

A tese de doutorado desta apresentação pode ser encontrado nos seguintes repositórios:

<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/304>

<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-11112008-091041/pt-br.php>

**Vídeo da Apresentação:**

<https://www.youtube.com/watch?v=JEylcWXkeV8>

# SISTEMA DE OTIMIZAÇÃO HIDRÁULICA E ECONÔMICA DE REDE DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA USANDO ALGORITMOS GENÉTICOS

Exame de Defesa – 10/10/2008

Candidato: Francisco Marcuzzo

Orientador: Prof. Dr. Edson Wendland



Universidade de São Paulo



**E E S C**  
Escola de Engenharia  
de São Carlos



PÓS-GRADUAÇÃO em ENGENHARIA

**HIDRÁULICA e**  
**SANEAMENTO**

PPG-SHS USP/SÃO CARLOS

Laboratório de Hidráulica Computacional



# Sumário da Apresentação

I. Introdução e Motivação

II. Objetivos

III. Material e Métodos

IV. Resultados e Discussão

V. Conclusão

# I. Introdução e Motivação



**X**



**Por que não utilizar apenas os sistemas de irrigação mais eficientes?**

**Como diminuir o custo de implantação de redes de irrigação mais eficientes?**

**Otimizar o dimensionamento da rede de irrigação.**

**Utilizar o maior comprimento de tubulação com o menor diâmetro possível, respeitando os critérios hidráulicos de dimensionamento da rede e demanda de água da cultura a ser instalada.**

## II. Objetivos

- ✓ Desenvolvimento de um modelo computacional
- ✓ Análise do espaço de busca e da eficiência do modelo de otimização por algoritmos genéticos
- ✓ Análise de sensibilidade das variáveis otimizadas
- ✓ Análise de sensibilidade econômica do código desenvolvido

## II. Objetivos

- ✓ Análise de sensibilidade hidráulica do código desenvolvido
- ✓ Análise da produção e de sua distribuição na área
- ✓ Análise da uniformidade de vazão por métodos utilizados pela literatura especializada
- ✓ Estudo de grande variação na tarifação da água (R\$ 0,01, 0,02,... até 0,10)

# II. Objetivos

## Principais contribuições do trabalho:

- ✓ Desenvolvimento da Função de Aptidão da rede
- ✓ Código com “pré-cálculo” de dimensionamento
- ✓ Cálculo das perdas de carga localizada com acoplamento de microaspersores, tubulação e contração da tubulação
- ✓ Análise hidráulica detalhada da rede otimizada
- ✓ Estudo da grande variação da tarifação da água na otimização e no custo final de projeto

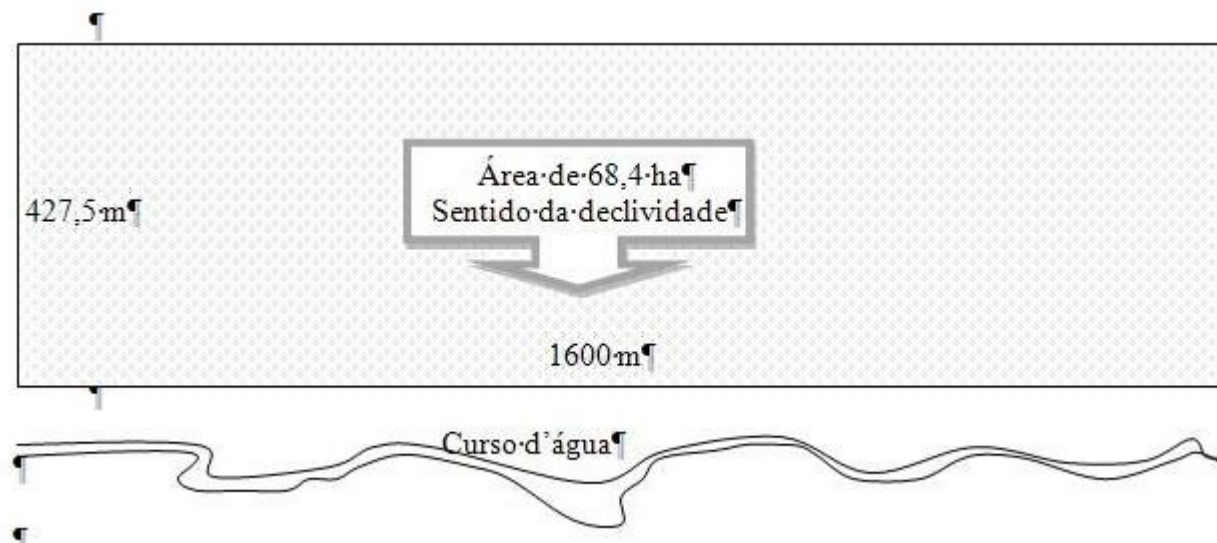
# III. Material e Métodos

## Considerações iniciais:

- ✓ O código do programa foi desenvolvido em MatLab (7.5.0 – R2007b)
- ✓ MatLab - possui linguagem própria de alto nível (compatível com C++ e Java)
- ✓ MatLab - caixa de ferramentas de algoritmos genéticos com ampla quantidade de opções de operadores genéticos



