



# Fundação MT

## Fundamentos da Agricultura de precisão em SPD

---

Leandro M. Gimenez



# Sistemas de produção de grãos e fibra



## 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

# Conceito

## Eletrônica embarcada em máquinas agrícolas

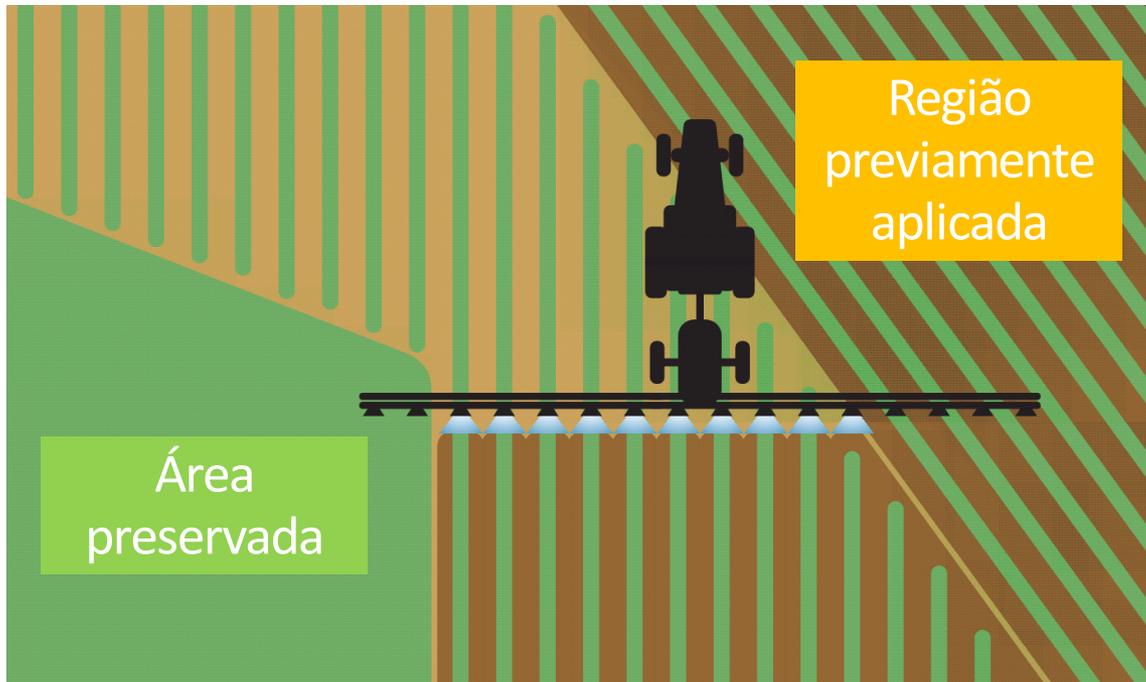


**Sistemas para direcionamento de máquinas no campo:** redução de sobreposição e falhas, aumento nas horas trabalhadas, qualidade

# Conceito

## Eletrônica embarcada em máquinas agrícolas

- ✓ Controladores de seção
- ✓ Controladores de vazão



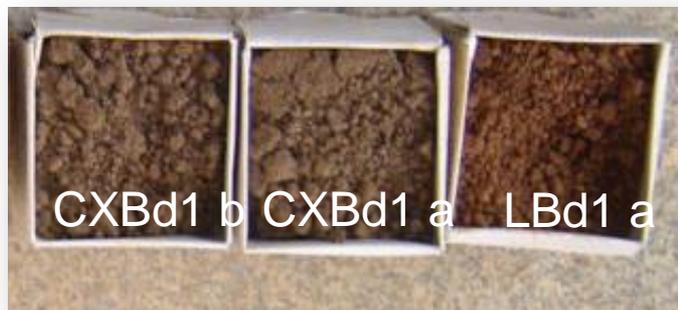
## REQUISITOS

Existe?

Qual a distribuição espacial?

Oscila ao longo do tempo?

Qual a intensidade?



# Conceito

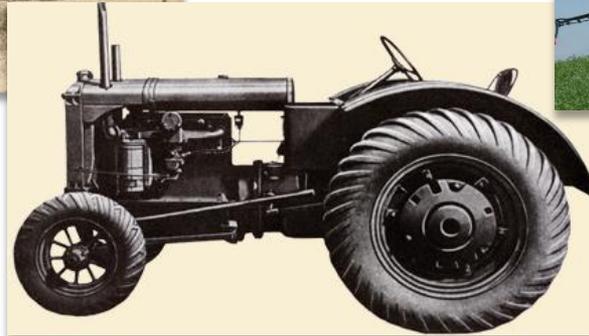
✓ Manejo da variabilidade espacial → usual no passado



# Conceito

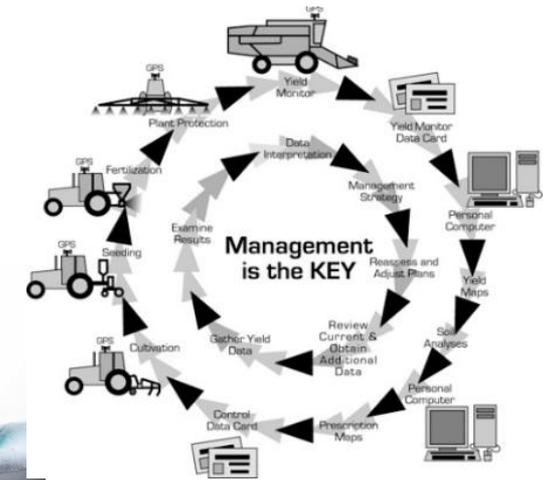
Aumento da população exigiu o desenvolvimento de ferramentas para elevar a produção e desocupar mão de obra para a indústria

Mecanização agrícola → Escala de Produção

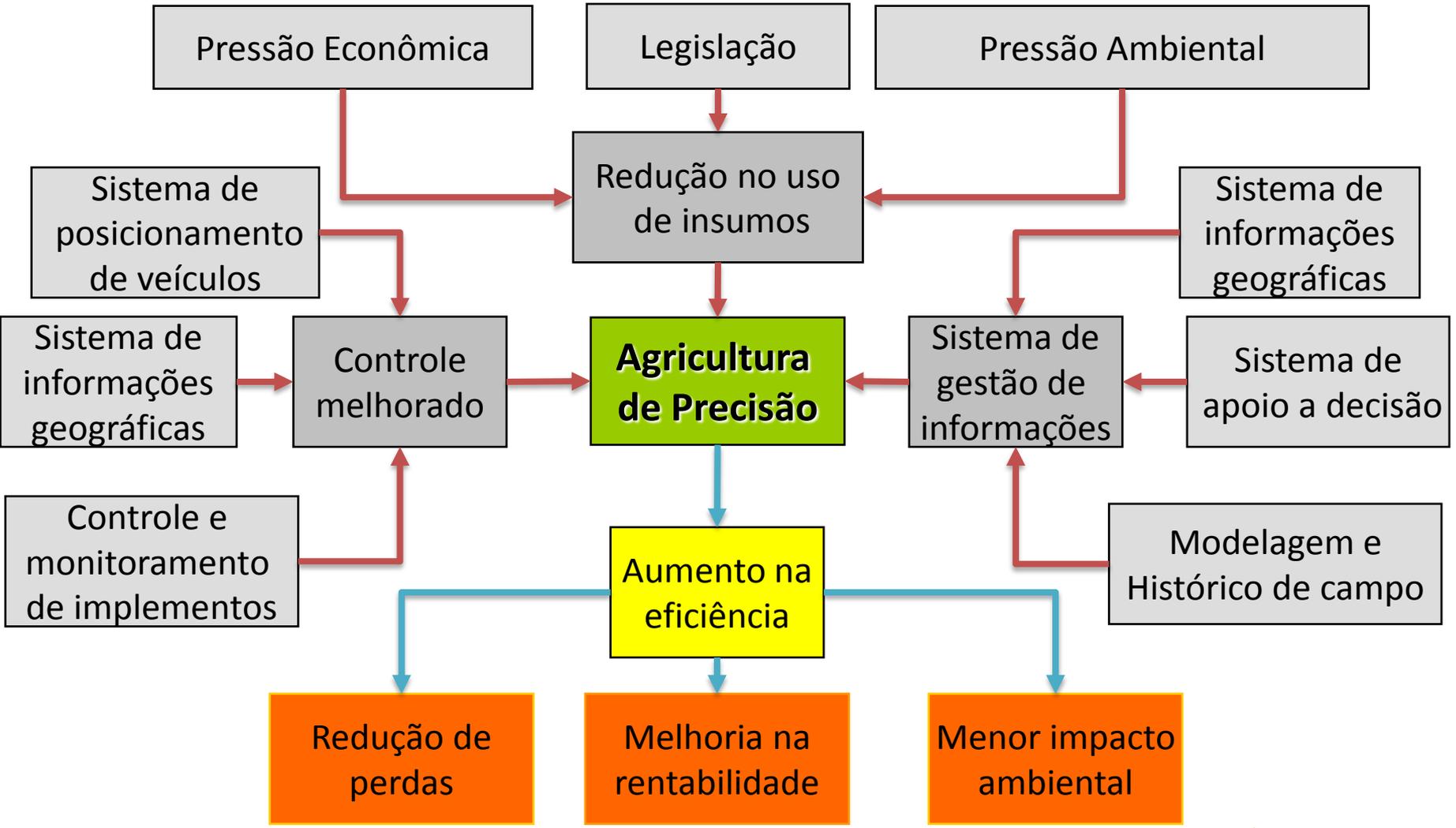


# Conceito

- ✓ Término das áreas para expansão!
- ✓ Intensificação dos sistemas de produção
  - ✓ Melhoramento Genético
  - ✓ Fertilizantes e Agrotóxicos
  - ✓ Biotecnologia
  - ✓ Informação: "Agricultura de Precisão"



