

A trilha digital da cana-de-açúcar

Raffaella Rossetto

APTA - Centro Cana-de-açúcar - IAC

ENCONTRO

AGROtic
cana de
açúcar

A cana-de-açúcar está pronta para a nova era digital?

Precisamos: Aumentar a produção de forma inteligente.


Melhorar todos os processos – gerenciar cada operação. Isso tem relação com a automação de processos, IoT e desenvolvimento de novas práticas

Nova geração de soluções - Melhorar as operações considerando as novas ferramentas como a integração da nuvem com tecnologias que envolvem sensores e gerenciam as operações agrícolas

Racionalização do uso de insumos - com novas tecnologias podemos otimizar e evitar perdas no uso de defensivos ou fertilizantes, aumentando a segurança e a sustentabilidade

Melhorar o fornecimento de informações aos agricultores. Isso envolve o processamento de dados em tempo real

A agricultura digital necessita de grande banco de dados, dados da cultura, do solo, do clima, de todos os fatores envolvidos na produtividade

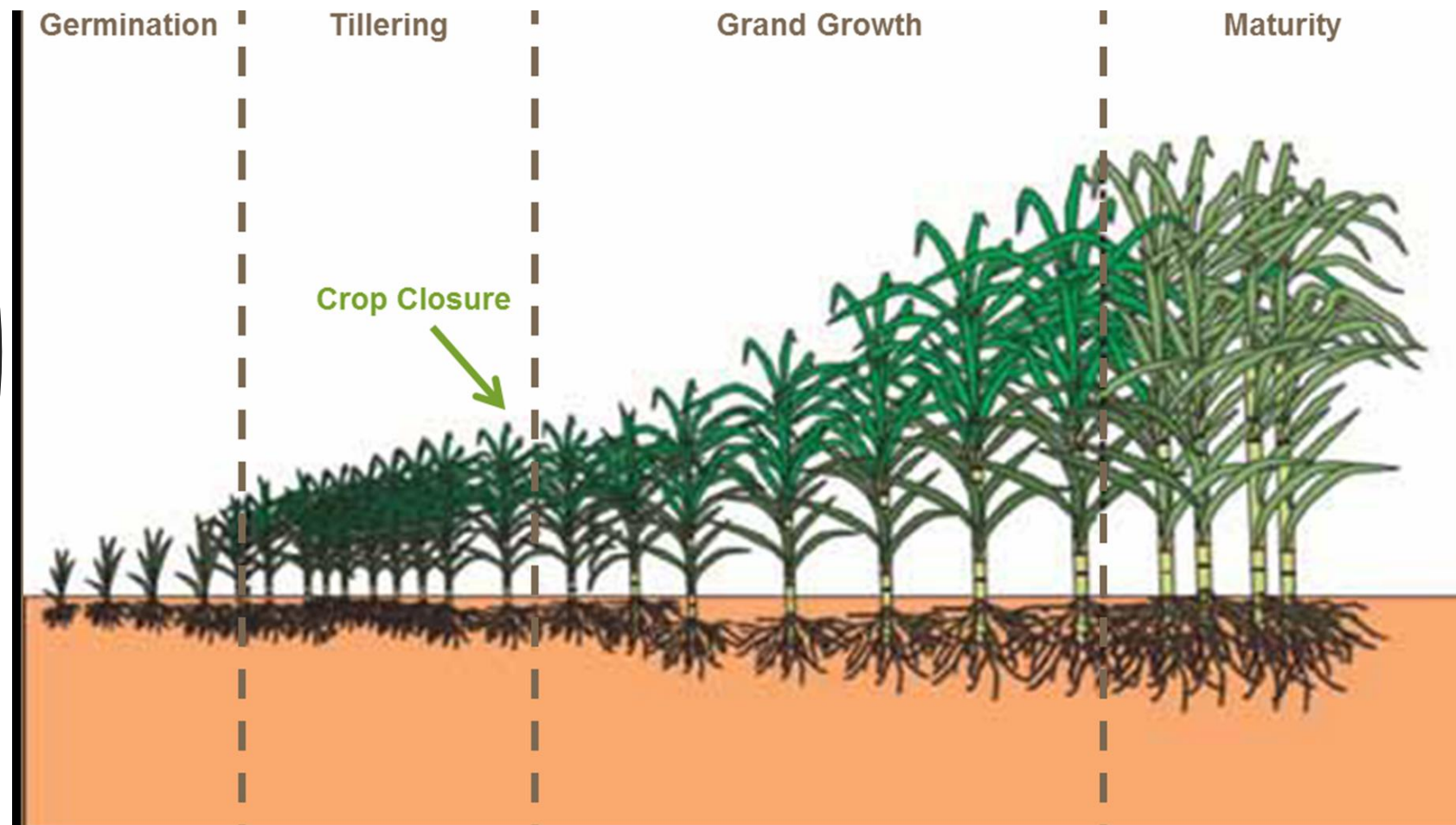


De onde vem os dados que necessitamos para alimentar as nuvens?

- De medidas da cana – produção de biomassa, da produção de colmos, produção de açúcar
- De medidas do solo – análises dos nutrientes
- De medidas do clima

- Precisamos conhecer a cultura, o solo, as operações agrícolas, as pragas, as doenças, e suas interrelações.

Inicia-se
compreendendo
a cultura –
Análise do
crescimento ao
longo do tempo



Medida da Produtividade – medir o crescimento

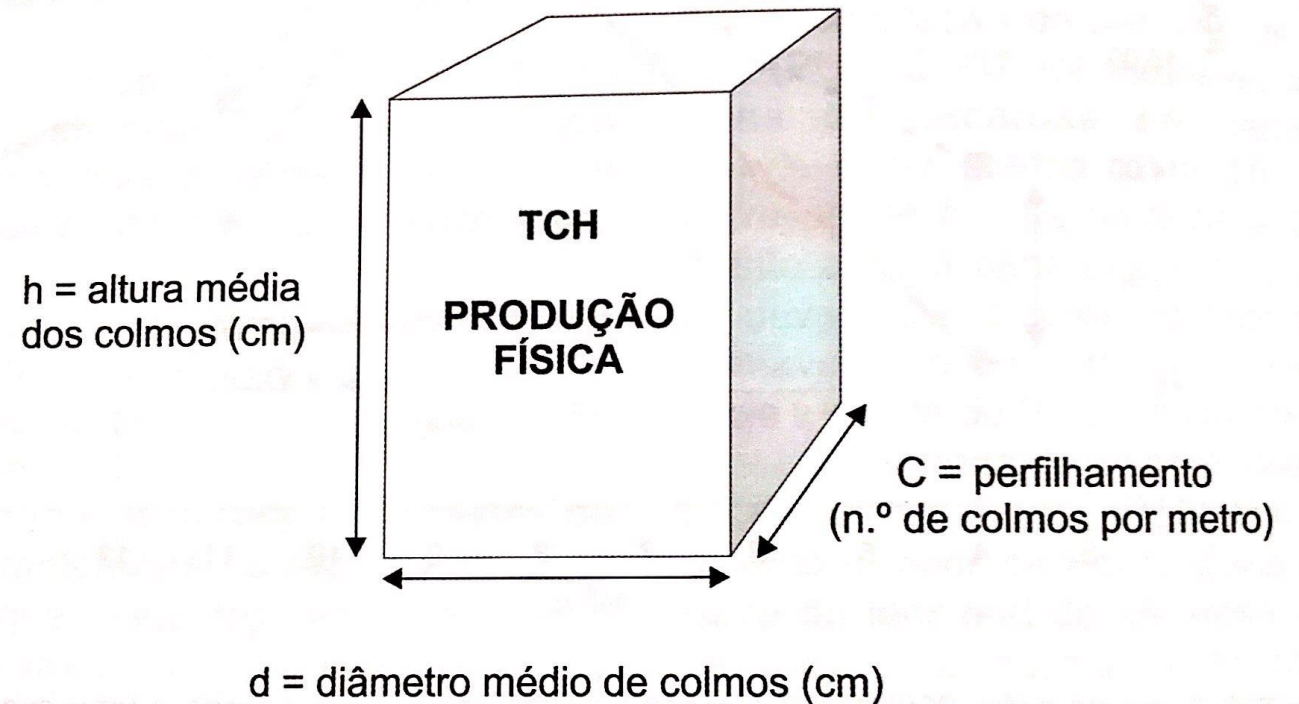
Peso de 1 colmo – altura, diâmetro e
densidade

Número de Colmos por metro linear

Altura das Plantas

Diâmetro dos colmos

$$TCH = \frac{d^2 \times C \times h (0,007854)}{E}$$





Número de perfilhos por metro linear

Altura da Cana



Diâmetro de Colmos



Dados biométricos x estimativa da produtividade

Tabela 1. Variáveis biométricas¹ para cultivares de cana-de-açúcar de ciclo de maturação para o final de safra, 5º corte e 11 meses de idade, safra 2012/2013

Cultivares	Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Perfilhamento (Nºperfilhos m ⁻¹)	TCH estimado (ton ha ⁻¹)
IAC94-2101	197,33 bc	2,65	13,67	97,06 a
CTC 2	191,33 bc	2,49	13,67	85,05 ab
CTC 6	175,00 c	2,52	13,33	76,96 b
CTC 8	203,67 ab	2,43	14,00	86,99 ab
RB72454	185,00 bc	2,57	13,00	83,98 ab
RB867515	224,67 a	2,49	13,33	95,56 a
DMS (5%)	23,30	0,334	2,25	18,02
Estatística - Teste F				
Tratamentos	13,02**	1,30 ^{NS}	0,58 ^{NS}	4,25*
Blocos	6,29*	4,25*	0,26 ^{NS}	11,72**
Média Geral	196,16	2,52	13,50	87,60
Desvio Padrão	8,21	0,11	0,79	6,35
Coefi. de Variação	4,19	4,66	5,89	7,25

¹ Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Tukey. ** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. NS = não significativo. DMS – Diferença Mínima Significativa. CV – Coeficiente de Variação

Tabela 2. Coeficiente de correlação entre os valores médios de TCH estimado e das variáveis biométricas avaliadas de cultivares de cana-de-açúcar de ciclo de maturação para o final de safra, 5º corte e 11 meses de idade, safra 2012/2013.

