

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
 ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"  
 DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

**DISCIPLINA: LEB 1572 IRRIGAÇÃO 2022**

**Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho**

1

## Século XX

**Revolução Verde na Agricultura - Produtividade da Terra**

Norman Borlaug (1914-2009)

Toneladas Grãos / ha

## Século XXI

**Revolução Azul na Agricultura - Produtividade da Água**

Postel, Sandra (2001)

Global Water Policy Project

Kg Grãos / m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O

2

## REVOLUÇÃO AZUL

**“ More Crop per Drop “**

Aumento Populacional  
 x  
 Alterações de Hábitos de Consumo \*\*

3

Eficiência do Uso da Água (EUA)

EUA 1 = Taxa de Produção de Matéria Seca / Taxa de Transpiração

EUA 2 = Taxa de Produção de Matéria Seca / Taxa de Evapotranspiração

Unidade : (kg Biomassa / (ha . dia)) / (kg água / (ha.dia))

EUA 3 = Kg Matéria Seca / Volume de Evapotranspiração

Produtividade da Água (PA)

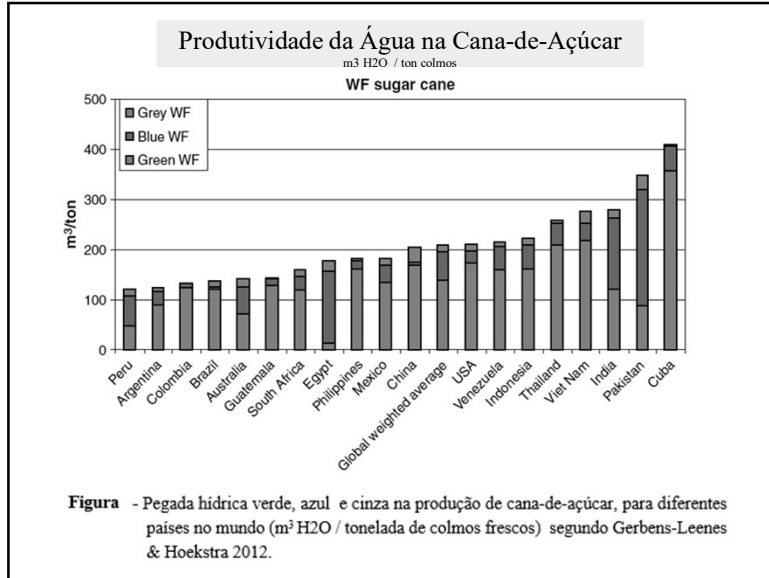
PA1 = Biomassa Seca Aérea (kg) / Volume Água Transpirada (m<sup>3</sup>)

PA2 = Biomassa Colhida (kg) / Volume Água Transpirada (m<sup>3</sup>)

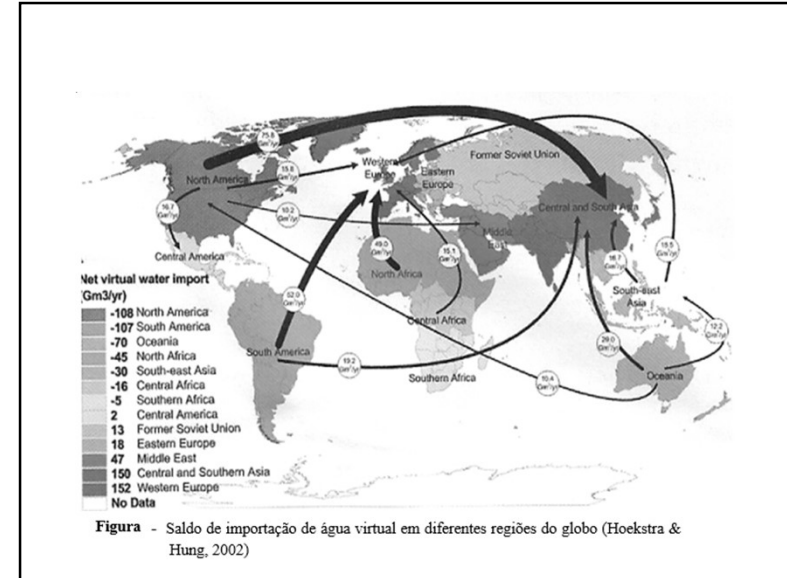
PA3 = Biomassa Seca Aérea (kg) / Volume Água Evapotranspirada (m<sup>3</sup>)