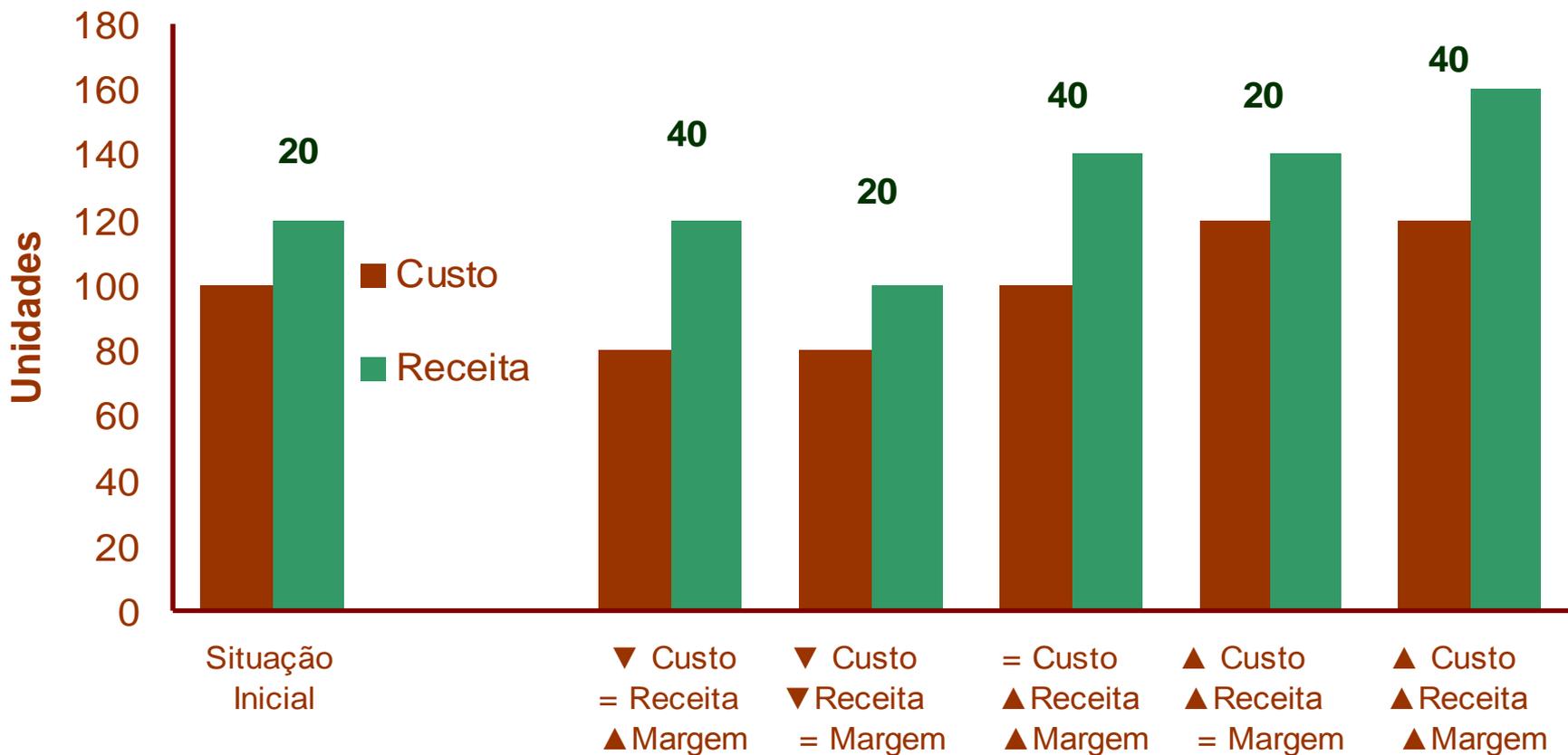
# Fatores Estruturais e Resultantes





# Manejo da Variabilidade Espacial

## Panoramas de Rentabilidade



# Fontes de Variabilidade Espacial

**Induzida por operação agrícola**



**Processo natural**



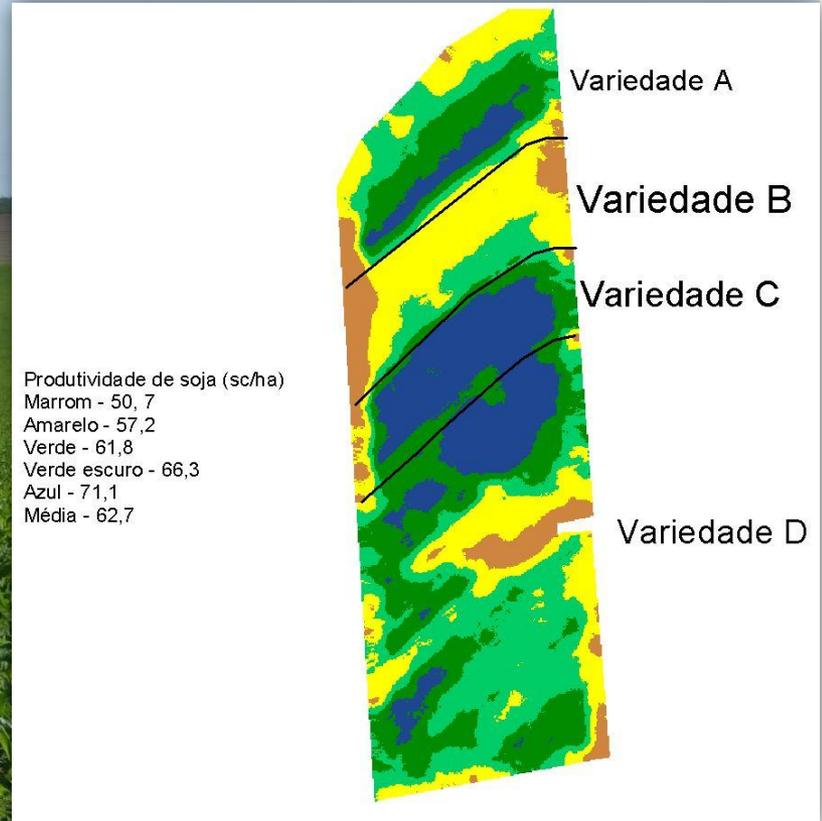
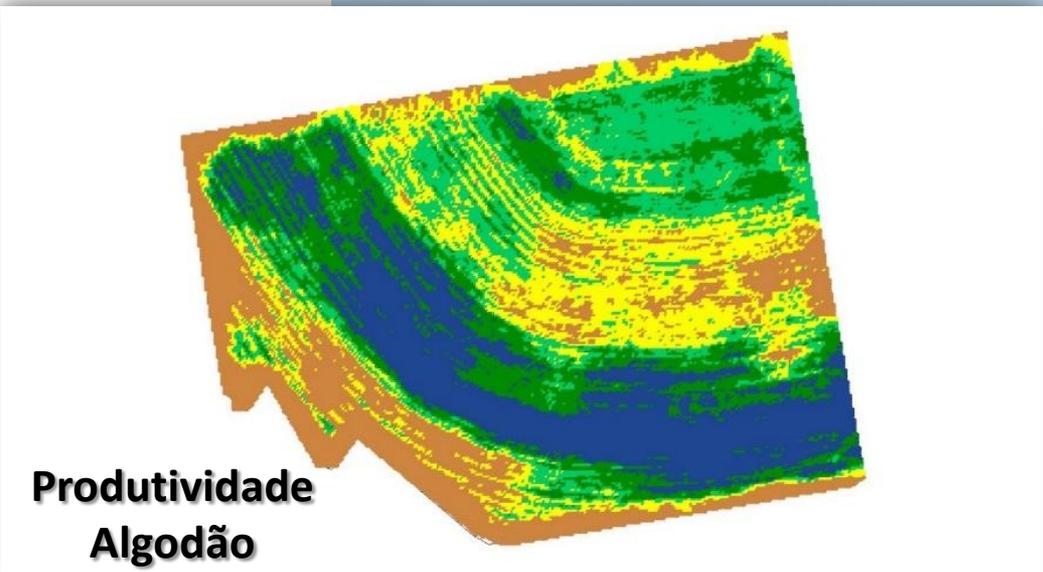
# Cuidados na Aplicação de Fertilizantes



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

# Variabilidade Espacial Induzida

## Induzida por operação agrícola



# 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

Corretivos e Fertilizantes

Preparo do solo

População de plantas

Agrotóxicos

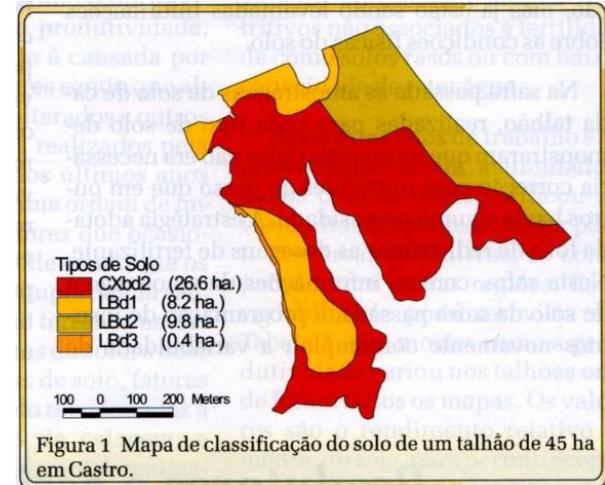
**Região em um campo que apresenta uma combinação de fatores restritivos à produtividade, relativamente uniforme, e para a qual doses únicas de insumos podem ser utilizadas**



## Aumento da rentabilidade através do gerenciamento localizado

✓ Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> 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.

Fatores com impacto sobre o desempenho das plantas, estáveis, mensuráveis, e para os quais há conhecimento agrônomo acumulado

# Caracterização Variabilidade Espacial

Qual imagem apresenta maior variabilidade?

**O que muda é apenas a estrutura espacial**

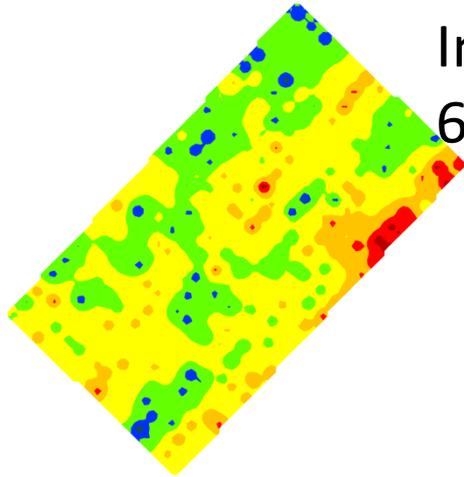
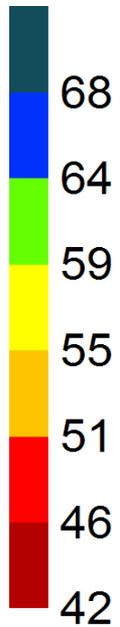


**Na natureza, coisas mais próximas tendem a ser menos dissimilares que coisas mais distantes**

**NA NATUREZA!**

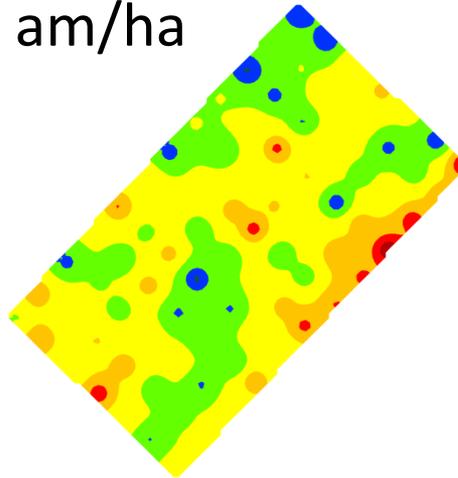
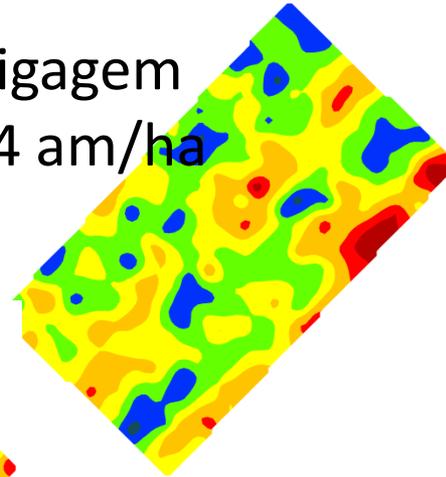
# Amostragem do solo e Predição

