

Mapeamento da Produtividade das Culturas

José P. Molin
ESALQ/USP
jpmolin@usp.br



www.agriculturadeprecisao.org.br

Objetivo

Abordar a importância dos mapas de produtividade das culturas, bem como os equipamentos, formas de geração de dados, seus tratamentos, a confecção e interpretação dos mapas

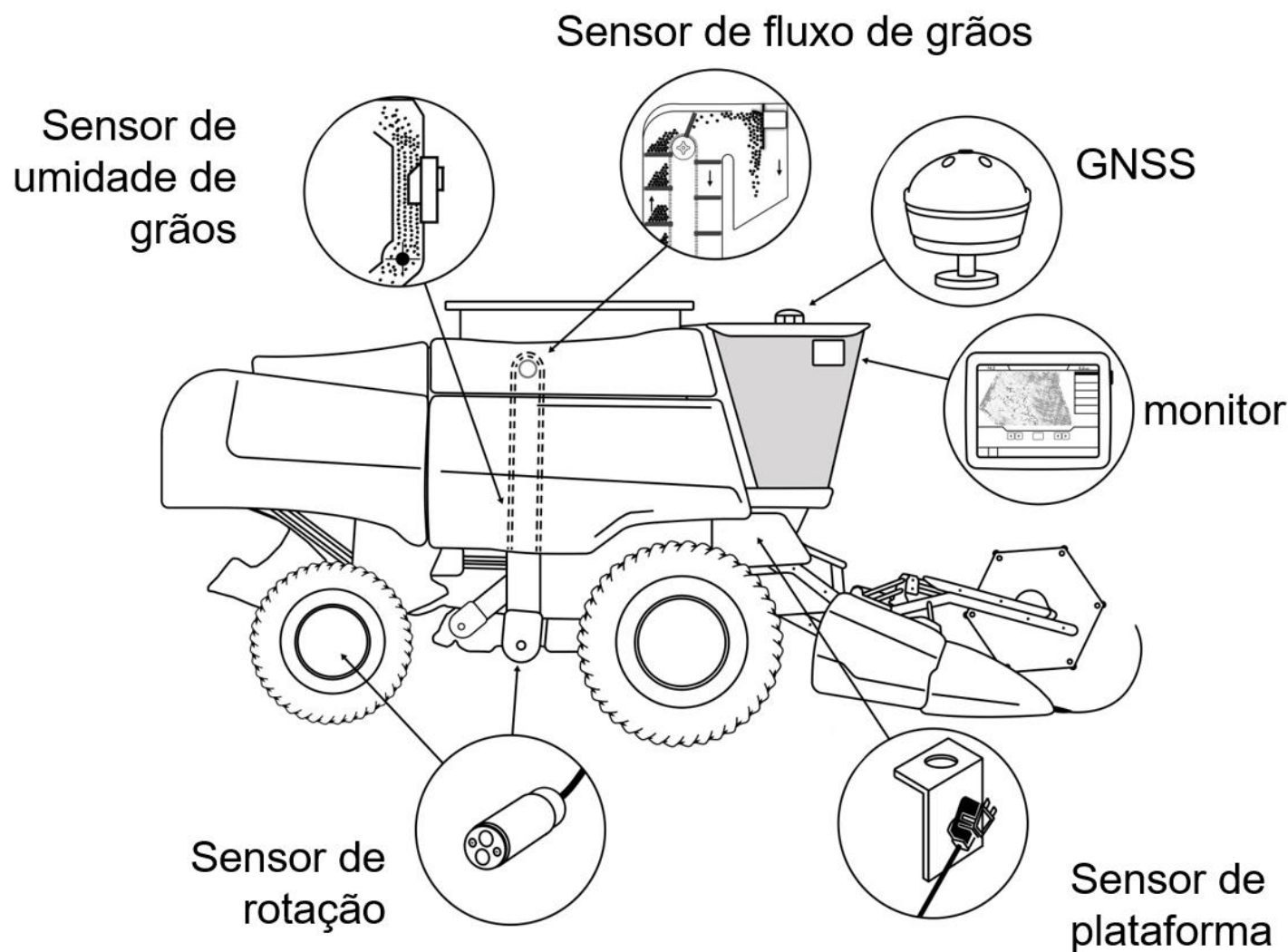
Os mapas de produtividade servem para:

- Entender a variabilidade da lavoura
- Investigar as suas possíveis causas
- Guiar as investigações (direcionar a amostragem)
- Delimitar regiões (“zonas de manejo”)
- Calcular espacialmente as quantidades de nutrientes exportados
- Produzir o mapa do lucro e do prejuízo

Como obter o dado para gerar o mapa de produtividade

- Tomando como base culturas de grãos, temos:
 - quantidade de grãos colhidos num espaço
 - tamanho da área desse local
 - sua localização
 - umidade dos grãos colhidos

Os componentes necessários



Sensores gravimétricos

Elevador de taliscas

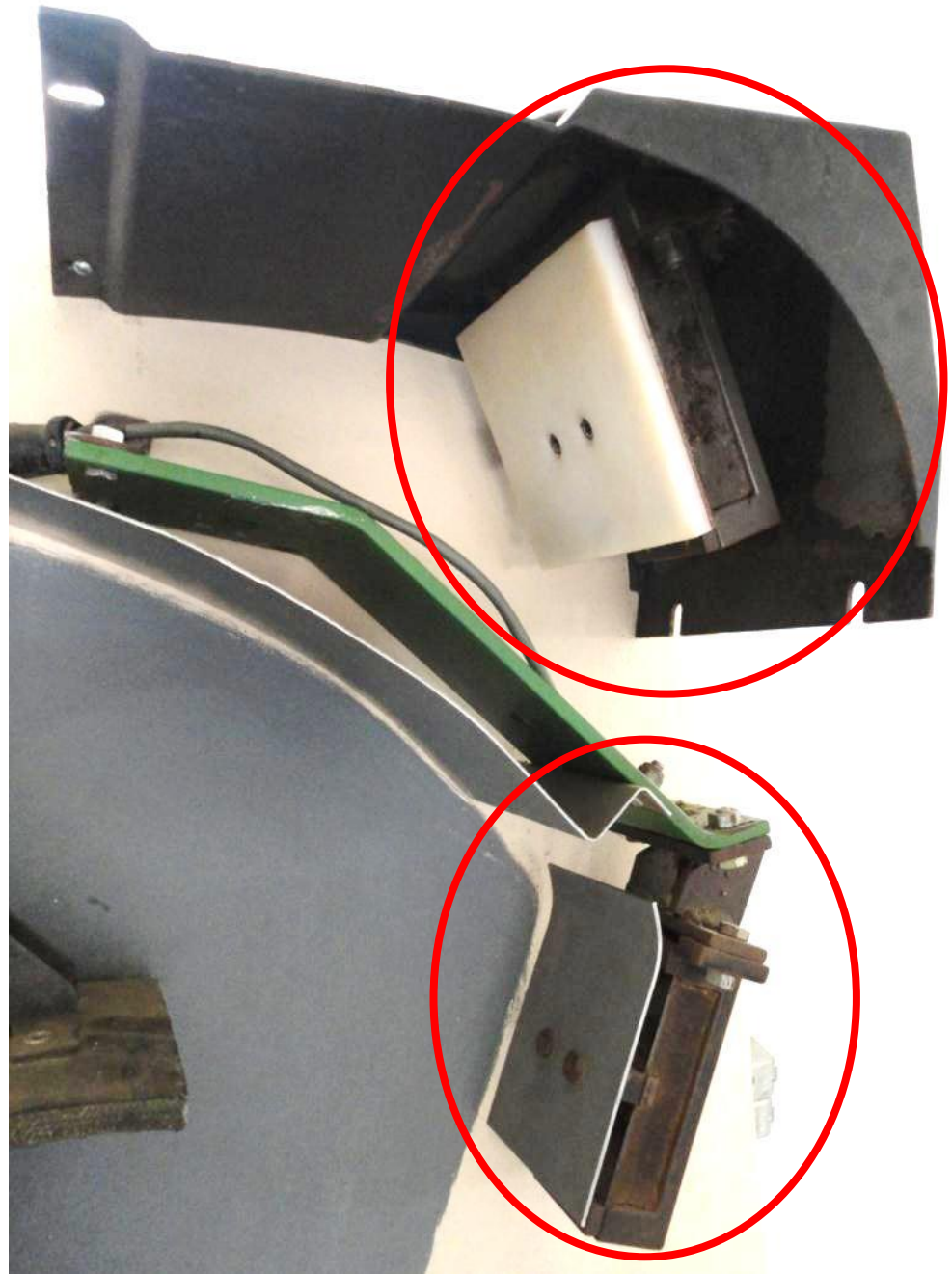


Placa de impacto

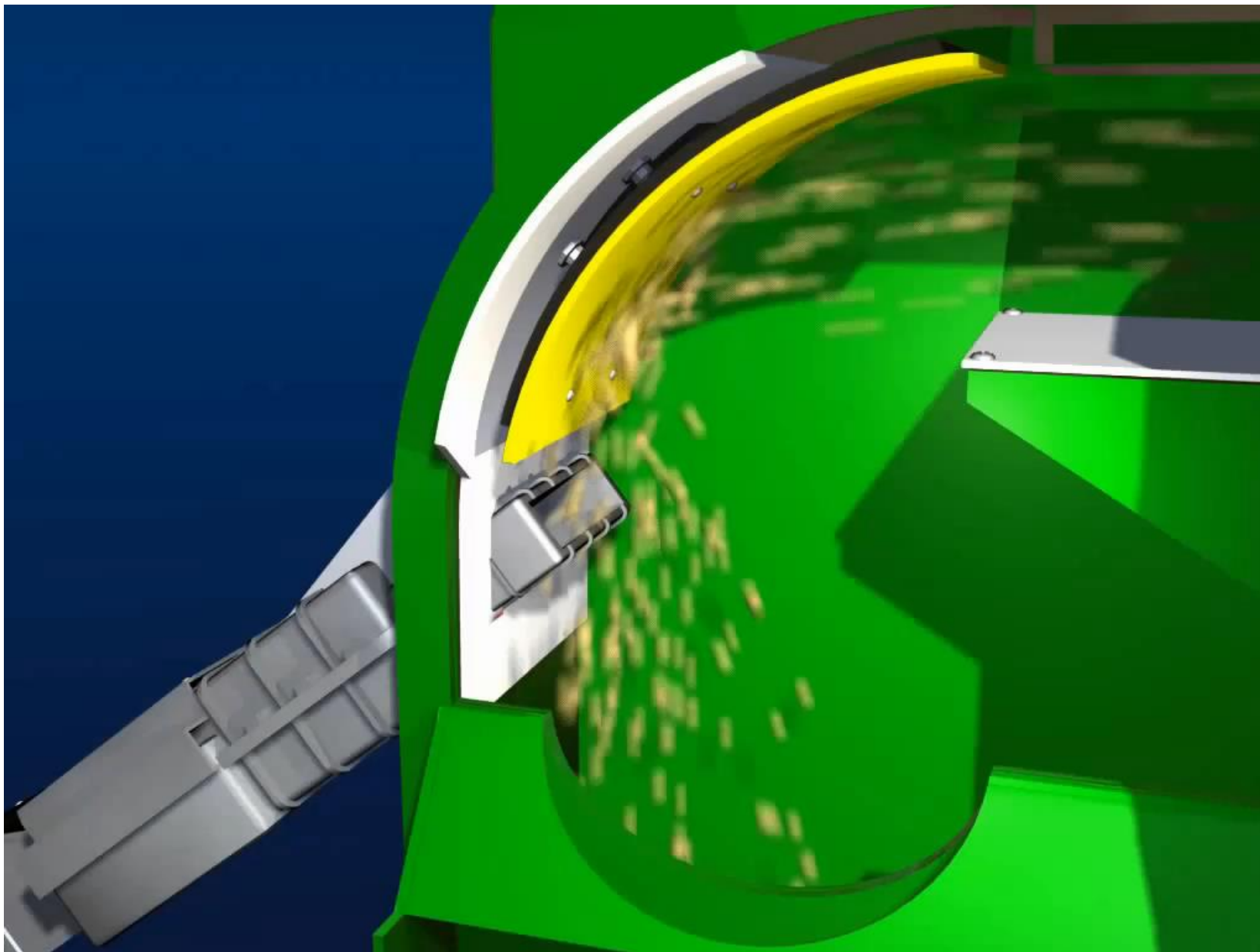


AgLeader

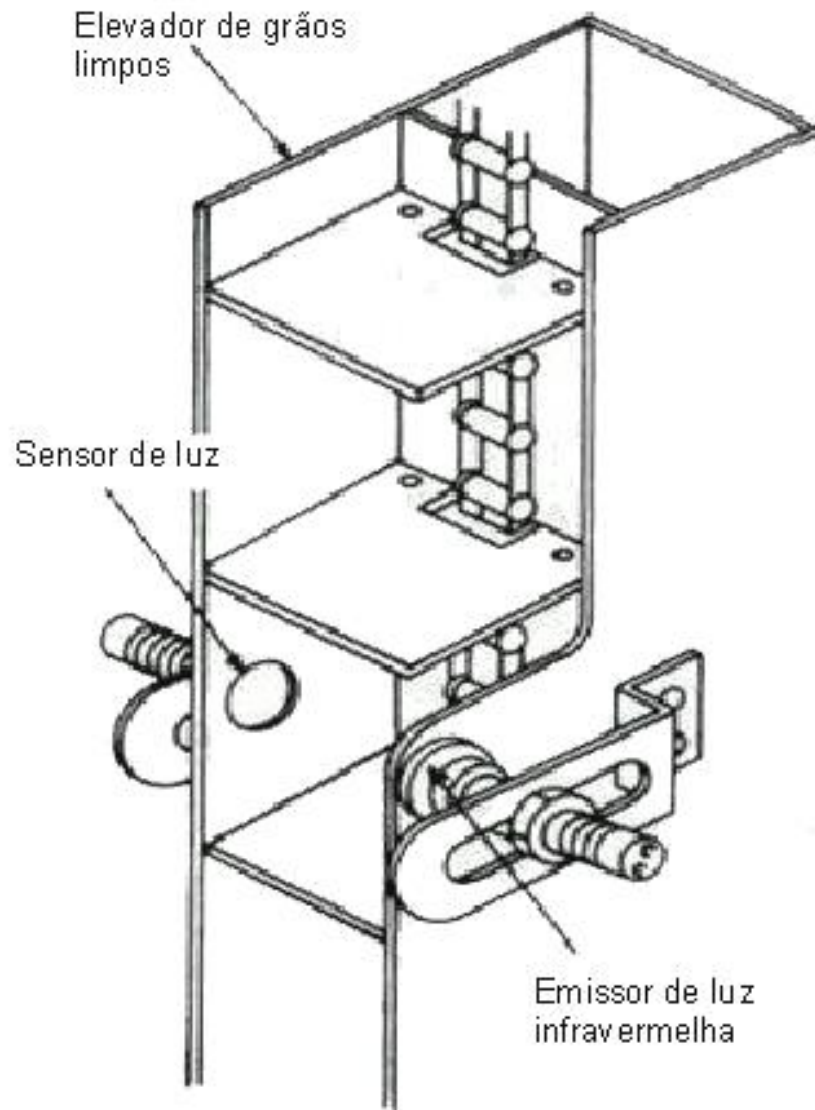
Sensor gravimétrico







Sensores volumétricos



Sistema RDS

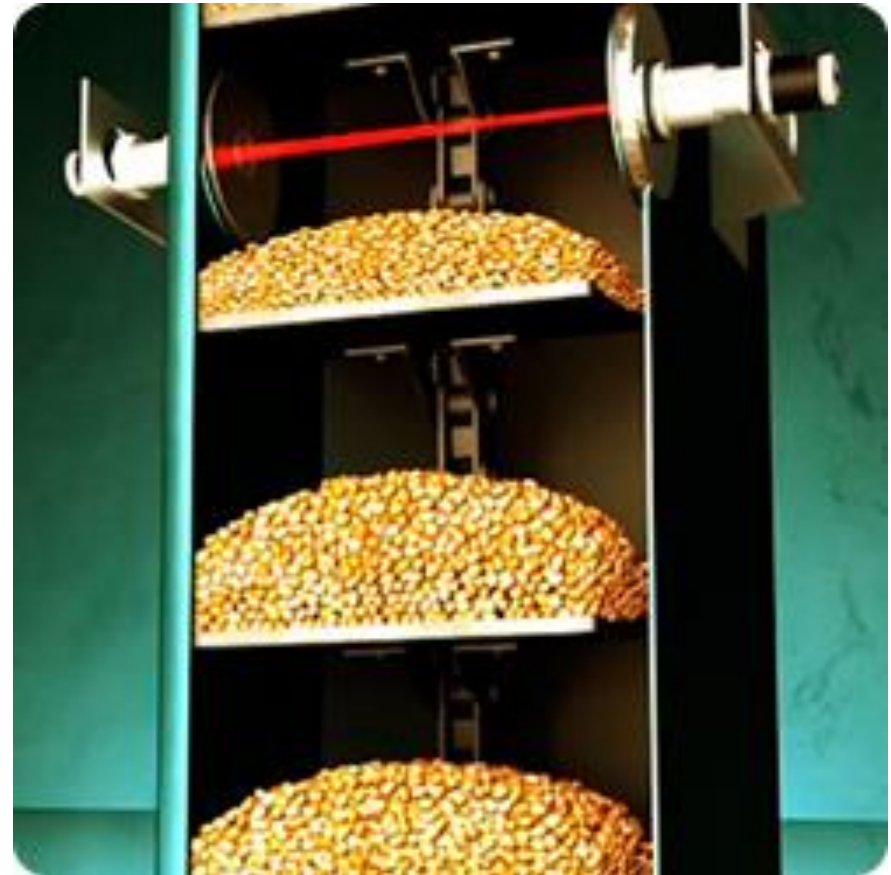
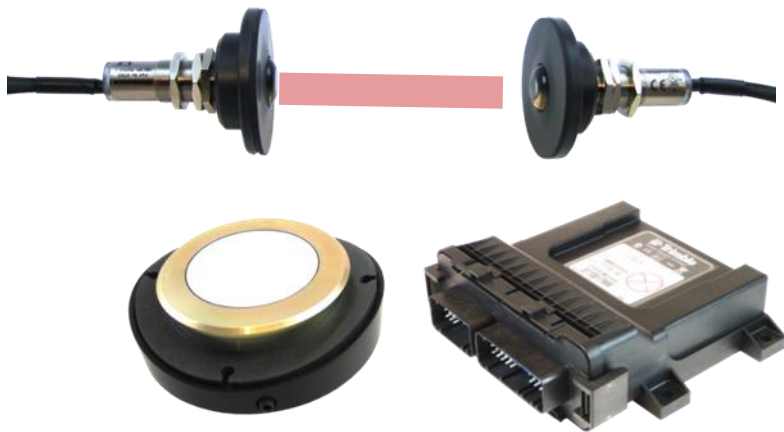
Sensor óptico



Profi



Trimble



YIELD MONITORING

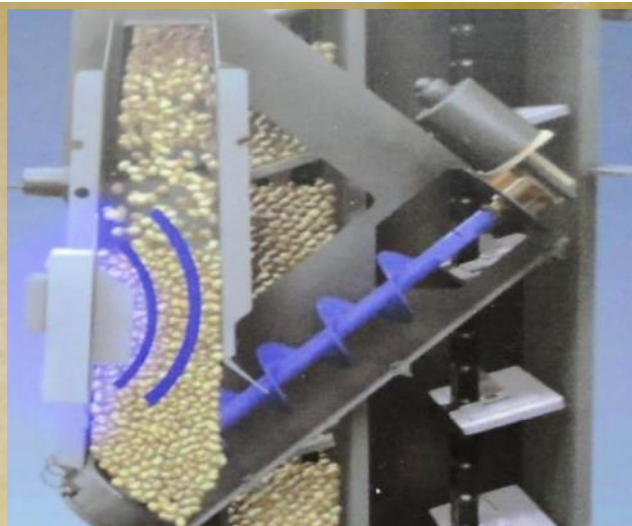


Alguns dos fornecedores e tipo de sensor de fluxo de grãos que utilizam

Marca Comercial ou Fabricante	Tipo de Sensor de Fluxo
AFS, Case IH	Placa de impacto com célula de carga
New Holland	Placa de impacto com célula de carga
Harvest Doc, J. Deere	Placa de impacto com potenciômetro, ou com célula
Fieldstar, AGCO	Radioativo/Torquímetro/Placa de impacto
AgLeader	Placa de impacto com célula de carga
Plantium	Placa de impacto com célula de carga
Stara (Canlink, FarmScan)	Facho de luz
Trimble	Facho de luz
Verion	Placa de impacto com célula de carga
Precision Planting	Placa de impacto

