

VII Simpósio Regional • IPNI Brasil

## BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES

Araguaína - TO • 19 e 20/AGOSTO/2014

# Ferramentas de agricultura de precisão para uso eficiente de fertilizantes

*Leandro M. Gimenez*



Fundação MT



- ✓ Instituição Privada
- ✓ Melhoramento Genético
- ✓ Pesquisa Agronômica
- ✓ Financiamento através de projetos técnico – científicos oferecidos à iniciativa privada: empresas do agro, produtores.



## Linha do tempo Brasil

- ✓ 1996 chegada ao Brasil 1996 através da indústria
- ✓ 1999 academia intensifica pesquisa
- ✓ 2002 iniciativa privada oferece serviços
- ✓ 2008 regionalização de serviços e empresas
- ✓ 2012 “pacotes” de serviços
- ✓ 2013 sensoriamento remoto através de VANTs
- ✓ 2014 criatividade em procedimentos amostrais

# Introdução

## Eletrônica embarcada em máquinas agrícolas

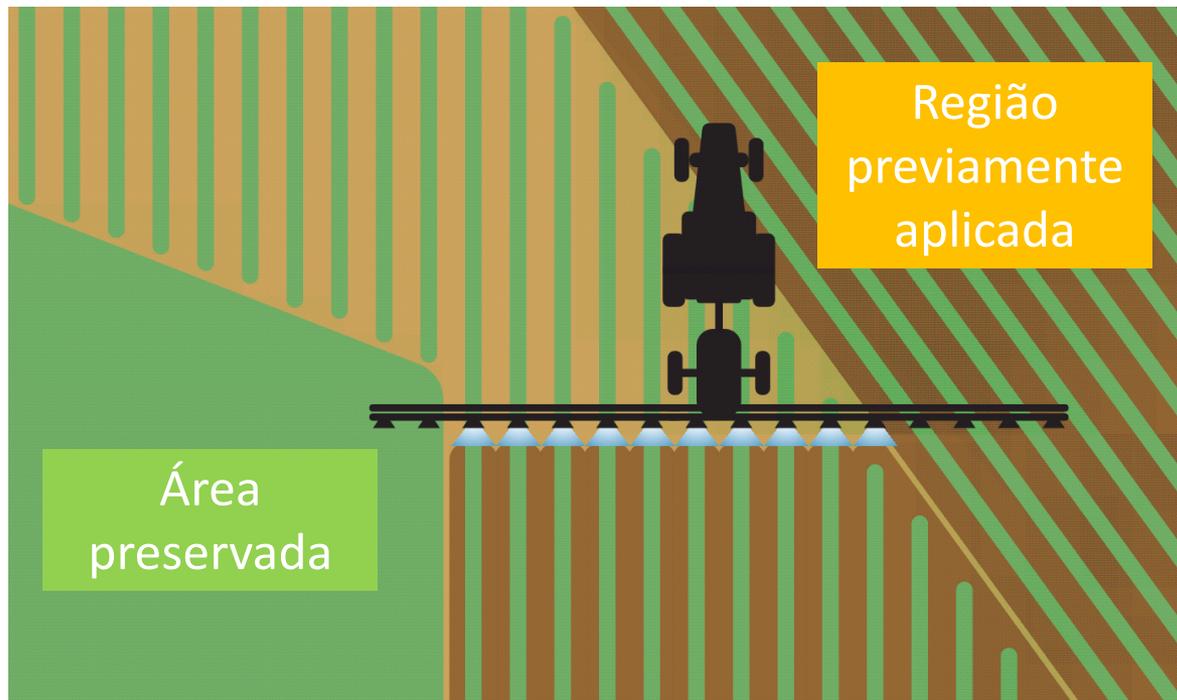


**Sistemas para direcionamento de máquinas no campo:** melhoria de sobreposição, falhas, horas trabalhadas, qualidade

# Introdução

## Eletrônica embarcada em máquinas agrícolas

- ✓ Controladores de seção
- ✓ Controladores de vazão



# Automação: Semeadoras

- ✓ Controle de pressão sobre a linha de semeadura
  - ✓ Manutenção da profundidade da semente ao longo do talhão
  - ✓ Tempo de resposta em sistema pneumático e hidráulico

MULTIPLE CHANNELS OF CONTROL



RESPONSE TIME COMPARISON

HYDRAULIC DOWN FORCE

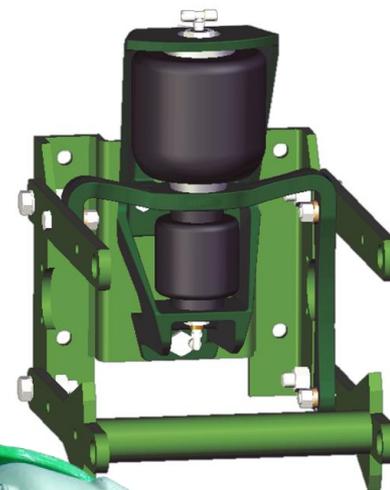


ONE SECOND  
RESPONSE TIME

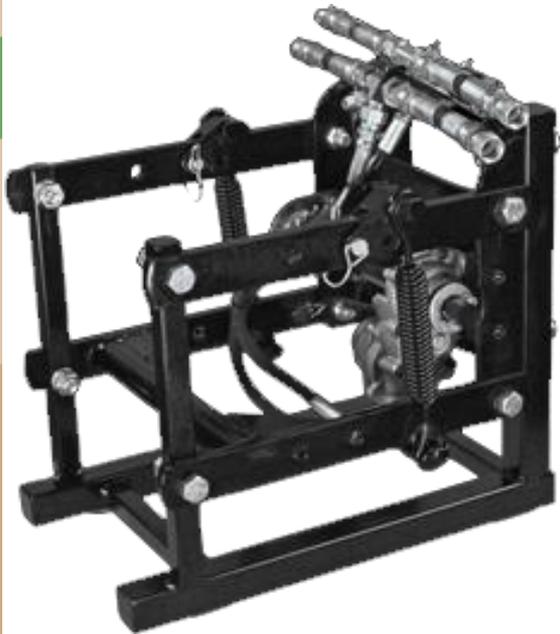
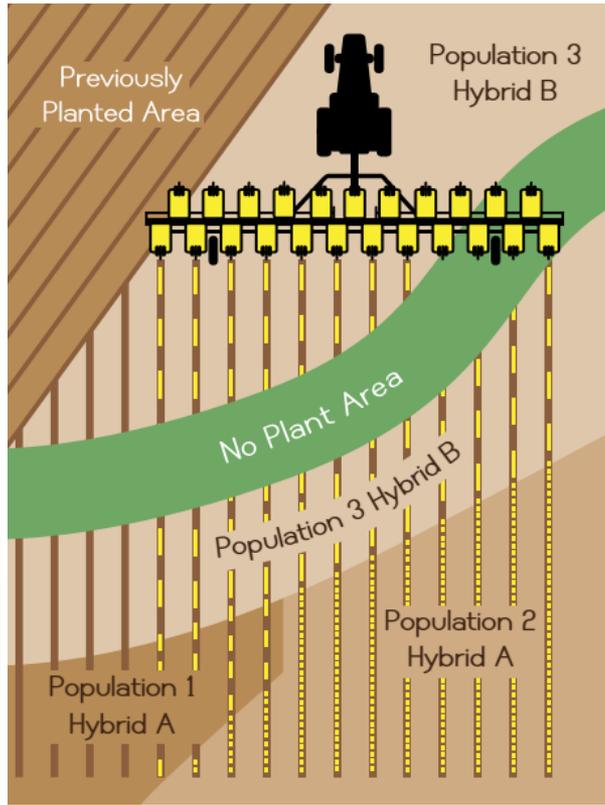
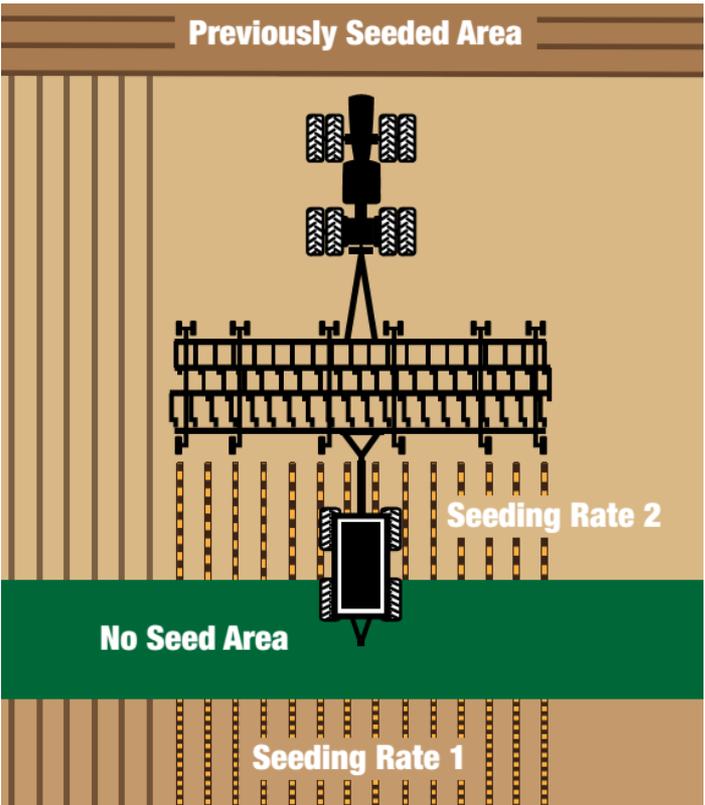
AIR BAG SYSTEM



UP TO 20 SECONDS  
RESPONSE TIME  
CHANGE IN SOIL TYPE

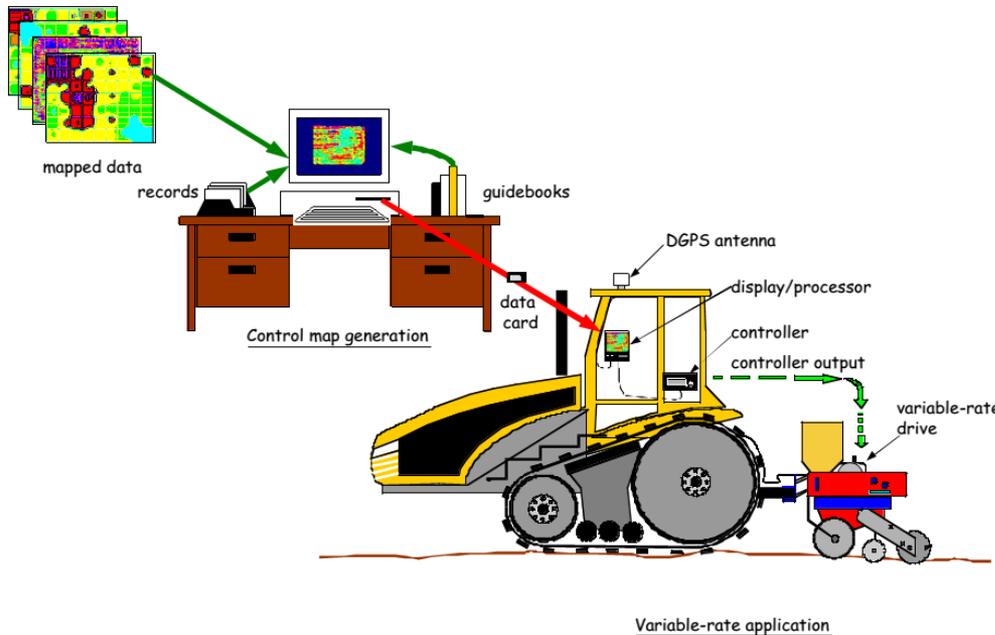


# Automação para Taxas Variáveis: Semeadoras

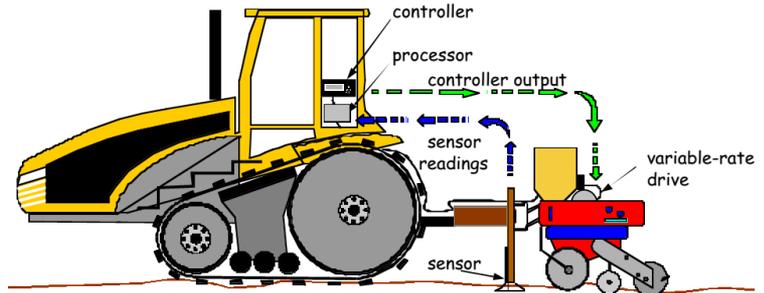


# Estratégias nas Aplicações em Taxas Variadas

## Mapa de Prescrição



## Sensor – “tempo real”



# Manejo da Variabilidade Espacial

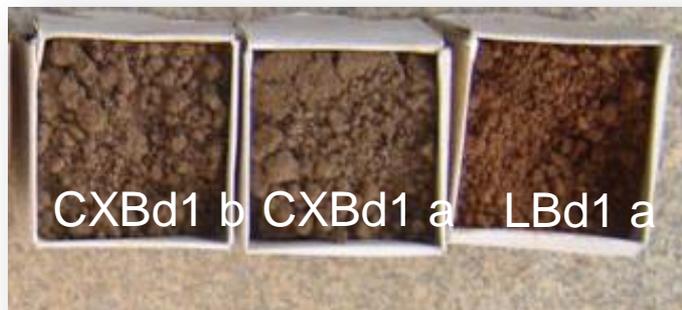
## REQUISITOS

Existe?

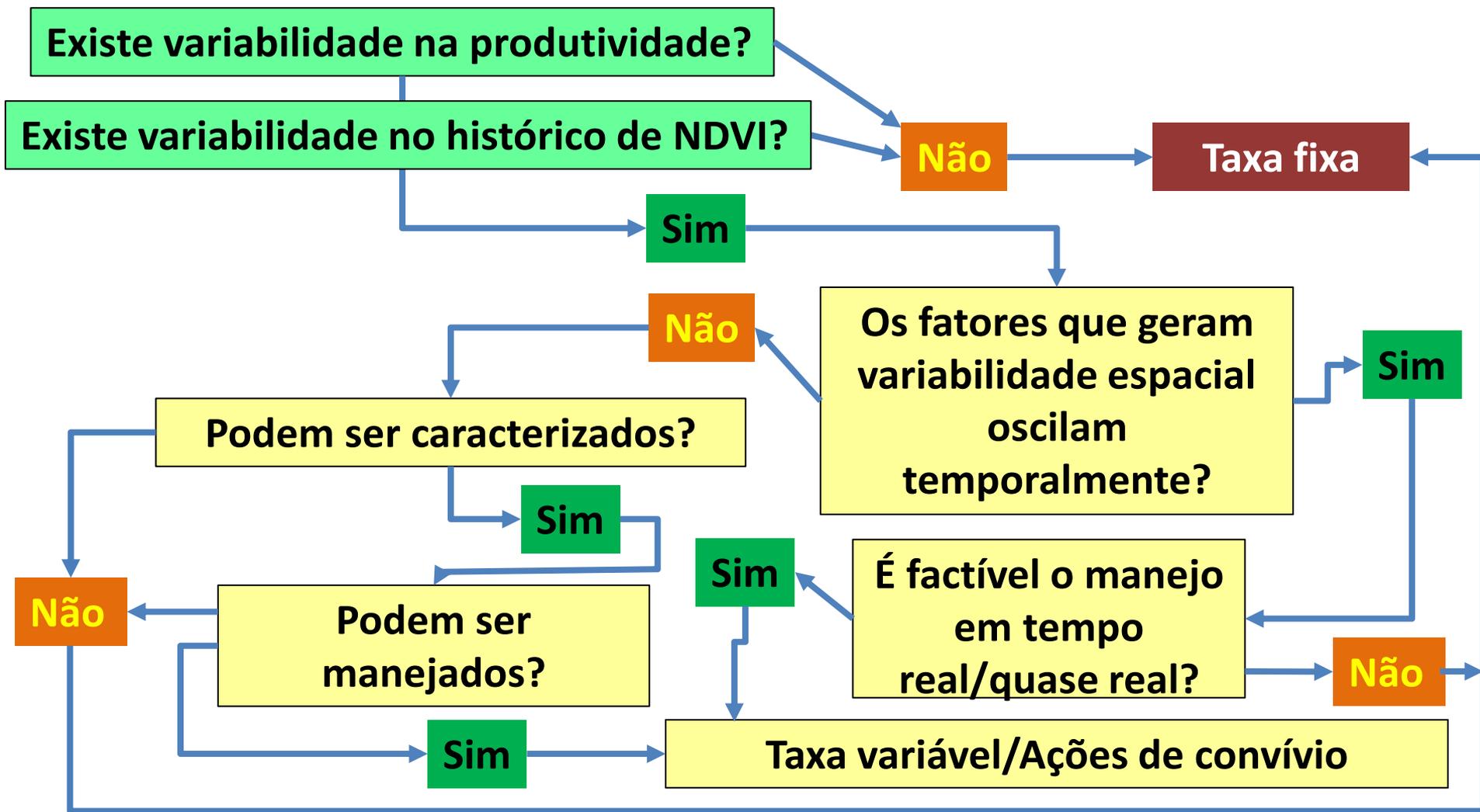
Qual a distribuição espacial?

Oscila ao longo do tempo?

Qual a intensidade?



# Árvore de Decisão para Manejo da Variabilidade Espacial



**“Processo fora de controle”**



# Variabilidade Espacial INDUZIDA

**Concentração de palha:  
nutrientes,  
impedimento mecânico**



## CONTROLE DA VARIABILIDADE INDUZIDA

### Caracterização da variabilidade

Vigor, Biomassa, Produtividade → **Efeito**

**Ambiente** → **Causa**

*Água, nutrientes, impedimentos físicos, bióticos*

### Tratamento localizado

**Fertilizantes e corretivos**

**Preparo do solo**

**População de plantas**

**Agrotóxicos**

# Unidades de Manejo

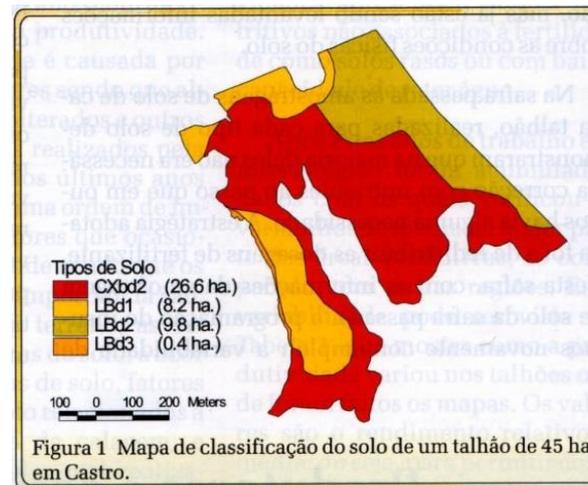


**Circular Técnica**  
**nº 039**  
**Fevereiro/2006**

## Aumento da rentabilidade através do gerenciamento localizado

✓ Engº Agrº Leandro M. Gimenez  
Fundação ABC / Mecanização Agrícola  
mecaniza@fundacaoabc.org.br

✓ Téc. Agric. Wagner P. G. dos Anjos  
Fundação ABC / Mecanização Agrícola  
wagner@fundacaoabc.org.br



**Tabela 3 – Produtividade e rentabilidade para três talhões e seus diferentes tipos de solo.**

	Solo	Área ha	Produtividade kg/ha	Receita *	Renda Bruta **	Diferença
					R\$/ha	
Talhão 1 Milho	CXbd2	26,6	8666	2167	174	-291
	LBd2	9,8	8770	2193	200	-265
	LBd1	8,2	9828	2457	464	0
Talhão 2 Milho	CXbd1	6,4	9104	2276	283	0
	CXbd2	12,6	7916	1979	-14	-297
	LBd2	3,9	8237	2059	66	-217
Talhão 3 Soja	Oys	36,5	2735	1276	292	-47
	GMdh	11,6	2836	1323	339	0
	CXbd1	10,9	2687	1254	270	-70

\* Valores utilizados: R\$15,00/sc milho e R\$28,00/sc soja.

\*\* Considerando apenas os custos variáveis/desembolso para a safra 2005/2006, R\$1993.00/ha para Milho e R\$ 984.00/ha para Soja.

