

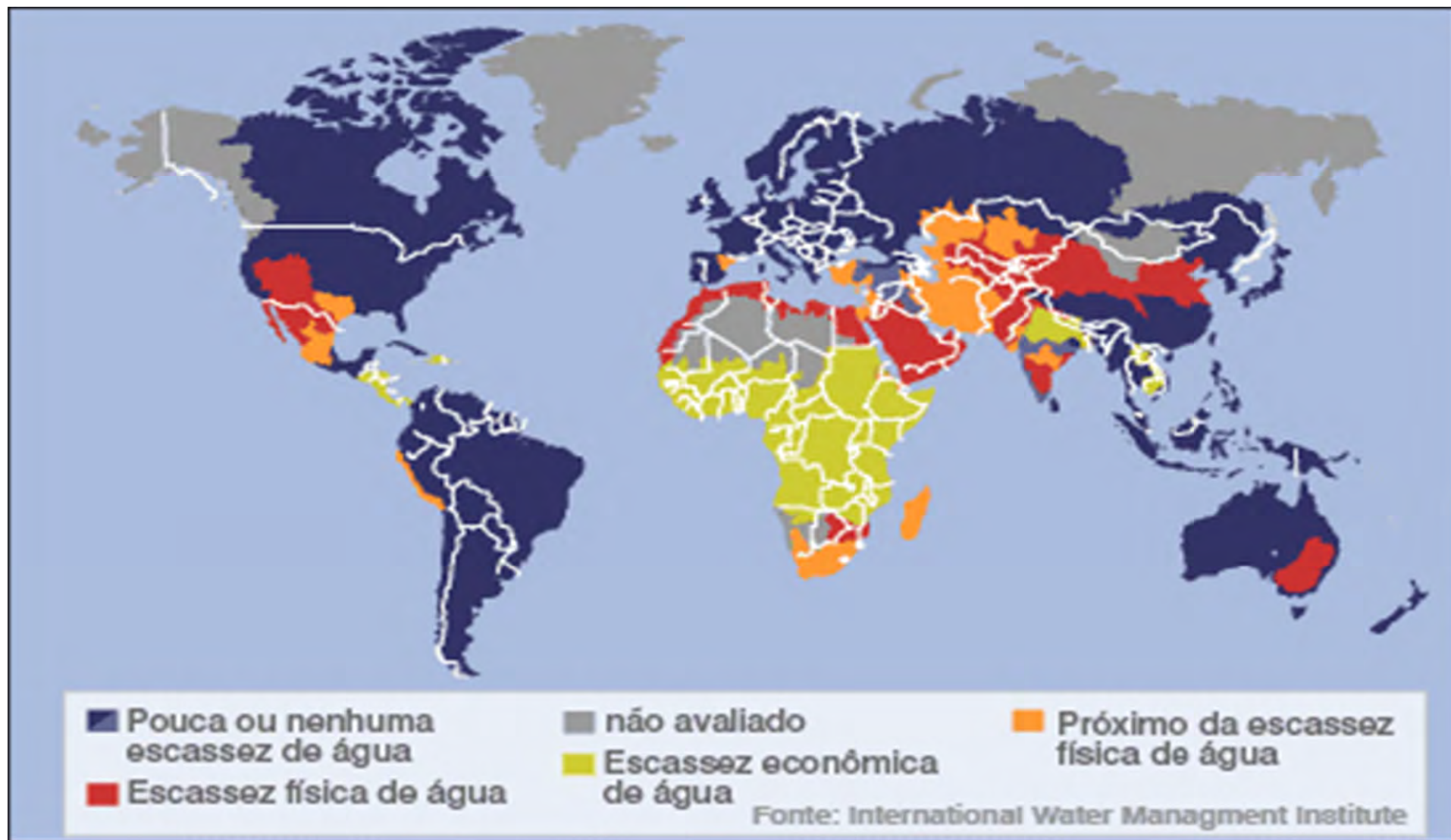
# USO AGRÍCOLA DE ÁGUA DE REUSO



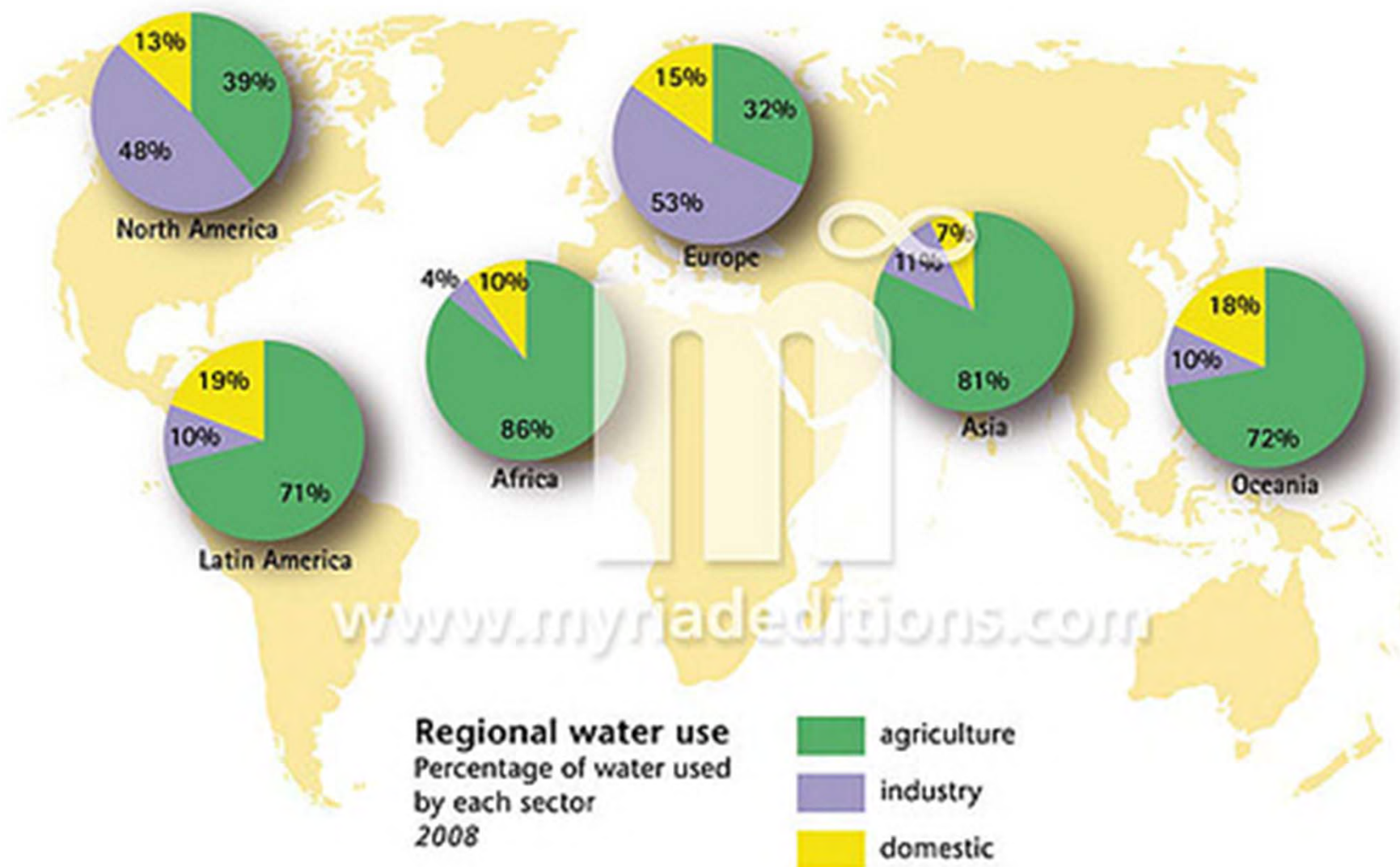


# Disponibilidade de Água no Mundo

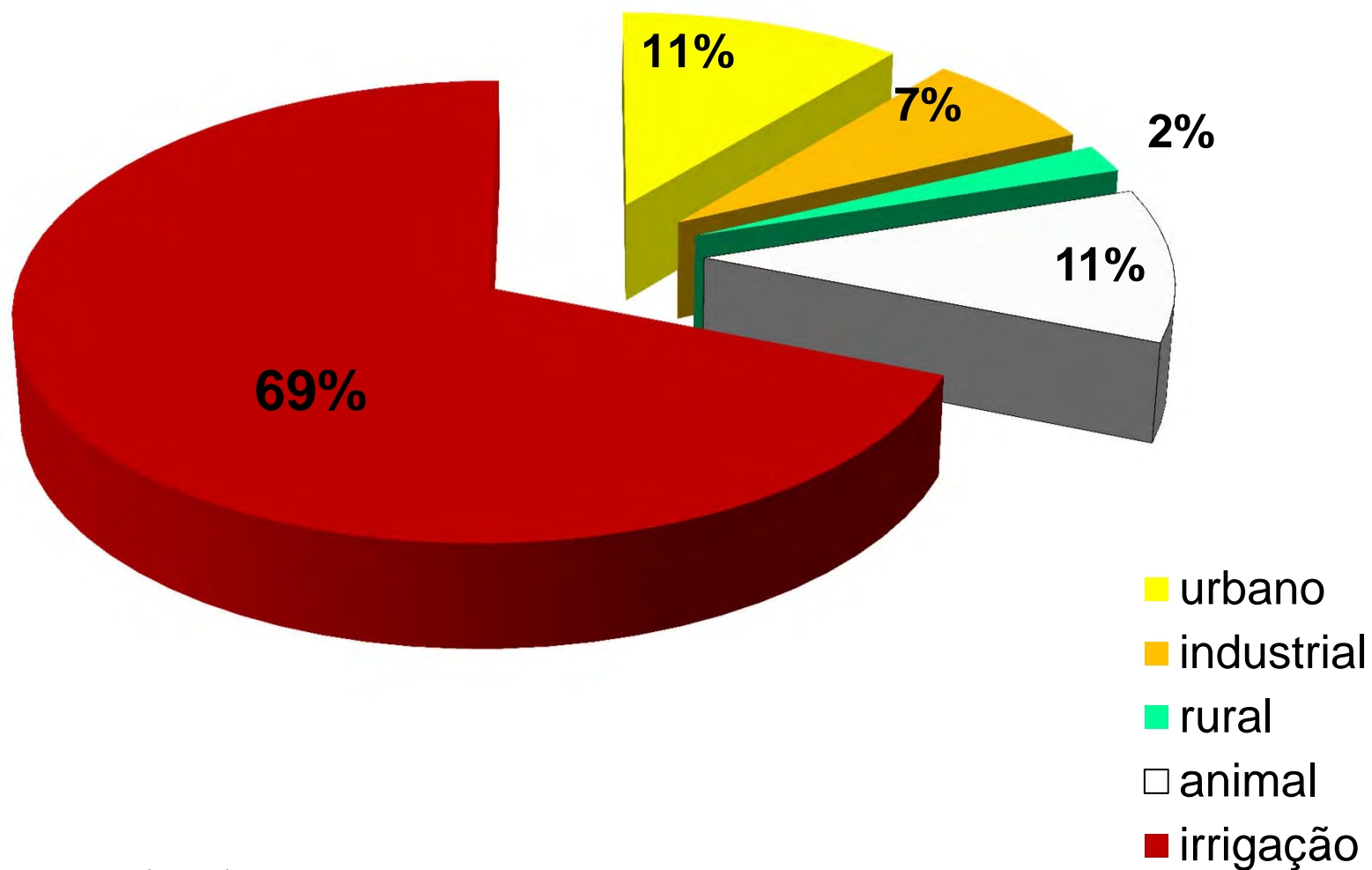
Mundo: 44 mil km<sup>3</sup>



# Panorama do uso da água por setor



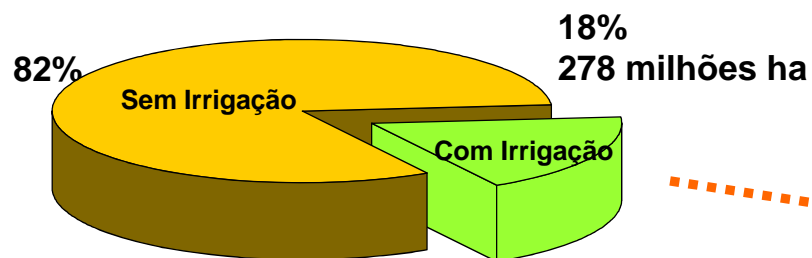
# Uso da água por setor no Brasil



Fonte ANA (2007)

