



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA



Núcleo de Engenharia de Água e Solo

www.neas.ufrb.edu.br



OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

**Vital Pedro da Silva Paz
Aureo Silva de Oliveira**

WINOTEC 2008 – Fortaleza- CE, Junho de 2008

Complexidade



Programa Despoluição de
Bacias Hidrográficas

Inf. Hidrológica
- Mapeamento
- Informação
- Monitoramento



Semi Árido:
- ProÁgua
- Alocação Racional
da Água
- Sistemas Simplificados
de Abastecimento

Formação de Comites



Bacias Hidrográficas

Regiões hidrológicas distintas
Disponibilidades variadas
Conflitos de uso da água
Degradação e qualidade
Restrições ambientais



BRASIL: 8.5 milhões ha

OS RECURSOS NATURAIS - IMPORTÂNCIA FUNDAMENTAL NA ECONOMIA

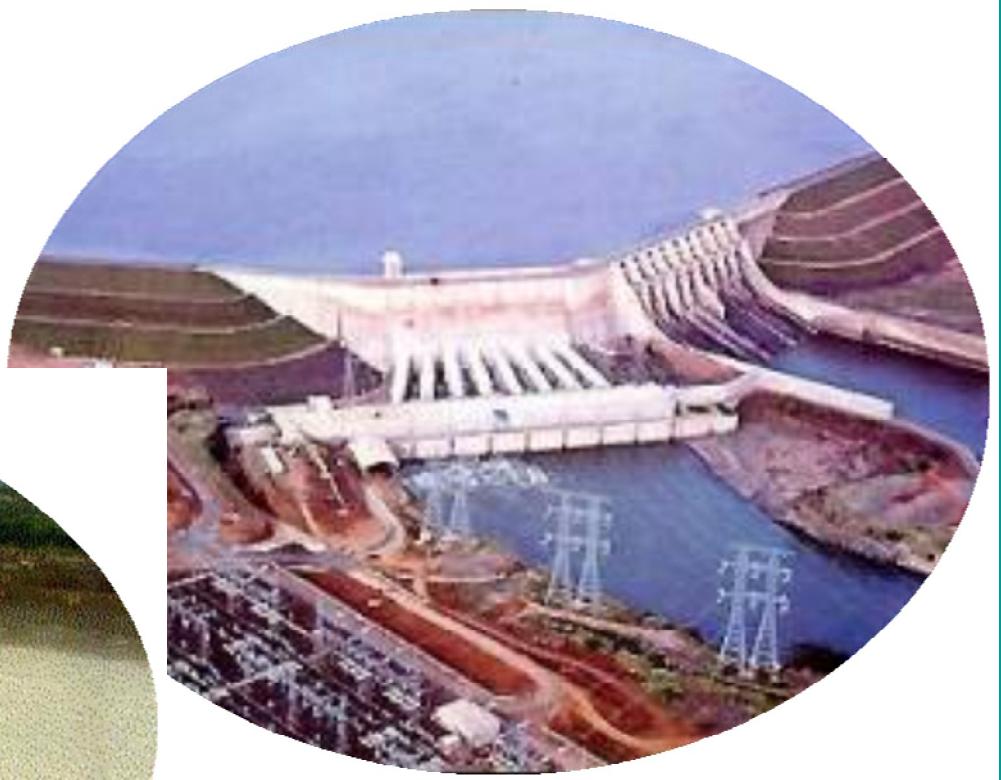
Setor Agroindustrial:	40% PIB
Setor Florestal:	4% PIB
Setor de Pescado:	1% PIB

Café, soja e laranja = 31% das exportações

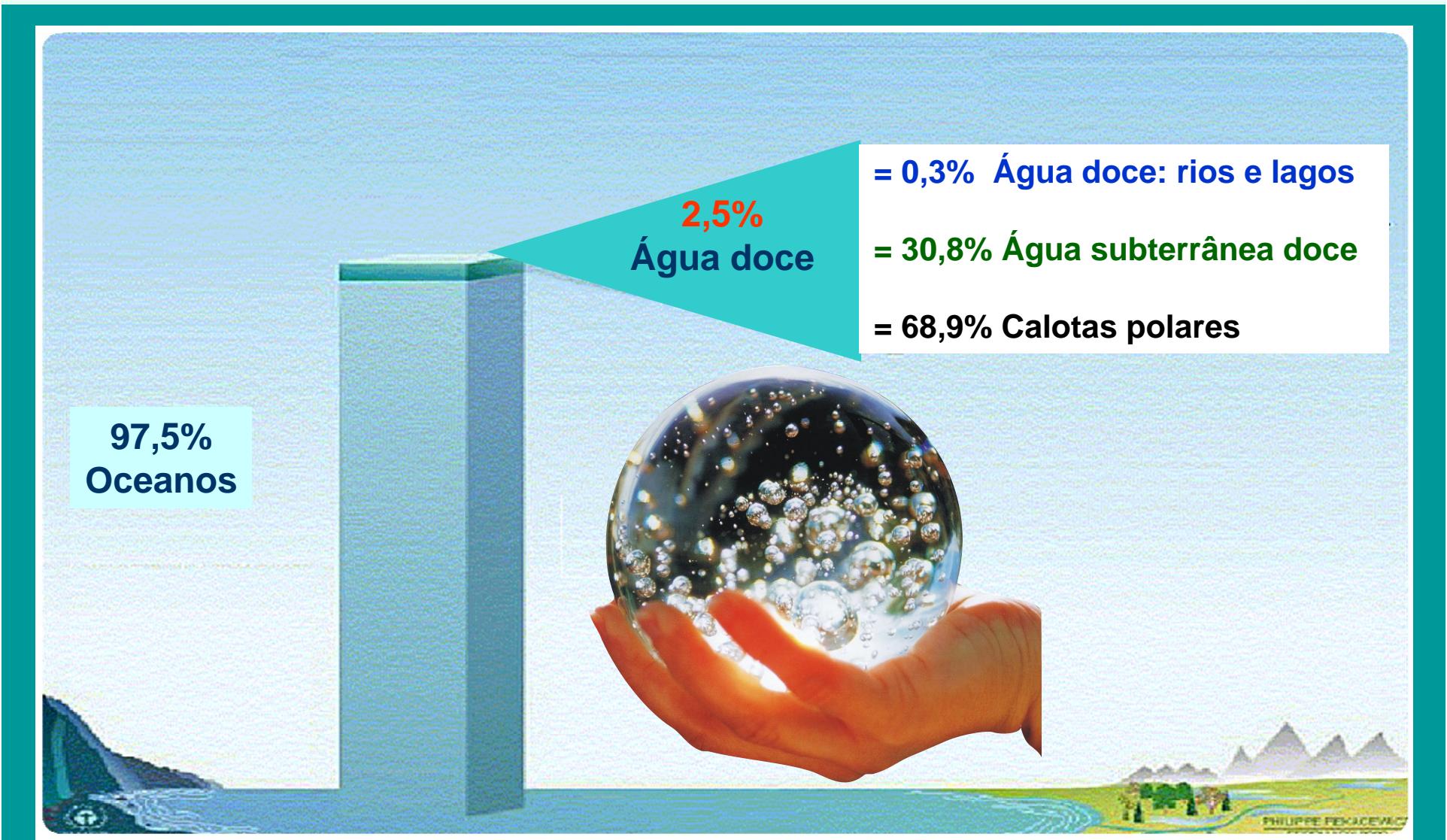
OS RECURSOS NATURAIS - IMPORTÂNCIA FUNDAMENTAL NA ECONOMIA

Produção de Energia

92% Hídrica
8% Termo



ÁGUAS - MUNDO



Fonte: Adaptado Tundisi, 2003

RECURSOS HÍDRICOS - BRASIL

✓ 8% da água doce do mundo



✓ 18% do potencial total de água superficial



ÁGUA SUBTERRÂNEA

Atualmente tem ocorrido um expressivo incremento na exploração da água subterrânea

Potencial: 112 mil km³

200.000 poços em exploração
10.000 novos/ ano

São Paulo: 15 milhões de pessoas
- 50% das indústrias

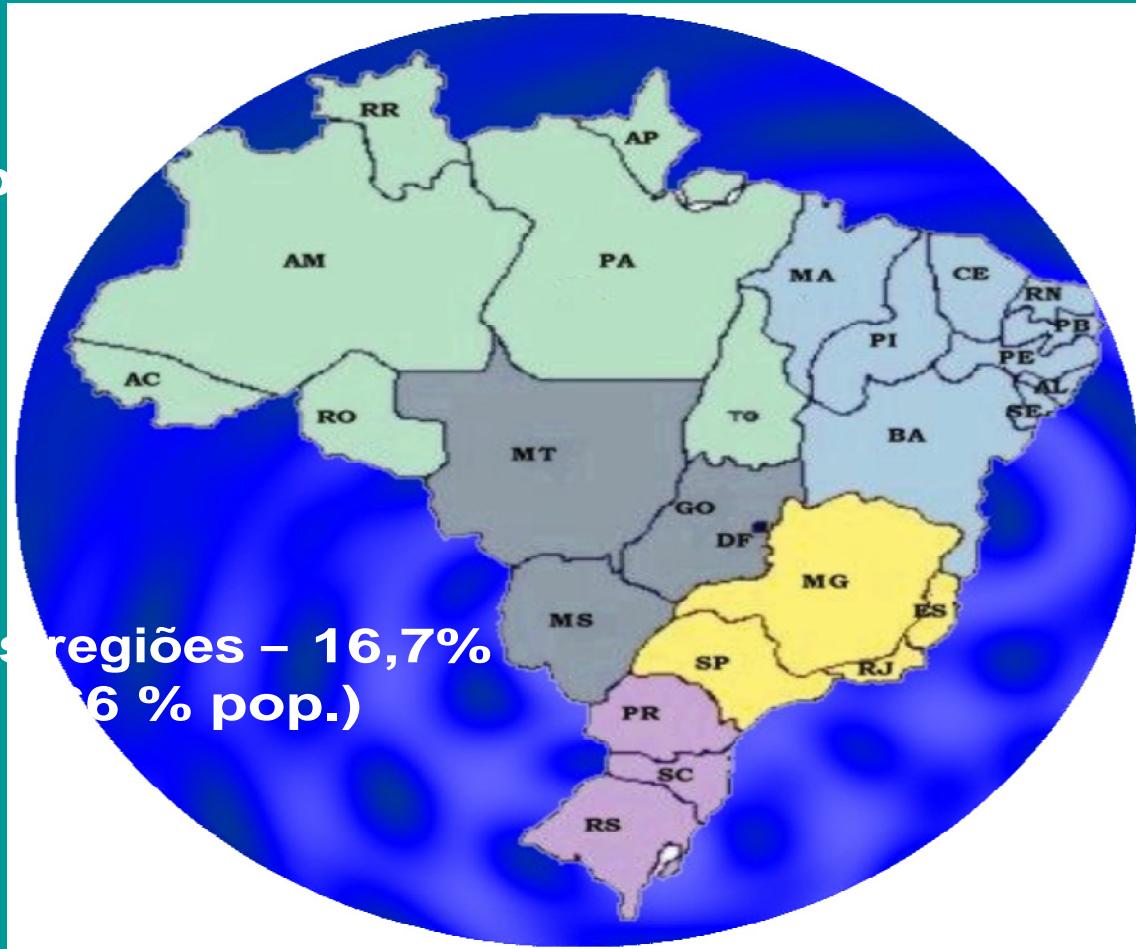


DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA - BRASIL

Amazônia
(7 % p.)

Sudeste – 3,3%
(7 % pop.)

Outras regiões – 16,7%
(16 % pop.)