## Unidade de manejo

Região em um campo que apresenta uma combinação de fatores restritivos à produtividade relativamente uniforme, e para a qual doses uniformes de insumos podem ser utilizadas

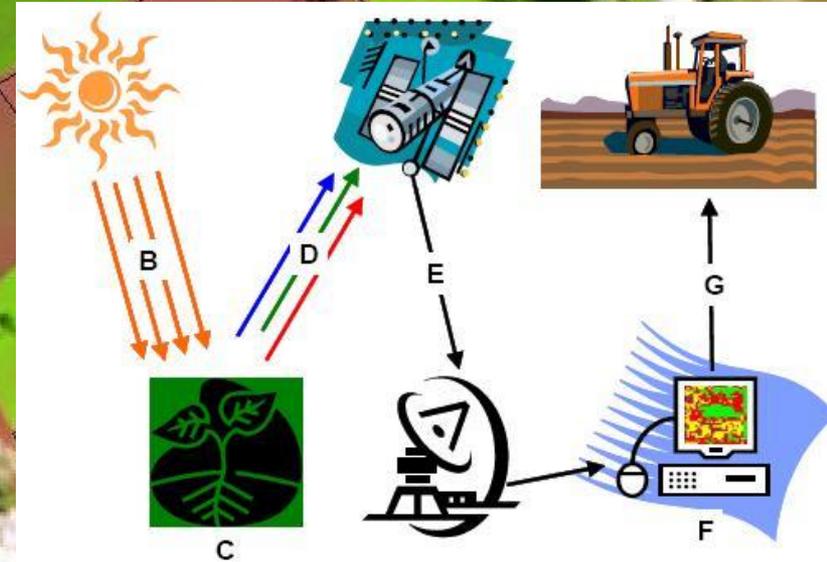


# Ferramentas: Imagens

# Ferramentas – Imagens

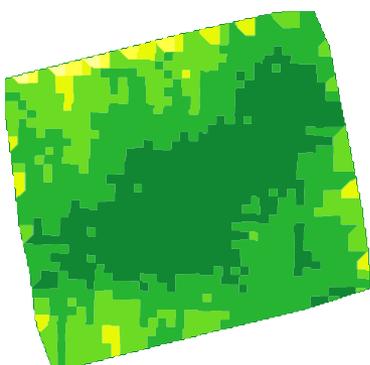
## Sensores remotos à bordo de aviões e satélites

- Resolução temporal e espacial em função da necessidade;
- Muito relevantes para traçar diretrizes de manejo da variabilidade;
- Para manejo durante a safra restrições: Tempo de ação

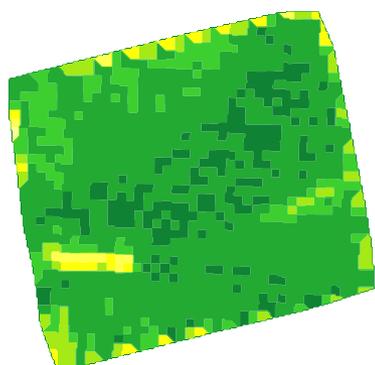


# Histórico de uso das áreas - Vigor

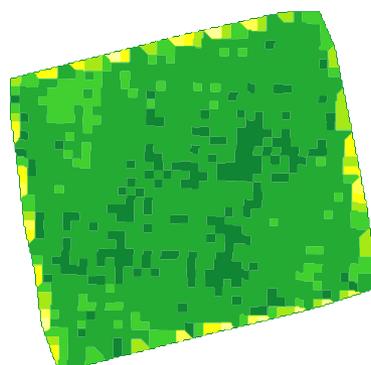
- ✓ Realizar uma avaliação do sistema de produção
  - ✓ Histórico de abertura, culturas, operações, produtos
  - ✓ Relatos de produtores e funcionários
  - ✓ Levantamento dados disponíveis: **imagens de satélite**, mapas de altimetria, pedologia
  - ✓ Vistorias a campo



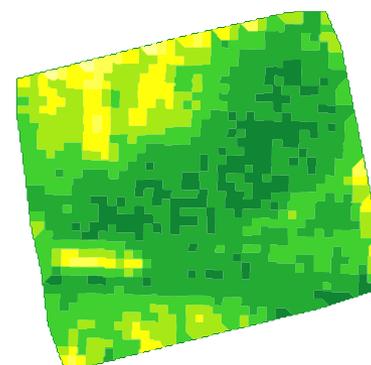
NDVI - 2008



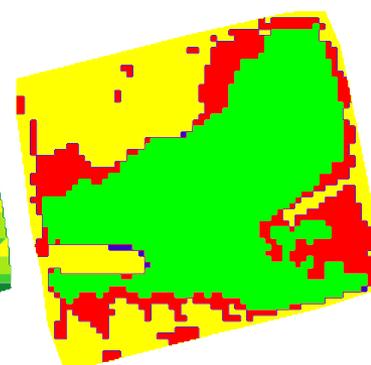
NDVI - 2009



NDVI - 2010



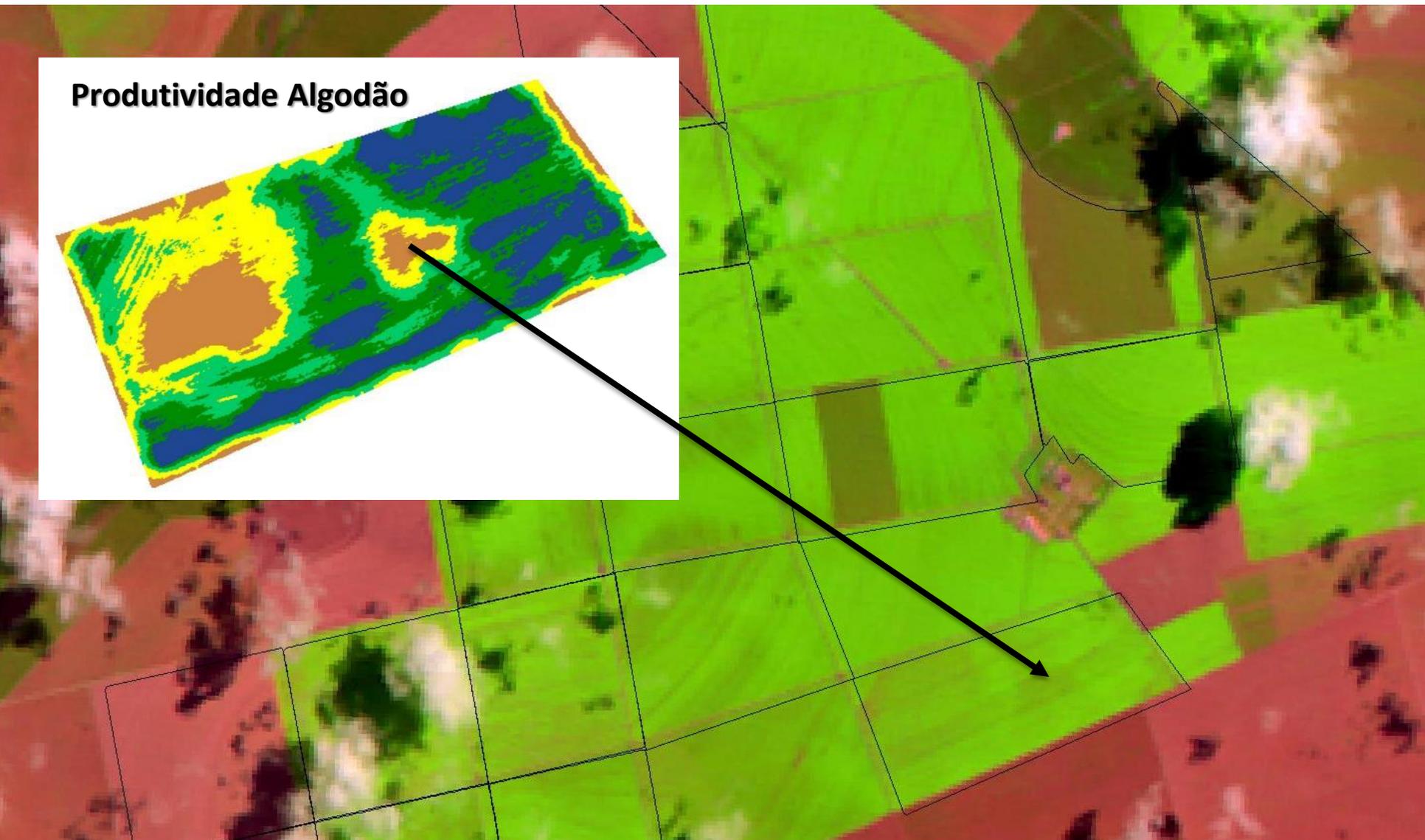
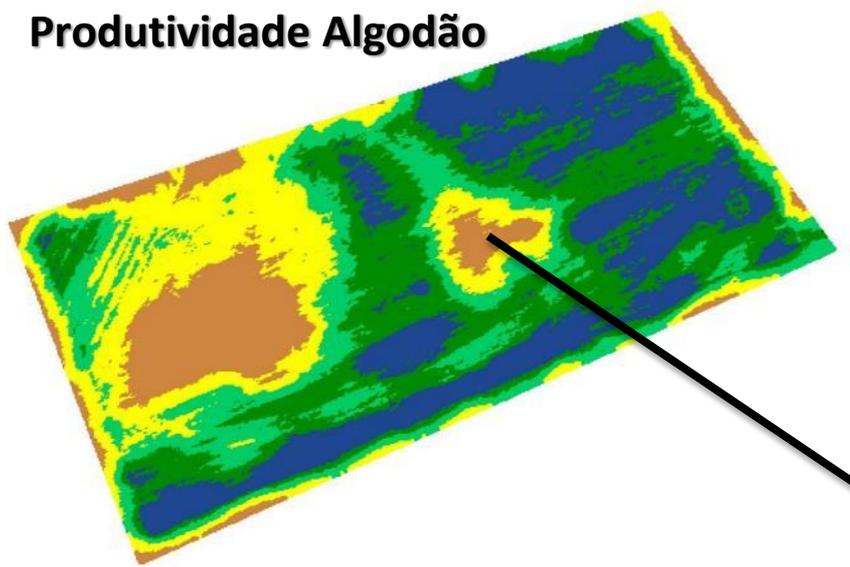
NDVI - 2011



Unidades

# Ferramentas – Imagens

**Produtividade Algodão**





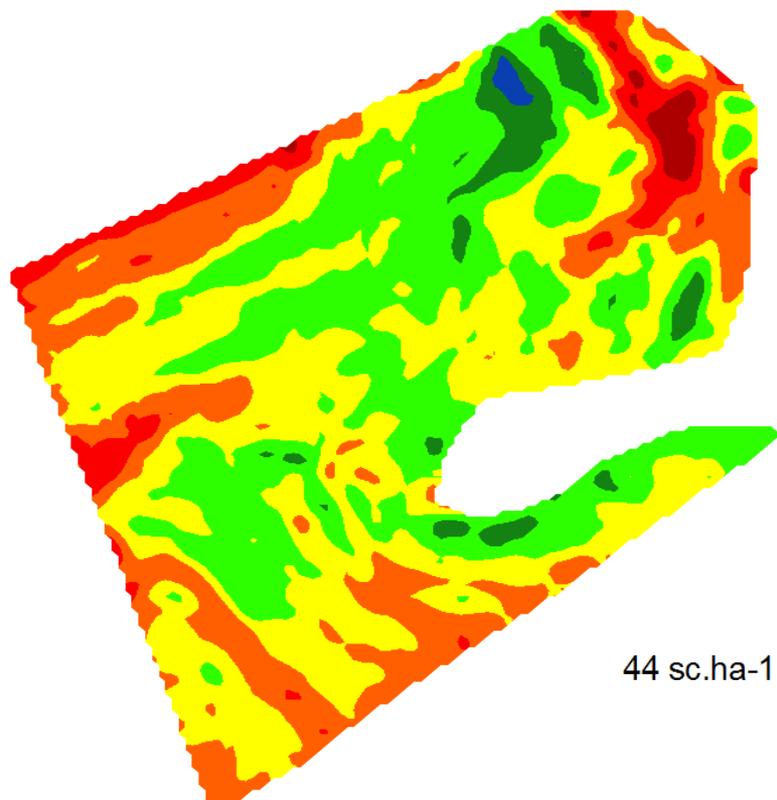
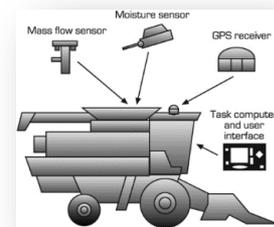
# Ferramentas: Mapeamento de Produtividade

# Ferramentas – Mapa de Produtividade

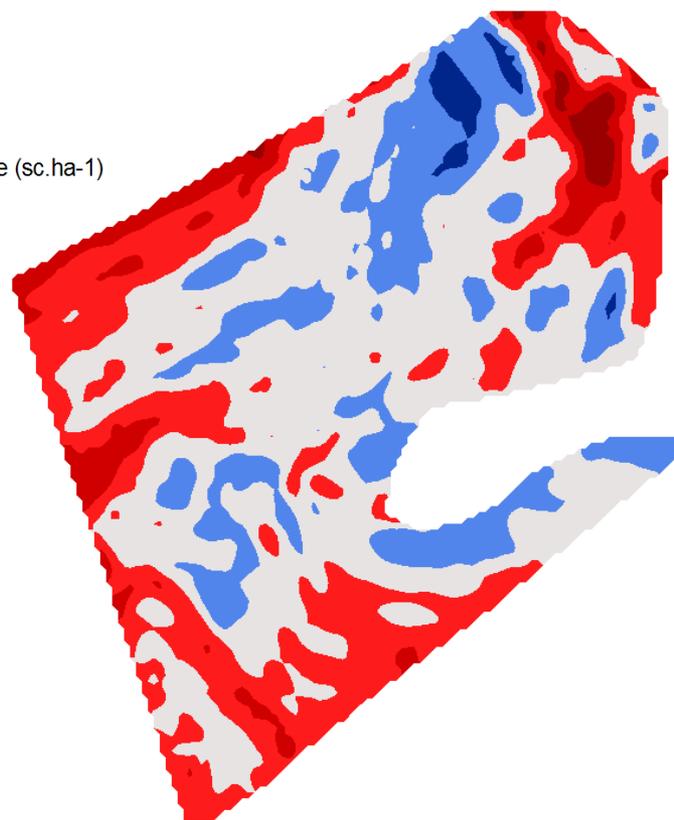
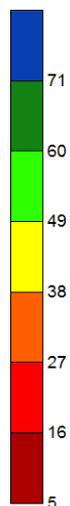
## Mapa de produtividade

Resultado de todas as ações de manejo

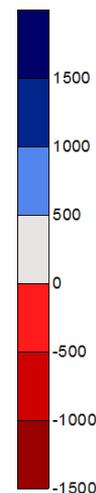
Variabilidade da rentabilidade



Produtividade (sc.ha-1)



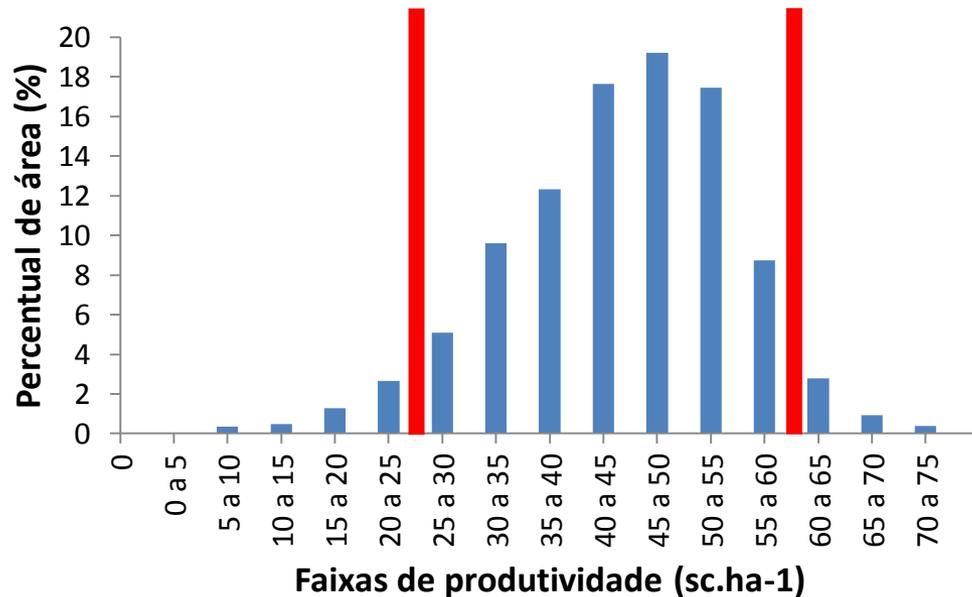
Rentabilidade (R\$.ha-1)



# Impacto Financeiro da Variabilidade Espacial

✓ 10% da área menos produtivo = 23,7 sc.ha<sup>-1</sup>

✓ 10% da área mais produtivo = 60,4 sc.ha<sup>-1</sup>



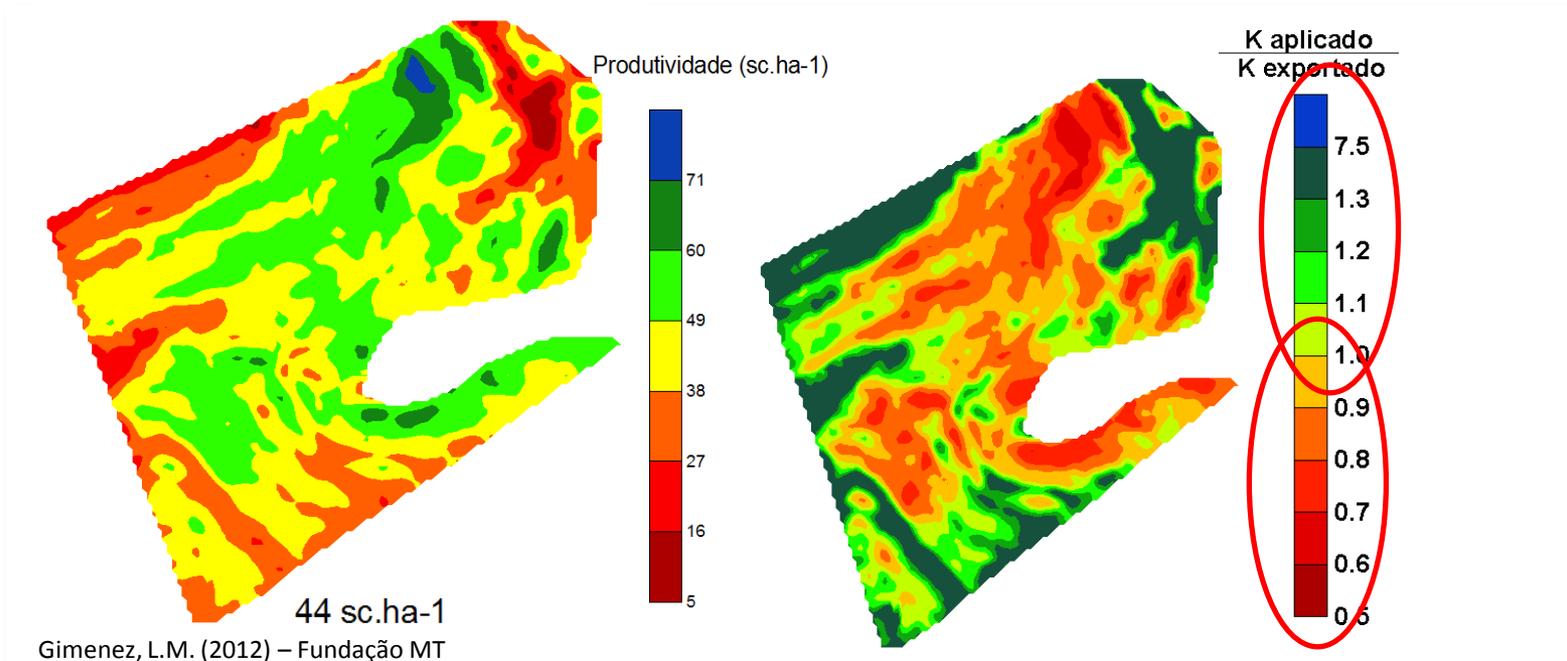
✓ Impacto da redução do fertilizante para produzir 23,7 sc.ha<sup>-1</sup> nos 10% menos produtivos = 26 R\$.ha<sup>-1</sup>

✓ Impacto da elevação da produtividade em 1 sc.ha<sup>-1</sup> pela alocação do fertilizante nos 10% mais produtivos = 37,2 R\$.ha<sup>-1</sup>