PA4 = Biomassa Colhida (kg) / Volume Água Evapotranspirada (m<sup>3</sup>)

4



5



6

### THE ARKANSAS "MOST CROP PER DROP" CONTEST: AN INNOVATIVE EXTENSION METHOD TO IMPROVE IRRIGATION WATER MANAGEMENT ADOPTION

Beyond 2020.  
**VISION OF THE FUTURE**  
Collection Research

C. G. Henry, L. J. Krutz, R. Mane, G. D. Simpson

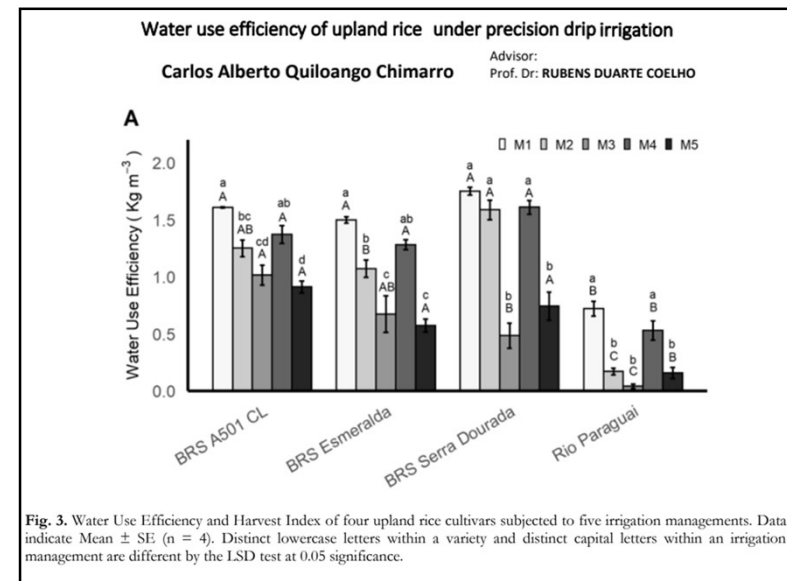
**Table 1. Contest results for rice category (2018-2019).**

Year and Irrigation Method	Yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Rainfall (mm)	Irrigation (mm)	Total Water (mm)	Water Use Efficiency (kg ha-mm <sup>-1</sup> )
<b>2018</b>					
AWD	11,550	340	406	746	15.5
AWD	11,151	338	516	854	13.1
FIR	9,786	320	483	802	12.2
FIR	11,470	362	665	1,027	11.2
AWD	11,038	389	646	1,035	10.7
FIR	9,634	371	541	912	10.6
MIRI	10,535	347	516	1,102	9.6
FIR	10,195	187	827	1,014	10.1
FIR	13,448	406	1,216	1,622	8.3
Flood	11,253	347	1,012	1,359	8.3
FIR	9,714	372	931	1,303	7.5
FIR	6,652	383	796	1,180	5.6
<b>2019</b>					
FIR	8,745	498	67	564	15.5
AWD	10,501	391	339	730	14.4
FIR	10,091	379	574	953	10.6
FIR	10,585	474	617	1,091	9.7
FIR	8,964	382	604	986	9.1
FIR	9,817	461	774	1,235	8.0
FIR	9,609	636	602	1,238	7.8
FIR	8,211	689	475	1,164	7.1

**Table 2. Contest results for maize category (2018-2019).**

Year	Yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Rainfall (mm)	Irrigation (mm)	Total Water (mm)	Water Use Efficiency (kg ha-mm <sup>-1</sup> )
<b>2018</b>					
	13,309	320	107	426	31.2
	11,496	327	73	400	28.7
	14,241	331	215	546	26.1
	13,706	254	273	527	26.0
	13,229	229	287	516	25.6
	13,282	294	255	549	24.2
	13,611	281	306	587	23.2
	16,626	314	429	743	22.4
	10,043	299	349	648	15.5
<b>2019</b>					
	13,940	458	38	496	28.1
	15,527	559	-	559	27.8
	15,896	493	126	619	25.7
	16,348	600	139	740	22.1
	12,695	540	83	624	20.4
	17,566	767	109	876	20.1
	17,408	767	109	876	19.9
	13,868	657	77	733	18.9
	15,259	668	151	819	18.6
	15,038	622	364	986	15.3
	11,227	828	281	1,109	10.1