QUALIDADE DA ÁGUA

- Cargas urbanas:
 - Cidades e áreas metropolitanas
- Complexos de siderurgia e outras indústrias
- Mineração
- Agroindústrias



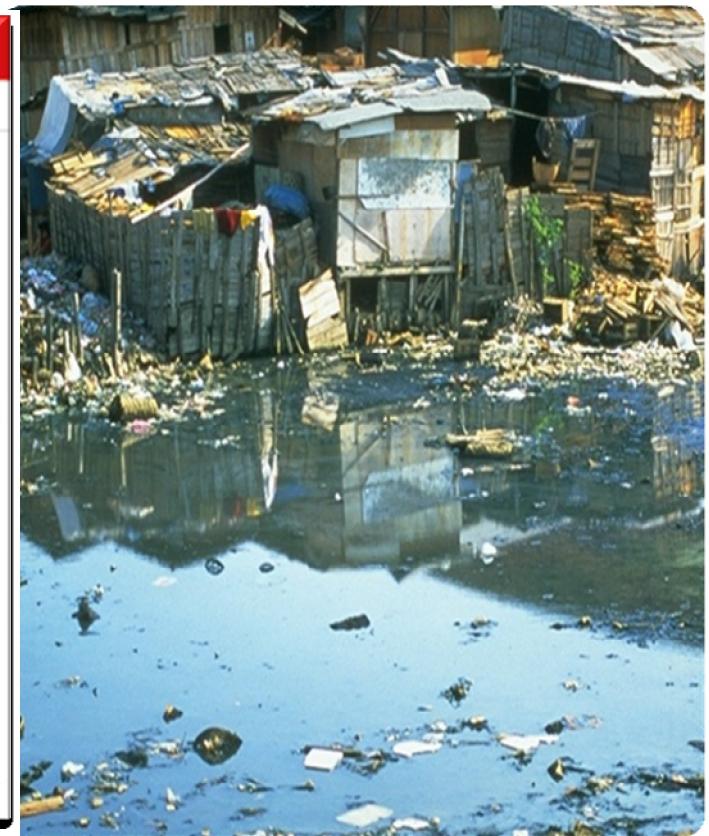
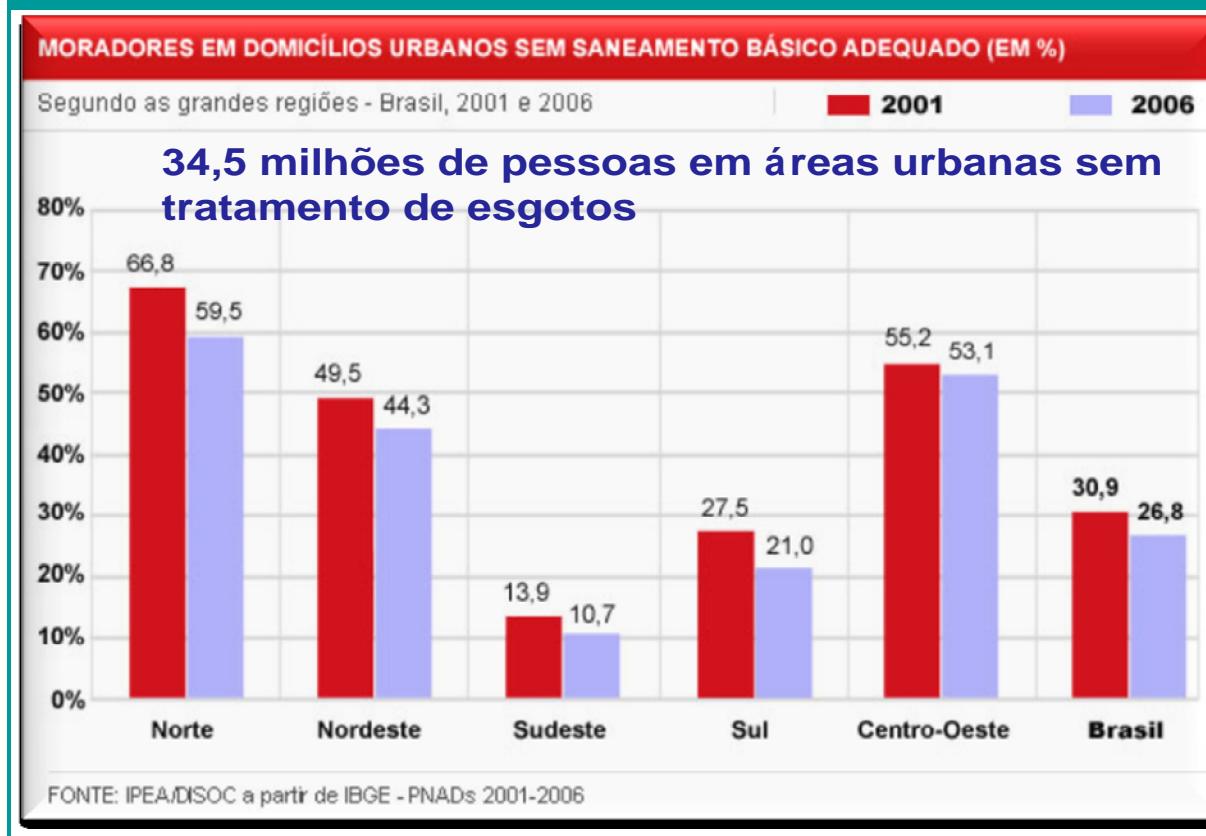
QUALIDADE DA ÁGUA

- **Uso inadequado:**
Irrigação
 - Práticas e sistemas
 - Baixa eficiência de aplicação
 - Fertilização excessiva
 - Qualidade da água



PERDAS E QUALIDADE DA ÁGUA

- 45% de perdas em sistemas públicos, municipais e industriais que competem com outras áreas/ setores da economia

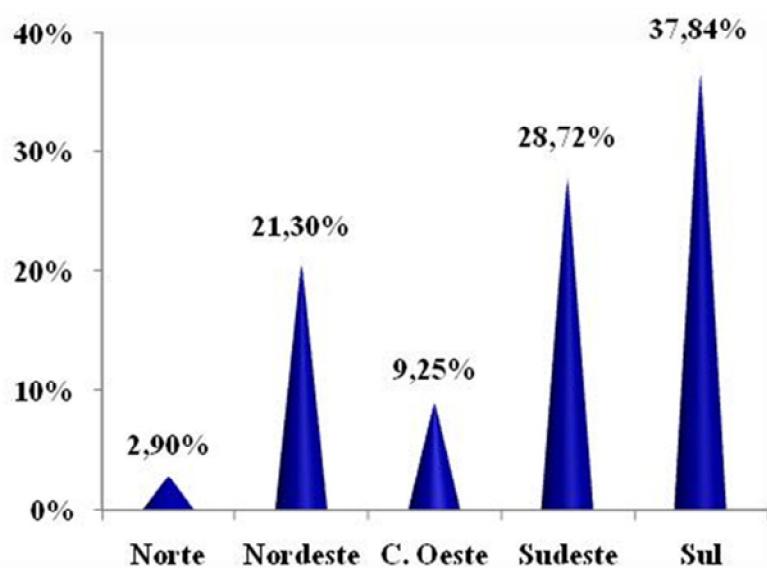
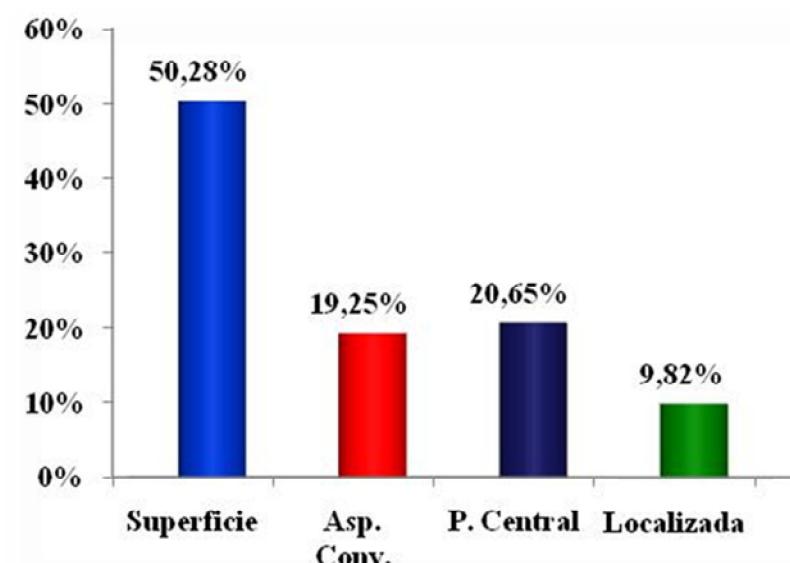


AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL



METODOS / SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

Região	Método / Sistema de Irrigação				Total
	Superfície	Asp. Conv.	P. Central	Localizada	
Norte	84.005	9.125	2.000	4.550	99.680
Nordeste	207.359	238.223	110.503	176.755	732.840
Centro Oeste	63.700	35.060	193.880	25.570	318.210
Sudeste	219.330	285.910	366.630	116.210	988.080
Sul	1.155.440	94.010	37.540	14.670	1.301.660
Brasil	1.729.834	662.328	710.553	337.755	3.440.470