Alguns dos fornecedores e tipo de sensor de fluxo de grãos que utilizam

Marca Comercial ou Fabricante	Tipo de Sensor de Fluxo
AFS, Case IH	Placa de impacto com célula de carga
New Holland	Placa de impacto com célula de carga
Harvest Doc, J. Deere	Placa de impacto com potenciômetro, ou com célula
Fieldstar, AGCO	Radioativo/Torquímetro/Placa de impacto
AgLeader	Placa de impacto com célula de carga
Plantium	Placa de impacto com célula de carga
Stara (Canlink, FarmScan)	Facho de luz
Trimble	Facho de luz
Verion	Placa de impacto com célula de carga
Precision Planting	Placa de impacto



Sensores de umidade dos grãos

MF - Brasil



Monitores de cabine

Executar 4



Rendim., úmido mé
11.612 ton/ha

Vel de marcha
0.0 km/h

Rendimento, seco
----- ton/ha

Rendimento, úmido
----- ton/ha

Rendim., seco m
10.051 ton/h

Peso, seco
35.827 ton

Rendimento ton/ha

Umidade
15.5 %

Umidade, média
26.9 %

0 3 linhas 12

Área
3.56 ha

Tax.Tr,Campo,Med
1.7 ha/hr



23 Mai, 2015
15:45

Voltar

Executar1

Executar2

Executar3

Executar4

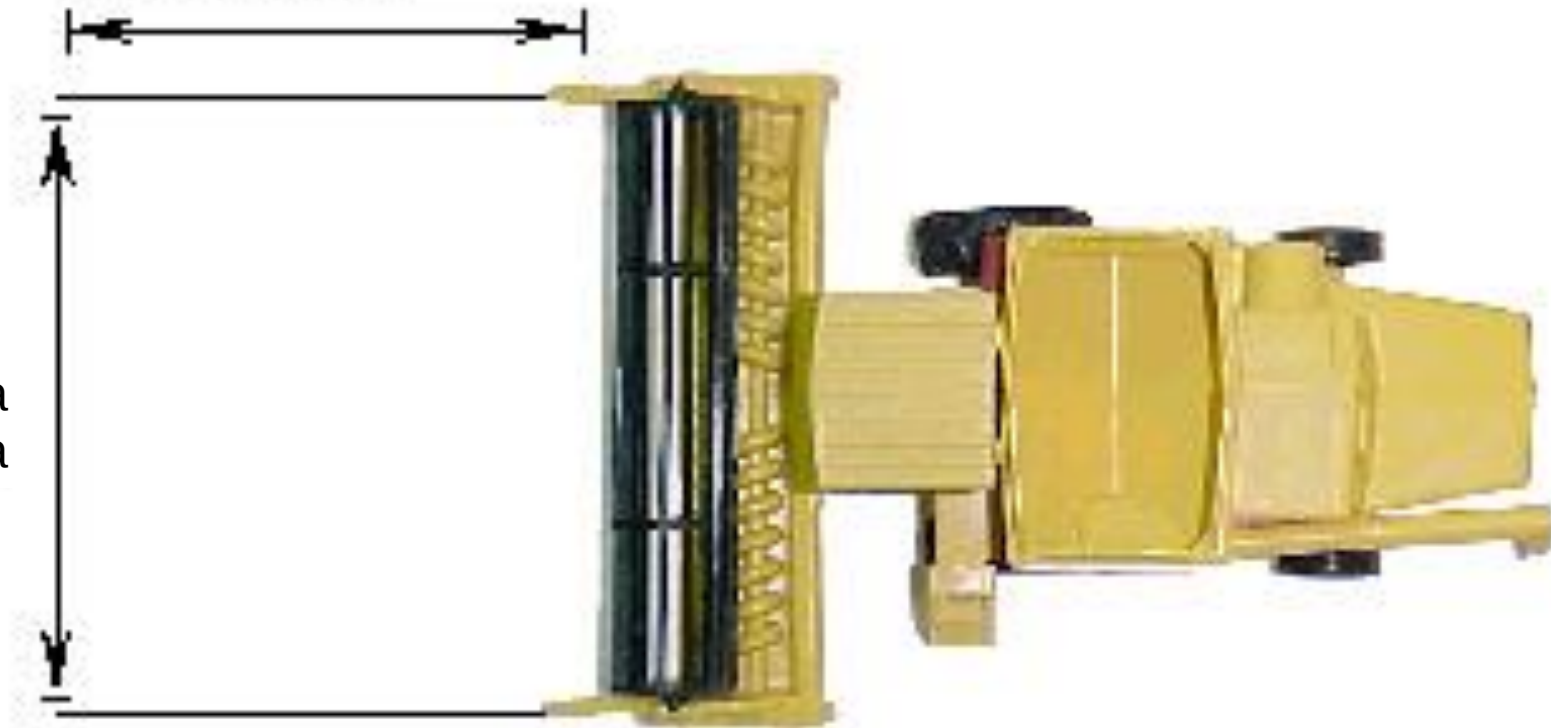
Executar5

Executar6

Área de um “ponto” no mapa de colheita

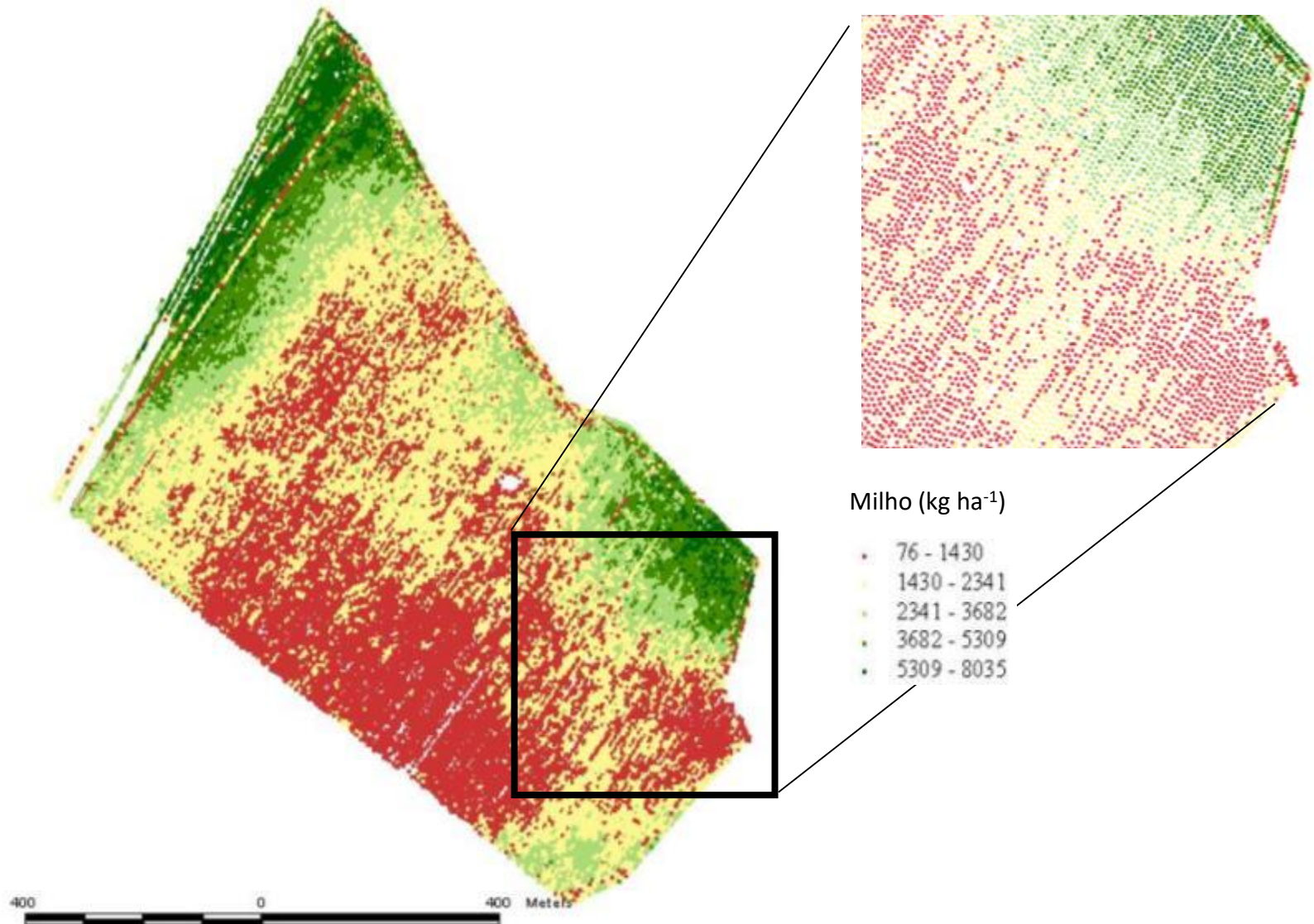
Distância percorrida pela máquina no intervalo de coleta (geralmente de 1 a 3 segundos)

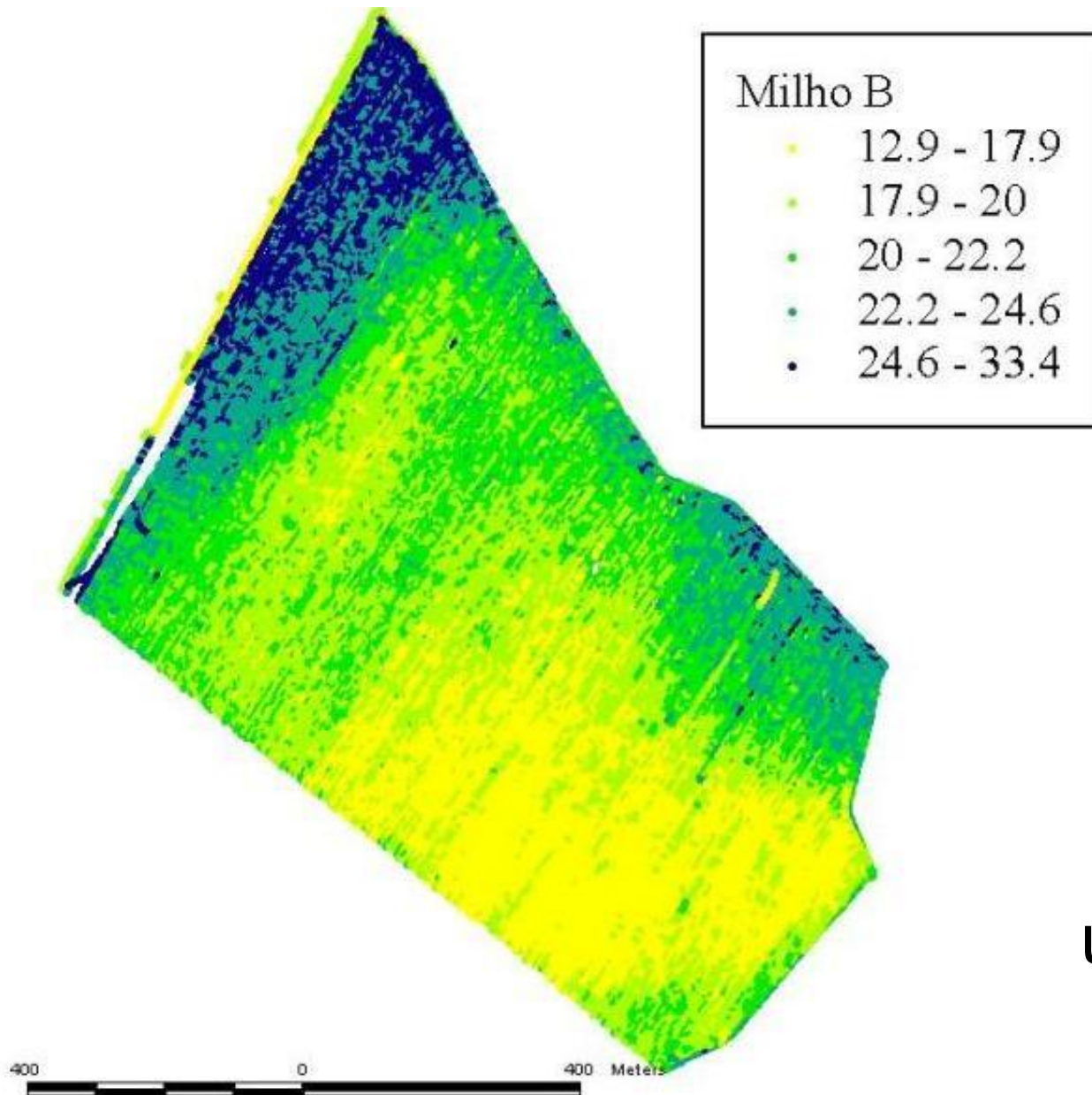
Largura da plataforma



File Edit Table Field Window Help																
0 of 20266 selected																
Attributes of Milho A																
Shape	Longitude	Latitude	Flow	Time	Cycles	Distance	Swath	Moisture	Field	Load	id	Crop	Gps	Altitude	Serial	Dry yield
Point	-50.033865	-22.703166	2.17	1110737212	3	426	660	15.00	F42_CR1	5		OptGrain1	3	499.67	2000130010	2276.82
Point	-50.033896	-22.703135	1.95	1110737215	3	429	660	14.20	F42_CR1	5		OptGrain1	3	499.67	2000130010	2054.75
Point	-50.033927	-22.703103	1.97	1110737218	3	436	660	14.90	F42_CR1	5		OptGrain1	3	499.57	2000130010	2025.78
Point	-50.033958	-22.703072	2.02	1110737221	3	434	660	13.80	F42_CR1	5		OptGrain1	3	499.57	2000130010	2093.96
Point	-50.033987	-22.703037	1.96	1110737224	3	431	660	14.40	F42_CR1	5		OptGrain1	3	499.27	2000130010	2047.40
Point	-50.029286	-22.709064	0.38	1110738892	3	594	660	15.00	F42_CR1	5		OptGrain1	3	493.27	2000130010	284.43
Point	-50.027428	-22.697835	0.74	1110664498	3	391	528	14.70	F42_CR1	4		OptGrain1	3	501.47	2000130010	1071.23
Point	-50.027390	-22.697770	0.70	1110664492	3	381	528	14.50	F42_CR1	4		OptGrain1	3	501.17	2000130010	1035.16
Point	-50.027370	-22.697739	0.79	1110664489	3	373	528	14.20	F42_CR1	4		OptGrain1	3	500.97	2000130010	1190.77
Point	-50.027352	-22.697707	0.68	1110664486	3	381	528	14.10	F42_CR1	4		OptGrain1	3	500.87	2000130010	1006.23
Point	-50.027329	-22.697679	0.70	1110664483	3	398	528	15.30	F42_CR1	4		OptGrain1	3	500.77	2000130010	986.11
Point	-50.027305	-22.697647	0.70	1110664480	3	393	528	15.40	F42_CR1	4		OptGrain1	3	500.77	2000130010	997.66
Point	-50.027284	-22.697611	0.68	1110664477	3	373	528	15.20	F42_CR1	4		OptGrain1	3	500.67	2000130010	1013.62
Point	-50.027267	-22.697578	0.66	1110664474	3	368	528	14.40	F42_CR1	4		OptGrain1	3	500.47	2000130010	1016.41
Point	-50.027249	-22.697547	0.80	1110664471	3	383	528	15.70	F42_CR1	4		OptGrain1	3	500.27	2000130010	1165.29
Point	-50.027230	-22.697516	0.75	1110664468	3	383	528	14.90	F42_CR1	4		OptGrain1	3	500.17	2000130010	1096.60
Point	-50.027212	-22.697483	0.76	1110664465	3	383	528	15.60	F42_CR1	4		OptGrain1	3	500.17	2000130010	1100.76
Point	-50.027196	-22.697449	0.81	1110664462	3	393	528	15.30	F42_CR1	4		OptGrain1	3	499.97	2000130010	1153.49
Point	-50.027179	-22.697416	0.88	1110664459	3	386	528	16.00	F42_CR1	4		OptGrain1	3	499.87	2000130010	1257.78
Point	-50.027159	-22.697384	1.03	1110664456	3	381	528	15.10	F42_CR1	4		OptGrain1	3	499.87	2000130010	1508.47
Point	-50.027141	-22.697350	1.13	1110664453	3	381	528	15.40	F42_CR1	4		OptGrain1	3	499.77	2000130010	1656.11
Point	-50.027125	-22.697318	1.14	1110664450	3	378	528	14.30	F42_CR1	4		OptGrain1	3	499.67	2000130010	1709.25
Point	-50.027109	-22.697287	1.11	1110664447	3	378	528	14.70	F42_CR1	4		OptGrain1	3	499.57	2000130010	1654.02
Point	-50.027093	-22.697256	1.33	1110664444	3	386	528	15.70	F42_CR1	4		OptGrain1	3	499.47	2000130010	1909.75
Point	-50.027078	-22.697228	1.23	1110664441	3	386	528	16.70	F42_CR1	4		OptGrain1	3	499.47	2000130010	1751.38
Point	-50.027061	-22.697199	1.19	1110664438	3	378	528	15.70	F42_CR1	4		OptGrain1	3	499.47	2000130010	1748.05
Point	-50.025100	-22.700261	2.22	1110583993	3	363	528	12.40	F42_CR1	1	1	OptGrain1	3	526.77	2000130010	3444.83
Point	-50.025477	-22.701580	1.48	1110583900	3	408	528	12.60	F42_CR1	1	1	OptGrain1	3	528.96	2000130010	2050.25
Point	-50.024424	-22.700189	1.32	1110583165	3	434	528	12.80	F42_CR1	1	1	OptGrain1	3	527.07	2000130010	1711.93
Point	-50.027409	-22.697802	0.69	1110664495	3	381	528	14.40	F42_CR1	4		OptGrain1	3	501.37	2000130010	1022.91
Point	-50.032815	-22.698298	1.33	1110724457	3	477	528	14.20	F42_CR1	4		OptGrain1	3	494.87	2000130010	1576.91
Point	-50.020366	-22.701715	2.73	1110556278	3	424	396	12.20	F42_CR1	1	1	OptGrain1	3	529.76	2000130010	4843.74
Point	-50.020390	-22.701753	2.76	1110556281	3	439	396	12.20	F42_CR1	1	1	OptGrain1	3	529.76	2000130010	4737.99
Point	-50.020411	-22.701791	2.59	1110556284	3	441	396	12.10	F42_CR1	1	1	OptGrain1	3	529.66	2000130010	4409.09
Point	-50.020433	-22.701830	2.66	1110556287	3	439	396	12.00	F42_CR1	1	1	OptGrain1	3	529.66	2000130010	4551.27

O mapa básico (de “pontos”) é a representação de cada ponto amostral





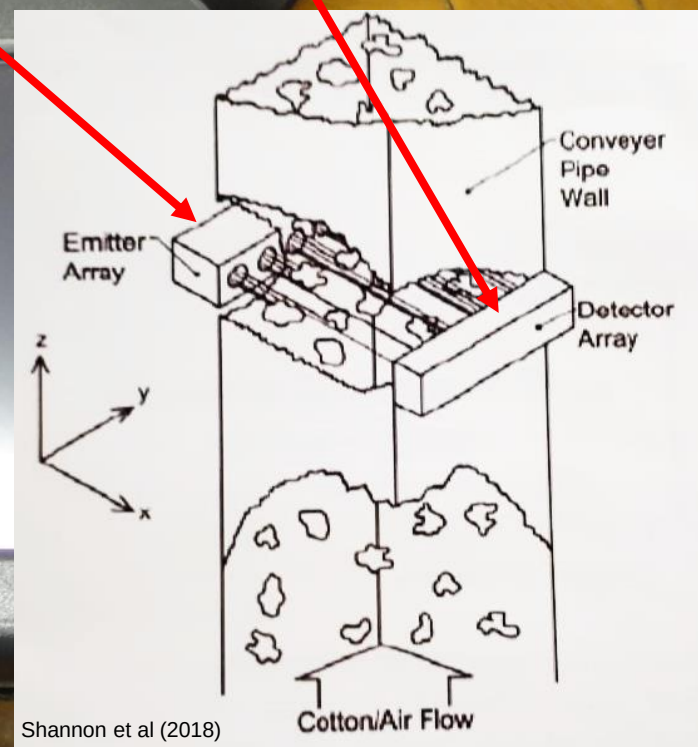
O mapa de
umidade dos
grãos

A calibração é fundamental...