## Mapas - V%

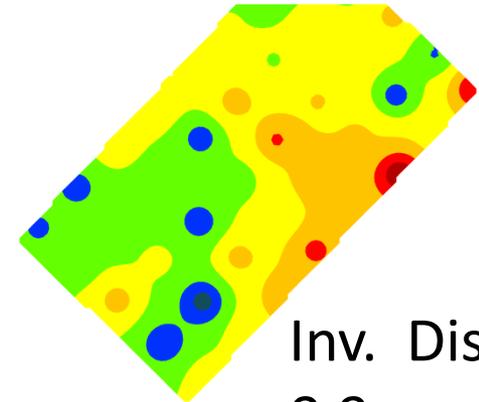


Inv. Dist.  
6.4 am/ha

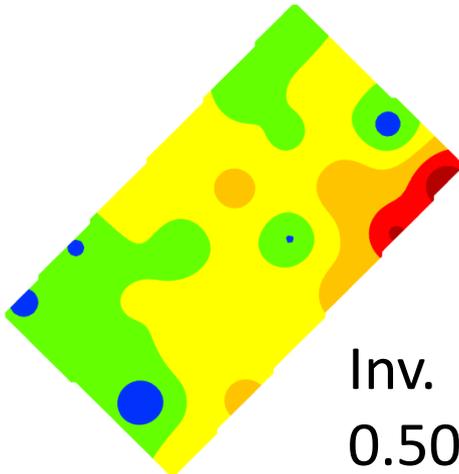
Krigagem  
6.4 am/ha



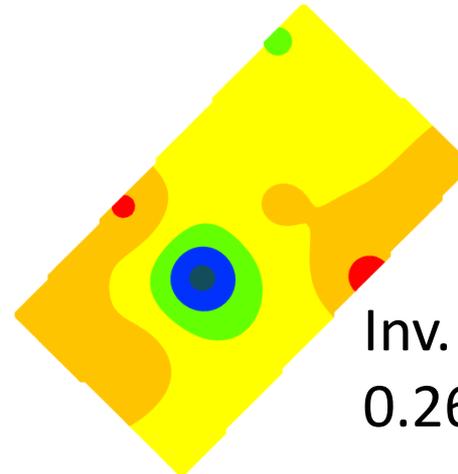
Inv. Dist.  
1.8 am/ha



Inv. Dist.  
0.9 am/ha



Inv. Dist.  
0.50 am/ha



Inv. Dist.  
0.26 am/ha

# Mapeamento de Colheita

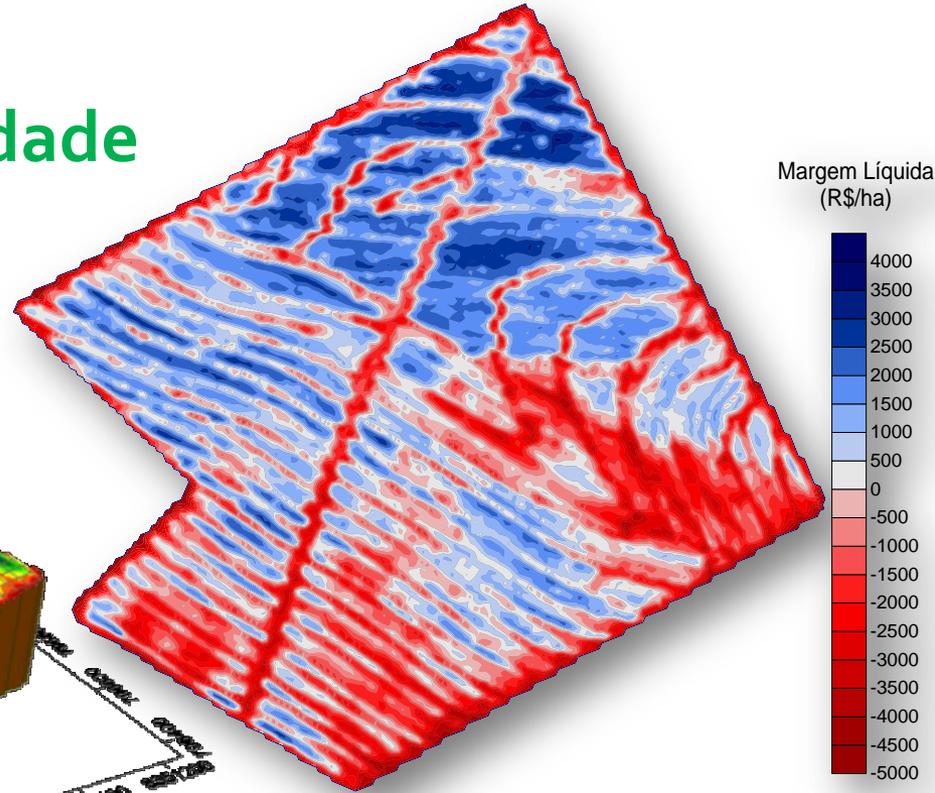
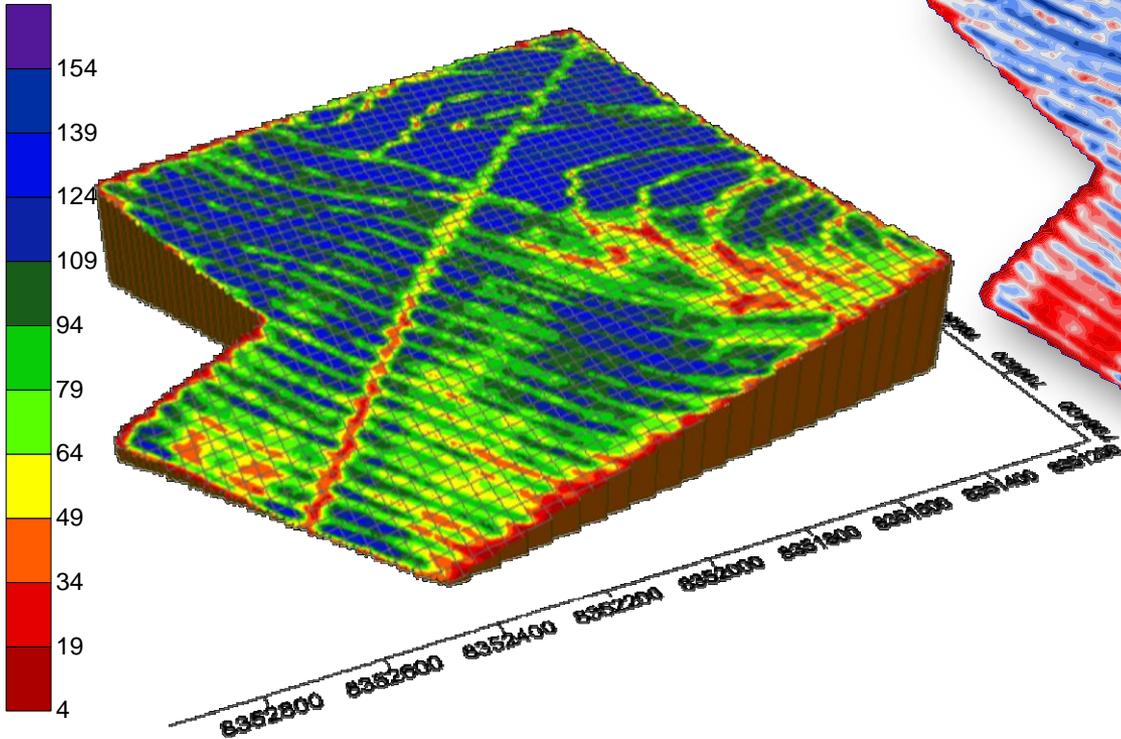
- Mapeamento de colheita
  - Fonte mais rica de informações
    - Não comprar máquina sem sistema
  - Restrições operacionais em agricultura de escala
    - Volume de informações para organizar e analisar



# Mapeamento de Colheita

## Rentabilidade

Algodão Fibra  
@/ha



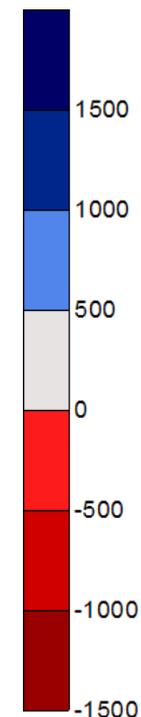
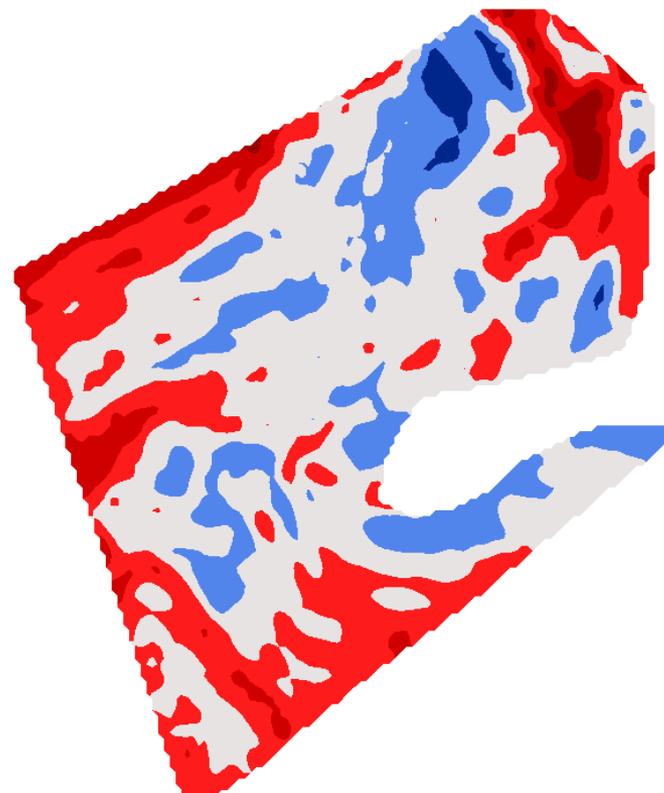
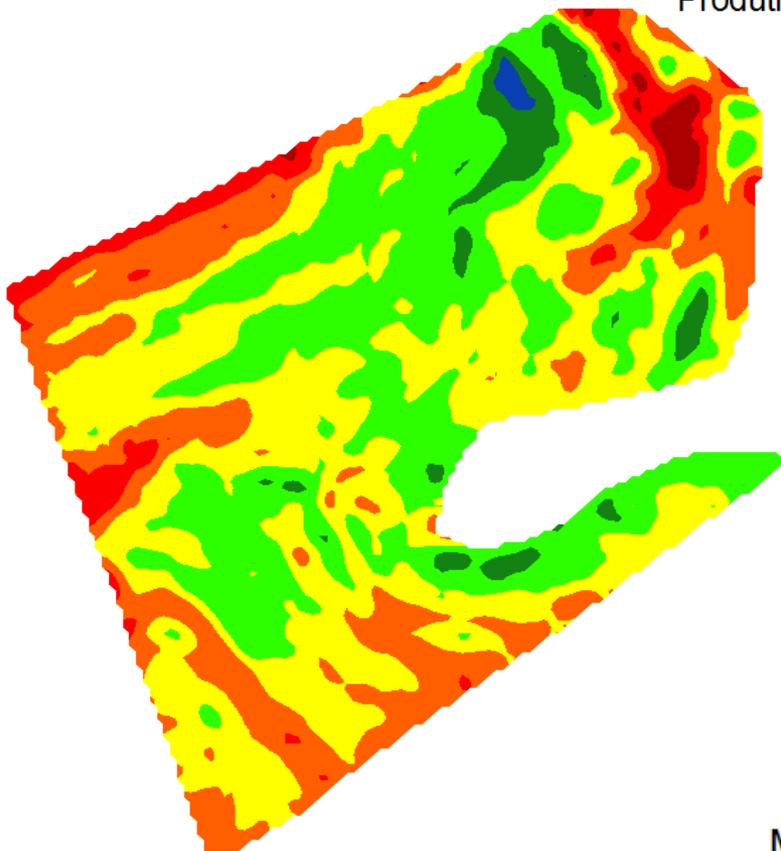
\*Custo de produção R\$4800/ha  
Valor comercialização = R\$52,00/@  
Fonte: IMEA

# Mapeamento de Colheita

## Rentabilidade

Produtividade (sc.ha-1)

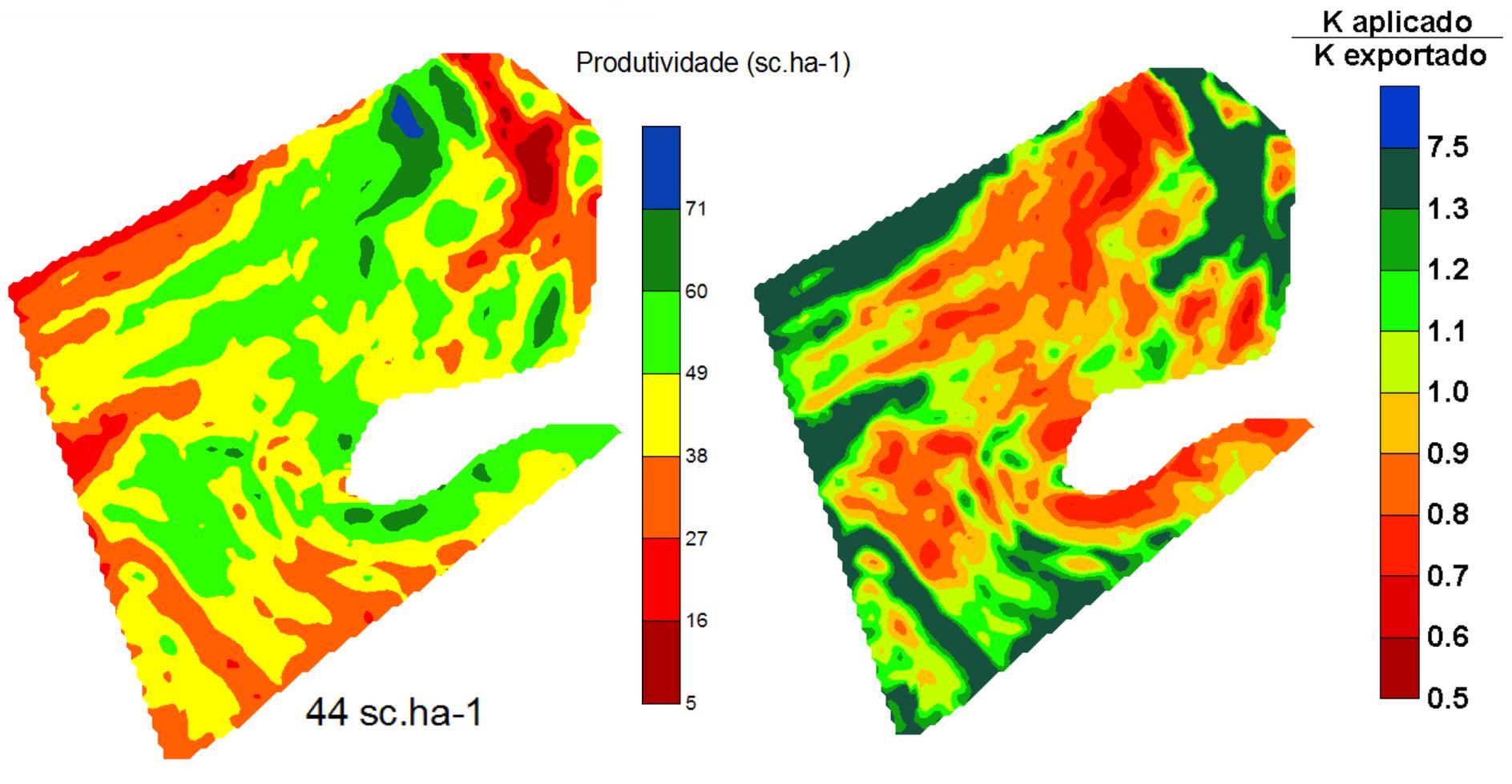
Rentabilidade (R\$.ha-1)