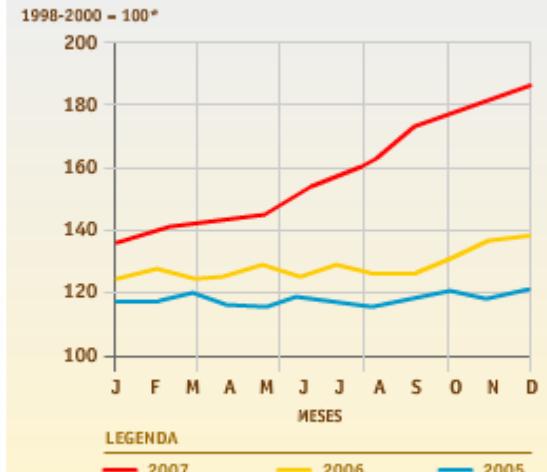


Christofidis, 2007

CRISE ALIMENTAR: DEMANDA / FATORES NATURAIS / PREÇOS

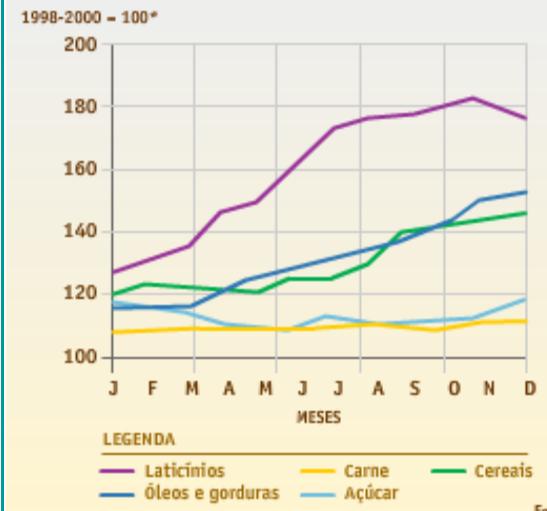


Aumento de preços dos alimentos, de 2005 a 2007



*Em comparação ao período de 1998-2000

Aumento de preço por alimento em 2007

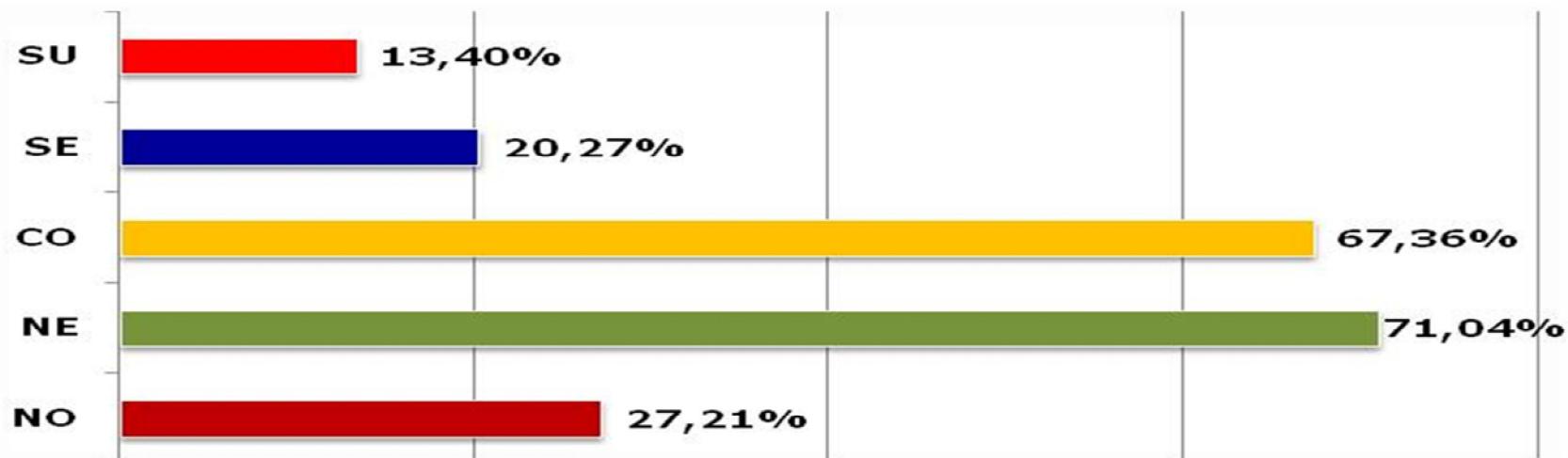


Fonte: FAO



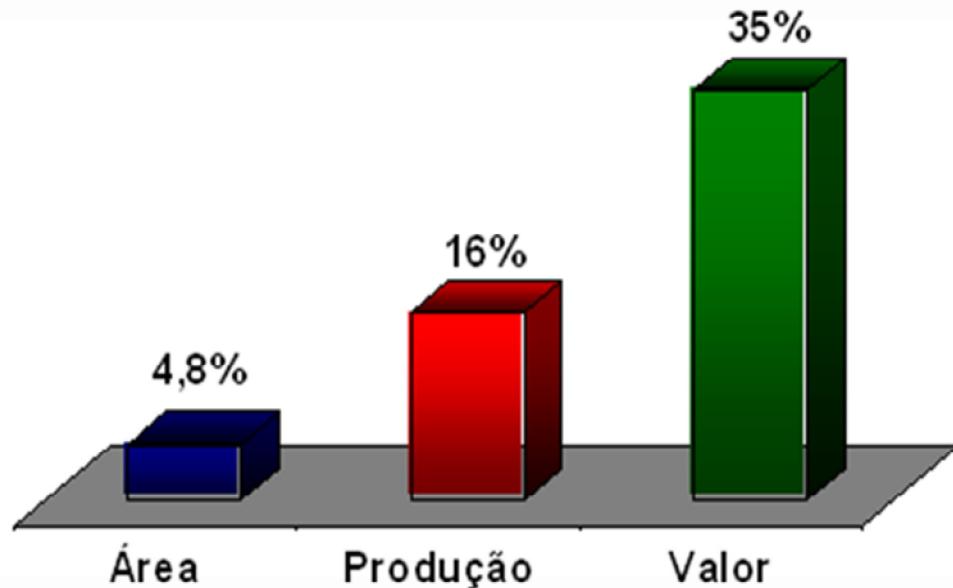
EVOLUÇÃO DA ÁREA IRRIGADA NO BRASIL

Variação da área irrigada no Brasil, por região e sistema, 1998/2004. (FONTE: Christofidis, 2007)



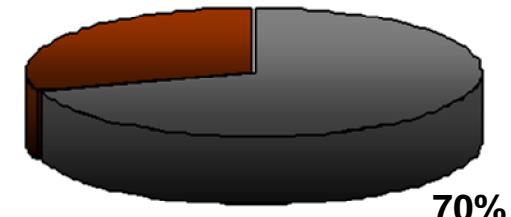
1998 - 2004 (%)				
Região	Superfície	Asp. Conv.	Pivô Central	Localizada
NO	2,4	158,5	412,8	579,1
NE	25,9	41,7	31,9	124,4
CO	10,9	-11,4	103,4	171,8
SE	-7,5	19,3	5,1	78,6
SU	5,6	76,6	79,0	44,7
BRASIL	5,7	31,3	29,4	87,2

IRRIGAÇÃO E AGRONEGÓCIO NO BRASIL



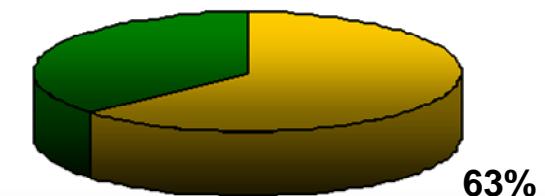
EXPORTAÇÕES

AGRONEGÓCIO 30%



EMPREGO

AGRONEGÓCIO 37%

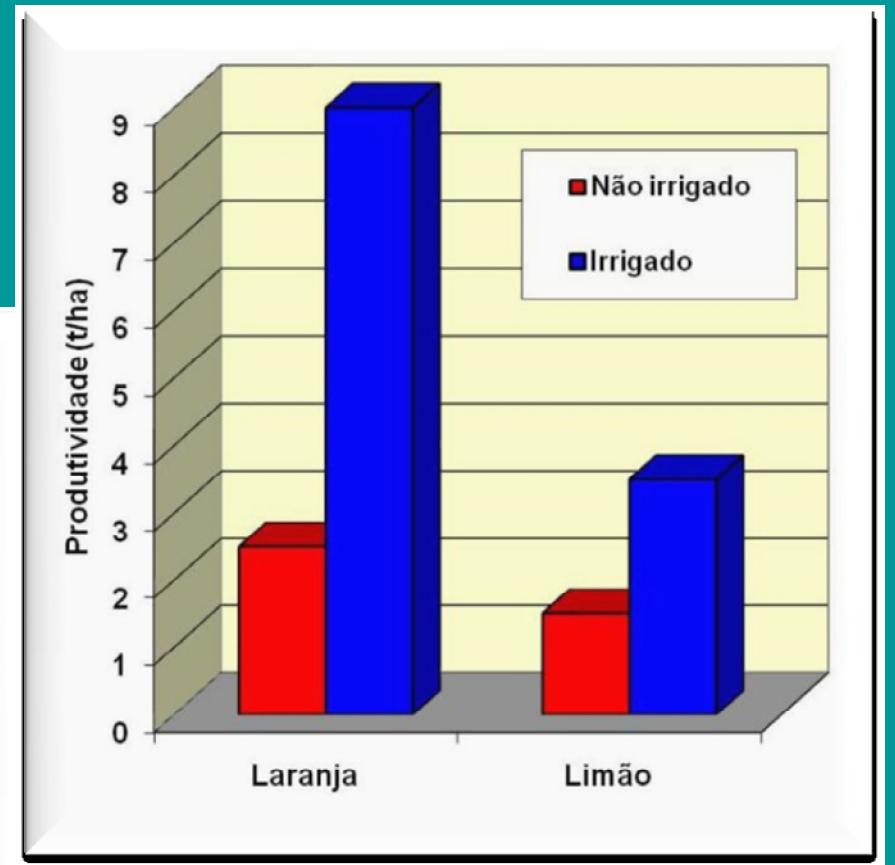
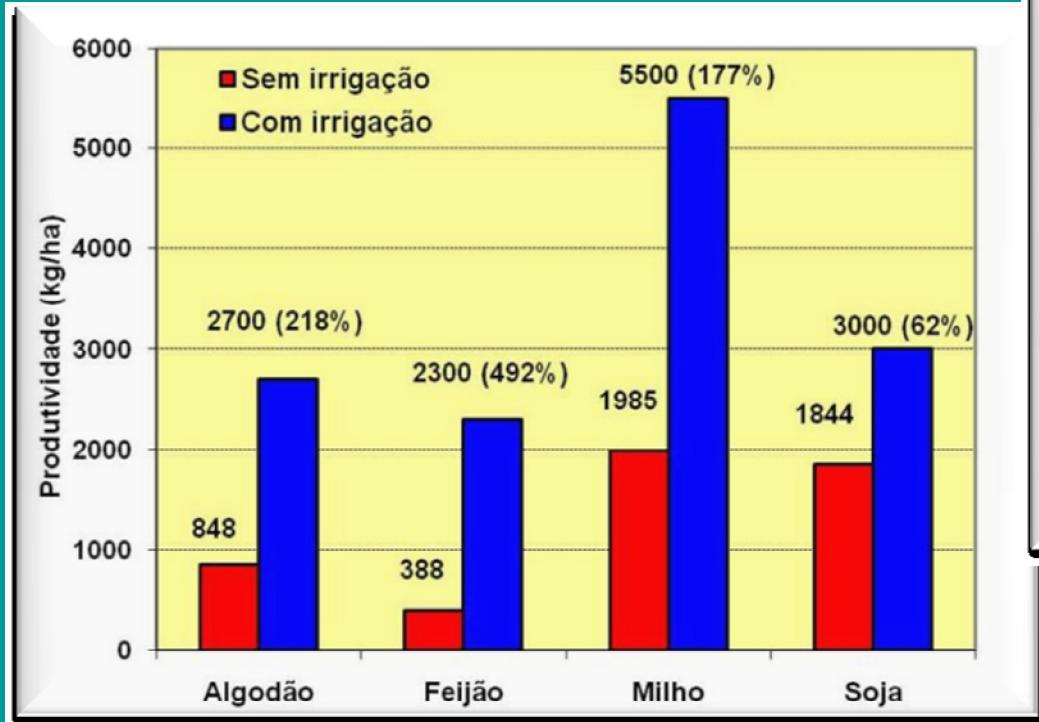


60% da produção é transportada por rodovias

Perdas de graos. 5% - 10% (transporte em rodovias)

Soja – 1,8 milhões de toneladas/ano (2005)

IRRIGAÇÃO E PRODUTIVIDADE



OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA

- Irrigação como estratégia

- Produção
- Produtividade
- Emprego e renda

- Qualidade
- Competitividade

- Irrigação como atividade de risco

- Negócio
- Investimento
- Lucro (?)



OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA

- É fazer uso inteligente da água
- É ser eficiente com a aplicação

> Quantidade necessária > Momento adequado

- Método de controle



OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA

Não adotar um método de controle

Déficit Excesso

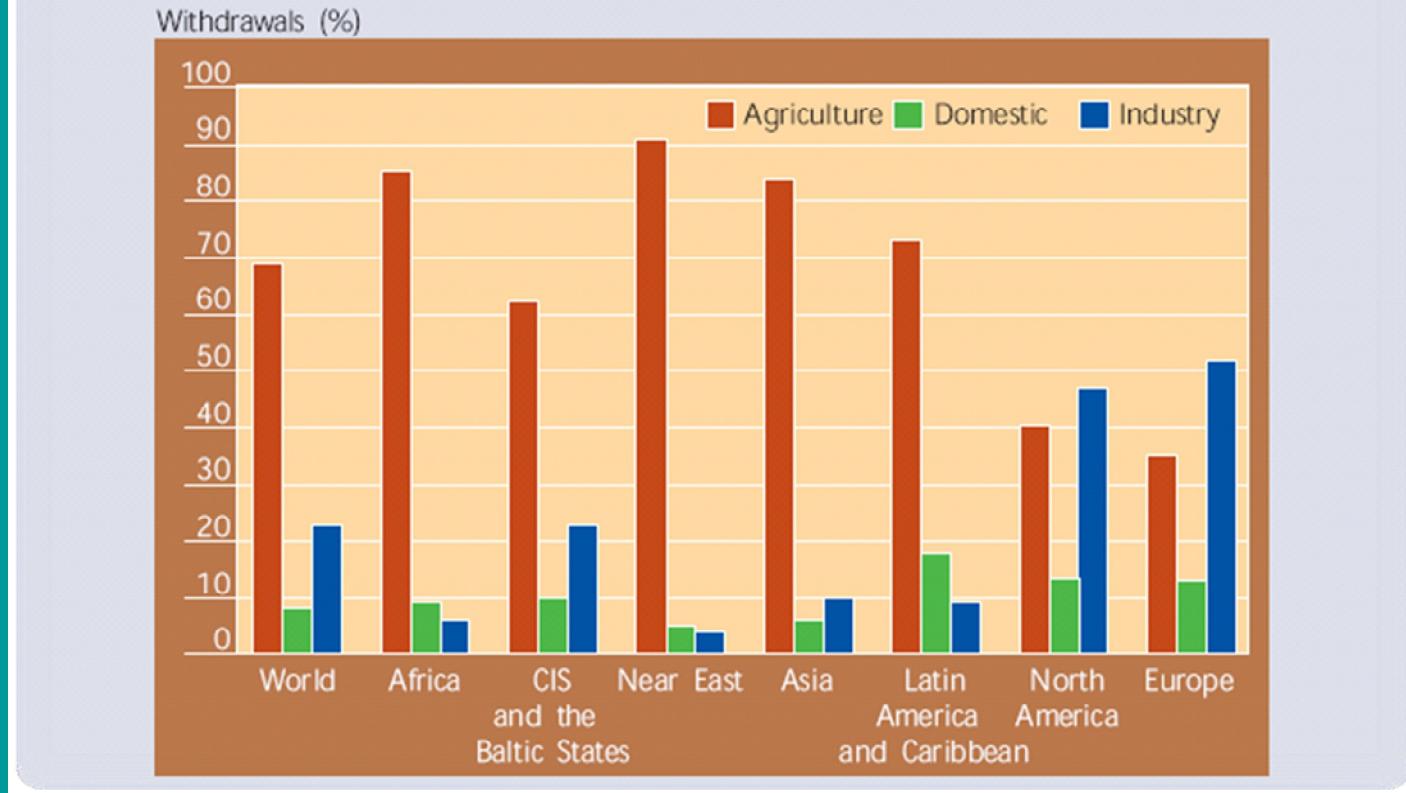
“Se a irrigação fosse utilizada de forma racional seriam economizadas, aproximadamente, 20% da água e 30% da energia consumidas”

Energia: 20% - aplicação adequada de água
10% - operação e dimensionamento

USO MÚLTIPLA DA ÁGUA

Figure 2 Water withdrawals by region and by sector

Source: Crops and drops. FAO, 2002



IMPORTÂNCIA DO USO EFICIENTE: Um acréscimo na eficiência proporciona um aumento significativo na disponibilidade para outros usos

USO MÚLTIPLO DA ÁGUA



20 m^3 de água / 1 m^3 cerveja



2500 m^3 de água / 1 ton.

IMPORTÂNCIA DO USO EFICIENTE: Um acréscimo na eficiência proporciona um aumento significativo na disponibilidade para outros usos

OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA

Otimizar >>> Melhoria da Eficiência

Exemplo de economia de água

- Lâmina líquida = 5 mm/ dia x 4 dias = 20,0 mm

✓ Eficiência = 70 %

$$Lb = \frac{20,0}{0,70} = 28,6 \text{ mm}$$

✓ Eficiência = 80 %

$$Lb = \frac{20,0}{0,80} = 25,0 \text{ mm}$$

Diferença = 3,6 mm

OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA

Diferença $\approx 3,5$ mm

$$Dif = 3,5 \text{ mm} = \frac{3,5 \text{ l}}{\text{m}^2} = \frac{35 \text{ m}^3}{\text{ha}}$$

- Área = 1000 ha (10 pivô centrais)

$$Dif = \frac{35 \text{ m}^3}{\text{ha}} 1000 \text{ ha} = 35.000 \text{ m}^3$$

35 milhões de litros

OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA

Volume: 35 milhões de litros

- Consumo médio: 140 - 200 litros/ hab/ dia

$$\frac{35.000.000 \text{ litros}}{150 \text{ litros/ hab.}} = 233.300 \text{ hab/ 4 dias}$$