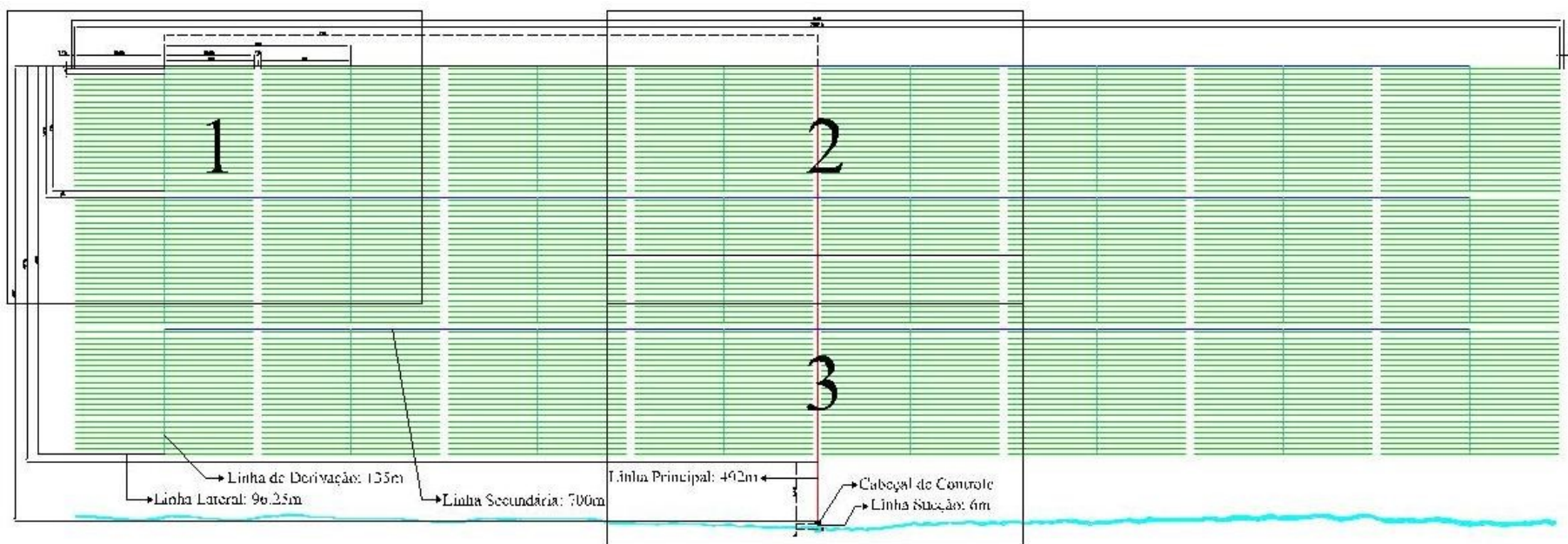
# III. Material e Métodos



- ✓ A área modelo: 78,72 ha (787.200 m<sup>2</sup>)
- ✓ 1600 metros de comprimento
- ✓ 492 metros de largura
- ✓ Faixa mínima de mata ciliar de 57 metros
- ✓ Faixa de 7,5 metros para movimentação de implementos e máquinas
- ✓ Área irrigável a partir de 64,5 metros distante do curso de água onde se fará a captação direta para o bombeamento
- ✓ Área útil para irrigação será de 68,40 ha (684.000 m<sup>2</sup>)

# III. Material e Métodos

Leiaute da rede hidráulica do sistema de irrigação localizada, para uma área de 78,72 ha, em escala 1:6000 (na versão impressa da tese)



Trecho da Rede	Declividade	Material	Comprimento ----- m -----	Número de Diâmetros
Linha Lateral	Nível	Polietileno	96,25	2
Linha de Derivação	Declive	PVC	135	4
Linha Secundária	Nível	PVC	700	4
Linha Principal	Aclive	PVC	492	1
Linha de Sucção	Aclive e Nível	PVC	6	1

# III. Material e Métodos

## ✓ Primeira etapa do dimensionamento:

➤ Quanto de água aplicar?

$$FPPL = -0,000002 \cdot (VAP)^2 + 0,0331 \cdot VAP + 111,52$$

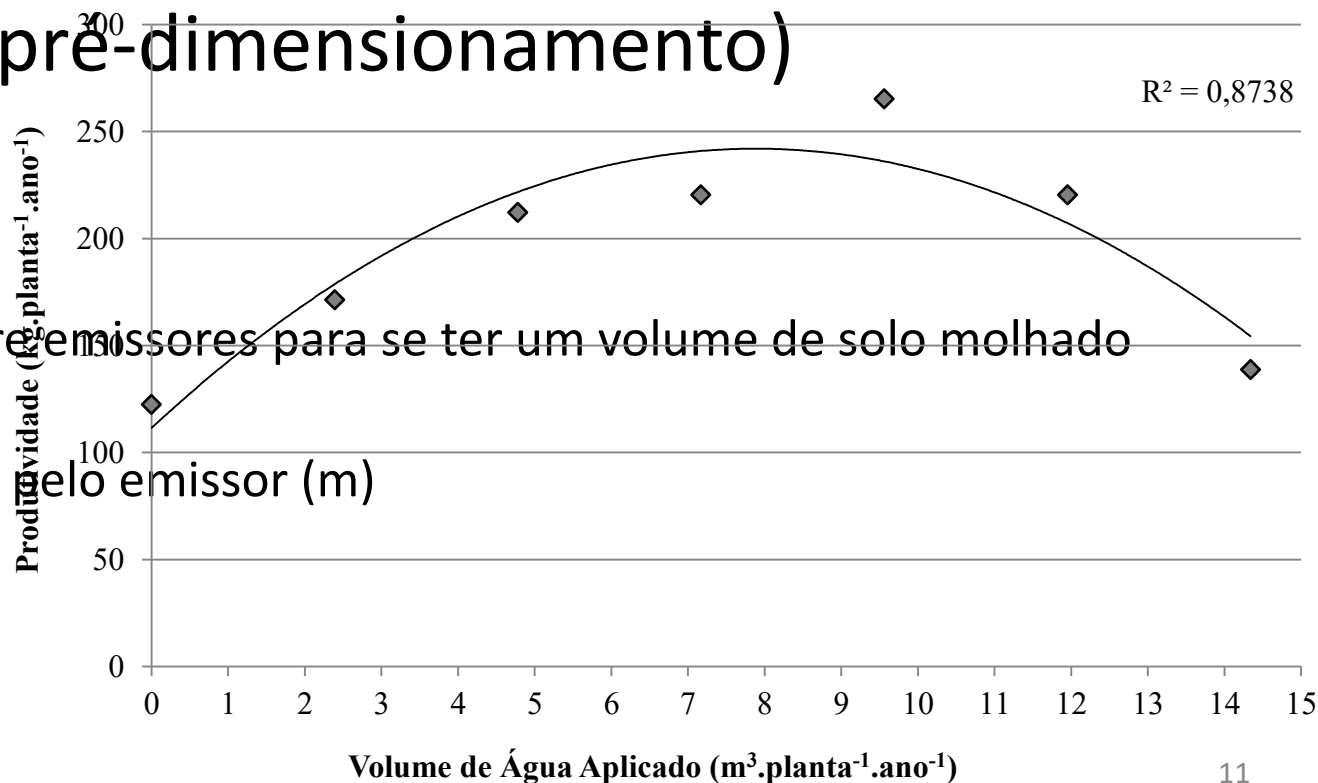
➤ Pré-cálculo (pré-dimensionamento)

Destaca-se:

$$See = 0,8 \cdot w$$

See - espaçamento entre emissores para se ter um volume de solo molhado contínuo (m)

w – diâmetro molhado pelo emissor (m)