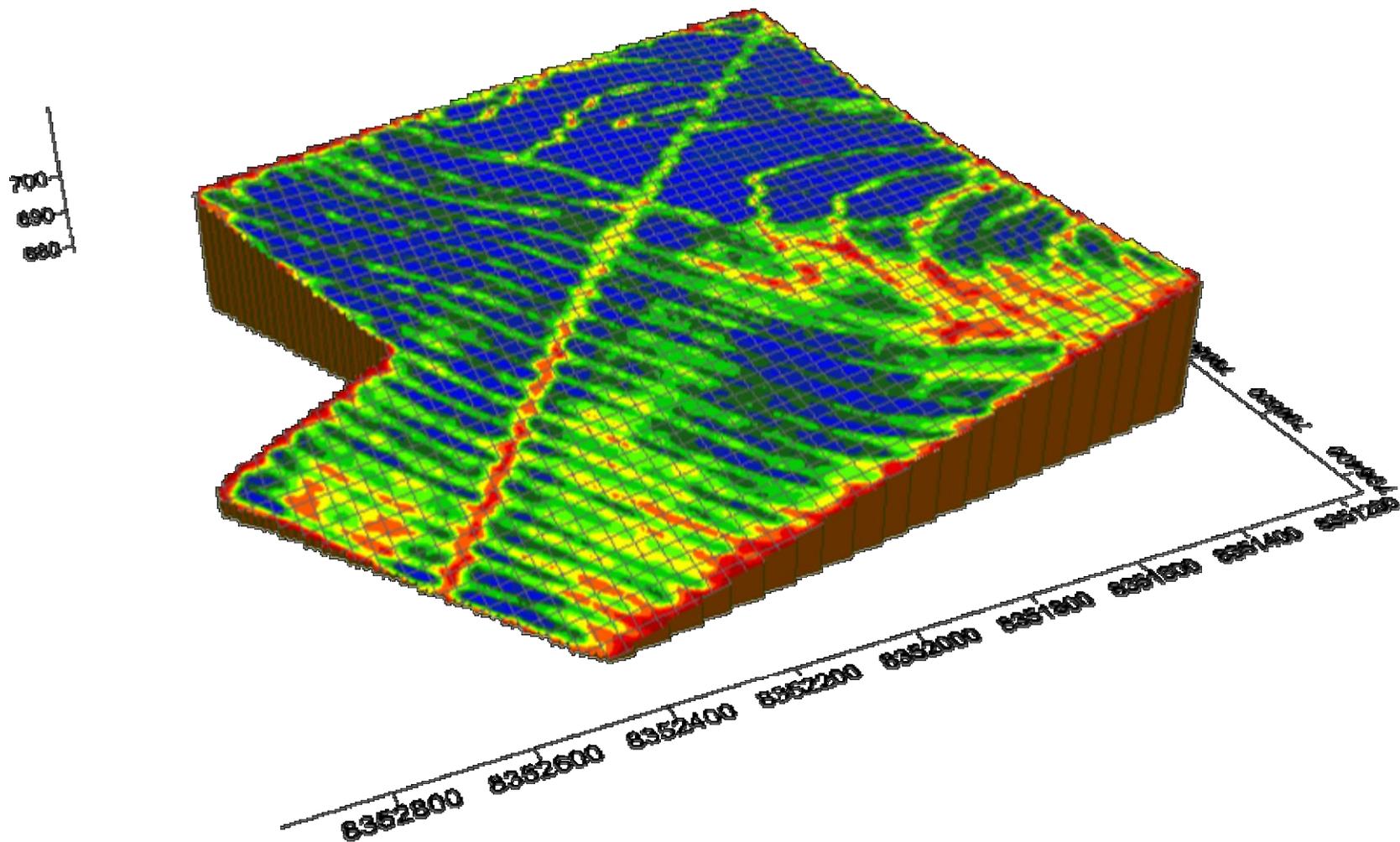
# Variabilidade espacial na utilização do nutriente pela cultura

Porções que exportam mais do que recebem, tem **produção restringida**

Áreas onde “sobra” nutriente, **outro fator limitante**



# Produtividade e Posição no relevo



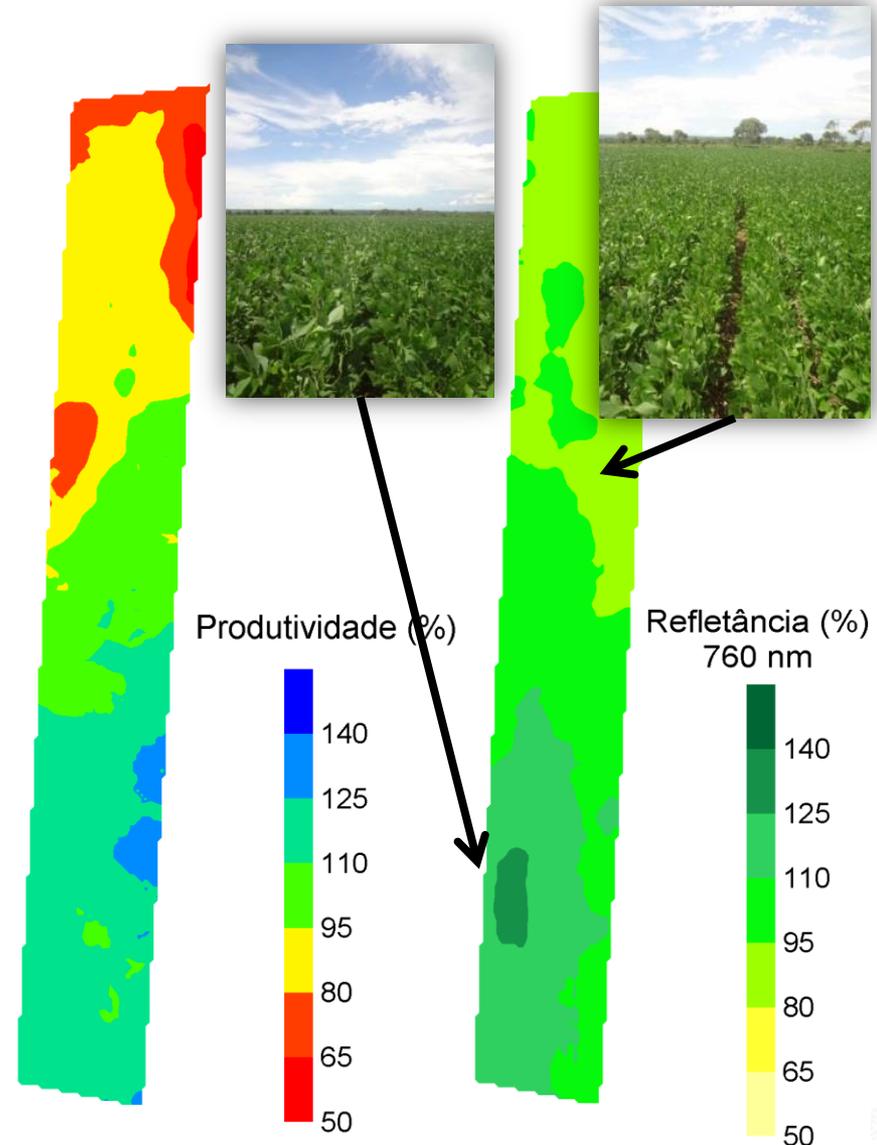
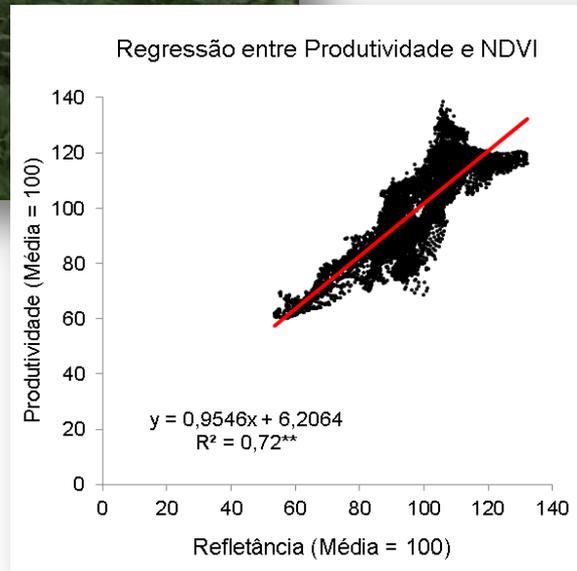


# Ferramentas: Sensores Vigor de Plantas

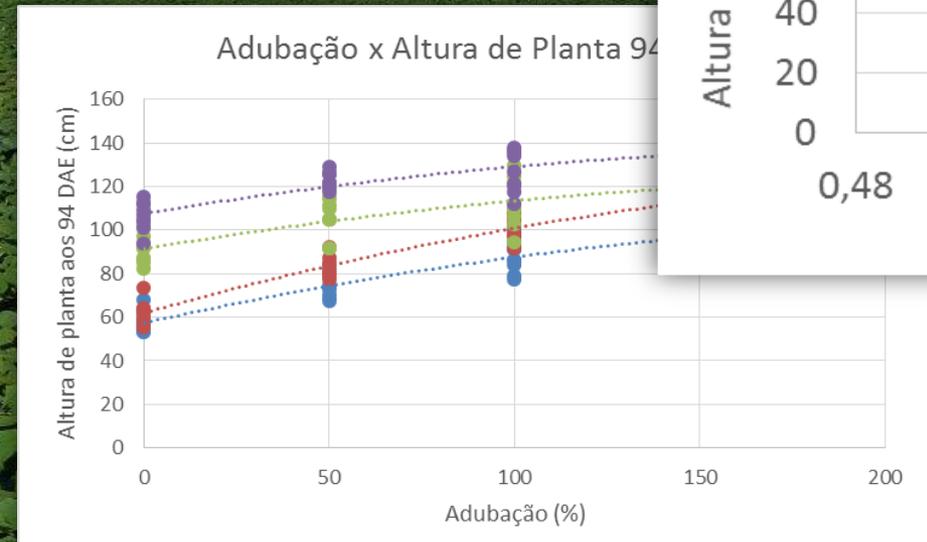
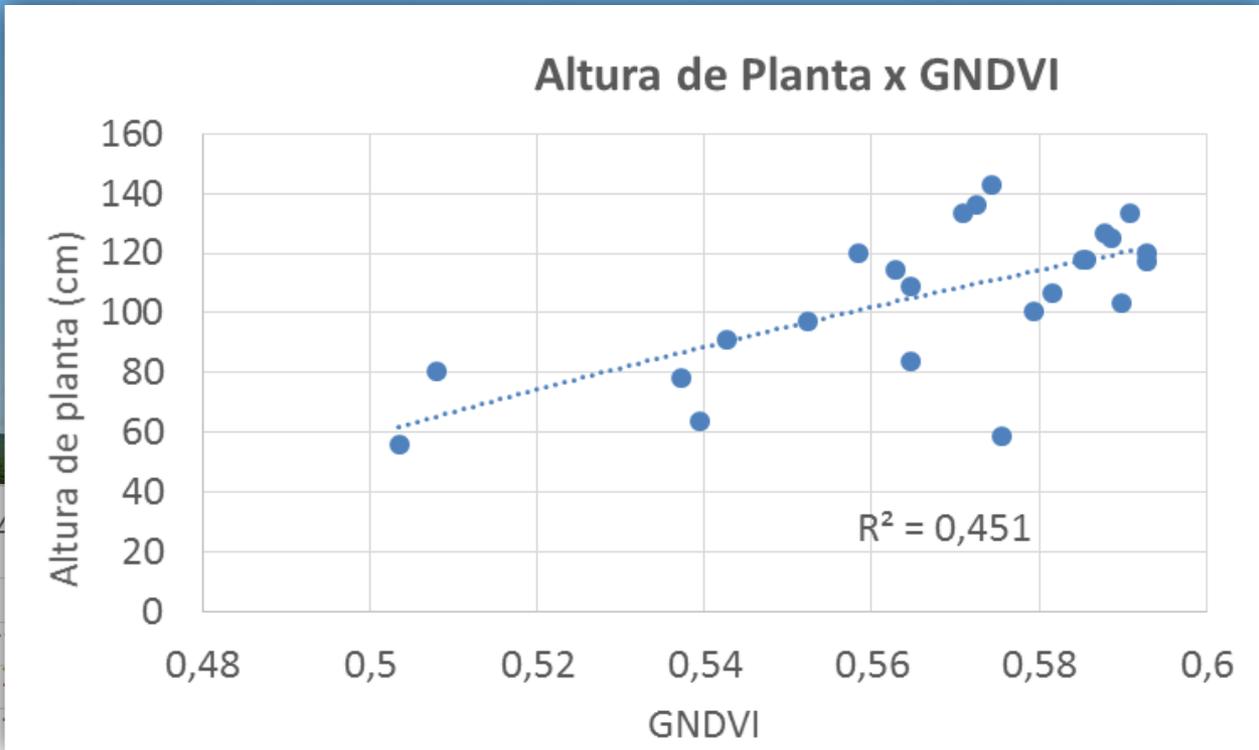
## Obter informações do vigor das plantas através de índices de vegetação



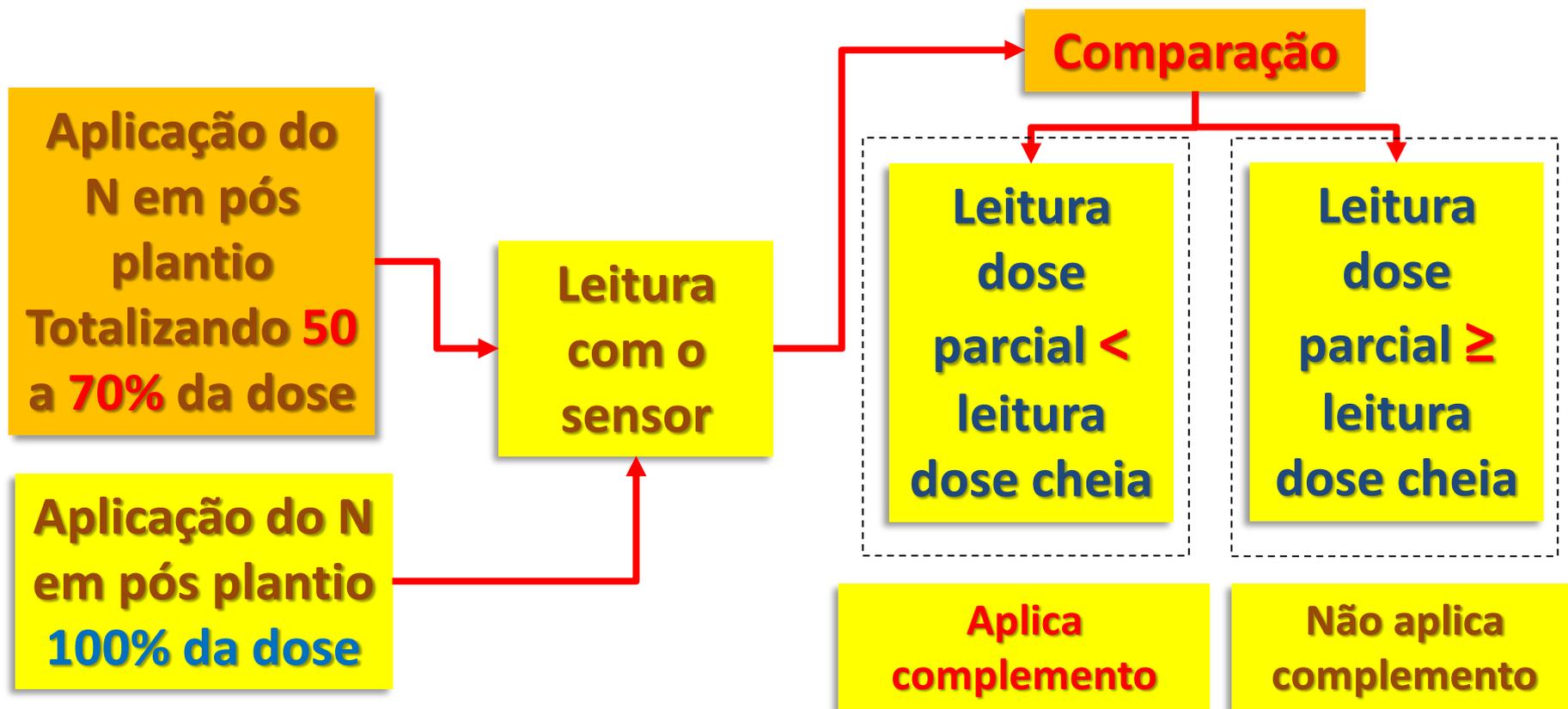
# Ferramentas – Sensores de Refletância



## Algodão



## PLANTA COMO INDICADOR DA NECESSIDADE DE N



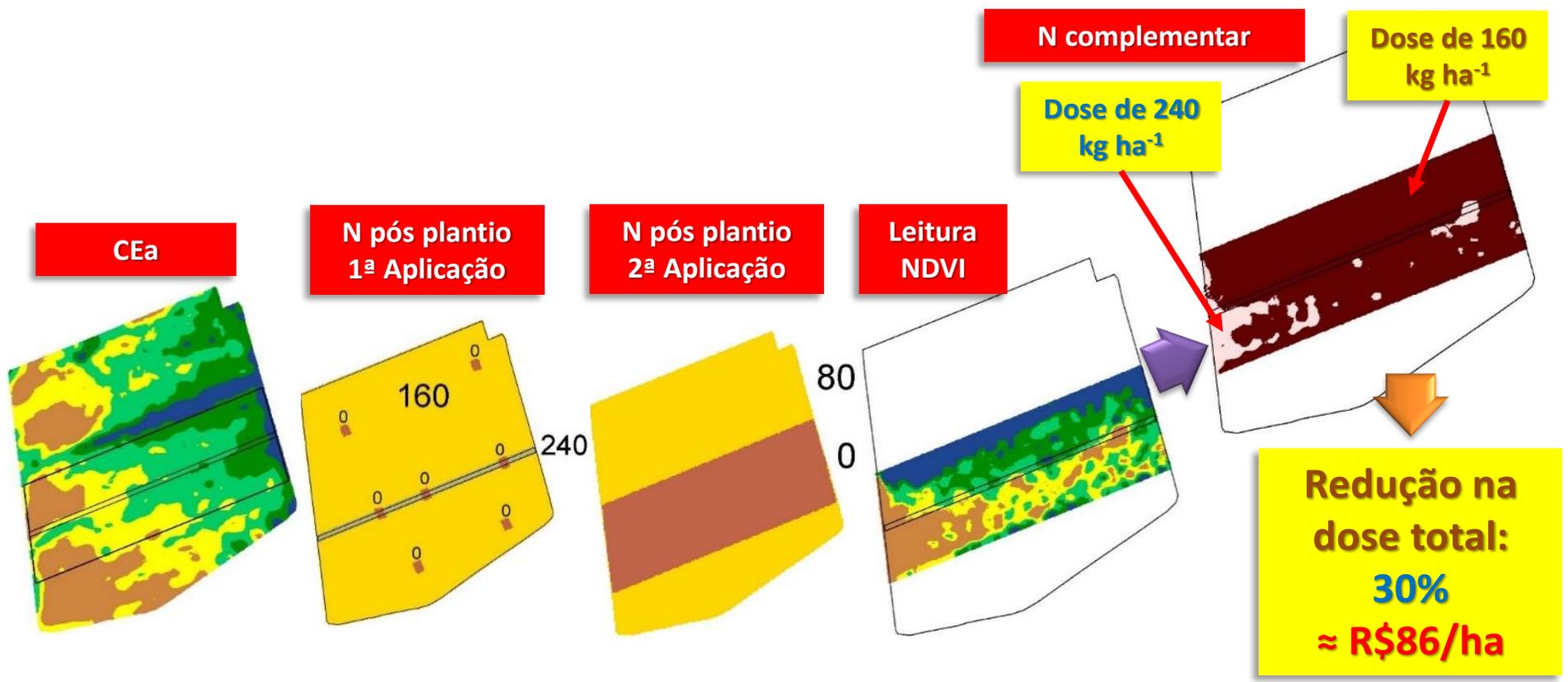
# Sensor de Refletância – Ensaio Calibração



Correlação com a dose de N	
	r
NDVI em V7	0,77
Biomassa em V11	0,77
NDVI em V11	0,74
Altura de planta em VT	0,73
Altura de plantas em V11	0,71
Altura de plantas em V7	0,64
Altura de plantas em V5	0,63
Biomassa em V5	0,60
Biomassa em V7	0,49
NDVI em VT	0,47
Biomassa em VT	0,38
NDVI em V5	0,20

# Ferramentas – Sensores de Refletância

## N em cobertura – Lavoura



# Mensuração do Vigor de Plantas

Parâmetro	Definição de unidades de manejo	Intervenções durante a safra
Resolução Temporal	+	+++
Resolução Espacial	+	++
Capacidade Operacional	+	+++
Plataformas orbitais	+++	+
Plataformas aéreas	+	+++
Plataformas terrestres	+	++
Maturidade da tecnologia	😊😊	😊