Média = 131.6 R\$.ha-1

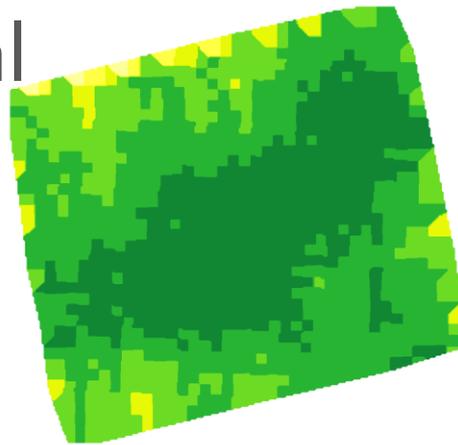
Custo Prod IMEA = 1690 R\$.ha-1, Vlr. venda 41.4 R\$.sc-1

## Exportação de nutrientes

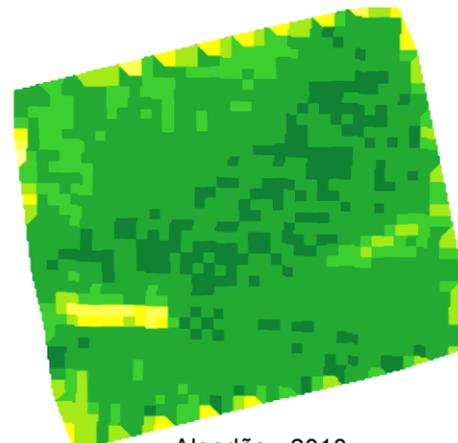


# Mapas de Vigor da Vegetação

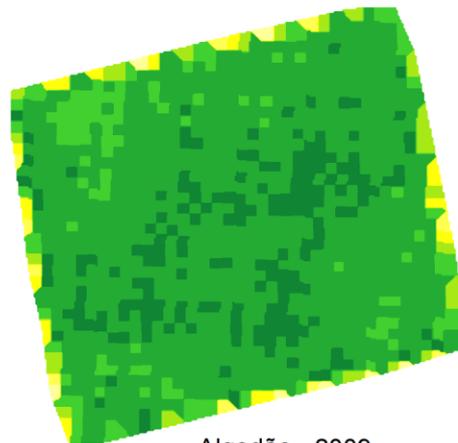
- Indicativo da Variabilidade
  - Espacial
  - Temporal



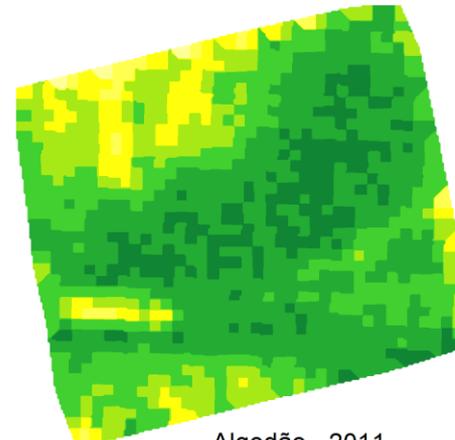
Algodão - 2008



Algodão - 2010



Algodão - 2009



Algodão - 2011

Baixo Vigor - INSTÁVEL  
(33%)

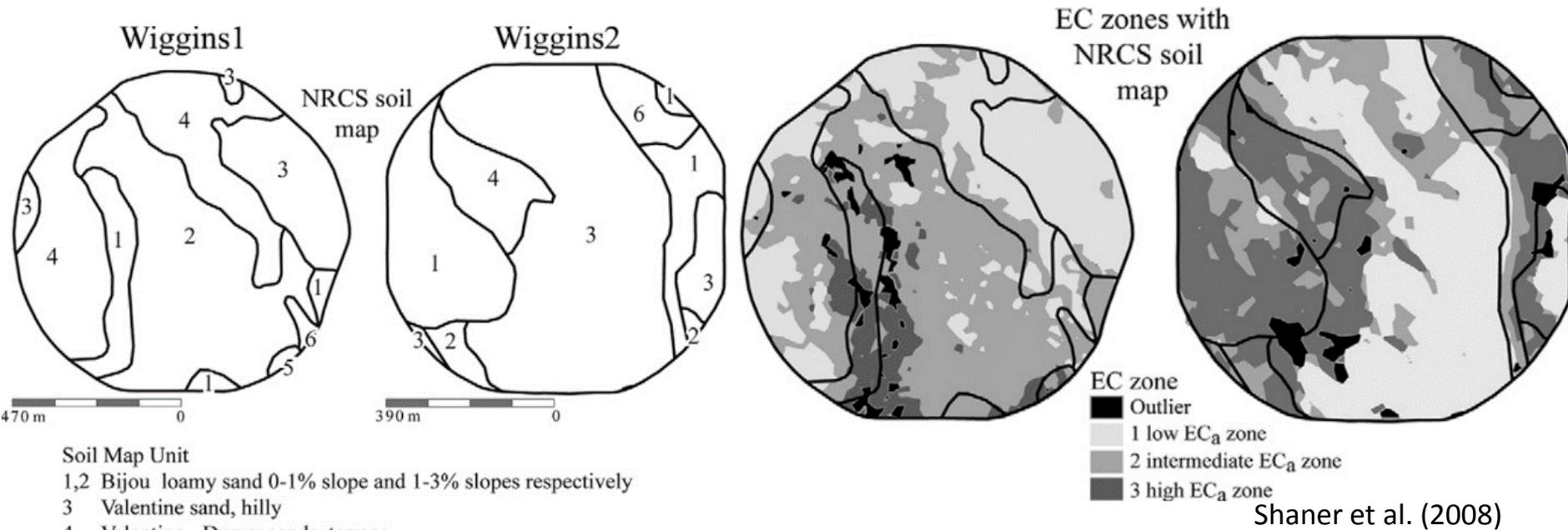
Alto Vigor - Estável  
(47%)

Baixo Vigor - Estável  
(19%)



# Condutividade Elétrica Aparente do Solo

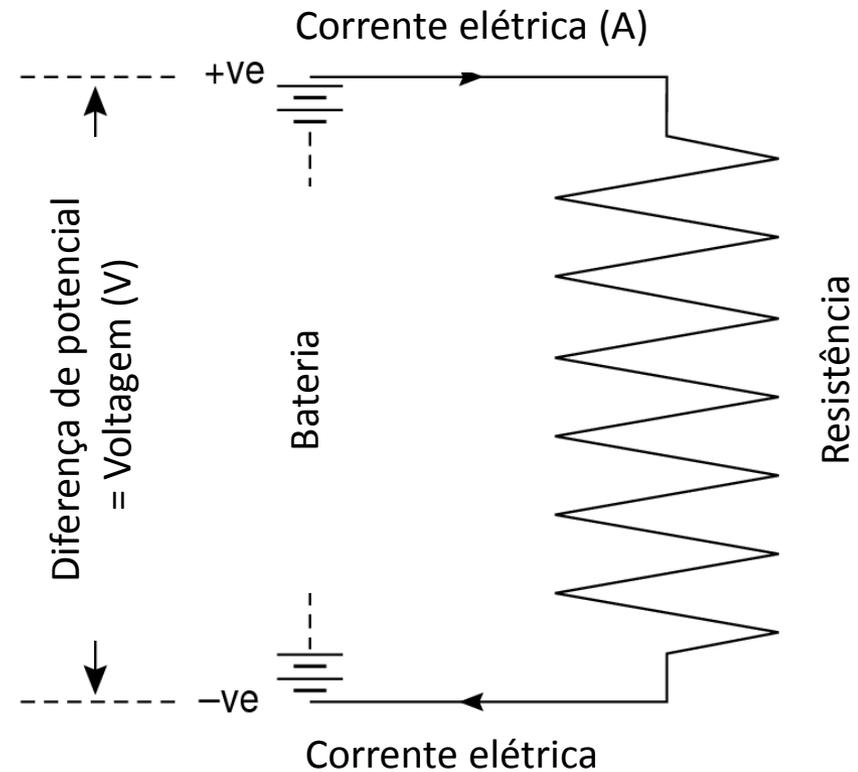
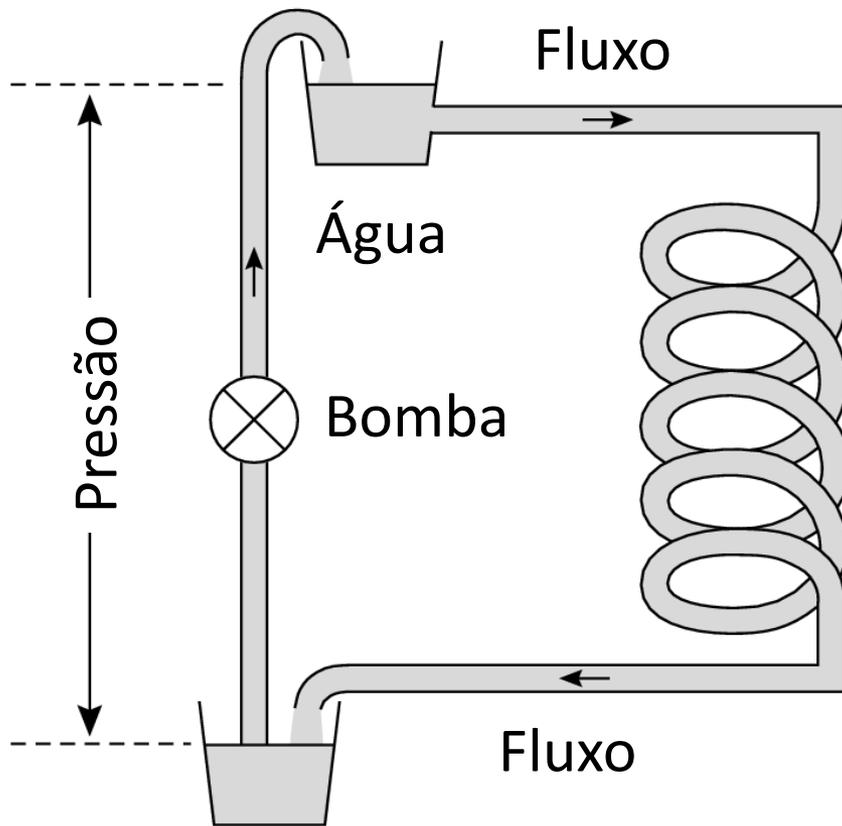
# Condutividade Elétrica do solo e Unidades de Manejo



“The zone-based soil sampling could provide agronomical useful soil information as compared to grid soil sampling, without having the need to acquire a large number of soil samples as is the case of grid soil sampling which is time consuming, labor intensive, and cost prohibitive for most farmers”