# III. Material e Métodos

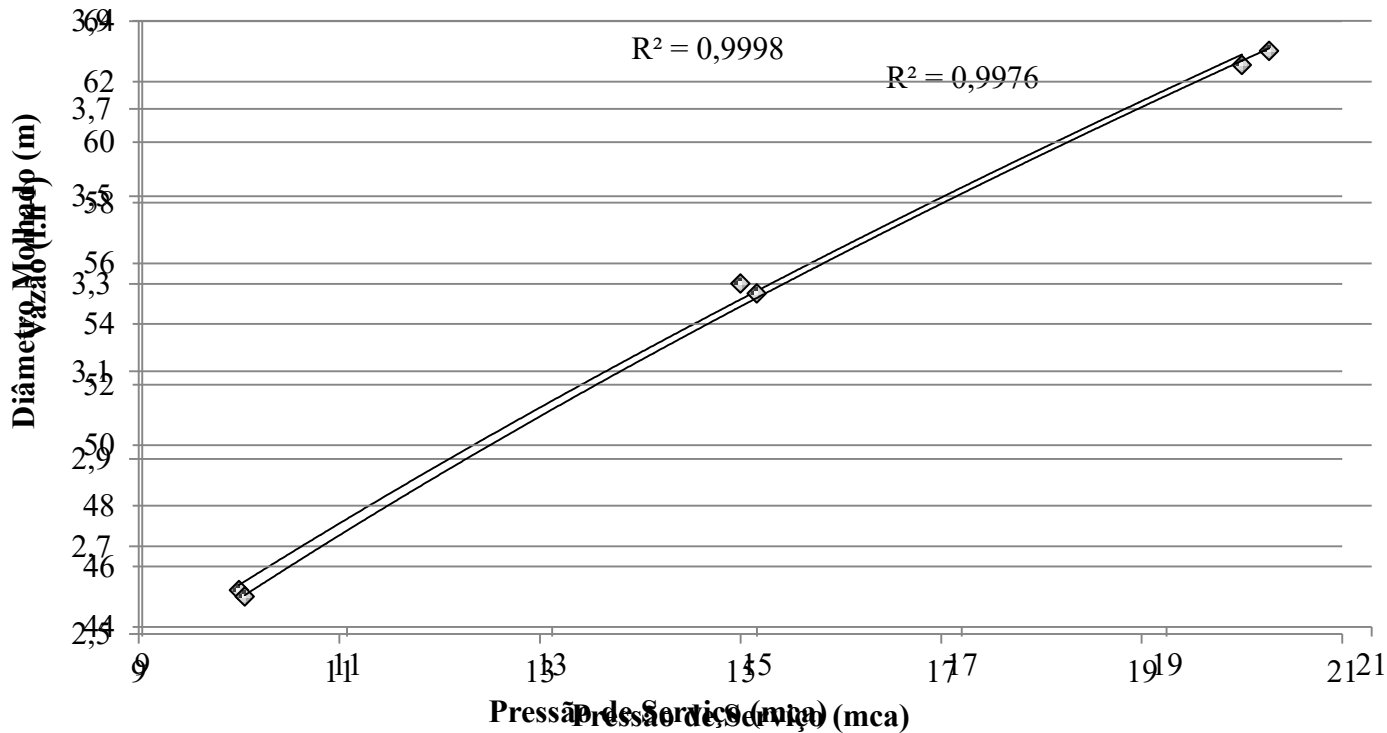
## Seleção do emissor:

Diâmetro Molhado X Pressão de Serviço

$$DM = 0,7358 \cdot PS^{0,5501}$$

Vazão X Pressão de Serviço

$$q = 14,71 \cdot PS^{0,486}$$



# III. Material e Métodos

## Metodologia de dimensionamento trecho a trecho utilizada

- ✓ Executa-se o dimensionamento trecho a trecho pelo começo da tubulação (tomada de água) e não pelo final da tubulação, como é usualmente encontrado na literatura especializada
- ✓ **Ponto de partida do dimensionamento:** Determinação das vazões nas tubulações da rede de maneira distribuída
- ✓ Exemplo (linha lateral - vazão – trecho 1 e 2):

Pré-dimensionamento da linha:

$$NTE = \left( \frac{(LLL - E1E)}{EEE} \right) + 1$$

$$NELL1 = \frac{LLL1}{EEE}$$

$$NELL2 = NTE - NELL1$$

Dimensionamento da linha:

$$QILLT1 = NTE \cdot \left( \frac{qa}{1000} \right)$$

$$QILL1T = (NTE - 1 : (\text{round}(NELL2) + 1)) \cdot \left( \frac{qa}{1000} \right)$$

$$QILL2T = ((\text{round}(NELL2)) : - 1 : 1) \cdot \left( \frac{qa}{1000} \right)$$

# III. Material e Métodos

## Equações de base para o dimensionamento da rede de distribuição de água do sistema de irrigação localizada

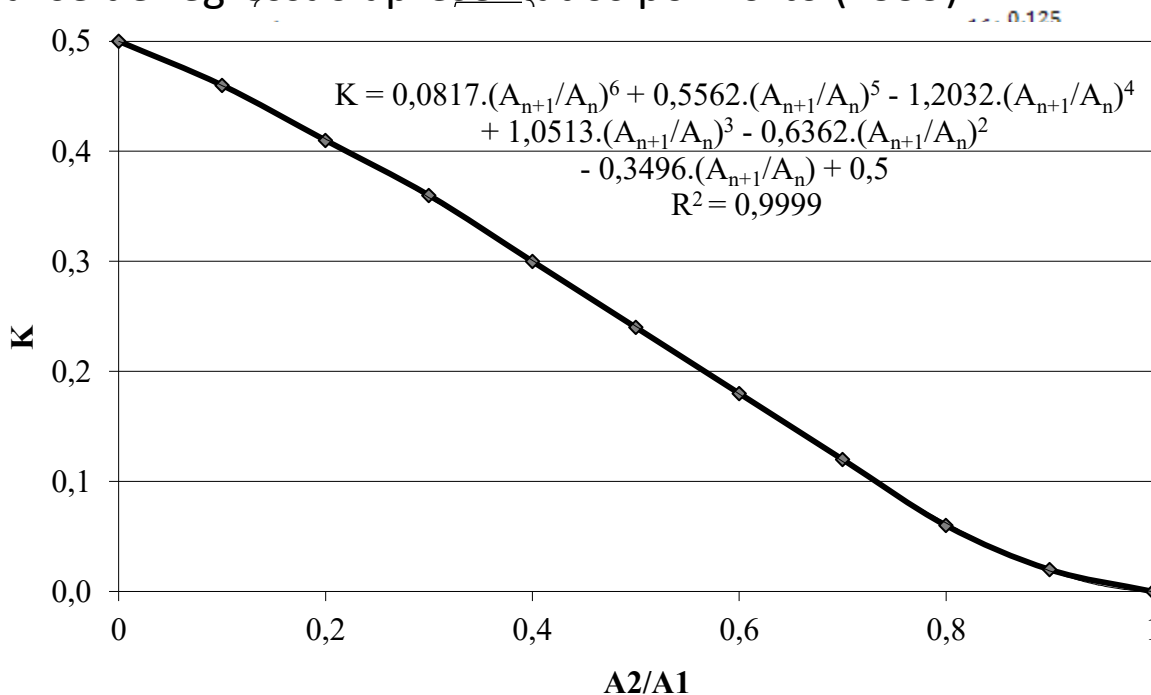
Coefficiente de atrito de perda de pressão por atrito

Coefficiente de perda de carga localizada (K) para contração brusca de diâmetros ( $A_{n+1}/A_n$ )

Dados da análise de regressão apresentados por Porto (1999)

Swamee (1970)

N - Número  
m - Expoer  
x - Relação  
demais



pressão  
relação das

# III. Material e Métodos

## Custos

### Custo Total – Função de Aptidão

#### Custos variáveis

- ✓ Resolução da ANEEL nº 7/04/2006, que é seguida pela CPF, este projeto de irrigação enquadra-se no Grupo B – (categoria do setor Rural)
- ✓  $f$  = custo total com a rede de irrigação (R\$.ano<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>)  
Tarifa de consumo de 0,1768 R\$.kW<sup>-1</sup> (desconto de 60% entre 21h30min e 06h00min - 0,0707 R\$.kW<sup>-1</sup>)
- ✓  $CEQ$  – custo total com os equipamentos de irrigação (R\$)  
 $FRC$  - fator de recuperação de capital (decimal)
- ✓  $T$  – tarifa de água e energia elétrica (R\$.ano<sup>-1</sup>.m<sup>3</sup>)  
 $CATG$  – custo total com água (R\$.ano<sup>-1</sup>)

