



MODELAÇÃO BIDIMENSIONAL DA DINÂMICA DA ÁGUA E DOS FERTILIZANTES AZOTADOS NUM SOLO REGADO COM ÁGUAS SALINAS

Tiago B. Ramos¹, Jirka Šimůnek², Maria C. Gonçalves³, José C. Martins³,
Ângela Prazeres³ e Luís S. Pereira¹

¹ CEER - Engenharia dos Biosistemas, Instituto Superior de Agronomia

² Department of Environmental Sciences, University of California, Riverside, USA

³ Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, INIAV, Oeiras


OBJECTIVOS

Modelação bidimensional para prever o destino das formas azotadas num campo com sorgo sacarino, regado por um sistema de rega gota-a-gota com diferentes níveis de fertirrigação e cenários de qualidade da água.

Avaliar a capacidade do modelo HYDRUS-2D para:

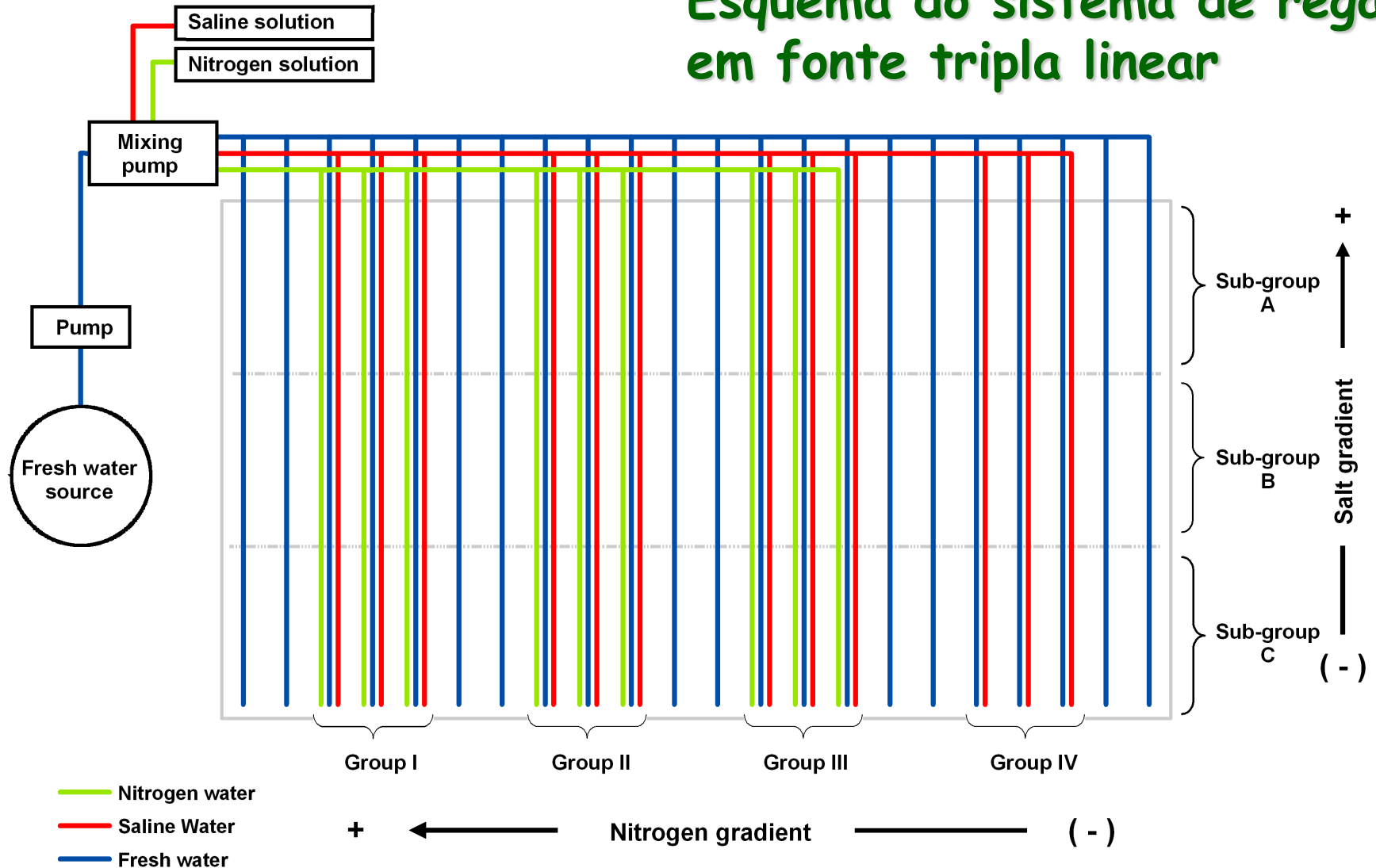
- (i) Prever os teores de água e respectivos fluxos,
- (ii) Simular a salinidade do solo através da EC_{sw} ,
- (iii) Quantificar as reduções na extracção de água pelas culturas com o uso de águas salinas,
- (iv) Prever as concentrações de $N-H_4^+$ e $N-NO_3^-$ no solo e lixiviados.

DADOS EXPERIMENTAIS

- **Solo:**
Fluvisolo com textura mediana
 - **Período:**
Maio 2007 to Abril 2010
3 ciclos de rega e 3 períodos de lavagem pelas chuvas
 - **Cultura:**
Sorgo sacarino
 - **Água aplicada:**
425, 522 e 546 mm em 2007, 2008 e 2009, respectivamente
 - **Sistema de rega gota-a-gota:**
O sistema de rega gota-a-gota foi usado para aplicar simultaneamente água, sal (Na^+) e fertilizante azotado (NH_4NO_3).
Baseado em esquemas Israelitas para desenvolver funções de produção para as culturas
- 