7



8

**Table 3. Contest results for soybean category (2018-2019).**

Year	Yield (kg ha <sup>-1</sup> )	Rainfall (mm)	Irrigation (mm)	Total Water (mm)	Water Use Efficiency (kg ha-mm <sup>-1</sup> )
2018	6,465	406	261	667	9.7
	4,018	294	195	489	8.2
	5,331	447	251	697	7.6
	5,354	406	315	720	7.4
	3,694	380	124	504	7.3
	4,544	419	203	622	7.3
	4,077	379	227	606	6.7
	3,334	358	142	500	6.7
	4,110	358	267	625	6.6
	4,571	433	320	752	6.1
	4,243	356	389	745	5.7
4,303	335	442	777	5.5	
2019	7,061	497	166	664	10.6
	6,952	497	166	664	10.5
	5,520	488	96	583	9.5
	4,576	436	97	533	8.6
	4,603	389	156	545	8.4
	5,246	530	108	638	8.2
	4,486	512	50	562	8.0
	3,966	385	151	536	7.4
	5,246	530	222	752	7.0
	3,921	410	220	630	6.2
	2,911	415	90	504	5.8
	4,701	773	95	868	5.4
	5,246	530	442	972	5.4
	4,205	550	332	882	4.8
	3,911	668	213	881	4.4

9

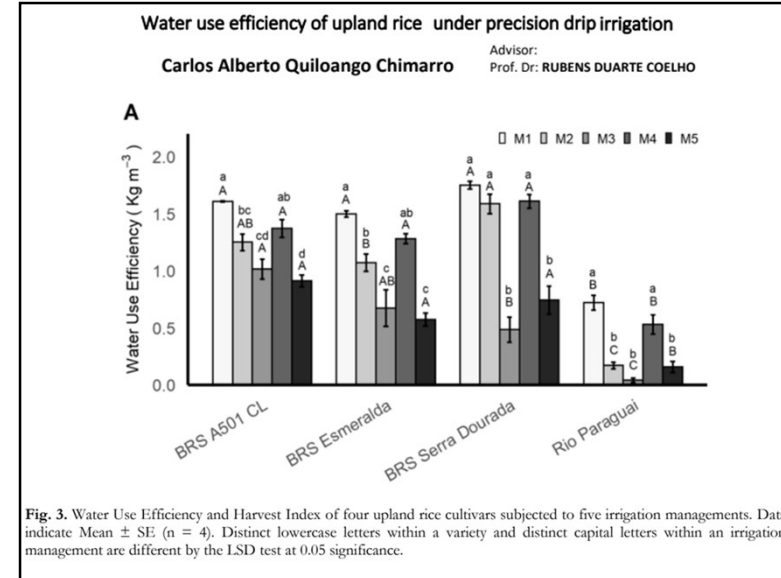


Fig. 3. Water Use Efficiency and Harvest Index of four upland rice cultivars subjected to five irrigation managements. Data indicate Mean ± SE (n = 4). Distinct lowercase letters within a variety and distinct capital letters within an irrigation management are different by the LSD test at 0.05 significance.

10

FAO Logo: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER **24** revised 1977

**crop water requirements**

Boletim 33 – Yield Response to Water (1979) – K<sub>y</sub>

**j. doorenbos**  
water management specialist  
land and water development division  
fao

**w. o. pruit** 198  
fao consultant  
irrigation engineer  
university of california  
davis, california, u.s.a.

**a. aboukhaled** (lebanon)  
**j. damagnez** (france)  
**n. g. dastane** (india)  
**c. van den berg** (netherlands)  
**p. e. rijtma** (netherlands)  
**o. m. ashford** (wmo)  
**m. frère** (fao)

11

Evapotranspiración del cultivo  
 Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos  
 1998 - 2005