#### Custos fixos

$$FRC = \frac{J(J+1)^V}{(J+1)^V - 1}$$

$$CF = FRC . CEQ$$

# III. Material e Métodos

## **Variáveis de decisão:**

- ✓ Linha lateral (dois diâmetros – LLL1 e LLL2)
- ✓ Linha de derivação (quatro diâmetros – LLD1, LLD2, LLD3 e LLD4)
- ✓ Linha secundária (quatro diâmetros – LLS1, LLS2, LLS3 e LLS4)



# III. Material e Métodos

## Restrições hidráulicas

- Velocidade máxima em cada trecho das tubulações da rede de irrigação;
- Variação máxima de perda de carga permitida na linha lateral:  
 $PCTLL = 0,55.DHV$ ;
- Variação máxima de perda de carga permitida na linha de derivação:  
 $PCTLD = 0,45.DHV$ ;
- Faixa de pressão mínima e máxima permitida no microaspersor (segundo o fabricante):  $10 \text{ mca} \leq h_e \leq 20 \text{ mca}$ ;
- Uniformidade estatística de distribuição de vazão dos microaspersores na linha lateral:  $UEST \geq 90\%$ ;

# III. Material e Métodos

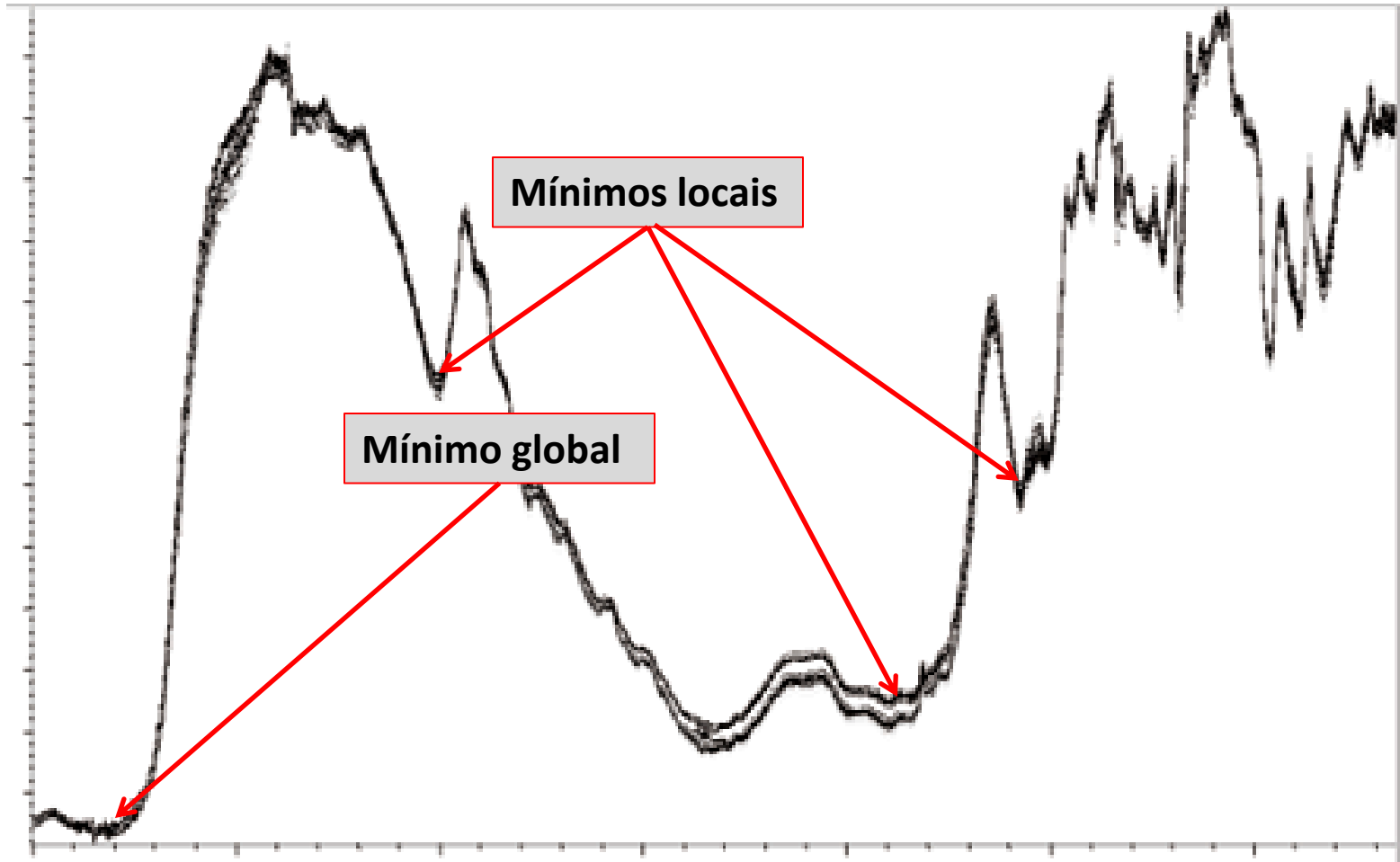
## Uniformidade de emissão e uniformidade estatística