CAMPO EXPERIMENTAL

Esquema do sistema de rega em fonte tripla linear

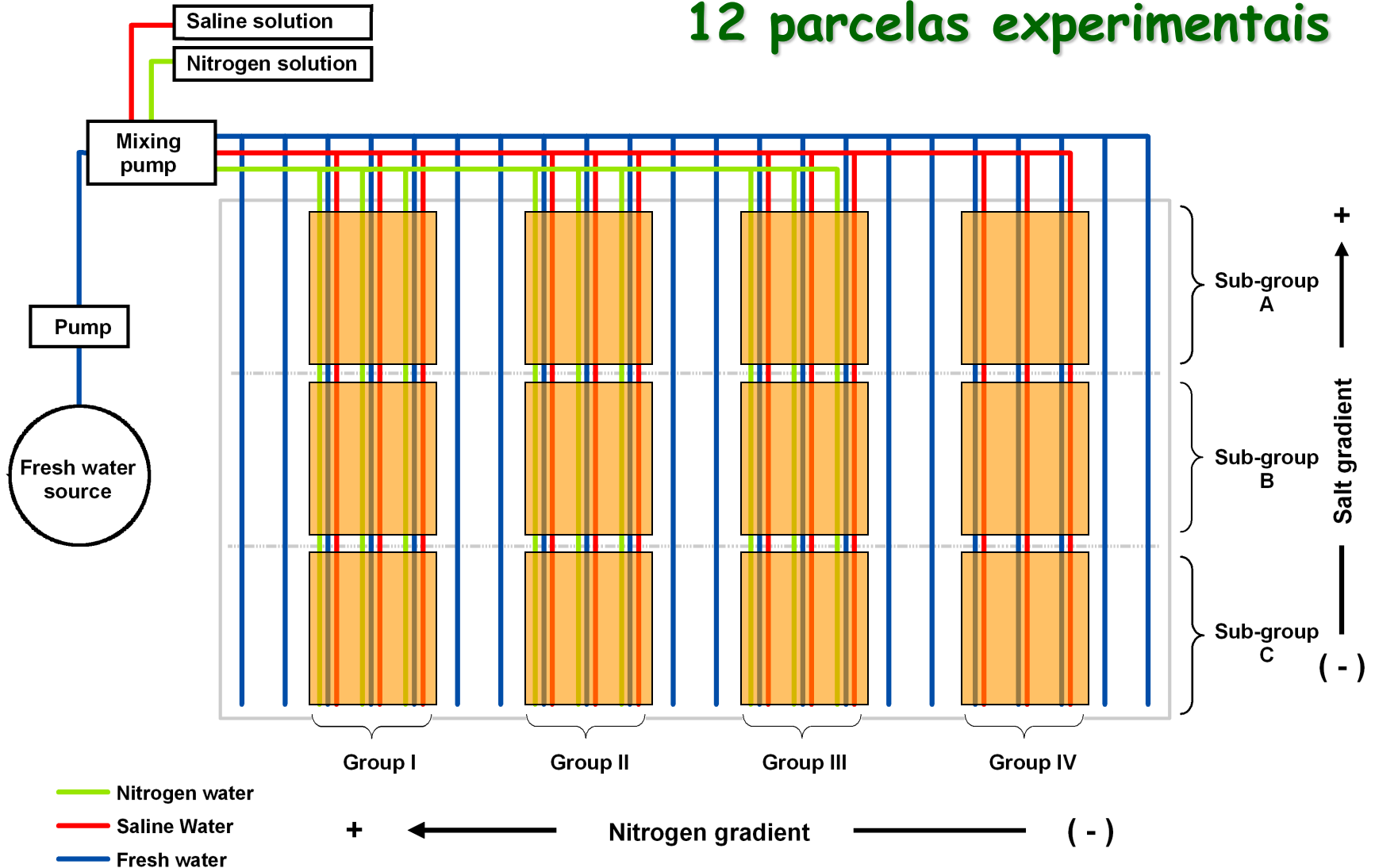


CAMPO EXPERIMENTAL



CAMPO EXPERIMENTAL

12 parcelas experimentais

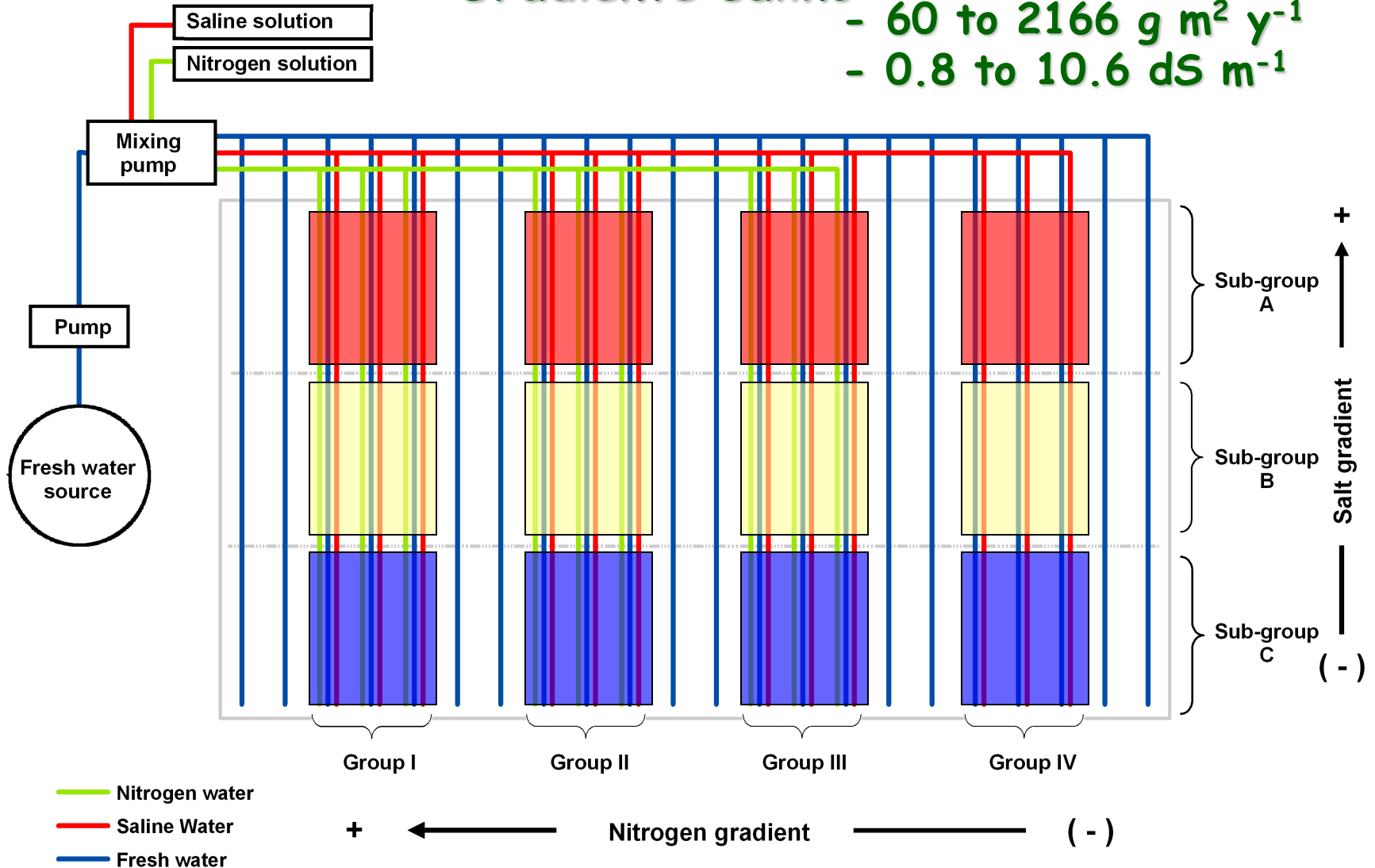


CAMPO EXPERIMENTAL

Gradiente salino:

- 60 to 2166 g m² y⁻¹

- 0.8 to 10.6 dS m⁻¹

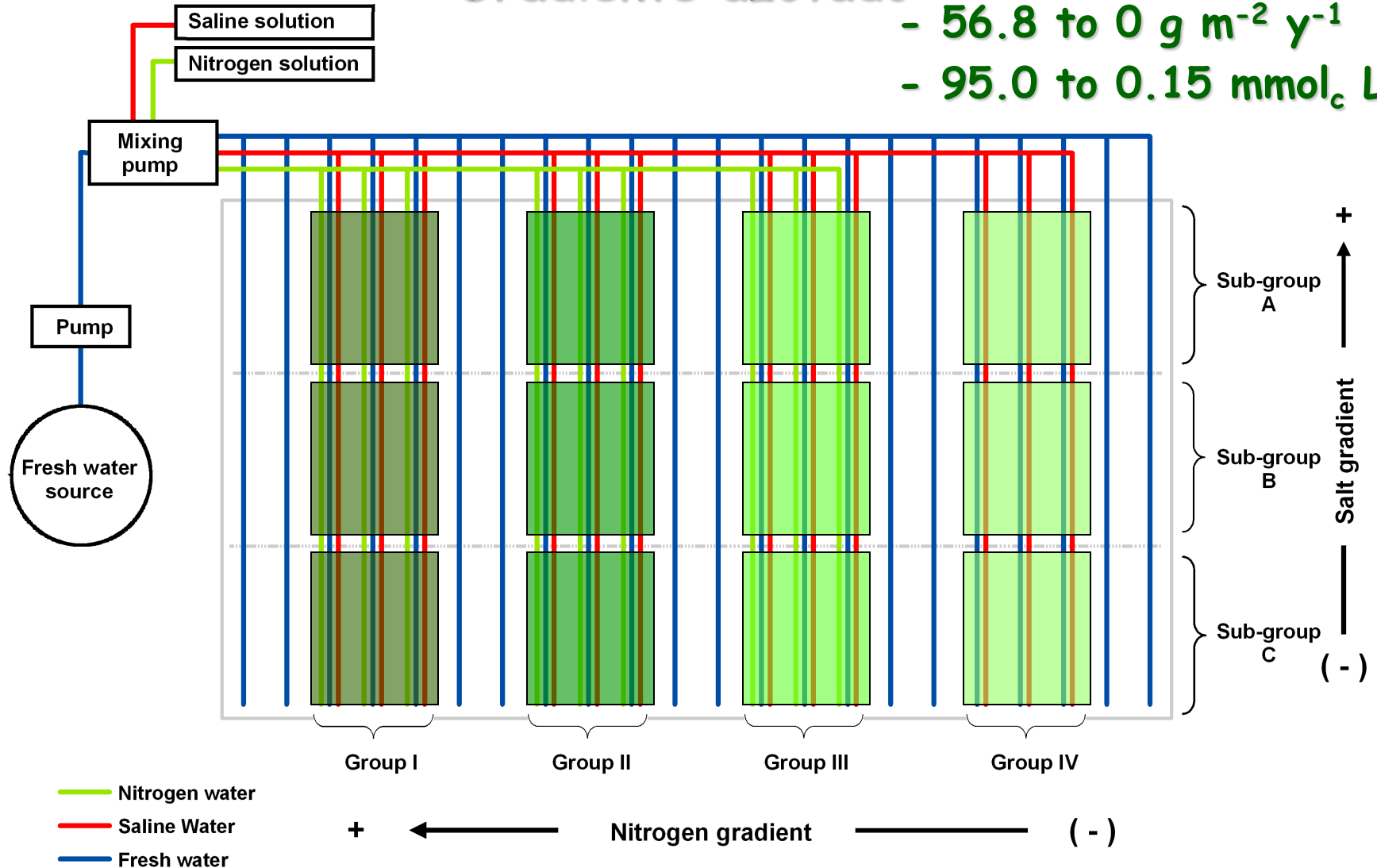


CAMPO EXPERIMENTAL

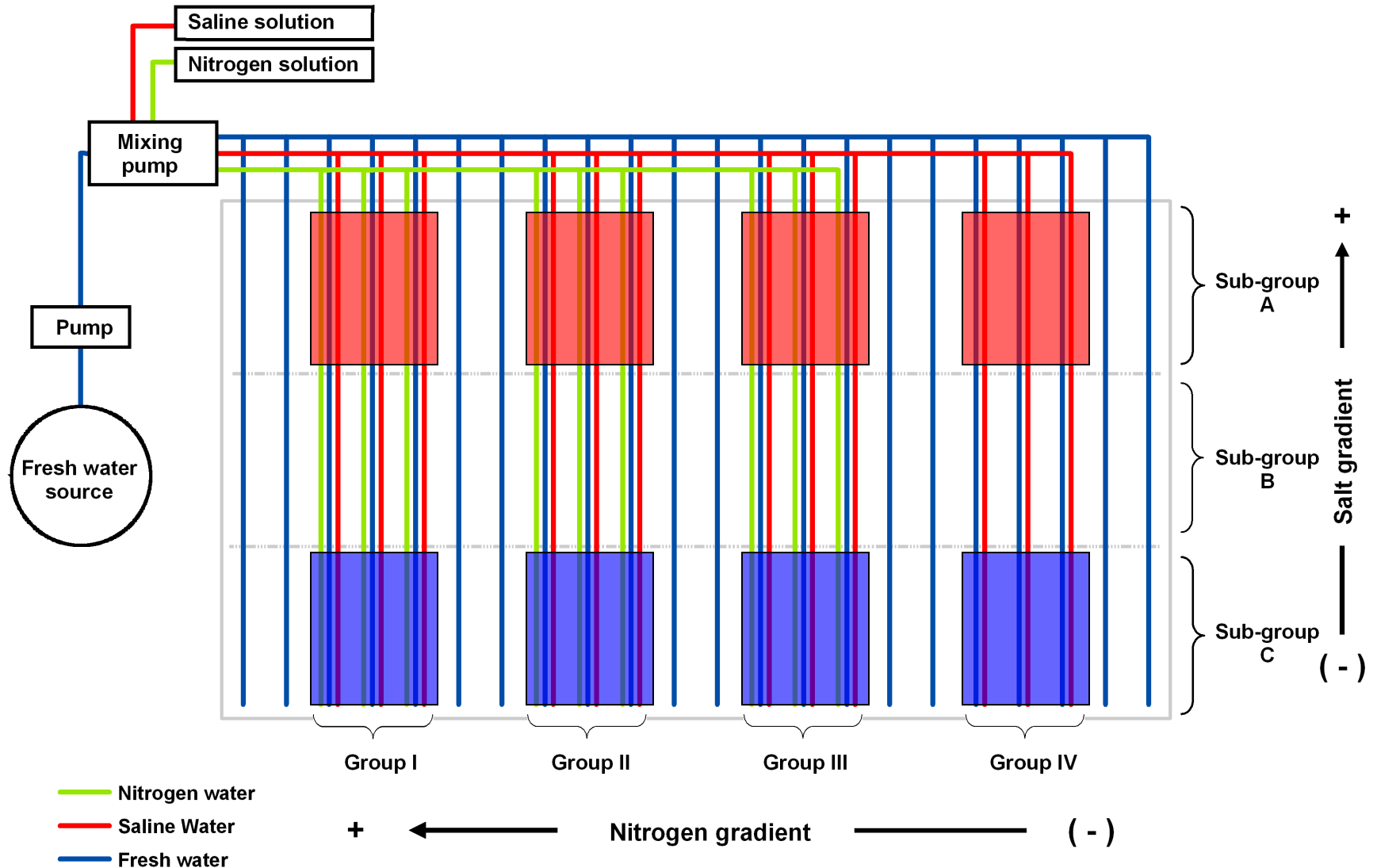
Gradiente azotado:

