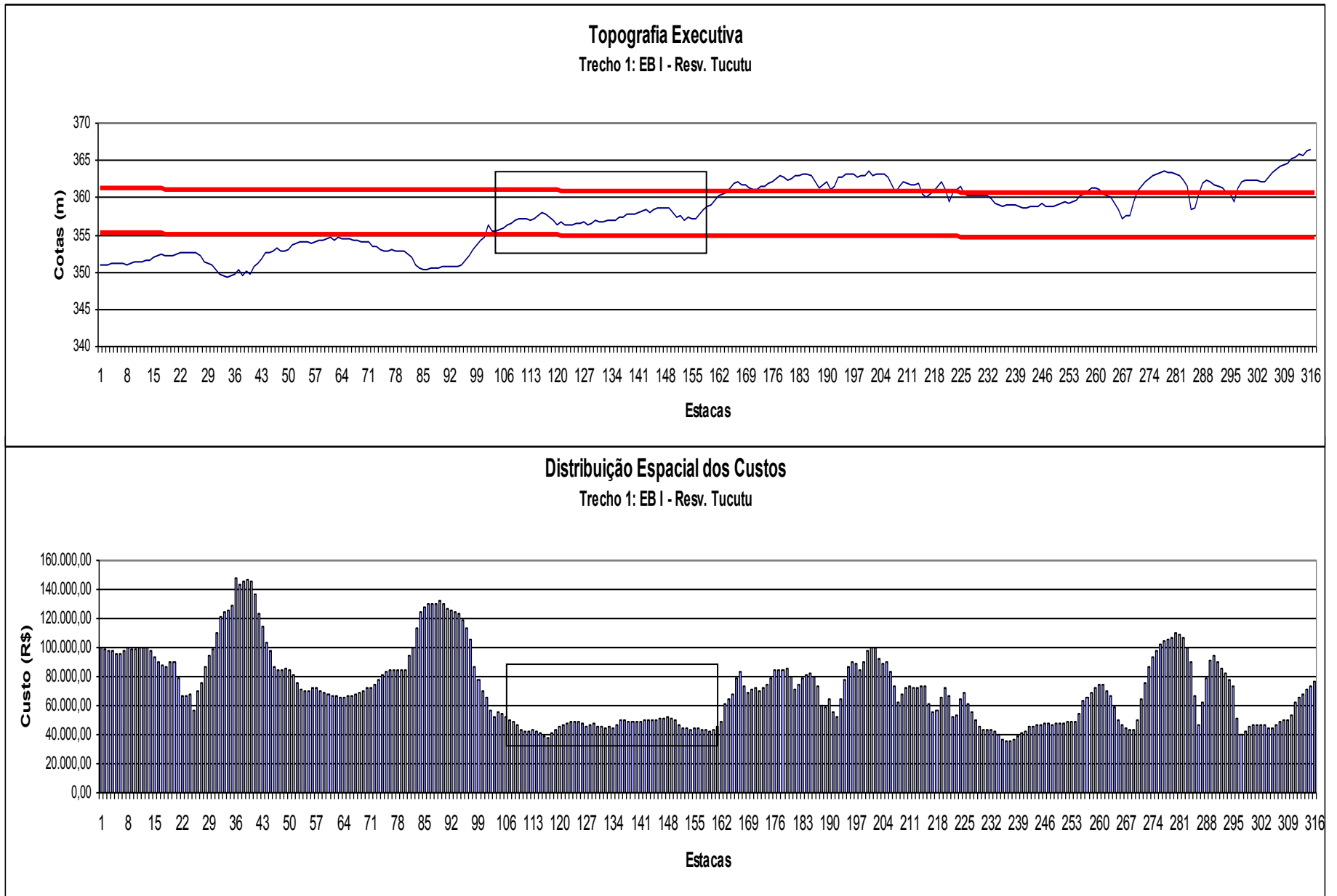


# METAHEURÍSTICA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA OTIMIZAÇÃO DO TRAÇADO DE CANAIS

*Francisco Jácome Sarmiento*

**O problema enfrentado é:** Como levar água através de canal aberto de um ponto A até um ponto B com o menor custo?





**Figura 1 - Reflexos da topografia sobre os custos orçados por segmento entre estacas (fonte: Sarmento, 2011).**

## DADOS NECESSÁRIOS À APLICAÇÃO DO ALGORITMO METAHEURÍSTICO:

O algoritmo proposto tem como dados de entrada as seguintes informações:

- 1. Modelo digital do terreno** com malha retangular cotada a cada 30 m (SRTM depurado pelo INPE);
2. Espessura dos **estratos geológicos subjacentes**: se possível cobrindo toda a área viável na qual será pesquisado o traçado mais econômico;
- 3. Ponto de partida** (adução) e de **entrega da água** (inclusive cotas de partida e entrega);
- 4. Geometria da seção do canal**: refere-se à seção transversal hidráulica (largura do fundo do canal, profundidade total e inclinação dos taludes internos).
- 5. A seção transversal de projeto** (corte, aterro e mista), da qual é parte a seção hidráulica, é considerada em forma paramétrica;