$$UE = 100. \frac{qn}{\bar{q}}$$

$$UE_b = 100.(1 - 1,27. e^{-0,5} . CVF). \frac{qn}{\bar{q}}$$

$$U_s = 100.(1 - CVE) = 100. \left(1 - \frac{Sq}{\bar{q}}\right)$$

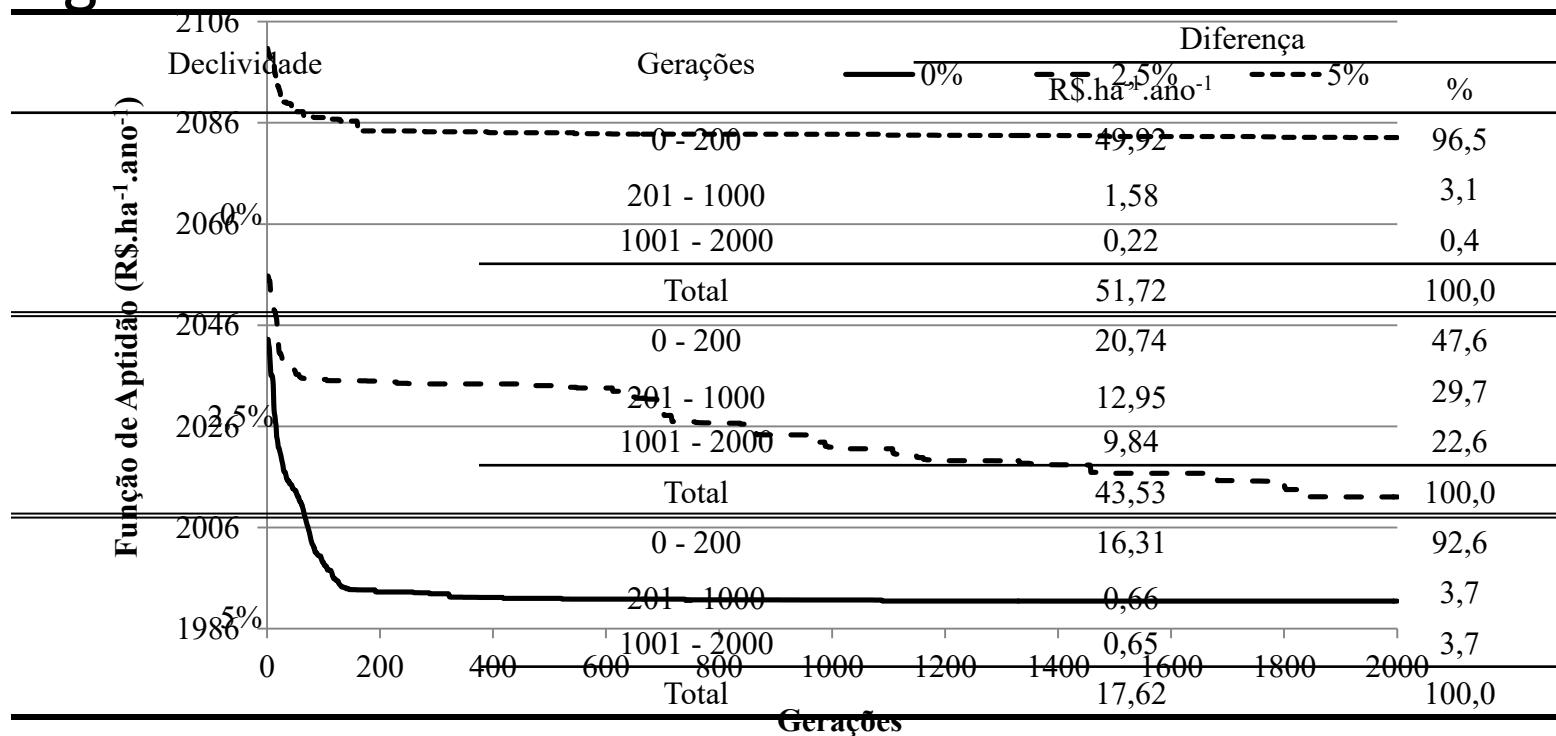
# III. Material e Métodos



# IV. Resultados e Discussão

Diferenças na convergência dos valores da função de aptidão entre conjuntos de gerações para as declividades de 0, 2,5 e 5%, com tarifa de água de  $0,01 \text{ R}\$.(\text{m}^3)^{-1}$  e energia elétrica de  $0,1768 \text{ R}\$.\text{kW}^{-1}$

## Eficiência do sistema de otimização por algoritmos genéticos



# IV. Resultados e Discussão

## Análise econômica variando a declividade e a tarifa de água

Variáveis da Análise de Sensibilidade			Custos Anualizados por Hectare da Rede de Irrigação			
Declividade	Água	Energia Elétrica	Equipamentos	Energia Elétrica	Água	Total
----- % -----			----- R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> -----			
0	50	100	1611,20	344,57	20,14	1975,91
2,5	50	100	1576,48	396,64	20,14	1993,26
5	50	100	1573,55	467,55	20,14	2061,24
0	75	100	1611,20	344,57	30,21	1985,98
2,5	75	100	1576,48	396,64	30,21	2003,33
5	75	100	1573,55	467,55	30,21	2071,31
0	100	100	1611,20	344,57	40,28	1996,05
2,5	100	100	1576,48	396,64	40,28	2013,40
5	100	100	1573,55	467,55	40,28	2081,38
0	125	100	1611,20	344,57	50,35	2006,12
2,5	125	100	1576,48	396,64	50,35	2023,47
5	125	100	1573,55	467,55	50,35	2091,45
0	150	100	1611,20	344,57	60,42	2016,19
2,5	150	100	1576,48	396,64	60,42	2033,54
5	150	100	1573,55	467,55	60,42	2101,52

**Menor Custo Total**

**Maior Custo Total**

# IV. Resultados e Discussão

## Análise econômica variando a declividade e a tarifa de energia elétrica

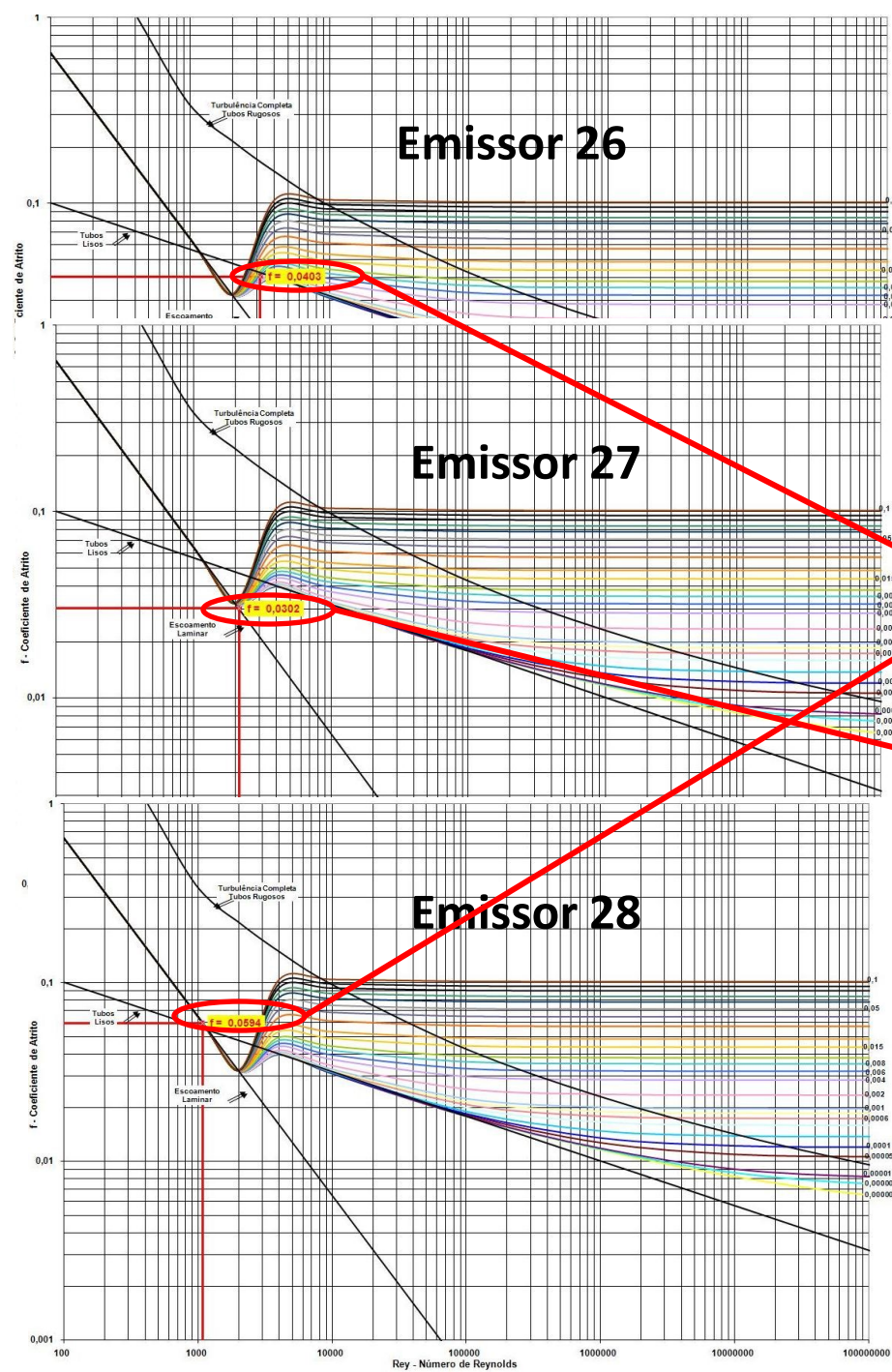
Variáveis da Análise de Sensibilidade			Custos Anualizados por Hectare da Rede de Irrigação				
Declividade	Água	Energia Elétrica	Equipamentos	Energia Elétrica	Água	Total	
----- % -----			R\$.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> -----				
0	100	50	1603,65	172,49	40,28	1816,42	<b>Menor Custo Total</b>
2,5	100	50	1585,92	200,80	40,28	1827,01	
5	100	50	1586,58	226,62	40,28	1853,48	
0	100	75	1601,75	258,72	40,28	1900,74	
2,5	100	75	1579,29	301,39	40,28	1920,95	
5	100	75	1574,47	350,38	40,28	1965,14	
0	100	125	1603,34	431,39	40,28	2075,01	
2,5	100	125	1573,44	500,44	40,28	2114,17	
5	100	125	1574,57	566,71	40,28	2181,56	
0	100	150	1571,37	521,84	40,28	2133,48	
2,5	100	150	1577,71	601,27	40,28	2219,26	
5	100	150	1591,43	680,42	40,28	2312,13	