	Altura	Diâmetro	Perfilho
TCH	0,674**	0,659**	- 0,079^{NS}

¹ Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna, para cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Tukey. ** Significativo ao nível de 1 % de probabilidade. *Significativo ao nível de 5% de probabilidade. NS = não significativo.

CANA-DE-AJUDA
 Plantações têm “efeito colateral” benéfico: ajudam a esfriar o ambiente por duas razões

1 ESPELHO
 Essas plantas refletem muito bem a energia do sol, impedindo que o calor se acumule

2 SUOR
 A planta também transpira grande quantidade de água, que ajuda no resfriamento ao entrar em contato com o ar

Esfriamento médio: 0,93°C

DESMATAMENTO NÃO
 Esses efeitos benéficos não significam que se deva derrubar florestas e cultivar cana. Os pesquisadores analisaram a



Fisiologia vegetal

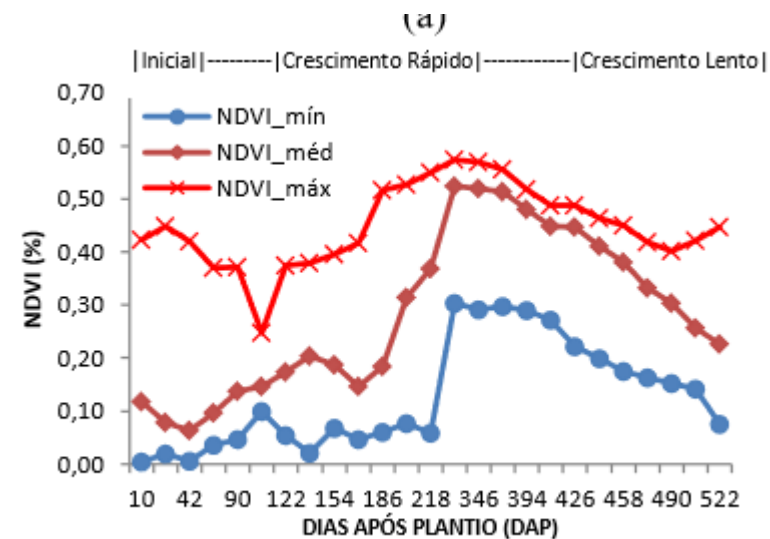
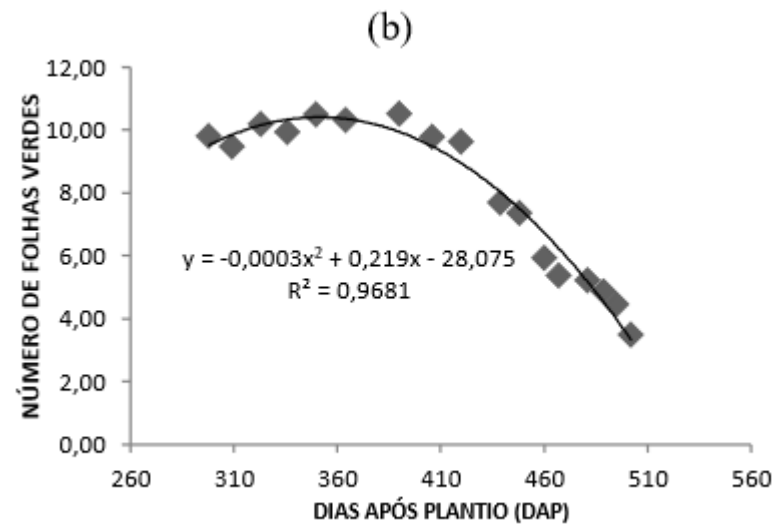
Entendimento dos processos básicos – Fotossíntese, Respiração, Acúmulo dos fotossintatos.

Número de Folhas e

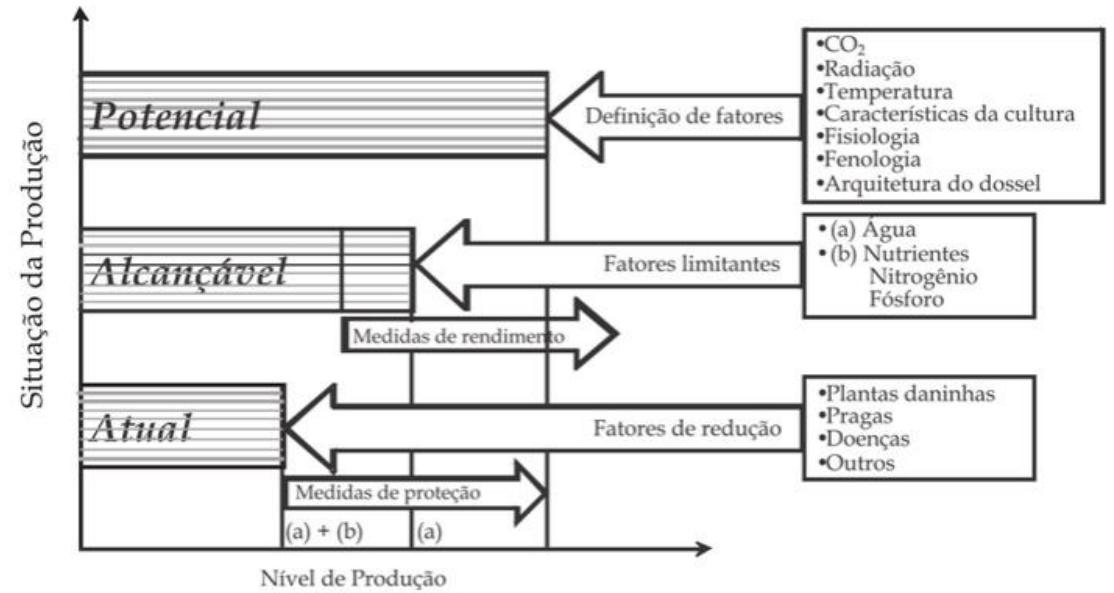
• Índice Área Foliar = $\frac{\text{m}^2 \text{ de folha}}{\text{m}^2 \text{ de solo}}$

O IAF permite estimar a capacidade fotossintética da cultura e ajuda a entender a relação entre acúmulo de biomassa e produtividade sob condições ambientais da região. Aos 6 meses ocorre o máximo de IAF. Aumento do IAF prenuncia alta produção de fotossintatos. Uma forma de aumentar o IAF seria diminuir o espaçamento da cultura.

Índice Área Foliar – estimado por imagens satélite (Landsat8)