# O que é Condutividade Elétrica Aparente do Solo?

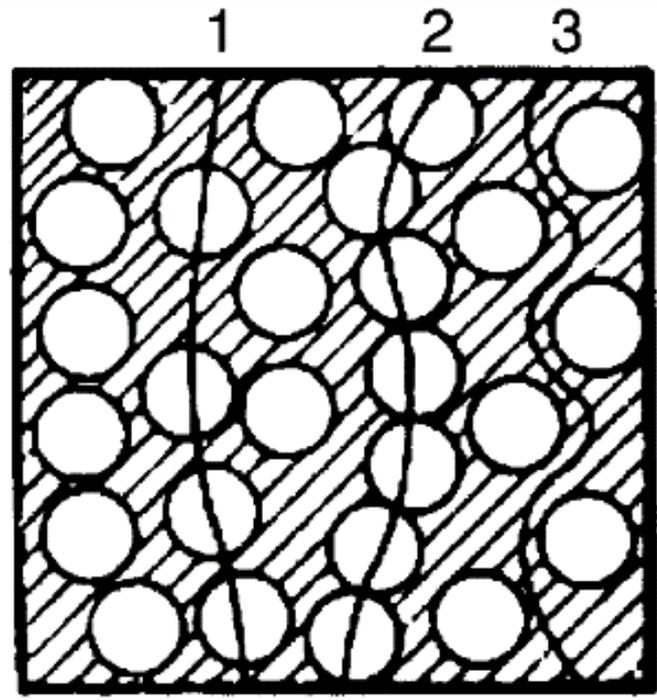
- Analogia com sistema hidráulico



# Condutividade Elétrica Aparente - CEa



**Caminhos percorridos pela corrente elétrica no solo**



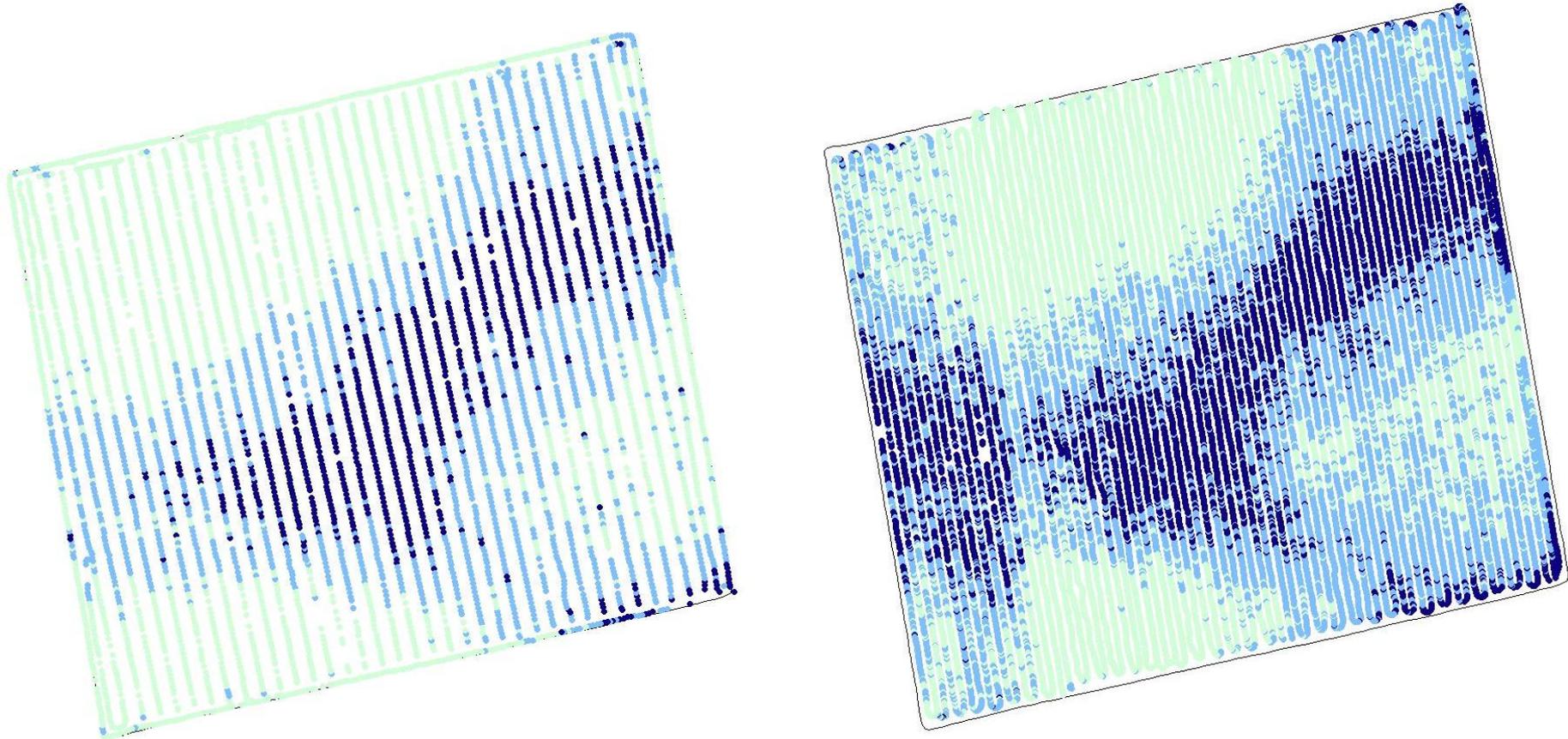
# Condutividade Elétrica Aparente - CEa

- Contato dos eletrodos com o solo



# Condutividade Elétrica Aparente - CEa

- Sensibilidade à condição de umidade do solo



# Condutividade Elétrica Aparente - CEa

- Profundidade de Prospecção
- Efeito da estrutura do solo



Gimenez (2013)

# Condutividade Elétrica Aparente - CEa

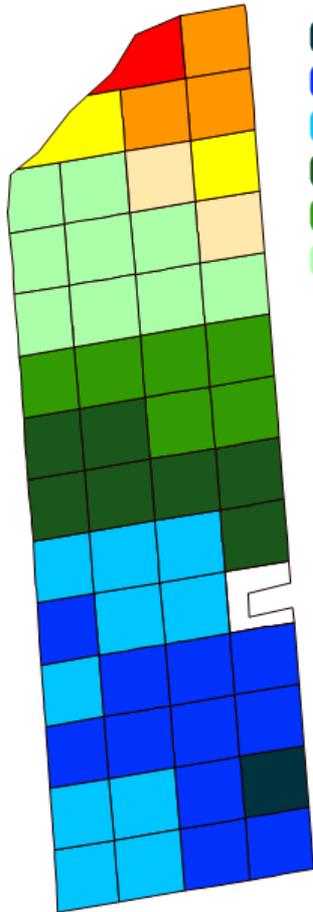
Umidade Elevada			Umidade Baixa		
Atributos	r	p-valor	Atributos	r	p-valor
Silte	0,56	<0,0001	Poros entre 0,03 e 0,05 mm*	0,53	<0,0001
Macroporosidade	-0,49	<0,0001	SR	0,52	<0,0001
Poros entre 0,03 e 0,05 mm*	0,49	<0,0001	RP	0,49	<0,0001
RP	0,42	<0,0001	Poros entre 0,05 e 0,1 mm*	-0,47	<0,0001
Poros > 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

Gimenez (2013)

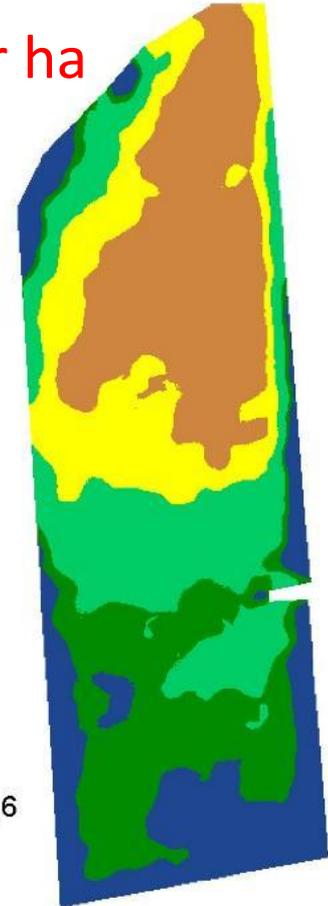
# CEa – Relação com Granulometria

100 amostras por ha



- |  |                        |  |                   |
|--|------------------------|--|-------------------|
|  | > 600 - Muito Argilosa |  | 301 a 350 - Média |
|  | 551 a 600 - Argilosa   |  | 251 a 300 - Média |
|  | 501 a 550 - Argilosa   |  | 201 a 250 - Média |
|  | 451 a 500 - Argilosa   |  | 150 a 200 - Média |
|  | 401 a 450 - Argilosa   |  | < 150 - Arenosa   |
|  | 351 a 400 - Argilosa   |  |                   |

1 amostra a cada 5 ha



b)CEa (mS/m)

- Marrom - 1,5
- Amarelo - 1,9
- Verde - 2,9
- Verde Escuro - 3,6
- Azul - 4,2

4,00 R\$ /ha

# Delimitação de Regiões - CEa



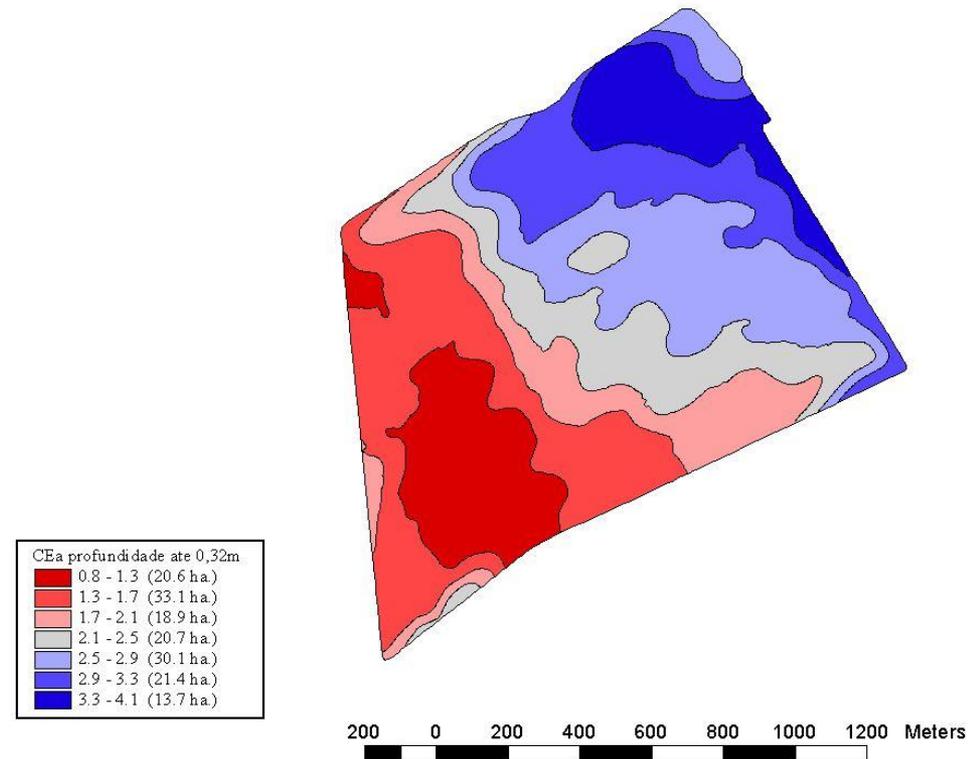
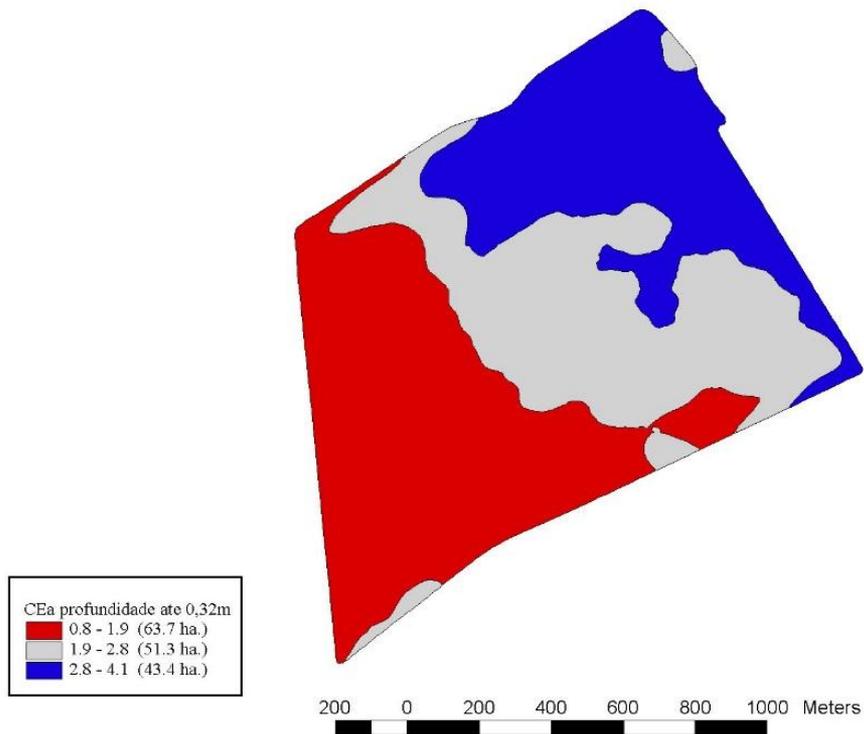
# Identificação das áreas mais restritivas

- Reconhecimento detalhado dos talhões

Parâmetro estatístico	T175	T57	T171	T98	T159	T154	T155	T212	T261
Média	4,9	5,9	2,7	2,8	2,2	3,6	4,6	7,6	2,8
Mínimo	2,4	4,5	1,3	1,6	0,8	1,5	1,7	6,3	1,1
Máximo	8,0	8,3	4,6	4,9	4,2	5,7	7,3	10,4	5,8
Desvio Padrão	1,0	0,6	0,7	0,6	0,8	0,7	1,0	0,7	1,1
CV (%)	20,0	10,0	25,3	20,5	35,1	20,9	21,8	9,3	37,9