# MUNDO

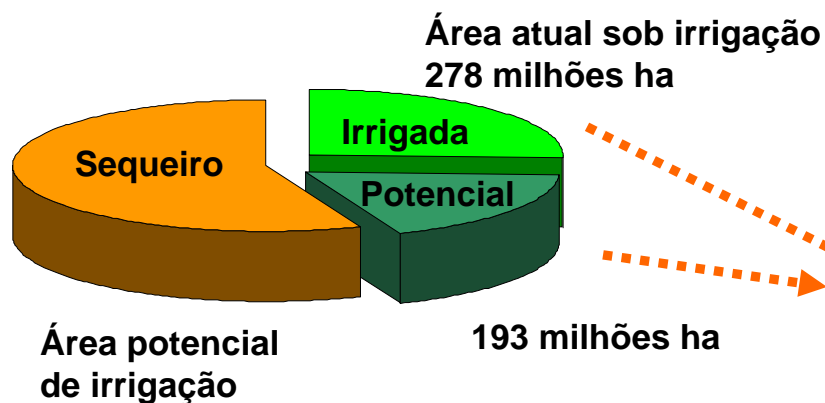
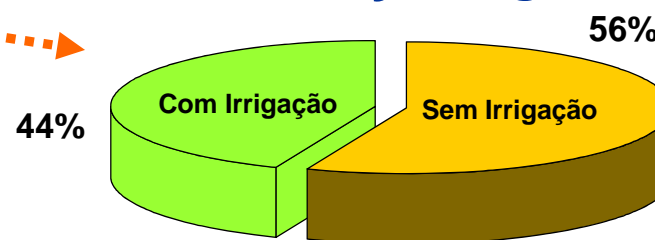
## Área Cultivada



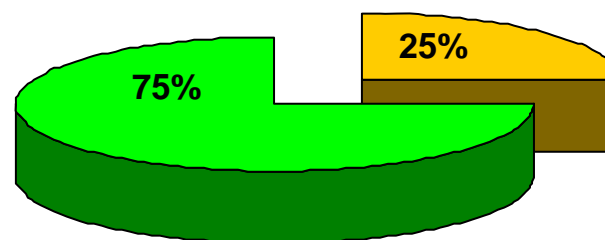
Área plantada total  
1,532 bilhões de hectares

## CENÁRIO ATUAL

### Produção Agrícola



## CENÁRIO FUTURO

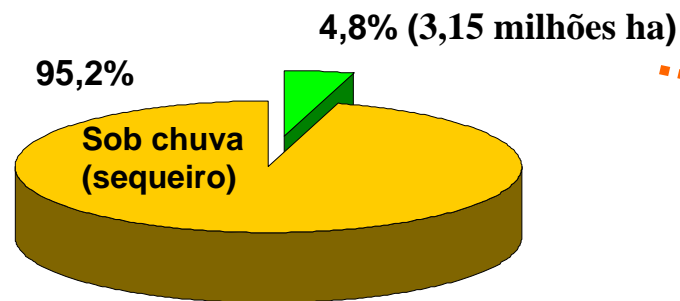


Ampliação da área irrigada mundial para 470 milhões hectares corresponderia a produzir 75% do total anualmente colhido.  
Permitiria retirar 600 milhões de hectares da produção de sequeiro.

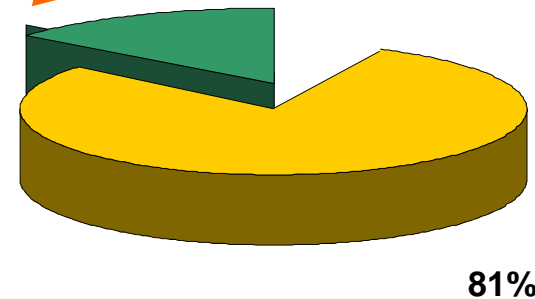
A irrigação de culturas no Brasil é responsável por cerca de 70% do consumo de água doce.

# BRASIL

## Área Colhida



## Produção Agrícola



**Área Potencial =  
29,6 milhões (8,6 x a área atual)**

A cada 3 milhões de hectares que são colocados sob irrigação no Brasil, cerca de 10 milhões de hectares de sequeiro podem ser retirados de produção.

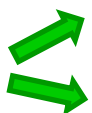
- Evidente a necessidade de se buscar fonte alternativa de água para agricultura
- Irrigação importante ferramenta para incremento na produtividade
- *Por que não associar ganho ambiental e econômico?*
- O uso de efluentes de estação de tratamento de esgotos na irrigação de culturas agrícolas poderia contribuir para o ganho ambiental e econômico?

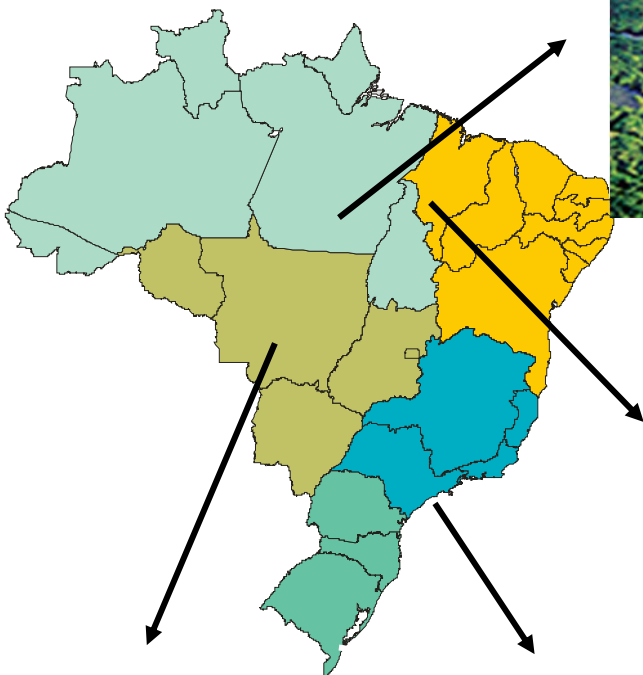
➤ ***Neste sentido o nosso grupo vem trabalhando desde 2000 desenvolvendo pesquisas visando utilizar, de forma sustentável, o esgoto tratado, gerado por sistemas municipais de tratamento (Necessidade de adequar efluentes para lançamento)***

➤ ***Financiamento: FAPESP, Finep (Projeto Prosab), CNPq e SABESP***



O Brasil precisa??

**Por que usar?**  GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS  
QUALIDADE DA ÁGUA



**Norte: Disponibilidade concentrada na Amazonia**

Um habitante da Amazônia tem a disponibilidade de 700.000 m<sup>3</sup> /ano



**Nordeste: seca e necessidade de desenvolvimento sócio- econômico**



**Centro-oeste: a nova fronteira agrícola**

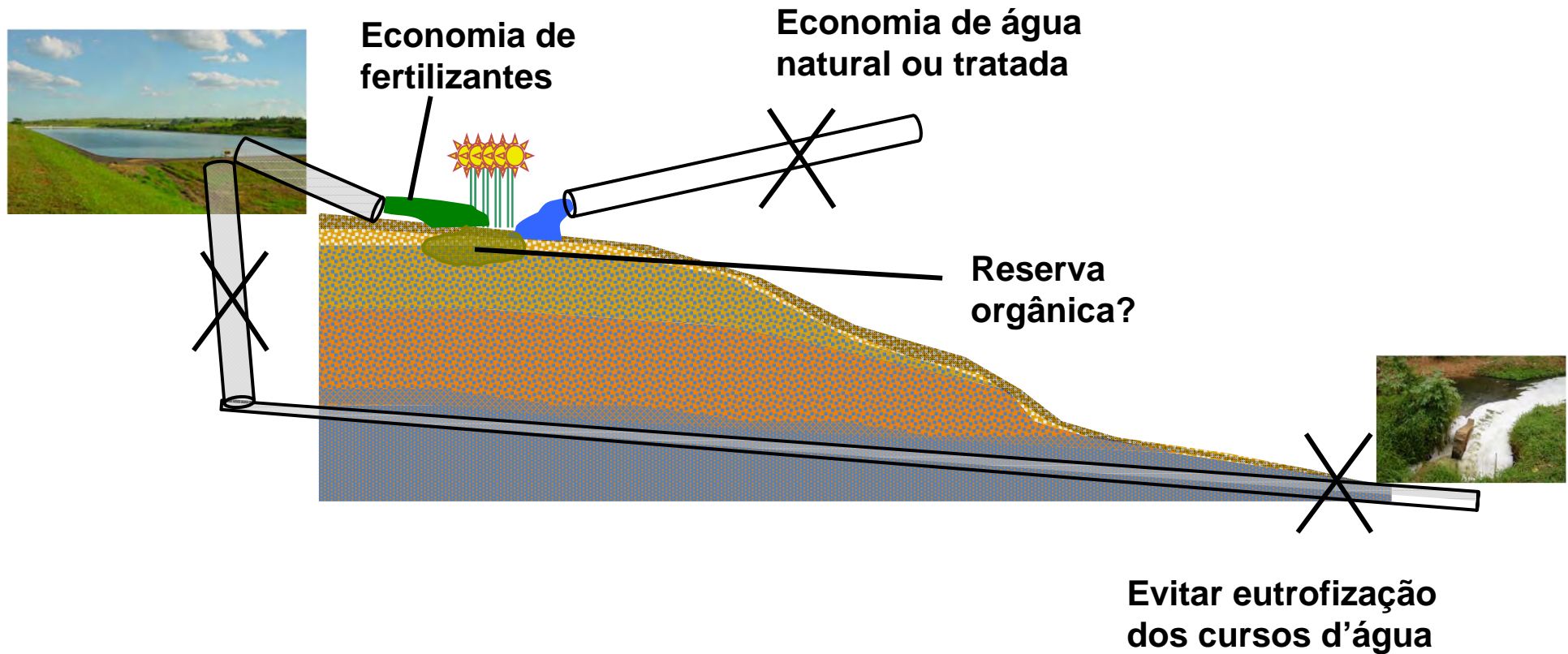


**Sul e Sudeste: demanda de água para fins industriais e poluição hídrica pela falta de saneamento básico**

Região Metropolitana de São Paulo tem a disponibilidade de 280 m<sup>3</sup> / ano