A partir da retícula informada como sendo o ponto de partida do canal, a decisão de evolução do traçado é tomada seguindo os passos a saber:

1 – Cada retícula **k** possui **8 direções** segundo as quais o canal poderá evoluir. Para cada uma delas é projetada e cubada a seção transversal adequada (corte, aterro ou mista). Com base nos custos unitários do movimento de terra (escavações em material de 1ª, 2ª e 3ª categorias e aterros, todos em R\$/m<sup>3</sup>) é calculado o custo associado a cada uma das direções viáveis;

2- Os **custos calculados** no passo anterior poderão sofrer **penalização**, caso estejam associados à direções que impliquem em desvio em relação ao **ponto-alvo de entrega da água**;

3 – Penalizados os custos, adota-se a direção de evolução que apresentar **o menor dentre aqueles valores**.

4 – O caminhamento evolui então para retícula associada à **direção de menor custo penalizado**. Para esta, são então repetidos os passos de 1 a 3.

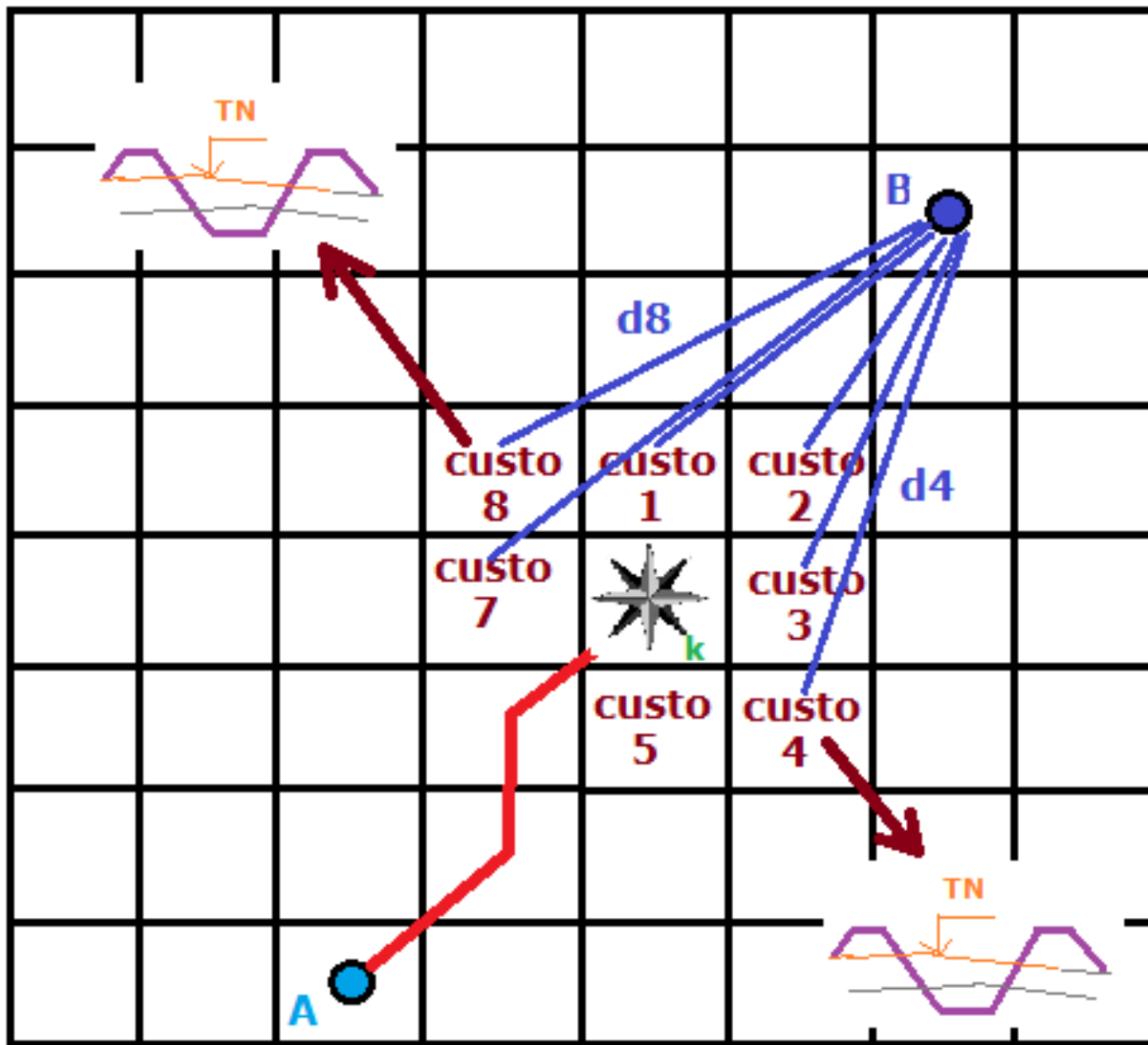


Figura 2 – Representação da estrutura de pesquisa do algoritmo metaheurístico.