58.000 hab/dia

Luiz Eduardo Magalhães = 25.000 hab

OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA

Pensando

Cenário 1: Energia

$Q = 375 \text{ m}^3/\text{h}$

$JT = 20 \text{ h/dia}$

$Hm = 50 \text{ m}$

$Pot = 128 \text{ Cv}$

$TF = 2400 \text{ h/ano}$

$CEn = 0,08 \text{ R\$/Cvh}$

$CTe = 24.576,00 \text{ R\$/ano}$

Cenário 2: Área

$Q = 375 \text{ m}^3/\text{h}$

$ET = 5,0 \text{ mm/dia}$

$TR = 4 \text{ dias}$

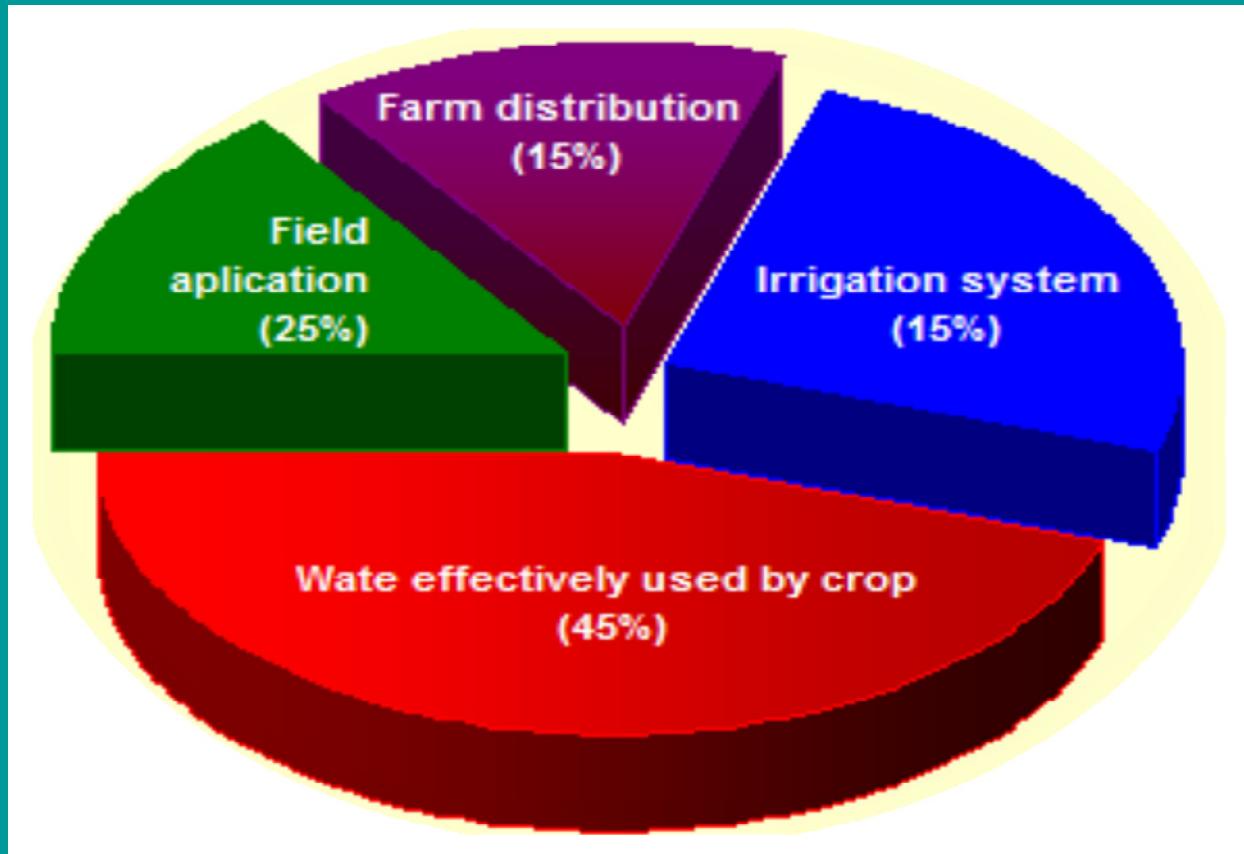
$PI = 4 \text{ dias}$

$JT = 20 \text{ h/dia}$

$Ef = 80\%$

$A = 119,90 \text{ ha}$

OTIMIZAÇÃO / EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA



OTIMIZAÇÃO: MANEJO / EFICIÊNCIA

USO NÃO INTELIGENTE / NÃO EFICIENTE



BA

OTIMIZAÇÃO: MANEJO / EFICIÊNCIA

USO NÃO INTELIGENTE / NÃO EFICIENTE



BA



PE

OTIMIZAÇÃO: MANEJO / EFICIÊNCIA

USO NÃO INTELIGENTE / NÃO EFICIENTE



MG



CE

OTIMIZAÇÃO: MANEJO / EFICIÊNCIA

USO NÃO INTELIGENTE / NÃO EFICIENTE



BA

OTIMIZAÇÃO: MANEJO / EFICIÊNCIA

USO NÃO INTELIGENTE / NÃO EFICIENTE



BA

OTIMIZAÇÃO: MANEJO / EFICIÊNCIA

USO NÃO INTELIGENTE / NÃO EFICIENTE



OTIMIZAÇÃO: MANEJO / EFICIÊNCIA

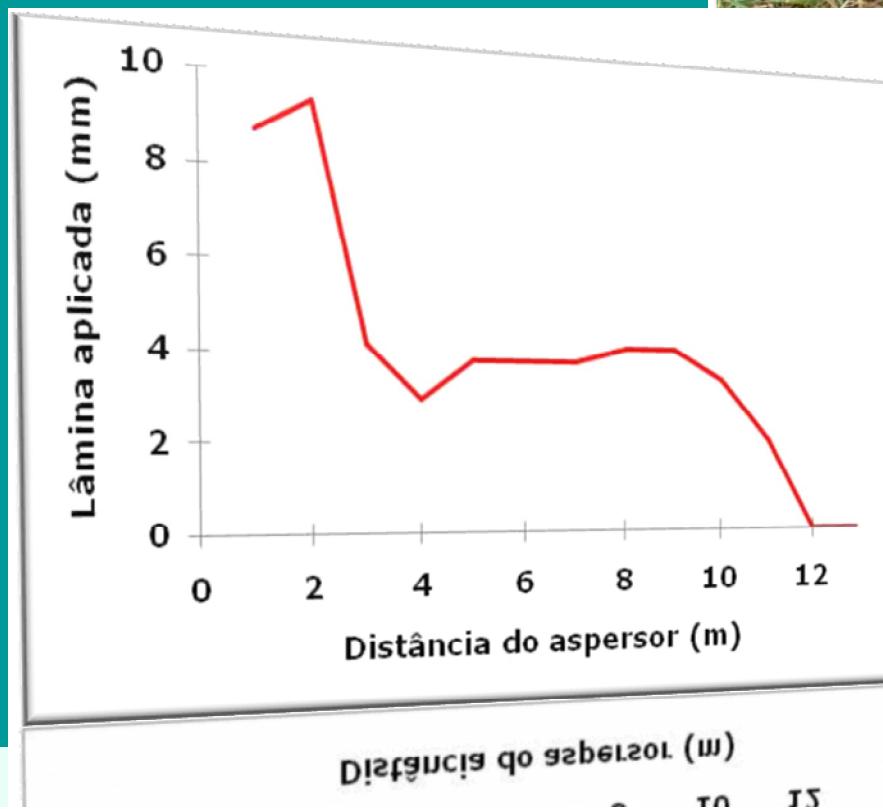
USO NÃO INTELIGENTE / NÃO EFICIENTE



PE

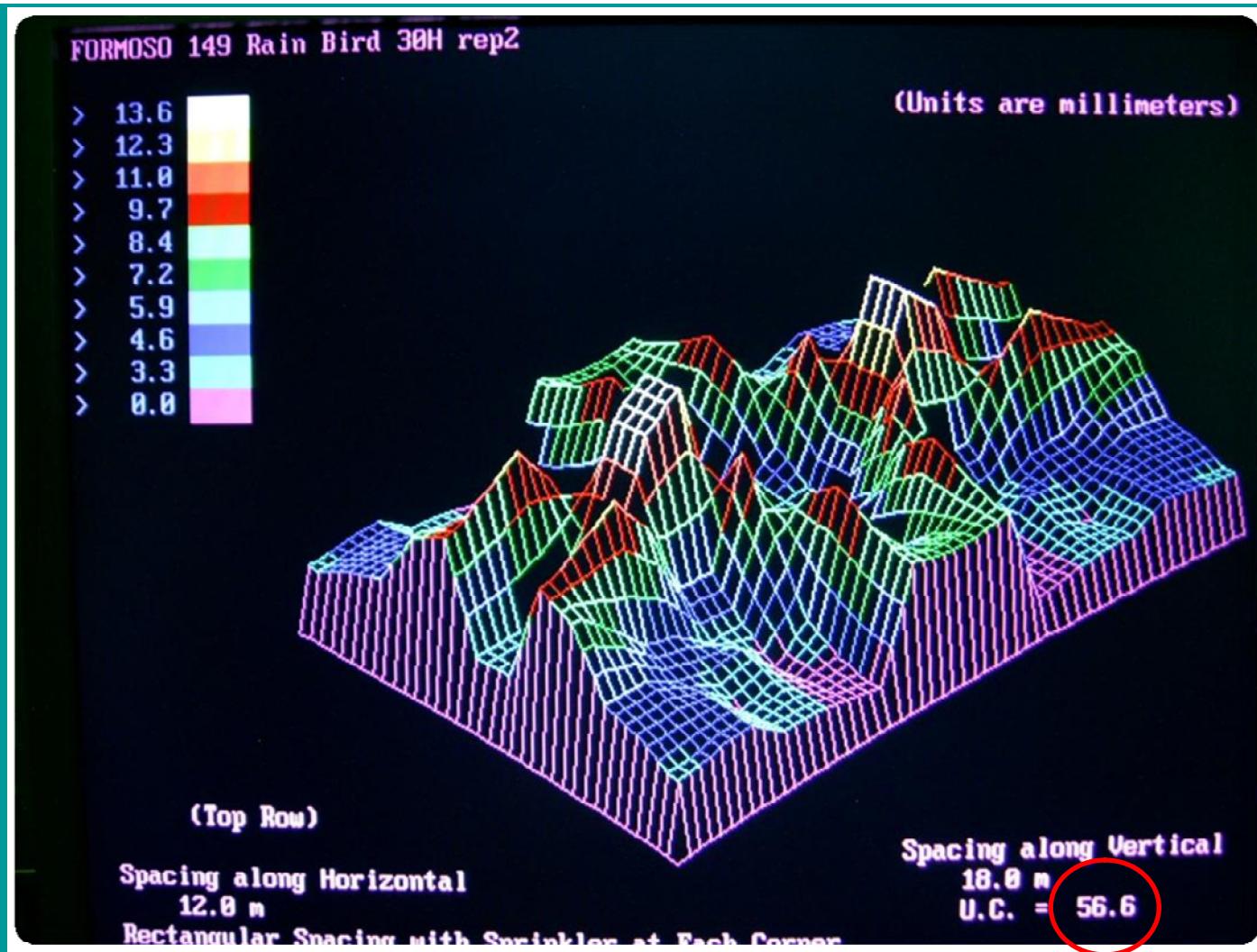
OTIMIZAÇÃO: MANEJO / EFICIÊNCIA

USO NÃO INTELIGENTE / NÃO EFICIENTE



OTIMIZAÇÃO: MANEJO / EFICIÊNCIA

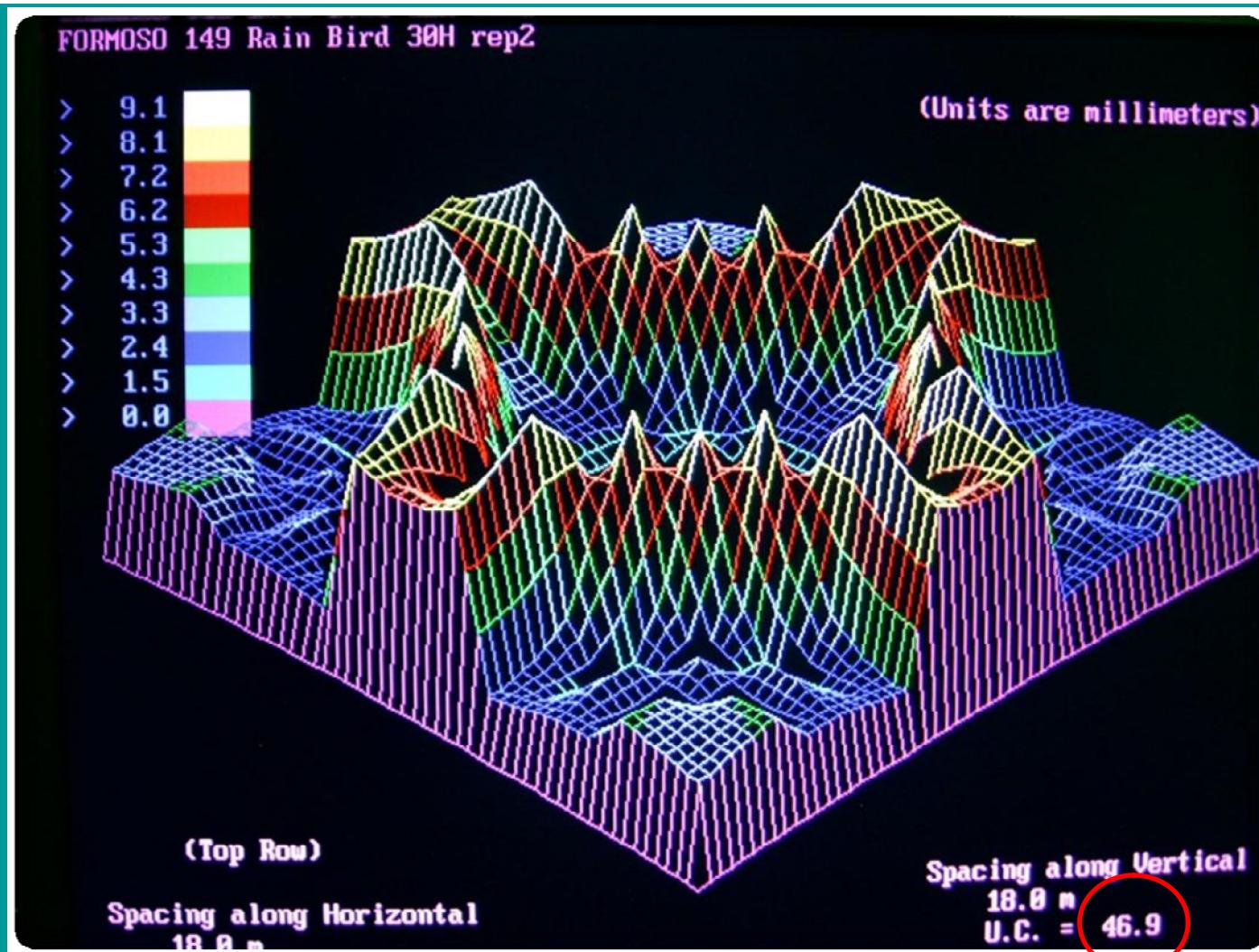
USO NÃO INTELIGENTE / NÃO EFICIENTE



BA

OTIMIZAÇÃO: MANEJO / EFICIÊNCIA

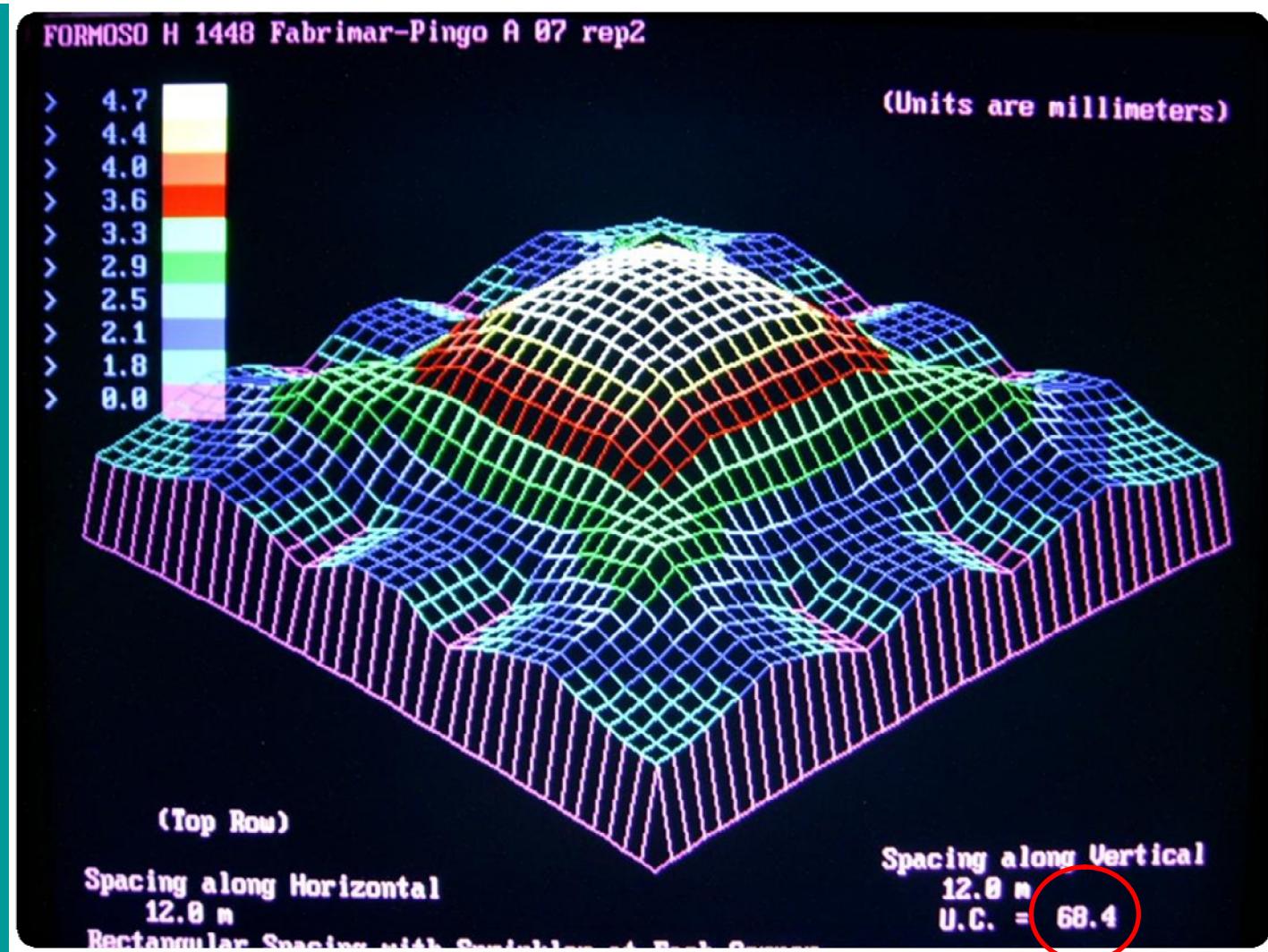
USO NÃO INTELIGENTE / NÃO EFICIENTE



BA

OTIMIZAÇÃO: MANEJO / EFICIÊNCIA

USO NÃO INTELIGENTE / NÃO EFICIENTE



BA

INVESTIGAÇÃO / PESQUISA

**Agricultura inteligente
ou
Agricultura sustentável**

**Fazer uso de sistemas e tecnologias eficientes,
capazes de gerar maior desenvolvimento
respeitando as restrições ambientais**

INVESTIGAÇÃO / PESQUISA

- Otimização econômica de sistemas de irrigação (projeto e manejo de água e energia)
- Estratégias de manejo e estimativa da quantidade de água a ser aplicada, em função da resposta da cultura à irrigação
- Modelos de simulação do funcionamento dos sistemas de produção (água, fertilização,)
- Capacitação e transferência do conhecimento
- Aprimorar os métodos e equipamentos para reduzir as perdas

OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA

Quando um determinado insumo tem preço baixo, ou zero, o seu uso de fará tanto como se necessite.