## Por que usar?

- Volume de EETE gerado é crescente
  - aumento populacional
  - encontrar destino adequado para o efluente
- Uso na agricultura - alternativa à disposição do efluente nos cursos d'água



## ***Por que não usar?***

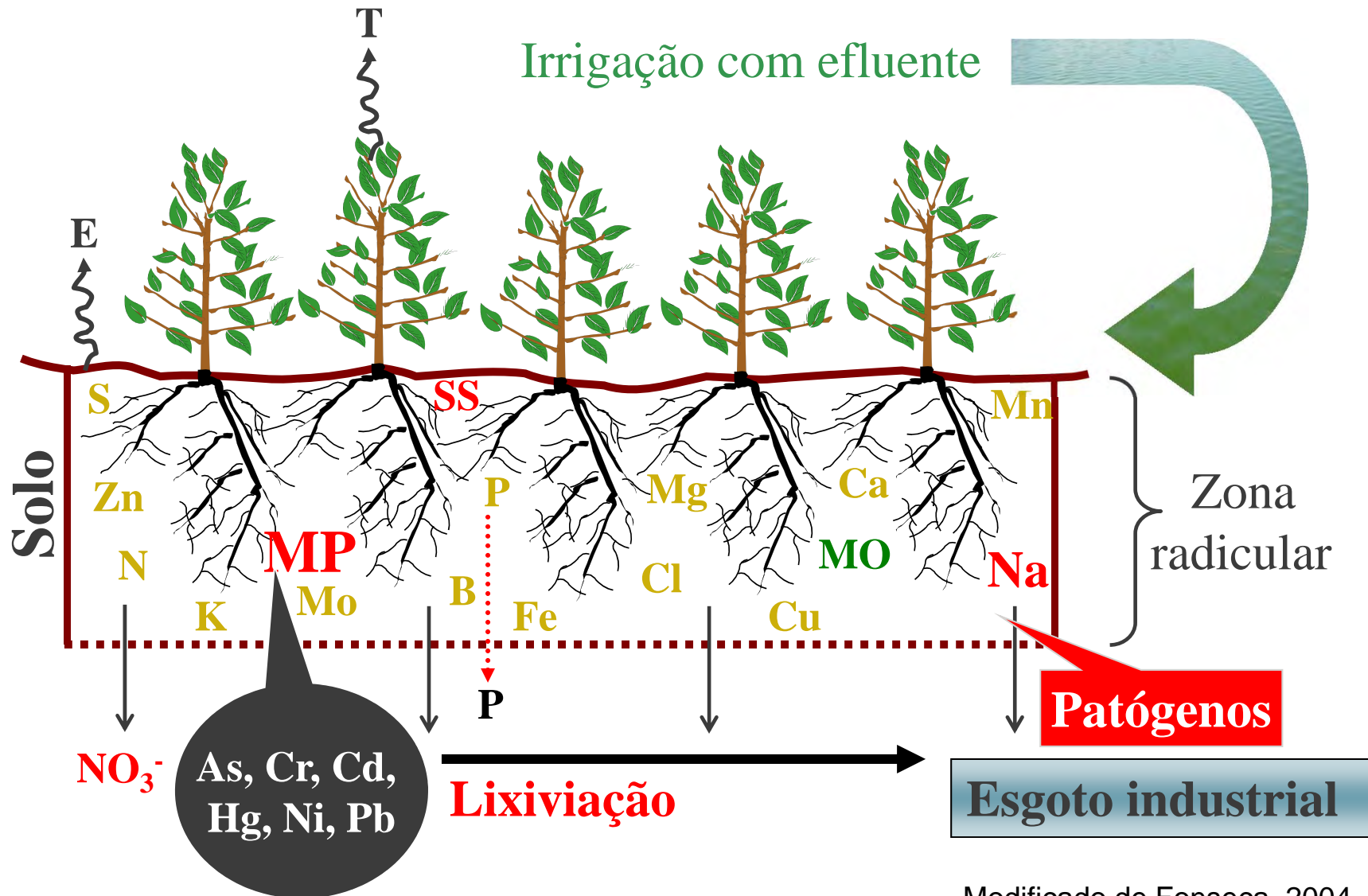
- **ORGANISMOS PATOGÊNICOS**

- **NITRATO, BORO E SÓDIO → toxidez em plantas e poluição de águas subterrâneas**

  - Dependendo das concentrações no solo → **SODICIDADE** → alterações estruturais (DISPERSÃO DE ARGILAS)

- **METAIS PESADOS**

# Sistema solo-planta = “Filtros-vivos”



Modificado de Fonseca, 2004



# Filtro



Vale de Tula – México



No Brasil irrigação com efluente é prática recente

Em muitos países como Estados Unidos, México, Israel, Egito, Austrália, Arábia Saudita, Tunísia e Chile é prática comum

**FLÓRIDA – EUA**  
**Reservatório de efluente para uso em**  
**pomares de Laranja**





**FLÓRIDA – EUA**  
**Pomares de Laranja irrigados com**  
**efluente de esgoto tratado**







**Vale de Tula – México**





**Vale de Tula – México**



**Área irrigada de 14.000 ha em 1926 a > 90.000 ha em 1995**



# Para utilizar efluentes na irrigação é necessário inicialmente:

## Conhecer as características do solo da área



Mineralogia, Granulometria , Argila Dispersa em Água, Porosidade, Condutividade Hidráulica, Curvas de Retenção de Água, Análises Químicas (pH, CT, NT, Al, Ca, Mg, K, Na, P, S, B, Metais pesados)

## Conhecer as características do efluente



DBO, DQO, Nitrogênio Total, Ortofosfatos, Sólidos em Suspensão, Temperatura, pH, CE, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, P, S, B, Ca, Mg, K, Na, Cu, Fe, Mn, Zn, Cd, Cr, Ni e Pb

Coliformes Totais e E.coli, Salmonella sp e Ovos de Helminetos.

## Escolher as Culturas mais adequadas

### *Critérios para a escolha das culturas*



#### **CANA-DE-AÇÚCAR, MILHO e CAFÉ**

- Grande importância econômica; Ampla utilização;
- Processamento industrial; Boa resposta à Irrigação.

#### **CAPIM TIFTON 85**

- alta absorção de N; alto consumo d'água;
- produção de feno; potencial de mercado;
- retorno econômico

### O sistema de irrigação adequado



### Monitorar a qualidade do lençol freático





## **Projetos Nupegel - 11 anos pesquisando**

### **➤ Diferentes culturas**



café



milho



girassol



capim Tifton 85  
para fenação



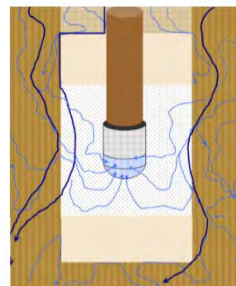
cana-de-açúcar



## **Nestes 11 anos de projeto:**

✓ na química da água contida no solo (solução do solo)

### ➤ **Estudamos os efeitos:**



✓ nas propriedades químicas e físicas dos solo



✓ na qualidade da água do lençol freático

✓ na produtividade e na qualidade das culturas

✓ em microrganismos do solo

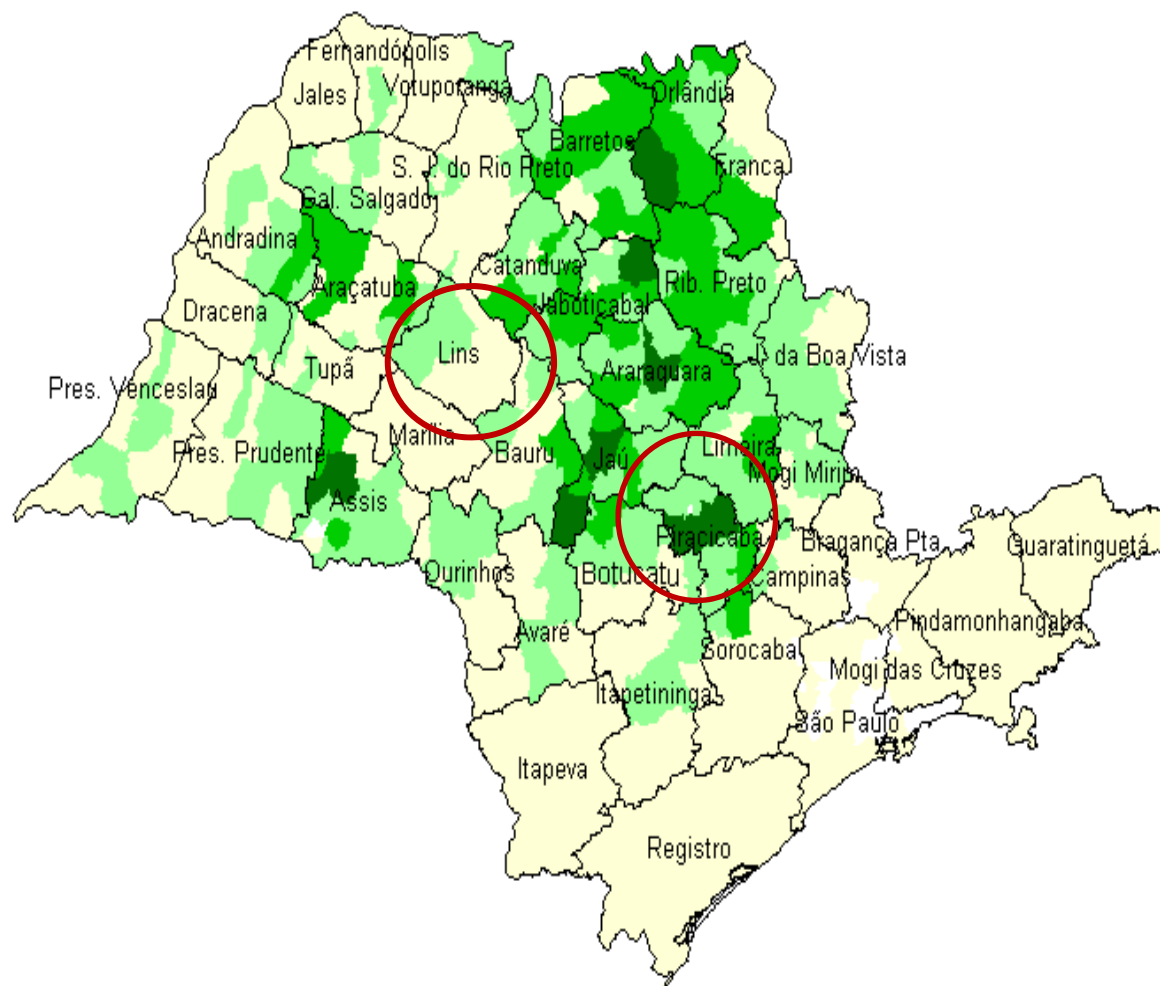
## ***E estamos estudando os efeitos na atmosfera***

➤ ***Emissões dos gases  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  pelos solos irrigados com esgoto tratado***