- 56.8 to 0 g m⁻² y⁻¹

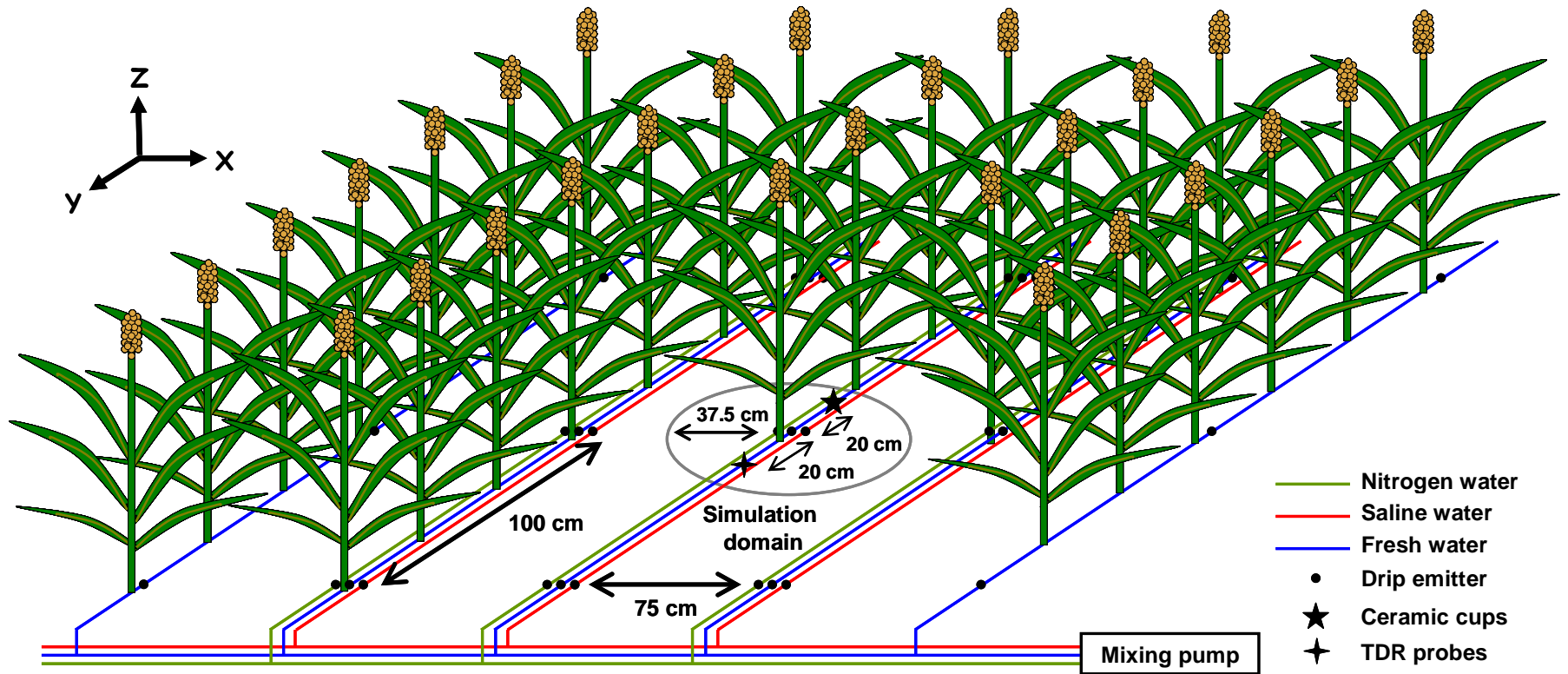
- 95.0 to 0.15 mmol_c L⁻¹



HYDRUS-2D: SIMULAÇÕES

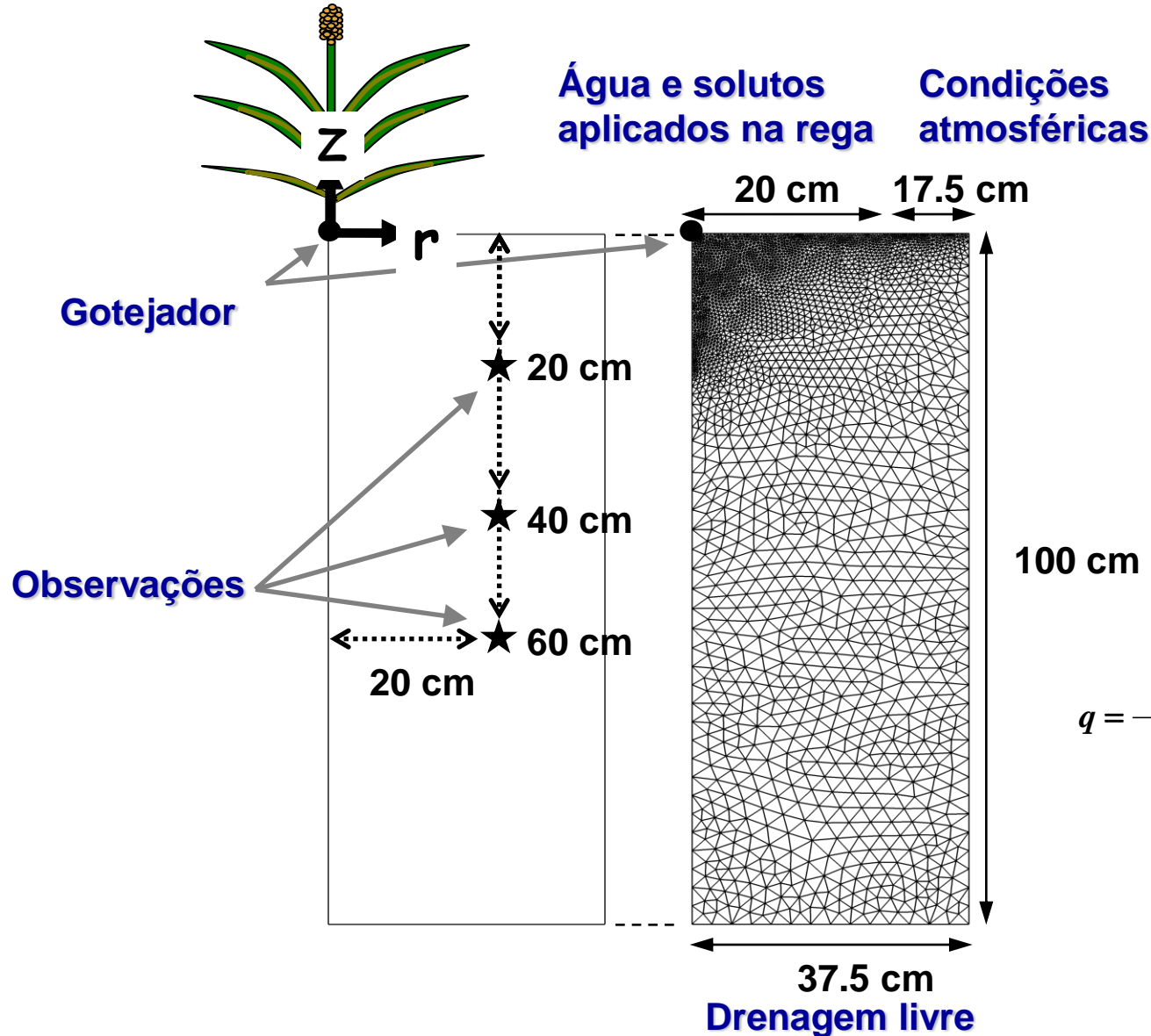



HYDRUS-2D: MODELAÇÃO



Localização do gotejador e dos locais de monitorização em cada parcela experimental

GEOMETRIA AXIMÉTRICA





**Monitorização dos ciclos de rega e lixiviados
(20, 40 e 60 cm)**

- Teor de água no solo (TDR)
- Condutividade eléctrica da solução do solo (cápsulas porosas)
- Iões solúveis (cápsulas porosas)



DADOS DE ENTRADA

Medidos num perfil representativo a 20, 40 e 60 cm de profundidade

Condições iniciais

- Teor de água no solo, TDR
- Massa Volúmica Aparente
- Condutividade eléctrica da solução do solo (EC_{sw})

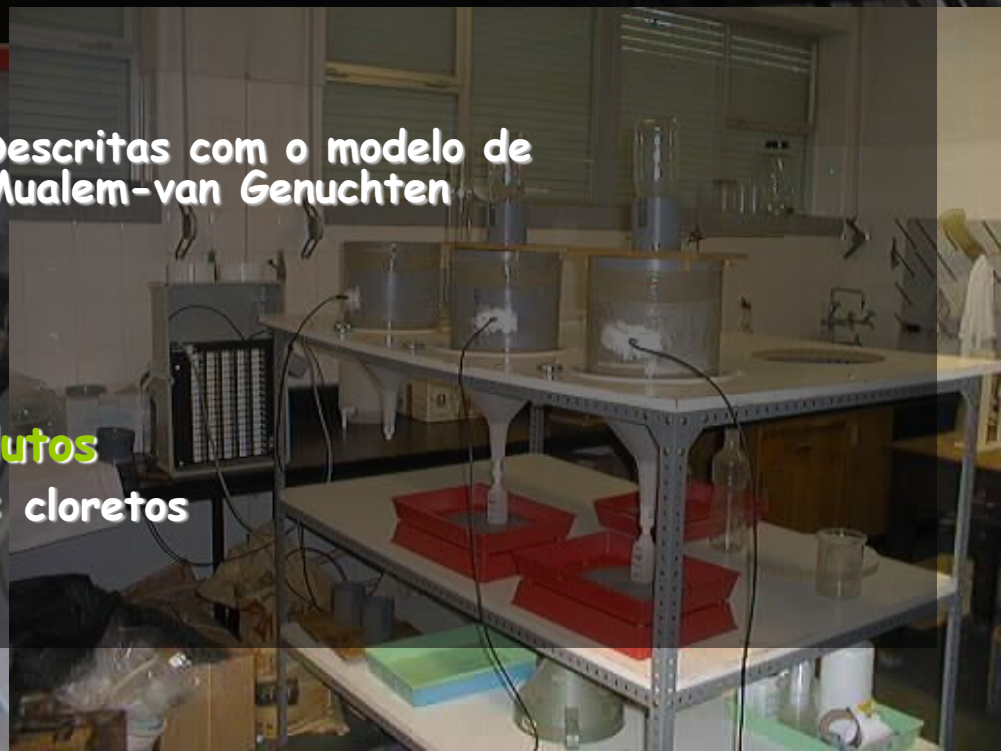
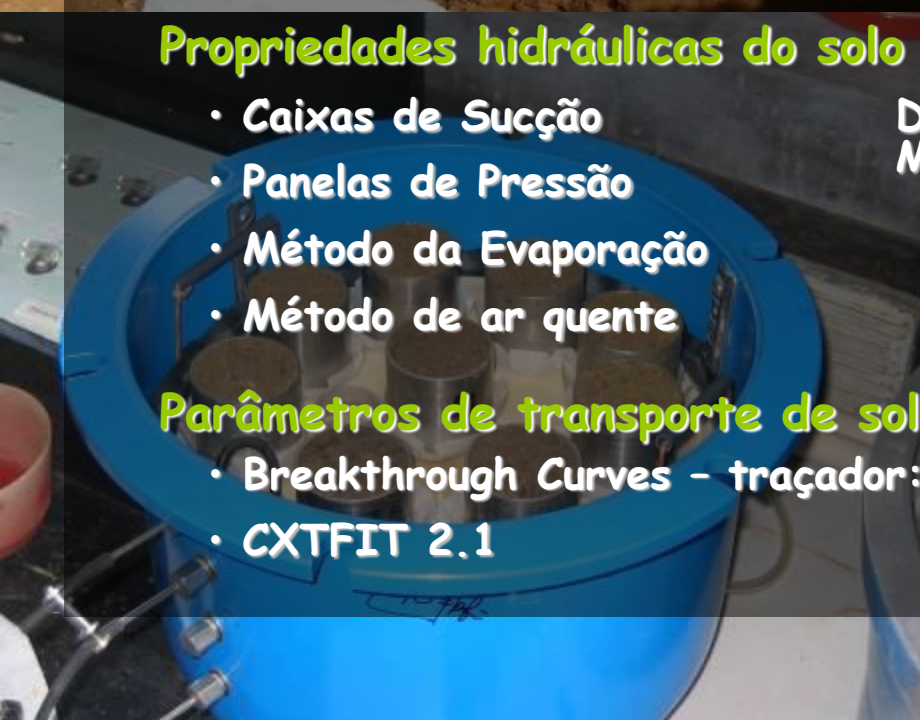
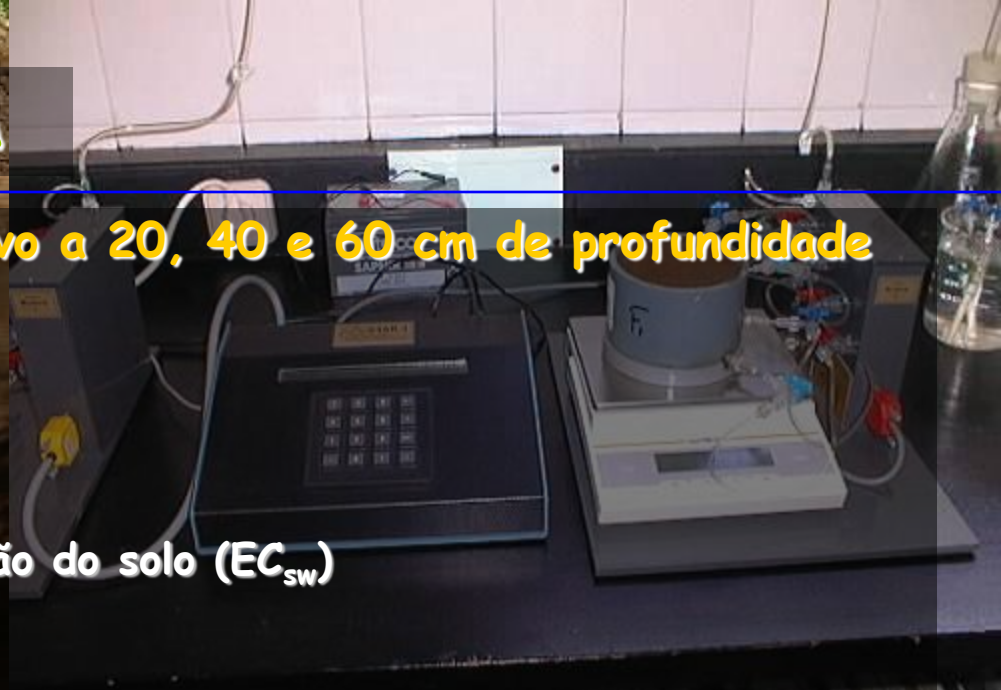
Propriedades hidráulicas do solo