Algodão





Shannon et al (2018)

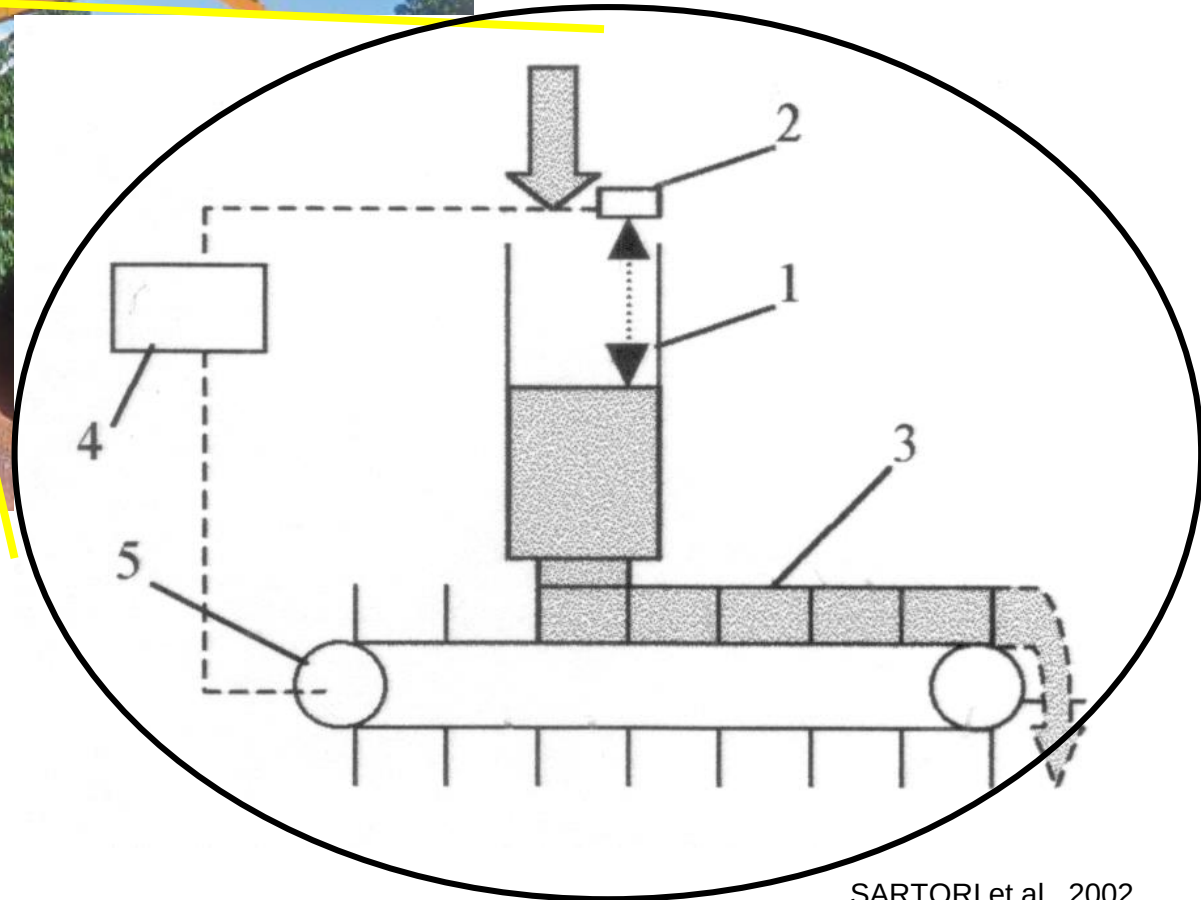
A large green John Deere S780 combine harvester is shown from a front-three-quarter view. It features a prominent yellow front-end loader attachment with a large yellow bucket. The combine has a large glass-enclosed operator's cab with multiple headlights on top. The John Deere logo is visible on the front of the cab. The machine is parked on a dirt surface, and a yellow John Deere sign is visible in the background.



A close-up photograph of a green printed circuit board (PCB) with a yellow circle highlighting a specific component. The component is a small, rectangular, silver-colored metal package with a white label that reads 'M1000'. It is mounted on the PCB using several gold-colored pins. Other components, including a larger silver package and a black component, are also visible on the board. The background is a dark, textured surface.



The image shows a yellow excavator equipped with a grapple attachment, operating on a dirt path and clearing brush. A yellow arrow points from the grapple to a schematic diagram of a grapple mechanism. The diagram shows a rectangular body with a dashed line indicating the pivot point and a label '4' pointing to a component, likely the grapple teeth or the hydraulic cylinder.

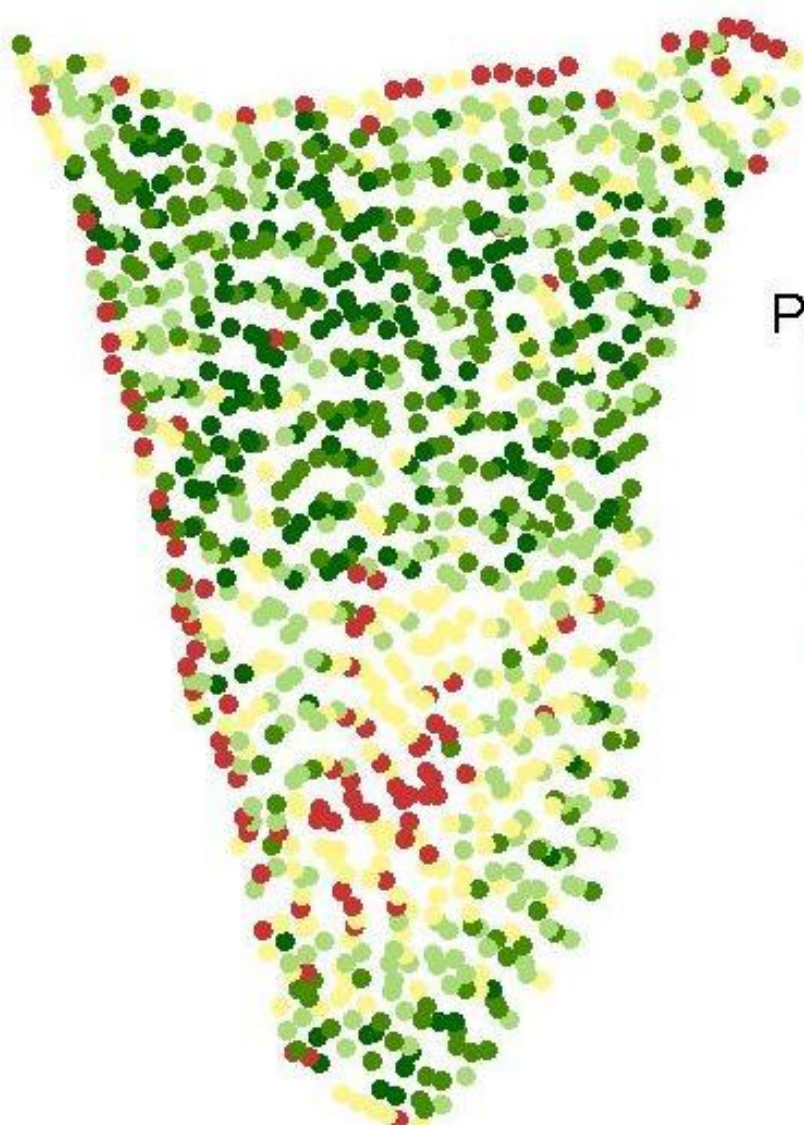


Prof. J. P. Molin







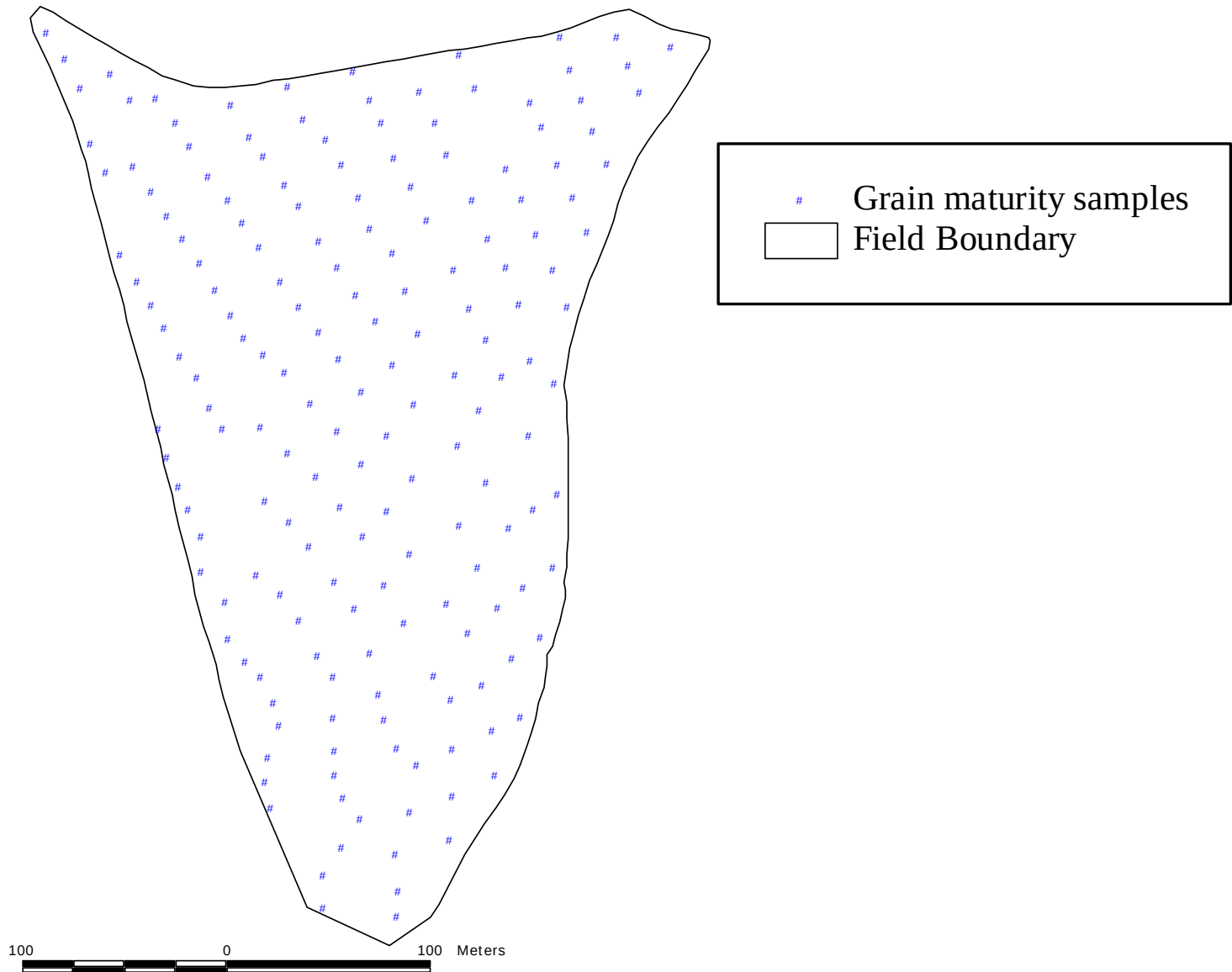


Produtividade kg/ha

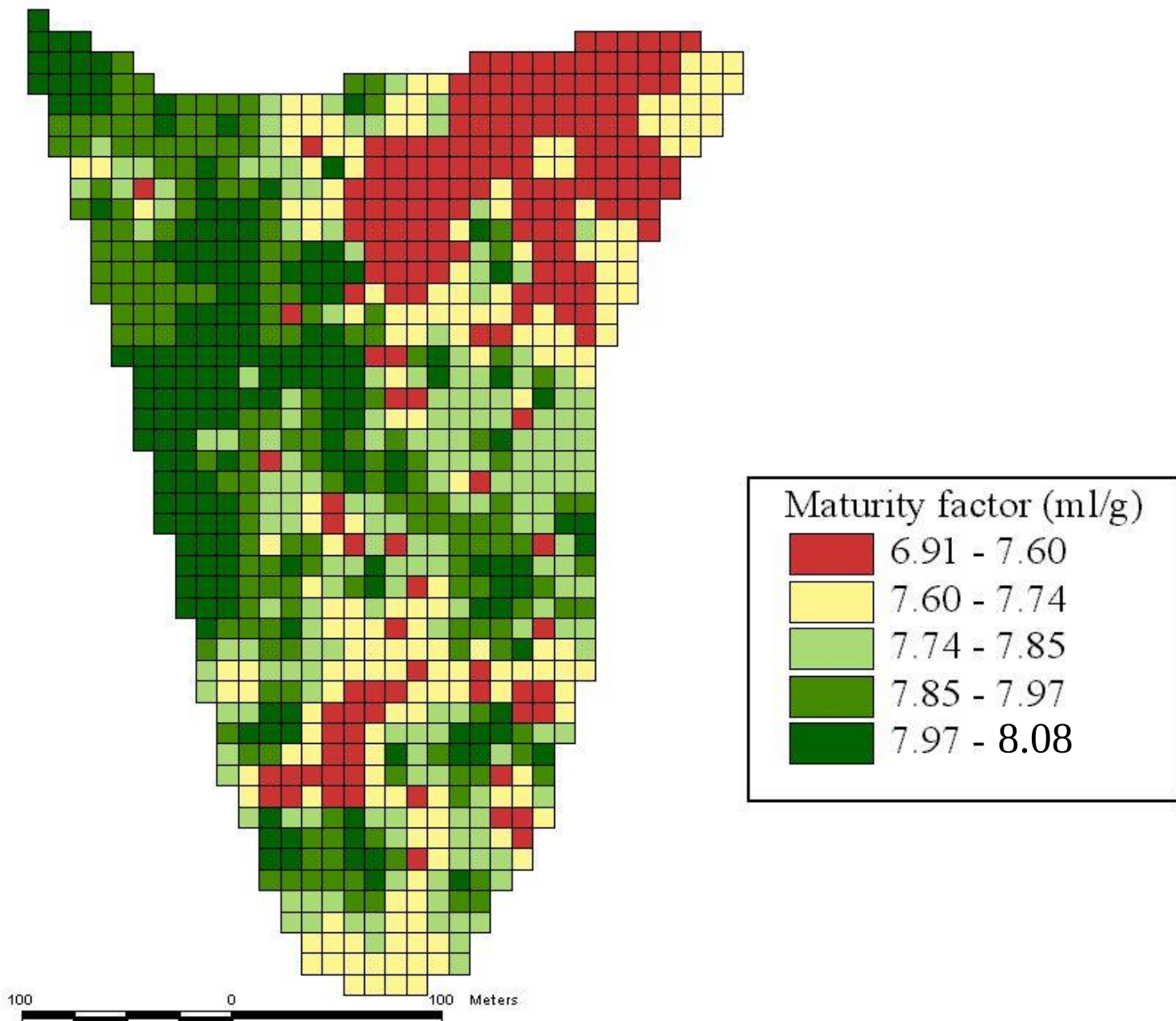
- 1119.6 - 2335.2
- 2335.2 - 3055.8
- 3055.8 - 3632.4
- 3632.4 - 4182
- 4182 - 4983