FAO Logo: ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56

**Richard G. ALLEN**  
Utah State University  
Logan, Utah, U.S.A.

**Luis S. PEREIRA**  
Instituto Superior de Agronomia  
Lisbon, Portugal

**Dirk RAES**  
Katholieke Universiteit Leuven  
Leuven, Belgium

**Martin SMITH**  
FAO,  
Rome, Italy

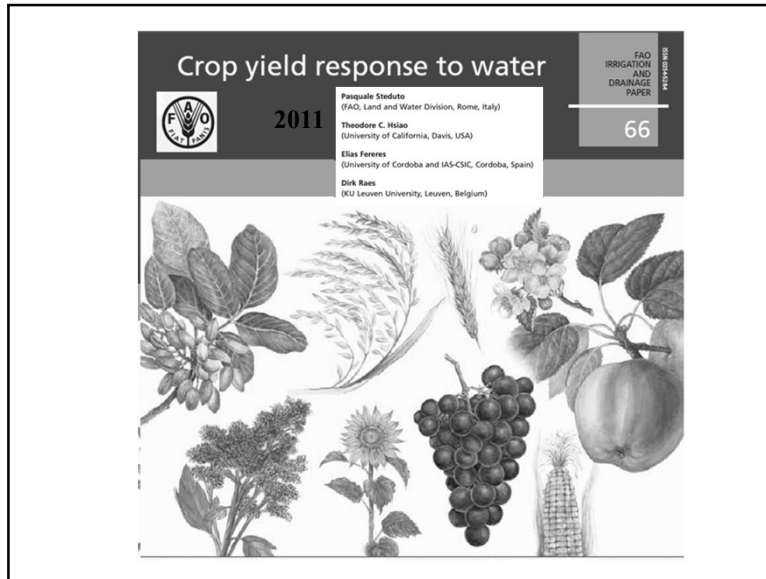
**PENMAN-MONTEITH (Padrão - FAO)**

$$ET_o = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{T + 273} U_2 (e_a - e_d)$$

**K<sub>c</sub>**  
Coeficiente unico  
Capítulo 6

**K<sub>cb</sub> + K<sub>e</sub>**  
Coeficiente dual  
Capítulo 7

12



13

## HISTÓRICO DA IRRIGAÇÃO NO BRASIL

**1º Fase** ⇒ Construção de Açudes e Barragens (1877⇔1962) para aliviar situações de calamidades em conseqüências das secas no NE. DNOCS, CHESF, CVSP, BNB, SUDENE (+ de 200 grande açudes e inúmeros pequenos)

**2º Fase** ⇒ Argumentação técnica e política sobre a necessidade de irrigação e início da construção dos projetos públicos de irrigação (1962⇔1975) CODEVASF

14

## HISTÓRICO DA IRRIGAÇÃO NO BRASIL

**3º Fase** ⇒ Início significativo da implantação da irrigação no País (1975⇔1992), através de programas governamentais de auxílio.

PRÓ-VÁRZEAS,	PROFIR,	<b>PRONI,</b>	<b>PROINE</b>
1974⇔1981	1982	<b>1985</b>	<b>1985</b>

**{ Governo SARNEY }**

**4º Fase** ⇒ Iniciativa Privada investindo significativamente na implantação da irrigação no País (1992 ⇔ atualmente) FINAME/BNDES.

Culturas: Café, Laranja, Cana, Pastagem, Soja, Milho, Hortalças .....

15



16

<https://www.esalq.usp.br/biblioteca/portais-de-pesquisa/livros-abertos-da-esalq>



17

Parte I - TÉCNICA

## CAPÍTULO 1

### 1 A REVOLUÇÃO AZUL NO CONTEXTO DA AGRICULTURA IRRIGADA

Rubens Duarte Coelho

#### Resumo

O século XXI inicia-se sob o estigma do aquecimento global e da escassez de água em diversas partes do globo terrestre. O crescimento urbano e as demandas industriais já competem atualmente com a água disponível para a agricultura irrigada e a perspectiva futura é de acirramento desta disputa, além do mais, preservar rios e áreas de proteção permanente (APP), exigem manter fluxos de água nas microbacias em níveis mínimos. Conseguiremos conciliar todos esses interesses? A agricultura moderna está adentrando uma nova era tecnológica a era da Revolução Azul na Agricultura, diferentemente da Revolução Verde na Agricultura que focou no aumento de produtividade das culturas agrícolas por unidade de área, essa nova revolução está focada no aumento de produtividade das culturas por unidade de água requerida pelas culturas (evapotranspiração). O texto leva o leitor por uma rápida passagem pela história do desenvolvimento da irrigação no mundo, adentrando vários detalhes da eficiência do uso da água na agricultura moderna, em especial às novas tecnologias de irrigação, à produção de bioenergia de segunda geração (Etanol 2G) e apresentando finalmente, o estado da arte em termos da tecnologia de Irrigação de Precisão. Espere-se com esta abordagem múltipla, despertar o interesse das novas gerações para a importância da água na sustentabilidade agrícola, pois sabe-se atualmente que a produção de alimentos no futuro não será limitada pela disponibilidade de terras no mundo, como se acreditava no passado, mas sim pela disponibilidade hídrica nas microbacias de produção agrícola.

