, o esgoto presente em todos os trechos deverá chegar ao ponto final da rede, onde todas as vazões serão reunidas.

A rotina do teste de viabilidade se dá da seguinte maneira: após receber a configuração de traçado gerada pelo algoritmo genético, a rotina inicia a verificação, analisando se existe algum trecho efluente à singularidade final que não seja ponta seca. Se a situação for constatada, o traçado é considerado inviável, pois a singularidade final deve ter apenas trechos afluentes. Caso o traçado passe na primeira restrição, inicia-se, então, a próxima etapa que é a verificação da quantidade de trechos afluentes à singularidade final, pois ela obrigatoriamente deverá ser maior que zero. Além disso, para as demais singularidades dos trechos efluentes encontrados deve-se ter somente um que não seja ponta seca.

Tendo o traçado passado pelas restrições ora mencionadas, verificam-se todas as singularidades a fim de confirmar se todas as que possuem trechos afluentes têm um trecho efluente que não seja ponta seca para, assim, dar continuidade ao fluxo de esgotamento. Posteriormente, dá-se continuidade à análise realizando o processo inverso, ou seja, verificando para cada singularidade com trecho efluente não ponta seca se existe um trecho afluente. A última restrição para que o traçado seja considerado viável é realizada, verificando se o fluxo de esgoto que parte de cada órgão acessório chega na singularidade final. No caso de o traçado atender todos esses requisitos, ele é considerado viável, caso contrário, o cromossomo que o representa recebe uma penalização no valor da concorrente aptidão, onde se é atribuído um valor inicial de R\$ 100.000,00 e para cada trecho do traçado que está no sentido contrário ao caimento natural do terreno é adicionado um valor de R\$ 1.000,00. O aumento considerável do valor de aptidão do cromossomo tem como objetivo diminuir as chances de o mesmo repassar suas características a outros cromossomos durante o processo de cruzamento.

O processo de validação do modelo computacional proposto neste estudo ocorre por meio da comparação entre o valor do custo encontrado pelo AG com o custo de uma rotina computacional alternativa criada para encontrar o traçado ótimo global, sendo este o que entre todas os traçados viáveis possíveis tem o menor custo. O objetivo desta análise e comparação é ver o quanto a AG aproxima-se da solução real. O processo para encontrar o traçado ótimo global consiste em analisar todos os cromossomos formados pelos valores convertidos para binário entre 0 e $(2^n - 1)$, em que n equivalente ao número de trechos multiplicado por 2, e submetê-los aos mesmos teste de viabilidade e cálculo de aptidão propostos para os cromossomos gerados pelo AG. Desta forma, é possível explorar todo o espaço de busca para o problema e obter a melhor solução possível. De posse dos dois valores de custo, realiza-se uma comparação utilizando a fórmula do erro relativo, descrita na equação 3, onde C_o representa o custo obtido com a solução ótima do AG e C_{og} é o custo encontrado na solução ótima global.

$$Er = \left(\frac{C_o - C_{og}}{C_{og}} \right) 100 \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo computacional desenvolvido neste trabalho foi aplicado em uma malha hipotética composta por 15 trechos coletores e 13 singularidades, conforme ilustra a figura 4. Como singularidade final, foi definida a singularidade de número 13.