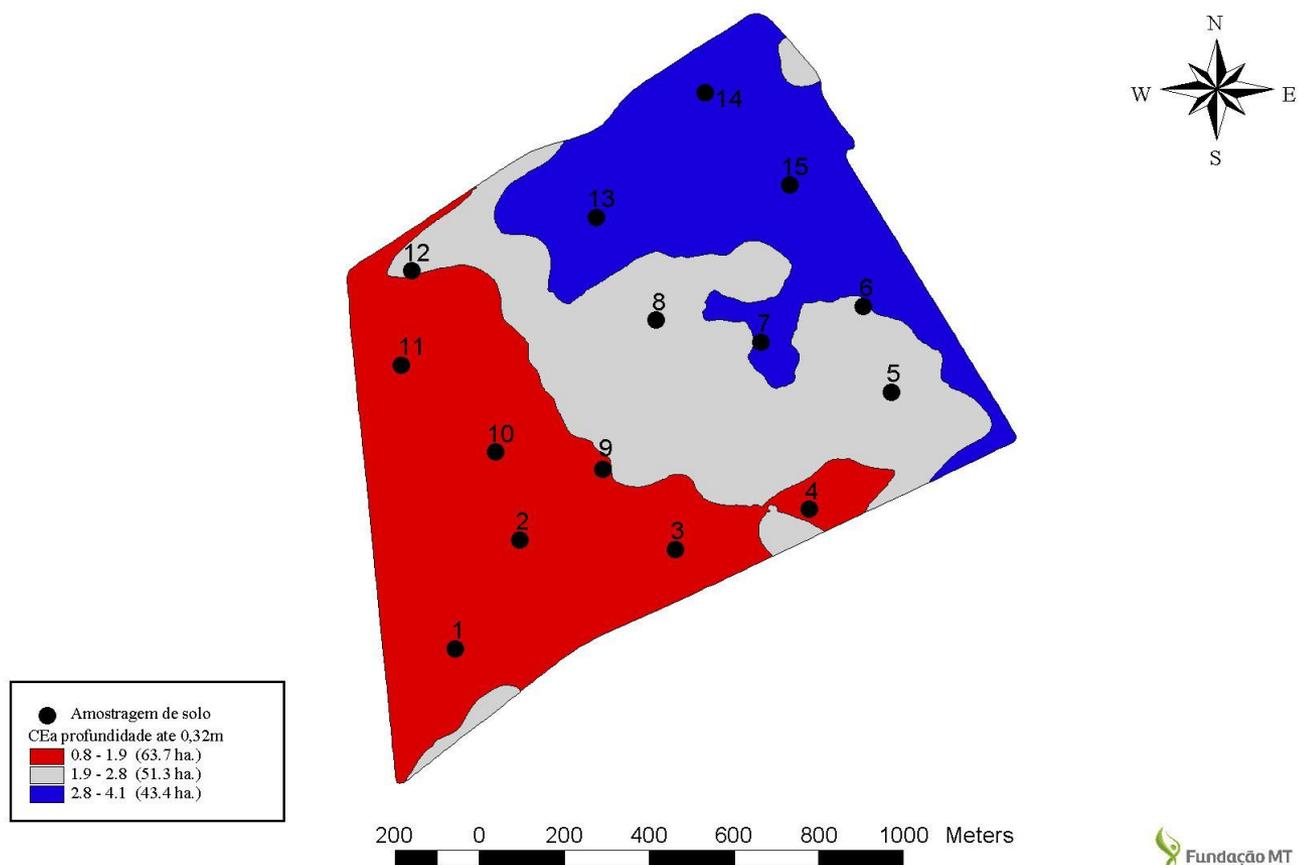
# Subdivisão em categorias

- Agrupamento estatístico  
– 3 classes



# Subdivisão em categorias

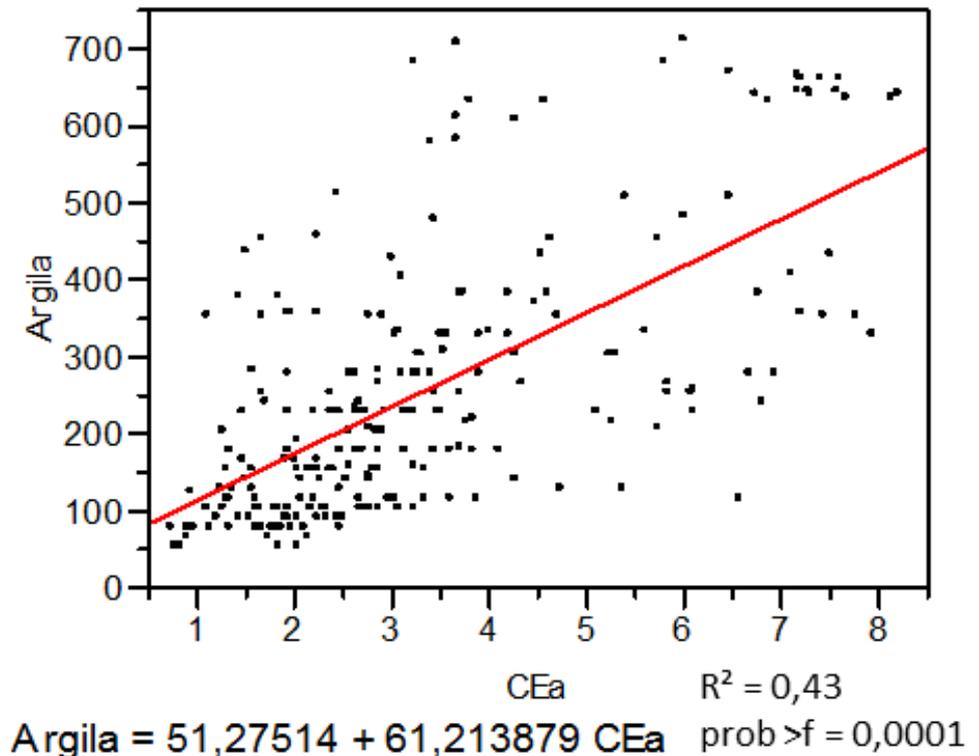
- Amostragem Aleatória no interior de cada categoria



# Amostragem Dirigida

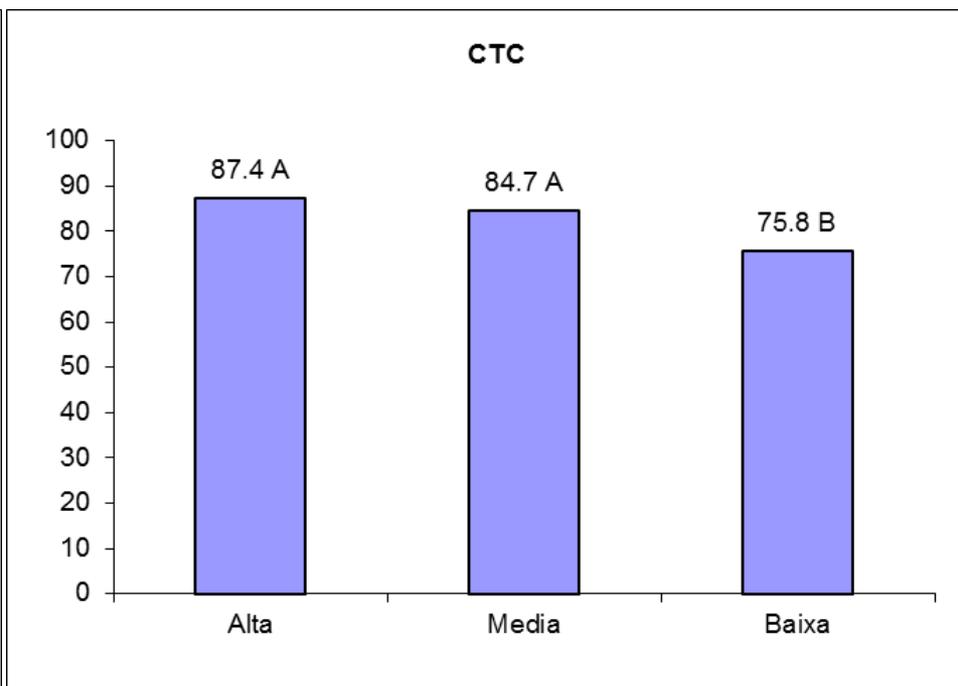
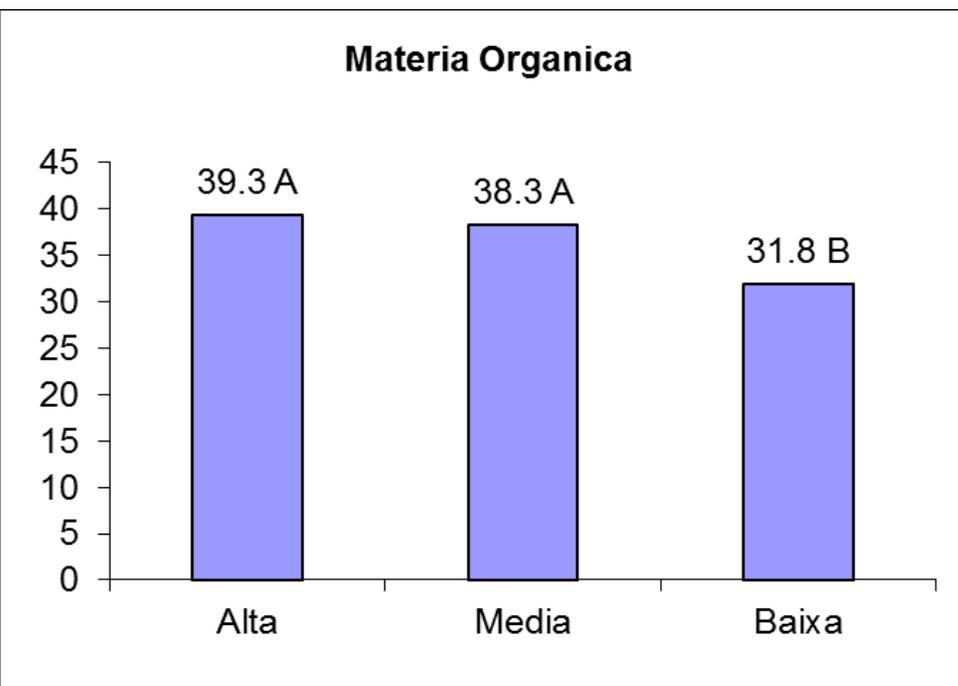
- Relação entre CEa e Argila no solo
  - 240 amostras em 16 talhões
  - Serra Petrovina e Primavera do Leste

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



# Amostragem Dirigida

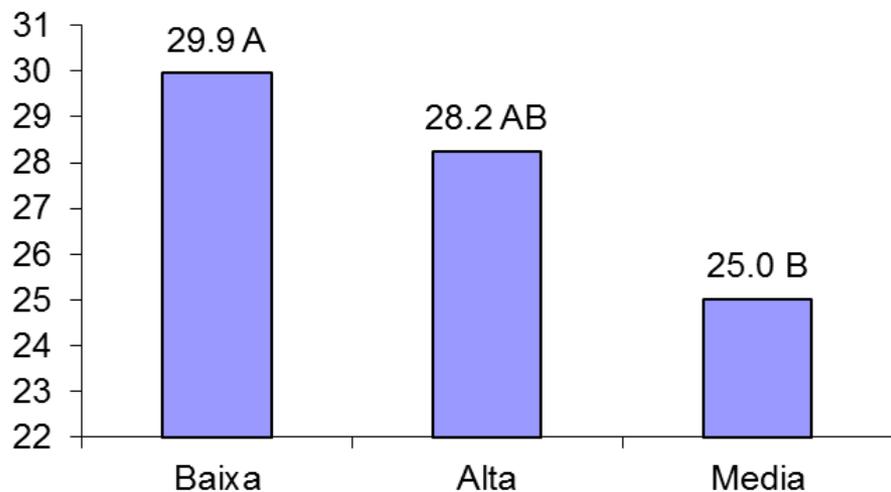
- Nutrientes e cargas
  - 120 amostras em Primavera do Leste
  - 0 a 10 cm