18

#### Water use efficiency of upland rice under precision drip irrigation

Carlos Alberto Quiloango Chimarro

Advisor:  
Prof. Dr. RUBENS DUARTE COELHO

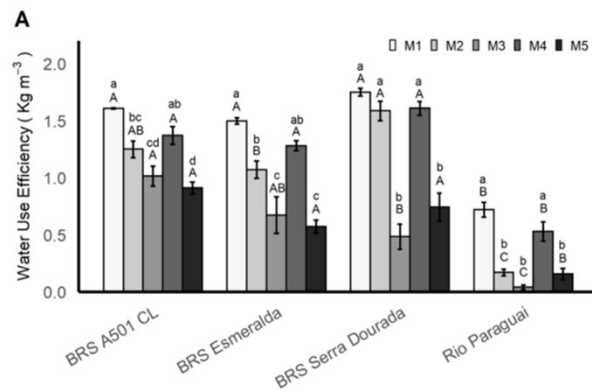


Fig. 3. Water Use Efficiency and Harvest Index of four upland rice cultivars subjected to five irrigation managements. Data indicate Mean  $\pm$  SE (n = 4). Distinct lowercase letters within a variety and distinct capital letters within an irrigation management are different by the LSD test at 0.05 significance.

19

## DISCIPLINAS ESSENCIAIS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

ENGENHARIA DA IRRIGAÇÃO - 2022

LEB 1440 – Hidrologia

LEB 1471 – Hidráulica

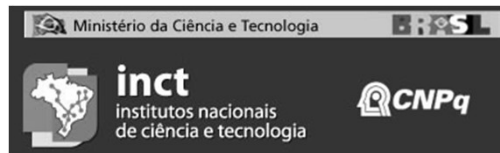
LEB 1571 – Irrigação

Professores: Rubens, Patrícia

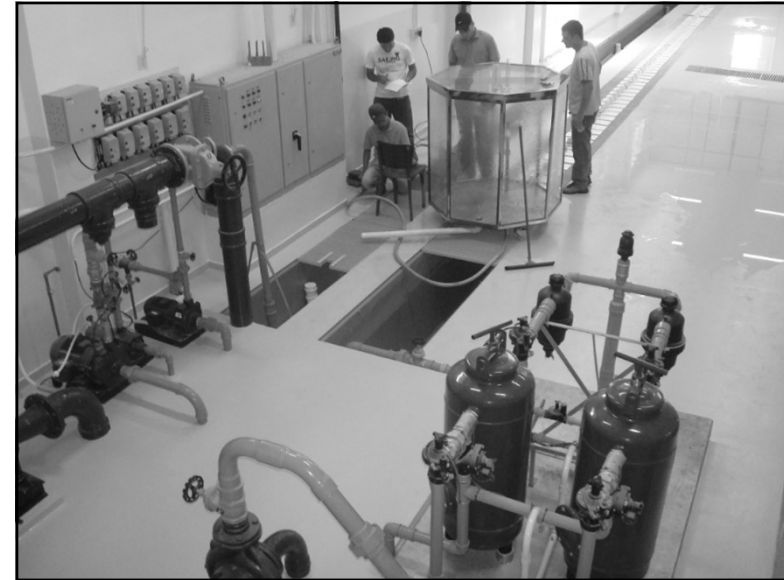
20

## INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ENGENHARIA DA IRRIGAÇÃO INCT - ESALQ

Edital CNPq 015/2008  
“Instituto Nacionais de Ciência e Tecnologia”