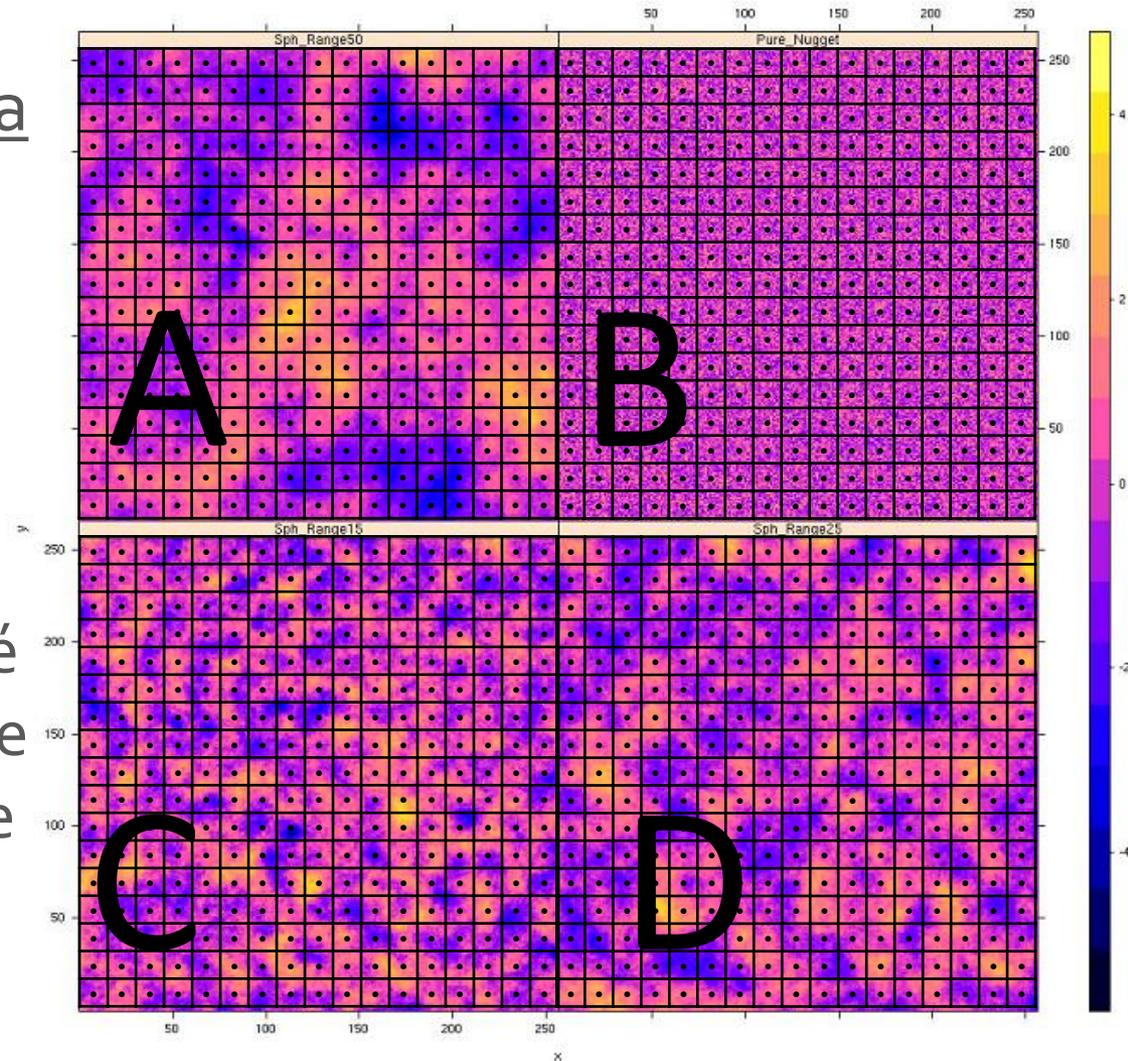


**Ferramenta:  
Amostragem Sistemática do solo**

# Amostragem localizada para manejo de nutrientes

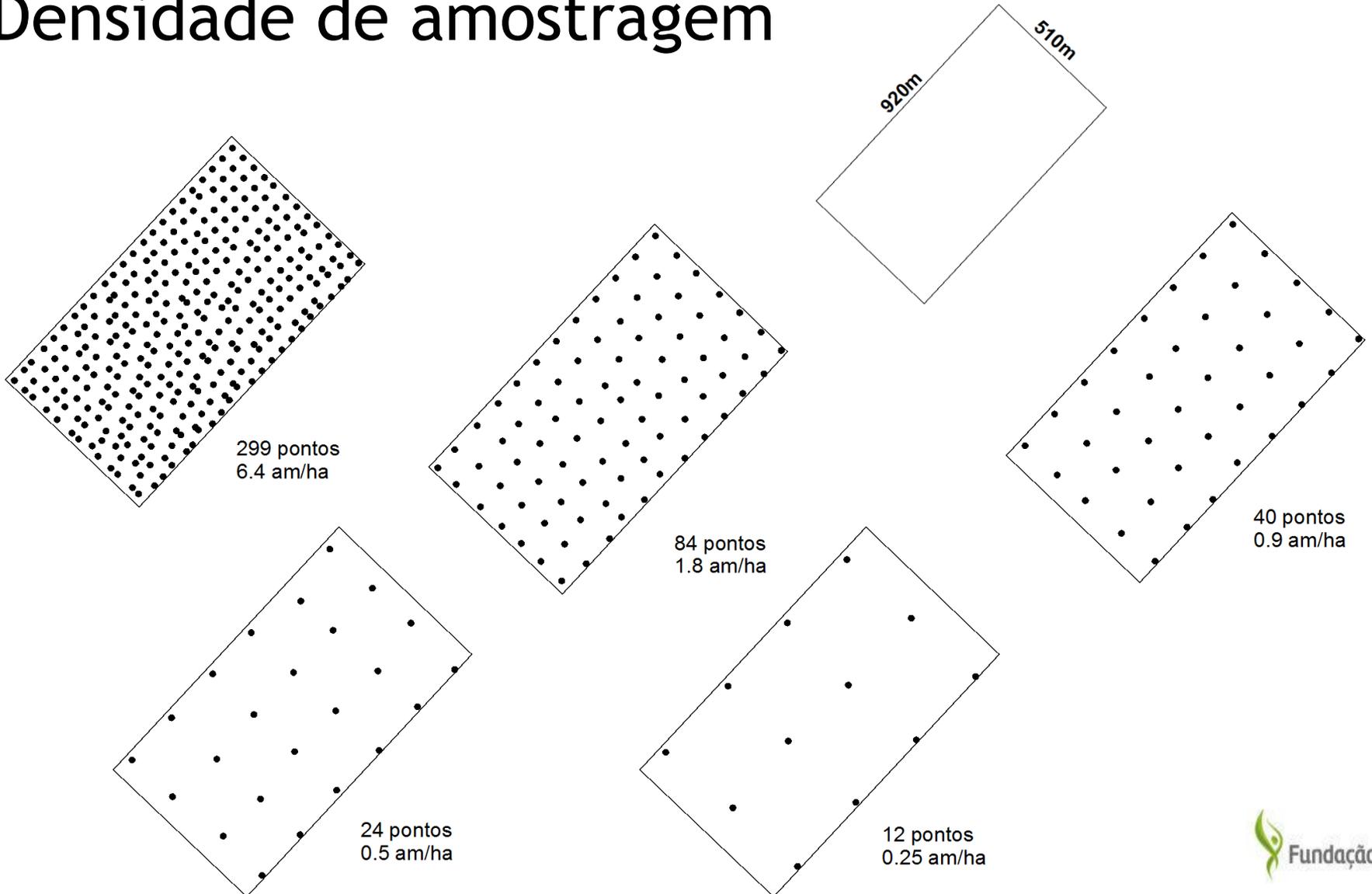
Amostragem sistemática  
em pontos, em grade,  
em "grid"

Capacidade de  
representar a  
variabilidade espacial é  
limitada pela densidade  
amostral, variabilidade  
induzida, erros na  
predição espacial



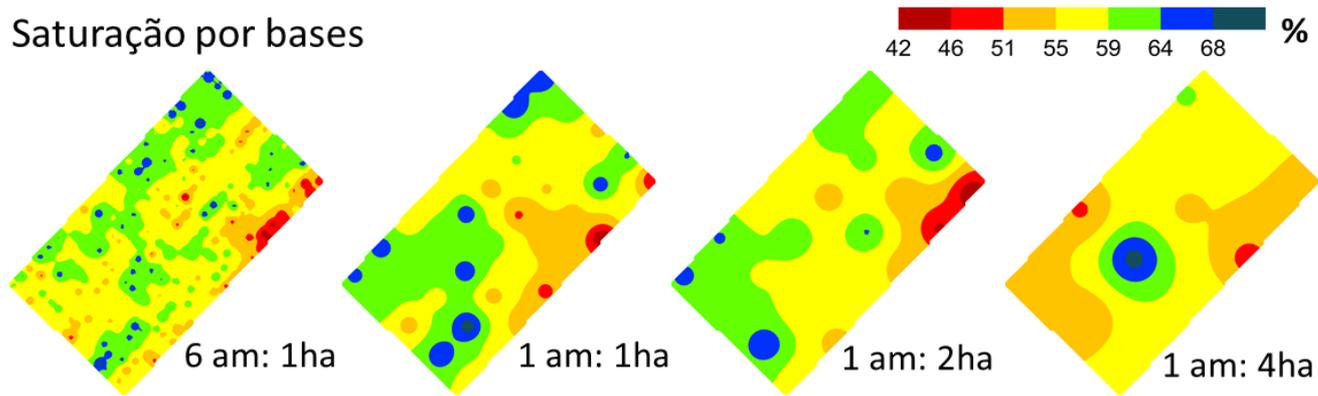
# Estudo de caso: lavoura no Mato Grosso

## Densidade de amostragem

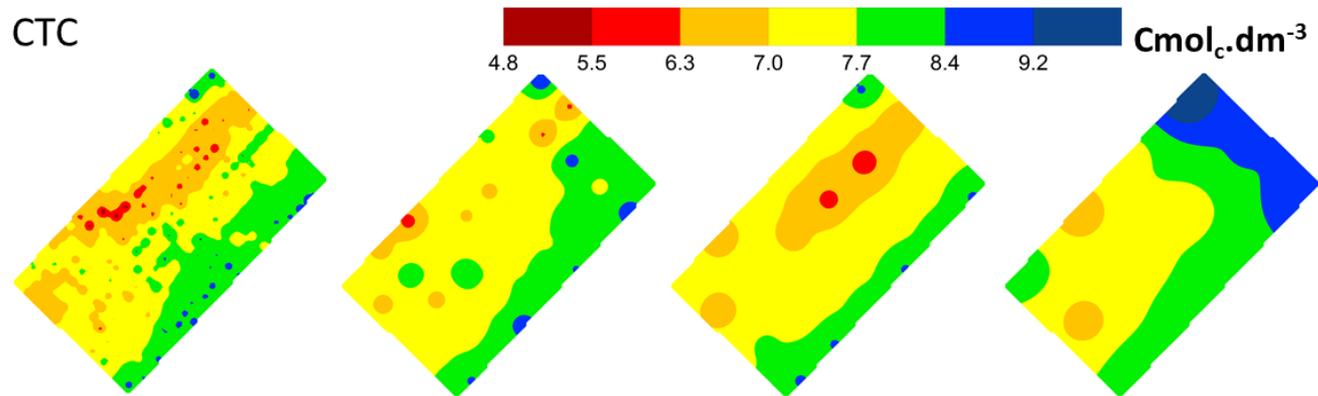


# Estudo de caso: lavoura no Mato Grosso

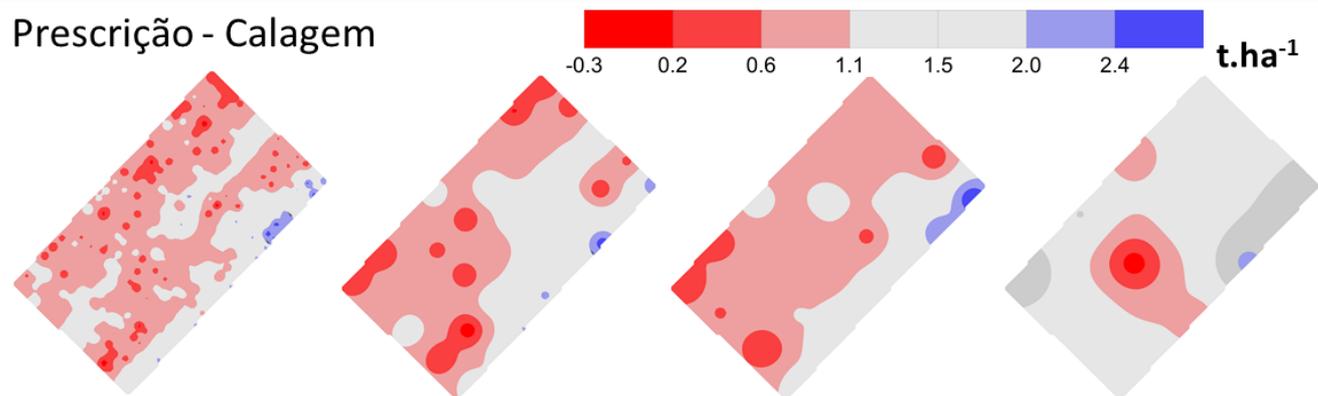
Saturação por bases



CTC



Prescrição - Calagem



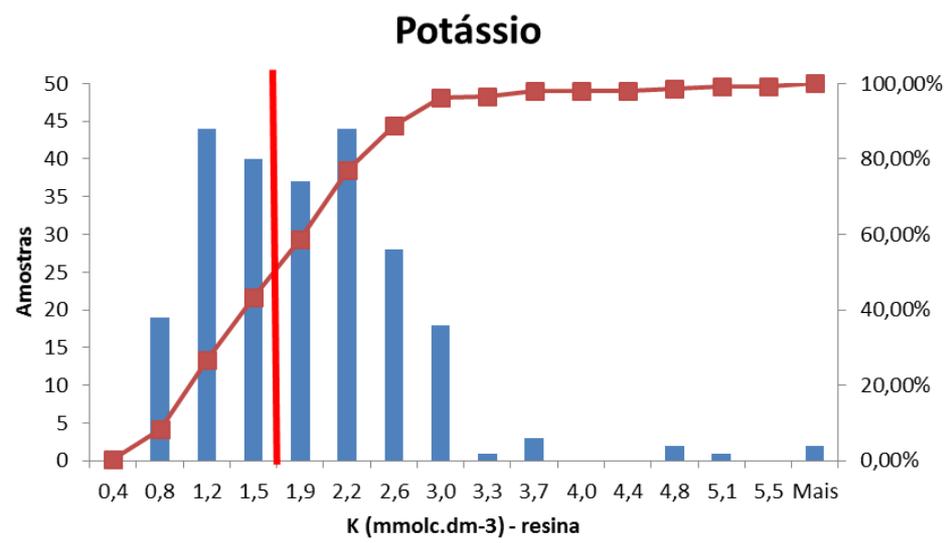
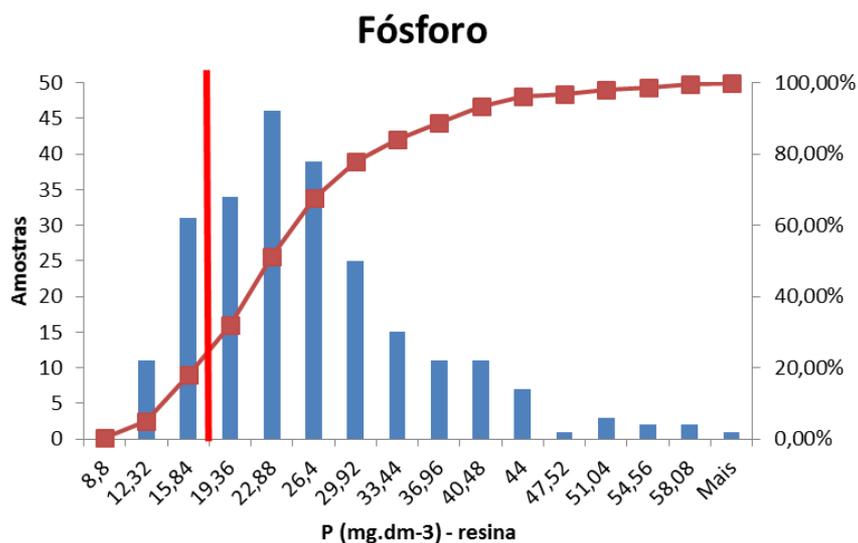
**1 amostra para  
2 hectares**

**Adequado para  
a maioria das  
condições**

**Subamostras  
Células**

# Amostragem do Solo

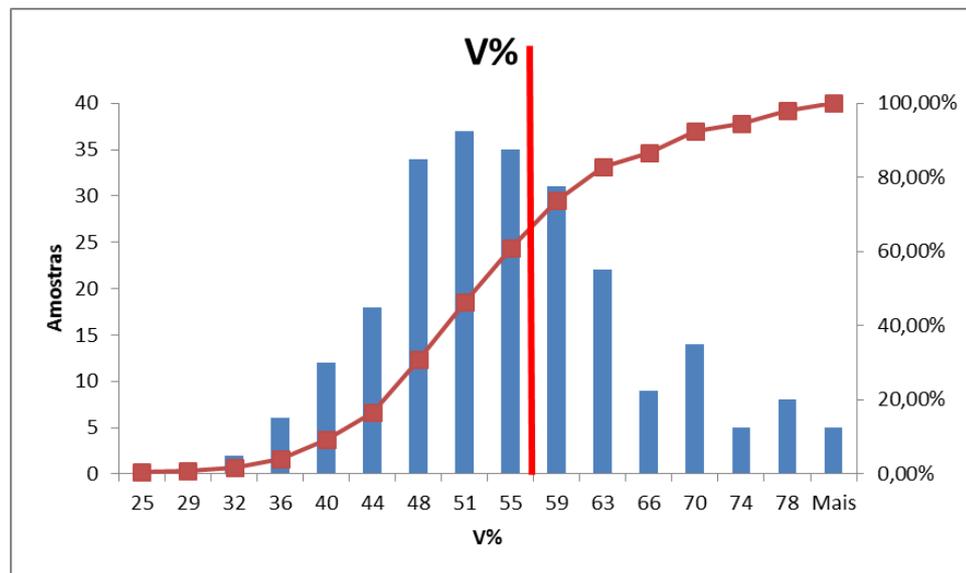
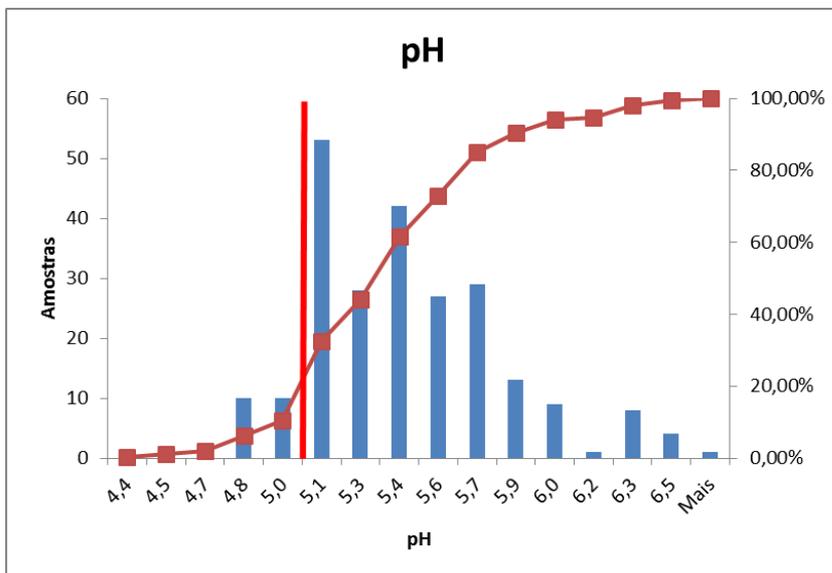
## Resultados amostragem dirigida – o a 20 cm 120 amostras em 9 Talhões



# Amostragem do Solo

## Resultados amostragem dirigida – 0 a 20 cm

### 120 amostras em 9 Talhões



# Resultados de Experimentos – f(produtividade)

## ✓ Experimento Soja: população de plantas, adubação, em função da região de produtividade

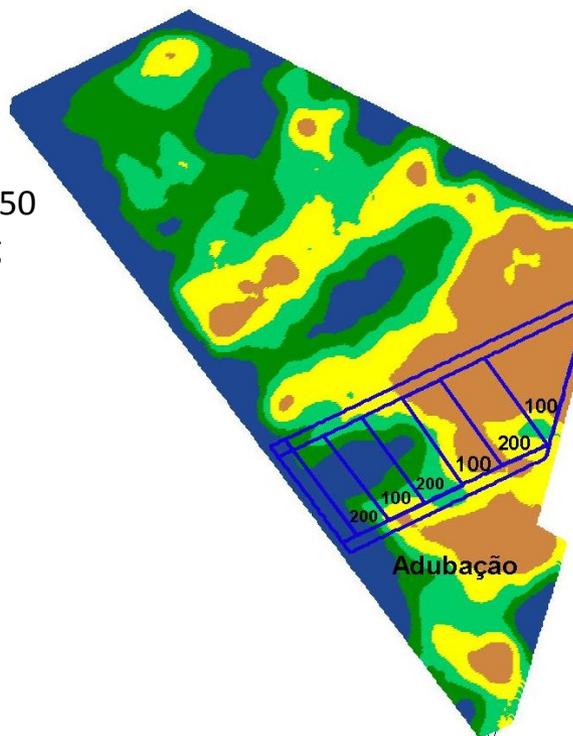
TMG 1179 semeada em  
26/10/2013

Adubação:  
Antecipada em superfície, 250  
kg ha<sup>-1</sup> de SSimples + 200 kg  
ha<sup>-1</sup> Kcl + 50 kg ha<sup>-1</sup> MAP