Assim,

- A atenção prestada à eficiência de uso da água é diretamente proporcional ao preço cobrado;
- A alta do preço da água conduz a um incremento no uso eficiente do recurso;
- As formas de oferta e demanda constituem um incentivo à utilização racional de forma eficiente.

OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA

Teoria econômica:

A combinação ótima de insumos (eficiência econômica) ocorre quando o valor do produto marginal do insumo é igual ao seu preço, ou seja

$$P_i \frac{\partial \mathbf{Y}}{\partial \mathbf{W}} = C_w$$

- ✓ Formulação e aplicação das funções de resposta águas-cultura
- ✓ Formulação das funções de custo e receita

OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA

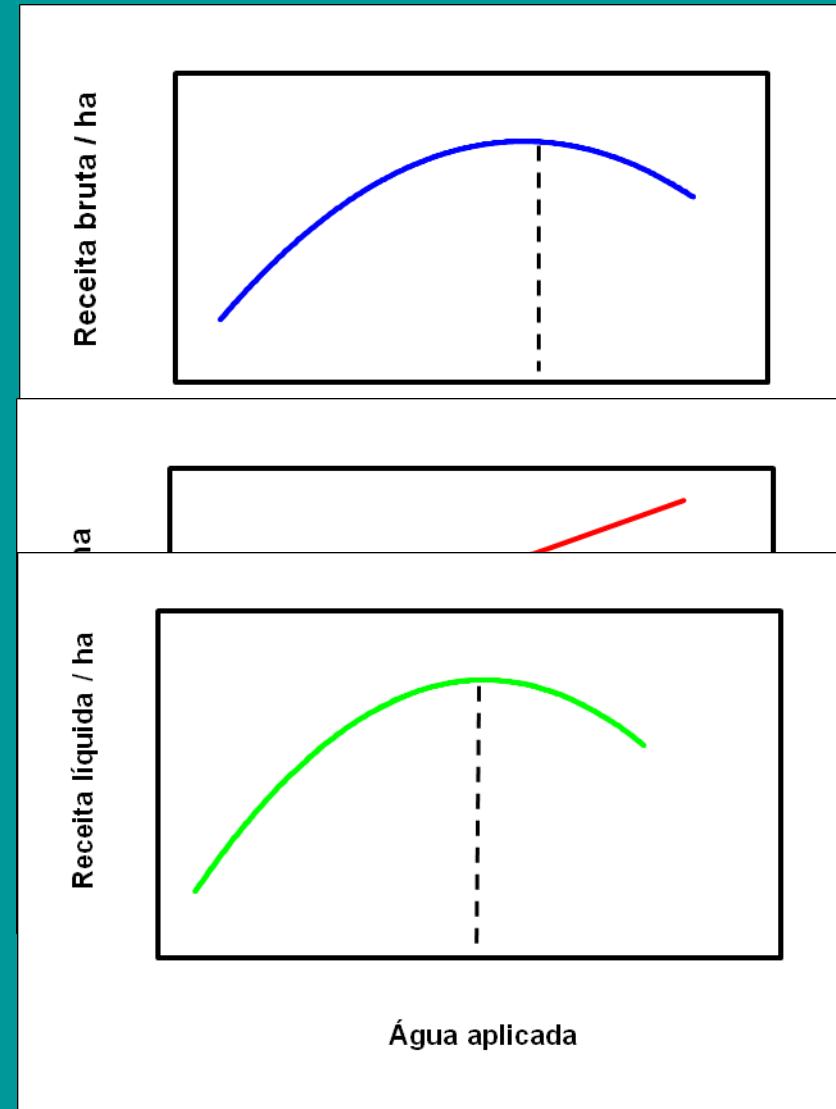
- Conceito de Lâmina Ótima
- Irrigação com Déficit

Norum et al. (1979)

Peri et al. (1979)

Frizzzone (1986)

English (1990)



OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA

LIMITAÇÕES: INCERTEZA E RISCO

INCERTEZA DAS FUNÇÕES DE PRODUÇÃO

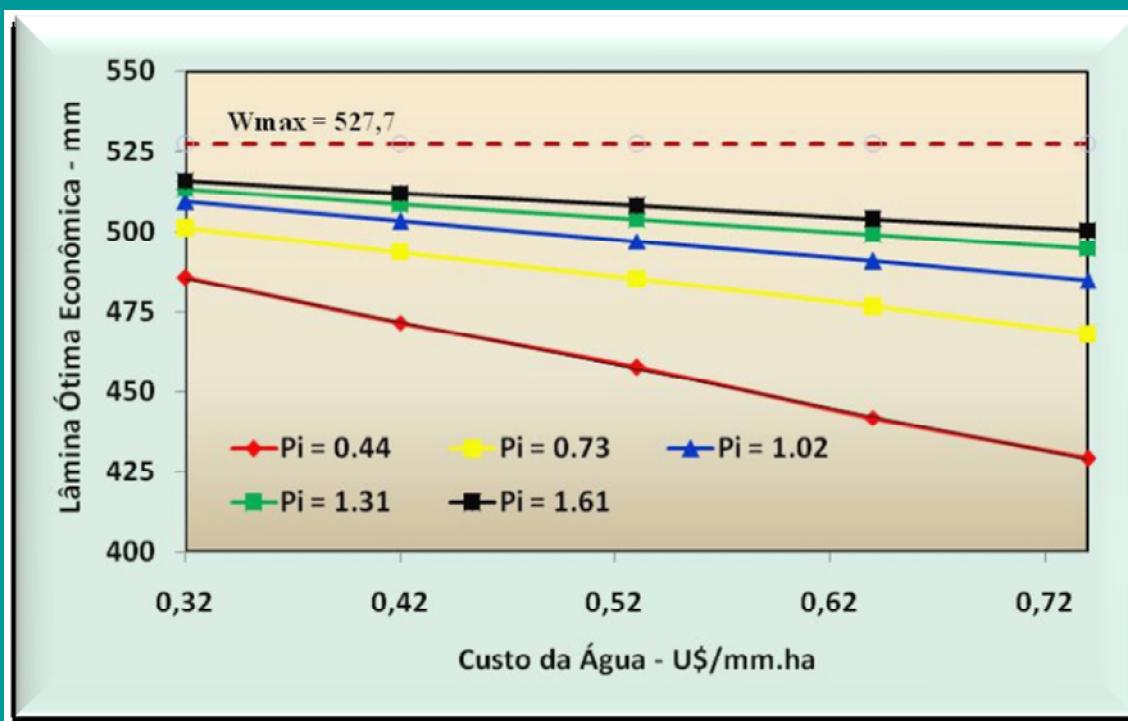
INCERTEZA DOS PREÇOS DOS PRODUTOS

INCERTEZA DOS CUSTOS FIXOS

INCERTEZA DOS CUSTOS VARIÁVEIS

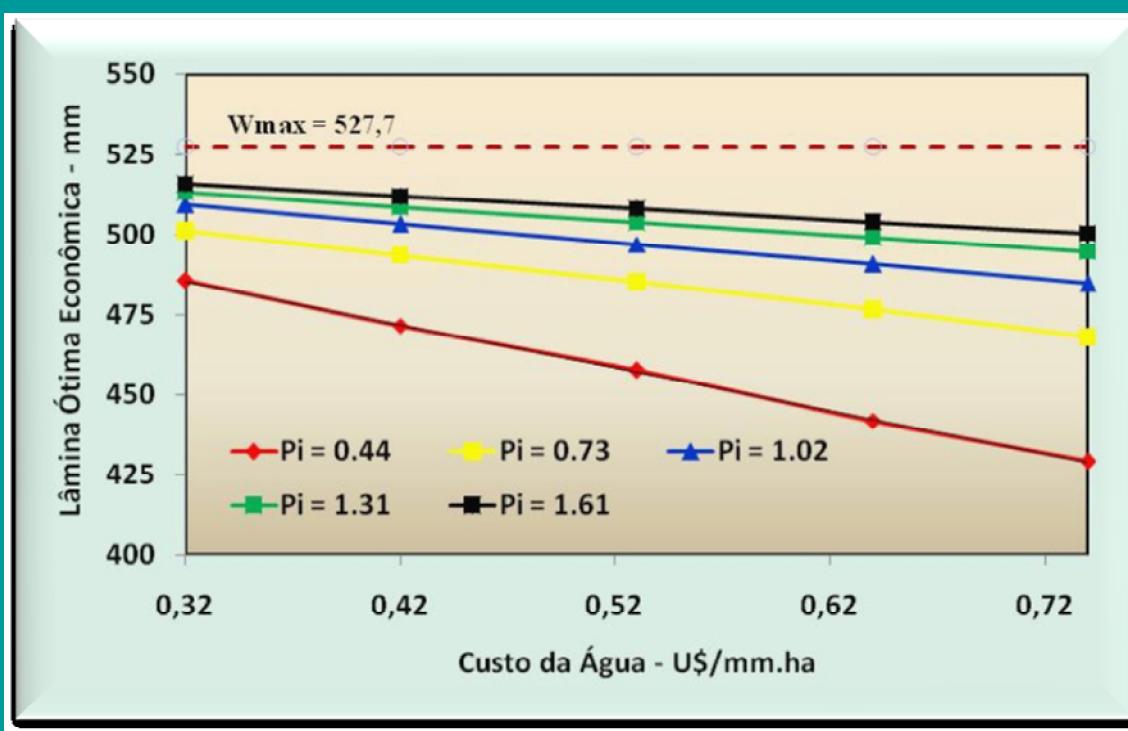
Frizzone, WINOTEC 2007

OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA



- mantendo-se o preço do produto (P_i), a lâmina ótima de irrigação diminui enquanto os custos associados à água irrigação (C_w) aumentam;
- A lâmina ótima de irrigação aumenta à medida que aumenta o preço do produto, isto é, o déficit econômico de irrigação é maior para maiores preços do produto