21



22

## IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE 1 TABULEIROS DE ARROZ



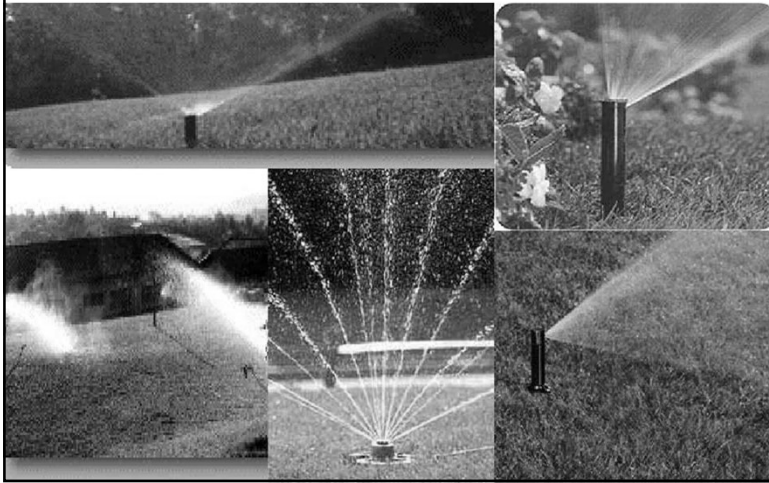
23

## IRRIGAÇÃO POR SUPERFÍCIE 2 SULCOS DE INFILTRAÇÃO



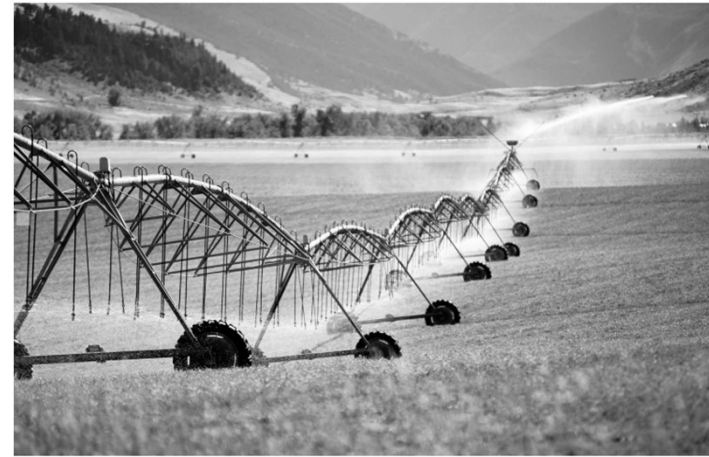
24

### IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO 1



25

### IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO 2 MECANIZADA - PIVÔ CENTRAL



26

### IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO - 1



27

### IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO - 2

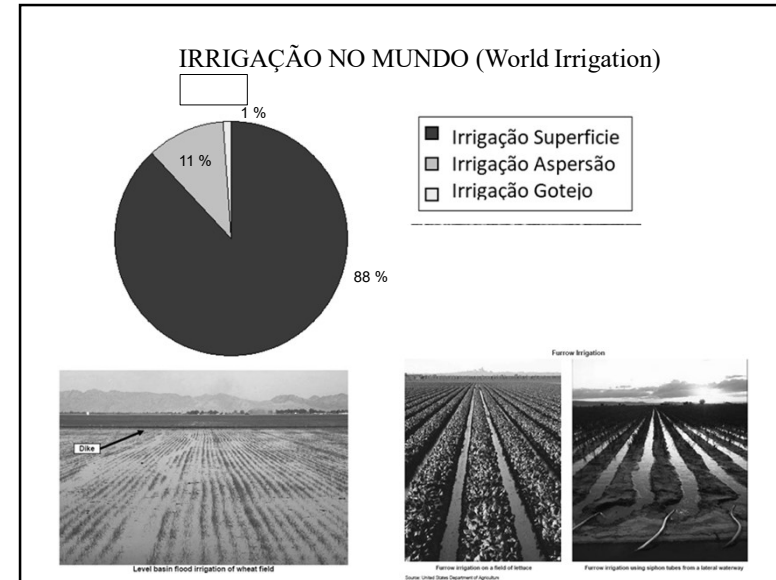


28

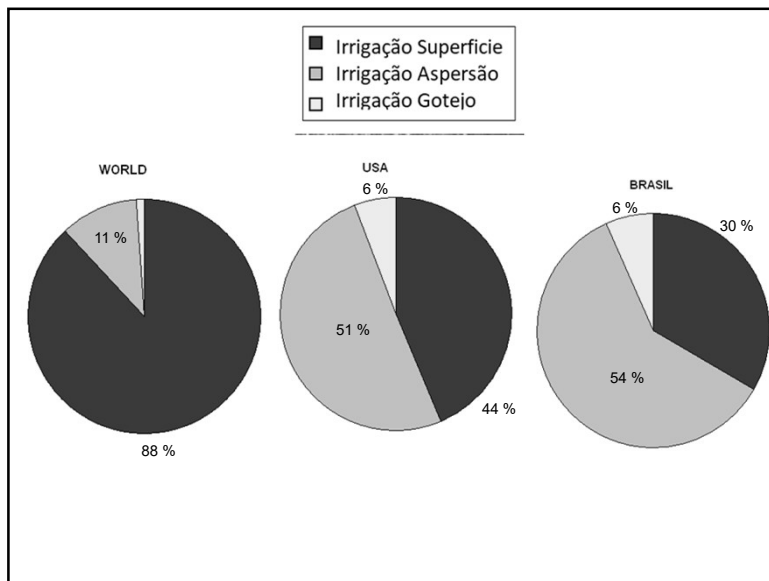
### Irrigação Atual : Mundo / Brasil

Rank	Country/Region	Irrigated land (km²)	Date of information
1	China	690,070	2012
2	India	667,000	2012
3	United States	264,000	2012
4	Pakistan	202,000	2012