População (0,45 m):  
16 sem/m, 11 sem/m, 21  
sem/m

Granulometria:  
Arenoso, 16% de argila

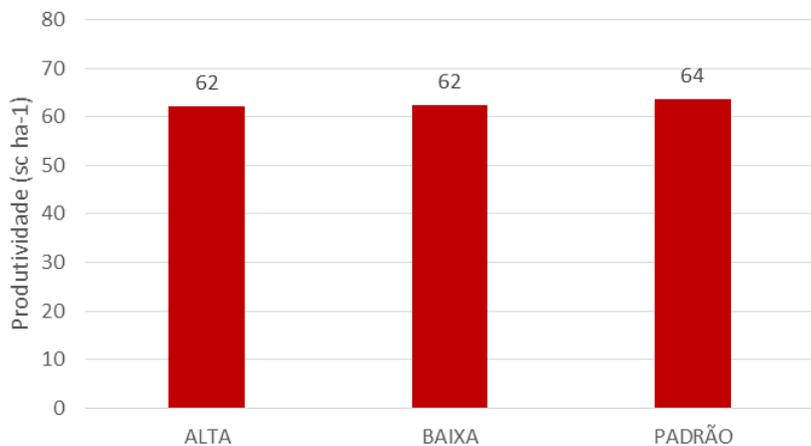
Obs:  
Manchas de operações  
anteriores



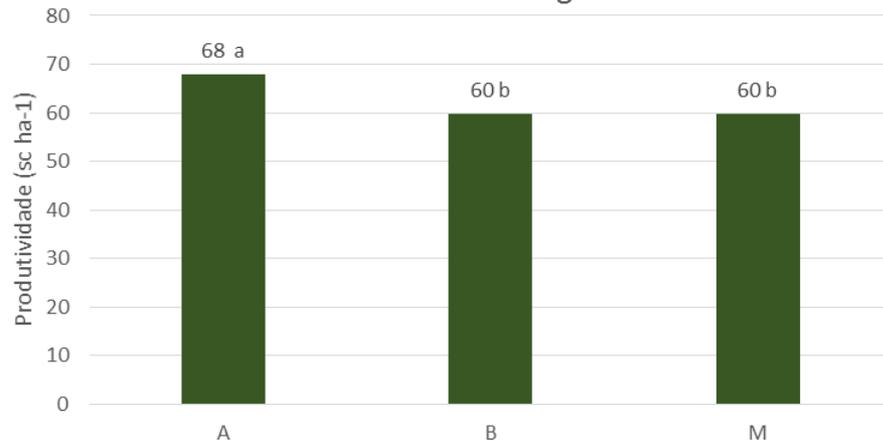
Causa de Variação	Prob > F
População	0,9263
<b>Região</b>	<b>0,0003</b>
Adubação	0,1903
Interação Pop x Região	0,4745
Interação Pop x Adubação	0,7971
Interação Região x Adubação	0,9315
Interação Pop. x Reg. x Adubação	0,8891

# Resultados de Experimentos – f(produtividade)

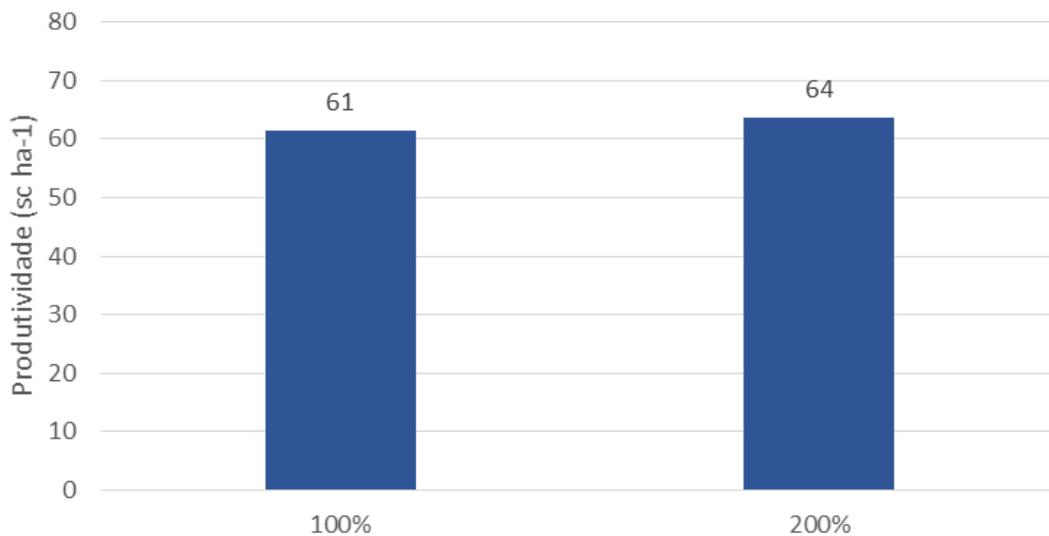
## Produtividade x População



## Produtividade x Região



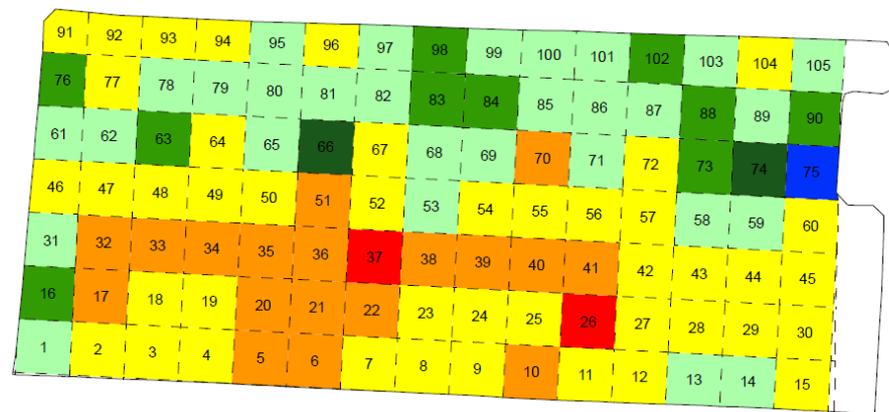
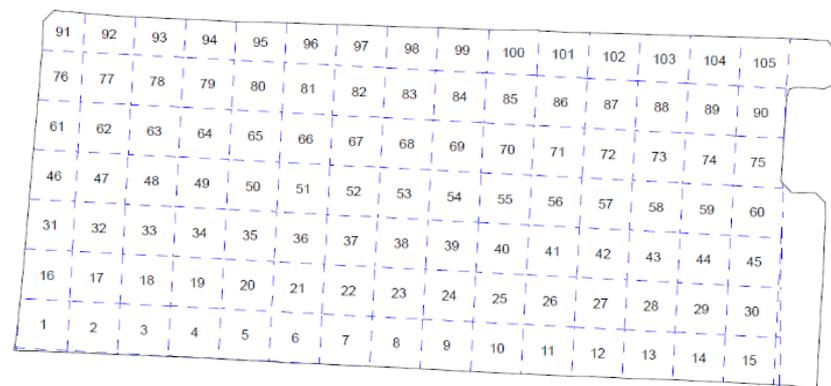
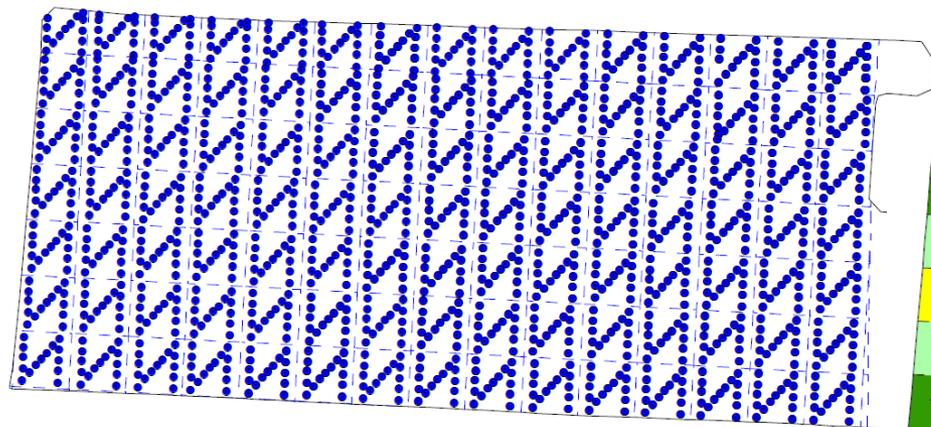
## Produtividade x Adubação



# Alternativa à amostragem em pontos

## Amostragem sistemática em células

- ✓ Maior número de subamostras
- ✓ Maior tempo de coleta
- ✓ Menor densidade
- ✓ Menor frequência



# Cuidados na Caracterização da Variabilidade

## Aplicações em Superfície

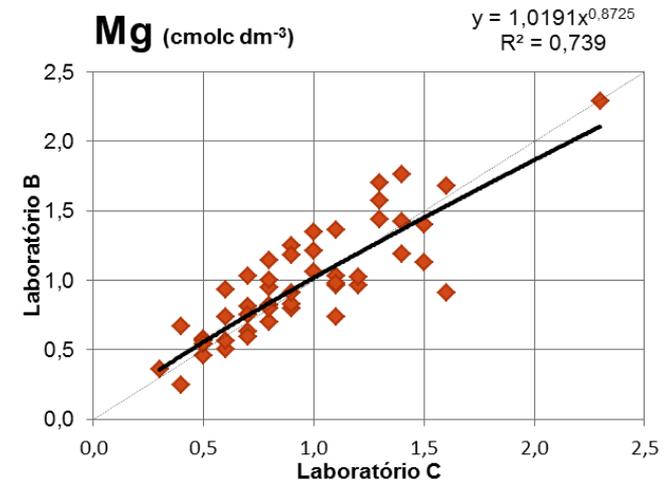
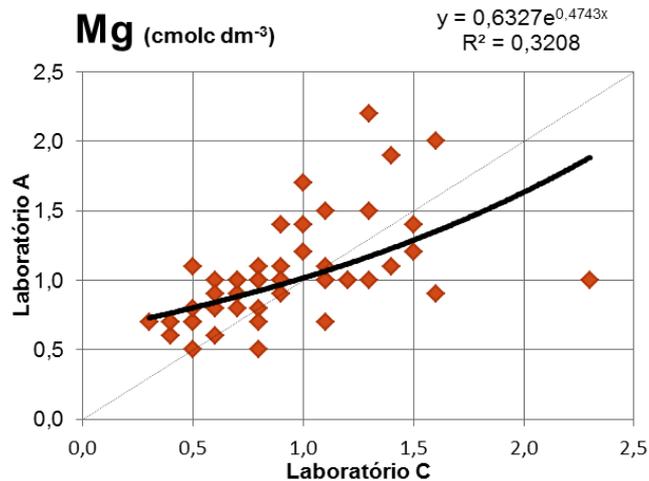
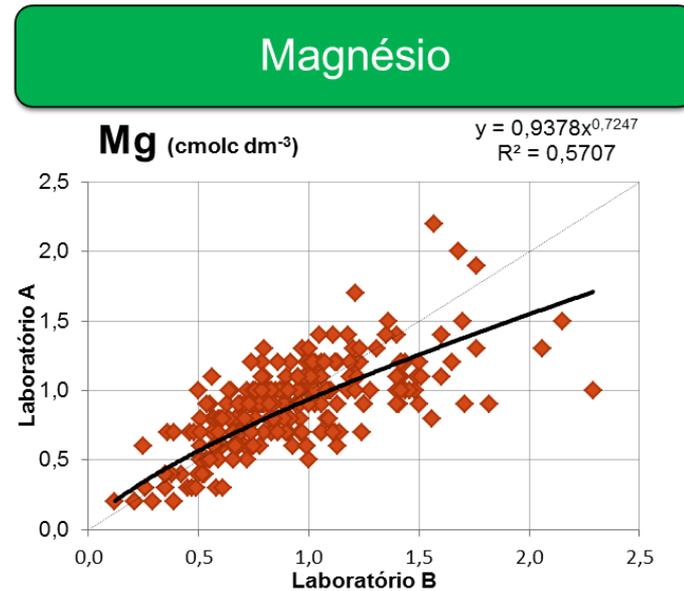
Estratificação dos teores de nutrientes!

Procedimento e ferramenta de coleta adequados?

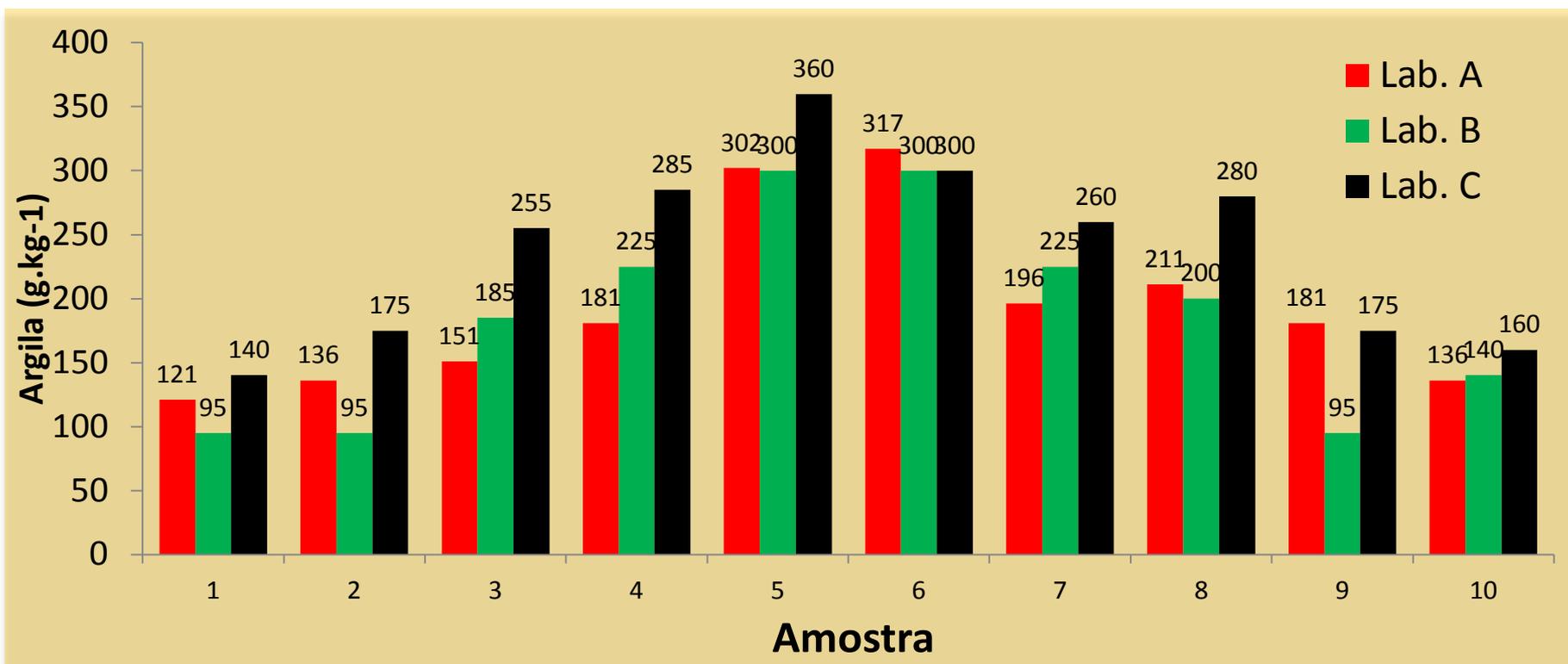
Prof.	pH <sub>CaCl2</sub>	P	K	Ca	Mg	Al	MO	SB	CTC	V%
0-2,5	5,5	19,8	0,37	5,4	1,5	0,0	4,1	7,3	10,6	69
2,5-5,0	5,2	13,7	0,27	3,8	1,2	0,0	4,0	5,3	10,3	51
5,0-7,5	4,6	12,4	0,21	2,4	0,8	0,3	3,8	3,4	9,8	35
7,5-10	4,5	8,4	0,14	1,9	0,7	0,3	3,5	2,7	9,5	29
10-12,5	4,5	3,9	0,12	1,7	0,6	0,4	3,7	2,4	9,6	25
12,5-15	4,4	1,7	0,12	1,1	0,5	0,4	3,0	1,7	8,2	21
15-17,5	4,3	1,4	0,10	0,6	0,3	0,4	2,4	1,0	6,4	16
17,5-20	4,3	0,6	0,10	0,4	0,2	0,5	2,2	0,7	6,2	11
0-20	4,7	7,6	0,19	2,3	0,9	0,2	3,4	3,4	9,2	37

# Cuidados na Caracterização da Variabilidade

## Qualidade dos resultados analíticos



## Qualidade dos resultados analíticos



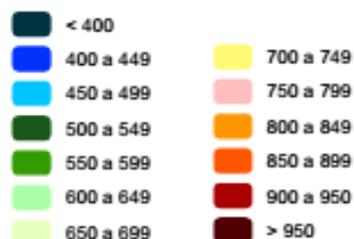
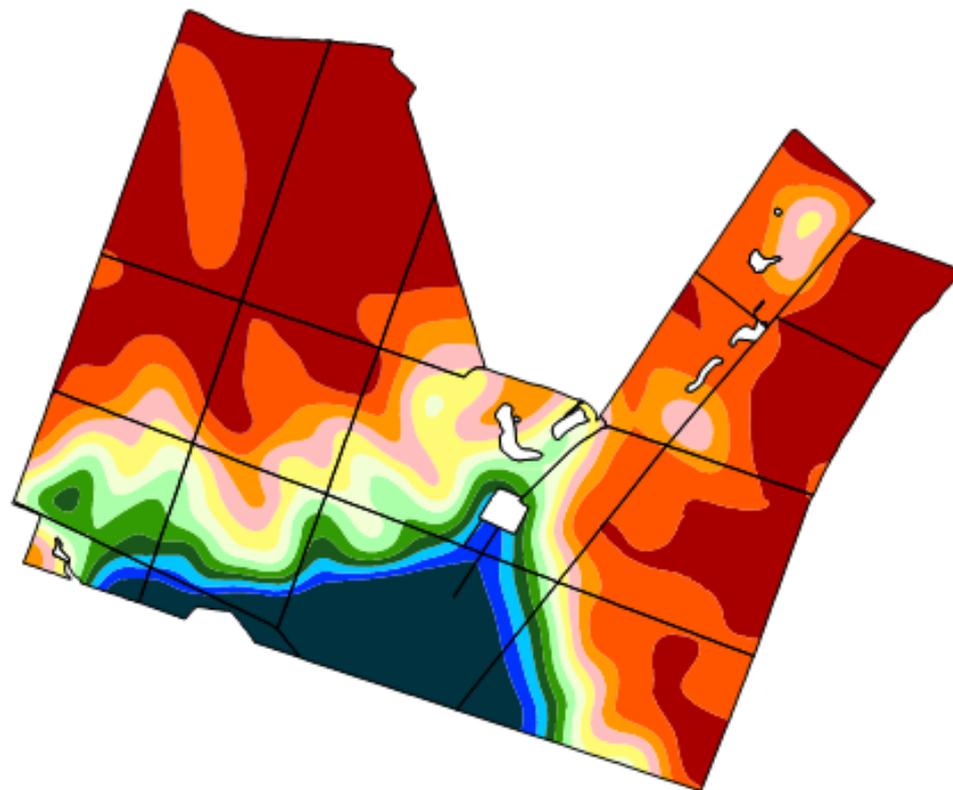


# Variabilidade do Solo

## Física

# Amostragem para Granulometria

- ✓ Em pontos, com menor densidade;
- ✓ Apenas uma vez;
- ✓ Subdivisão das áreas em função da capacidade de reter água e nutrientes;
- ✓ Manejo de população de plantas, cultivares, nutrição e correção.