# IV. Resultados e Discussão

Potência requerida na motobomba variando a declividade e a tarifa de energia elétrica

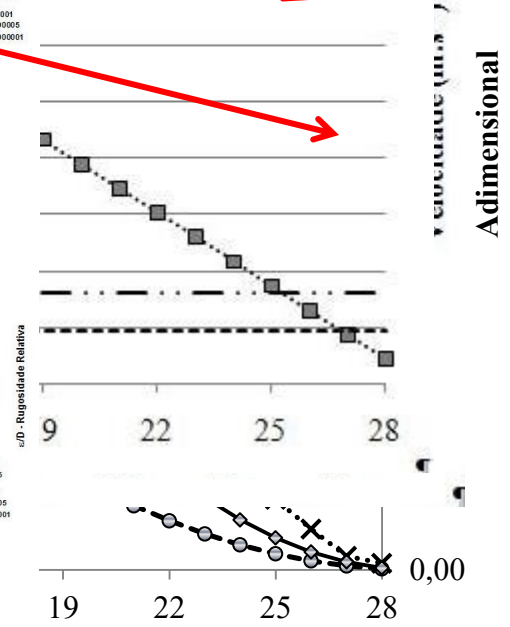
Declividade	Porcentagem da Tarifa Básica de Energia Elétrica				
	50%	75%	100%	125%	150%
----- % -----	----- cv -----				
0	151	151	151	151	152
2,5	176	176	174	175	176
5	199	205	205	199	199

# Discussão Lateral



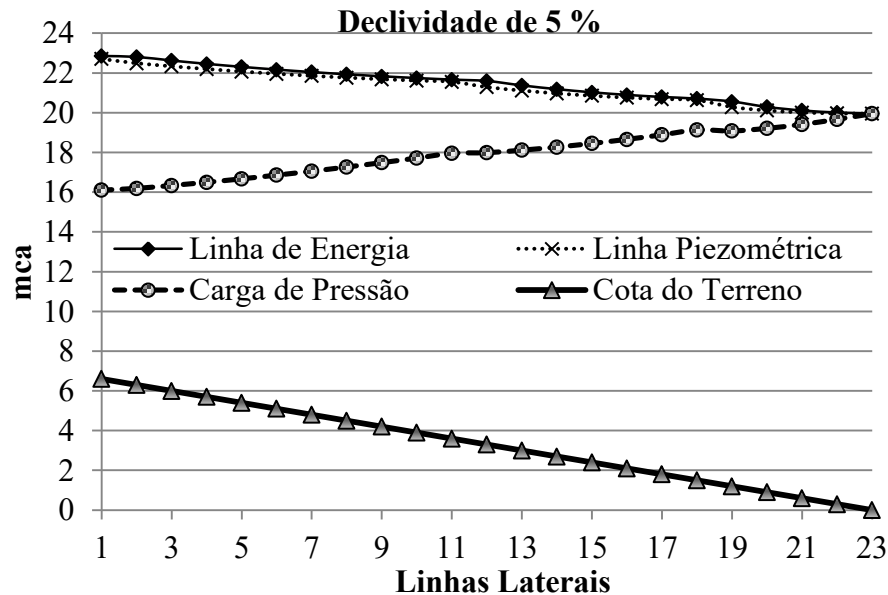
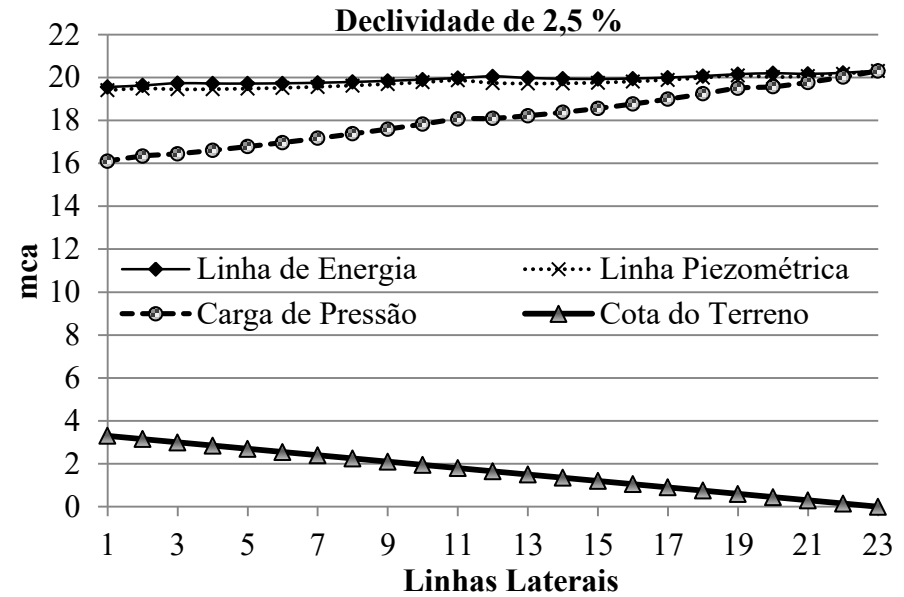
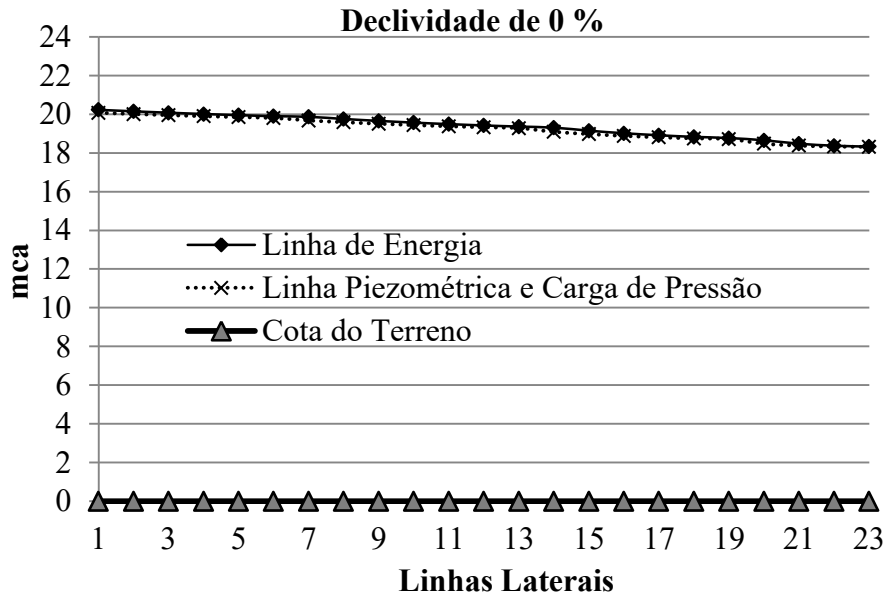
Contração da Tubulação  
Emissores

nos Emissores  
Escoamento Turbulento -  $Re = 4000$   
Escoamento Laminar -  $Re = 2300$