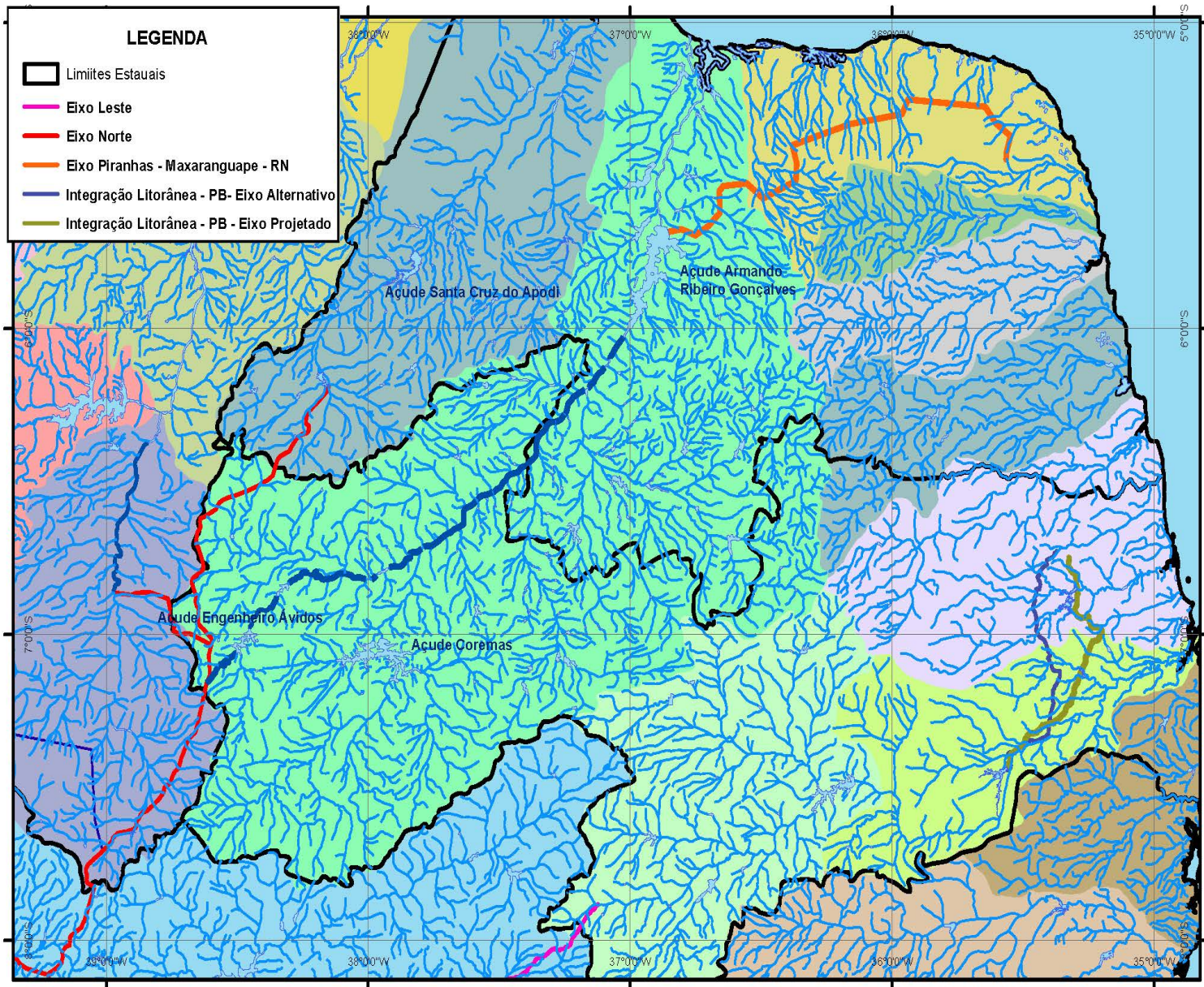


Figura 3 - Mapa regional mostrando a localização deste empreendimento no contexto regional.

## Para o desenvolvimento do traçado em questão foram considerados os seguintes dados:

Cota do terreno no ponto de partida = 100,4 m

Cota do terreno no ponto de entrega da água = 86,3 m

Vazão de projeto = 15 m<sup>3</sup>/s

### Canal:

- Seção trapezoidal
- Base = 2 m
- Profundidade = 3 m
- Talude hidráulico (H:V) = 3:2
- Declividade = 10 cm/km
- Revestido com placas de concreto

Foram ainda adotados os mesmos preços unitários licitados pelo PISF, no Lote 1 do Eixo Norte da obra de transposição do rio São Francisco (Ano base de 2007):

- Escavação de material de 1ª Categoria (R\$/m<sup>3</sup>) = 4,74
- Escavação de material de 2ª Categoria (R\$/m<sup>3</sup>) = 5,01
- Escavação de material de 3ª Categoria (R\$/m<sup>3</sup>) = 20,49
- Aterro compactado (R\$/m<sup>3</sup>) = 2,39