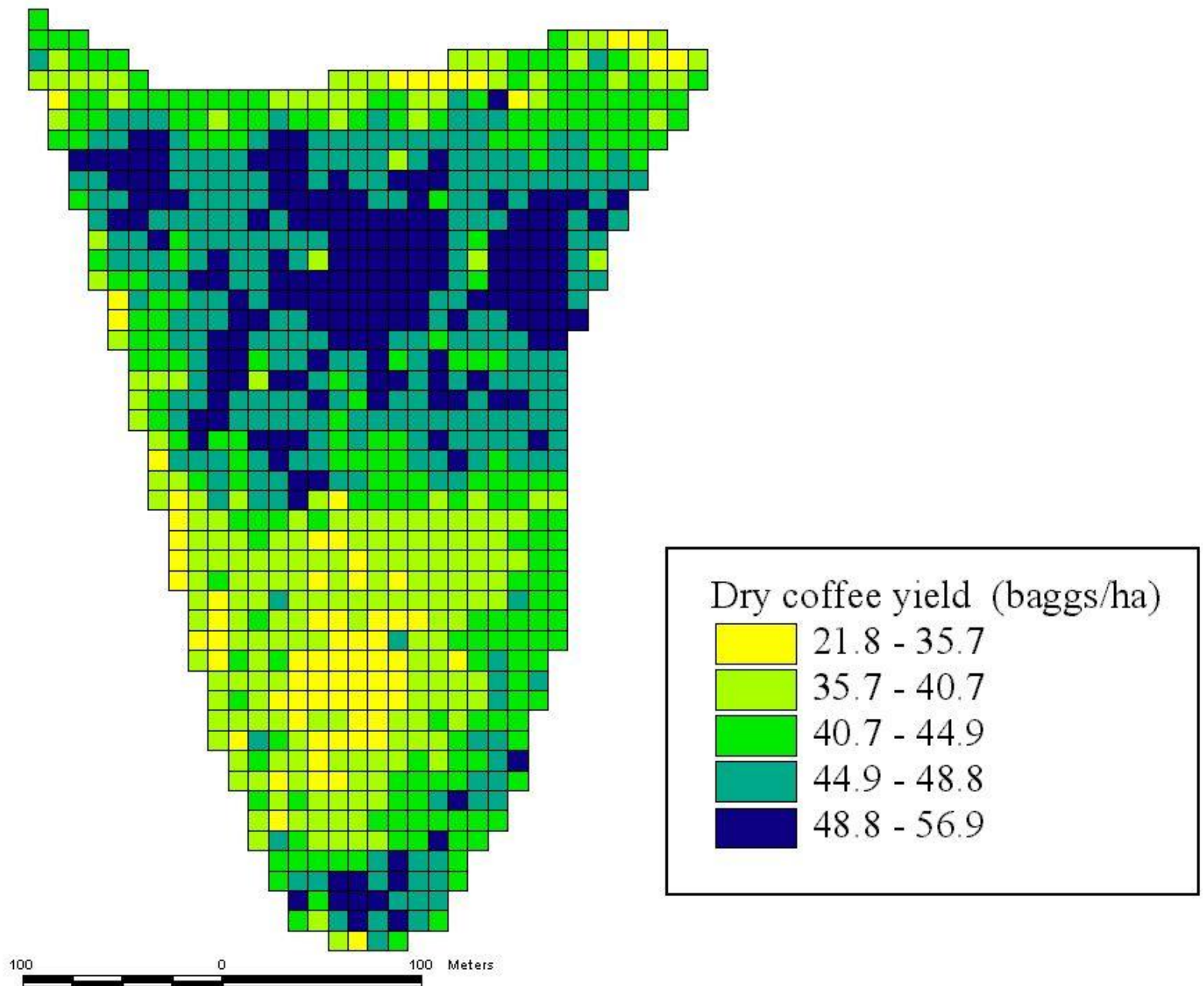
50 0 50 Meters



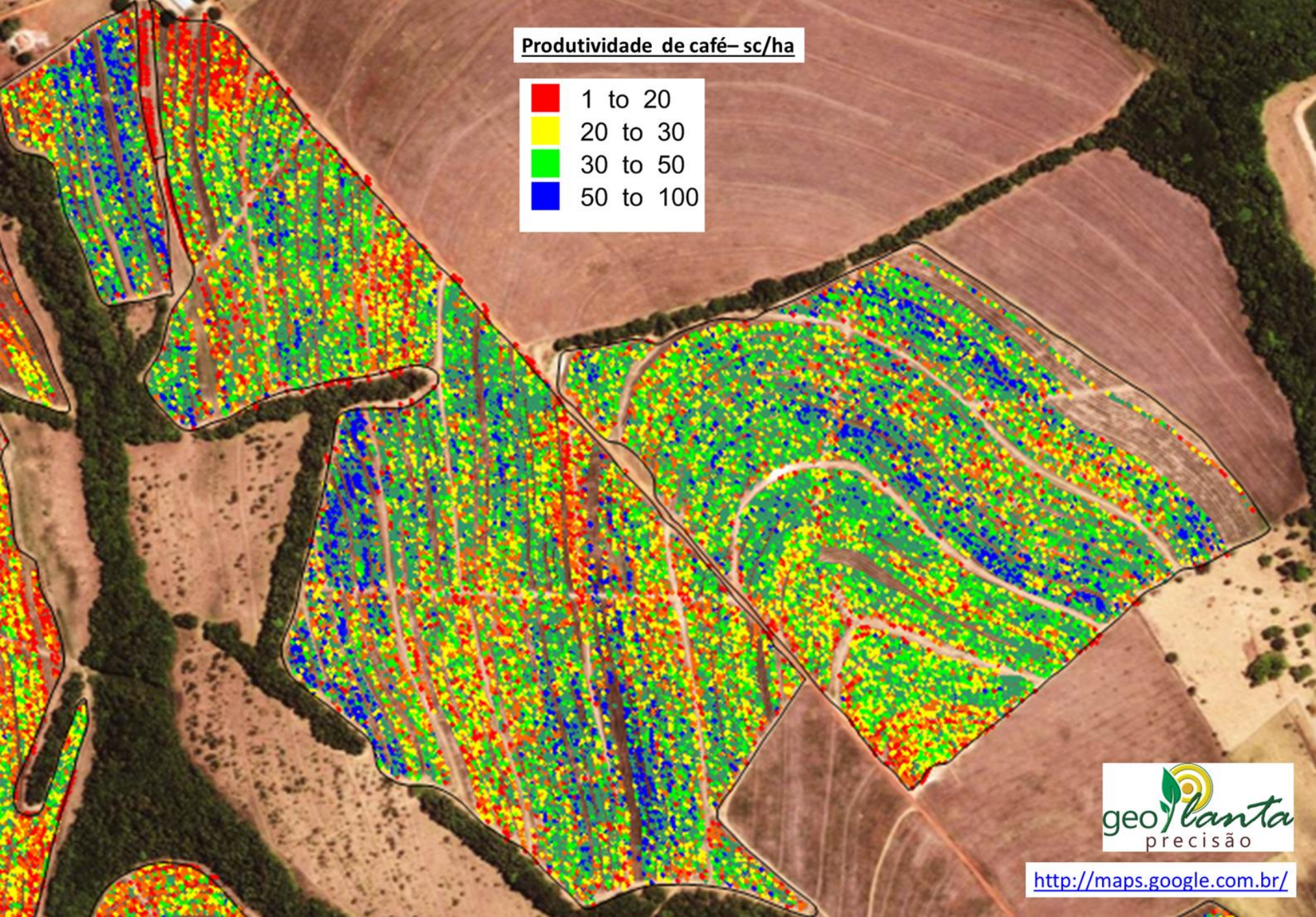








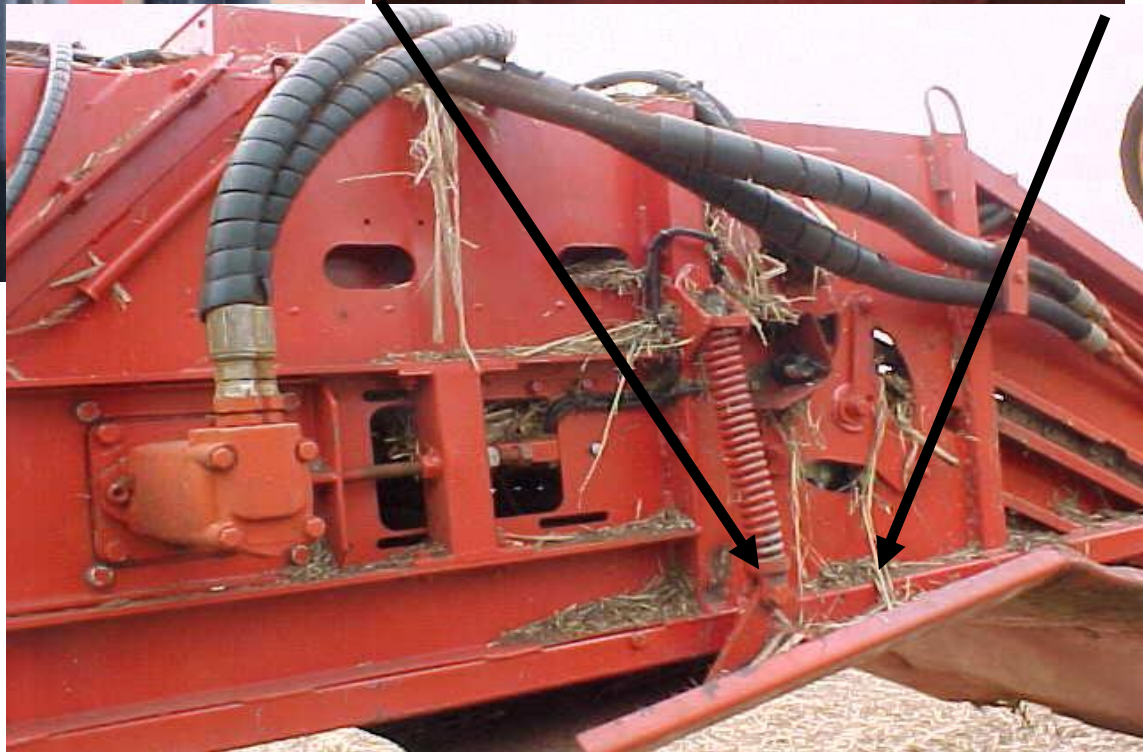
Produtividade de café– sc/ha



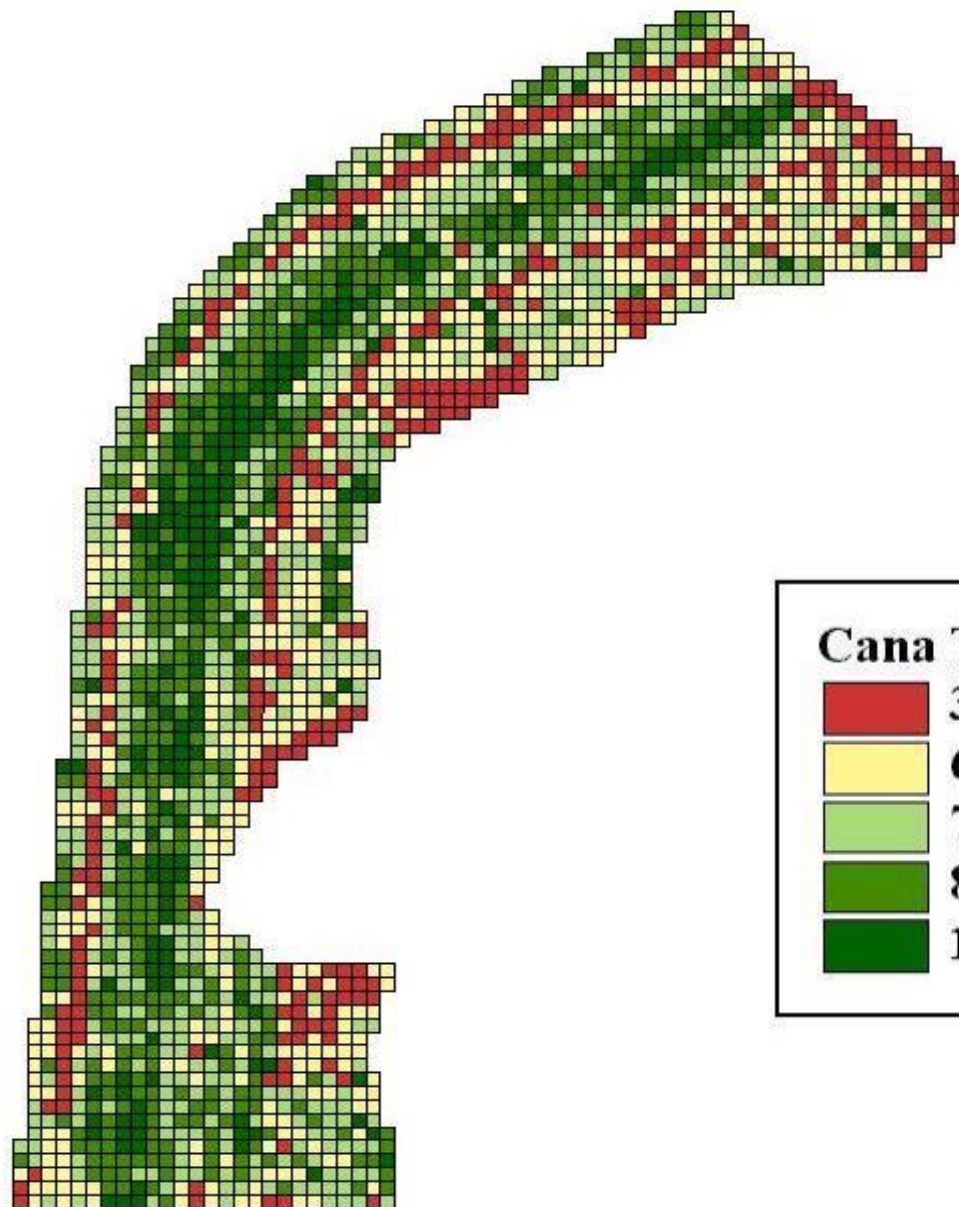
Cana

Colheita mecanizada





Monitor de produtividade
tipo balança



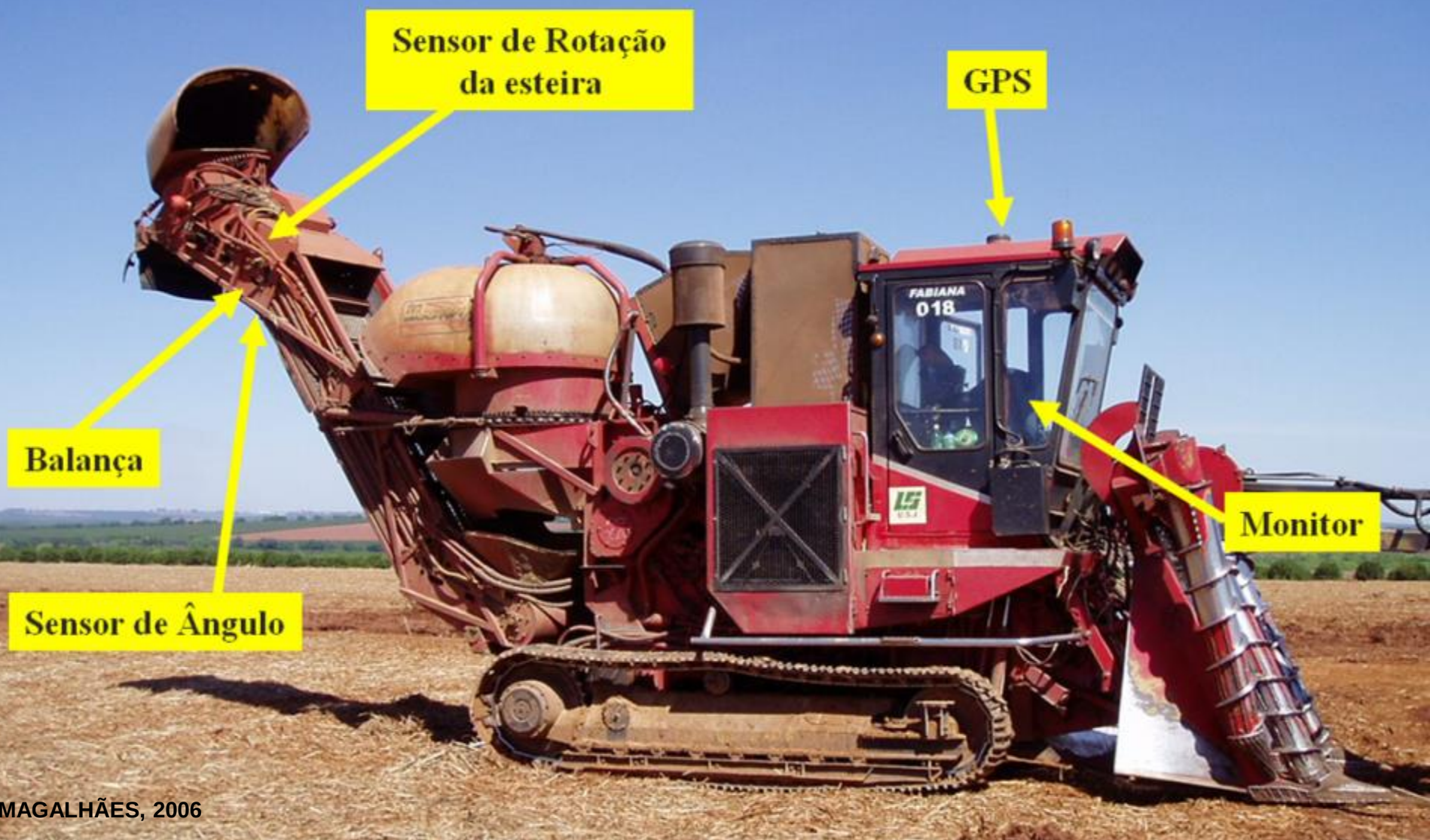
Cana Talhão 4

	30.1 - 60.4
	60.4 - 73.7
	73.7 - 86.3
	86.3 - 100.6
	100.6 - 134.1

500 Meters



Monitor de produtividade tipo balança



MAGALHÃES, 2006

Monitor de produtividade tipo balança

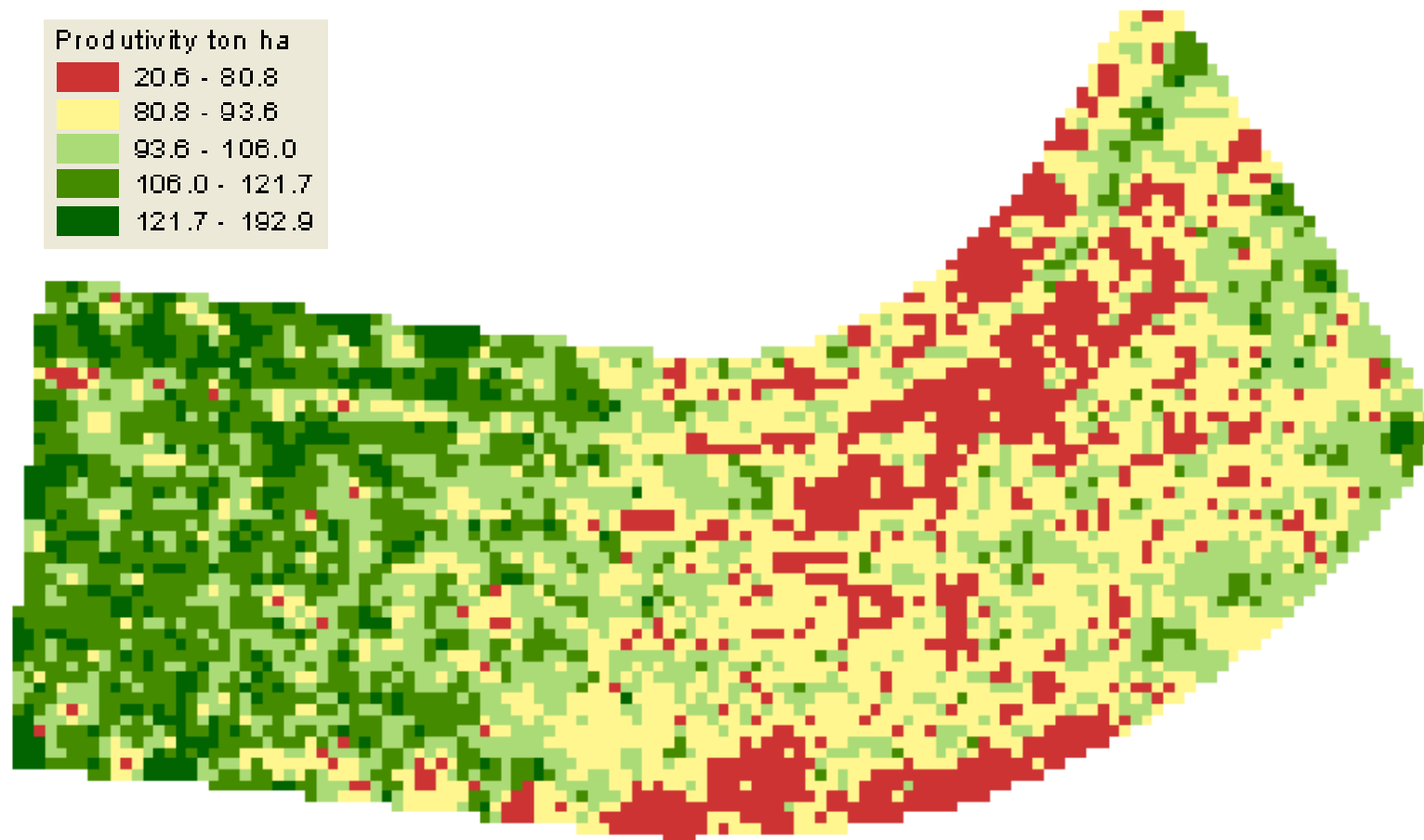


Monitor de produtividade tipo balança



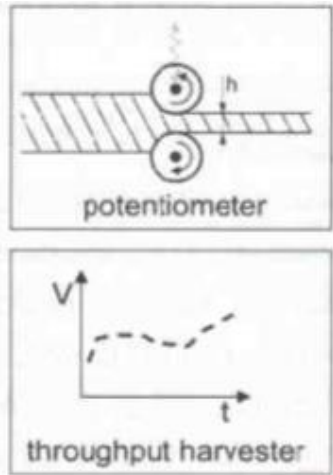


Mapa obtido com monitor de produtividade tipo balança





Sistema Case (CNH), novembro 2015

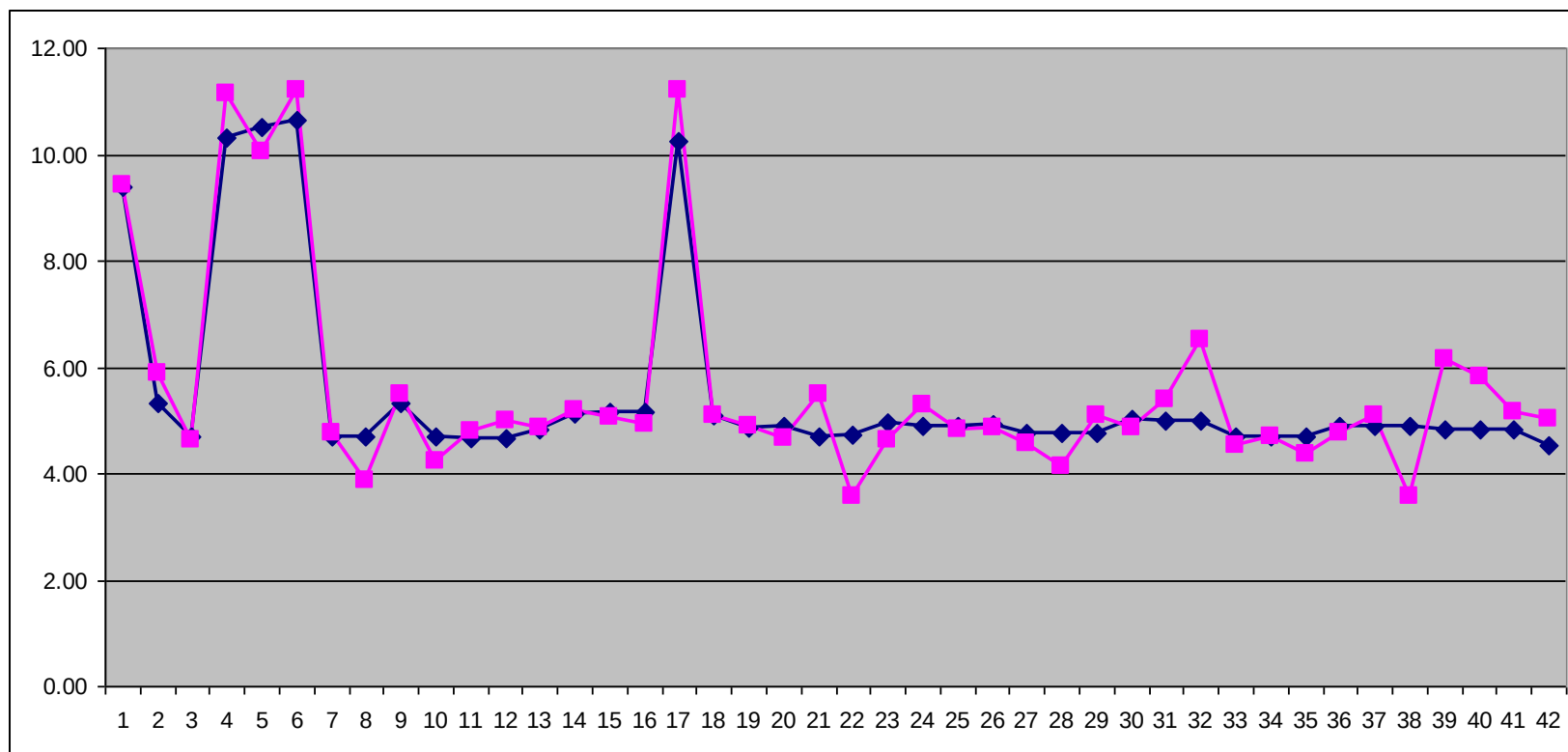


Monitor de produtividade (volumétrico, 2009)