—	European Union	154,540	2011
5	Iran	95,530	2012
6	Brazil	75,000	2020
7	Indonesia	67,220	2012
8	Mexico	65,000	2012
9	Thailand	64,150	2012
10	Bangladesh	53,000	2012
11	Turkey	52,150	2012
12	Vietnam	46,000	2012
13	Russia	43,000	2012
14	Uzbekistan	42,150	2012
15	Italy	39,500	2012

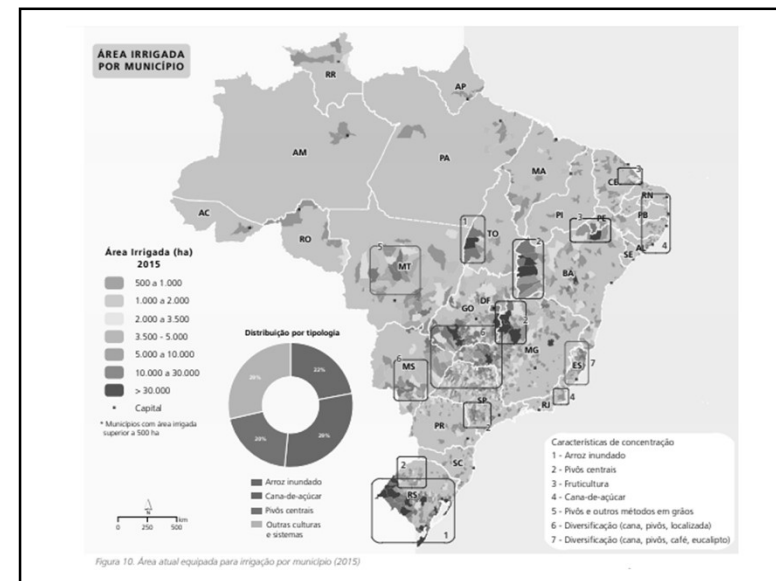
29



30



31



32



## Irrigação : Brasil

Potencial de Expansão / 76,2 Mha

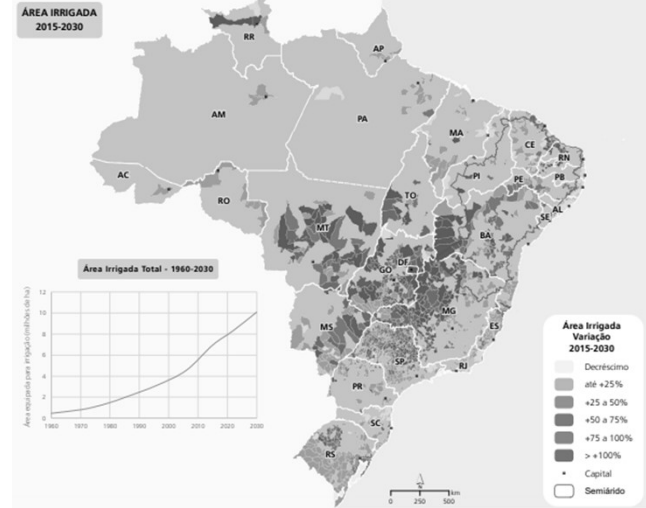
Representa a área adicional irrigável com base em critérios físicos e de ocupação (solos, relevo, área disponível para agropecuária, unidades de conservação de proteção integral, disponibilidade hídrica superficial, necessidade hídrica das culturas de referência, outros usos da água etc.).

O potencial é apresentado por classe de aptidão solo-relevo (alta, média e baixa).