- Caixas de Sucção
- Painelas de Pressão
- Método da Evaporação
- Método de ar quente

Parâmetros de transporte de solutos

- Breakthrough Curves - traçador: cloretos
- CXTFIT 2.1

Descritas com o modelo de Mualem-van Genuchten



CONDIÇÕES NA FRONTEIRA SUPERIOR

- Precipitação / Rega (valores diários)
- valores diários de ET_0 (Penman-Monteith)

- $ET_c = (K_{cb} + K_e) ET_0$ (K_c dual da FAO 56)

- $K_{cb\ mid} = K_{c\ min} + (K_{cb\ full} - K_{c\ min})(1 - e^{-0.7 LAI})$
(Índice de área foliar, medido semanalmente)

MODELAÇÃO

Isotérmica de adsorção linear

$$\bar{C}_k = K_{d,k} C_k$$

$$K_{d,ECsw} = 0 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$$

$$K_{d,NH4^+} = 3.5 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$$

$$K_{d,NO3^-} = 0 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$$

Reaction Parameters for Solute - 2

Boundary Conditions									
	cBnd1	cBnd2	cBnd3	cBnd4	cRoot	cWell	cBnd7	cAtm	d
1	0	0	0	0	1000	0	0	0	0

Reaction Parameters						
Mat	Kd	Nu	Beta	Henry	SinkL1	SinkS1
1	3.5	0	1	0	0	0
2	3.5	0	1	0	0	0
3	3.5	0	1	0	0	0

Nitrificação

Cadeia de degradação sequencial de 1ª ordem:

$$\phi = -\mu_{w,N-NH_4^+} \theta c_{N-NH_4^+} - \mu_{s,N-NH_4^+} \rho \bar{C}_{N-NH_4^+}$$

$$\phi = \mu_{w,N-NH_4^+} \theta c_{N-NH_4^+} + \mu_{s,N-NH_4^+} \rho \bar{C}_{N-NH_4^+}$$

$$\mu_w = 0.2 \text{ d}^{-1}$$

$$\mu_s = 0.2 \text{ d}^{-1}$$

Hanson et al. (2006)

Reaction Parameters for Solute - 2

Boundary Conditions									
	cBnd1	cBnd2	cBnd3	cBnd4	cRoot	cWell	cBnd7	cAtm	d
1	0	0	0	0	1000	0	0	0	0

Reaction Parameters						
Mat	SinkG1	SinkL1'	SinkS1'	SinkG1'	SinkL0	SinkS0
1	0	0.2	0.2	0	0	0
2	0	0.2	0.2	0	0	0
3	0	0.2	0.2	0	0	0

MODELAÇÃO

Extracção de água pelas raízes

Stress hídrico

Feddes et al. (1978)

Stress osmótico

Maas's (1990)

$$\alpha_2(h_\phi) = 1 - (EC - EC_T) 0.01s$$

$$EC_e \times k_{EC} = EC_{sw}$$

$$K_{EC} = 2$$

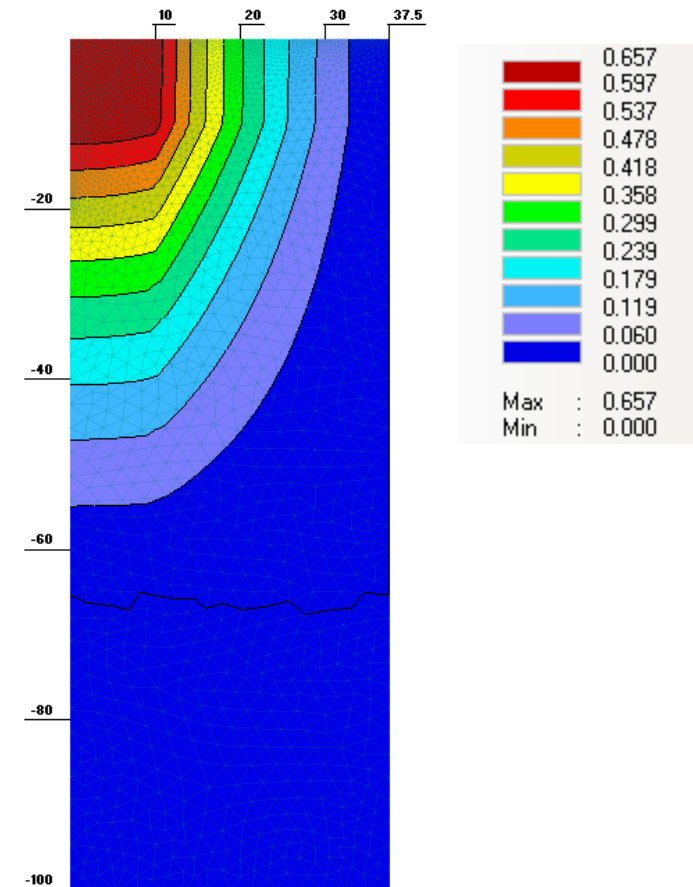
Extracção de nutrientes

Apenas transporte passivo de nutrientes

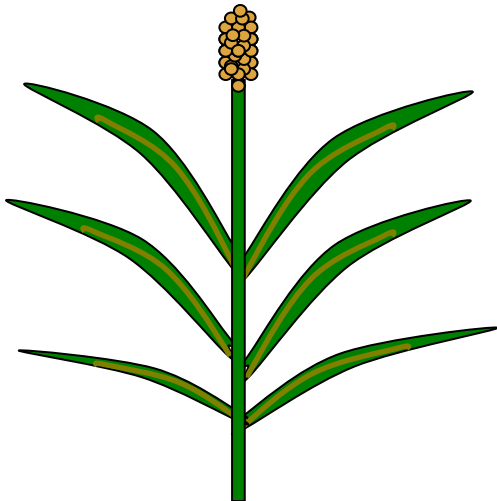
$$c_{root}(r, z, t) = \min[c(r, z, t), c_{max}]$$