# ***Alguns resultados obtidos nos campos experimentais de Lins e Piracicaba***



Constituinte	Água (mg L <sup>-1</sup> )	EETE (mg L <sup>-1</sup> )	Concentração normal (mg L <sup>-1</sup> )	Referência
Sólidos totais (ST)	—	571,00 ± 52,51	400 a 1200	Feigin et al. (1991)
DBO <sup>(2)</sup>	—	77,80 ± 46,75	10 a 80	Feigin et al. (1991)
COD <sup>(5)</sup>	3,12 ± 1,72	65,28 ± 57,41	30 a 60	Bouwer & Chaney (1974)
NT <sup>(6)</sup>	—	8,85 ± 1,62	1-23	Feigin et al. (1978)
Alcalinidade como HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	224,50 ± 41,88	301,41 ± 60,75	200 a 700	Feigin et al. (1991)
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,04 ± 0,03	22,37 ± 3,52	1 a 40	Feigin et al. (1991)
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,18 ± 0,06	<b>0,61 ± 0,53</b>	0-10	Feigin et al. (1991)
N-total <sup>(7)</sup>	0,24 ± 0,16	31,85 ± 5,75	10 a 50	Feigin et al. (1991)
P-H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	< LD <sup>(9)</sup>	4,30 ± 1,11	4,2 a 9,7	Bouwer & Chaney (1974)
Ca	0,83 ± 0,33	8,06 ± 1,07	20 a 120	Feigin et al. (1991)
Mg	0,17 ± 0,04	1,89 ± 0,46	10 a 50	Feigin et al. (1991)
K	0,92 ± 0,22	16,62 ± 1,81	10 a 40	Feigin et al. (1991)
<b>Na</b>	<b>120,79 ± 36,93</b>	<b>145,79 ± 31,33</b>	50 a 250	Feigin et al. (1991)
B	0,148 ± 0,045	0,170 ± 0,088	0 a 1	Feigin et al. (1991)
pH	9,65 ± 0,26	7,51 ± 0,34	7,8 a 8,1	Feigin et al. (1991)
CE, em dS m <sup>-1</sup>	0,49 ± 0,11	0,86 ± 0,12	1,0 a 3,1	Pescod (1992)
<b>RAS, em (mmol L<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup></b>	<b>32,18 ± 10,11</b>	<b>11,94 ± 2,91</b>	4,5 a 7,9	Feigin et al. (1991)

## ***Efluente Piracicaba – Lagoa de Estabilização***

<b>Constituinte</b>	<b>EETE mg L<sup>-1</sup></b>
<b>CID<sup>1</sup></b>	234,81±89,68
<b>COD<sup>2</sup></b>	25,63±12,86
<b>P-PO<sub>4</sub></b>	2,24±1,92
<b>S</b>	36,6±20,25
<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	28,11±5,55
<b>N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	0,02±0,01
<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>0,07±0,04</b>
<b>Ca</b>	15,18±11,89
<b>Mg</b>	5,29±1,88
<b>Na</b>	<b>70,8±26,32</b>
<b>K</b>	27,5±10,16
<b>B</b>	0,09±0,02
<b>pH</b>	7,49±0,22
<b>CE, em dS m<sup>-1</sup></b>	0,84±0,12
<b>RAS<sup>3</sup>, em (mmol L<sup>-1</sup>)<sup>1/2</sup></b>	<b>4,24±1,38</b>

(1) CID: carbono inorgânico dissolvido;

(2) COD: carbono orgânico dissolvido;

(3) RAS: razão de adsorção de sódio .

(4) CE: condutividade elétrica

# *Campo Experimental de Lins*





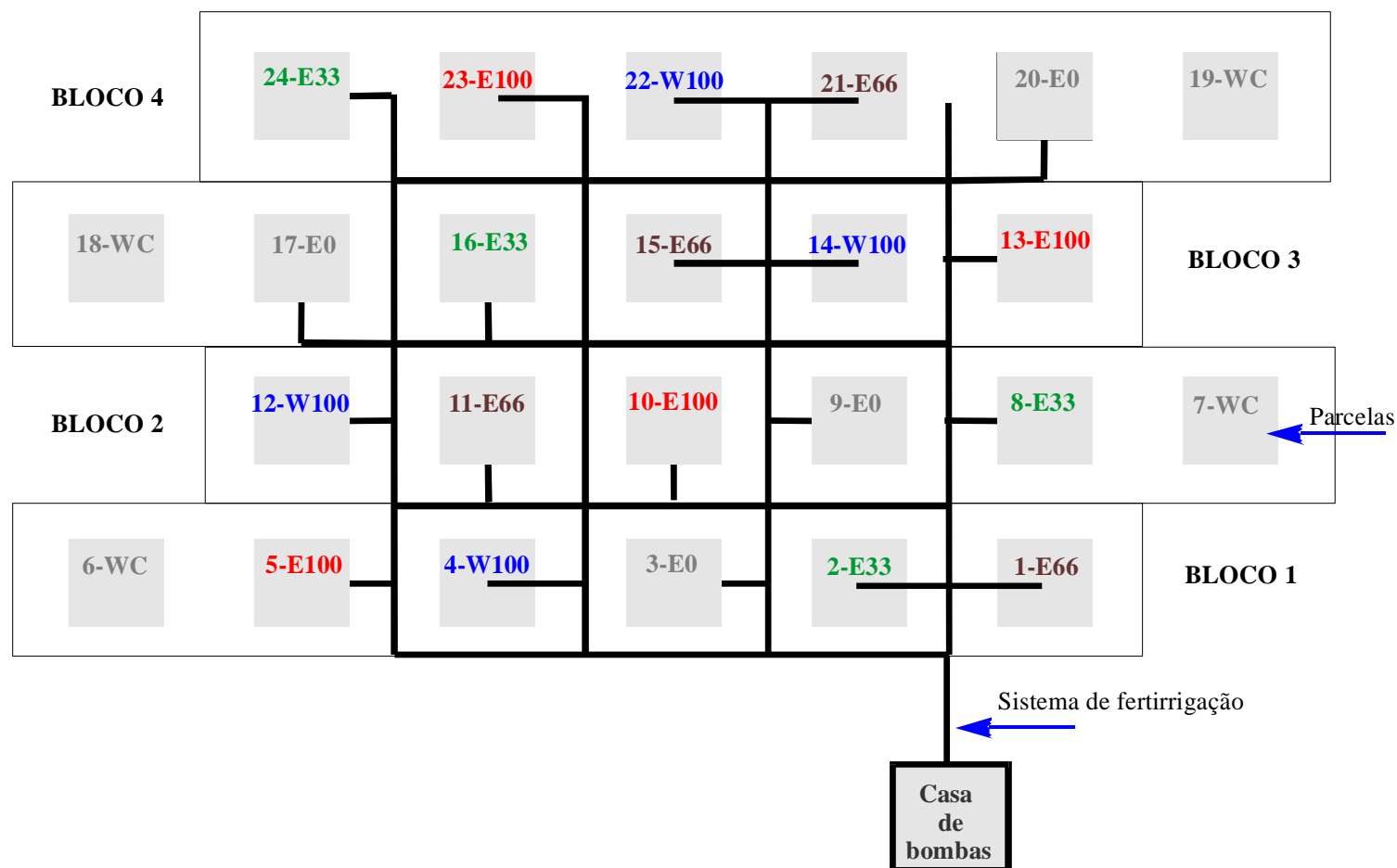
## ***Capim Tifton - 85***

Parcelas experimentais





# Capim Tifton - 85



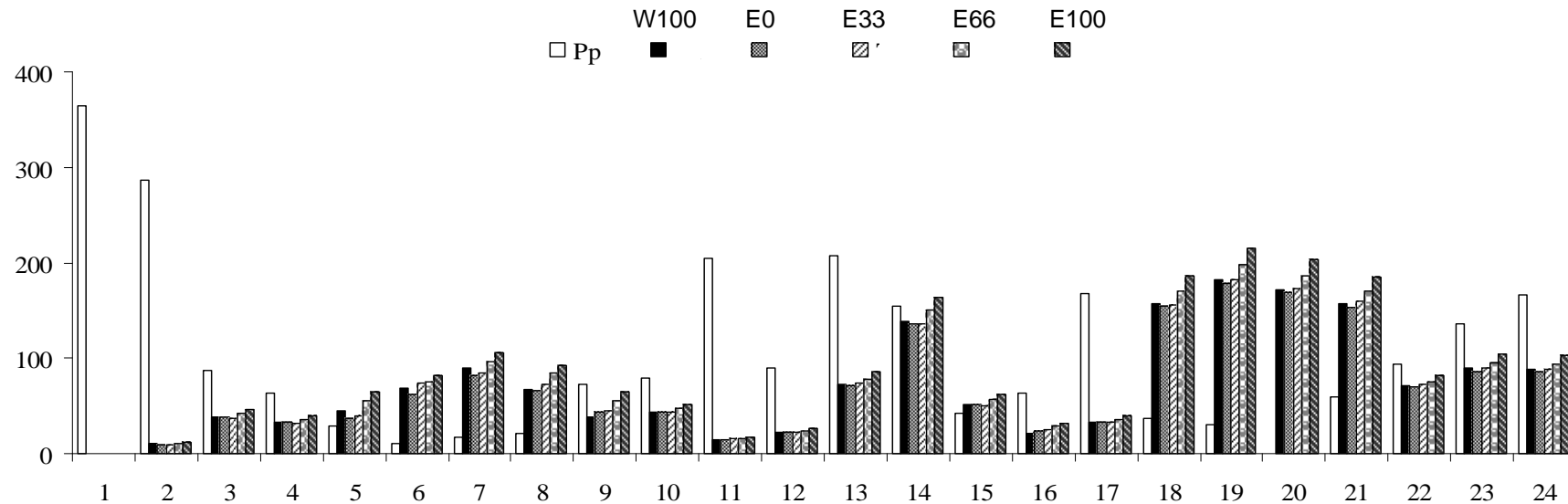
WC – somente água de chuva e sem fertilização (branco), W100 – irrigação com água e fornecimento de 100% ( $520\text{kg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ ) da dose de fertilizante nitrogenado mineral – FNM; E0, E33, E66 e E100 que corresponde à irrigação com EETE e o fornecimento de 0, 33 ( $171,6\text{ kg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ ), 66 ( $343,2\text{ kg ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ ) e 100% da dose de FNM.