HAPPICH et al., 2009

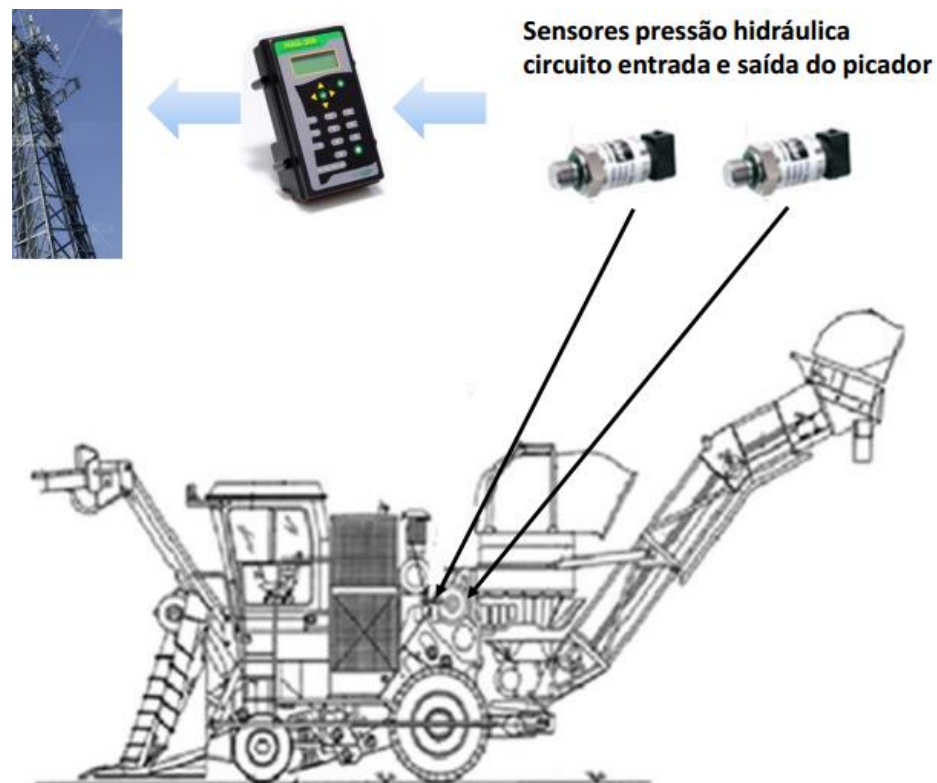
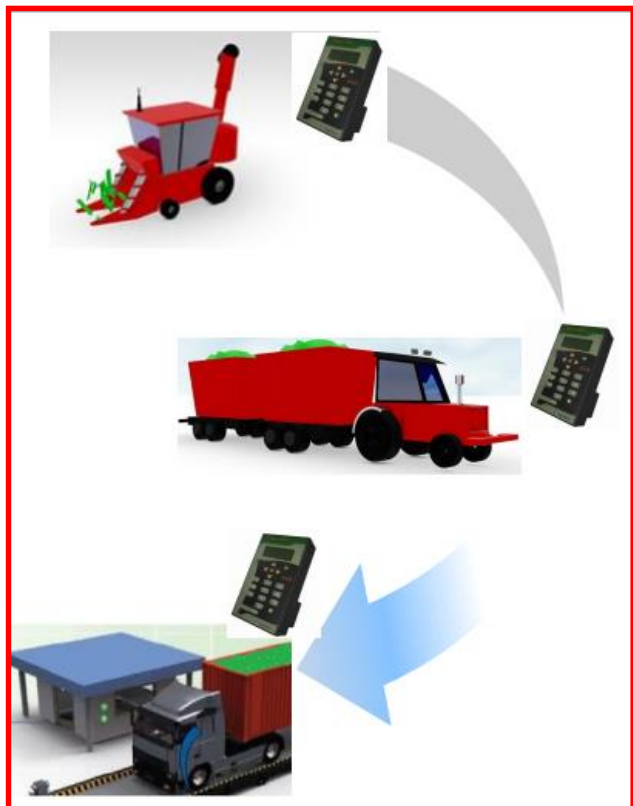
Tech-Agro (Solinftec)





 Estimated bin weights (t)
 Real bin weights (t)

Real (t)	Est.(t)	Diff.	% e.
231.05	234.71	-3.66	-1.58





Agrishow 2017



Uvas viníferas (Califórnia, 2014)

Citros



A COLHEITA

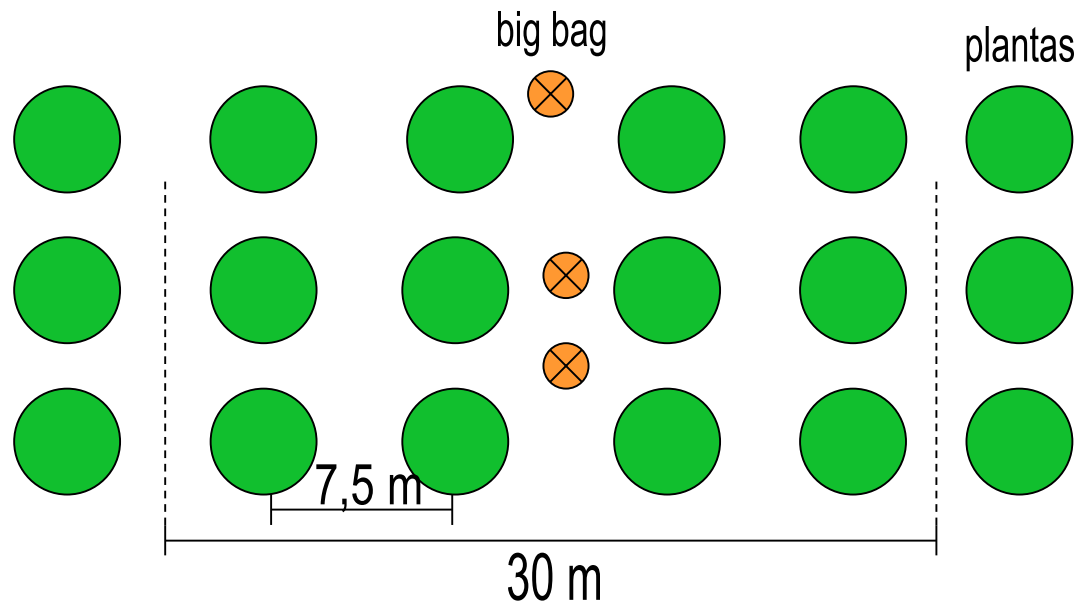
- Sacolão de aproximadamente 600 kg
- Descarregados em veículo de transporte



DISTRIBUIÇÃO DA EQUIPE DE COLHEITA

- Largura da faixa de colheita é fixa dentro do sistema das empresas;
- Largura variável entre as empresas consultadas (4 ou 6 fileiras de plantas com uma banca central).

→ 4 linhas com espaçamento de 7,5 metros, totalizando largura de 30 m





APONTAMENTO

- Determinação da quantidade de frutas colhidas pelo colhedor para a remuneração do seu serviço;
- Régua com marcações (estimativa de volume)



Coletores

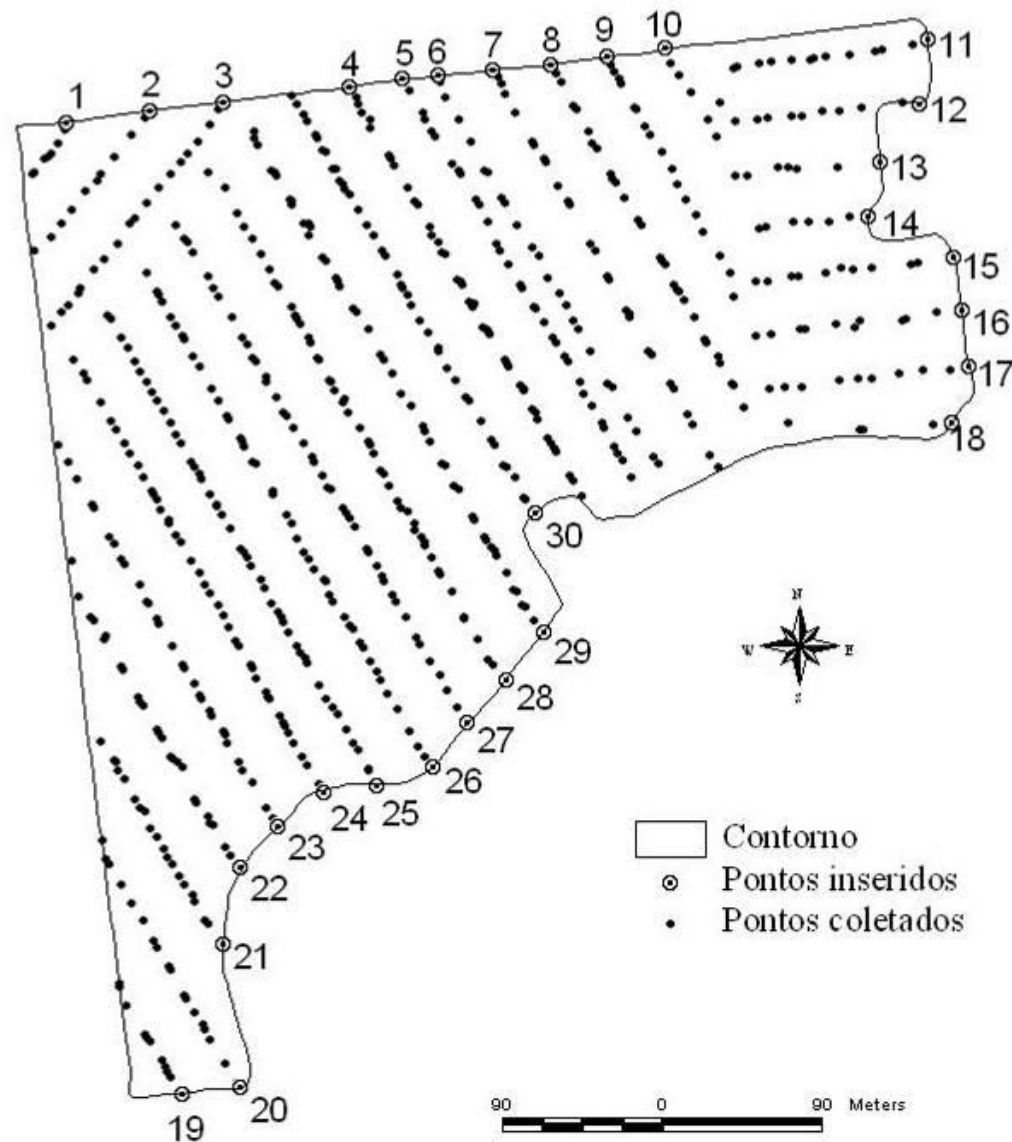


Mapeamento de uma gleba

- Área 15,89 ha
- Laranja “Valência”;
- Espaçamento de 3,5 m X 7,5 m;
- Idade do pomar: 14 anos.



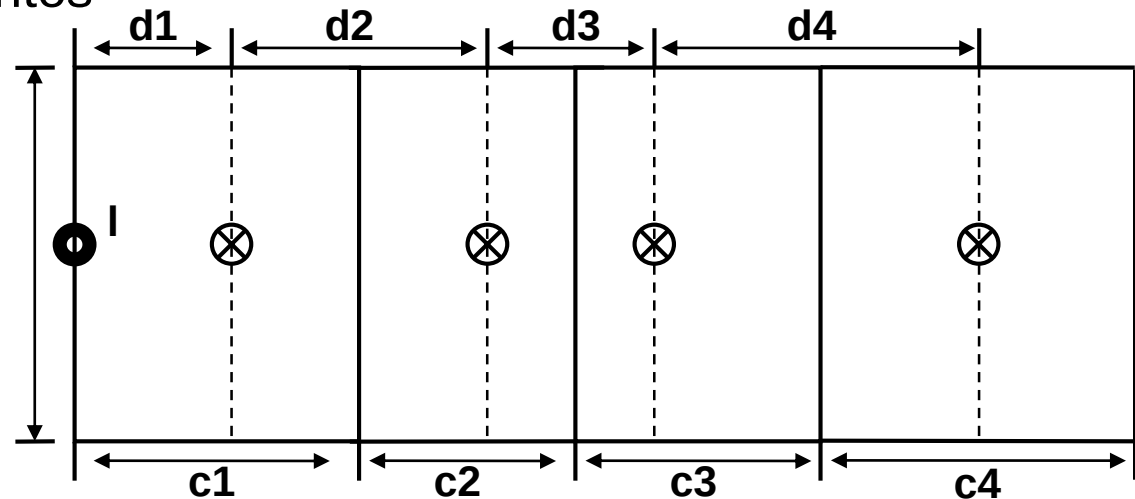
- Mapa de visualização dos 683 pontos (sacolões) coletados;
- Numeração das 30 bancas de colheita.



MOLIN & MASCARIN, 2007

ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO

- Coordenadas UTM
- Cálculo de distâncias
- Cálculo dos comprimentos (meias-distâncias)



$\odot$ Ponto inicial inserido na borda da quadra

$\otimes$ Ponto georreferenciado do sacolão

d – Distância entre pontos

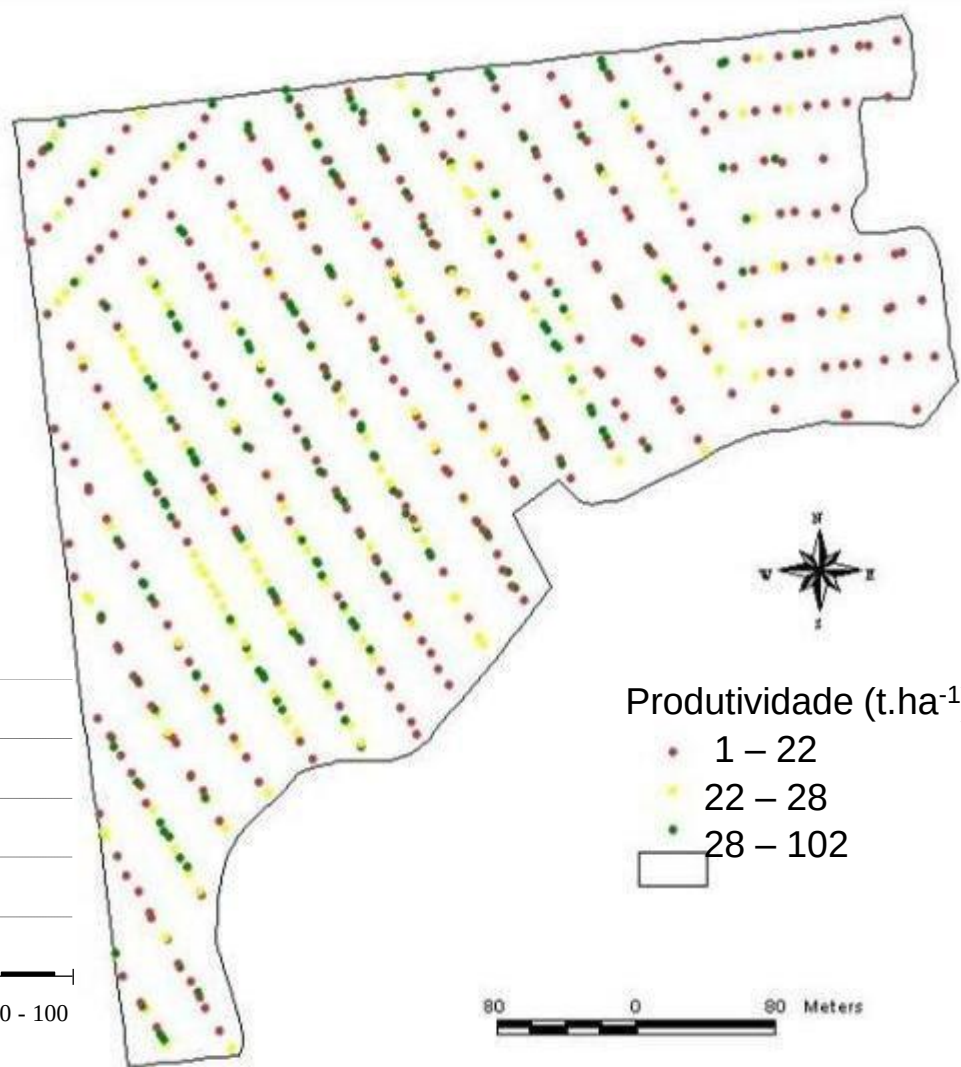
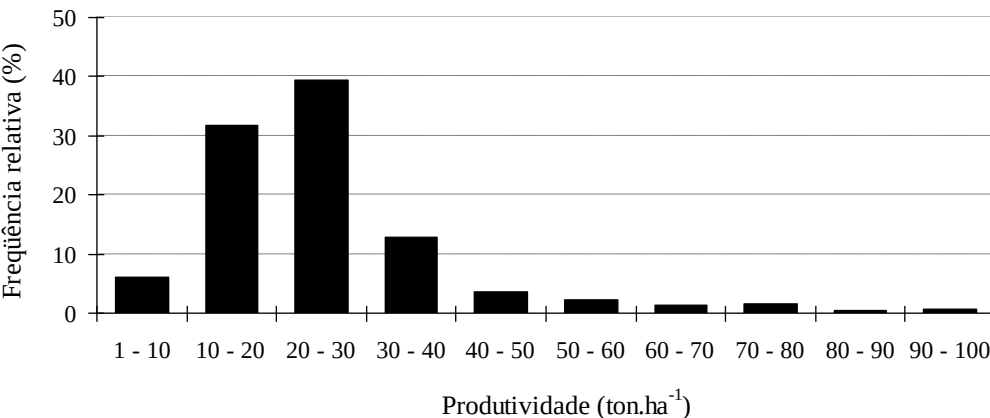
c – Comprimento da célula

l – Largura da célula

MOLIN & MASCARIN, 2007

Produtividade: produção do ponto obtida pelo apontamento
área de representação calculada