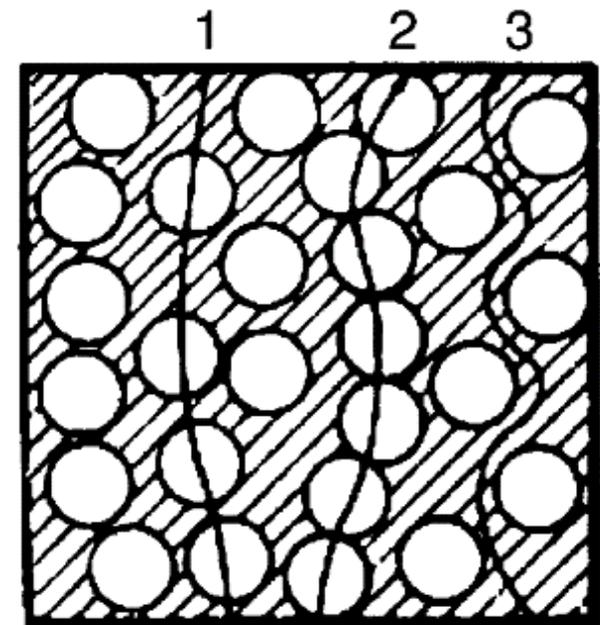
Escala:  
1:50.000



# Condutividade Elétrica Aparente do Solo



**Passagem da corrente elétrica pelo solo**



# Condutividade Elétrica Aparente do Solo

Resultados para a correlação de Pearson entre atributos do solo e a CEa em função da condição de umidade

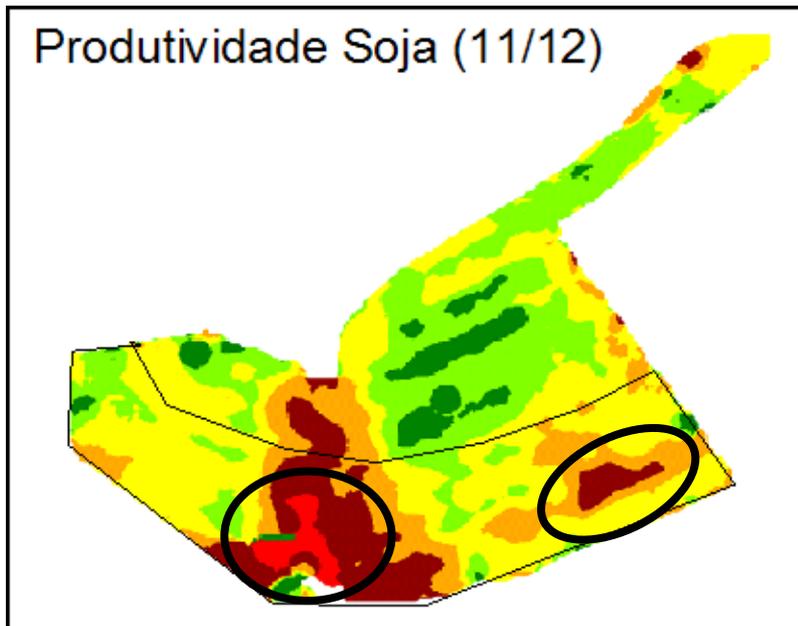
Umidade Elevada			Umidade Baixa		
Atributos	r	p-valor	Atributos	r	p-valor
Silte	0,56	<0,0001	Poros entre 0,03 e 0,05 mm*	0,53	<0,0001
Macroporosidade	-0,49	<0,0001	SR	0,52	<0,0001
Poros entre 0,03 e 0,05 mm*	0,49	<0,0001	RP	0,49	<0,0001
RP	0,42	<0,0001	Poros entre 0,05 e 0,1 mm*	-0,47	<0,0001
Poros > 0,1 mm*	-0,36	0,0010	Silte	0,44	<0,0001
Poros entre 0,05 e 0,1 mm*	-0,35	0,0013	Macroporosidade	-0,40	0,0002
Microporosidade	0,27	0,0166	Umidade vol.	0,39	0,0004
Poros < 0,03 mm*	-0,24	0,0340	Microporosidade	0,36	0,0012
PT	-0,15	0,1961	Poros < 0,03 mm*	-0,34	0,0020
SR	0,14	0,2122	Poros > 0,1 mm*	-0,25	0,0276
Areia	-0,12	0,2702	Areia	-0,21	0,0660
Ds	0,11	0,3444	Argila	0,08	0,4714
Argila	-0,03	0,7932	Ds	-0,06	0,5989
Umidade vol.	-0,02	0,8448	PT	0,01	0,9278

\*Percentual da PT com poros de diâmetro equivalente ao intervalo considerado

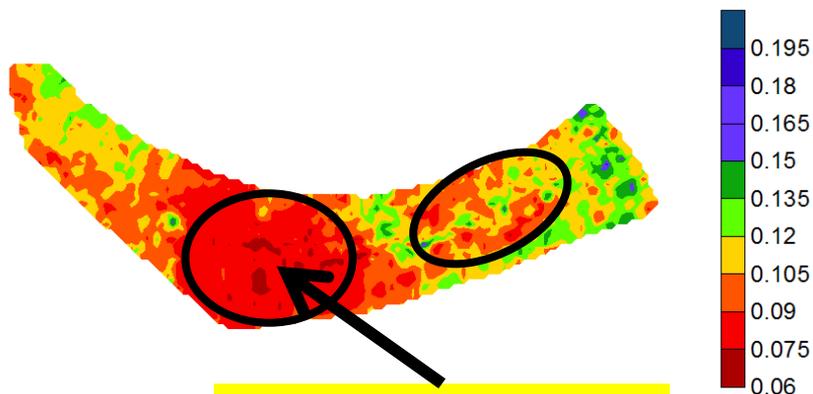
# Condutividade Elétrica Aparente do Solo



# Condutividade Elétrica Aparente do Solo

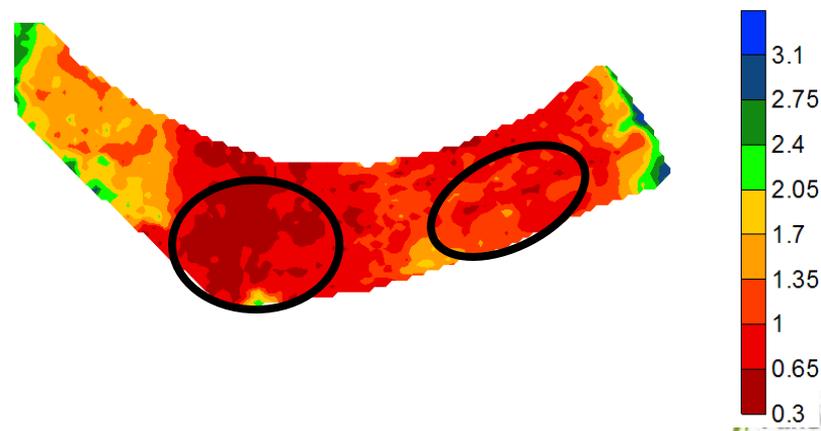


NDVI - Crotalaria 2012



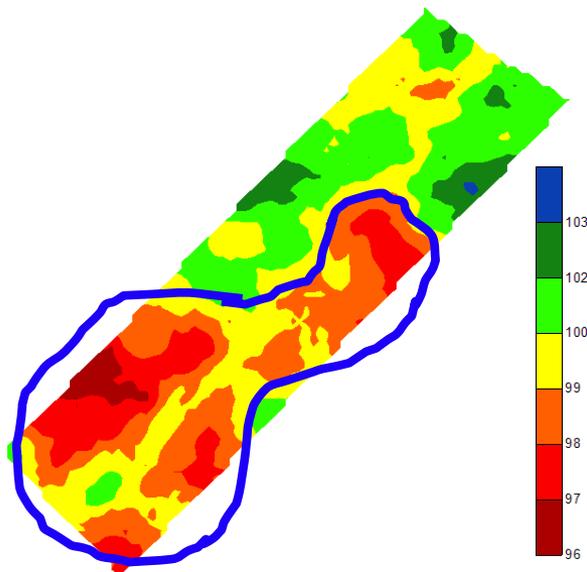
**Adubar cobertura verde?**

Condutividade Elétrica (mS.m-1)

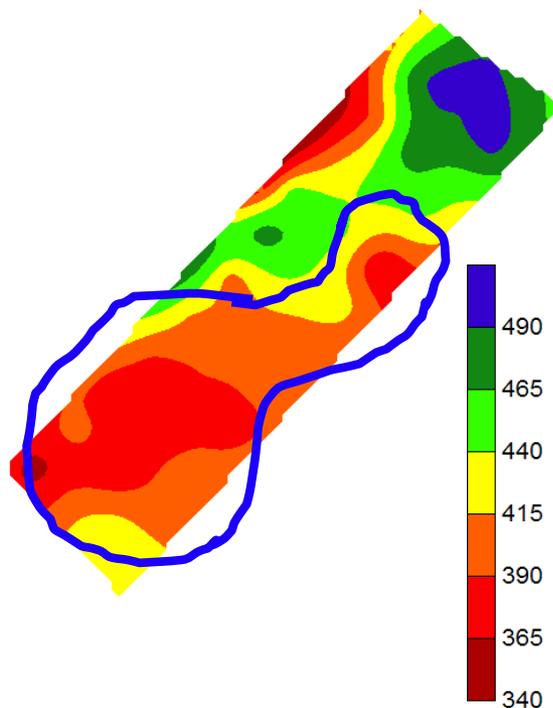


# Condutividade Elétrica Aparente do Solo

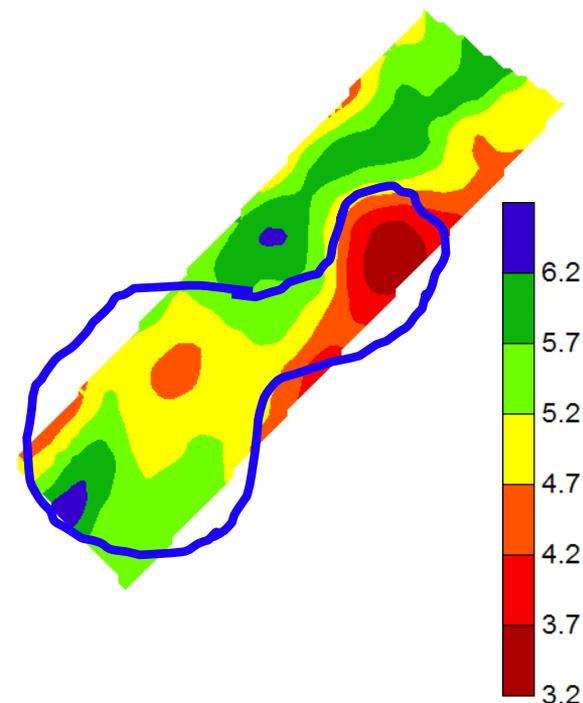
Milho 2011/2012  
Rendimento Relativo (%)



Argila (g.kg-1)  
0.1 a 0.2 m



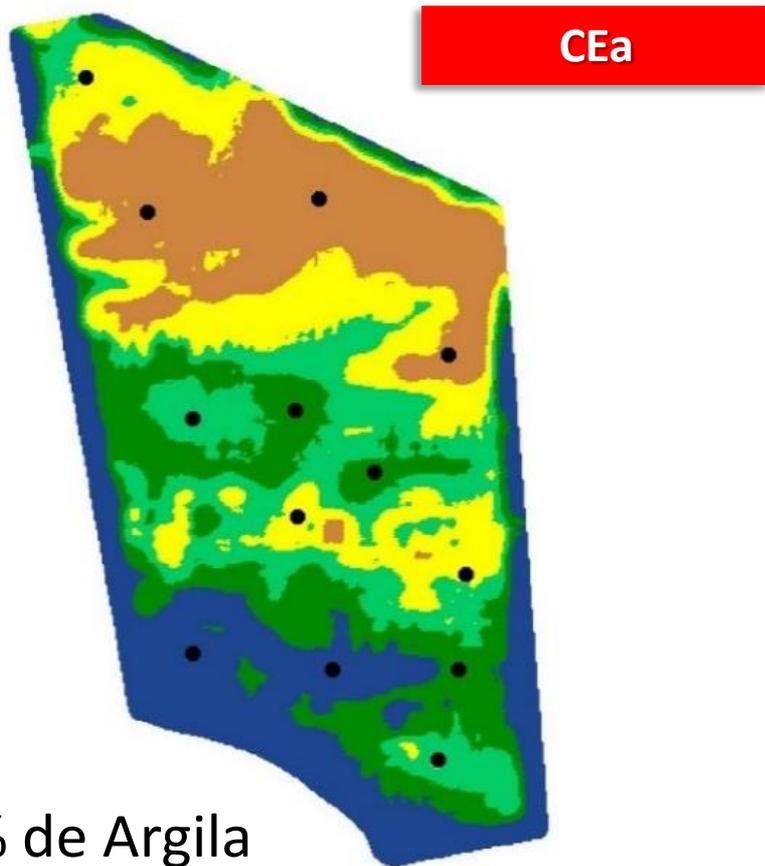
Condutividade Elétrica  
Prof. - 0 a 0.3 m



**Gestão da água disponível: impedimentos físicos e químicos: população de plantas em taxa variável, herbicidas pré/residuais...**

# Amostragem Dirigida pela CEa

✓ Correlações entre CEa e parâmetros do solo – T212

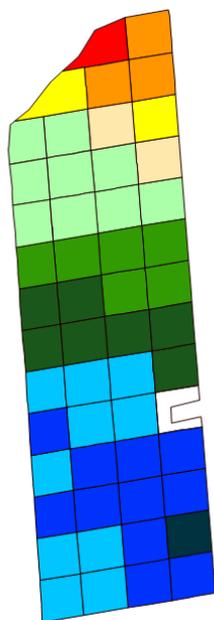


63 a 66% de Argila

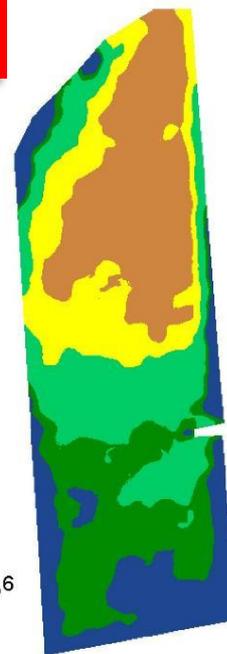
NDVI	
	r
CTC 0 a 10 cm	0,61
Al 30 a 40 cm	0,60
H+Al 10 a 20 cm	0,57
M% 30 a 40 cm	0,57
S 30 q 40 cm	0,49
Alumínio 0 a 10 cm	0,46
M% 0 a 10 cm	0,43
H+Al 0 a 10 cm	0,43
Areia grossa 0 a 10 cm	0,40
Silte 0 a 10 cm	-0,51
V% 10 a 20 cm	-0,51
Mat. Orgânica 10 a 20 cm	-0,50
Argila 50 a 60 cm	-0,49
Mg 10 a 20 cm	-0,46
Silte 20 a 30 cm	-0,43

# Amostragem Dirigida pela CEa

✓ Correlações entre CEa e parâmetros do solo – T261



**CEa**



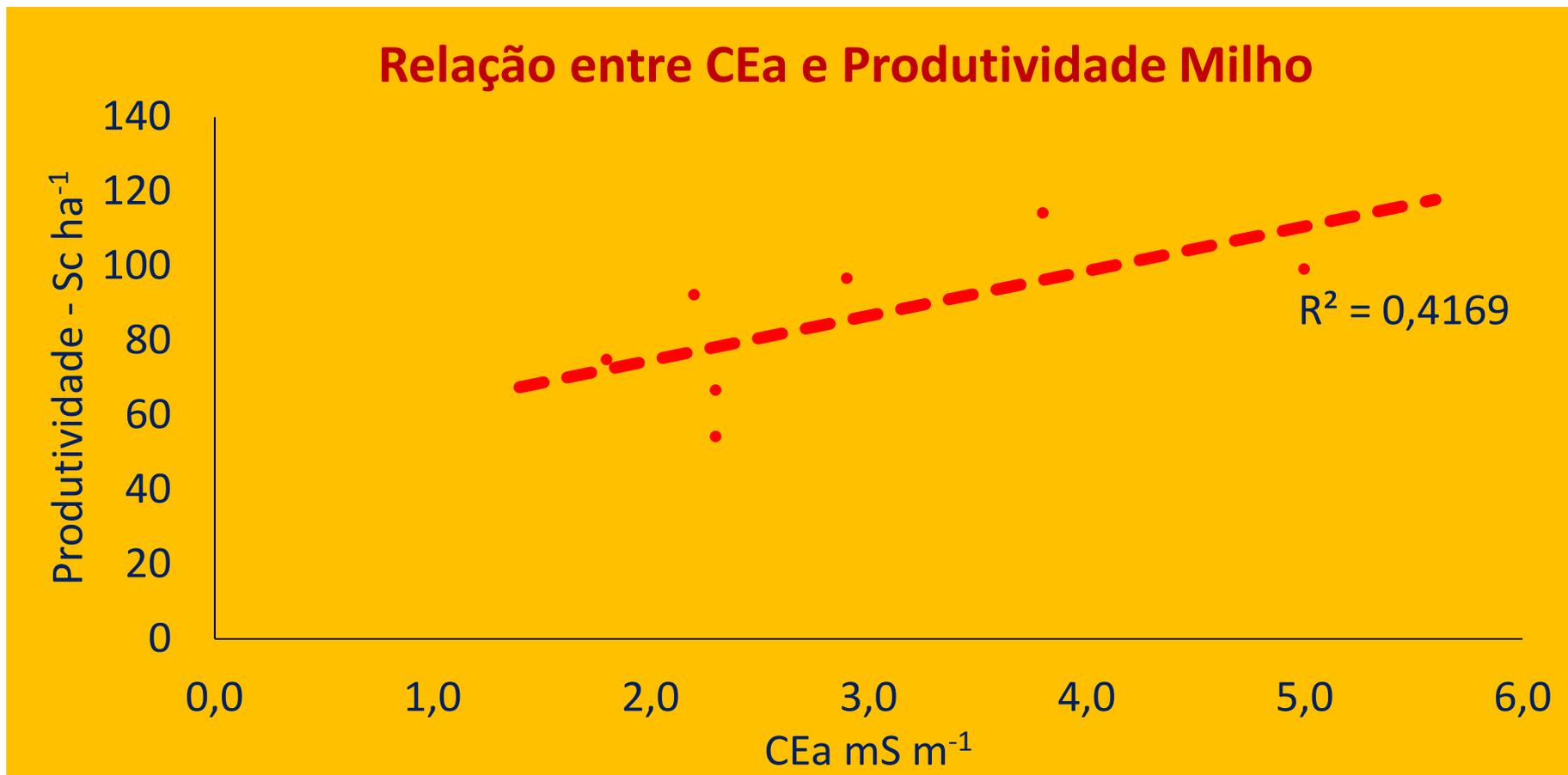
b)CEa (mS/m)  
 Marrom - 1,5  
 Amarelo - 1,9  
 Verde - 2,9  
 Verde Escuro - 3,6  
 Azul - 4,2

17 a 63% de Argila

CEa	
	r
Fósforo 0 a 10 cm	0,80
Argila 50 a 60 cm	0,78
Fósforo 30 a 40 cm	0,78
Ca 10 a 20 cm	0,78
CTC 10 a 20 cm	0,78
CTC 0 a 10 cm	0,76
Soma de Bases 10 a 20 cm	0,76
Argila 20 a 30 cm	0,76
Argila 0 a 10 cm	0,75
Soma de Bases 0 a 10 cm	0,74
Mat. Orgânica 0 a 10 cm	0,73
Potássio 30 a 40 cm	0,73
Ca 0 a 10 cm	0,71
Mg 10 a 20 cm	0,68
V% 0 a 10 cm	0,58
Areia grossa 0 a 10 cm	-0,59
M% 0 a 10 cm	-0,61
Areia total 0 a 10 cm	-0,77
Areia total 20 a 30 cm	-0,78
Areia total 50 a 60 cm	-0,79
Areia fina 0 a 10 cm	-0,81
Areia fina 20 a 30 cm	-0,82
Areia fina 50 a 60 cm	-0,84