## **Efluente de esgoto tratado como fonte de água e de nitrogênio para o capim-Tifton 85**

Tratamento	MS		
	1º ano	2º ano	Média
	----- (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) -----		
<b>W100</b> – irrigação com água + NFM (520 kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	32,91	32,62	<b>32,76</b> <sup>bc</sup>
E0 – irrigação com ESET, sem NFM	19,85	28,89	24,37 <sup>d</sup>
E33 – irrigação com ESET + NFM (171,6 kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	28,36	35,93	32,15 <sup>c</sup>
<b>E66</b> – irrigação com ESET + NFM (343,2 kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	32,43	37,02	<b>34,73</b> <sup>b</sup>
<b>E100</b> – irrigação com ESET + NFM (520 kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	37,82	39,29	<b>38,55</b> <sup>a</sup>
Média	30,27 <sup>B</sup>	34,75 <sup>A</sup>	

<sup>(1)</sup> Letras iguais maiúsculas ou minúsculas nas linhas e nas colunas, respectivamente, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

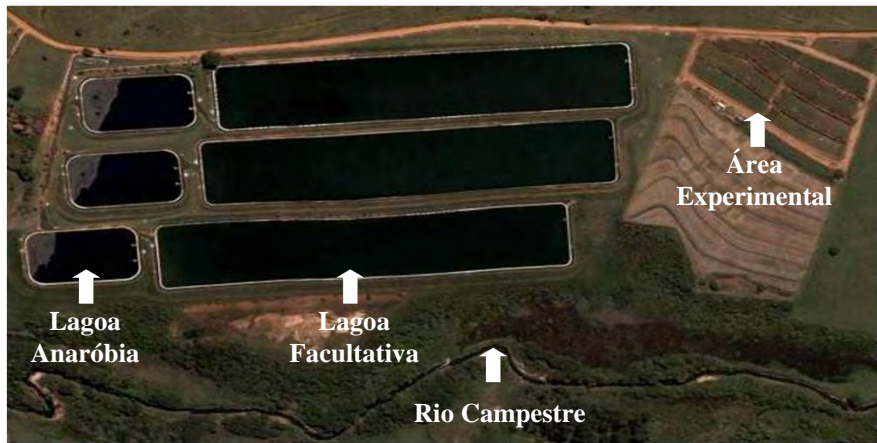
Ano 1	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	(Na tha <sup>-1</sup> )
Ano 2	1,5	1,8	1,8	2,0	2,1	(Na tha <sup>-1</sup> )



Lâminas mensais (início dia 15 e término dia 14) de precipitação pluvial (Pp) e de irrigação ocorridas no experimento de 15/01/2003 a 14/01/2005. W100 (controle): irrigação com água potável e adição de 520 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de nitrogênio via fertilizante mineral (NFM); E0, E33, E66 e E100: irrigação com efluente secundário de esgoto tratado (ESET) e adição de 0, 171,6; 343,2 e 520 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de NFM

Isso representaria economia de NFM de 167,3 **(32,2%)** e 421,2 **(81,0%)** kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> para o primeiro e segundo anos, respectivamente, sem comprometer o rendimento do capim.

# Experimento Cana-de-açúcar - Lins



## Tratamentos:

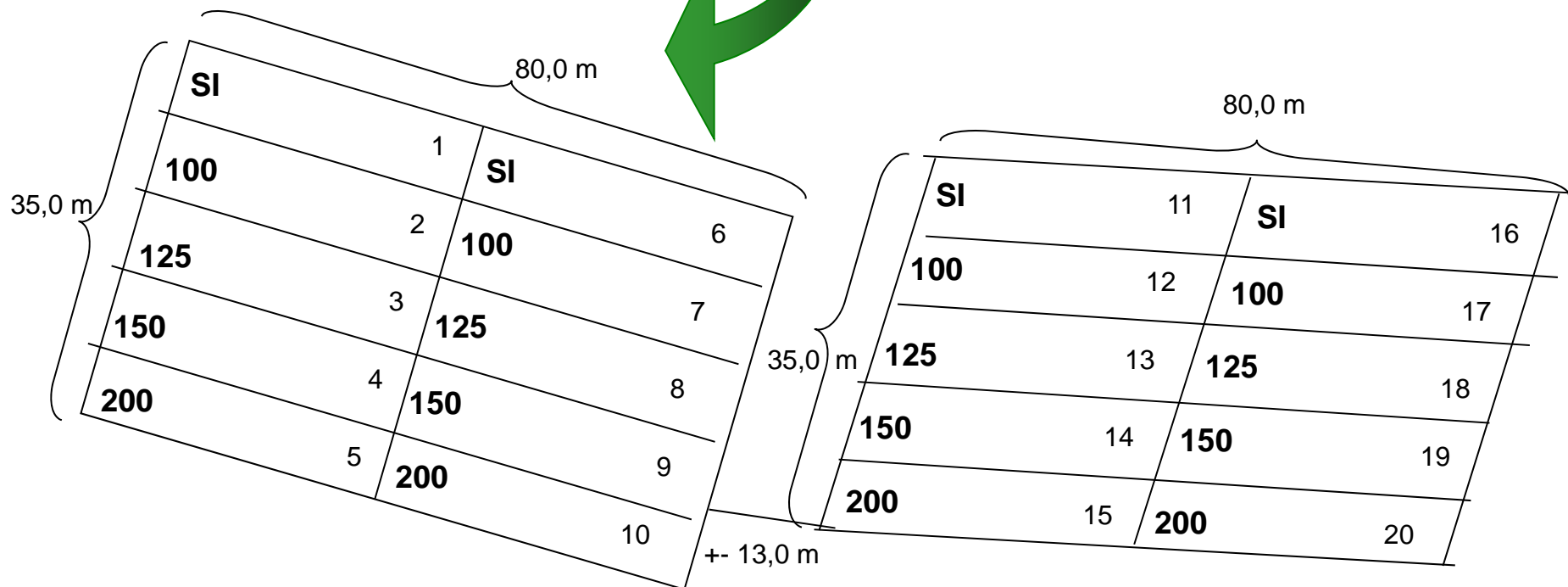
SI – sem irrigação

100 – umidade do solo na capacidade de campo

125 – 25 % a mais da umidade do solo na capacidade de campo

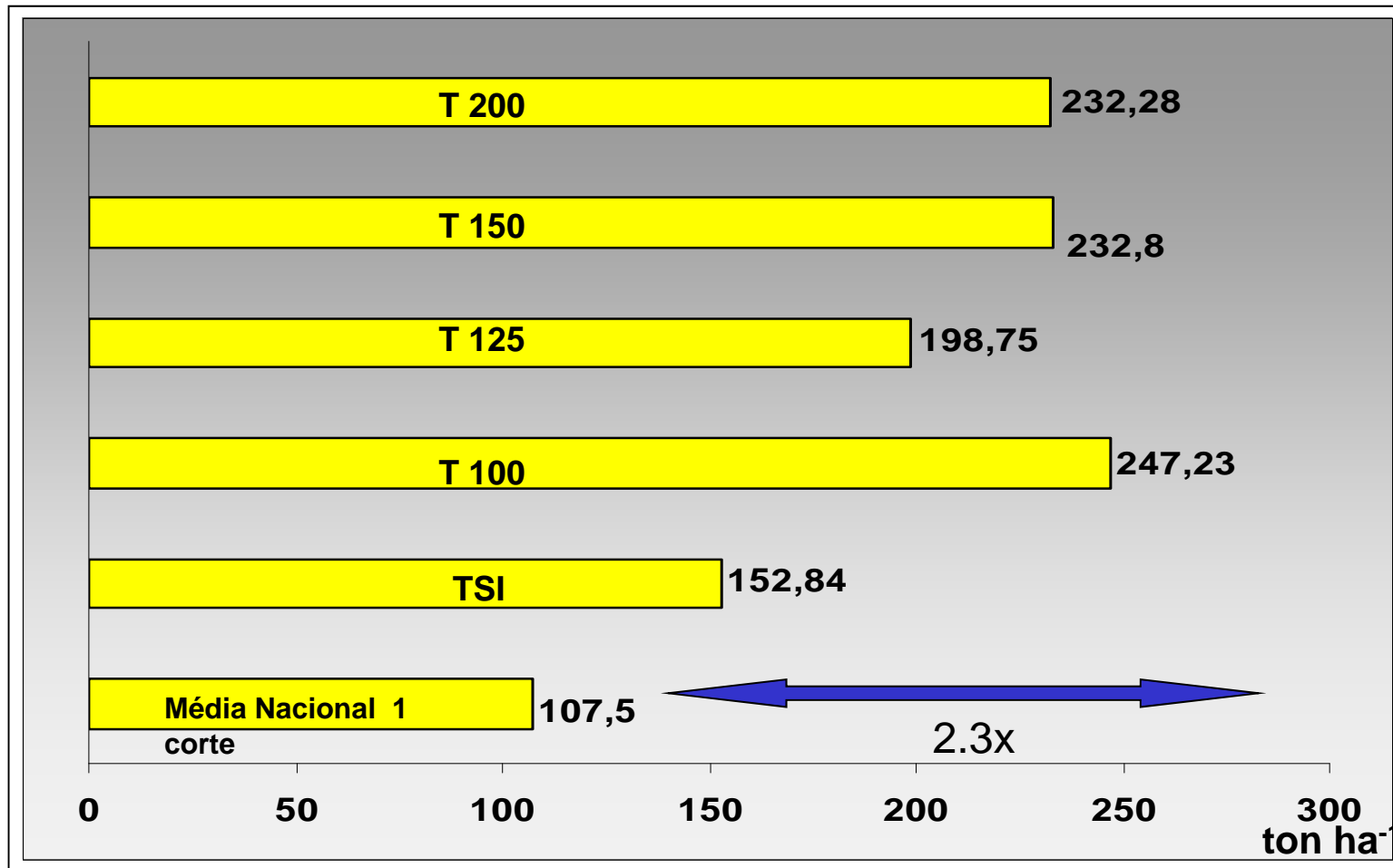
150 – 50 % a mais da umidade do solo na capacidade de campo

200 – 100 % a mais da umidade do solo na capacidade de campo





## Experimento Cana-de-açúcar - Lins



Segundo estimativa do Instituto FNP, a produtividade média brasileira na safra 05/06 de cana de ano de 1º corte e de ano e meio, como a variedade aqui empregada, foi de aproximadamente 107,50 ton ha<sup>-1</sup> (AGRIANUAL, 2006).

## ***De maneira geral verificamos em Lins que:***

➤ ***As produtividades das culturas aumentaram seja pelo efeito do EETE como fonte de água, seja pelo complemento de nutrientes***

➤ ***Houve aumento de sais no solo, sobretudo sódio, que deve ser monitorado para não causar danos a sua estrutura. (Quando necessário aplicação de um condicionador de solo, por exemplo, gesso agrícola)***

➤ ***Cana-de-açúcar (segundo experimento com cana):***

***Os tratamentos (com e sem irrigação e com e sem fosfogesso) não afetaram os rendimentos de colmos.***

***O tratamento com EETE e fosfogesso apresentou efeito sinérgico sobre o conteúdo de nitrogênio e de enxofre nas plantas.***

***A alta concentração de Na e seus efeitos sobre propriedades físicas do solo revelaram-se naturalmente reversíveis em solo bem drenado com uma estação chuvosa.***

- ***A qualidade do lençol freático não foi prejudicada pela irrigação***
- ***Grupos funcionais de microrganismos amonificantes e desnitrificantes foram os mais influenciados pela irrigação com efluente e o potencial metabólico dos microrganismos foi estimulado pela irrigação com efluente.***

## ***Ainda,***

- ***avaliamos a aceitação, por parte de produtores rurais de Lins, da irrigação com EETE, pois.....***

***É NA CONQUISTA PELA ACEITAÇÃO DO PÚBLICO QUE RESIDE O MAIOR DESAFIO PARA O USO DA ÁGUA RESIDUÁRIA EM SUAS DIVERSAS APLICAÇÕES AO REDOR DO GLOBO***

**E....**

- **Os produtores consultados não teriam problemas na utilização.**
  - ✓ **Todos são favoráveis ao uso da técnica**
  - ✓ **Todos utilizariam o EETE, ressaltando a economia de fertilização mineral**
  - ✓ **Indicaram como fator limitante para o uso a logística de transporte**
  - ✓ **Avaliaram que a participação da Universidade dá credibilidade aos resultados (Importância das parcerias)**



# Campo Experimental de Piracicaba



✓ Área de plantio de cana:  
grupo COSAN – Usina  
Santa Helena

✓ Área do experimento: 1,2  
ha

✓ ETE: lagoas de  
estabilização (SEMAE)  
Vazão média produzida: 10,16  
L/s

✓ Cana-de-açúcar:  
variedade SP 903414.