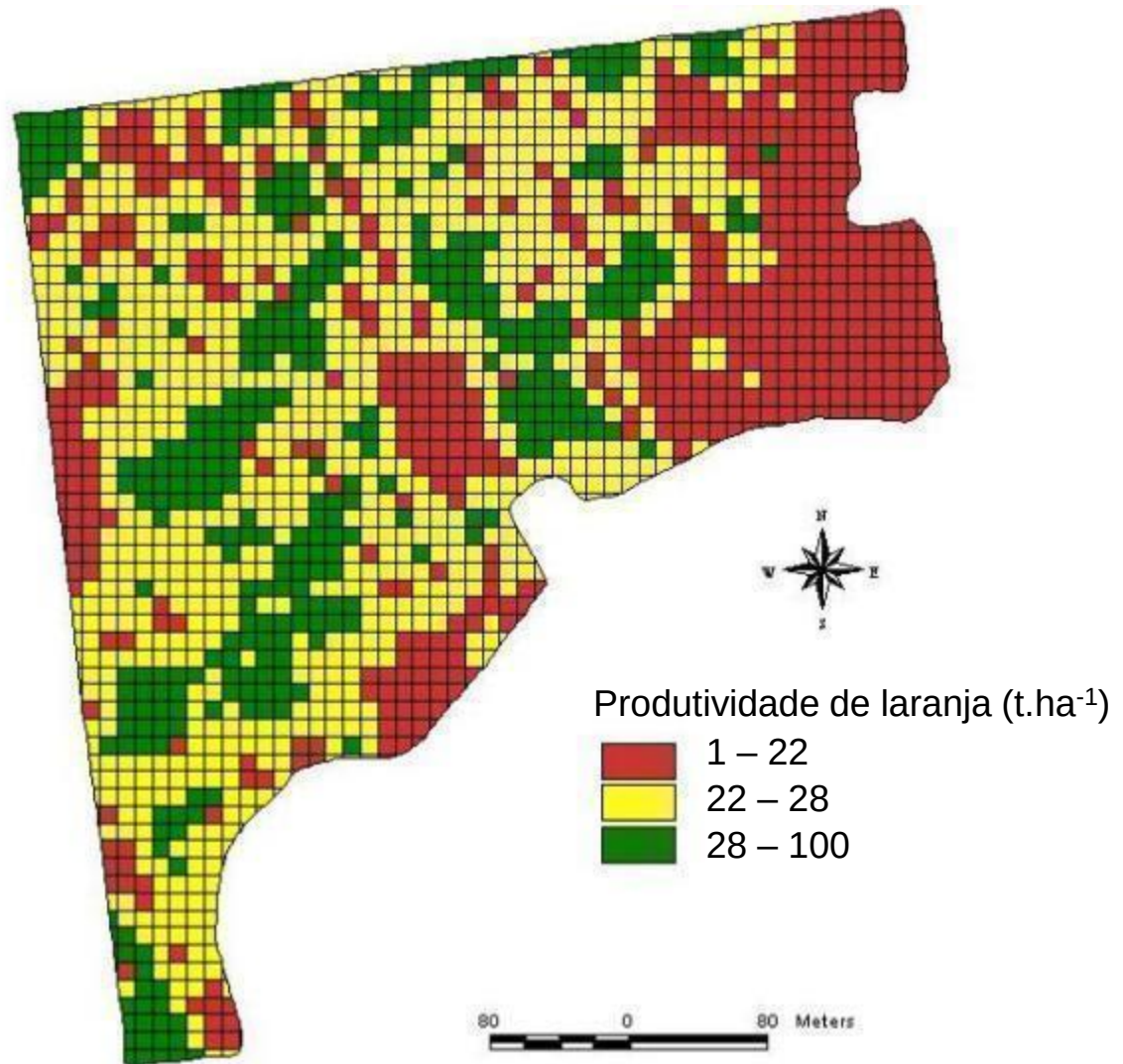
Produtividade média – 25,3 t ha⁻¹



MOLIN & MASCARIN, 2007

MAPA DE PRODUTIVIDADE

- Interpolação dos pontos;
- Mapa de superfície;
- Regiões de produtividade diferenciada;



MOLIN & MASCARIN, 2007

Aferição dos apontamentos

- Determinar o nível de acerto e confiabilidade da estimativa de massa dos sacolões através da mensuração de seu volume, realizada pelo responsável de colheita;
- Pesagem de uma população de sacolões:
 - 2 equipes de colheita com responsáveis distintos
 - 65 sacolões cada
 - 130 sacolões totais
- Realização da estimativa simultaneamente à pesagem.

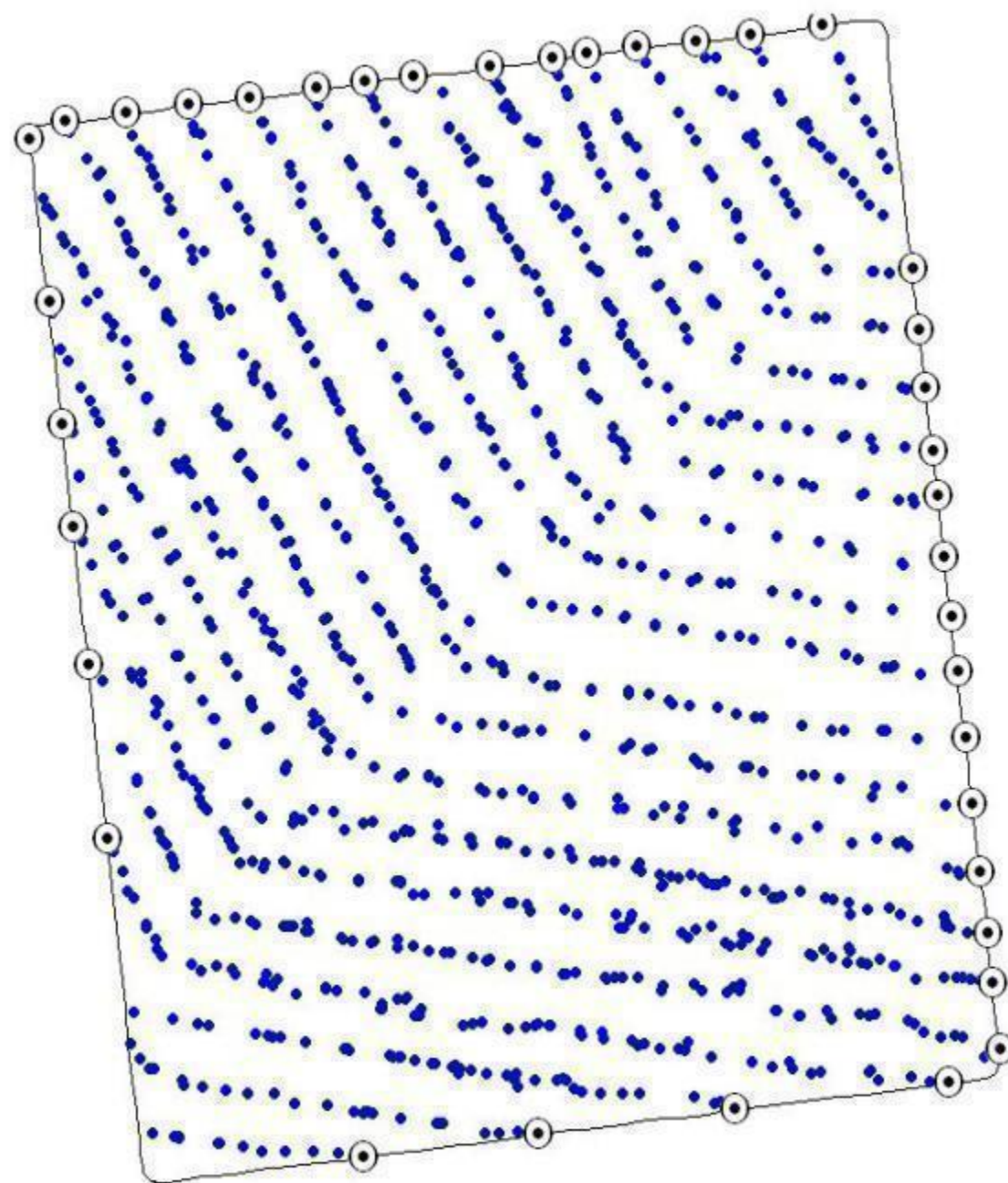
PESAGEM

- Célula de carga;
- Guincho agrícola.

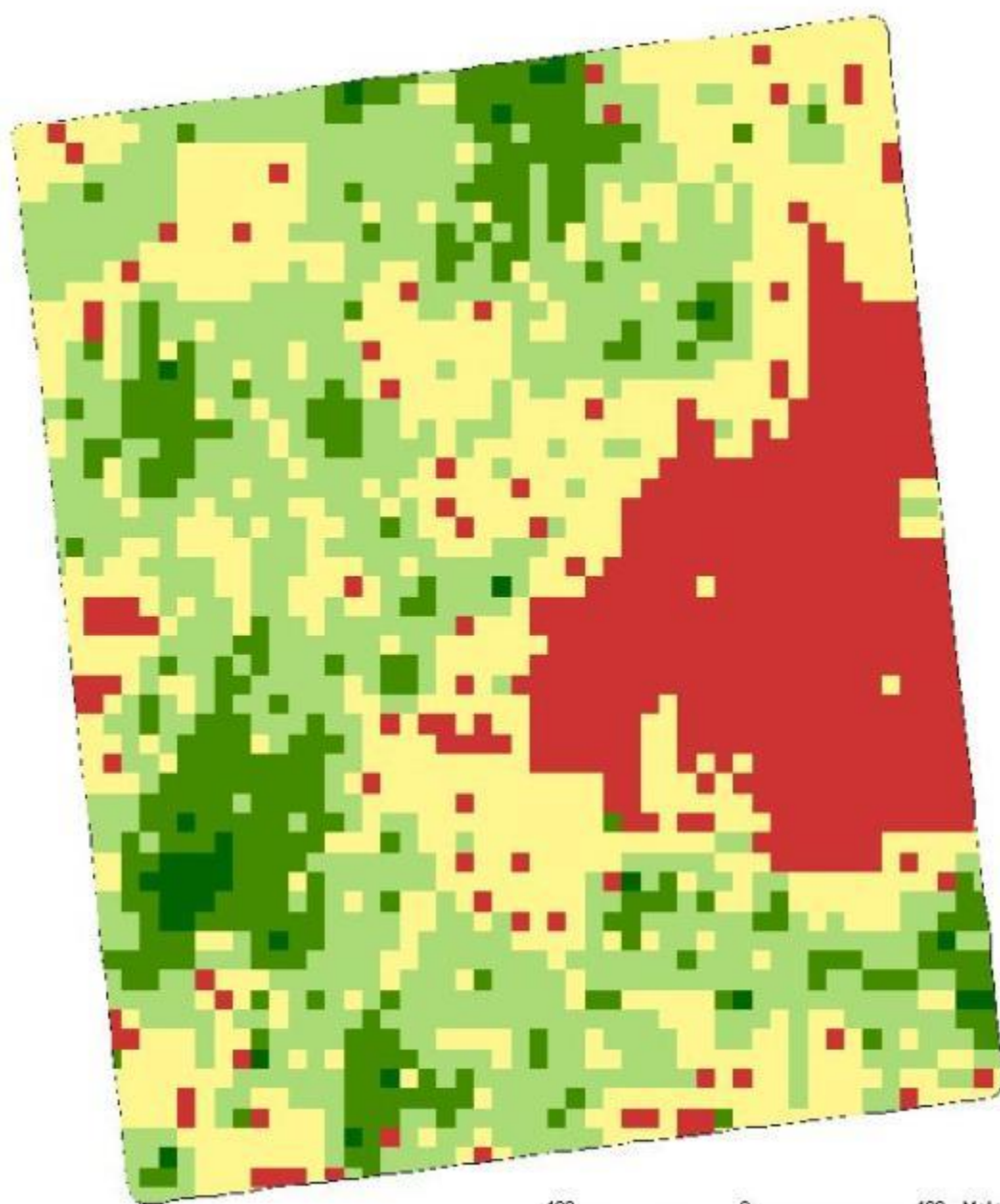


DESVIO DO APONTAMENTO

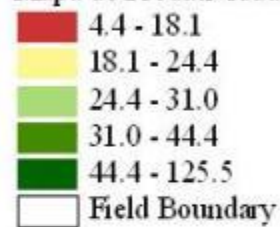
		Apontamento (kg)	Célula de Carga (kgf)	Diferença (kg)
Equipe 1	Média aritmética	540,69	559,95	-19,25
	CV (%)	26,03	26,55	
	Soma	35.145	36.396	-1.251 (3,42 %)
Equipe 2	Média aritmética	560,15	582,87	-22,71
	CV (%)	23,98	22,29	
	Soma	36.410	37.886	-1.476 (3,89 %)



- Pontos iniciais
- Big Bags
- Field Boundary



Mapa de Produtividade

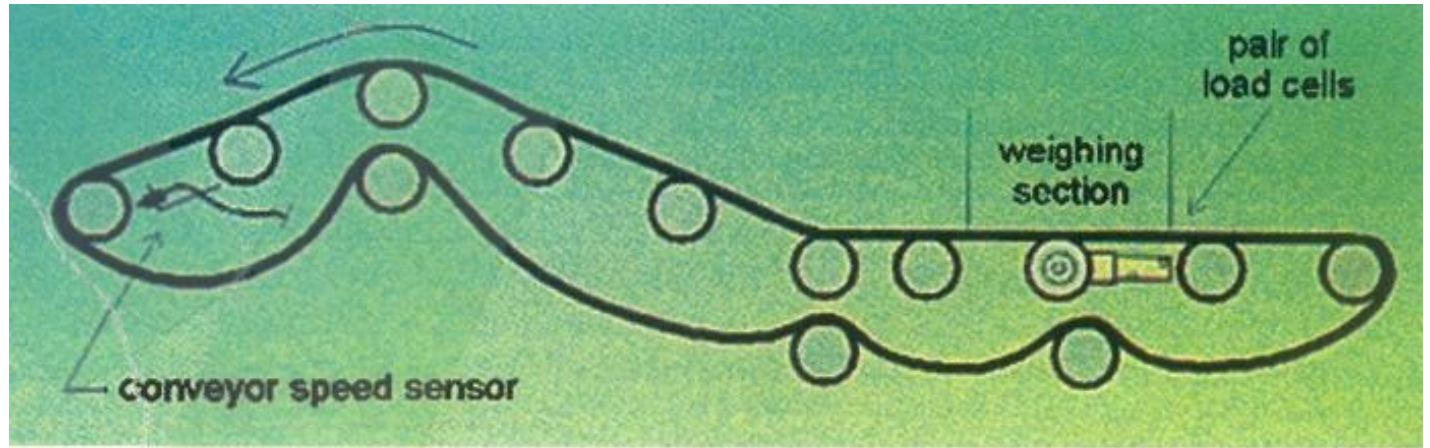
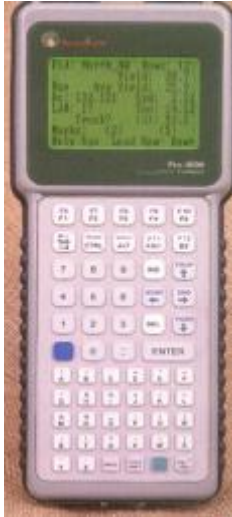


100 0 100 Meters

Raízes, tubérculos e outros...



Fluxo em esteira(tomate, beterraba, batata,etc...)



Forragem



Princípios de funcionamento para monitores de produtividade de forragem



Limpeza de dados em arquivo de colheita

Otimizar a qualidade dos mapas

Fonte de erros em mapas de produtividade

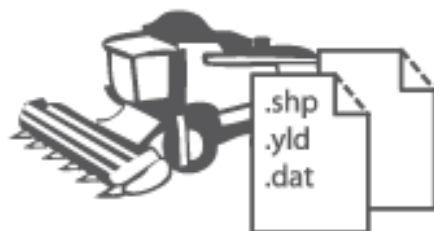
- Calibração
- Valores improváveis de produtividade e de umidade
- Erros de posicionamento
- Erros na medição de área – largura de corte
- Relevo/inclinação
- Tempo de espera ou retardo
- Tempo de enchimento



“GeoAgro Servicios procesa todo tipo de archivos de rendimiento y le entrega los mapas listos para ser interpretados”



1



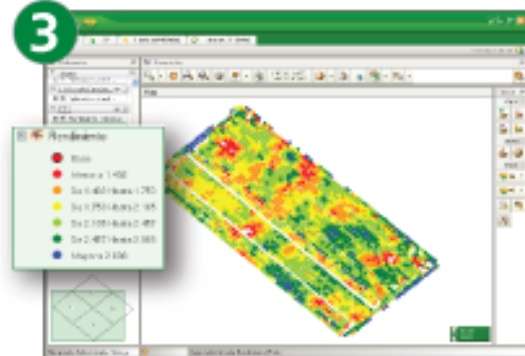
EL CLIENTE ENVIA POR MAIL LOS ARCHIVOS GENERADOS POR EL MONITOR DE RINDE (.yld, .shp, .dat, .txt, etc)

2



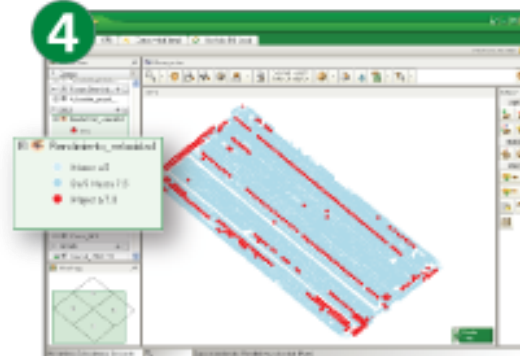
GEOAGRO ORDENA LA INFORMACIÓN RECIBIDA Y REALIZA UNA DEPURACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS.