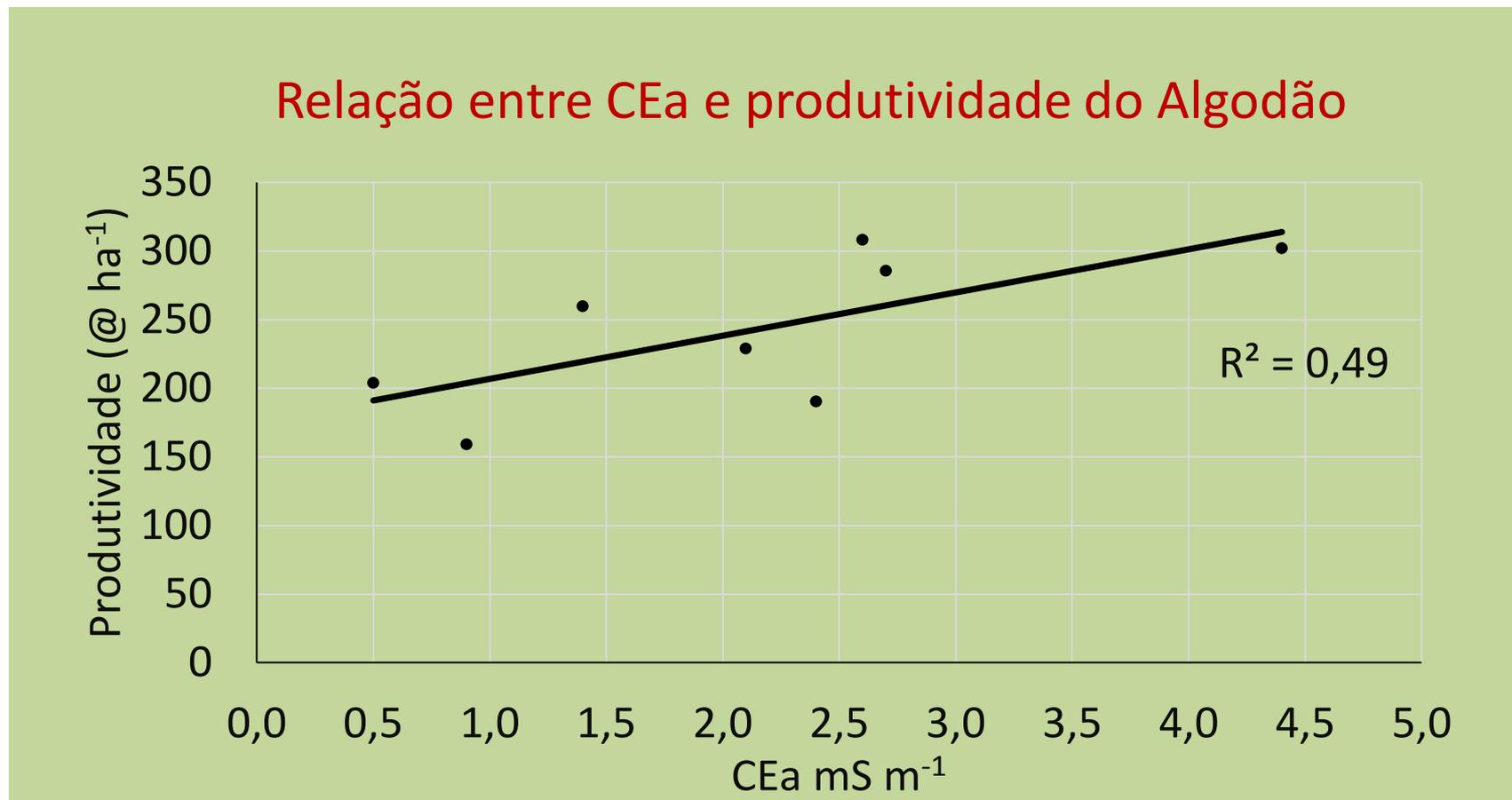
# Condutividade Elétrica e Produtividade

Valores médios de 7 talhões

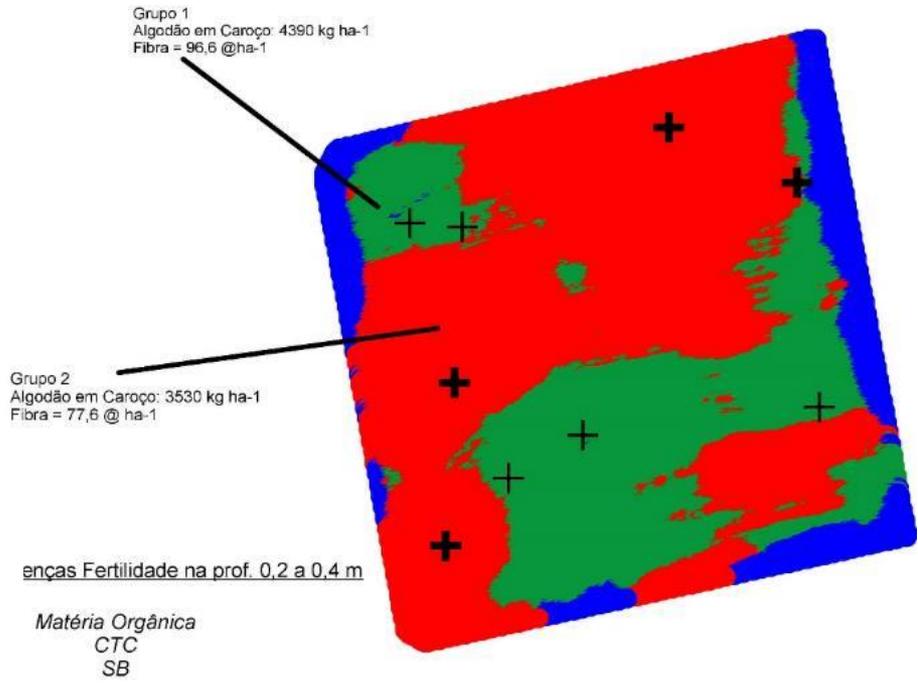
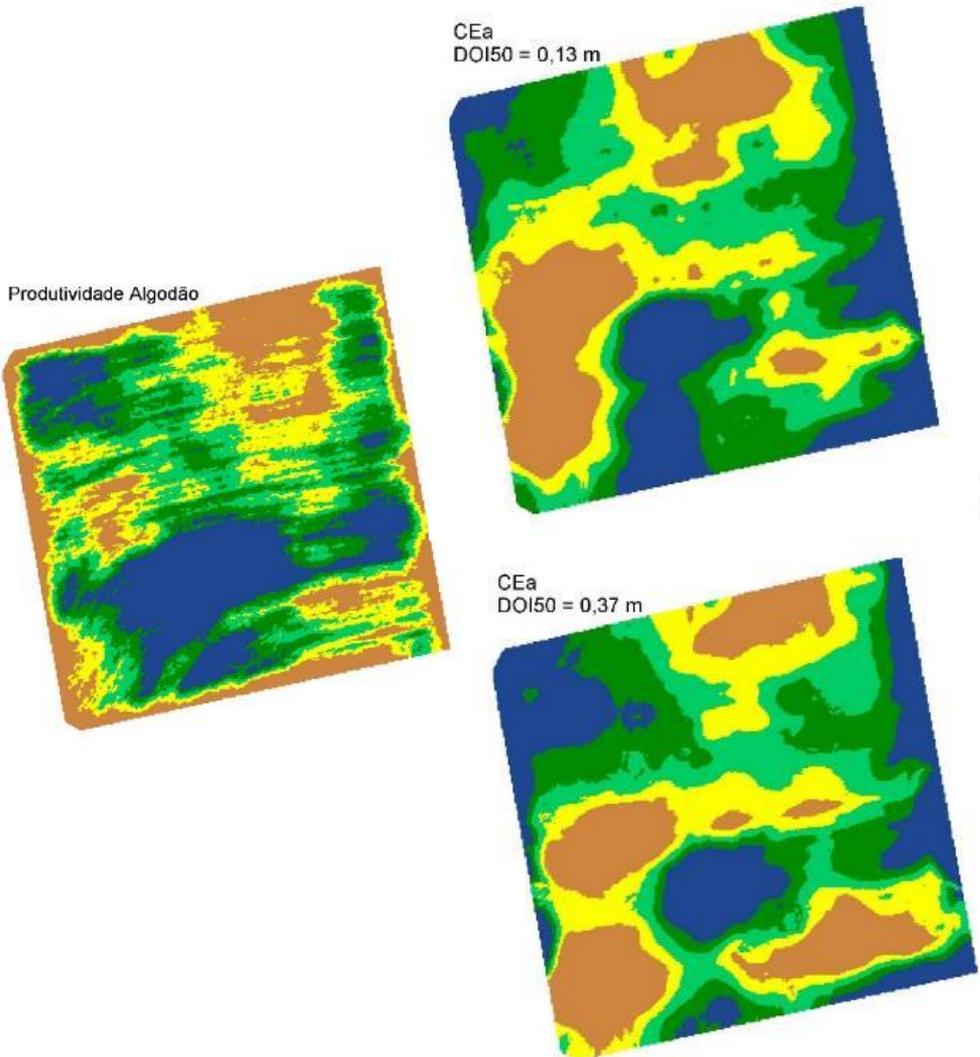


# Condutividade Elétrica e Produtividade

Valores médios de 8 talhões

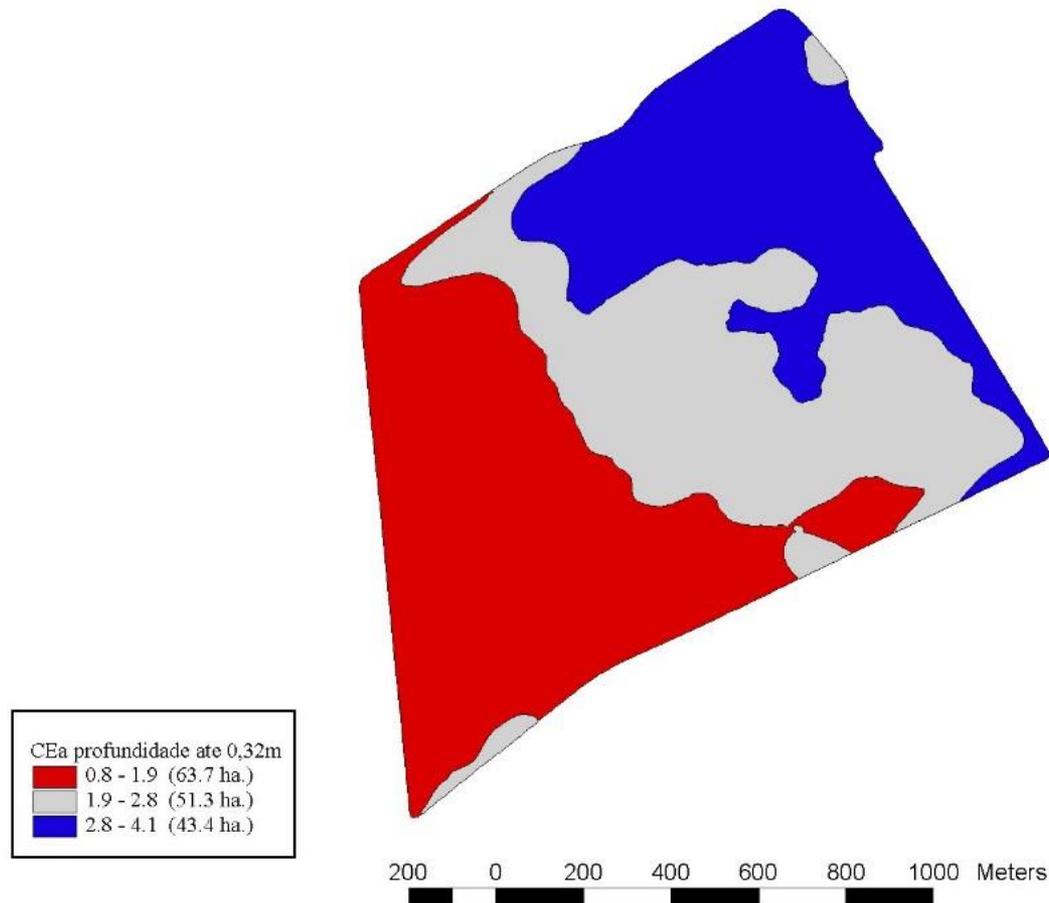


# Condutividade Elétrica Aparente do Solo



# Classificação estatística propriedades do solo

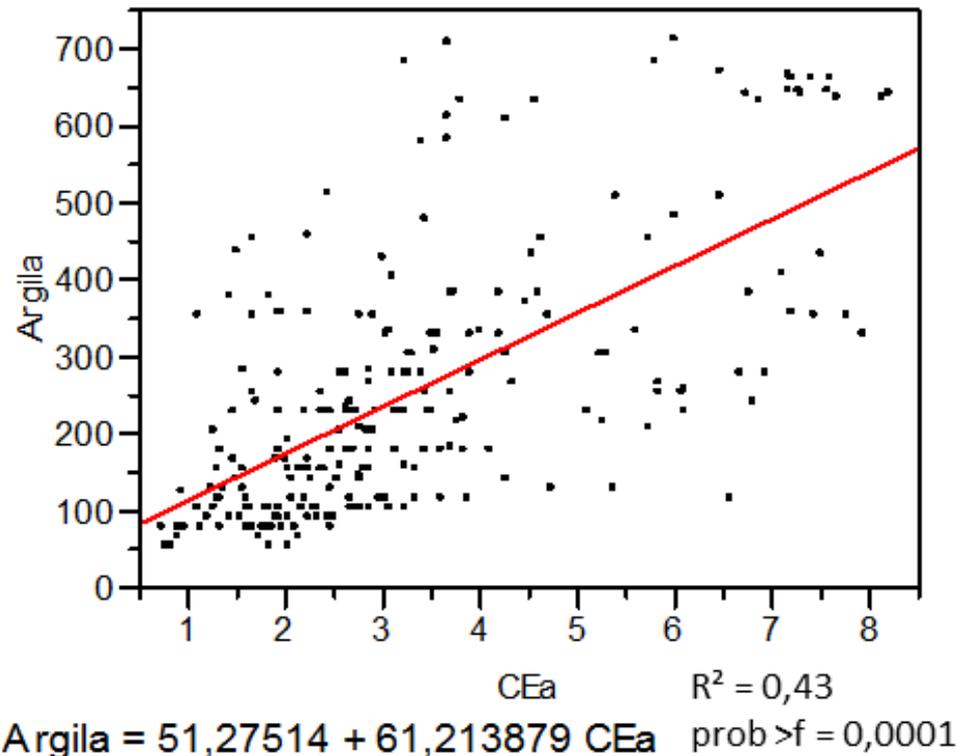
- ✓ Dentro de cada classe a menor variabilidade possível;
- ✓ Entre cada classe a maior variabilidade possível;
- ✓ 3 classes como passo inicial



# Amostragem Dirigida

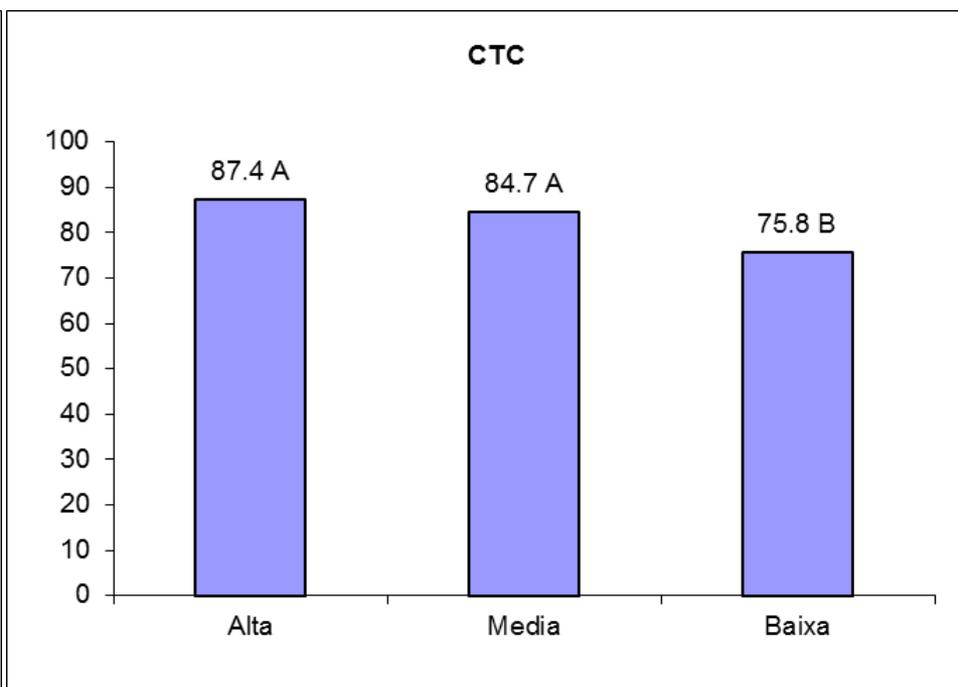
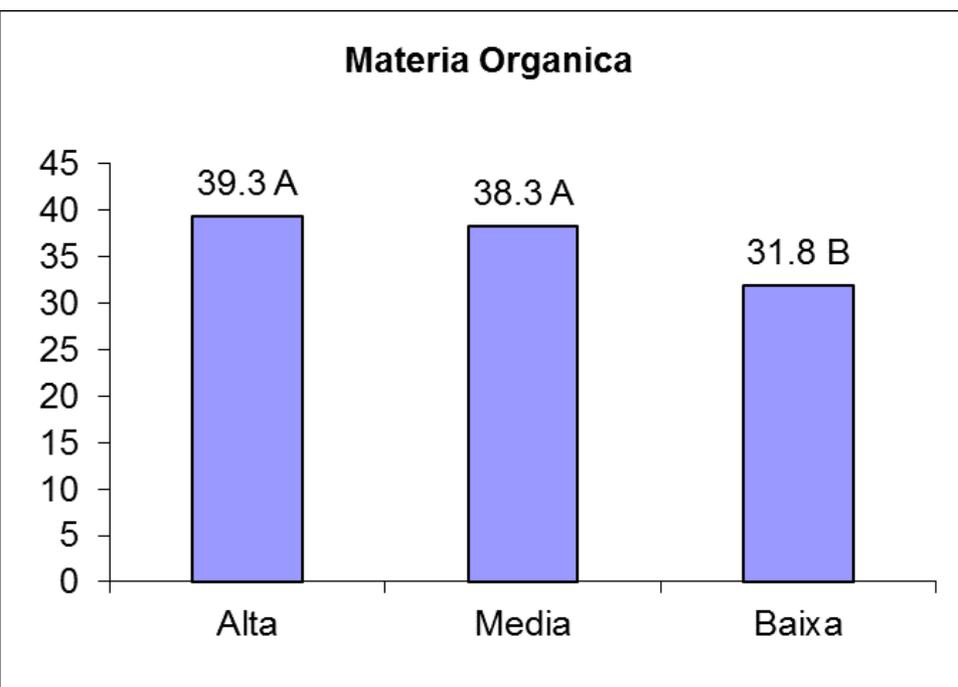
- ✓ Relação entre CEa e Argila no solo
  - ✓ 240 amostras em 16 talhões
  - ✓ Serra Petrovina e Primavera do Leste