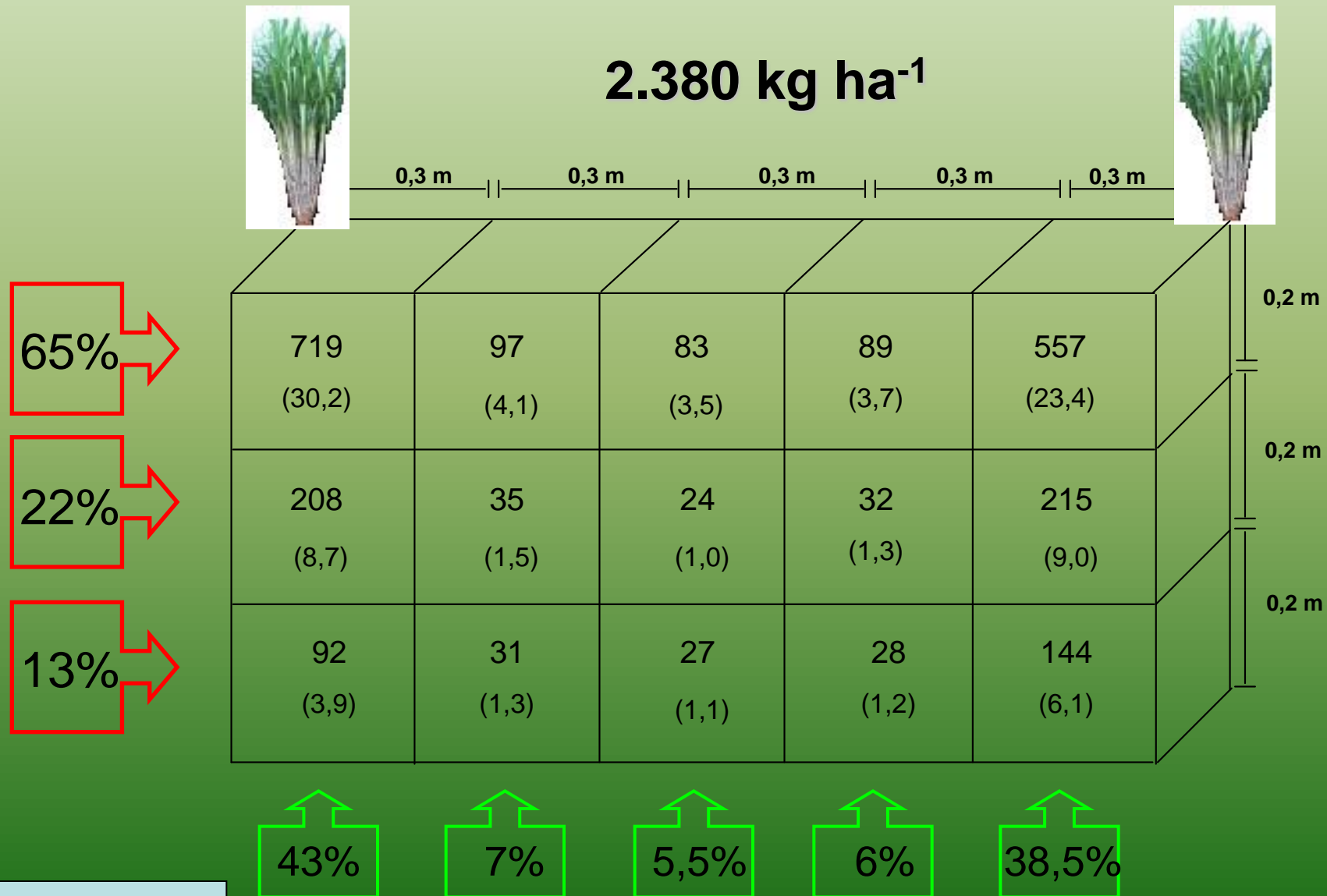


Pereira, et al. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 2015.



Esquema de restrições num modelo de produtividade potencial
(Adaptado de LÖVENSTEIN et al., 1995)

Distribuição das raízes da cana planta



Eutrophico X Alico: Raizes



Quais as variáveis mensuráveis no solo e que alteram a produtividade da cana?

Físicas

textura

estrutura

potencial da água

profundidade

densidade

Físico - Químicos

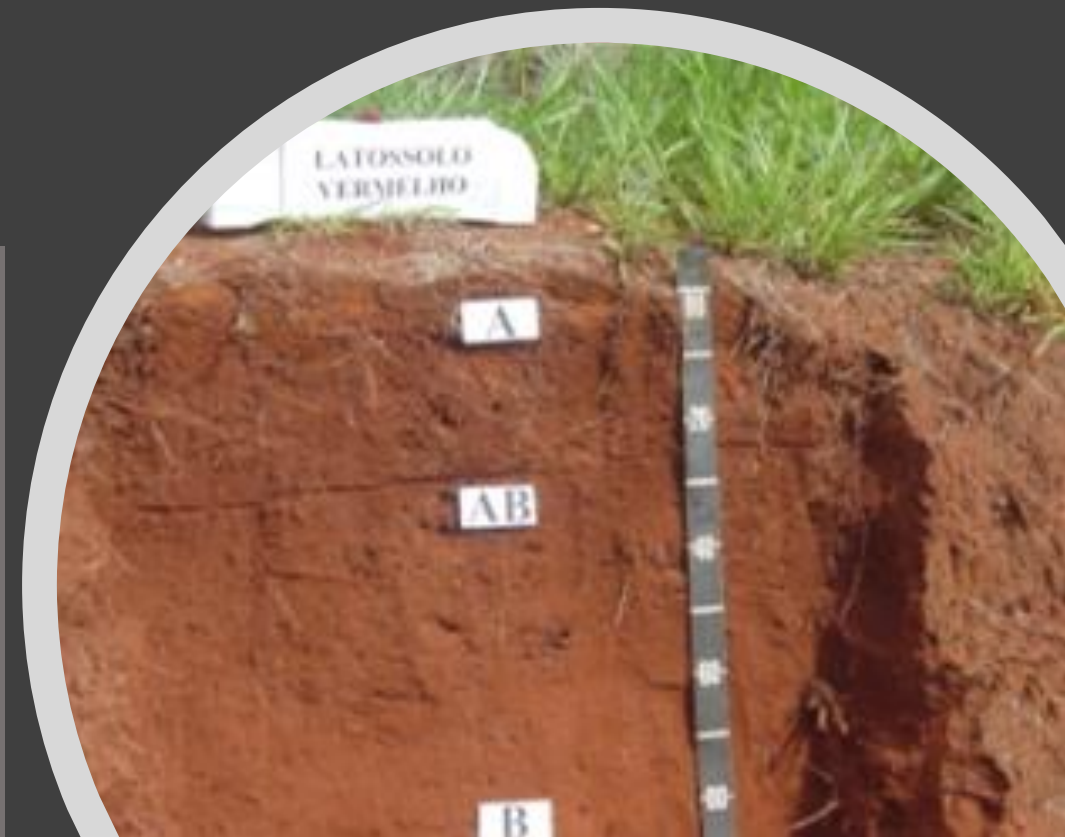
Mat. Orgânica

Acidez

Nutrientes

Capacidade troca iônica

saturação de bases



Produtividade da cana em função do tipo de solo.

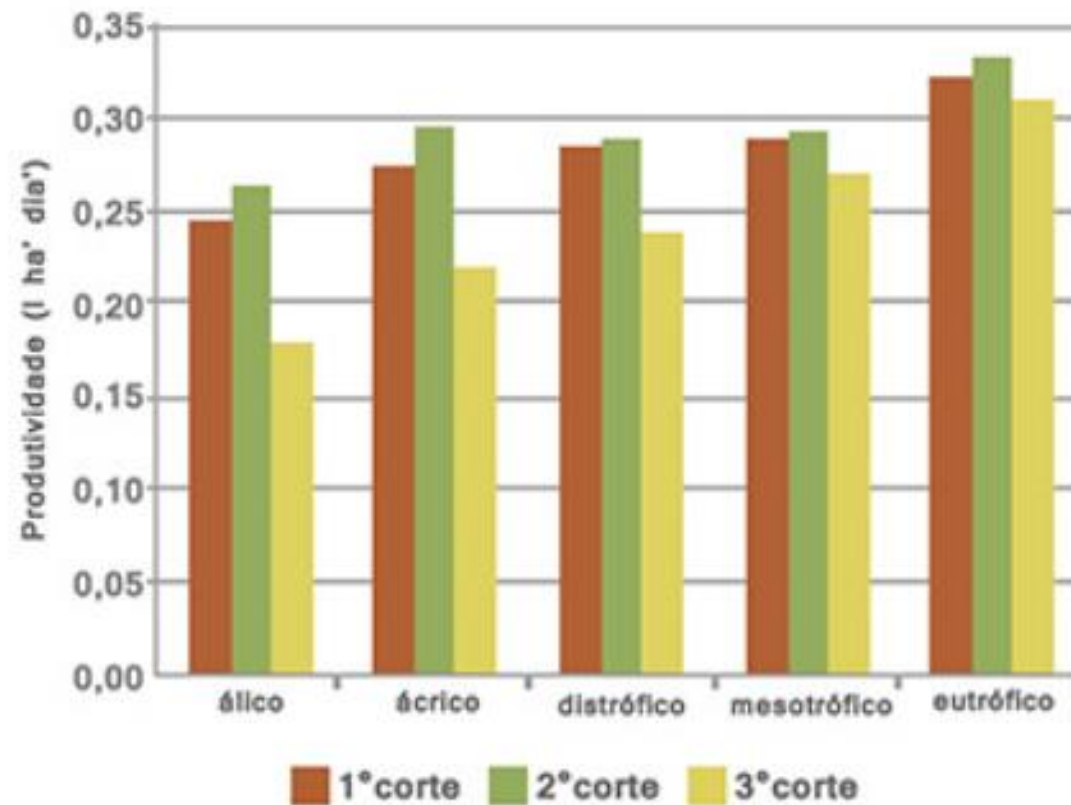


Figura 5. Produtividade da cana ao longo dos cortes (Landell et. All 2003)

Sistema IAC

Água disponível

✓ CAD

✓ Evapotranspiração

Solos:

✓ Textura

✓ Tipo de Solos (3° nível)

✓ Caráter abruptico,
arênico, espessarênico.

Fertilidade:

✓ CTC e SB

✓ Caráter álico, mesoálico

✓ Caráter ácrico

✓ Eutrófico, mesotrófico e
distrófico.