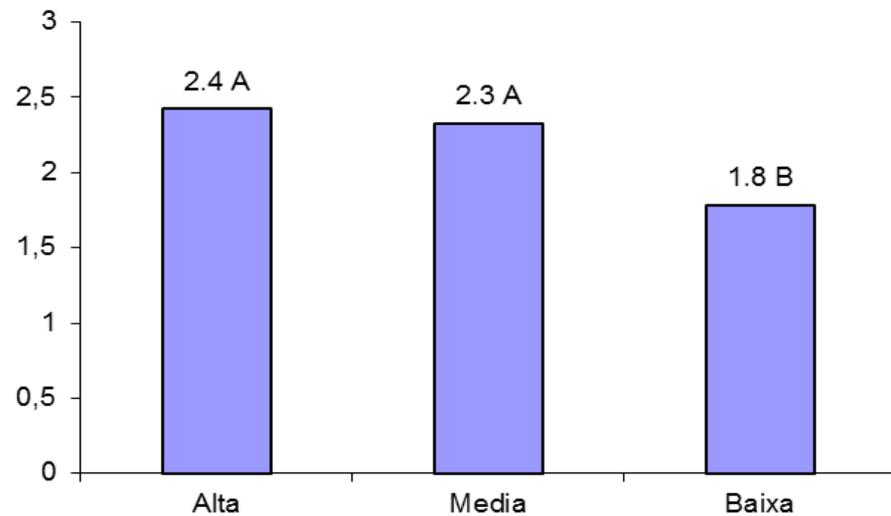
# Amostragem Dirigida

- Nutrientes e cargas
  - 120 amostras em Primavera do Leste
  - 0 a 10 cm

**Fósforo**

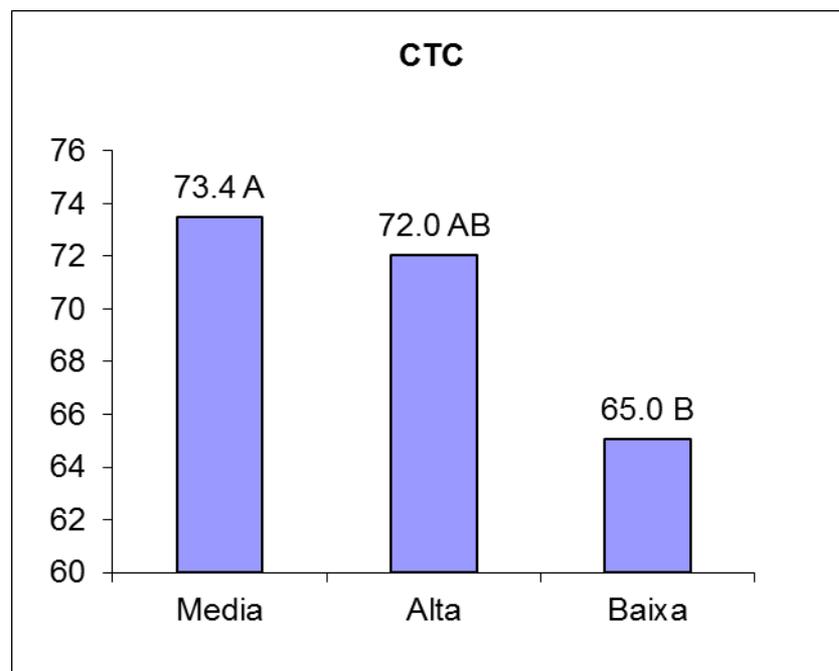
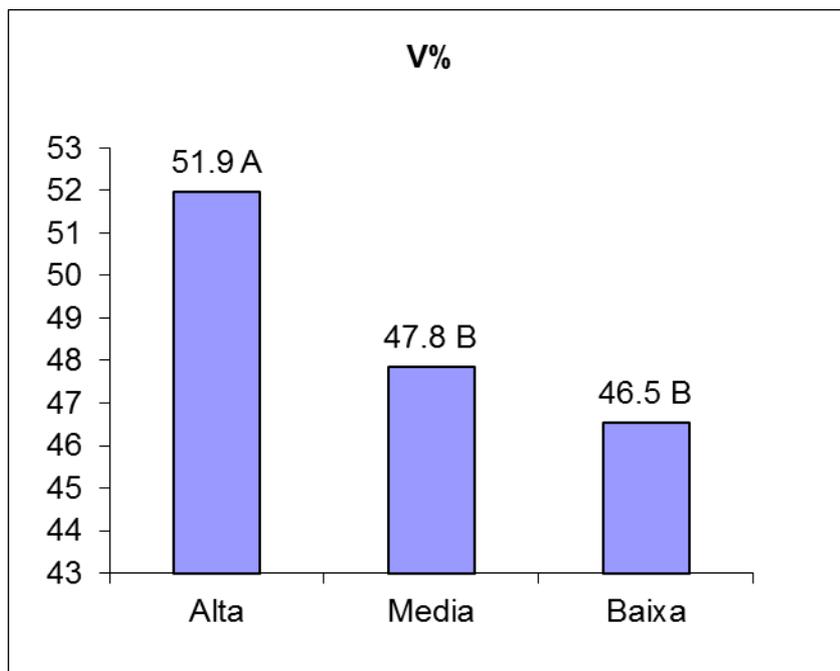