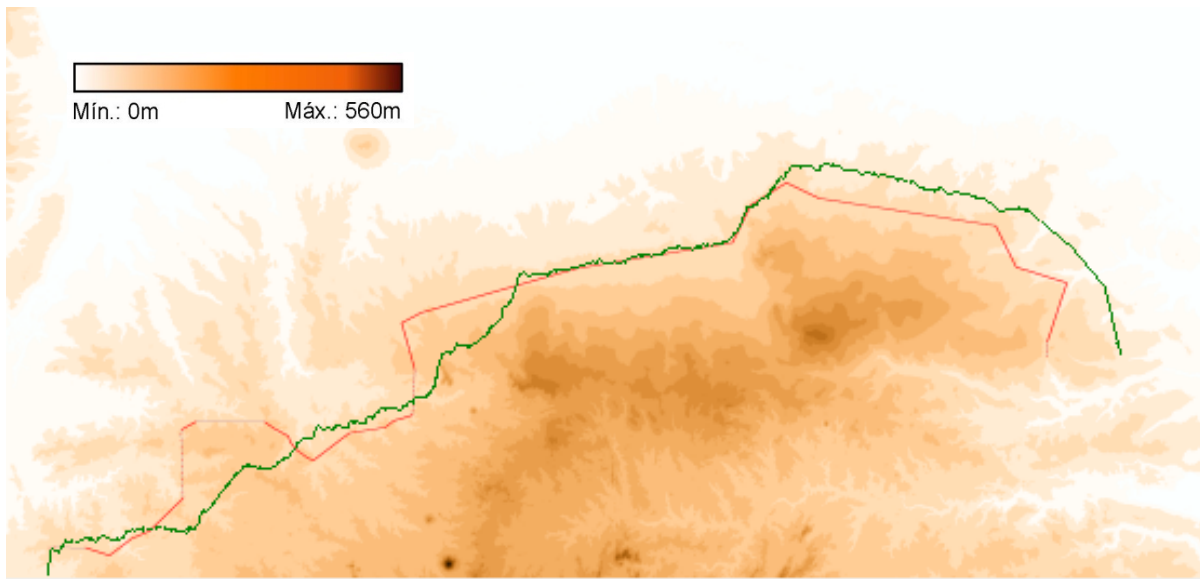


Figura 6: Traçado resultante da condição 2.

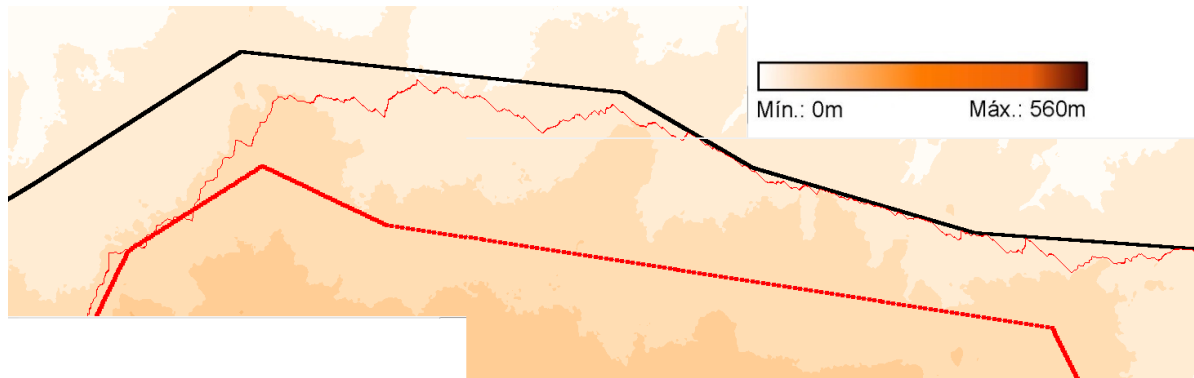


Figura 7: Ampliação de parte do trecho restringido à esquerda com linha de restrição em preto.