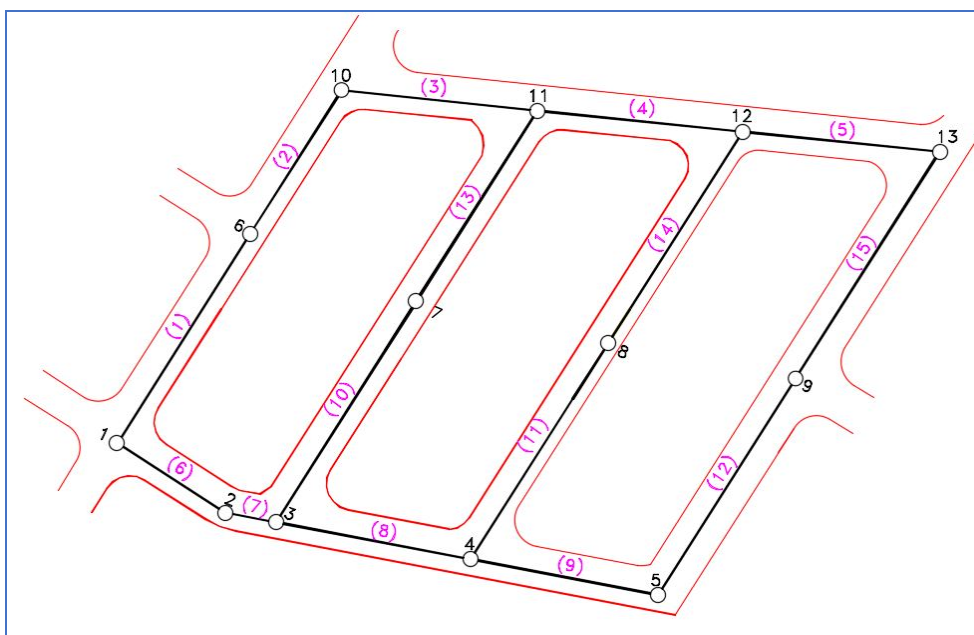


Figura 4: Malha usada para a aplicação do modelo desenvolvido

Os dados físicos da malha foram extraídos de um arquivo DXF, a qual foi desenhada em uma plataforma CAD, podendo estes, serem observados na tabela 1. Para o processo de dimensionamento hidráulico adotou-se uma população de início e fim de plano 4.000 e 6.500 habitantes, respectivamente. O consumo de água per capita foi de 160 l/hab.dia, o coeficiente de retorno foi de 0,8. Para os coeficientes de máxima vazão diária, máxima vazão horária e taxa de infiltração adotou-se 1,2, 1,5 e 0,1 l/s.km respectivamente. Em relação ao material dos tubos coletores, considerou-se que os mesmos são de concreto, cujo coeficiente de manning é igual a 0,013. Além disso, fixou-se como diâmetro mínimo o valor de 150 mm e como recobrimento mínimo 90 cm.

Tabela 1: Dados físicos da malha extraídos do arquivo DXF

Trecho	Singularidade 1	Singularidade 2	Comprimento (m)	Cota topográfica 1 (m)	Cota topográfica 2 (m)
1	1	6	83	112	110
2	6	10	57	110	109
3	10	11	66	109	109,5
4	11	12	70	109,5	105
5	12	13	67	105	103
6	1	2	43	112	108
7	2	3	18	108	107,5
8	3	4	67	107,5	109
9	4	5	64	109	106
10	3	7	88	107,5	108
11	4	8	86	109	107
12	5	9	86	106	104
13	7	11	76	108	109,5
14	8	12	84	107	105
15	9	13	90	104	103

Para este trabalho, utilizou-se como critério de parada do algoritmo genético o número de gerações, fixando seu valor em 1.000. Estabeleceu-se também que a população de cada geração seria composta por 100

indivíduos, sendo cada um destes formados por 30 genes binários, um par para cada trecho da malha hipotética. Para as taxas de cruzamento e mutação adotou-se os valores de 0,8 e 0,01, respectivamente. O processamento do modelo computacional durou cerca de 3 minutos e 52 segundos, obtendo como resultado um total de 46 soluções (traçados) viáveis. Dentre as soluções, a melhor apresentou um custo equivalente a R\$ 42.524,71, sendo esta, denominada custo ótimo. O resultado do processo evolucionário pode ser observado no gráfico expresso na figura 5, onde são apresentadas as melhores soluções de cada geração.