3



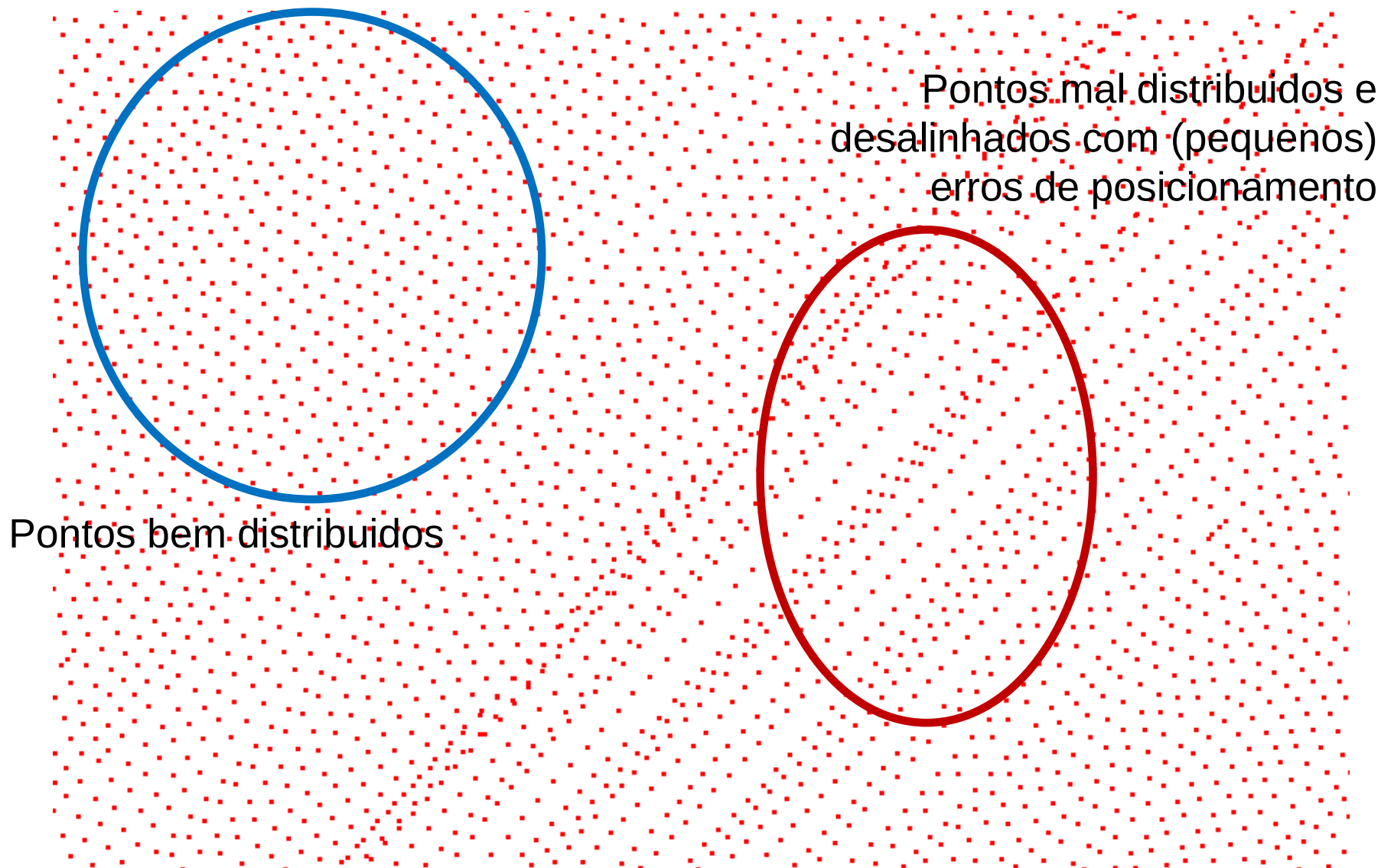
SE CONFECCIONA EL MAPA, QUE REPRESENTA CON DIVERSOS COLORES LA VARIACIÓN EN LA MASA DE RENDIMIENTO DEL LOTE. POR CADA MAPA PROCESADO SE ENTREGAN 3 CAPAS: PUNTOS, GRILLAS Y POLÍGONOS.

4



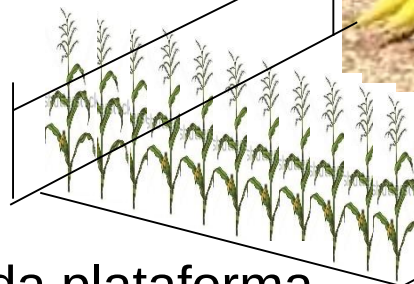
MODIFICANDO LA SIMBOLOGÍA DEL MAPA DE RENDIMIENTO, ES POSIBLE CONFIGURAR MAPAS DE VELOCIDAD, DE HUMEDAD, ETC.

Pontos mal posicionados dentro do talhão



Erros na largura de corte

Distância percorrida pela máquina no tempo de coleta (geralmente 1 a 3 s)

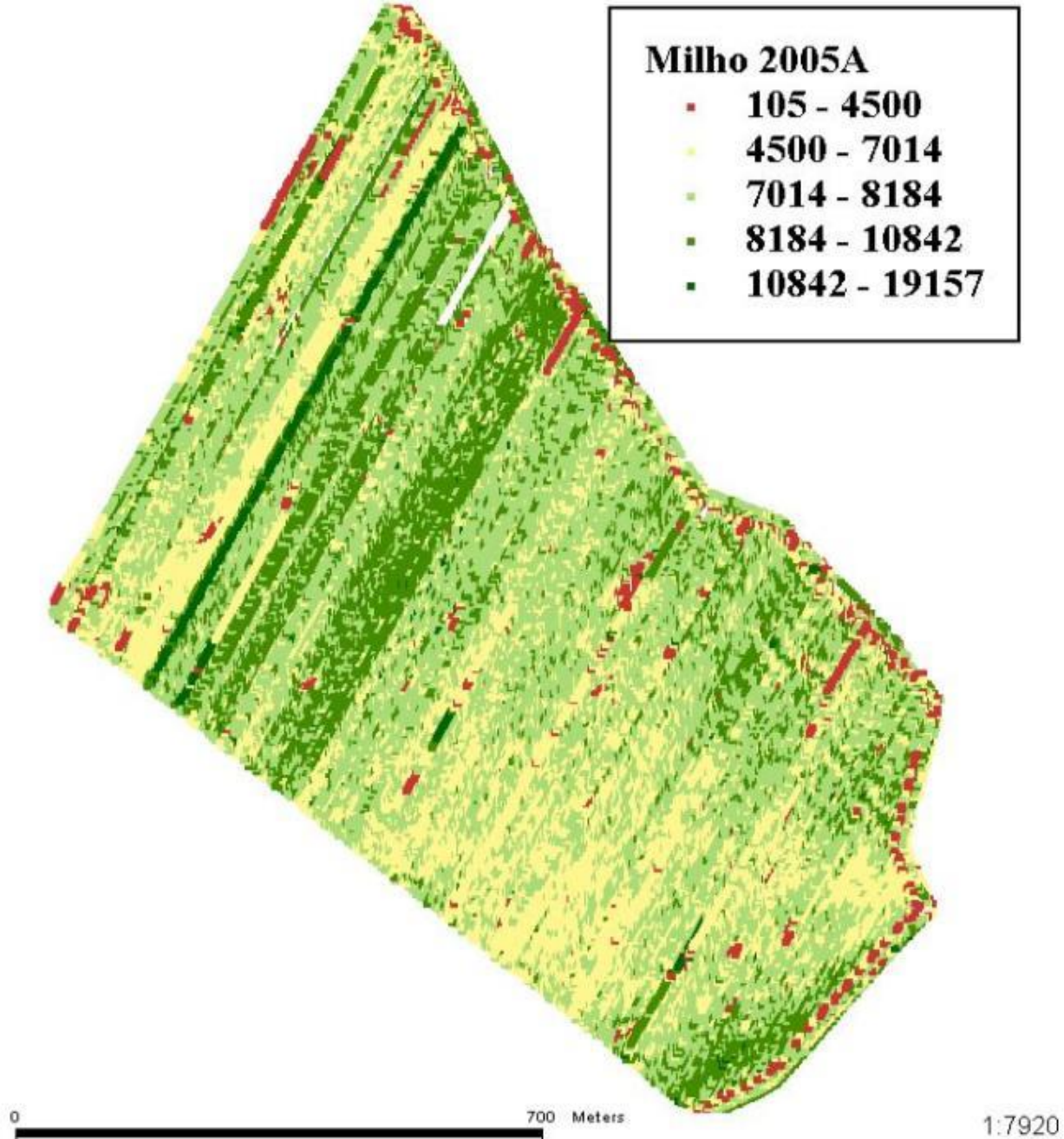


Largura da plataforma

O operador comanda boa parte da qualidade dos dados coletados

Milho 2005A

- 105 - 4500
- 4500 - 7014
- 7014 - 8184
- 8184 - 10842
- 10842 - 19157



Largura de Plataforma

- 99
- 100 - 198
- 199 - 297
- 298 - 396
- 397 - 495

0 700 Meters

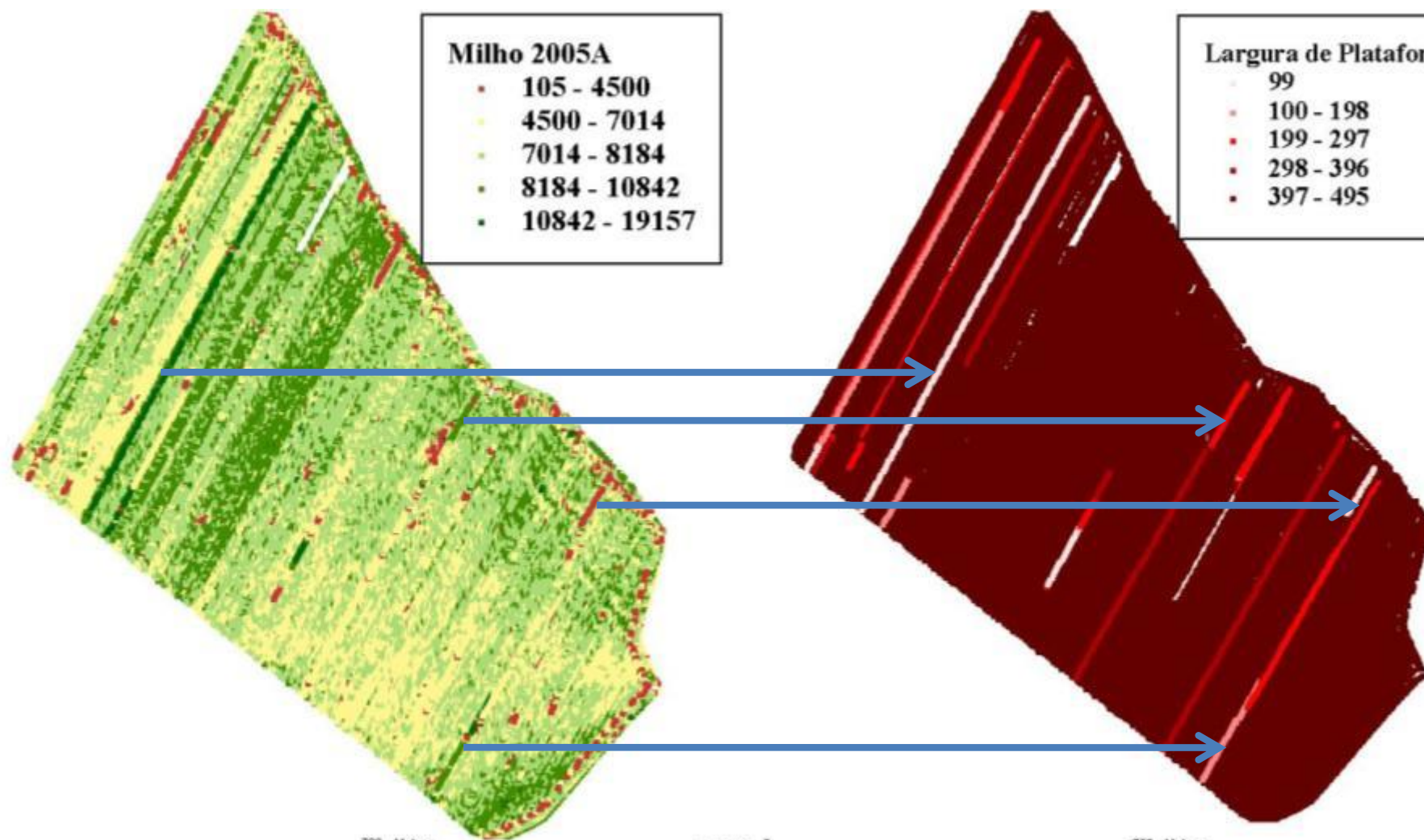
1:7920

Milho 2005A

- 105 - 4500
- 4500 - 7014
- 7014 - 8184
- 8184 - 10842
- 10842 - 19157

Largura de Plataforma

- 99
- 100 - 198
- 199 - 297
- 298 - 396
- 397 - 495

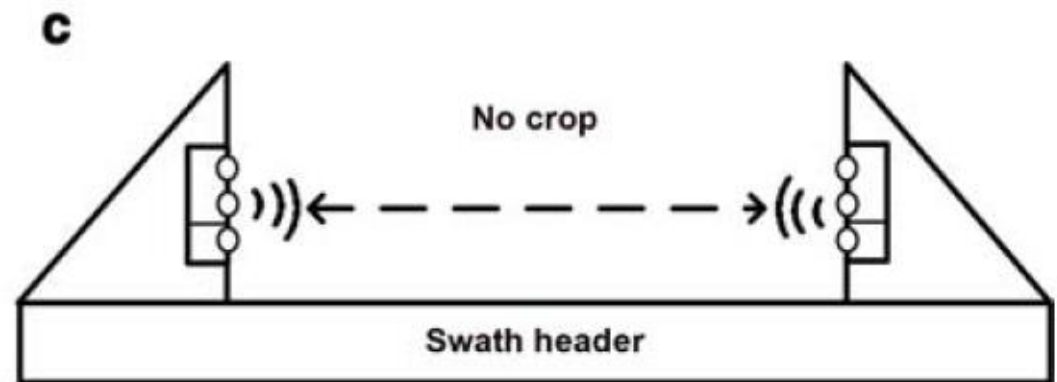
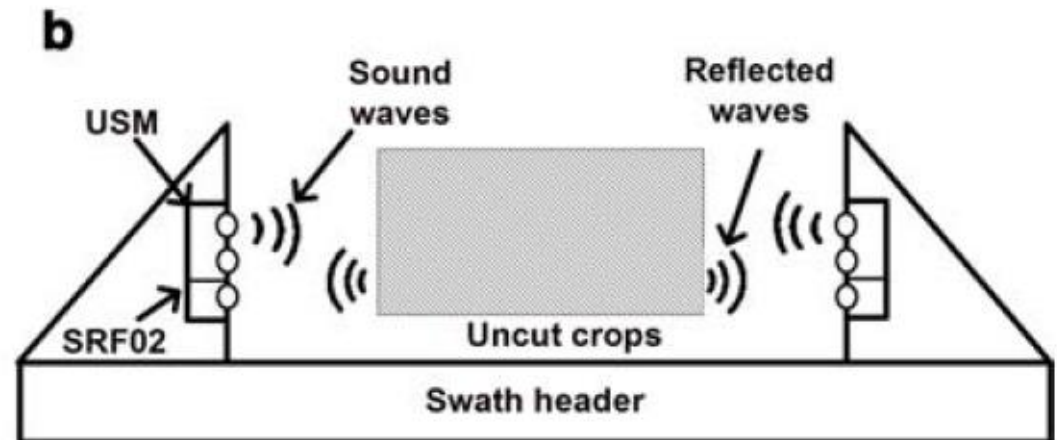
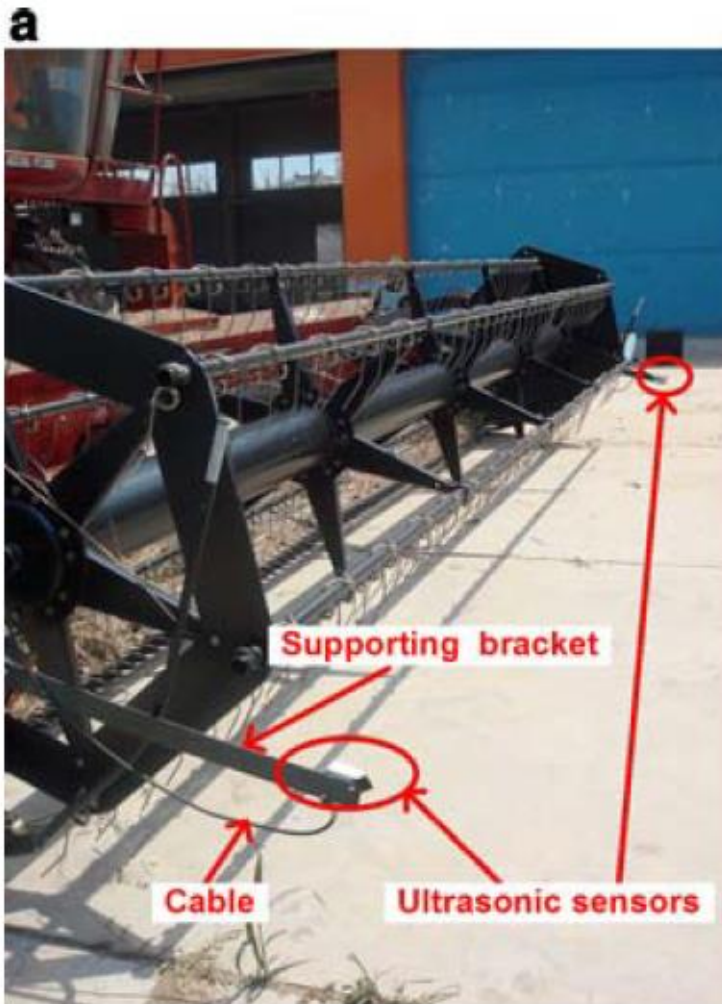


0 700 Meters

1:7920 0 700 Meters

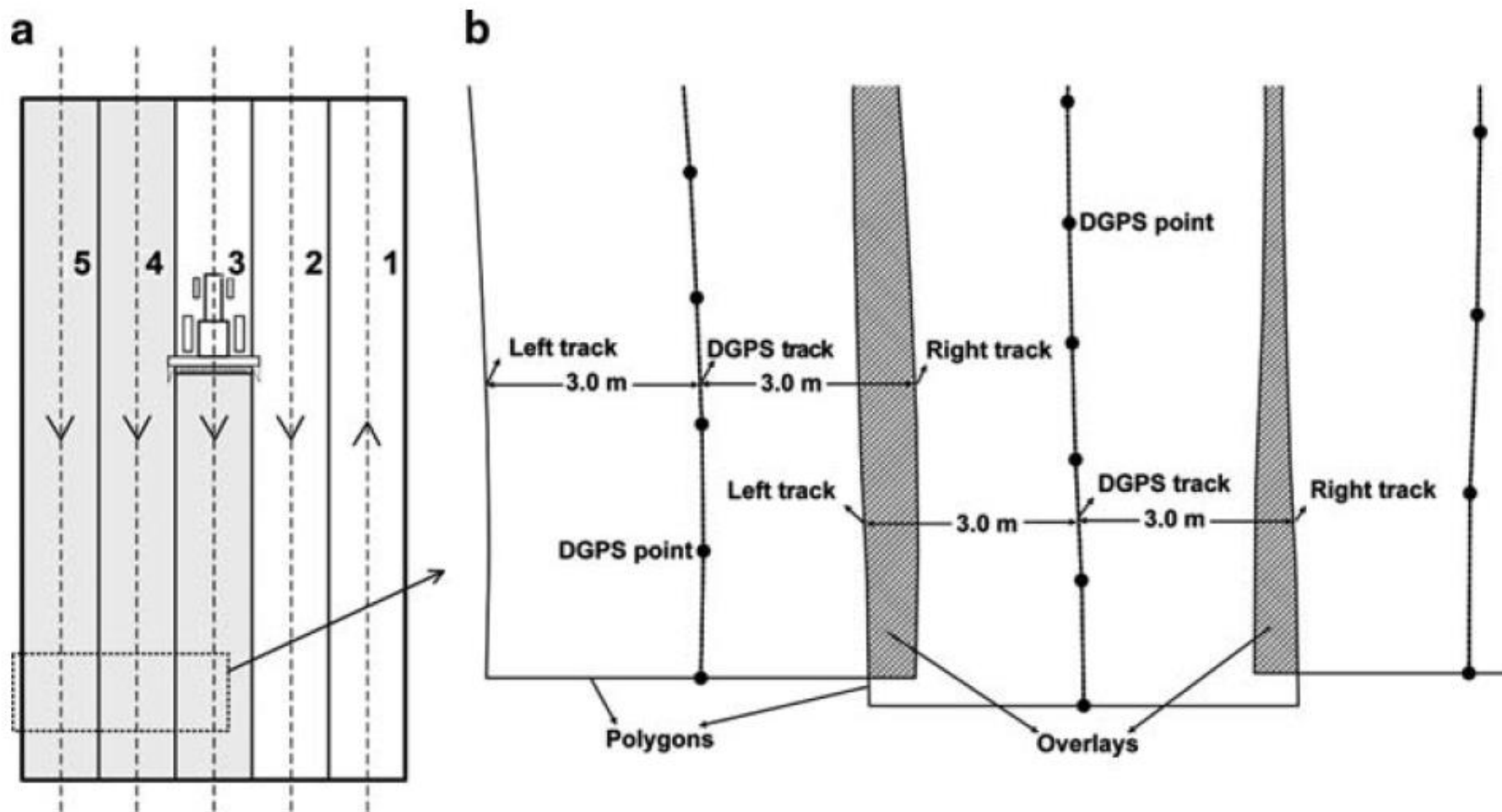
1:7920

Ultrassom para medir largura de corte



Zhao et al (2010)