Mha = milhões de hectares



33



34

## Irrigação Futuro : Mundo / Brasil

Rank	Country/Region	Irrigated land (km <sup>2</sup> )	Date of information
1	Brazil	760.000	2080
2	China	690.070	2012
3	India	667.000	2012
4	United States	264.000	2012
—	Pakistan	202.000	2012
5	European Union	154.540	2011
6	Iran	95.530	2012
7	Indonesia	67.220	2012
8	Mexico	65.000	2012
9	Thailand	64.150	2012
10	Bangladesh	53.000	2012
11	Turkey	52.150	2012
12	Vietnam	46.000	2012
13	Russia	43.000	2012
14	Uzbekistan	42.150	2012
15	Italy	39.500	2012

35

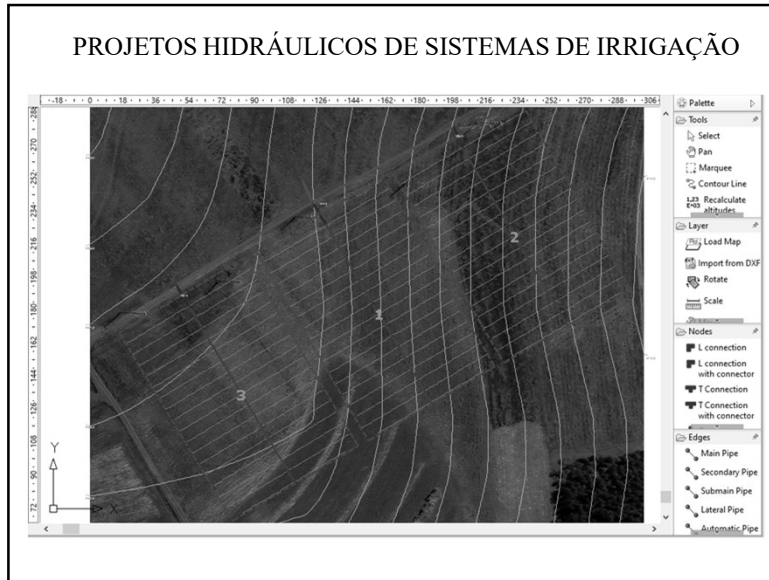
## PERSPECTIVAS FUTURAS PROFISSIONAIS

### ÁREAS DE ATUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO

- Projetos Hidráulicos de Sistemas
- Consultoria em Manejo da Irrigação (nacional e internacional).
- Manutenção e Assistência Técnica em Projetos Instalados
- Outorga de Uso da Água e Licenciamento Ambiental de Projetos de Irrigação
- Universidades e Centros de Pesquisa (EMBRAPA).
- Marketing e Vendas de Equipamento



36



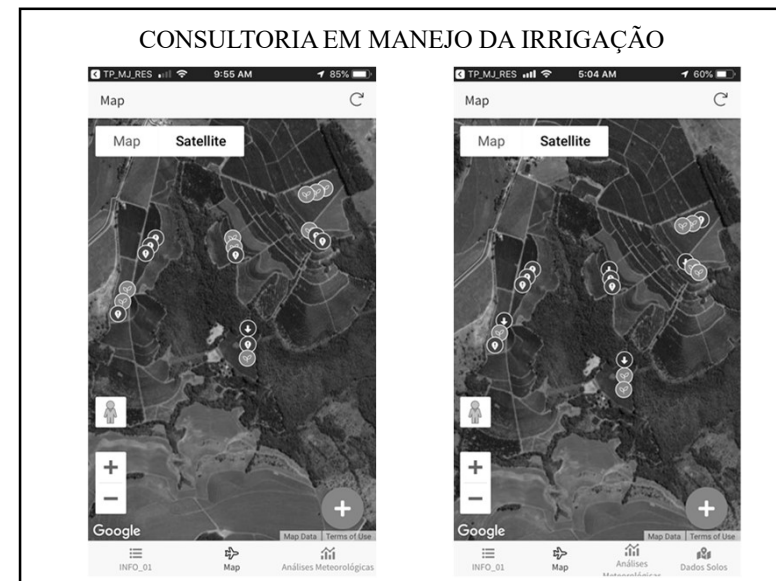
37



38



39



40



**iNi**  
Instituto Nacional  
de Ciência e Tecnologia  
Engenharia da Irrigação

**Departamento de Engenharia de  
Biossistemas  
Setor de Irrigação / Hidráulica  
rdcoelho@usp.br**

“Aproveite a oportunidade da crise para semear o  
sucesso do seu futuro.”