✓ Ciclo avaliado: 1º soca (a  
cana-planta não foi  
irrigada)

✓ Irrigação: 05/10/07 a  
30/06/08

✓ Tratamentos: lâminas  
baseadas na  
evapotranspiração da  
cultura (ETc).

**Avaliação do sistema de irrigação**



✓ Sistema de irrigação: gotejamento subsuperficial.

✓ Tubogotejador: Modelo Supertyphoon 150,  $Q=1,75$  L/h a  $1,0$  kgf/cm<sup>2</sup>.  
Profundidade de enterrio: 20 cm.  
Espaçamento dos gotejadores: 50 cm.





✓ Filtragem: conjunto de filtros de areia.

✓ Controle da irrigação - Balanço hídrico: leitura a cada 2 dias da evaporação do Tanque Classe A (ECA) e da precipitação.





# ***Cana-de-açúcar - Piracicaba***

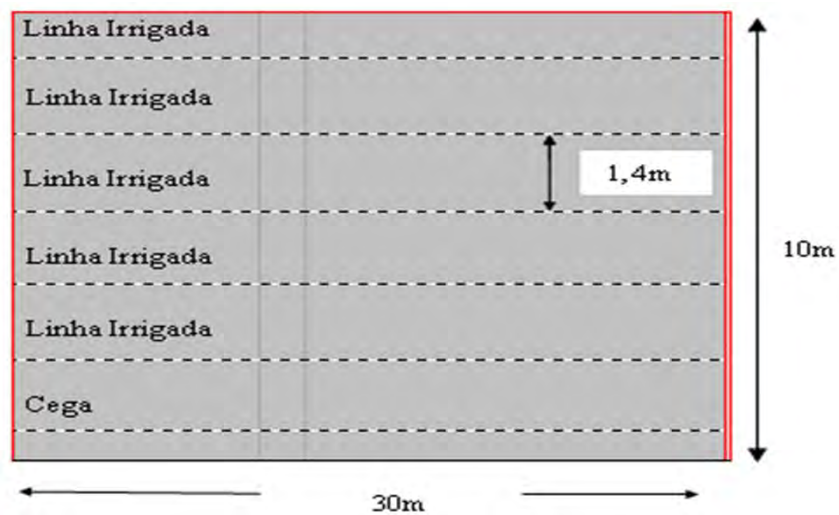
## ***APORTE DE NUTRIENTES MINERAIS EM CULTURA DE CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA COM EFLUENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO***

*Avaliar o potencial de fornecimento de nutrientes minerais pela irrigação da cana-de-açúcar com EETE gerado por lagoas de estabilização*

Tamara Maria Gomes  
Magnus Dall'Igna Deon  
Célia Regina Montes  
Gilberto Carlos Sundefeld Jr.  
Adolpho José Melfi

➤ Tratamentos avaliados: SI (sem irrigação) e 100% ETC

✓ 4 repetições por tratamento



Croqui da parcela experimental.

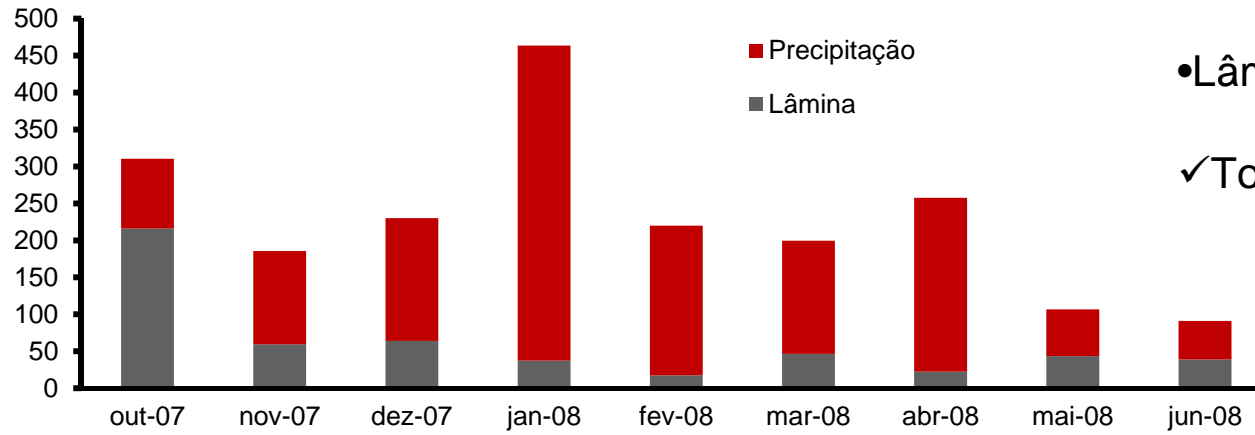


- Monitoramento mensal do efluente (07/2007 a 07/2008)  
caracterizar o aporte de nutrientes na cana
- N ( $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{N-NO}_2^-$ ) e P ( $\text{P-PO}_4^{-2}$ ) - Injeção em Fluxo (FIA)
- N particulado – combustão a seco
- K, Ca e Mg - espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio acoplado indutivamente (ICP-OES)
- Produtividade da cana – massa dos colmos cortados dentro da área útil





Irrigação e Precipitação (mm)



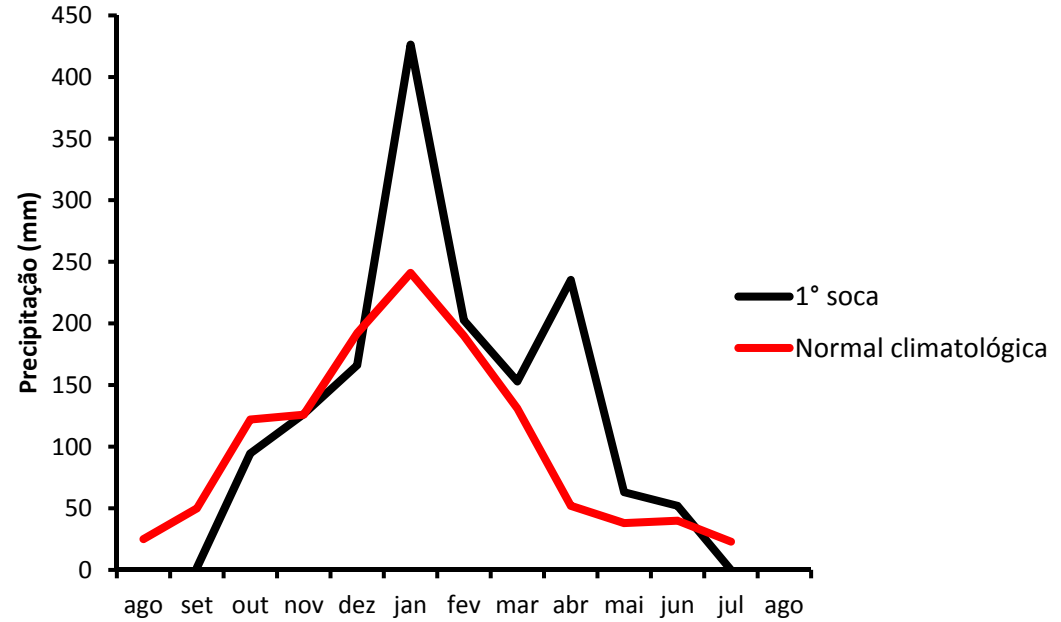
•Precipitação 1.521 mm

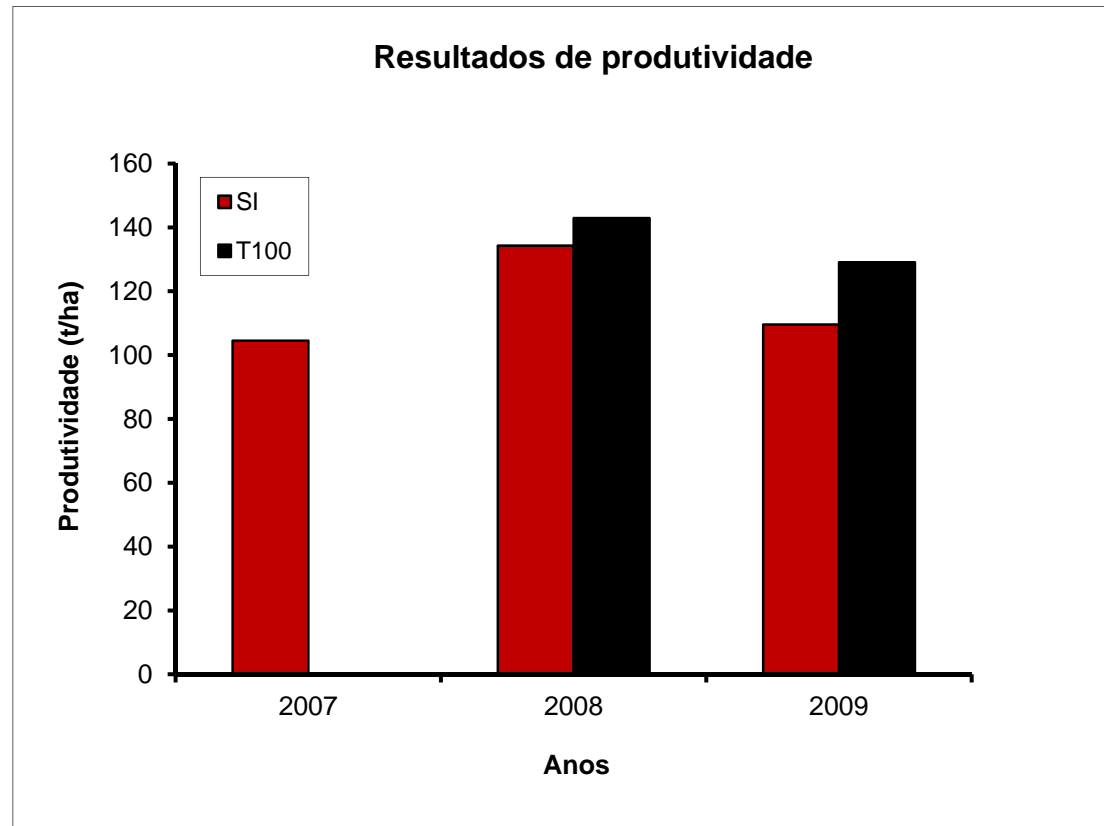
•Lâmina 565 mm

✓Total 2086

•Precipitação = 1.521 mm

•Média 30 anos Pira = 1.132mm





Ciclo da cultura	Ano	SI	T100
Cana-Planta	2007	105	
1ª Soca	2008	134	143
2ª Soca	2009	110	129

Média para SP no mesmo período = 87tha<sup>-1</sup>

## ***Aporte de nutrientes pelo efluente***

Exportação de nutrientes para colheita de 140 t de colmos, análise química de EETE (12 amostras), aporte de nutrientes (lâmina de 565mm)

<b>Nutriente</b>	<b>Concentração no EETE<sup>1</sup> (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Aporte (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Recomendação<sup>1</sup> (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Exportação (kg / 140 t)</b>	<b>Atendimento da necessidade da cultura<sup>2</sup>(%)</b>
<b>N</b>	28,94±3,90	163,48	100	116,2	140
<b>P</b>	2,53±1,94	14,30	120	15,4	93
<b>K</b>	25,73±9,89	145,38	120	109,2	133
<b>Ca</b>	14,15±8,87	79,95	-	65,8	121
<b>Mg</b>	4,97±1,81	28,05	-	46,20	61

<sup>1</sup>Recomendação de adubação nas condições da área estudada (Raij et al., 1996); <sup>2</sup>Relação entre Aporte e Exportação.