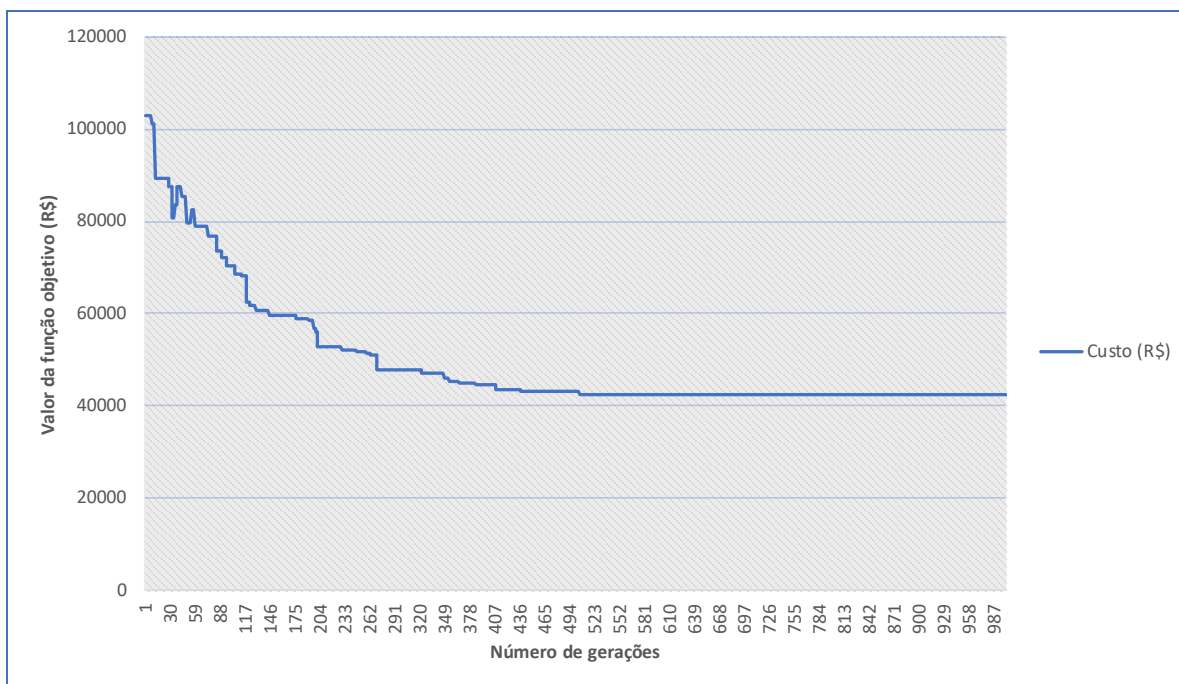


Figura 5: Gráfico de evolução do custo durante as gerações.

Para o processo de validação, buscou-se a solução ótima global no intervalo de números convertidos para binário entre 0 e $(2^n - 1)$. Nesta situação, o expoente n assumiu o valor de 30, o que equivale ao número de trechos multiplicado por 2. A rotina de validação analisou um total 1.073.741.824 configurações de traçado, dentre as quais foram encontradas 576 soluções viáveis. A solução ótima global resultou um custo de R\$ 42.115,63. Ao compararmos, através da equação 3, este valor com o custo obtido pelo AG encontramos um erro relativo aproximado de 0,97%. Em termos monetários, a diferença entre os dois valores é de R\$ 409,08. O resumo dos dados ora citados pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2: Resumo dos dados de custo do AG e da solução ótima global

	Cromossomo binário	Custo (R\$)	Erro relativo
Solução ótima AG	[0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1]	42.524,71	0,97%
Solução ótima global	[0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1]	42.115,63	

CONCLUSÕES

Os métodos de otimização são bem vistos quando utilizados para o dimensionamento técnico de redes coletoras de esgotos sanitário, tendo em vista que promovem a redução de custos, aproveitando o montante investido por órgãos públicos ou privados para esse fim.

O estudo na rede hipotética, após dimensionamento, e depois de simular 1.000 gerações, conseguiu se aproximar a um valor com erro relativo de 0,97%, se comparado ao resultado do custo ótimo global. Isso demonstra que o modelo se ajustou bem ao objetivo proposto. Além disso, percebeu-se um ganho expressivo de tempo se considerarmos que os traçados de projetos de redes coletoras de esgoto normalmente são feitos de forma manual.

Enfim, espera-se que com atualizações futuras o modelo desenvolvido neste trabalho possa ser generalizado de forma a ser aplicado em projetos de redes reais, possibilitando a redução de custo de forma a promover a universalização dos sistemas de esgotamento sanitário no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR-9649 – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR-12266 – Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
3. COSTA, Luís Henrique Magalhães. Utilização de um algoritmo genético híbrido na operação de sistemas de abastecimento de água com ênfase na eficiência energética. Fortaleza, 2010. 146 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
4. COSTA, L. H. M.; CASTRO, M. A. H.; RAMOS, H. Utilização de um algoritmo genético híbrido para operação ótima de sistemas de abastecimento de água. Engenharia Sanitaria e Ambiental. p. 1–10, 2010.
5. GAMEIRO, L. F. S. Dimensionamento otimizado de redes de esgotos sanitários com a utilização de algoritmos genéticos. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, 2003.
6. HOLLAND, J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. University of Michigan Press, Ann Arbor. (1nd Edition, MIT Press, 1975).
7. LENIVE, D. Genetic algorithms: a practitioner's view. Journal on Computing, vol. 9, no. 3, pp. 256-259, 1997.
8. POZO, A. et al. Computação Evolutiva. Universidade Federal do Paraná. p. 1 - 61, 2010.
9. SOBRINHO, Pedro Alem. TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Universidade de São Paulo. Coleta e transporte de esgoto sanitário. 2ª. ed. São Paulo: Departamento de engenharia hidráulica e sanitária, 2000.
10. TOMÉ, Luciana Mota. Saneamento Básico: Situação atual e perspectivas. Caderno Setorial ETENE, 2018.