AMBIENTES DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL			
2ª Aproximação			
Ambientes	Produtividades TCH	Atributos dos solos	Símbolos dos solos EMBRAPA (1999), PRADO (2004)
A1	> 100	{ ADA, e, ef, m, CTC média/alta	PVAe ⁰ , PVe ⁰ , LVef, LVe, LVAe, CXe, NVe ⁰ , Nve, MT ⁰ , MX ⁰ , GMa, GXa, GMa, GXm
A2	96 - 100	{ ADM, e, ef, CTC média/alta	PVAe ⁰ , PVe ⁰ , PAe ⁰ , LVef, LVe, LVAe, CXe, NVe ⁰ , Nve
B1	92 - 96	{ ADA, m, mf, CTC média/alta ADM, mf, m, ma, CTC média/alta ADB, ef, e, CTC média/alta	PVAe ⁰ , PVe ⁰ , PAe ⁰ , LVmf, LVe, LVAe, LAm, G3m, NVmf, NVm, PVAm ⁰ , LVef, LVe, LVAe, LAe, NVe ⁰ , Nve, PVAe ⁰ , PVe ⁰ , PAe ⁰ , CXe
B2	88 - 92	{ ADM, m, mf, CTC média/baixa ADA, ma, CTC média/alta	PVAe ⁰ , PVe ⁰ , PAe ⁰ , LVmf, LVm, LVAe, LAm, G3m, GMa, GXa
C1	84 - 88	{ ADM, e, CTC média/alta ADM, ma, CTC média/alta ADB, d, ef, CTC média/alta	PVAd ⁰ , PVd ⁰ , PAd ⁰ , LVAma ⁰ , LAm ⁰ , LVd, LVef, LVAe, LAe
C2	80 - 84	{ ADB, e, CTC média/baixa ADMB, ef, CTC média/alta	LVe, LVAe, LAe, LVef
D1	76 - 80	{ ADB, w, wf, CTC média/alta ADM, a, CTC média/alta	LVef, LVw, LVAw, LAw, PVAa ⁰ , PVa ⁰ , PAa ⁰
D2	72 - 76	{ ADB, ma, CTC média/alta ADB, e, CTC alta, A químico/biológico	LVma, LVAm ⁰ , LAma, RLe
E1	68 - 72	{ ADB, a, CTC média/baixa ADMB, ma, CTC média/baixa	PVAa ⁰ , PVa ⁰ , PAa ⁰ , PVAm ⁰ , PVma ⁰ , PAm ⁰
E2	< 68	{ ADMB, wf, w, a, CTC média/alta ADMB, a, d, CTC média/baixa ADMB, e, m, d, ma, a	LVef, LVw, LVAw, LAw, LVa, LVAa, LAa, PVAa ⁰ , PVa ⁰ , PVAa ⁰ , PAa ⁰ , RQa, RQd, RLe, RLm, RLd, RLma, RLa, PVAe ⁰ , PVAe ⁰

A régua da produtividade x Ambientes de produção

AMBIENTES DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Hélio do Prado

	A1		A2				B1				B2				C1				C2				D1				D2				E1				E2				F1				F2				G1				G2			
Nota TCH	≥100	99	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	85	84	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52	51	≤00			
	10	9,8	9,6	9,4	9,2	9,0	8,8	8,6	8,4	8,2	8,0	7,8	7,6	7,4	7,2	7,0	6,8	6,6	6,4	6,2	6,0	5,8	5,6	5,4	5,2	5,0	4,8	4,6	4,4	4,2	4,0	3,8	3,6	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0			

Modelos de produtividade de cana - Almanac

for the simulated Molokai (MUA) silty clay loam, slope: 0 to 3% (Field no. 609). The soil properties were compiled from the USDA NRCS SSURGO database: <http://sdmdataaccess.nrcs.usda.gov/> (accessed March 2014).

Soil property	Soil layer number	
	1	2
Depth, m	0.00–0.32	0.32–1.58
Porosity, m m ⁻¹	0.54	0.50
Field capacity, m m ⁻¹	0.47	0.45
Wilting point, m m ⁻¹	0.30	0.29
Saturated conductivity, mm h ⁻¹	32.40	32.40
Bulk density 33kpa, T m ⁻³	1.23	1.33
Bulk density (Oven dry soil), T m ⁻³	1.29	1.29
Sand, %	6	6
Silt, %	44	44
Clay, %	50	50
pH	7.20	7.80
CEC, cmol kg ⁻¹	10.50	10.50
Soil organic carbon, %	1.62	0.77

Fatores do Clima que influenciam crescimento de cana

- **Chuva**
- **Temperatura – Maxima, Minima**
- **Umidade**
- **Vento**
- **Radiação solar – Fotoperíodo – Graus dia**



PRINCIPAIS VALORES MÉDIOS DE TEMPERATURAS NA CANA-DE-AÇÚCAR

Fase ou Órgão	Ambiente	Temperaturas (°C)				
		Ideal	Crítica	Máxima	Mínima	Prejudicial
Brotação de gemas	solo	34 - 37	19	44	21	-
Enraizamento	solo	34 - 37	19	44	12	-
Absorção de água	solo	28 - 30	15	-	10	-
Absorção de nutr.	solo	26 - 27	19	-	-	-
Cresc. das raízes	solo	26 - 27	21	-	10	-
Perfilhamento	ar	25 - 30	20	30	15	-
Cresc. dos colmos	ar	28 - 32	21	34	15	-
Estrias cloróticas	ar - calor	-	-	-	-	> 33
Estrias cloróticas	ar - frio	-	-	-	-	< 8
Morte gema apical	ar	-	-	-	-	-1,0 a -3,3
Morte gemas laterais	ar	-	-	-	-	-3,3 a -6,0
Morte das folhas	ar	-	-	-	-	-2,2 a -5,0
Morte dos colmos	ar	-	-	-	-	-1,0 a -7,5
Florescimento	ar	-	-	< 31	> 18	-
Maturação	ar	< 21	-	-	-	-

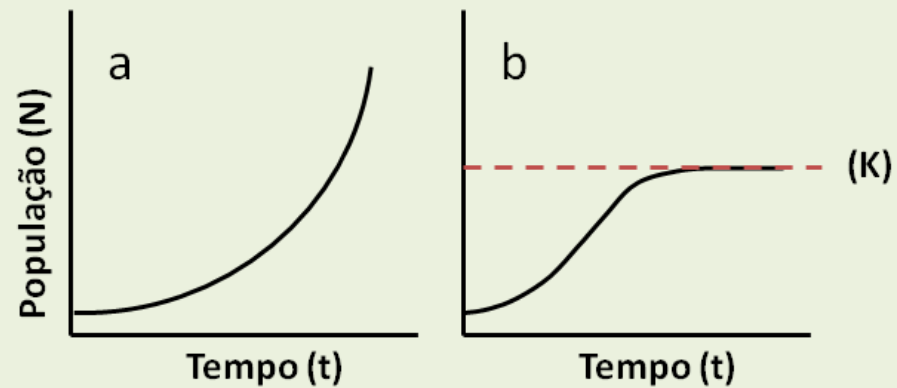


Figura 1 - Padrões de crescimento populacional no tempo.
a) **crescimento exponencial**, onde a população aumenta sem limites ao infinito; b) **crescimento logístico**, onde a população cresce rapidamente no início e desacelera e se mantém estável quando o número de indivíduos (**N**) atinge o número máximo (**K**) que os recursos disponíveis no ambiente podem suportar.

No SIMCANA, (década 80 – Pereira & Machado- IAC)

taxas de fotossíntese, respiração e crescimento

são simuladas em função das condições diárias de radiação solar global, temperatura máxima, mínima e umidade relativa do ar.

Modelo Crescimento de Plantas

SWAP/WOFOST, QCANE, SIMCANA, MOSICAS, CANEGROW, CANESIM, APSIM

Uso de modelos matemáticos de crescimento de plantas

- otimizar o uso de insumos de tal forma a maximizar a produtividade ou minimizar o uso de insumos
- buscar melhores formas de manejo das culturas
- encontrar as causas da variabilidade de produtividade
- estudar os efeitos de clima, solo e técnicas de manejo na produtividade

Modelos de produtividade de cana

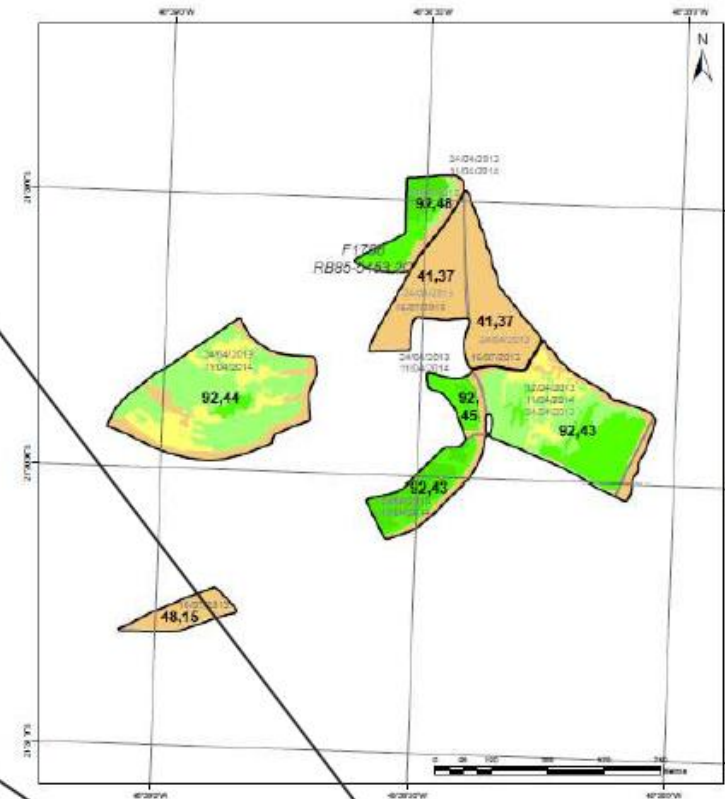
Table 4. Determined crop parameters for 2-yr cycle sugarcane used to calibrate the ALMANAC model. The biomass-energy ratio (WA) value includes cane mat and root dry matter. Nitrogen and P nutrient contents are from Williams et al. (1989).