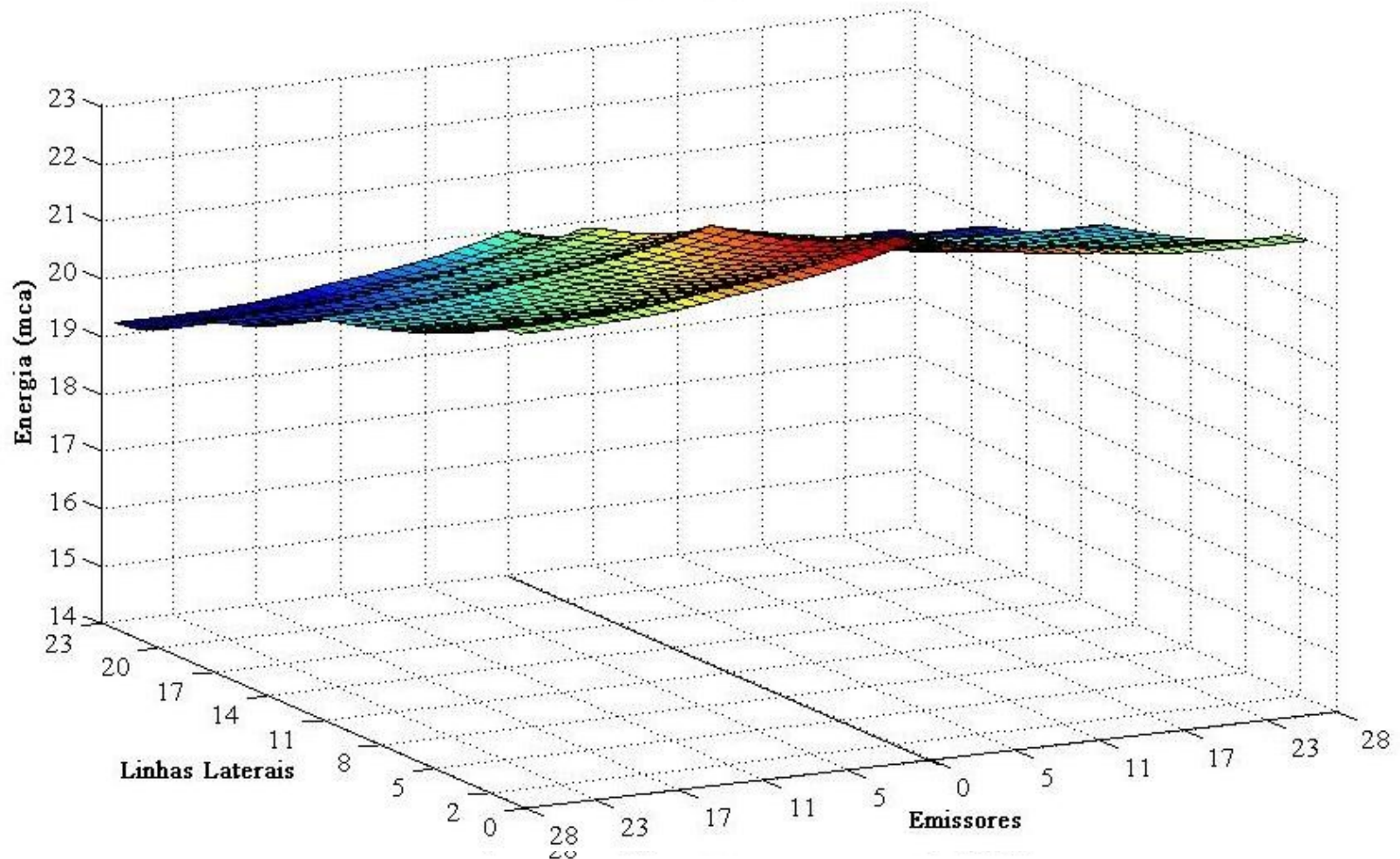
# IV. Resultados e Discussão



# IV. Resultados e Discussão

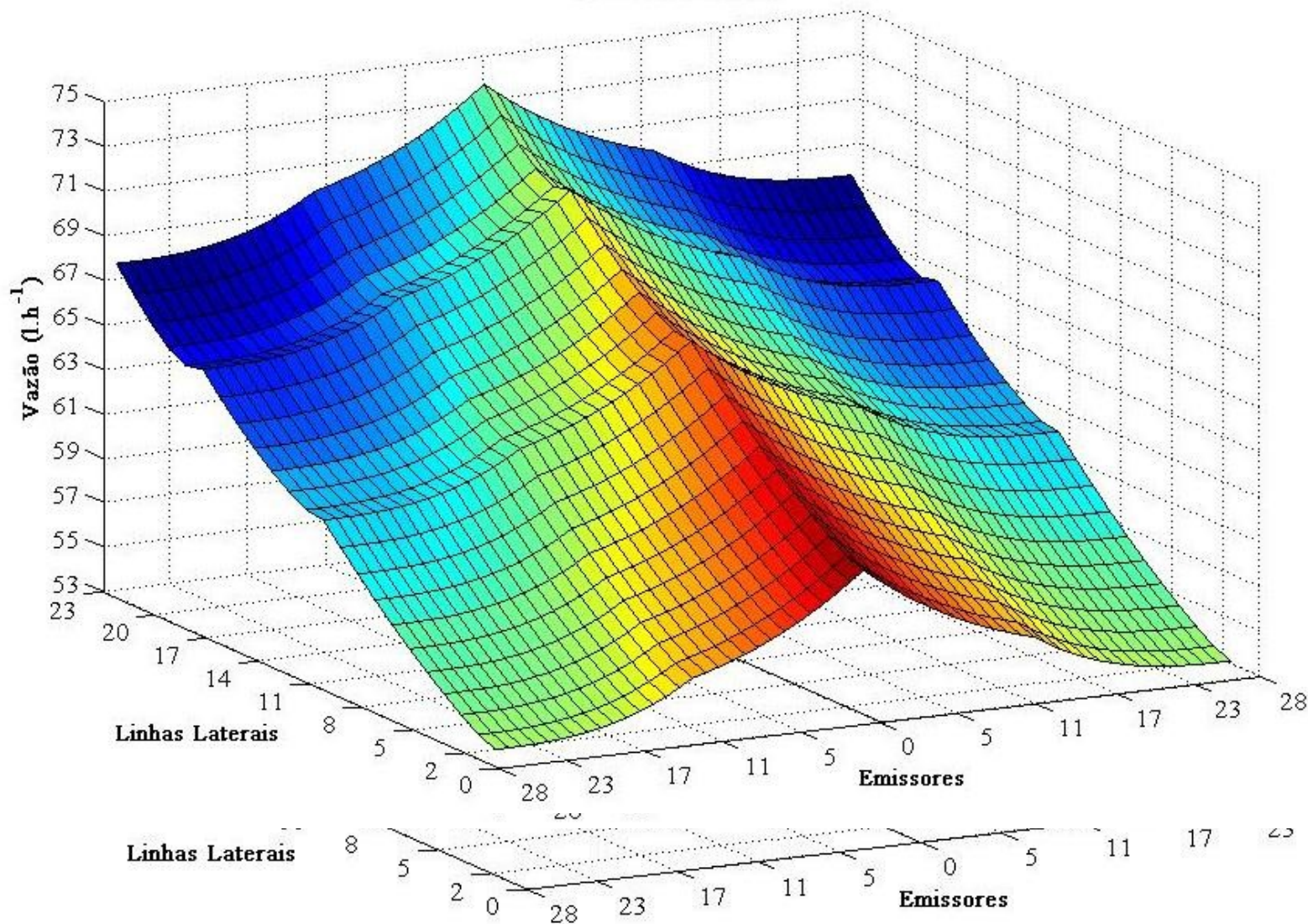
## Análise hidráulica da unidade operacional: carga efetiva (energia)