➤ **Chuva acima da média – aporte significativo de nutrientes**

➤ N, K, Ca - fornecidos exclusivamente pelo EETE

➤ P e Mg – suprimento pelo EETE menor que exportação mas valores significativos na redução de consumo de fertilizantes



***Entretanto, a irrigação baseada na demanda hídrica da cultura fica sujeita às variações climáticas e ao desenvolvimento fenológico das plantas.***

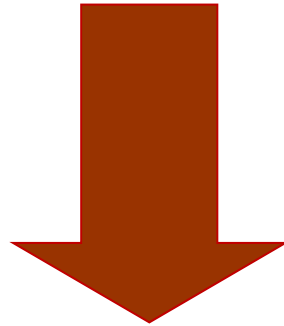
***Desta forma, as necessidades nutricionais da cultura podem não ser atendidas, em situações de precipitação elevada.***

## **CONCLUSÕES**

- ✓ A produtividade obtida da cana-de-açúcar irrigada com EETE foi de 140 t ha<sup>-1</sup>
- ✓ Houve fornecimento completo de nitrogênio, potássio e cálcio em atendimento a necessidade da cultura pela irrigação com EETE.
- ✓ ***A irrigação com EETE baseada na necessidade hídrica foi capaz de fornecer os nutrientes necessários para o desenvolvimento da cana-de-açúcar nas condições avaliadas, mostrando-se, portanto uma prática viável para a agricultura tanto do ponto de vista econômico (redução do uso de fertilizantes minerais), como ambiental (melhor gestão dos recursos hídricos).***

# Importância do manejo correto

- Evitar Degradação do Solo Pelo Excesso de Sódio



Adoção Estratégias Manejo Sodicidade:

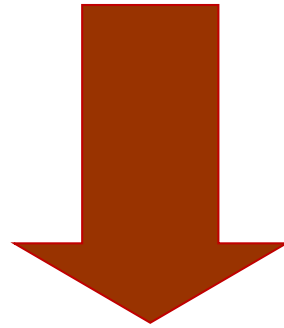
- Correção RAS Efluente
- Utilização de Gesso Agrícola

\* Pouca Influência da Cultura



# Importância do manejo correto

- Evitar perdas de Nitrogênio no sistema  
(Principalmente lixiviação de nitrato)



- Escolha de Culturas Altamente Responsivas
  - Adequação Lâminas Irrigação
  - Monitoramento lençol freático

\* Maior influência cultura

*Do ponto de vista técnico, nos casos estudados,*

**A UTILIZAÇÃO DO EETE NA AGRICULTURA  
APRESENTA-SE COMO UMA SOLUÇÃO MAIS  
ADEQUADA COMPARADA AOS IMPACTOS DO  
DESPEJO DESSA ÁGUA NOS CURSOS  
SUPERFICIAIS**

*Então por que não usar?*

## ***Maior dificuldade atual:* LEGISLAÇÃO**

### ✓ **RESOLUÇÃO No 54/2005 CNRH – MMA**

○ *Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água*

reuso para fins:

urbanos

***agrícolas e florestais***

ambientais

fins industriais

aqüicultura

Ressalta a importância do reuso de água como ferramenta de gestão dos recursos hídricos

*As diferentes modalidades de reuso dependem de Resolução específica para implantação*

## ***Fase atual –***

**CNRH – aprovação da *RESOLUÇÃO No 121, DE 16 DE DEZEMBRO DE 2010***

*estabelece diretrizes e critérios para a prática de reuso direto não potável de água na modalidade **agrícola e florestal**, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005. (Publicada em 16/03/11)*

*(Não tem indicação de parâmetros e remete a responsabilidade aos órgãos ou entidades competentes dos Estados).*

***CETESB – orientação para apresentação de projetos para aplicação de EETE na agricultura***

***Decisão de Diretoria nº 388/2010/P, de 21-12-2010 - Aprovação de premissas e diretrizes para a aplicação de resíduos e efluentes em solo agrícola no Estado de São Paulo***

***APRESENTAÇÃO DE PROJETO PARA APLICAÇÃO***





**ORIENTAÇÃO PARA APRESENTAÇÃO DE PROJETO  
VISANDO A APLICAÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO  
PROVENIENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
ESGOTO DOMÉSTICO NA AGRICULTURA**

## **2.1 Quanto à Área**

- afastamento de 50 metros de vias de domínio público, em aplicação em culturas, quando se tratar de aplicação não localizada;
- afastamento de, no mínimo, 500 metros de núcleos populacionais, para evitar problemas de reclamação por odor. Essa distância de afastamento poderá, a critério da CETESB, ser ampliada ou reduzida quando as condições ambientais, incluindo as climáticas, usos do entorno, formas de aplicação, exigirem a ampliação ou justificarem a redução;
- a profundidade do nível d'água do aquífero livre, medido no final do período das chuvas, no mínimo, de 2,00 m (dois metros ) conforme recomendações da FAO/ONU(2005);
- declividade máxima de até 15% para a área destinada à aplicação, devendo sempre adotar as medidas de segurança adequadas, para a prevenção de eventuais problemas com erosão do solo;

## 2.2 Quanto ao Uso Pretendido

- pomares;
- culturas que não são consumidas cruas;
- forrageiras, exceto para pastejo direto;
- áreas de reflorestamento e plantações florestais;
- irrigação paisagística ou esportiva (ex.: campo de golfe, de futebol).

## 2.4 Quanto aos Efluentes

### a) Parâmetros a serem determinados para a caracterização do esgoto doméstico tratado e limites para uso em aplicação em cultura

Os seguintes parâmetros devem ser determinados ou mensurados nos efluentes de todas as estações de tratamento de esgoto doméstico que pretendam o reúso para aplicação em culturas: demanda bioquímica de oxigênio – DBO, demanda química de oxigênio - DQO, carbono orgânico total – COT, óleos e graxas, pH, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica, série nitrogenada completa (N-Kjeldahl, N-amoniacal, N-nitrato, N-nitrito), alumínio, sódio, cálcio, potássio, magnésio, boro, fluoreto, sulfato, cloreto, fosfato total, ferro, zinco, níquel, manganês, cobre, cádmio, chumbo, cromo, mercúrio, coliformes termotolerantes, ovos de helmintos.



A razão de adsorção de sódio (RAS) máxima permitida no efluente será de 12 para limitar o risco de sodificação do solo, e deverá manter correlação com a condutividade elétrica do efluente, conforme o quadro abaixo, para minimizar problemas de permeabilidade dos solos.

RAS	Condutividade Elétrica dS/m	
	mínima	máxima
0 - 3	0,2	2,9
3 - 6	1,2	2,9
6-12	1,9	2,9

Fonte: FAO/ONU (2005)

Tabela 1 – Concentrações máximas permitidas nos efluentes líquidos provenientes das estações de tratamento de esgoto doméstico, para aplicação em culturas.

SUBSTÂNCIAS	CONCENTRAÇÃO (mg/L)
Alumínio	5,0
Arsênio	0,10
Bário	5,0**
Berílio	0,10
Boro	0,5***
Cádmio	0,01
Chumbo	0,5**
Cianeto	0,2**
Cloreto	106,5***
Cobalto	0,05
Cobre	0,2
Cromo	0,10
Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5*
Ferro	5,0
Fluoreto	1,0
Manganês	0,20
Mercúrio	0,01**
Molibdênio	0,01
Níquel	0,2
Prata	0,02
Selênio	0,02

Sódio	69,0***
Sulfeto	1,0*
Vanádio	0,10
Zinco	2,0
Clorofórmio	1,0*
Dicloroetano	1,0*
Tetracloroeto de carbono	1,0*
Tricloroetano	1,0*
Coliformes termotolerantes	ver Tabela 2
Ovos helmintos	ver Tabela 2

Fonte: FAO – Food and Agriculture Organization<sup>1</sup>

\*Resolução CONAMA 357/05

\*\*Decreto Estadual 8.468/76

\*\*\*Concentrações de boro acima de 0,5 mg/L, de cloreto acima de 106,5 mg/L e de sódio acima de 69 mg/L são tóxicas para plantas sensíveis, como frutíferas, principalmente por sistemas de aspersão e, somente serão aceitas para aplicação desde que seja apresentado parecer conclusivo de instituição oficial ou credenciada de pesquisa sobre a viabilidade agrícola de seu uso.

Além de atender aos quesitos acima, o efluente não deverá provocar efeitos tóxicos a organismos do solo, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido. Essa comprovação pode ser feita utilizando-se o guia da EPA: *Ecological Effects Test Guidelines - Seed Germination/ Root Elongation Toxicity Test*<sup>2</sup>

## b) Parâmetros microbiológicos

Tabela 2 – Valores microbiológicos para uso de esgoto doméstico tratado na aplicação em culturas.

Categoria	Condições de reúso	Grupos expostos	Técnicas de aplicação	Ovos de Helmintos <sup>a</sup> (média aritmética do nº de ovos por litro <sup>b</sup> )	Coliformes termotolerantes (média geométrica do nº por 100 ml <sup>c</sup> )
A	Campos esportivos, parques públicos	Trabalhador, público	Qualquer	≤ 1	≤ 200
B	Cereais, cultura a ser industrializada, silvicultura, árvores frutíferas <sup>d</sup> , forrageira para feno e silagem <sup>e</sup>	B1 trabalhadores (exceto crianças menores de 15 anos), comunidades vizinhas	(a) aspersão	≤ 1	≤ 10 <sup>5</sup>
		B2 idem a B1	(b) inundação / canal	≤ 1	≤ 10 <sup>3</sup>
		B3 trabalhadores incluindo crianças menores de 15 anos, comunidades vizinhas	Qualquer	≤ 1	≤ 10 <sup>3</sup>
C	aplicação localizada de culturas da categoria B se não ocorrer exposição de trabalhadores e público	Nenhum	Gotejamento, microaspersão	não aplicável	não aplicável

<sup>a</sup> Ascaris e Trichuris e ancilóstomo; esse valor tem, também, a intenção de proteger contra riscos de protozoários

<sup>b</sup> Durante o período de aplicação

<sup>c</sup> Durante o período de aplicação (a contagem de coliformes termotolerantes deve ser feita, de preferência, semanalmente, no mínimo, mensalmente)

<sup>d</sup> para árvores frutíferas, a aplicação deve ser interrompida duas semanas antes da colheita e, a fruta não pode ser colhida do chão. A aplicação em aspersão convencional não deve ser usada.

<sup>e</sup> aplicação em plantas forrageiras não será permitida para pastejo direto. O fornecimento de forrageira no cocho é considerado como pastejo direto.