Category	Crop parameter definition	Symbol	Determined value
Plant growth	Biomass-energy ratio, $\text{g MJ}^{-1} \text{m}^{-2}$	WA	3.37
	Max. leaf area index (LAI)	DMLA	7.50
	Fraction of season when LAI starts to decline	DLAI	0.65
	Leaf area decline rate index	RLAD	0.30
	Light extinction coefficient for Beer's Law	k	0.53
	First point on optimal LAI curve	DLAPI	15.10
	Second point on optimal LAI curve	DLAP2	55.99
	Maximum crop height, m	HMX	3.60
	Maximum root depth, m	RDMX	2.00
	Potential heat units, °C	PHU	9250
Yield components	Plant population (stalk number), m^{-2}	PLANTPO	18.00
	Dry matter decline rate index	RBMD	1.00
	Fraction of water in forage yield	WCY	0.75
	Harvest index	HI	0.90
Nutrient content (kg nutrient/kg of biomass)	Nitrogen content at early establishment	BN1	0.0100
	Nitrogen content at mid-season	BN2	0.0040
	Nitrogen content at maturity	BN3	0.0025
	Phosphorus content at early establishment	BP1	0.0075
	Phosphorus content at mid-season	BP2	0.0030
	Phosphorus content at maturity	BP3	0.0019



Mapa de Produtividade

Classes	Área (ha)	(%)
<85	26,14	38,67
85 - 75	7,51	11,11
75 - 85	17,31	25,6
85 - 95	10,9	16,12
>95	0	0
Total Fazenda	61,86	



Classes	Área (ha)	(%)
<85	26,14	38,67
85 - 75	7,51	11,11
75 - 85	17,31	25,6
85 - 95	10,9	16,12
>95	0	0
Total Fazenda	61,86	

Data das Imagens RapidEye:
Fev/Mar 2014

GRADIENTE DE PRODUTIVIDADE

Safrá 2014/2015

Sofisticando as variáveis

Sofisticando a
obtenção de
dados

Table 5 Fractionation of carbohydrates of five sugarcane varieties

Item (g kg ⁻¹)	Variety (V)					Time (T) ¹		SEM	P-value		
	RB 863129	RB 867515	RB 92579	RB 943365	RB 98710	407	483		V	T	V × T
TC	905.24bc	927.09a	904.27c	912.70bc	917.44ab	913.65	913.05	4.97	0.0008	0.8453	0.1794
FC	507.59	443.64	476.28	472.61	483.20	480.74	472.59	21.67	0.0867	0.5451	0.1158
A+B1	397.66b	483.45a	427.99b	440.09ab	434.25b	432.91	440.46	24.21	0.0239	0.6072	0.1498
B2	406.86	348.33	387.16	378.79	380.81	383.57	377.21	20.38	0.1071	0.6211	0.0613
C	100.72	100.31	89.12	93.82	102.39	95.16	99.37	5.93	0.1325	0.2462	0.2325

TC - total carbohydrates; FC - fibrous carbohydrates; A+B1 - non-structural carbohydrates; B2 - available fiber fraction; C - indigestible fraction; SEM - standard error of the mean.

¹Days after planting.

Means followed by common lowercase letters do not differ in the rows among the varieties by the F test at 0.05 probability level.

DEFINIÇÕES

CANA-DE-AÇÚCAR

Planta formada por colmos (touceira), folhas verdes e secas, bainhas e sistema radicular.

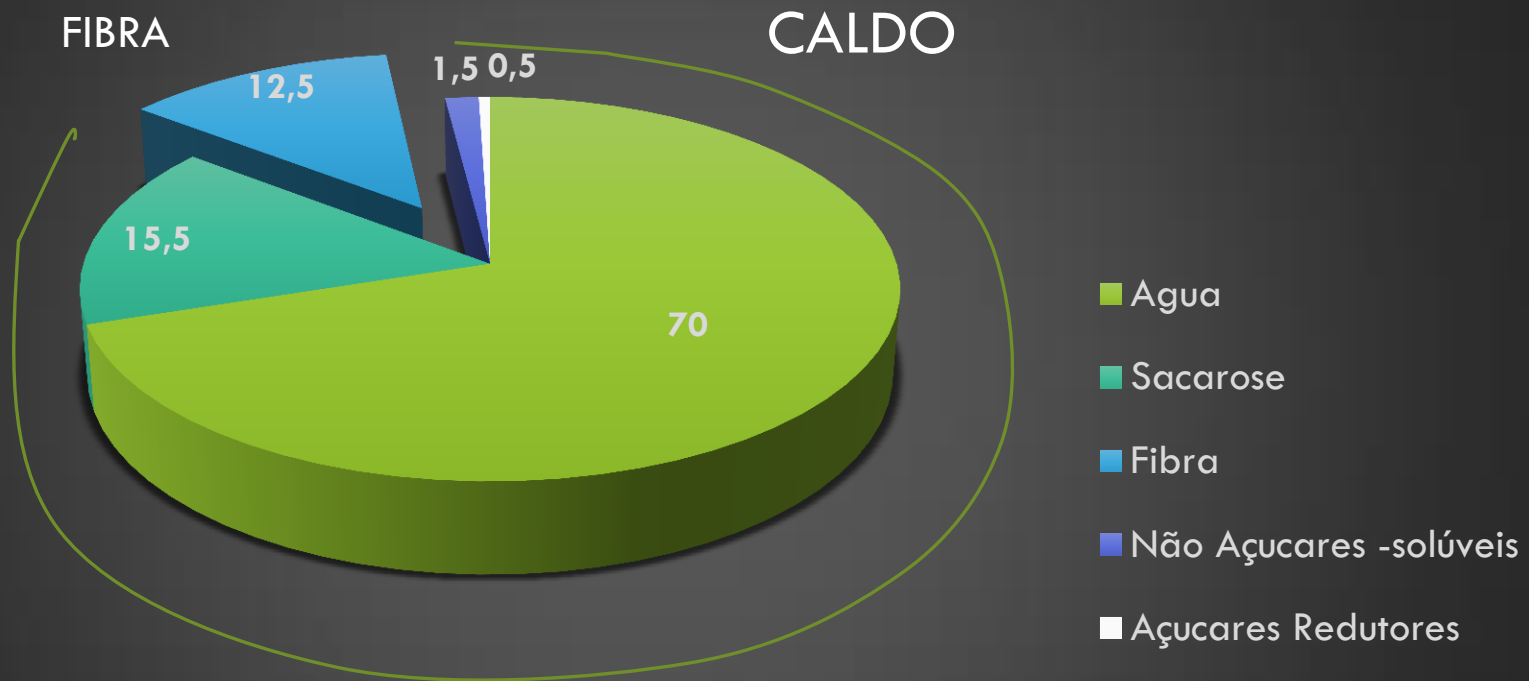


MATÉRIA-PRIMA

Material entregue na indústria para fabricação de açúcar e/ou etanol, composto por “colmos” mais as impurezas ou matéria estranha oriundas do sistema de corte, carregamento e transporte (CCT).