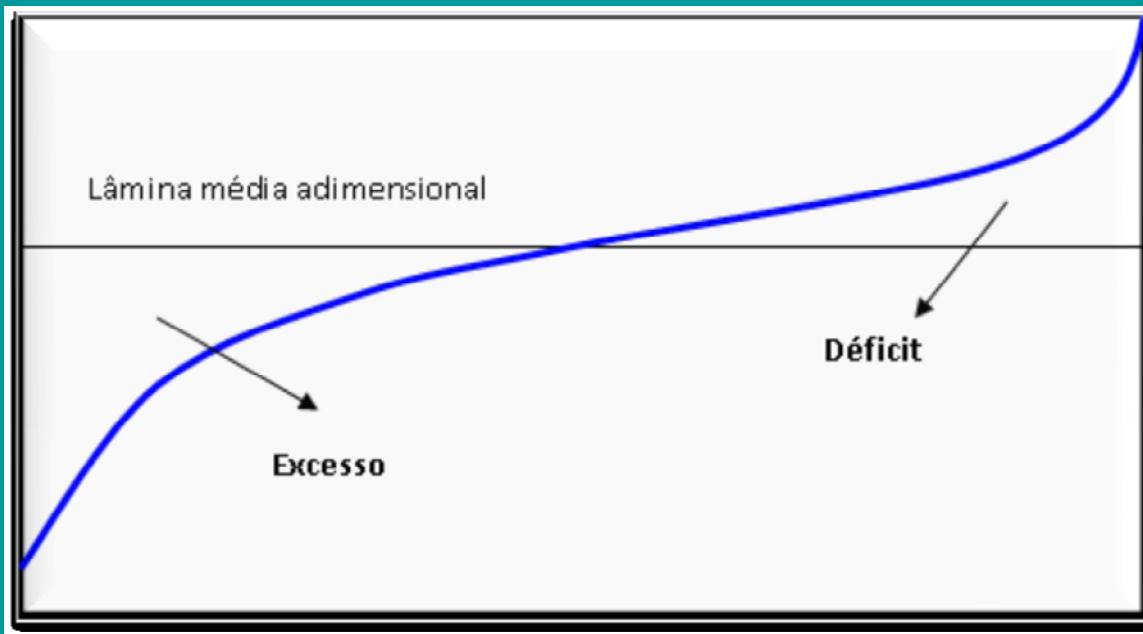
OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA



- sendo P_i baixo e C_w alto, a aplicação da lâmina ótima não justifica o investimento em irrigação
- sendo P_i baixo e C_w baixo, a aplicação da lâmina ótima pode não justificar o investimento

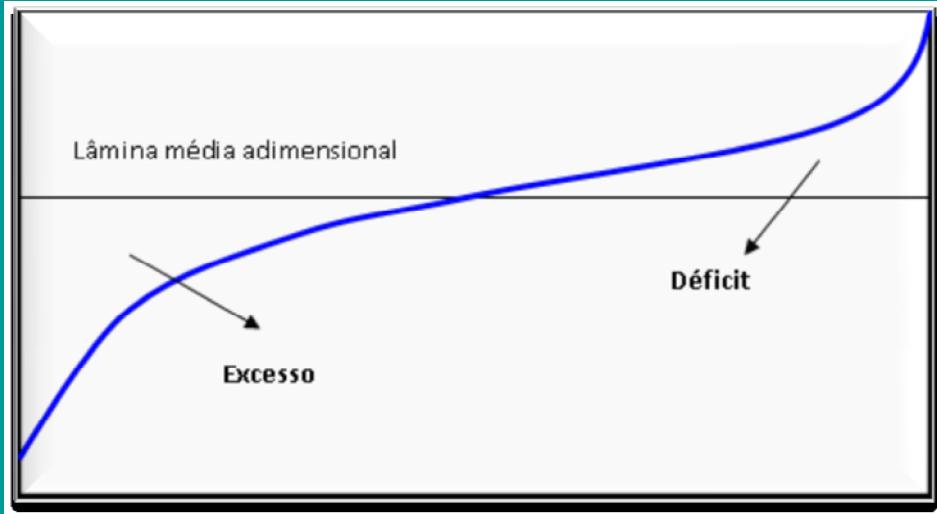
OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA

O planejamento e o manejo da irrigação podem ser estabelecidos de forma a resultar na mínima perda econômica decorrente da aplicação não uniforme de água



A análise do efeito relativo do déficit sobre o excesso determina a operação ótima do sistema de irrigação

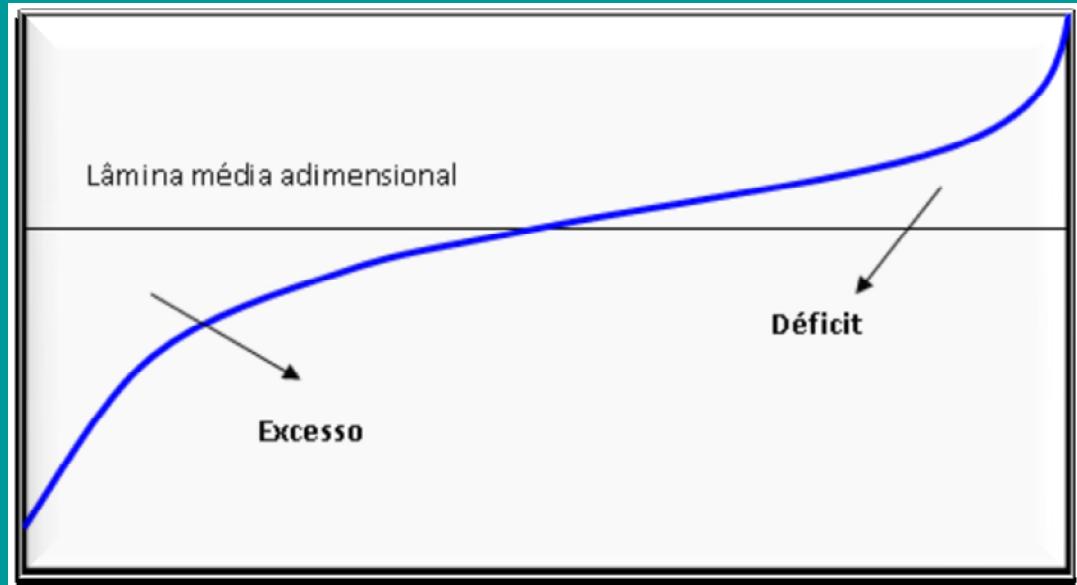
OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA



Perda econômica
Redução da receita líquida

- Quando o preço do produto aumenta, verifica-se a necessidade de maior uniformidade de distribuição de água para que se possa diminuir o efeito do déficit na redução da receita líquida
- A medida que aumenta o custo da água, verifica-se a necessidade de maior uniformidade de distribuição para reduzir o efeito do excesso na redução da receita líquida

OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA



PERDA ECONÔMICA

$$\Delta EC = RL^* - RL_i$$

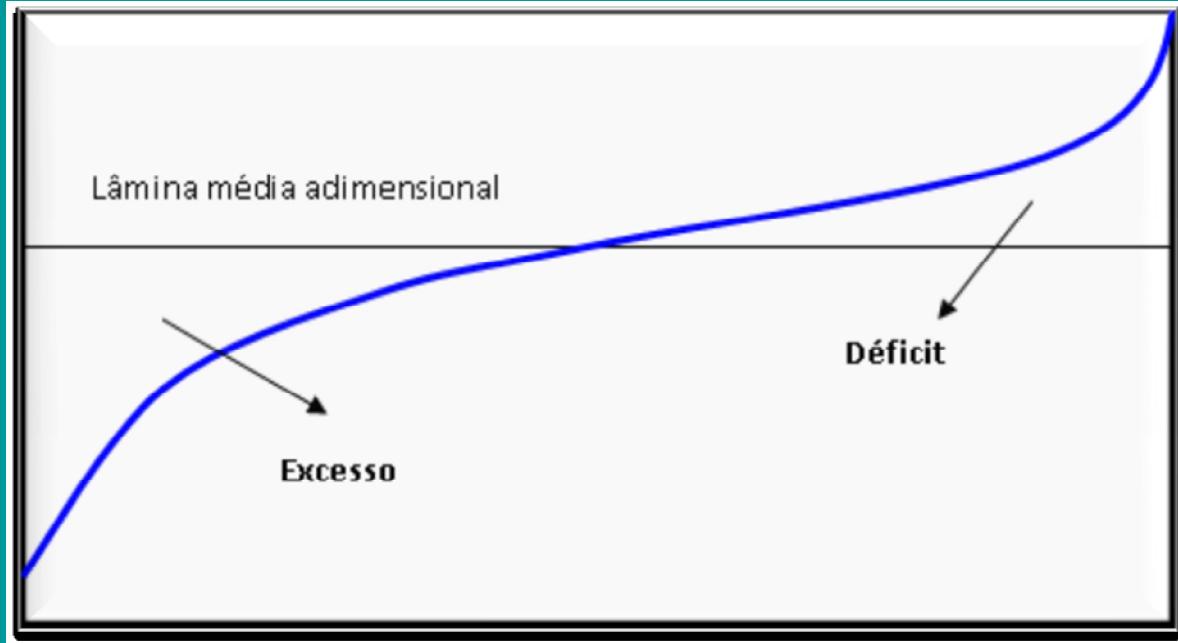
- Déficit (β) = ΔEC , quando $W_i < W^*$

$$\beta = \frac{\int_{a_r}^1 (IL^* - IL_i) da}{\int_{a_r}^1 (W^* - W_i) da}$$

- Excesso (α) = ΔEC , quando $W_i > W^*$

$$\alpha = \frac{\int_0^{a_r} (IL_i - IL^*) da}{\int_0^{a_r} (W_i - W^*) da}$$

OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA



$$\beta = \frac{\int_{a_r}^1 (IL^* - IL_i) da}{\int_{a_r}^1 (W^* - W_i) da}$$

$$\alpha = \frac{\int_{a_r}^0 (IL_i - IL^*) da}{\int_0^{a_r} (W_i - W^*) da}$$

$$L_t = \beta V_D + \alpha V_e$$

OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA

Minimizando a equação de perda econômica total

$$L_t = \beta V_D + \alpha V_e$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = \left\{ \frac{erfc\left[\frac{-1}{\sqrt{\pi}(1-CUC)}\right] + (1-CUC)\exp\left[-\left(\frac{-1}{\sqrt{\pi}(1-CUC)}\right)^2\right]}{erfc\left[\frac{h_r - 1}{\sqrt{\pi}(1-CUC)}\right] + (1-CUC)\exp\left[-\left(\frac{h_r - 1}{\sqrt{\pi}(1-CUC)}\right)^2\right]} - 1 \right\}^{-1}$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = \left[\frac{2}{erfc\left(\frac{h_r - 1}{\sqrt{\pi}(1-CUC)}\right)} - 1 \right]^{-1}$$

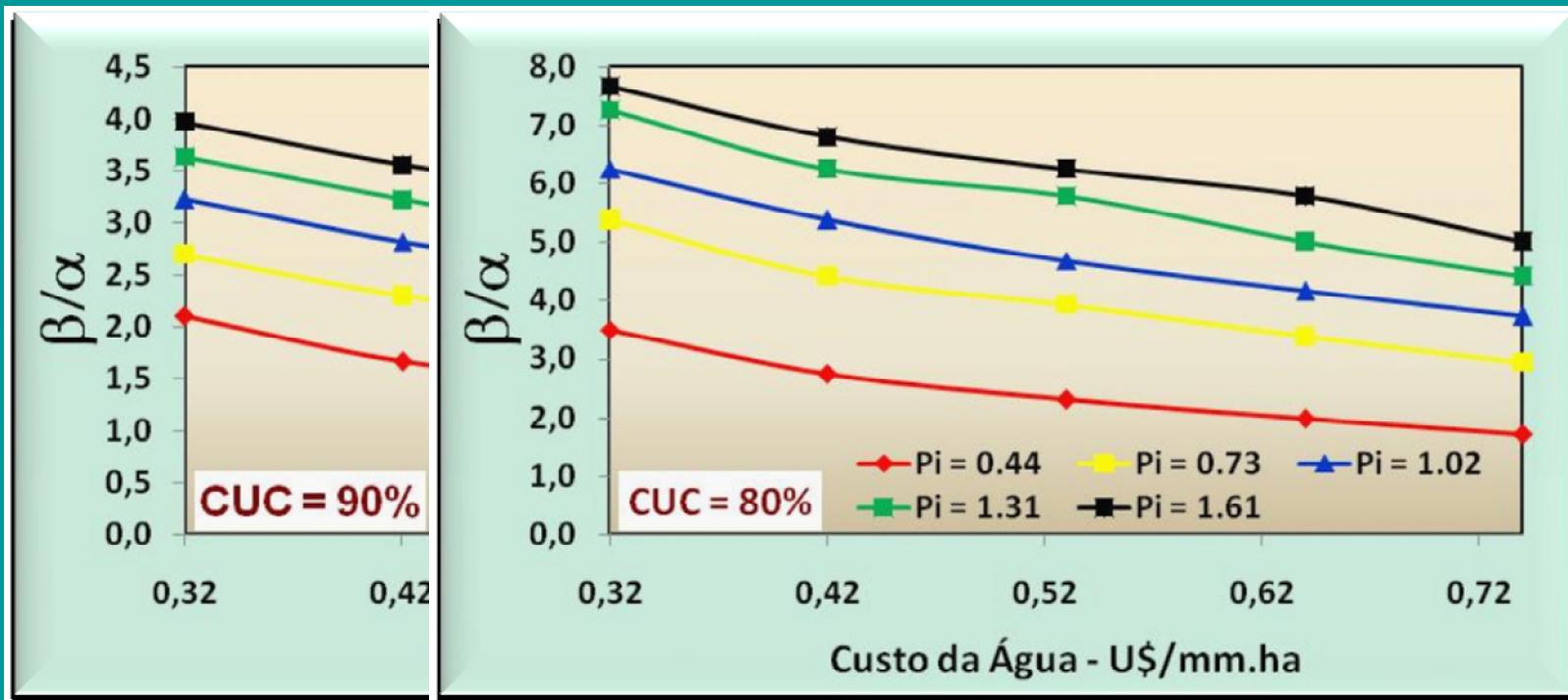
OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA

O valor β/α expressa a importância do déficit em relação ao excesso de água aplicada

Para $\beta/\alpha > 1$: a redução da RL por unidade de volume de déficit é maior que a redução da RL por unidade de volume de excesso; isso pode ocorrer quando a cultura é relativamente sensível ao déficit hídrico;

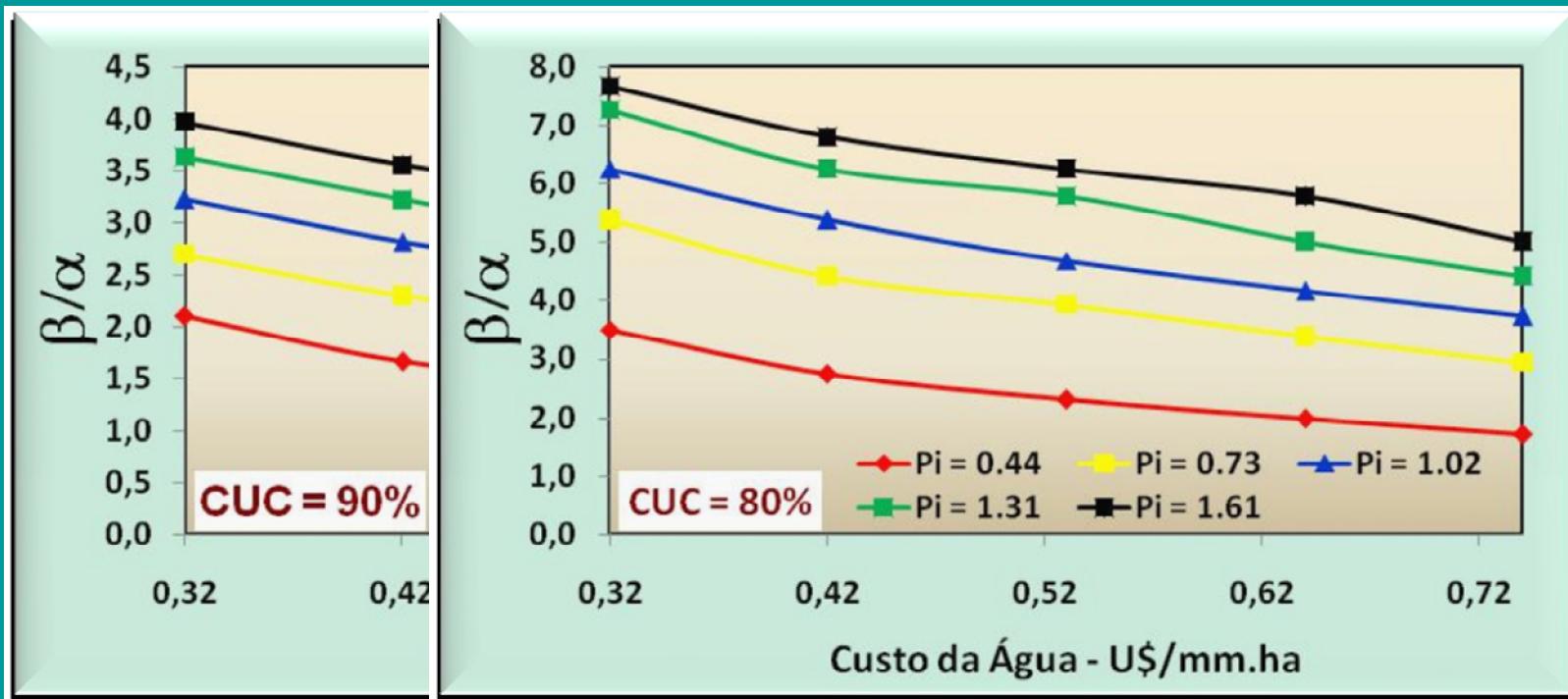
Para $\beta/\alpha < 1$: a redução da RF por unidade de excesso é maior que a redução da RL por unidade de déficit; nesse caso, pode ocorrer problemas de drenagem

OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA



- Para qualquer combinação de C_w e P_i , o efeito relativo do déficit sobre o excesso (β/α) aumenta quando o sistema apresenta baixa uniformidade
- O efeito relativo do déficit sobre o excesso (β/α) diminui com o aumento do custo da água

OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA



- Para uma determinada uniformidade, observa-se que o valor de β/α aumenta a medida que o custo da água diminui
- Quando P_i é alto, a lâmina ótima aumenta; mantida a uniformidade, o efeito relativo do déficit sobre o excesso (β/α) também aumenta

OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA

- O aumento de β/α está associado ao decréscimo da uniformidade, visto que esta proporciona maiores áreas de déficit e excesso;
- O custo da água, o preço do produto e a uniformidade de distribuição influenciam a lâmina ótima econômica;
- De acordo com a estratégia de irrigação para obtenção da máxima receita líquida, com base na resposta da cultura e nos custos de produção, a operação do sistema deve tornar mínima a redução da RL devida ao déficit e ao excesso.

OTIMIZAÇÃO X TEORIA ECONÔMICA



CONSIDERAÇÕES FINAIS

A otimização da irrigação considera explicitamente os fatores econômicos e, portanto, é um problema substancialmente mais complexo e desafiador porque para identificar estratégias ótimas de irrigação necessita-se de modelos detalhados das relações água-cultura e das funções de custo e receita.

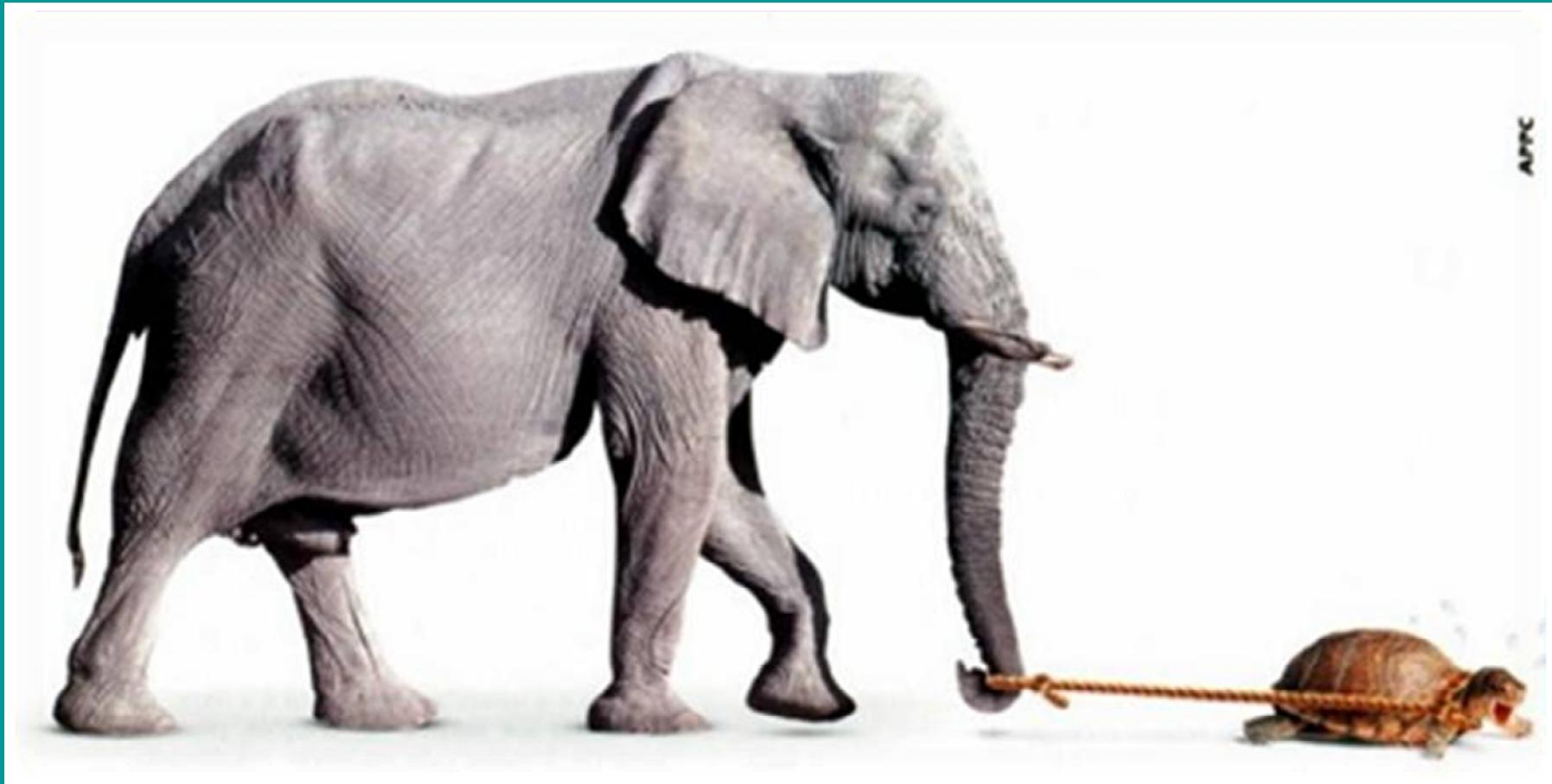
A irrigação ótima implica menores lâminas aplicadas em relação à irrigação plena, com consequente redução na produtividade da cultura, porém, com algumas vantagens significativas: aumento da eficiência de uso de água; redução dos custos da irrigação; aumento da receita líquida; mitigação dos riscos associados aos impactos ambientais da irrigação plena.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por uma perspectiva social, a irrigação ótima deverá ser definida como a maximização dos benefícios totais, incluindo os benefícios não-monetários como a proteção da qualidade da água, a segurança alimentar, a geração de empregos, a melhoria das condições sócio-econômicas das comunidades rurais, a fixação do homem no campo.



OTIMIZAÇÃO – MANEJO - EFICIÊNCIA



NÃO É IMPOSSÍVEL !!!

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas



MUITO OBRIGADO !

neos

Vital Pedro da Silva Paz
vitalpaz@ufrb.edu.br

Winotec 2008 – CENTEC/ INOVAGRI , Fortaleza – CE, junho de 2008