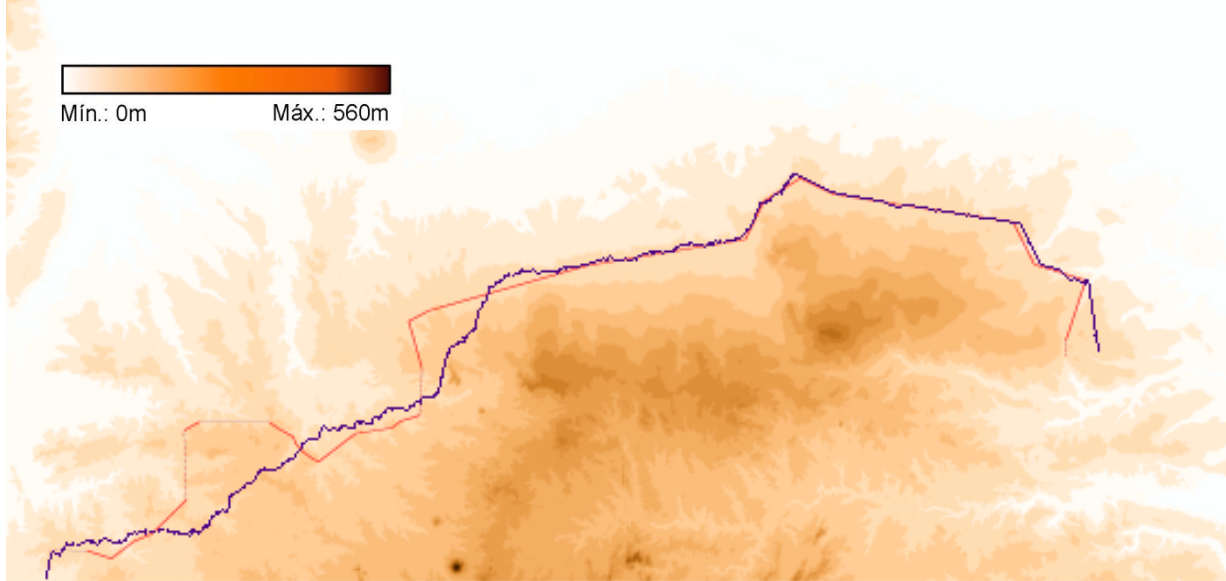


Figura 8: Traçado resultante da condição 3.

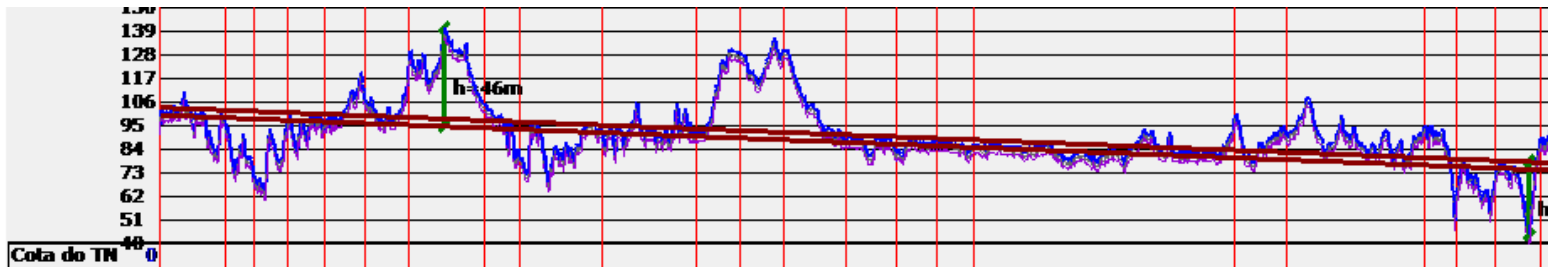


Figura 9: Perfil resultante da condição 3.

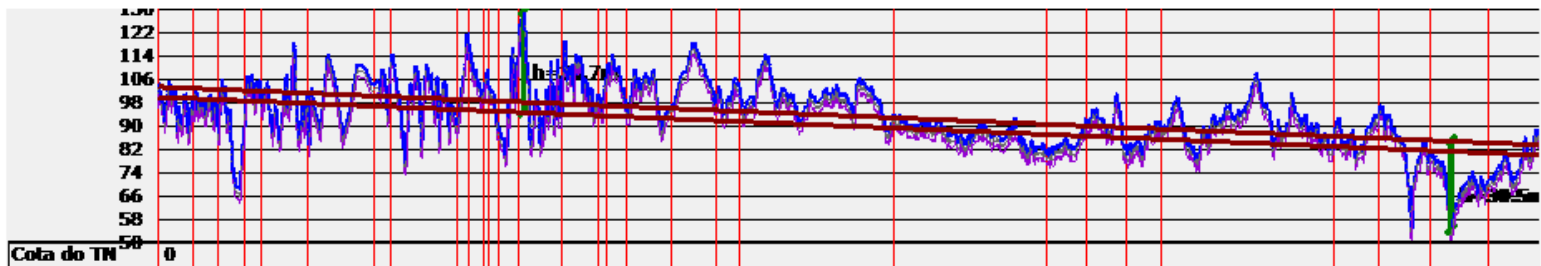
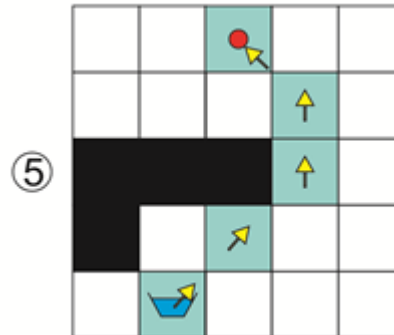
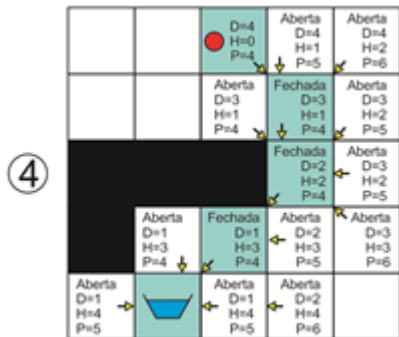
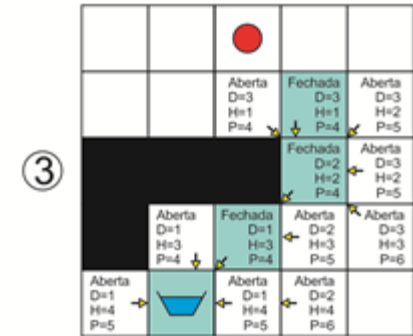
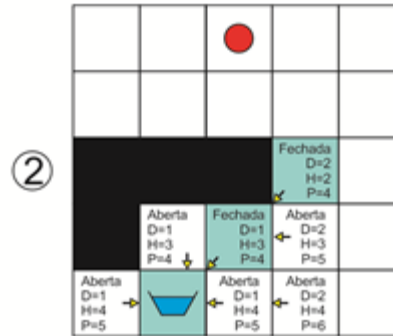
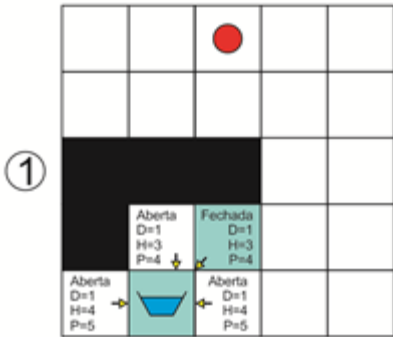