Fonte: World Health Organization, 2000<sup>2</sup>.



### 3 PLANO DE APLICAÇÃO DE EFLUENTES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM CULTURAS

#### 3.1 Quanto aos efluentes

- a) Descritivo do sistema de tratamento de esgoto doméstico; os tipos e as quantidades de efluentes tratados, os resíduos gerados e as concentrações dos constituintes do esgoto doméstico tratado a ser utilizado na aplicação;
- b) laudos de caracterização do efluente de estação de tratamento de esgoto doméstico utilizado para a aplicação, com os resultados analítico-quantitativos dos parâmetros principais e limitantes, listados na Tabela 1 do item 3.1.4 e outros parâmetros solicitados pela CETESB.

Essa caracterização deve ser composta de, no mínimo, 10 (dez) amostras coletadas em períodos distintos e executadas segundo o Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água (CETESB, 1988). As análises devem ser realizadas em laboratório acreditado, seguindo as metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, última edição. Os laudos devem ser entregues à CETESB devidamente assinados por profissionais habilitados.

### 3.2 Quanto à área

- a) Caracterização da área: planta topográfica da área do empreendimento, em escala 1:10.000, contemplando o local do armazenamento e seu entorno, os cursos d'água e as áreas de interesse ambiental, a área de aplicação e seu entorno num raio, de pelo menos, 1.000 metros, com o espaçamento das curvas de nível de, no mínimo, 5 metros;
- c) **caracterização inicial do solo:** em cada unidade de solo identificada na área de aplicação deverá ser coletada uma amostra composta para cada profundidade de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm, para análise dos seguintes parâmetros: pH, potássio, fósforo, sódio, cálcio, magnésio, alumínio, H+Al, matéria orgânica, saturação por bases, Capacidade de Troca Catiônica - CTC e metais, de acordo com os resultados da caracterização do esgoto doméstico tratado. Deverão ser apresentados também, os resultados de análise

---

textural (incluindo análise granulométrica), capacidade máxima de retenção de umidade e coeficiente de infiltração. As análises devem ser realizadas em laboratórios acreditados e os laudos devem ser apresentados com as devidas assinaturas de profissionais habilitados. Para os metais, a metodologia de extração deve seguir EPA 3050 ou 3051. O pH deve ser feito em  $\text{CaCl}_2$  na razão de 1:2,5;



d) **caracterização hidrogeológica**

- geologia regional: origem (sedimentos inconsolidados, rochas sedimentares, rochas ígneas, ou rochas metamórficas), formações geológicas existentes e características estruturais;
- **hidrogeologia local** deverá ser apresentado um único mapa contemplando as curvas de níveis do terreno (relevo) e as isolinhas de nível do aquífero livre, direção do fluxo de água subterrânea, cursos de água próximos, poços de abastecimento de água e uso e ocupação do solo nas escalas: 1:5000 para empreendimentos com mais de 100 ha (inclusive) e 1:2000 para empreendimentos com menos de 100 ha;
- **hidrogeoquímica local: a água do aquífero freático deverá ser amostrada em poços de monitoramento, instalados segundo Norma NBR 13.895 – Construção de Poços de Monitoramento e Amostragem - Procedimentos, da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. O número de poços a serem instalados, suas localizações, a posição e o comprimento dos filtros dependerão do estudo hidrogeológico e do modelo conceitual desenvolvido para a área, devendo possibilitar a obtenção de informações representativas da qualidade da água antes e após o início das aplicações. As amostras devem ser caracterizadas para os seguintes parâmetros: pH, condutividade elétrica, dureza total, ferro total, cloreto, fluoreto, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, nitrogênio Kjeldahl total, oxigênio dissolvido, temperatura, resíduo filtrável, sólidos totais dissolvidos, carbono orgânico total, cádmio, chumbo, cromo, mercúrio, boro, alumínio, cálcio, sódio, potássio, magnésio, sulfato, fosfato total, cianeto e coliformes termotolerantes ou *E. coli*. As análises devem ser realizadas em laboratório acreditado, seguindo as metodologias analíticas descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, última edição, e os laudos devem ser apresentados devidamente assinados por profissionais habilitados. A critério da CETESB, outros parâmetros podem ser solicitados para a caracterização hidrogeoquímica local.**

### 3.3 Quanto ao projeto

- a) plantas em escala compatível, contendo: canais, tubulações, sistema de recalque, tanques de acumulação (plantas, cortes e características construtivas dos mesmos) e dispositivos de segurança para as áreas de proteção em torno de córregos, rios e/ou cursos d'água,

considerando-se os aspectos relativos à Legislação Florestal, visando à preservação dos recursos hídricos;

- b) balanço hídrico com a indicação de vazões em m<sup>3</sup>/dia e as taxas de aplicação de efluentes de estações de tratamento de esgoto doméstico;

- c) para as culturas a serem utilizadas na aplicação de efluentes de estações de tratamento de esgoto doméstico, as informações são as seguintes:

- tipo de cultura agrícola;
- ciclo da cultura;
- manejo agrícola (colheita, rotação, controle de erosão);
- profundidade efetiva do sistema radicular;
- evapotranspiração: coeficiente da cultura (Kc) de acordo com seu estágio de desenvolvimento;
- recomendação de adubação;
- balanço nutricional da cultura em função dos nutrientes presentes na água de reúso, taxa de aplicação, demanda da cultura e fertilidade do solo;
- lâmina d'água;
- turno de rega;
- justificativa para aplicação;
- referência bibliográfica consultada.

- d) a taxa de aplicação deve ser calculada segundo os itens d.1 a d.3, adotando-se a mais restritiva entre elas:



d.1) *Taxa de aplicação em função do nitrogênio disponível.*

d.2) *Taxa de aplicação em função da necessidade hídrica da espécie vegetal.*

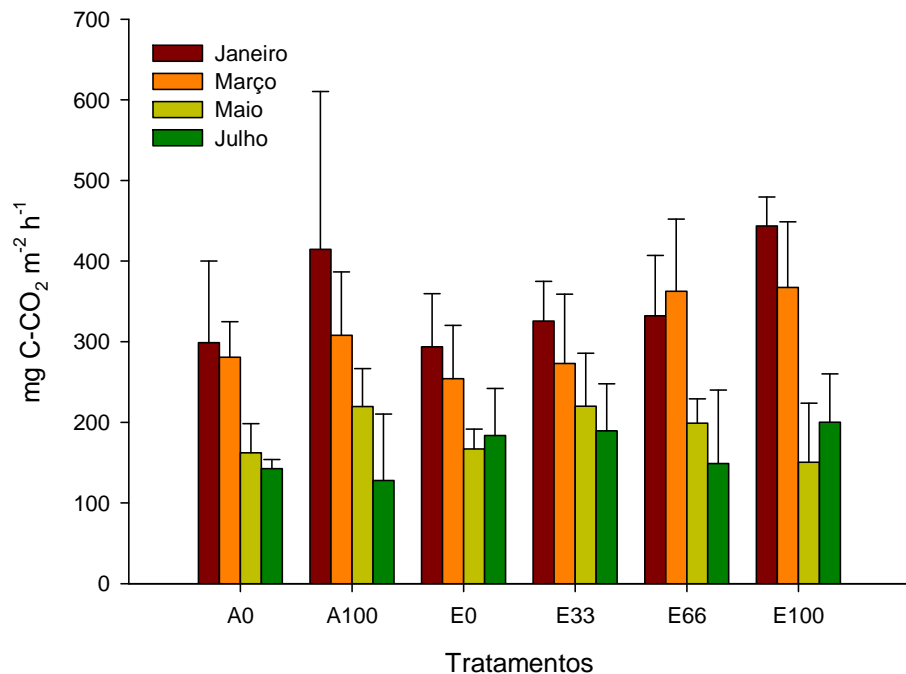
d.3) *Taxa de aplicação em função de outros elementos.*

Considerando a taxa de aplicação calculada em função do nitrogênio ou do balanço hídrico e a caracterização do efluente, deverá ser verificada a quantidade de fósforo e potássio que está sendo adicionada ao solo, que não deverá ultrapassar as recomendações de adubação para a espécie vegetal existente no local da aplicação.

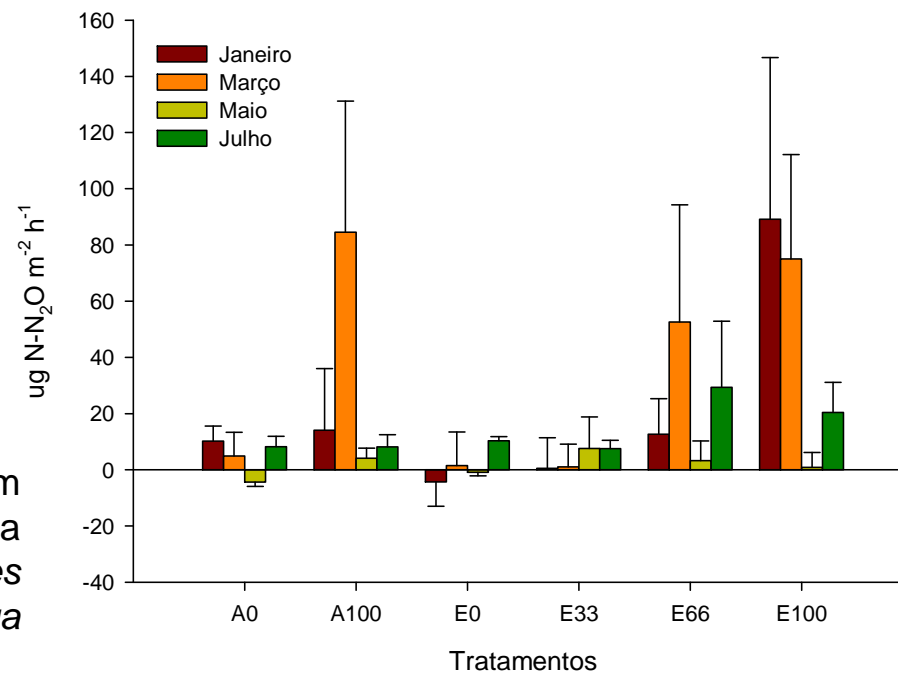
# ***Fase atual dos projetos desenvolvidos pelo grupo do Nupegel***

***Cooperação firmada entre a FAPESP e SABESP (Programa Parceria para Inovação Tecnológica)***

***EMISSÕES DE GASES E DINÂMICA DO NITROGÊNIO EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO E SOLOS IRRIGADOS COM ESGOTO TRATADO: GESTÃO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS HÍDRICOS***



Fluxos médios e desvios padrões de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O emitidos pelo solo para os diferentes tratamentos nos meses de janeiro, março, maio e julho de 2011. (Santin, 2012)



➤ as emissões de N<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> dependem predominantemente da *umidade do solo*, da *temperatura* e das *quantidades de fertilizantes nitrogenado mineral* aplicados e menos do *tipo de água utilizada* na irrigação (efluente ou água);

O PROJETO é executado por uma equipe multi e interdisciplinar constituída por professores, pesquisadores e alunos



## NUPEGEL – USP



Escola Politécnica USP



➤ *Projetos em parceria com*







## NUPEGEL – USP



**CÉLIA REGINA MONTES**  
**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – CENA – NUPEGEL**  
**crmlauar@usp.br**  
**19 34294060**