Sob o Ponto de Vista Tecnológico os colmos são constituídos de



$$\text{CANA} = \text{CALDO} + \text{FIBRA (bagaço)}$$

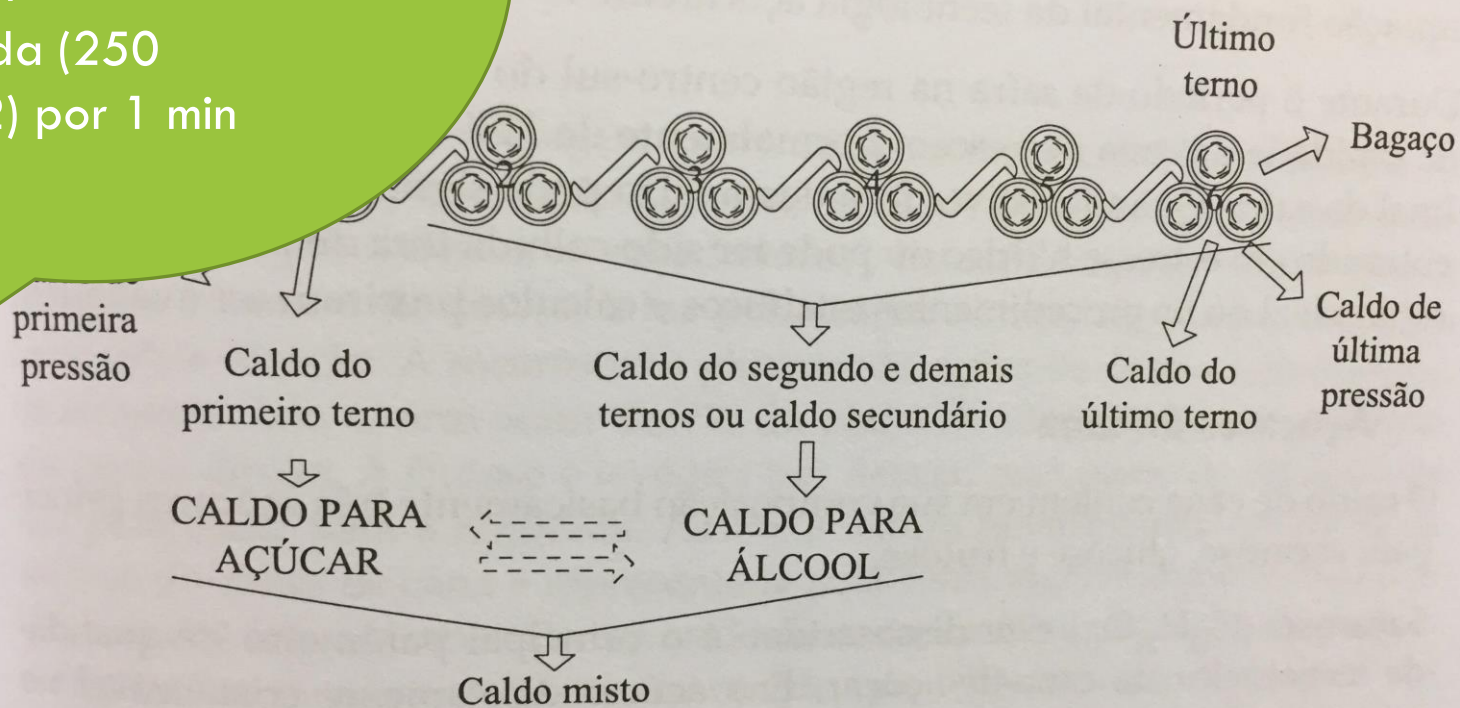
**Equação fundamental da
tecnologia açucareira**

$$\text{Caldo absoluto \% cana} = 100 - \text{Fibra \% cana}$$



Caldo de Cana

0,5 kg amostra desintegrada e homogeneizada deve ser prensada (250 kg/cm²) por 1 min



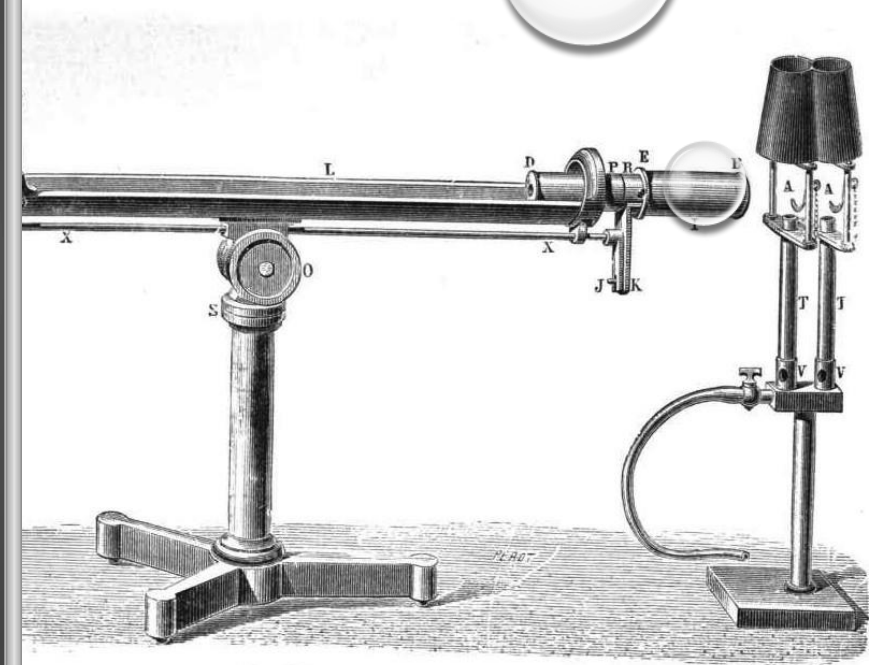
BRIX REFRACTOMÉTRICO DO CALDO

Caldo → Filtragem → Leitura direta no refratômetro
Resultado corrigido para 20 °C



POLARÍMETRO SACARÍMETRO

- É UM EQUIPAMENTO CAPAZ DE MEDIR A ROTAÇÃO ANGULAR QUE SOLUÇÕES DE SUBSTÂNCIAS OTICAMENTE ATIVAS CAUSAM NO PLANO DE UMA LUZ POLARIZADA. ESTA MEDIDA É CHAMADA DE POLARIZAÇÃO.
- UM SACARÍMETRO É UM POLARÍMETRO CALIBRADO PARA FORNECER UMA ROTAÇÃO DE 100° QUANDO SUBMETIDO A UMA SOLUÇÃO DE SACAROSE PREPARADA COM 26,00G EM 100 ML DE ÁGUA.
- DESTA FORMA QUANDO MEDIMOS A POLARIZAÇÃO DE UM CALDO DE CANA, ESTAMOS MEDINDO O TEOR DE SACAROSE ATRAVÉS DA ROTAÇÃO QUE ELE PROVOCA NO PLANO DA LUZ POLARIZADA.
- CHAMAMOS DE POL (ORIUNDA DE POLARIZAÇÃO) O TEOR APARENTE DE SACAROSE PRESENTE NO CALDO DE CANA JÁ QUE A QUANTIDADE DE AÇÚCARES REDUTORES É PEQUENA E A ROTAÇÃO DE UM AÇÚCAR NEUTRALIZA EM PARTE A ROTAÇÃO DO OUTRO CAUSANDO UMA DIFERENÇA PEQUENA AO FINAL.



A Laurent Polarimeter



Valores de análises de caldo de **cana madura** no início safra e durante. Para AR, são valores máximos.

Brix J	Pol J	Pureza J	AR
18	14,4	80	1,5
18	15,3	85	1,0

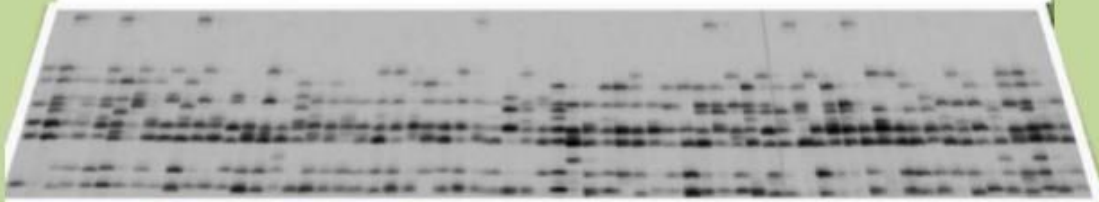
Variáveis de qualidade do Caldo da cana

Indicadores	Valores recomendados
POL	>14
Pureza (POL/Brix)	>85%
ATR (sacarose, glicose, frutose)	>15% maior possível
AR (glicose, frutose)	<0,8 %
Fibra	11 a 13 %
Tempo de queima/corte	< que 35 horas para cana com corte manual
Terra na cana (minerais)	<5 kg/t cana
Contaminação da cana	<5,0 x 10 ⁵ bastonetes/ ml no caldo
Teor de álcool no caldo da cana	<0,6 % ou <0,4% Brix
Acidez sulfúrica	<0,80
Dextrana	<500 ppm/Brix
Amido da cana	<500 ppm/Brix
Broca da cana	< 1,0%
Índice de Honig-Bogstra	>0,25
Palhiço na cana	< 5,0%
Ácido aconítico	<1.500 ppm/Brix

Identificação de cultivares/ fingerprint:



IAC86 2480
IAC87 3396
IAC91 1099
IACSP93-3046*
IACSP94-2094*
IACSP94-2101*
IACSP94-4004*
IACSP95-3028
IACSP95-5000*
IACSP95-6114
IACSP97-3031
IACSP97-6610
IACSP97-6615
IACSP98-2072
IACSP98-3099
IACSP98-5010
IACSP98-3009
IACSP98-3013
IACSP99-3039
IACSP99-3090
RB81 3804
RB82 5336
RB83 5054
RB83 5486
RB84 2021
RB84 5197
RB84 5210
RB84 5257
RB85 5035
RB85 5036
RB85 5113
RB85 5156
RB85 5453
RB85 5463
RB85 5511
RB85 5536
RB85 5546
RB85 5563
RB86 5230
RB86 7515
RB92 5211
RB92 5268
RB92 5345
RB92 579
RB92 8064
RB93 1530
RB93 509
RB93 5744
RB96 6928