Figura 10: Perfil resultante da Alternativa Manual.

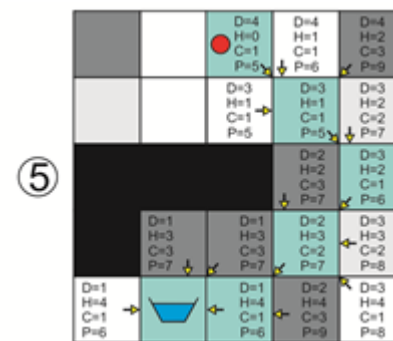
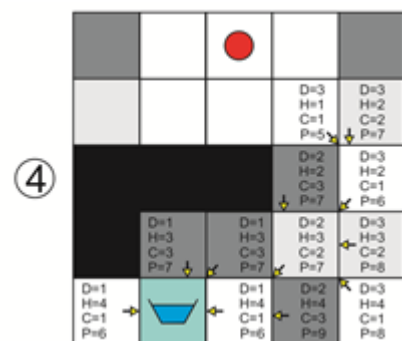
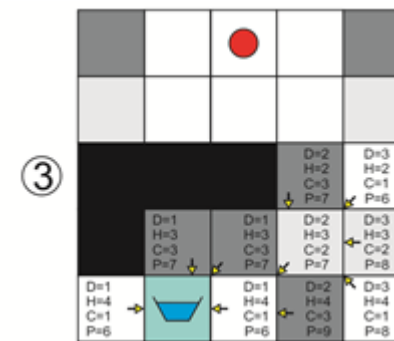
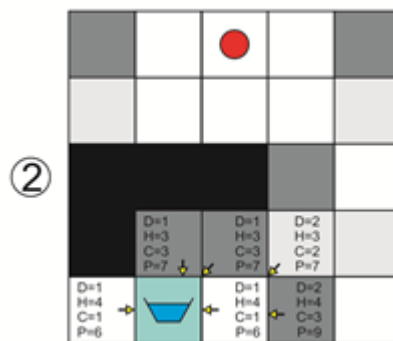
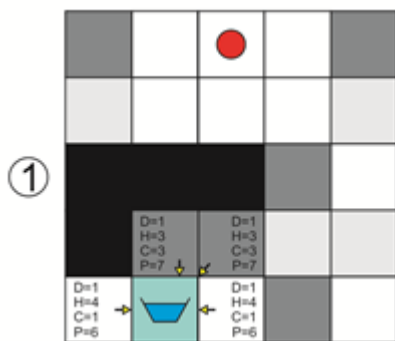
# Algoritmo A\*: Sem incluir custos de passagem:



## Legenda

- Destino
- ▼ Origem
- Obstáculo
- ▲ Rota mais curta
- Custo= 1
- ▒ Custo= 2
- Custo= 3