c_{max} é a concentração máxima passível de ser extraída pelas raízes

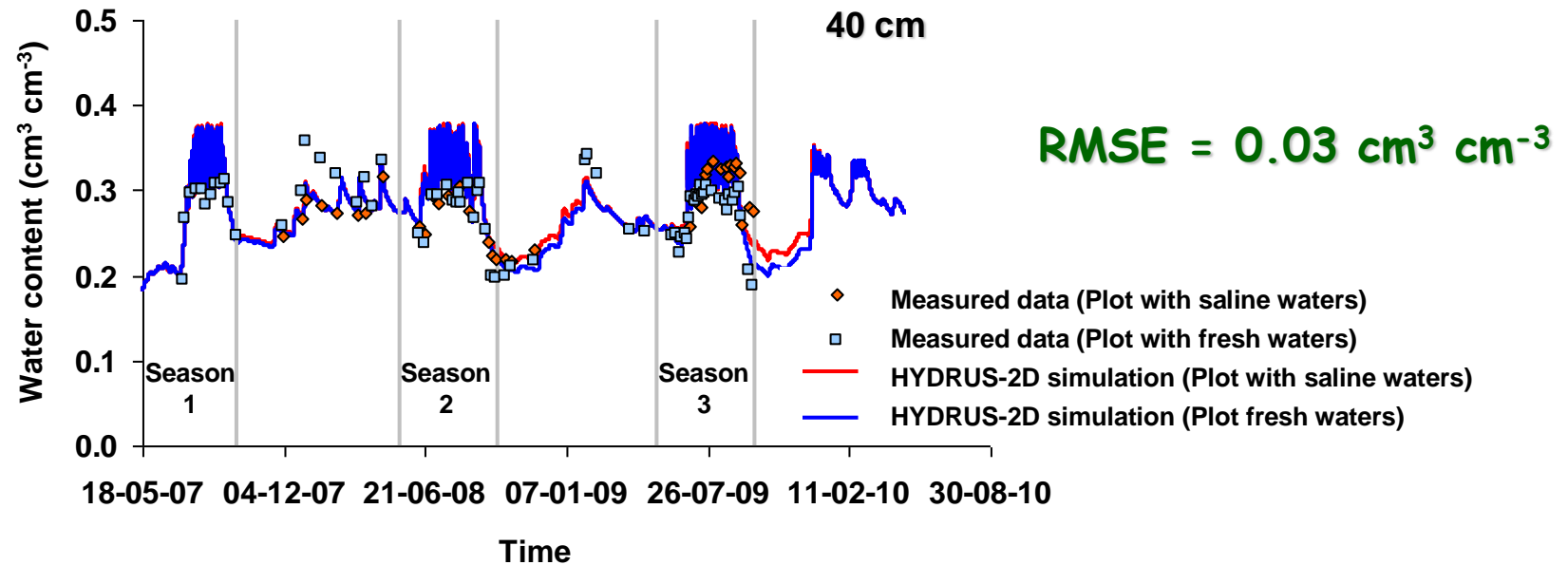
Distribuição radical



RESULTADOS

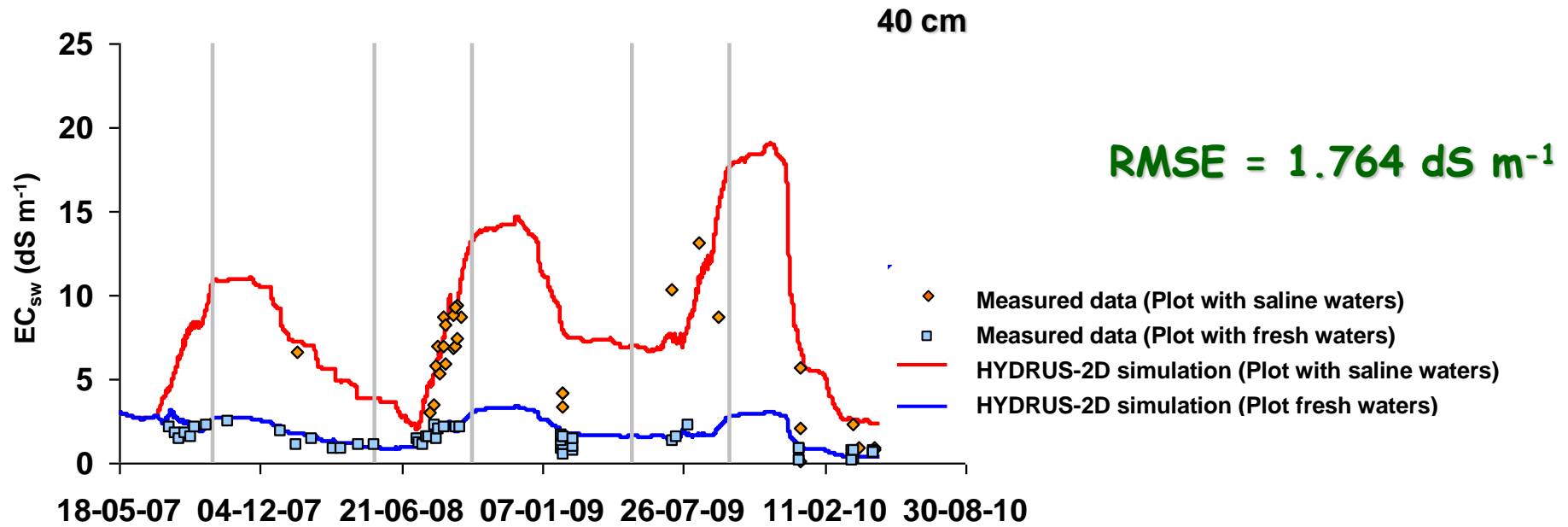


TEORES DE ÁGUA NO SOLO



- T_p : 360 - 457 mm
- T_a : 264 - 364 mm
- Reduções na T_p devido ao stress hídrico: 21.9 - 27.4 %

Stress hídrico foi função do calendário de rega aplicado em cada ano



- Reduções na T_p devido ao stress hídrico e osmótico:
24.2 - 33.3 % (nas parcelas regadas com águas salinas)

DISTRIBUIÇÃO DA SALINIDADE

Stress salino:

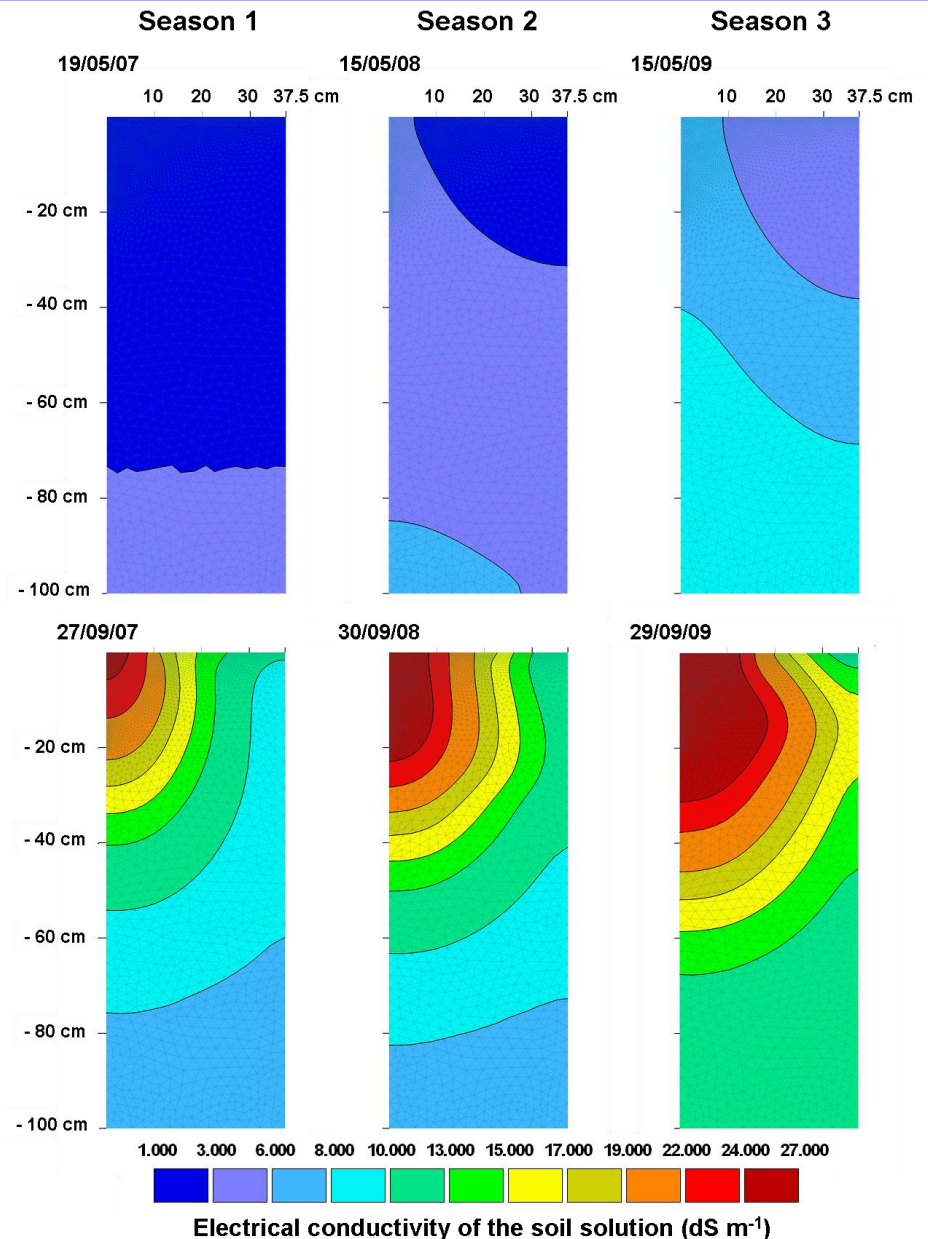
2007: 0 %

2008: 2.3 - 4.7 %

2009: 4.6 - 7.0 %

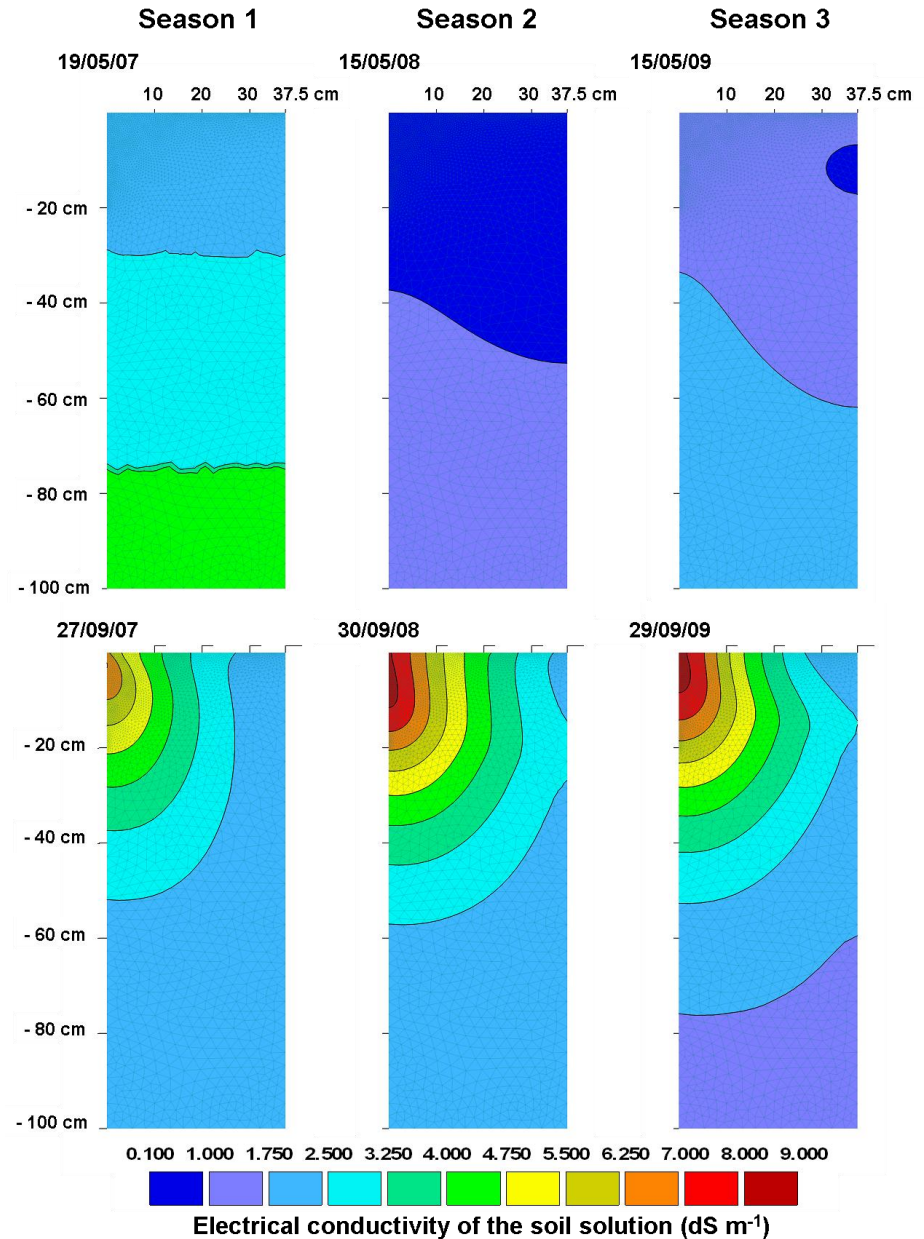
Sorgo sacarino foi tolerante ao uso de águas salinas durante a 1ª época cultural

Mas o uso contínuo de águas salinas conduziu à salinização do solo e a reduções na transpiração devido ao aumento do stress osmótico

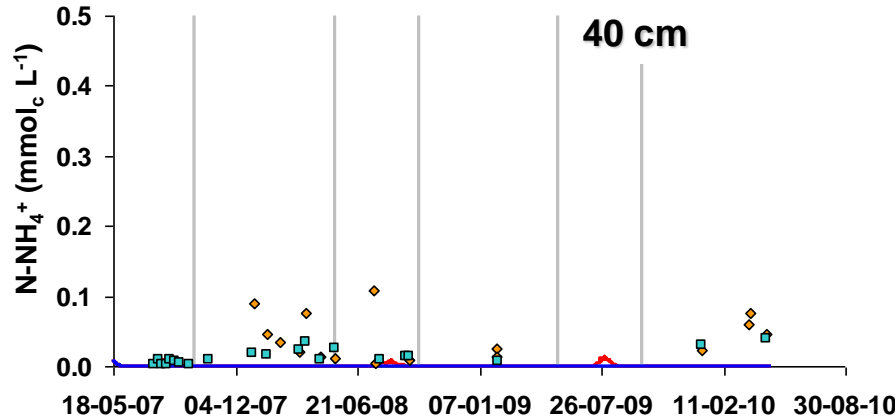


DISTRIBUIÇÃO DA SALINIDADE

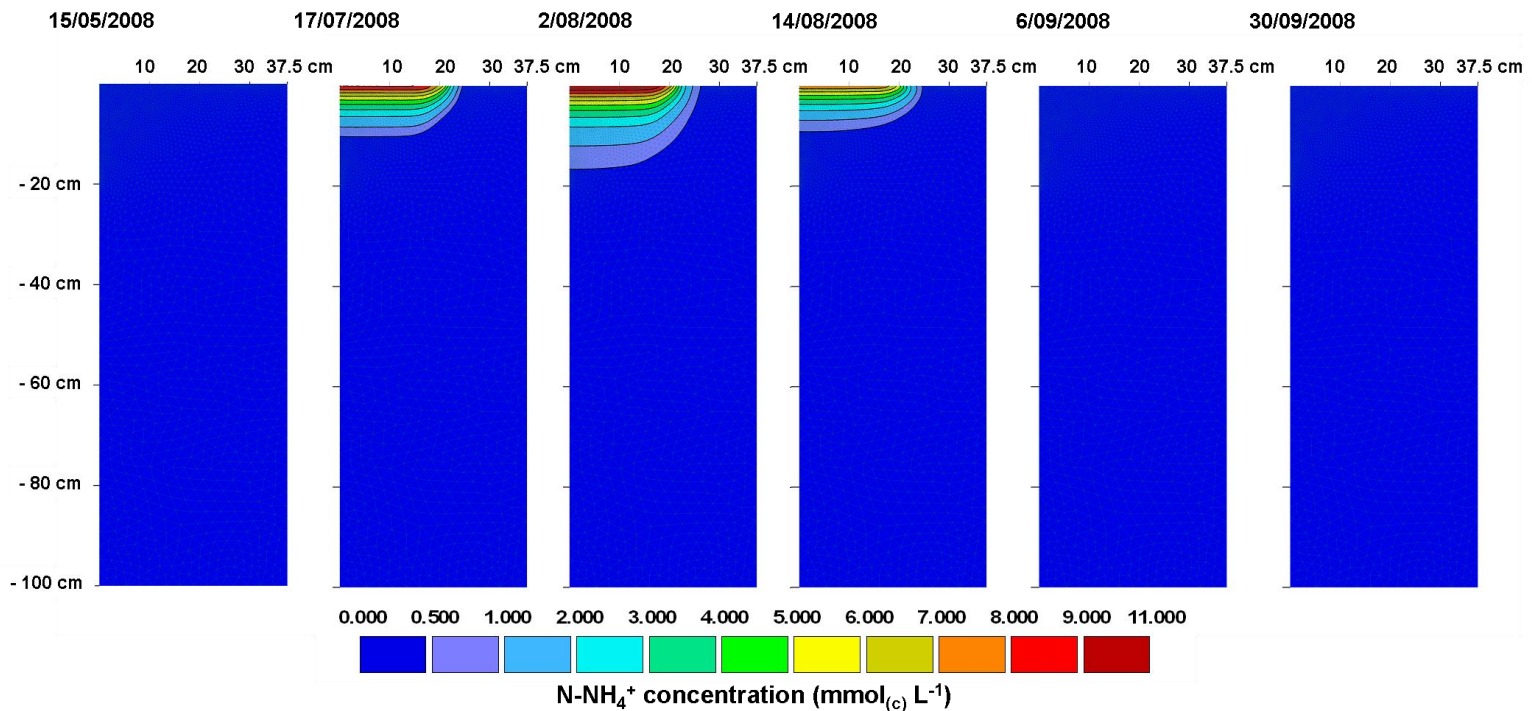
As parcelas regadas com águas de boa qualidade não foram afectadas pelo stress osmótico