Argila < 150 g kg<sup>-1</sup>  
CEa < 1,6 mS m<sup>-1</sup>



# Amostragem Dirigida pela CEa

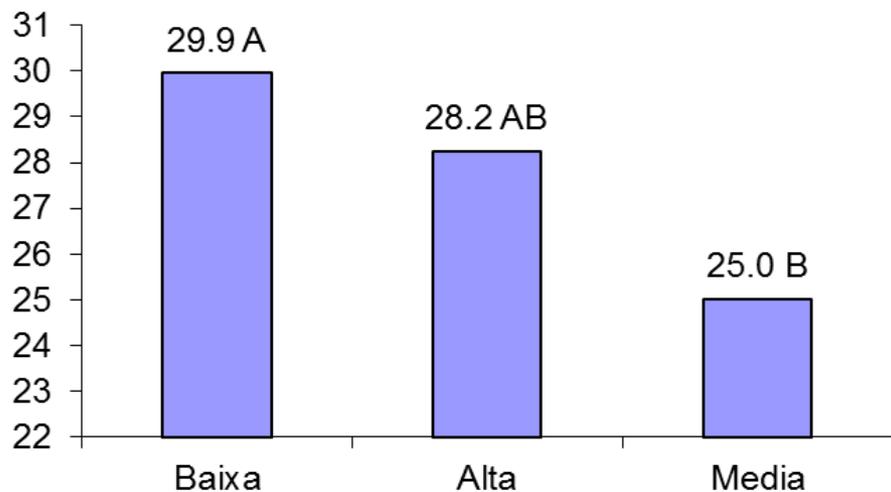
## ✓ Nutrientes e cargas



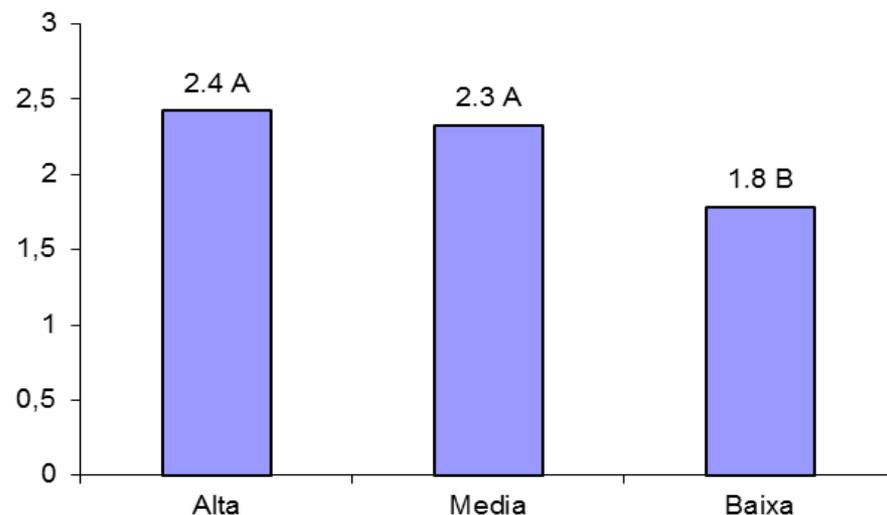
# Amostragem Dirigida pela CEa

## ✓ Nutrientes e cargas

**Fósforo**

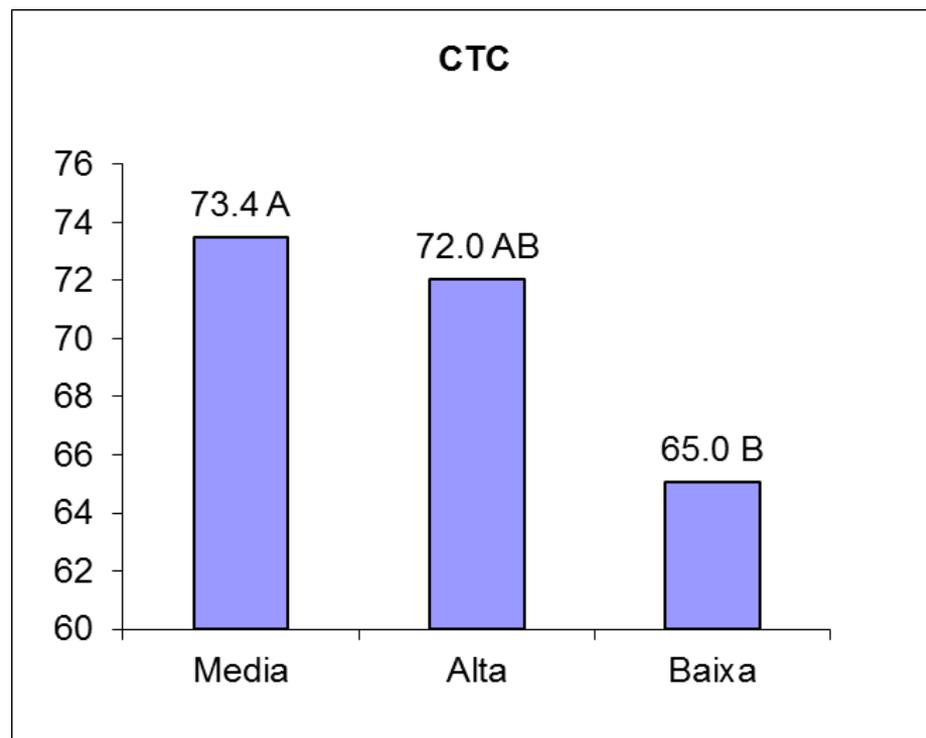
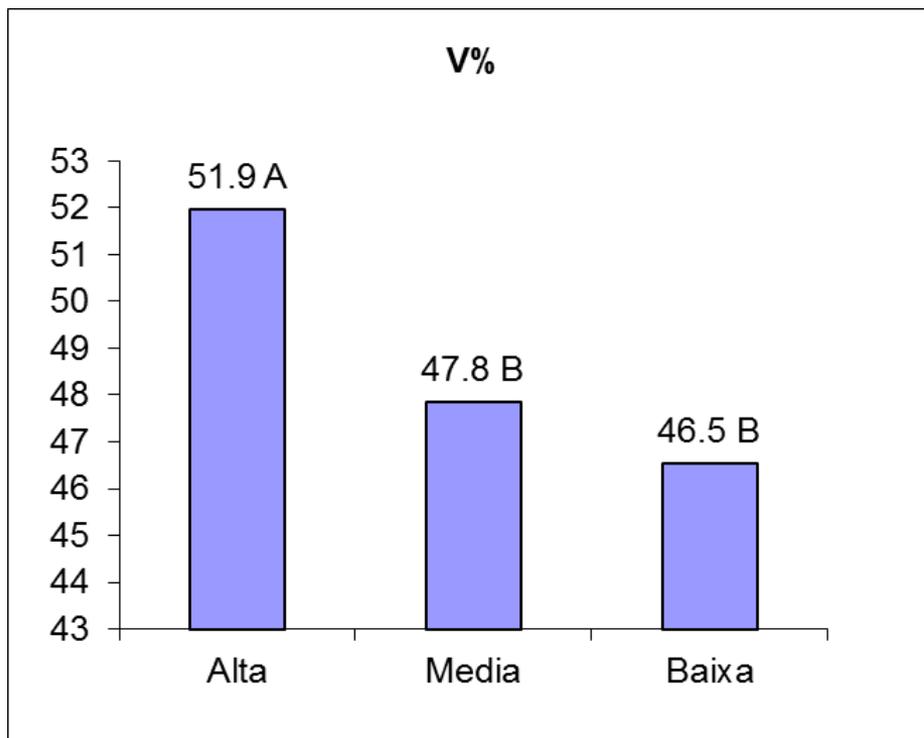


**Potássio**



# Amostragem Dirigida

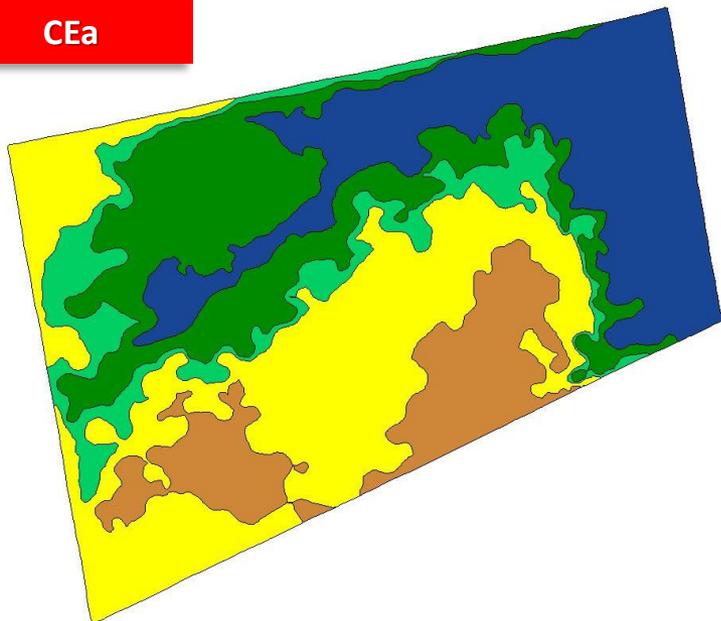
## ✓ Nutrientes e cargas



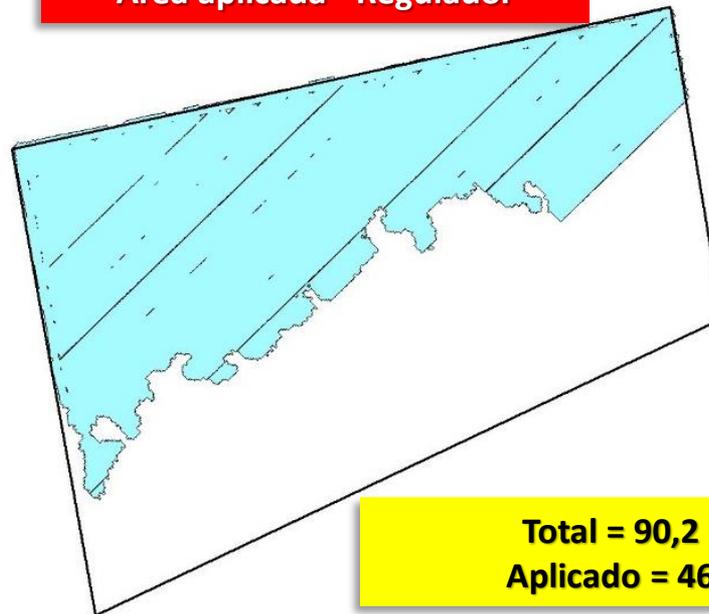
# Condutividade Elétrica Aparente

Definição de regiões que receberão regulador de crescimento

CEa



Área aplicada - Regulador



Total = 90,2 ha  
Aplicado = 46 ha



# Qualidade de aplicação dos Fertilizantes e Corretivos

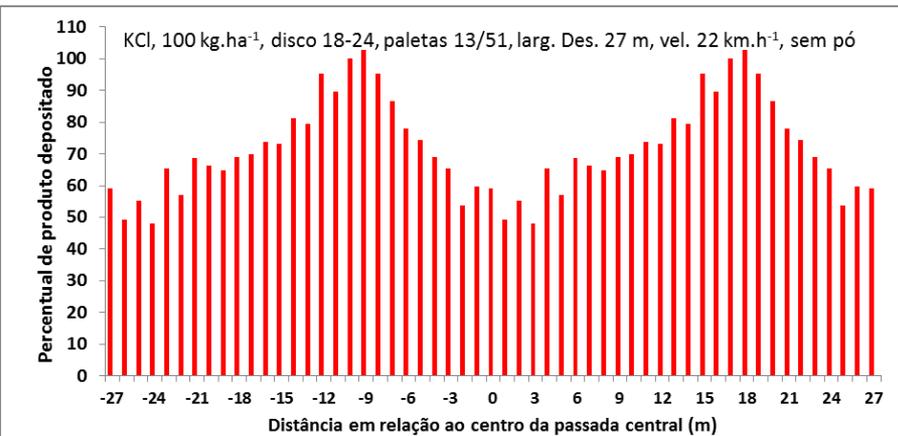
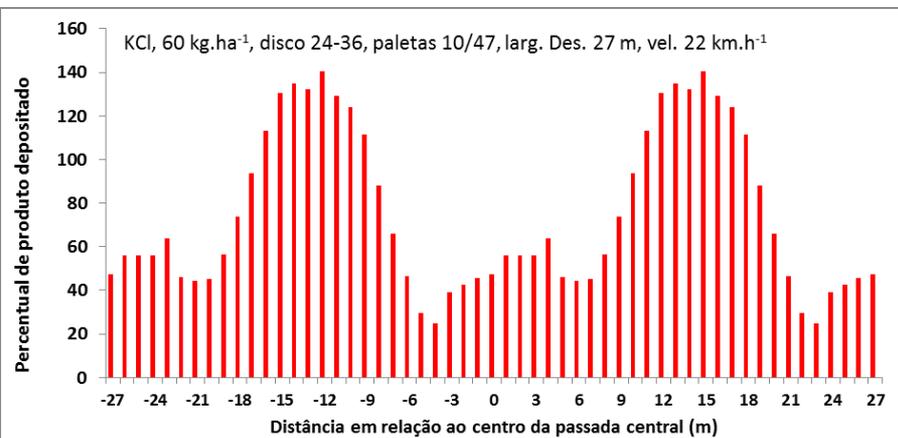
# Cuidados na Aplicação de Fertilizantes



**“Jogar a Lanço” ou Aplicar em Superfície?**

# Cuidados na Aplicação de Fertilizantes

## Aplicação de fertilizantes em superfície

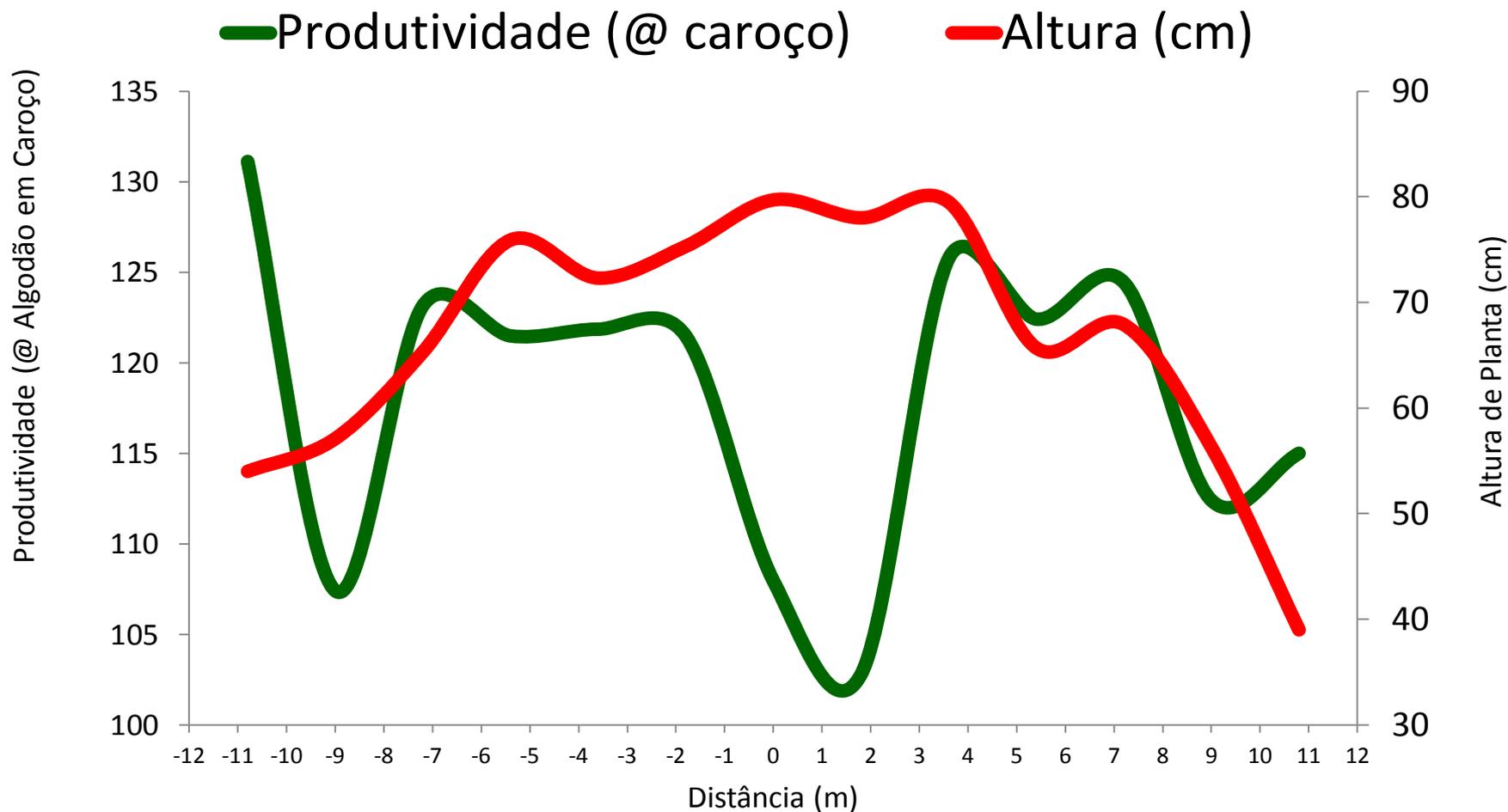


### Cloreto de potássio

Valores de coeficientes de variação médios para as distribuições

Largura (m)	T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1.7	1.4	2.4	1.9	1.3	1.5
4	1.8	1.4	1.2	0.9	1.8	2.4
5	1.3	2.4	2.4	2.9	2.3	3.0
6	1.6	6.3	2.8	5.7	6.6	3.3
7	3.2	6.0	3.5	6.4	4.8	4.4
8	5.4	3.5	5.9	4.5	7.3	3.4
9	10.2	4.3	9.0	7.1	7.1	4.8
10	16.7	5.8	9.6	11.0	6.7	7.0
11	21.2	7.6	9.9	20.0	9.3	9.9
12	21.6	8.4	9.7	25.6	12.3	8.0
13	18.0	9.9	8.7	25.6	12.0	3.7
14	12.8	8.9	8.5	20.0	8.8	8.5
15	7.4	8.9	7.5	10.9	9.1	16.5
16	7.3	10.4	7.3	4.5	12.0	24.6
17	10.2	13.3	7.9	14.1	14.6	30.8
18	13.8	14.6	8.3	24.6	19.9	35.5
19	17.3	15.5	9.5	33.5	24.3	38.1
20	20.1	14.5	10.9	40.8	27.1	39.3
21	21.9	13.3	13.4	47.0	29.7	38.9
22	22.7	11.4	15.1	51.3	31.5	37.2
23	22.7	11.3	18.1	54.1	32.6	34.4
24	22.0	11.4	20.7	55.1	31.8	30.6
25	21.1	14.0	23.6	54.7	30.5	26.2
26	20.5	17.4	26.6	52.6	28.1	21.4
27	21.0	21.4	29.1	49.2	25.4	17.3
28	22.7	25.4	31.9	45.0	22.7	14.8
29	25.7	29.1	34.4	40.5	19.9	15.6
30	29.4	32.7	37.3	35.8	17.9	18.7

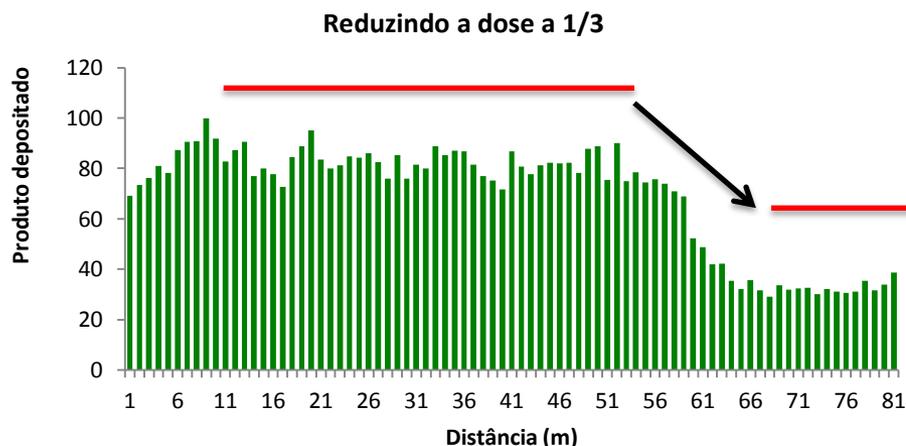
# Cuidados na Aplicação de Fertilizantes



# Equipamentos para aplicação em taxa variada

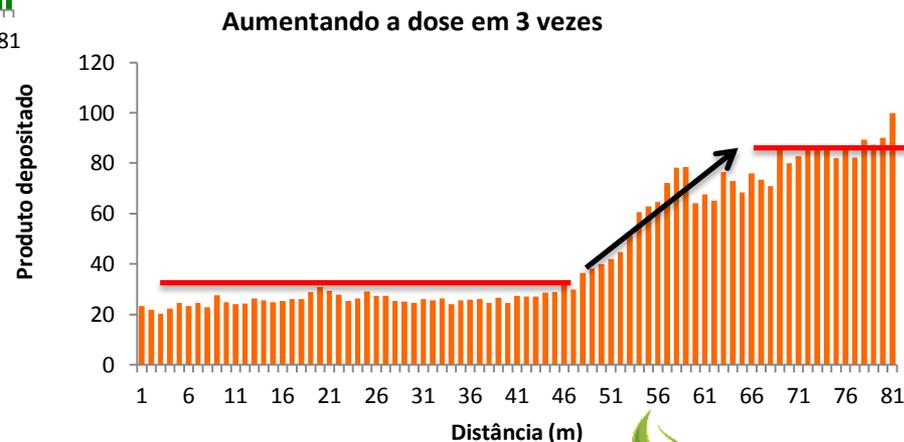
## Equipamentos com dosador do tipo esteira

### Taxa variável ou controle de vazão para taxa fixa



**67m – 59m = 8m**  
**Operando a 20 km.h<sup>-1</sup> = 22 m**  
**4 segundos, 106 m<sup>2</sup>**

**72m – 47m = 25m**  
**Operando a 20 km.h<sup>-1</sup> = 71 m**  
**12 segundos, 312m<sup>2</sup>**



# Equipamentos com largura útil definida

Equipamentos pneumáticos

Equipamentos do tipo “cocho/queda livre”



# Considerações finais

Aplicação	Ferramentas
Manejo Acidez, potencial de produção	Amostragem sistemática estratificada para química e granulometria
Manejo de P e K	Mapa de colheita/Extração amostragem dirigida
Manejo de N	Refletância
População de plantas milho	Condutividade elétrica
Herbicidas e regulador de Crescimento	Refletância e ou condutividade elétrica
Produção de palha	Sensor de refletância e ou condutividade elétrica

# Considerações finais

- ✓ Avaliar presença de variabilidade: características regionais, sistema de produção, histórico;
- ✓ Estabelecer relação causa-efeito;
- ✓ Manter visão ampla, as causas podem ser diversas: nutrientes, fatores abióticos, bióticos;
- ✓ Qualidade nas operações mecanizadas;

# Considerações finais

- ✓ Utilizar a abordagem de amostragem contínua evitando amostragem esparsa a menos que dirigida;
- ✓ Máquina como fonte de informação;
- ✓ Priorizar áreas com maior controle operacional e monitorar em detalhe, aprendizado é seguro.

# Obrigado

Leandro M. Gimenez

[leandrogimenez@fundacaomt.com.br](mailto:leandrogimenez@fundacaomt.com.br)

(66)3439 - 4100