# Algoritmo A\*: Incluindo custos de passagem:



## Legenda

● Destino

🚤 Origem

■ Obstáculo

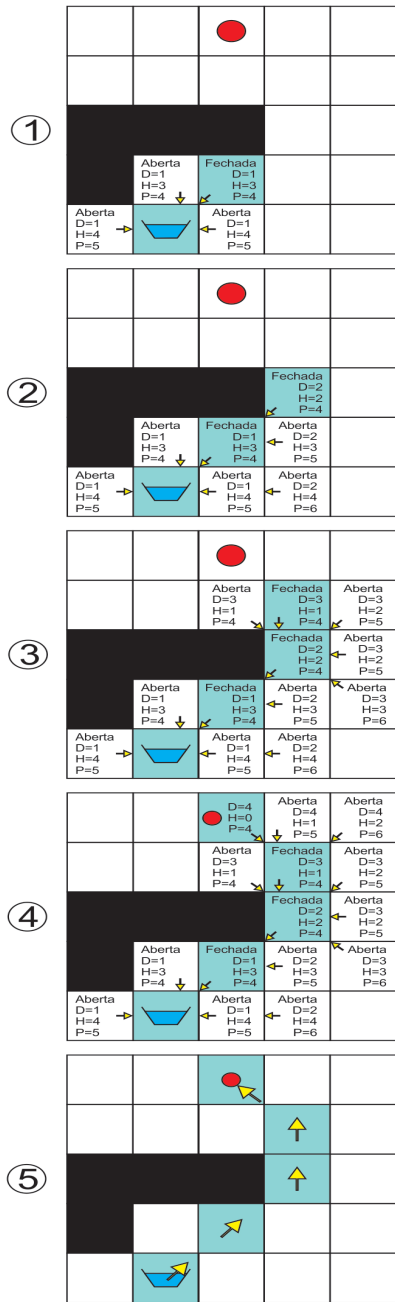
■ Rota mais curta

□ Custo= 1

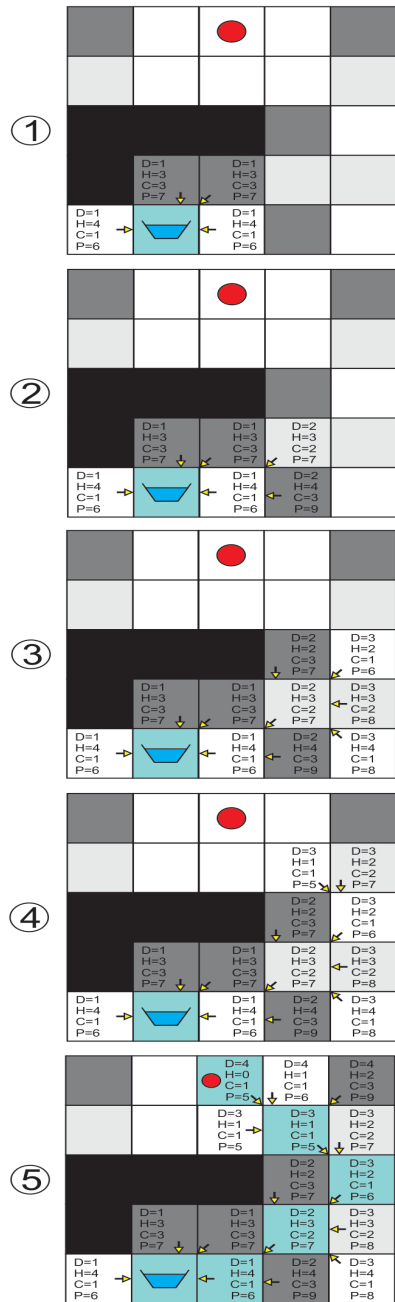
□ Custo= 2

■ Custo= 3

### Sem incluir custos de passagem

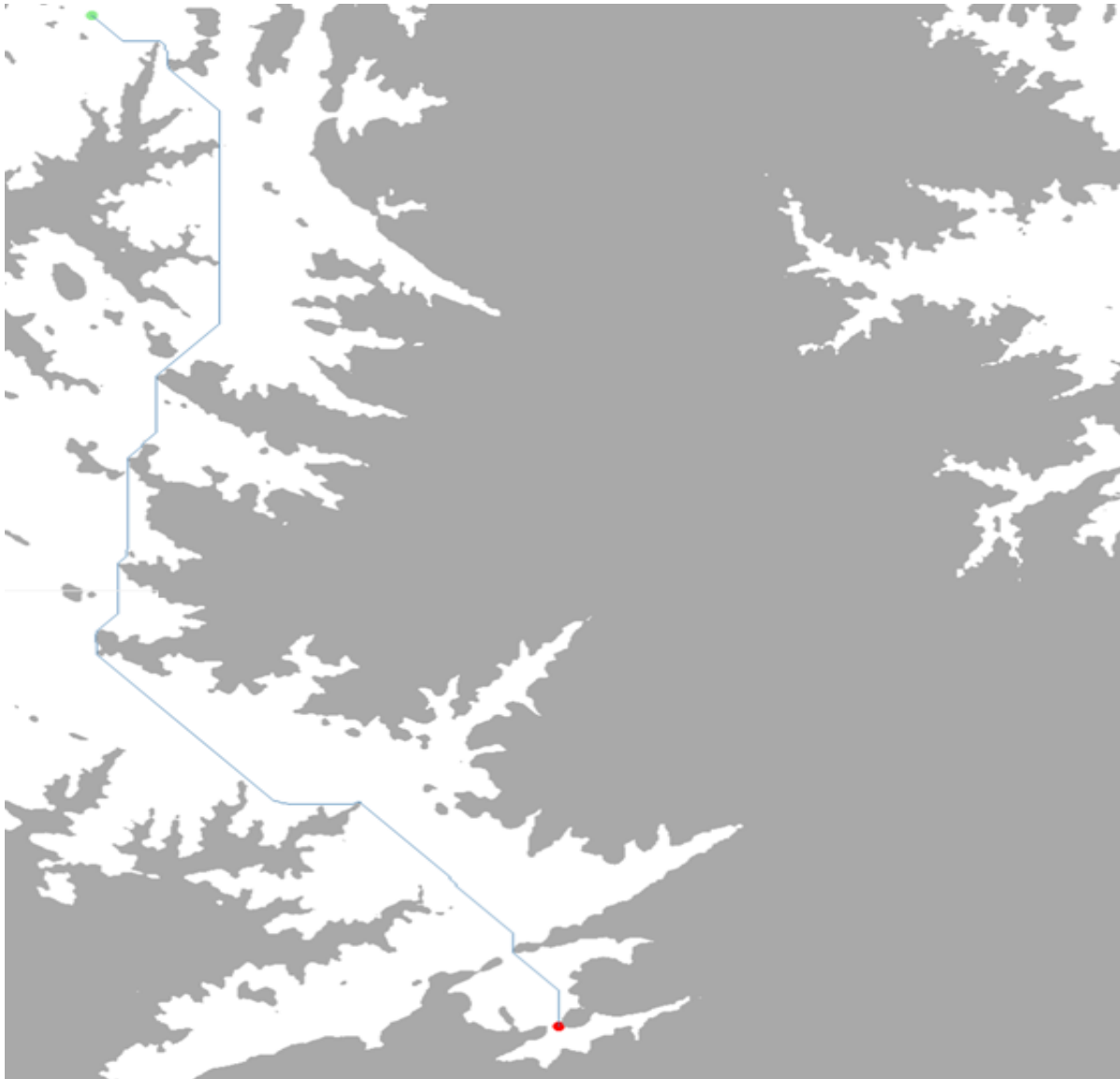


### Incluindo custos de passagem



**Legenda**

- Destino
- Origem
- Obstáculo
- Rota mais curta
- Custo= 1
- Custo= 2
- Custo= 3



## CONCLUSÕES SOBRE O ALGORITMO METAHEURÍSTICA:

1. O algoritmo metaheurístico, conforme ora proposto, tem na **metodologia de cálculo dos custos de passagem** seu mais **significativo diferencial** a distingui-lo em relação aos seus correlatos disponíveis na literatura;
2. O algoritmo foi desenvolvido numa plataforma **independente** de software do tipo **SIG** e enfrenta o problema da elaboração do **plano de custos de passagem** conforme este se apresenta na prática;
3. o algoritmo oferece automaticamente, sem demandar restrições manuais de acesso a zonas de relevo e/ou geologia indesejáveis, o **traçado mais econômico** para a adução a partir de **um dado ponto de partida** prefixado até sua entrega **em algum ponto do Modelo Digital do Terreno (MDT) utilizado**. Sob essa condição (de não se ter rigidamente estabelecido o ponto de entrega da água), o greide da solução obtida satisfaz ao critério econômico lógico segundo o qual o canal deve apresentar **a maior extensão possível semienterrada**.
4. Utilizado em composição com restrições impostas pelo projetista, o algoritmo se constitui numa **poderosa ferramenta de busca de caminho otimizado em faixa de pesquisa predeterminada** e, - não menos importante -, permite a identificação de traçados preliminares com a simples restrição de áreas de relevo onde a experiência do profissional julga infrutífera a passagem.