IACSP93-3046



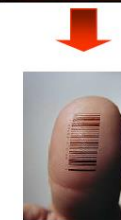
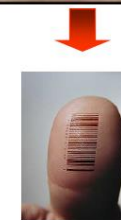
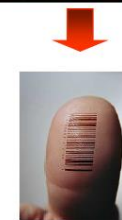
IACSP94-2094



IACSP94-2101



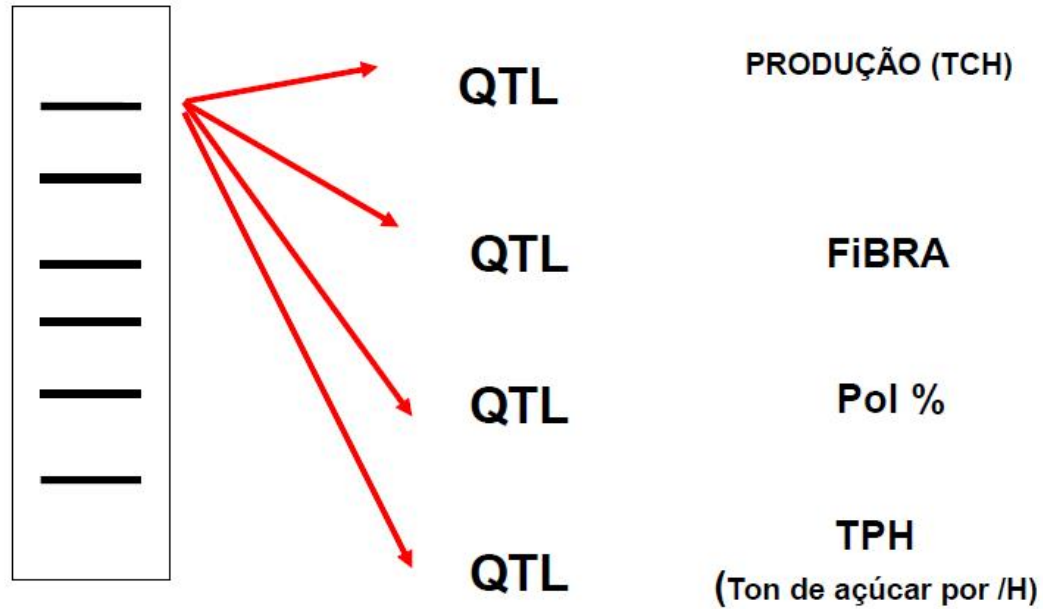
IACSP94-4004



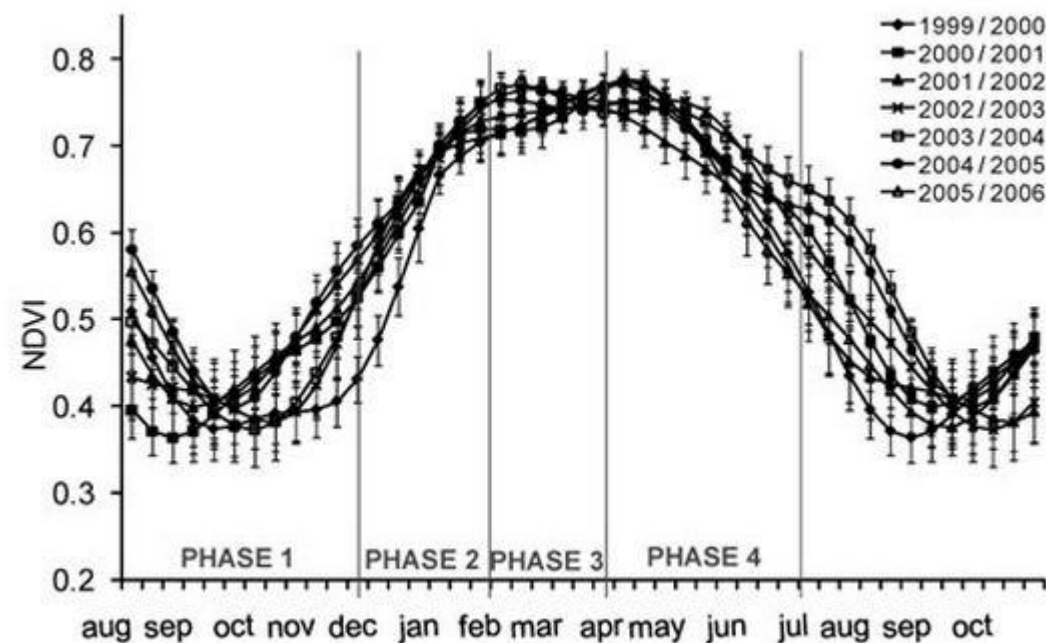
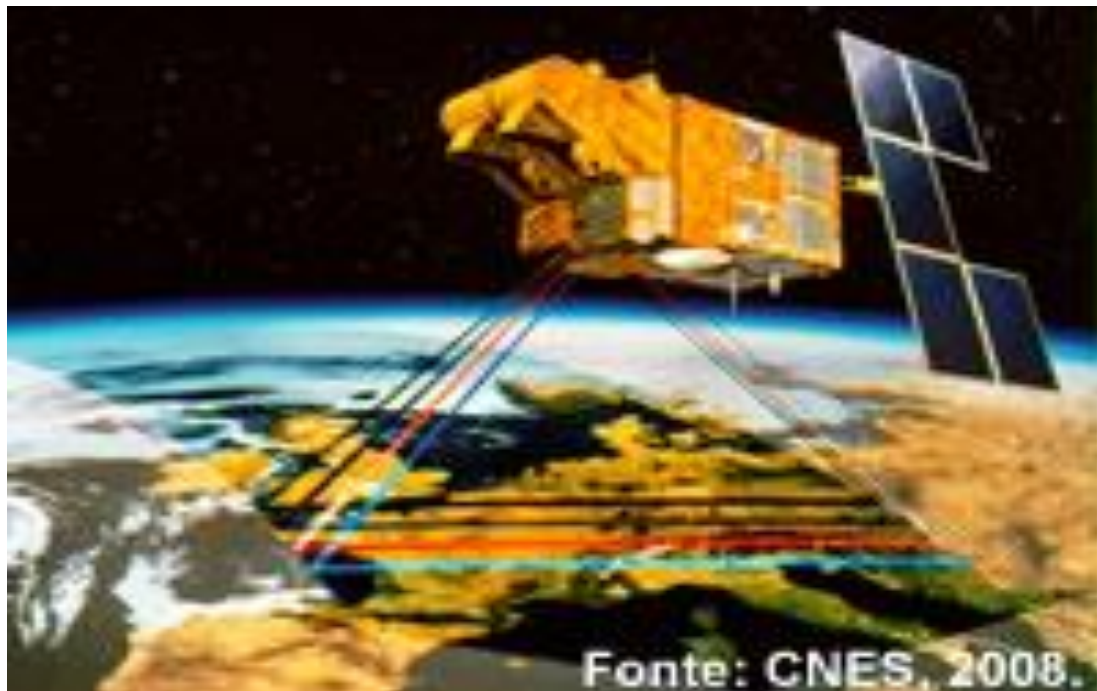
Marcadores moleculares –