Declividade de 5 %



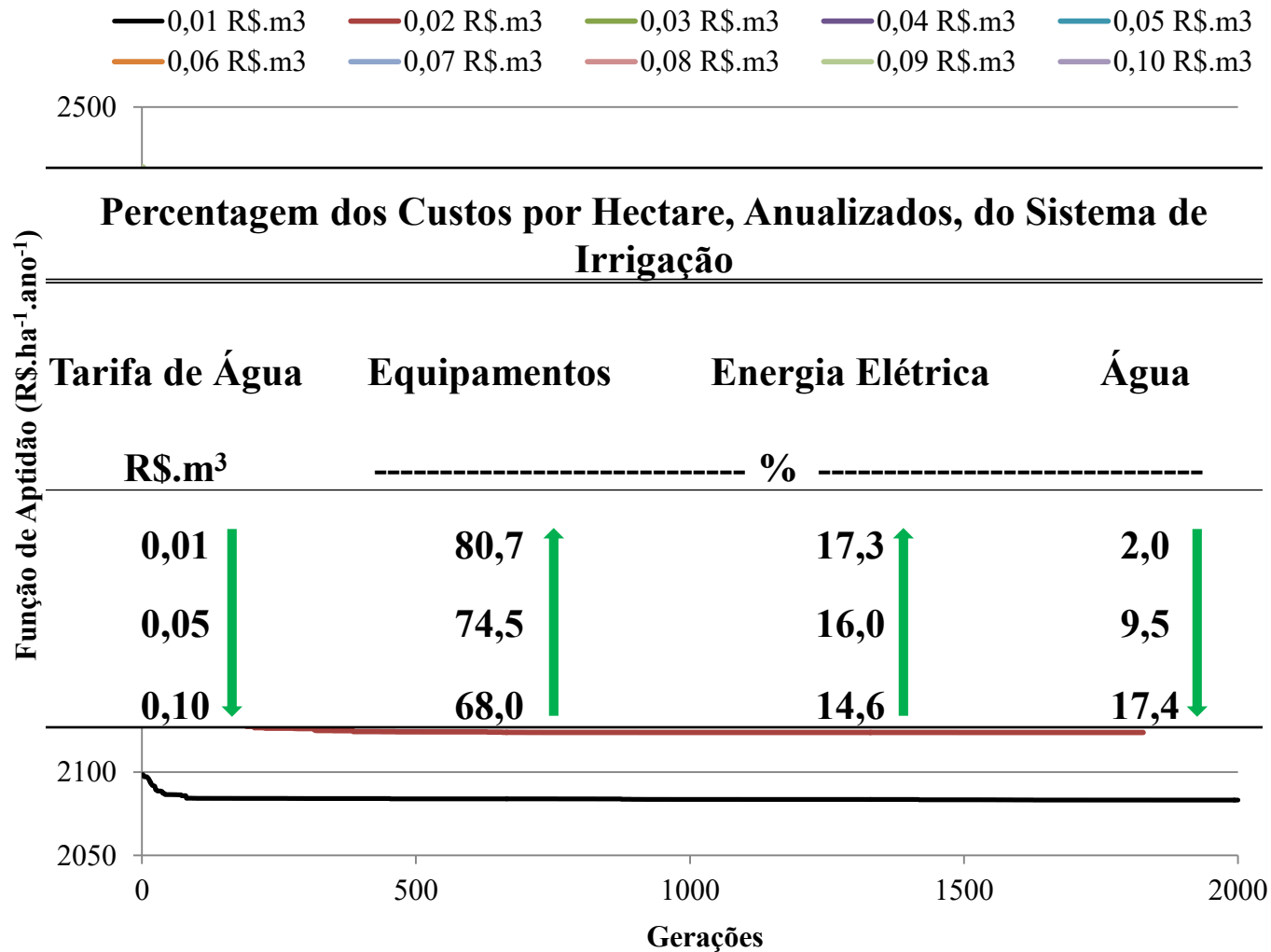
# IV. Resultados e Discussão

Declividade de 5 %



# IV. Resultados e Discussão

## Estudo da grande variação na tarifação da água

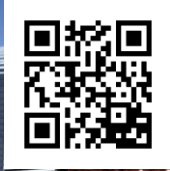


# V. Conclusões

- ✓ Fácil manuseio para usuários de linguagem C ou C++ e que tenham algum conhecimento do MatLab
- ✓ Os arquivos das funções de dimensionamento não recorrem a cálculo de derivadas (comuns em otimização clássica)
- ✓ Possibilita a modificação de grande quantidade de dados de entrada para pessoas que tem alguma afinidade com o dimensionamento de redes de irrigação localizada
- ✓ O processamento do código é muito exigente em termos de memória para processamento por computadores pessoais
- ✓ Devido as características intrínsecas no algoritmo genético, a resolução não fica limitada em ótimos locais, além de, em teoria, poder encontrar o ótimo global
- ✓ As variáveis otimizadas, que são os comprimentos e seus respectivos diâmetros, são expressas em diâmetros comerciais disponíveis na base de dados de entrada do programa, o que facilita a utilização do programa como ferramenta no auxílio decisório para dimensionamentos reais

# V. Conclusões

✓ Por fim, conclui-se que o algoritmo genético utilizado para o dimensionamento otimizado da rede de irrigação proposta obteve resultados satisfatórios. A análise de sensibilidade econômica e, principalmente, a análise hidráulica das diferentes redes otimizadas pelo programa, concretizaram a validação do dimensionamento e da otimização pelos algoritmos genéticos



Obrigado pela atenção!



**A tese de doutorado desta apresentação pode ser encontrado nos seguintes repositórios:**

**<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/304>**

**<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-11112008-091041/pt-br.php>**

**Vídeo da Apresentação:**

**<https://www.youtube.com/watch?v=JEylcWXkeV8>**