5. A busca de **funções de penalização** mais adequadas é a meta a ser perseguida.

## CONCLUSÕES SOBRE O ALGORITMO A\*:

1. Seja na versão voltada à **determinação da rota mais curta**, seja na alternativa que **possibilita considerar custos de passagem**, o algoritmo A\* desempenha um **papel relevante** no projeto otimizado de canais;
2. A forma como o algoritmo A\* foi concebido apresenta vantagem adicional de **não demandar a pesquisa em todas as células que compõem a região**, mas sim apenas nas células que, no decorrer do processo de cômputo, apresentam-se como **mais viáveis para compor a rota de deslocamento (mais curta ou menos onerosa)** entre os pontos de partida e de chegada.;
3. Em sua forma adaptada, o algoritmo A\* pode **se prestar ao traçado do próprio eixo do canal**, desde que seja encontrada uma **função adequada para penalizar as decisões locais** em relação ao seu impacto na trajetória a ser cumprida entre o ponto em que se encontra o traçado em um dado momento e o ponto de chegada.
4. É reconhecível a vantagem propiciada pelo **algoritmo A\*** em seu **uso conjugado** com o **algoritmo metaheurístico**, posto que a busca empreendida por esse último passa a ser **restrita à faixa delimitada** onde certamente se encontra o traçado ótimo para o canal.
5. Apresenta-se como **promissor o uso do algoritmo A\*** para proceder um **mapeamento** com o qual seja possível obter uma **função de penalização mais refinada** para a busca metaheurística. A ideia a ser testada consiste em calcular, para cada ponto inserto na faixa de pesquisa, qual a **distância não euclidiana** até o ponto de entrega de água.