Sequencias de DNA que caracterizam que determinam características fenotípicas

• IDENTIFICAÇÃO DE MARCADORES LIGADOS CARACTERÍSTICAS DE INTERESSE

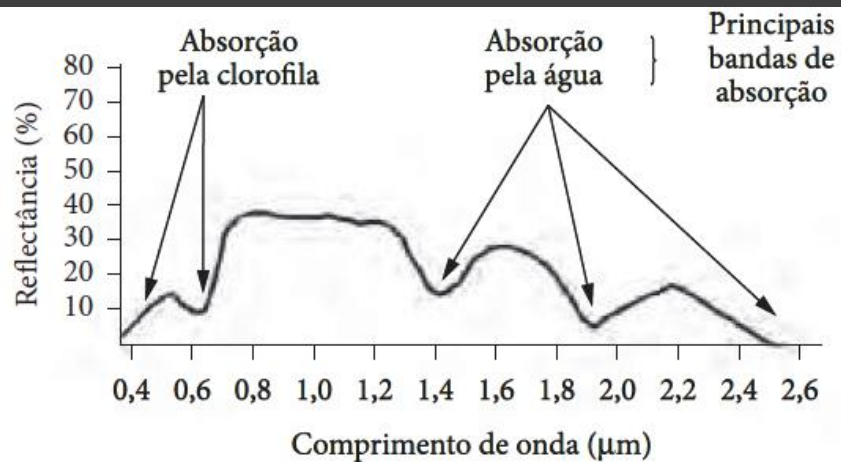
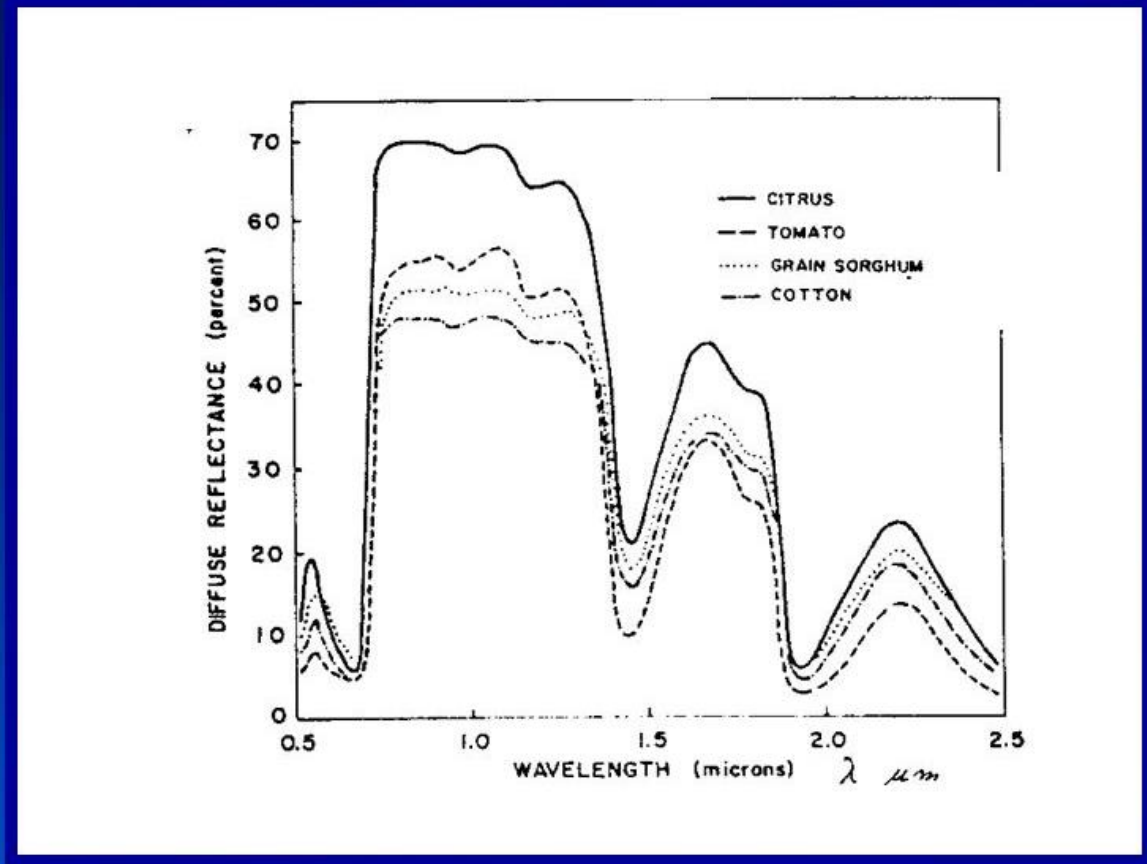


Índices de refletância – sensores, imagens satélite



Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Área Imageada	Resolução Radiométrica
VEGETATION e VEGETATION-2	B0	0,43 - 0,47 μ m	1 Km	24 horas	2.250 km	8 bits
	B2	0,61 - 0,68 μ m				
	B3	0,78 - 0,89 μ m				
	MIR	1,58 - 1,75 μ m				

Fernandes, et al. Sci. agric. vol.68 no.2 , 2011



Culturas tem padrões refletancia caraterísticos

Regiões

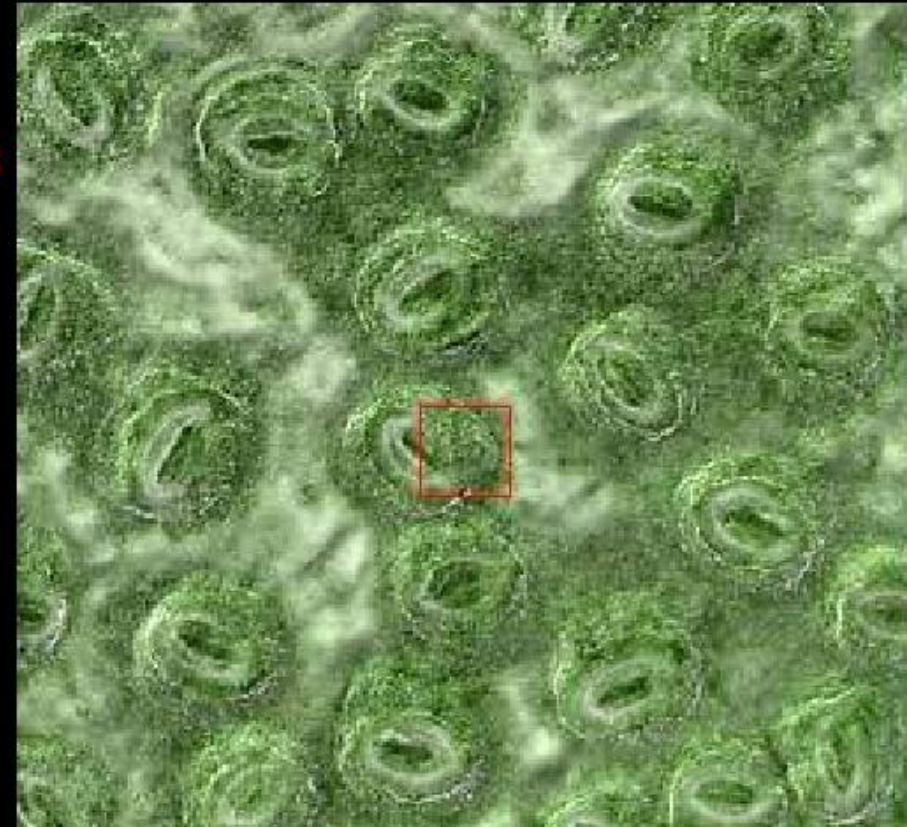
10^7
10.000 km

O Hemisfério
Norte da
Terra,
podendo-se
ver parte do
Hemisfério
Sul.



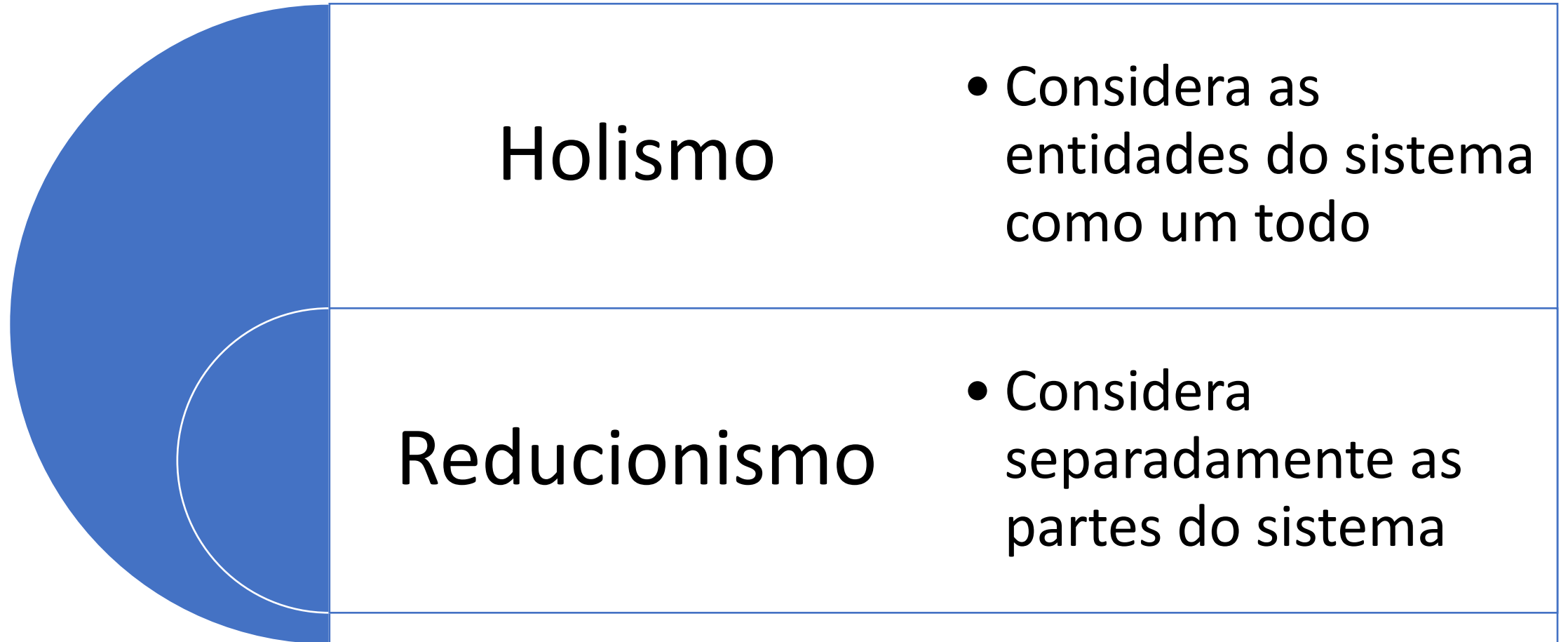
10^{-5}
10 microns

Começa
nossa
viagem ao
interior da
célula



Macro ao micro – delimitamos o universo da ciência.

Conclusão





Obrigada

Jardim Varietal, Centro Cana IAC