Ultrassom para medir largura de corte

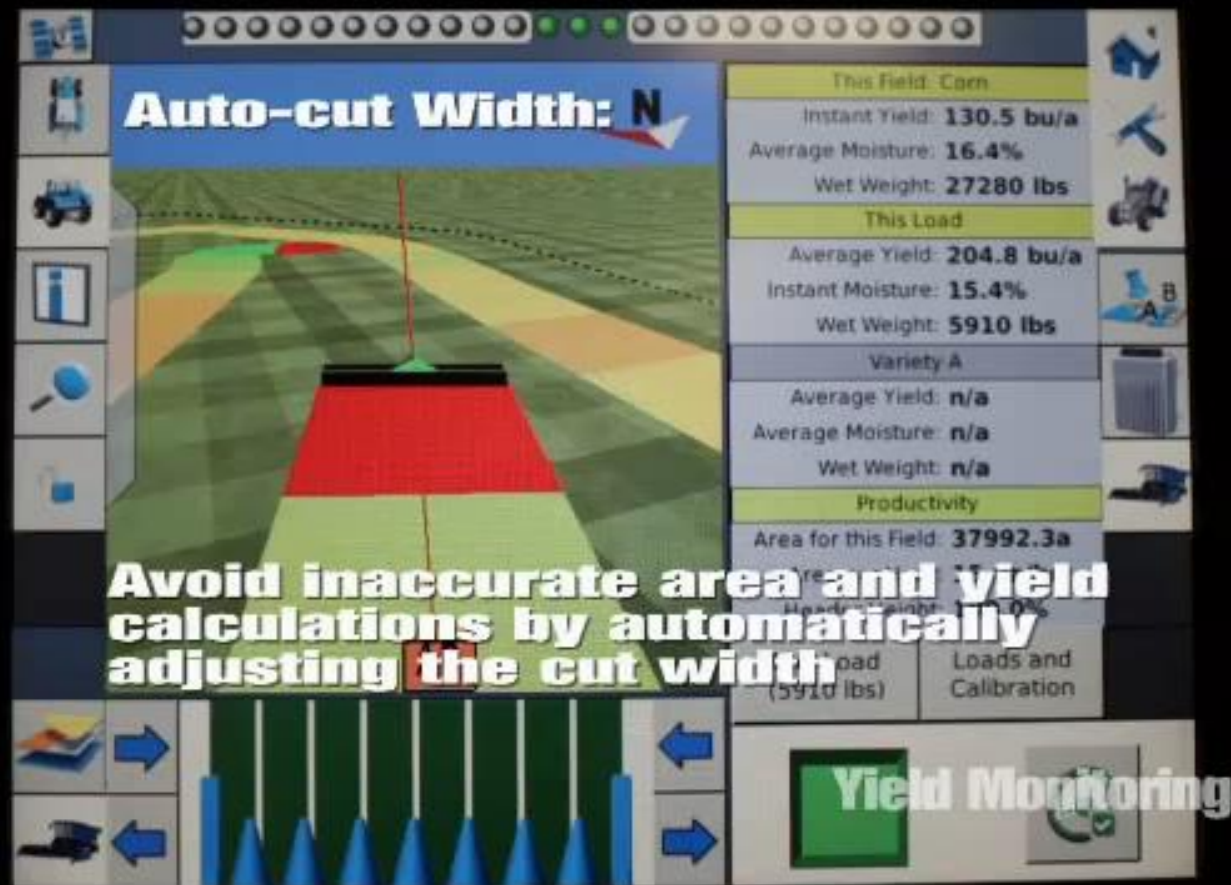


Zhao et al (2010)

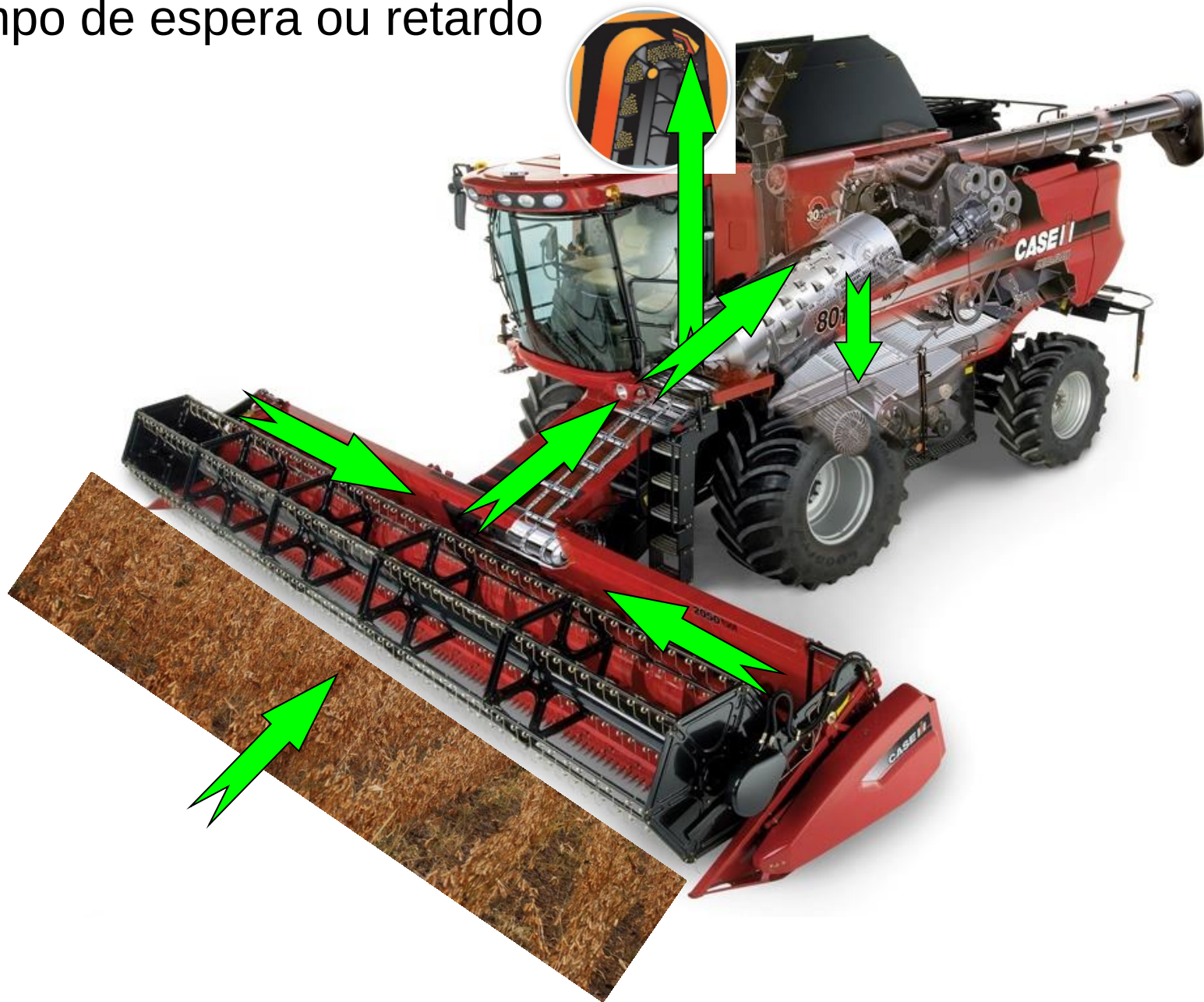
Ajuste automático da largura de corte via GNSS

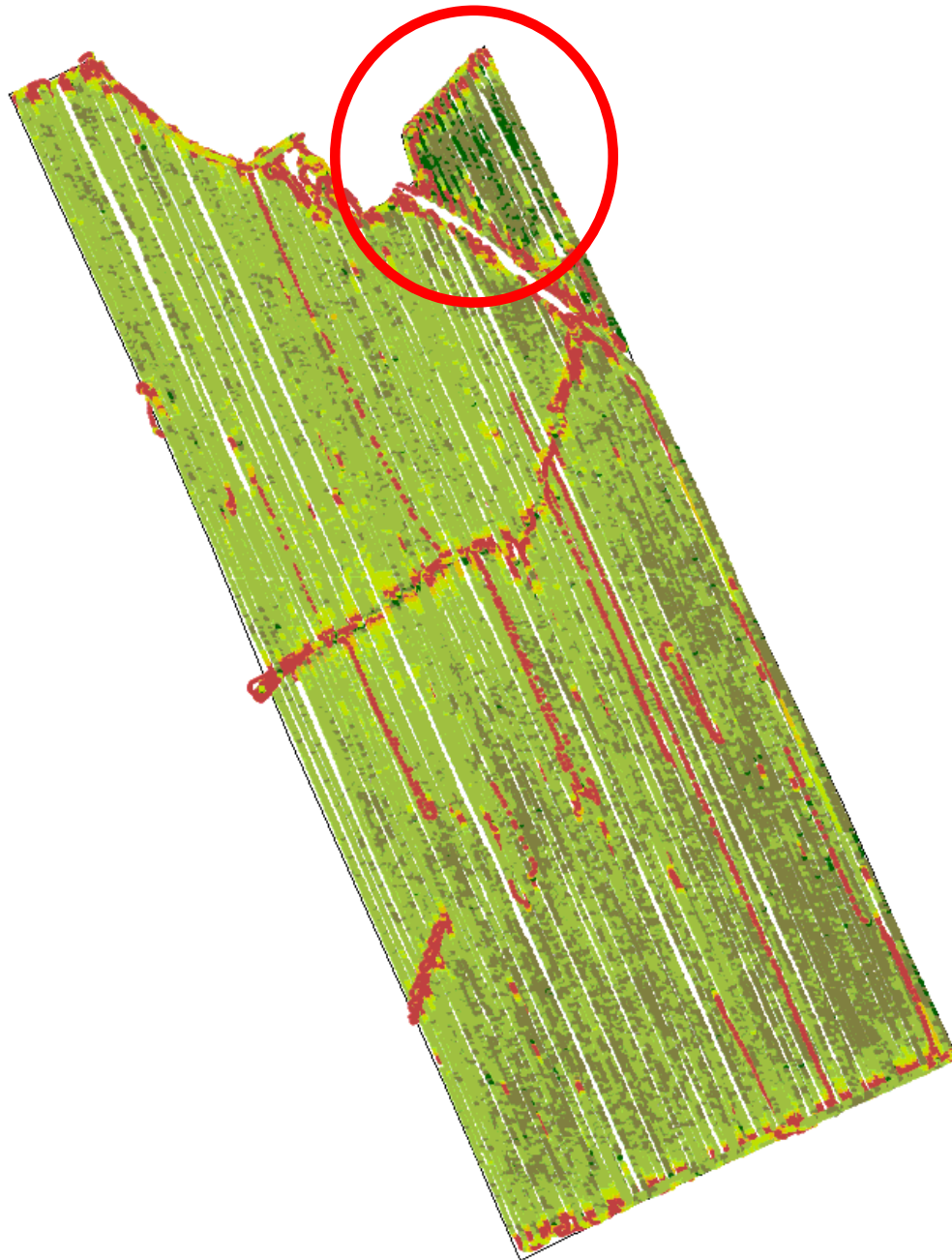


AgLeader



Tempo de espera ou retardo

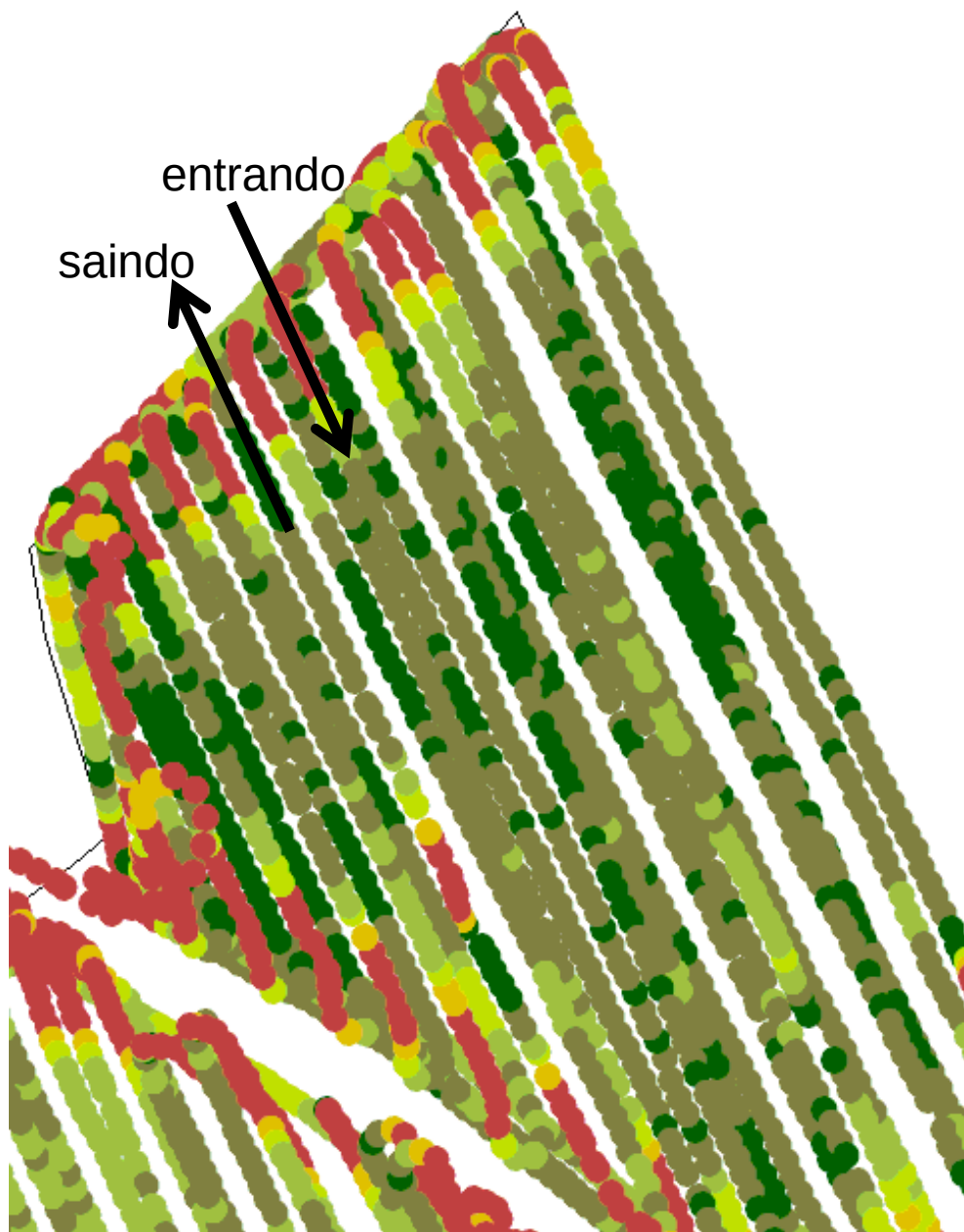




Milho (kg/ha)

- 0 – 1500
- 1500 – 3000
- 3000 – 4500
- 4500 – 6000
- 6000 – 7500
- 7500 - 10000

Tempo de enchimento

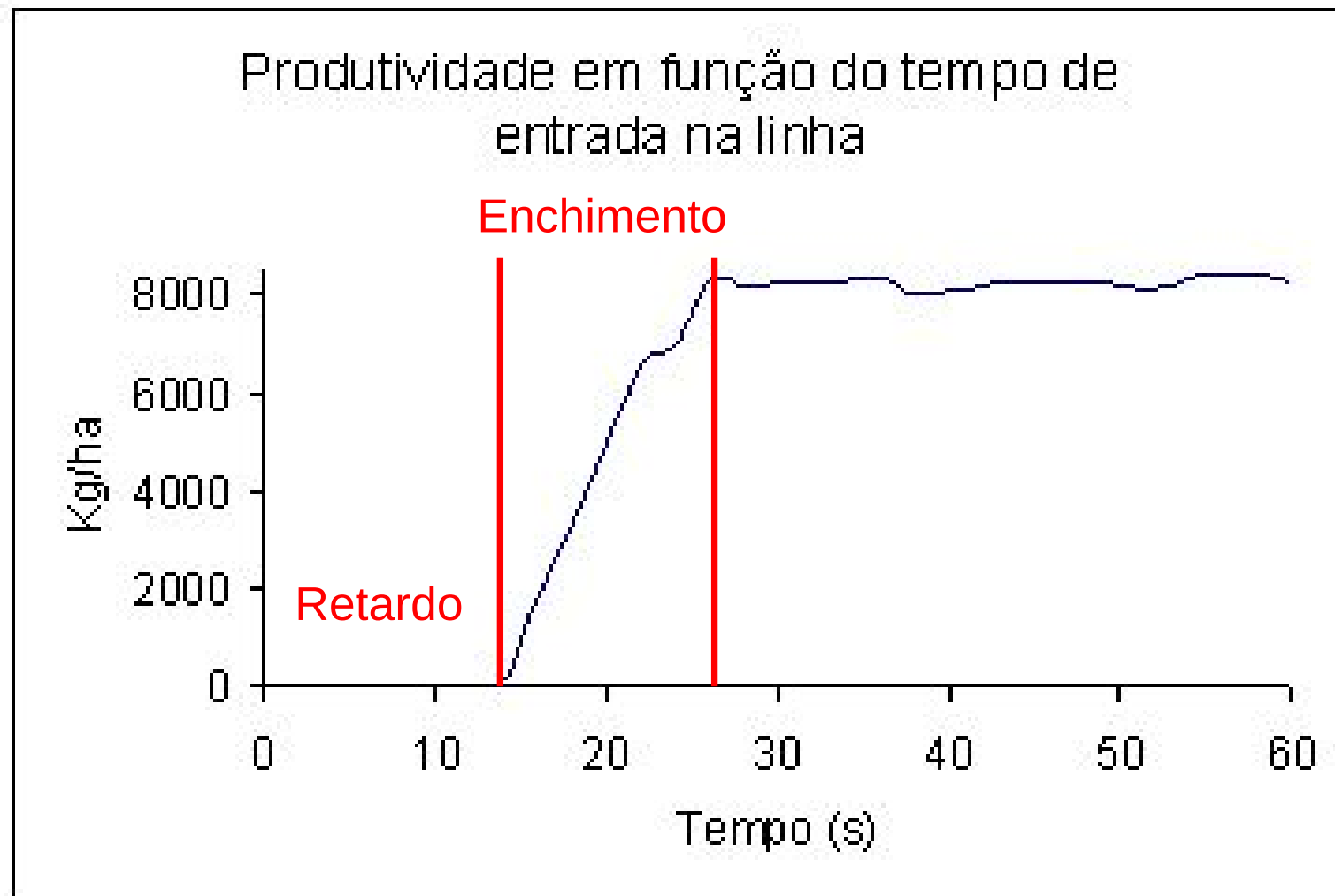


Milho (kg/ha)

- 0 – 1500
- 1500 – 3000
- 3000 – 4500
- 4500 – 6000
- 6000 – 7500
- 7500 - 10000

Tempo de enchimento

Tempo de retardo e tempo de enchimento



Métodos de remoção de dados errôneos

- Usando critérios estatísticos de população (desvio padrão);
- Excluindo dados de regiões previamente demarcadas (buffers), especialmente das bordas;
- Classificando e identificando cada tipo de dado errôneo para remoção (passo-a-passo)
- Comparativos locais (ponto a ponto)

“MapFilter”

Comparação local, entre vizinhos

a.

Yield points

● 6285	● 5958	● 7415	● 7900	● 5780
● 6597	● 5044	● 7003	● 8555	● 5937
● 8718	● 7056	● 12000	● 5452	● 7754
● 8129	● 5147	● 8347	● 5259	● 8603
● 6139	● 5873	● 6853	● 5574	● 7975

b.

Calculation of CV in a radius around a specific point