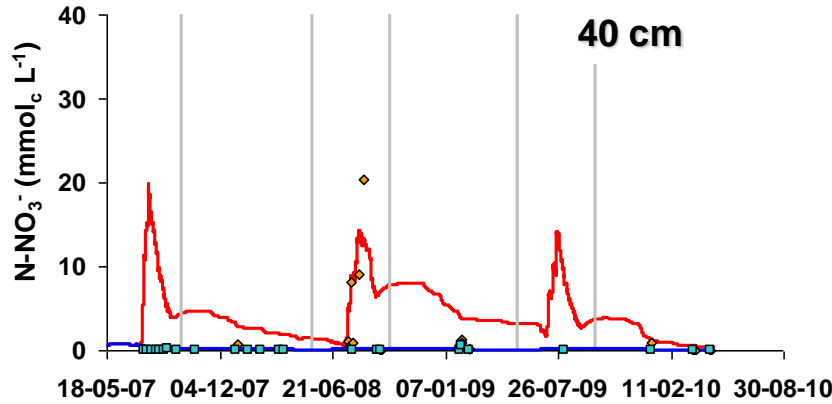
N-NH₄⁺



RMSE = 0.042 mmol_c L⁻¹

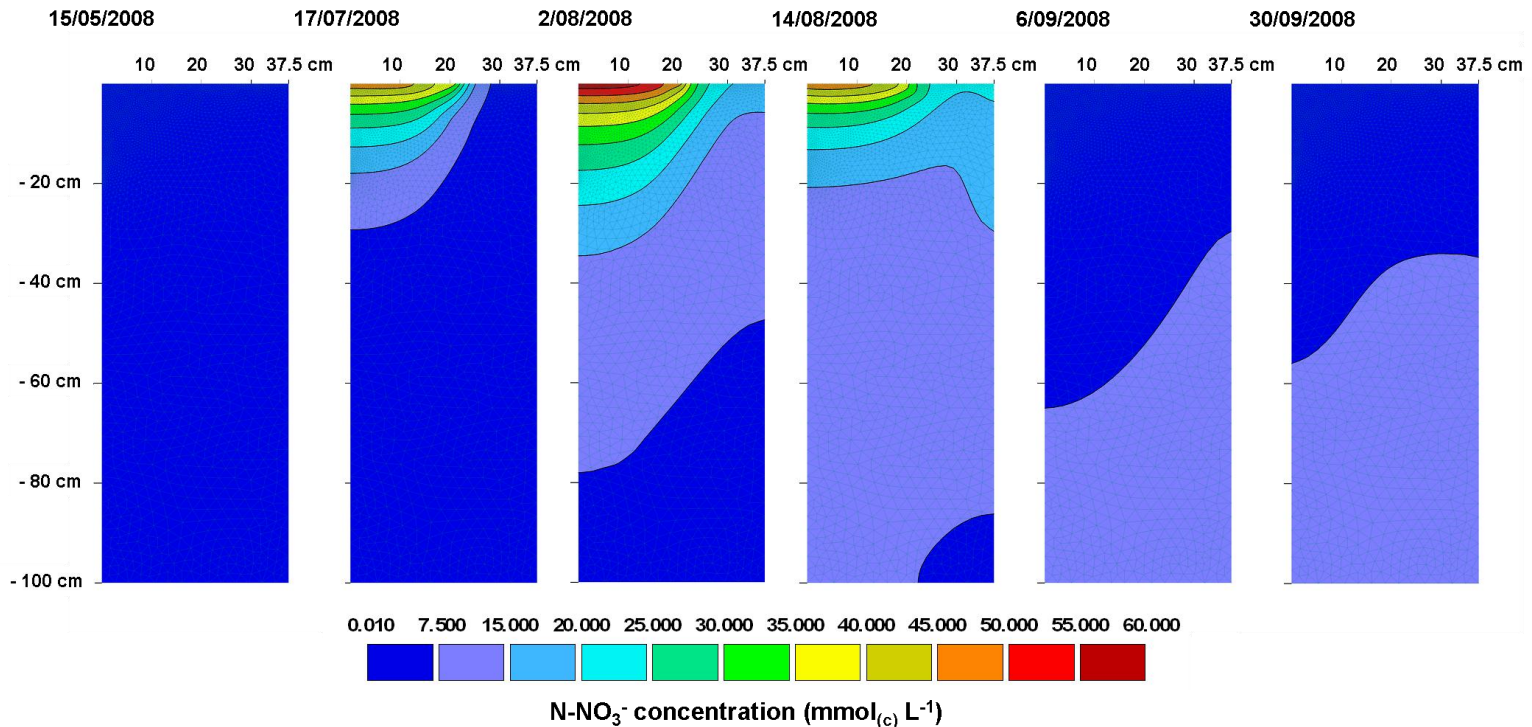


N-NO₃⁻



RMSE = 3.078 mmol_c L⁻¹

- ◆ Measured data (Plot with saline waters)
- Measured data (Plot with fresh waters)
- HYDRUS-2D simulation (Plot with saline waters)
- HYDRUS-2D simulation (Plot fresh waters)



BALANÇO DO AZOTO

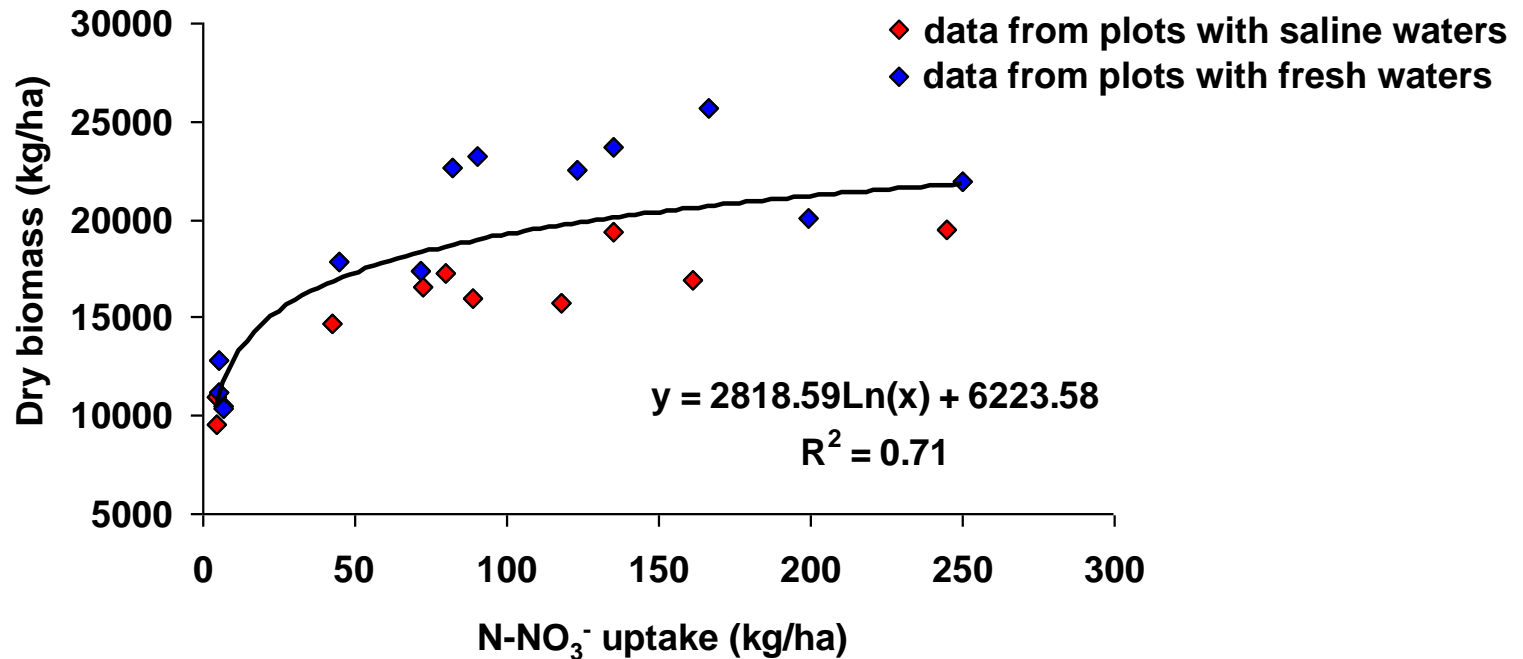
• N° de fertirregas:	• N-NO ₃ ⁻ lixiviado:	• N-NO ₃ ⁻ extraído:
2007: 4	2007: 51 - 53 %	2007: 37 %
2008: 6	2008: 41 %	2008: 39 - 42 %
2009: 3	2009: 68 - 70 %	2009: 23 - 25 %

• A lixiviação do N dependeu da drenagem do solo, da quantidade de N aplicado, da forma do N no adubo e do número de frequência das fertirregas.

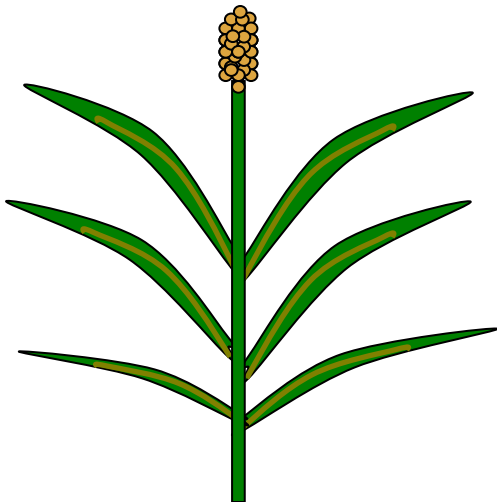
• O efeito do stress salino na extração de nutrientes pela cultura (e inversamente na lixiviação de nutrientes) foi relativamente reduzido, uma vez que o sorgo sacarino apresenta uma tolerância média a elevada à salinidade

FUNÇÃO DE PRODUÇÃO

Cada unidade adicional de N-NO_3^- extraído pela cultura resultou num aumento decrescente na produção de biomassa total seca, com os níveis óptimos a serem atingidos entre os 130-180 kg/ha



CONCLUSÕES



CONCLUSÕES

- O modelo HYDRUS-2D estimou com sucesso a destino das espécies azotadas nas diferentes parcelas experimentais.
- As águas salinas podem ser consideradas como um importante recurso durante períodos de seca, mas apenas por um período de tempo limitado (neste caso, uma época cultural).
- As relativamente baixas necessidades em água (360-457 mm) e azoto (130-180 kg/ha) tornam o sorgo sacarino uma interessante alternativa quando comparado com outras culturas mais tradicionais praticadas no Alentejo.
- A modelação dos processos envolvidos foi útil para entender melhor quais as práticas de rega e de fertilização mais adequadas de modo a aumentar a absorção e reduzir a lixiviação de nutrientes.