**Potássio**



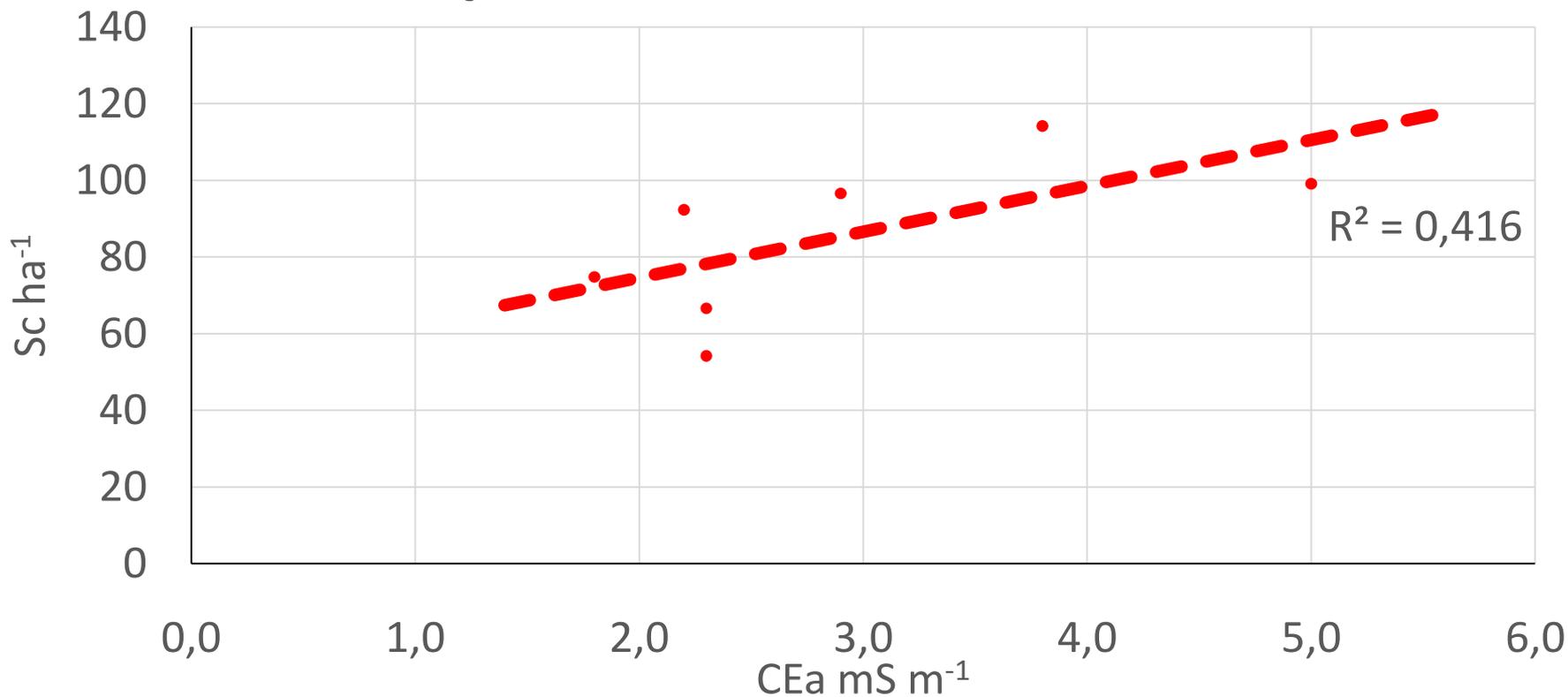
# Amostragem Dirigida

- Nutrientes e cargas
  - 120 amostras em Primavera do Leste
  - 10 a 20 cm



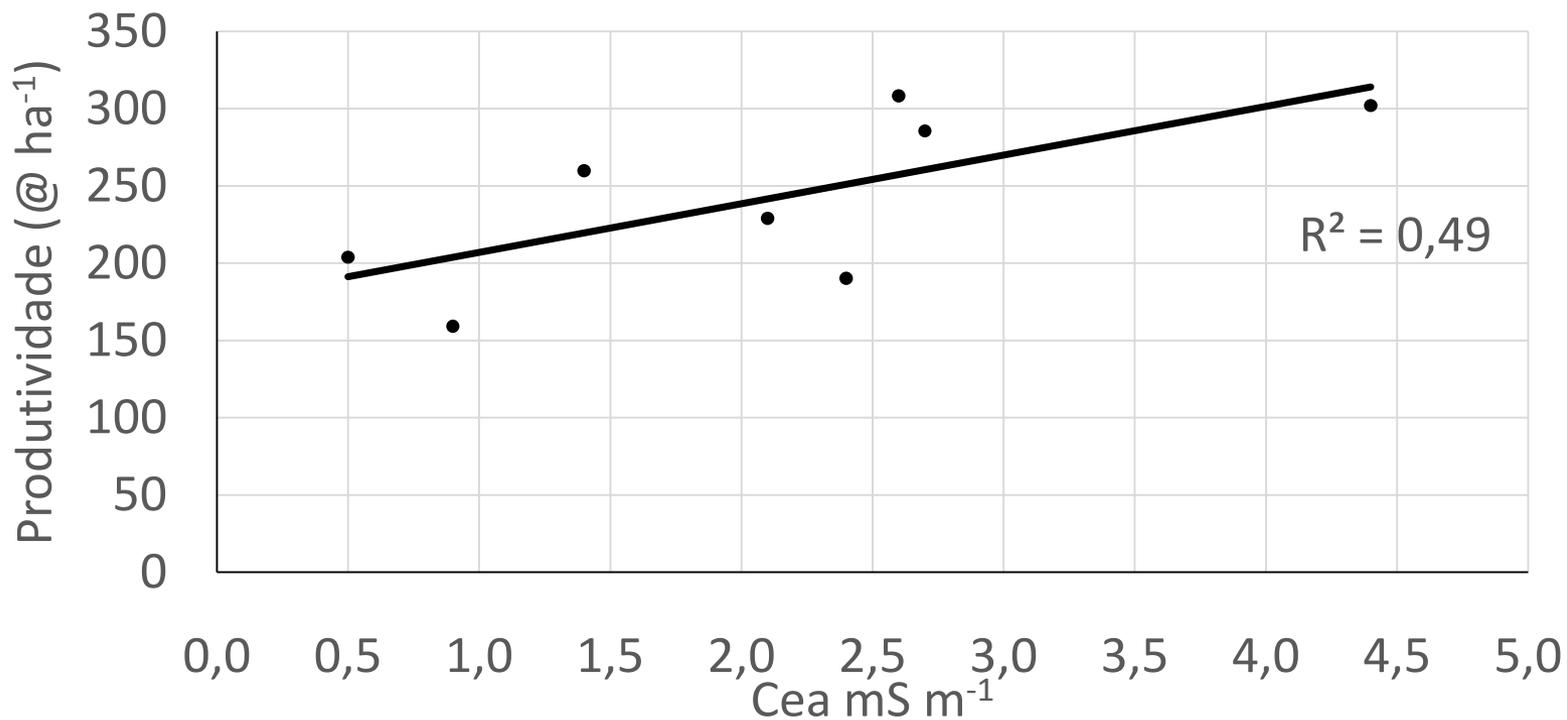
Valores médios de 7 talhões

Relação entre CEa e Produtividade Milho



Valores médios de 8 talhões

Relação entre CEa e produtividade do Algodão





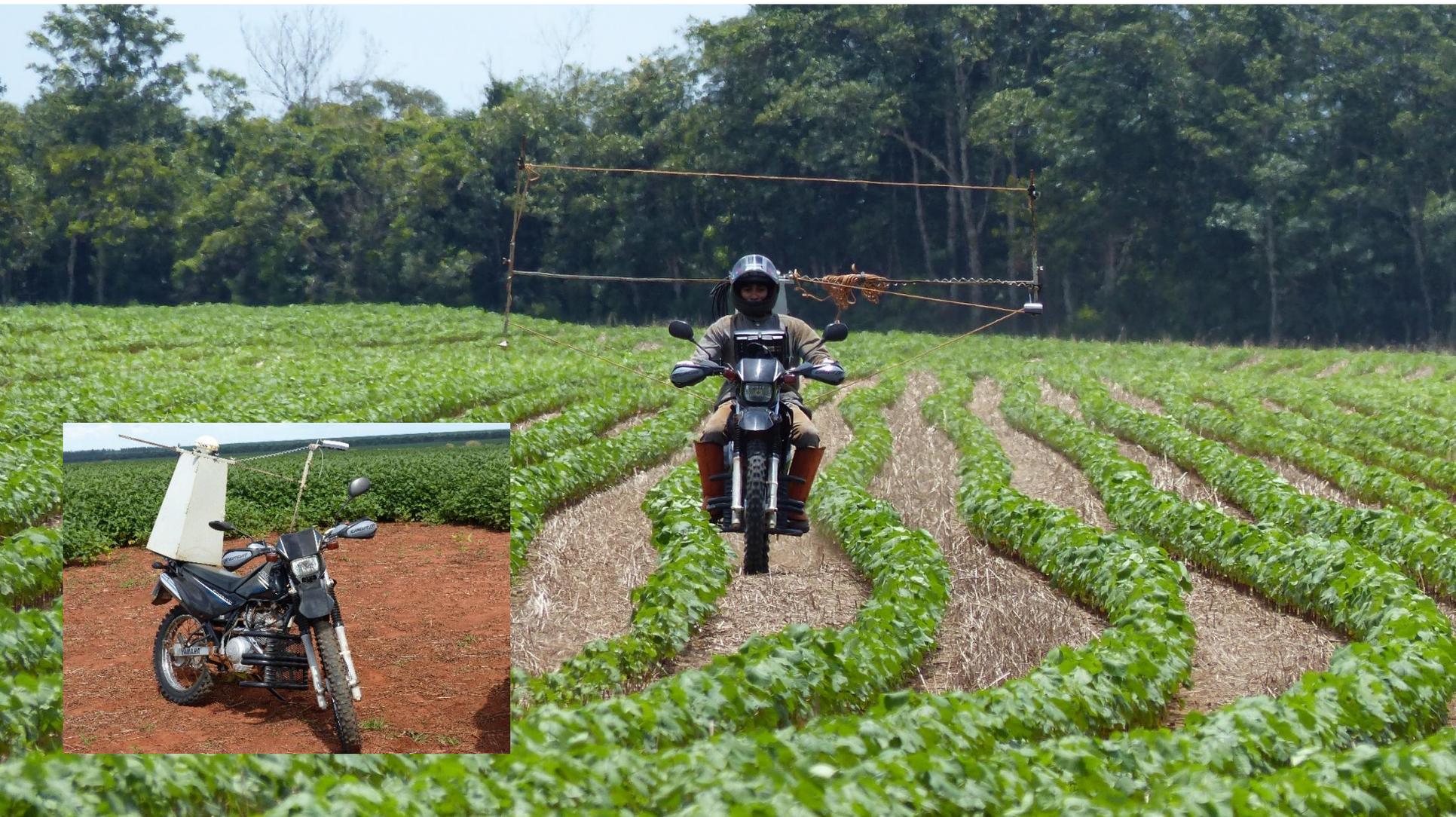
# Sensores de Vigor da Vegetação

# Sensores de Refletância em Plataformas Terrestres

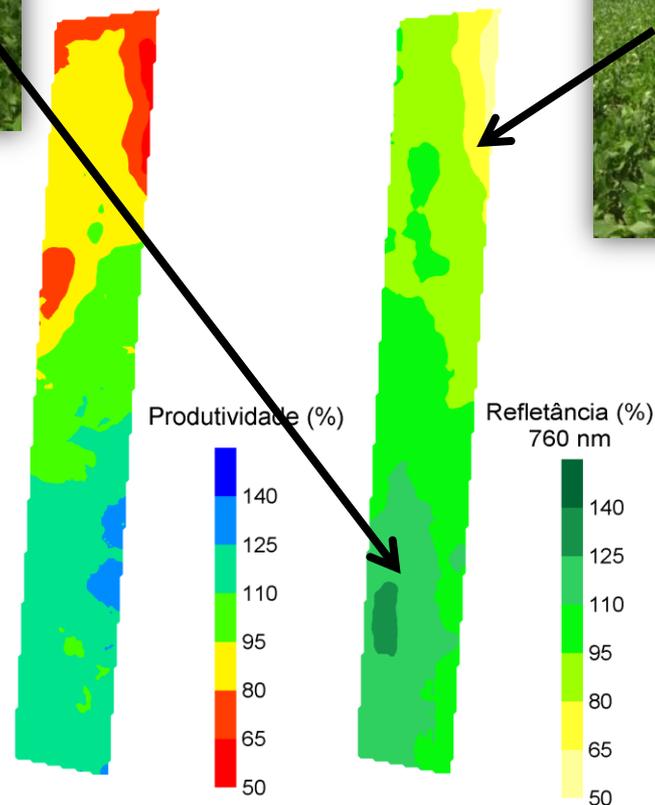
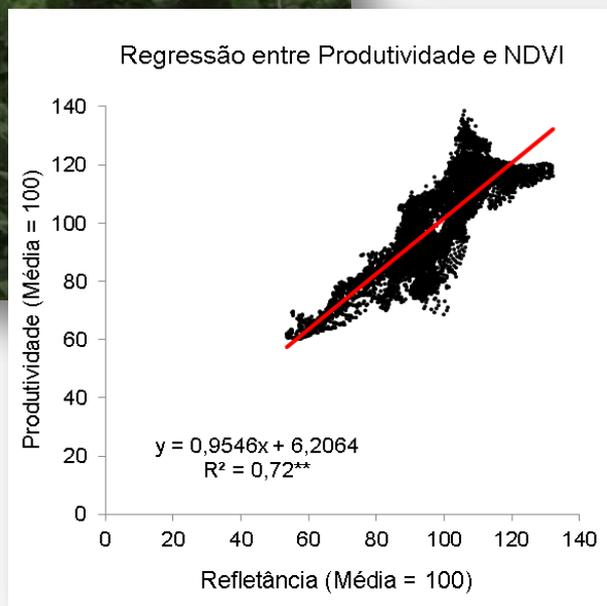
Sensoriamento remoto ativo: obter informações do vigor das plantas à distância, livre da influencia da condição de iluminação



# Sensores de Refletância em Plataformas Terrestres



# Sensores de Refletância



# Sensor de Refletância – Detecção de Problemas na Safra

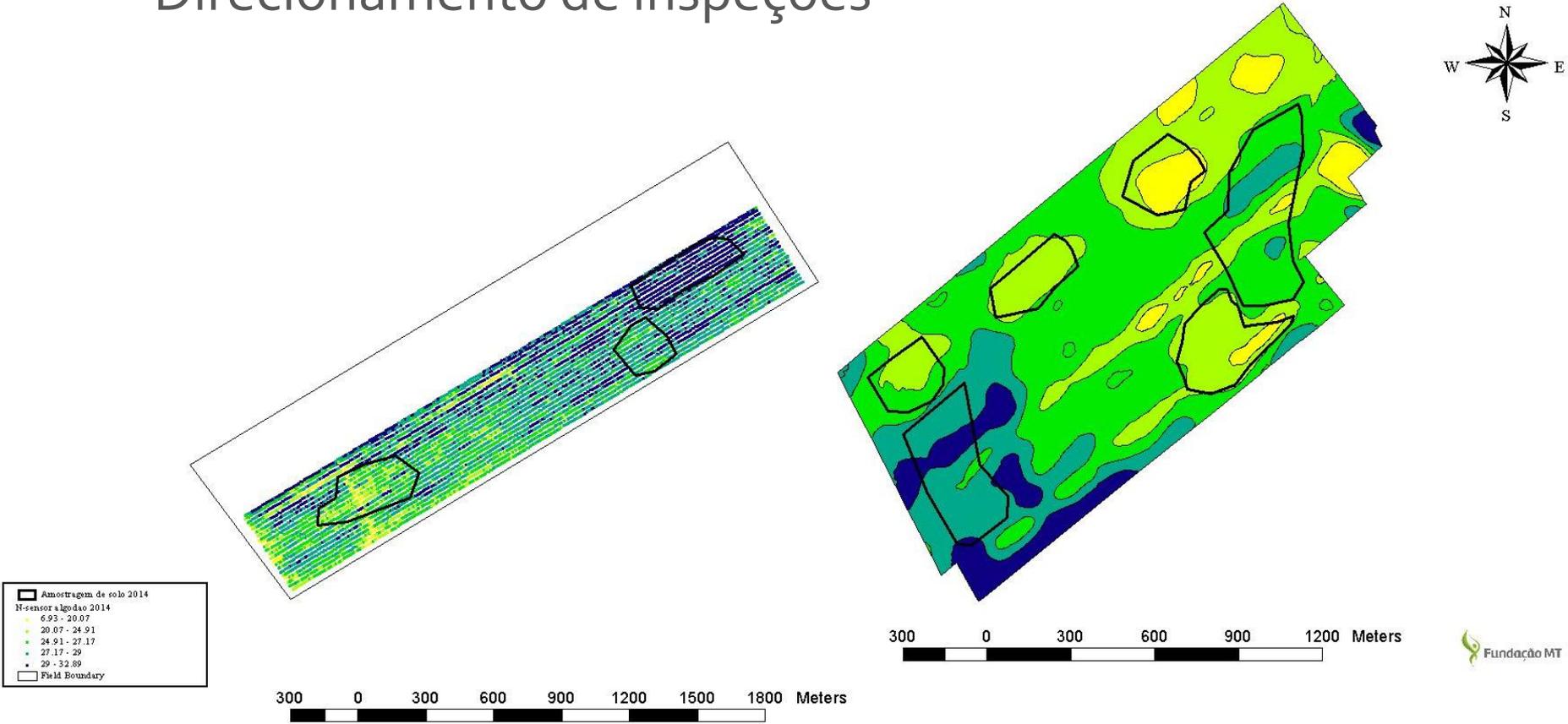
**Operando como coletor de dados embarcado em máquina com alta capacidade operacional; avião, pulverizador, aplicador de fertilizante**



- **Direcionamento das ações de inspeção a campo;**
- **Tomada de decisão ao longo do ciclo;**
- **Amostragem localizada;**

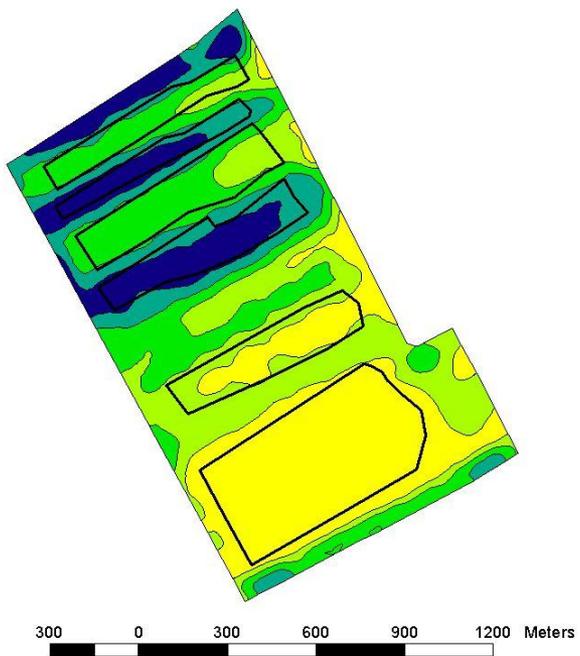
# Sensor de Refletância – Detecção de Problemas na Safra

- Identificação de regiões com menor vigor – Direcionamento de inspeções



# Sensor de Refletância – Detecção de Problemas na Safra

- Identificação de problemas operacionais
  - Correção de variabilidade induzida



# Aplicação de N em Cobertura Milho

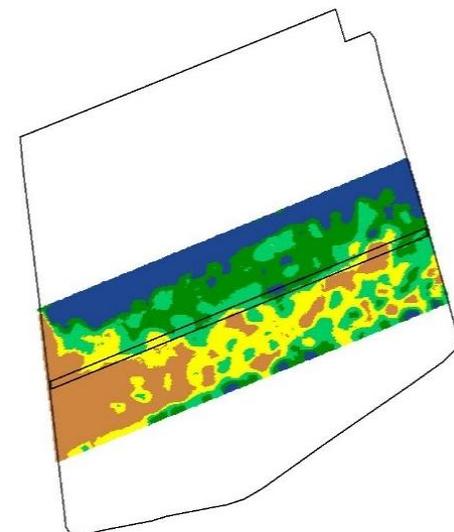
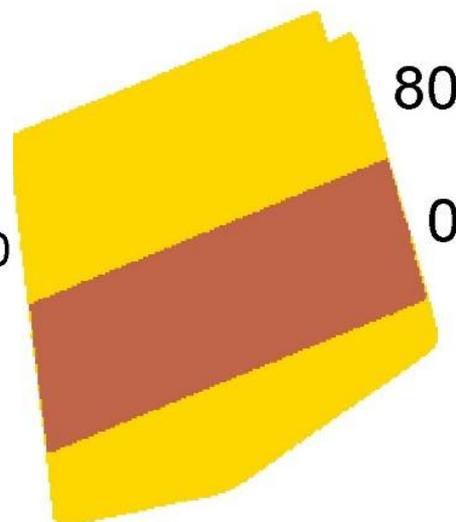
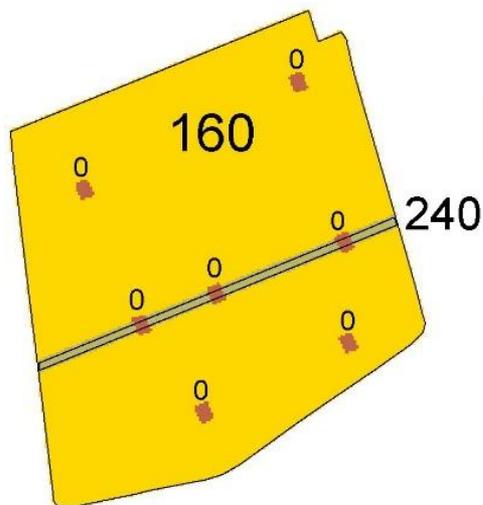
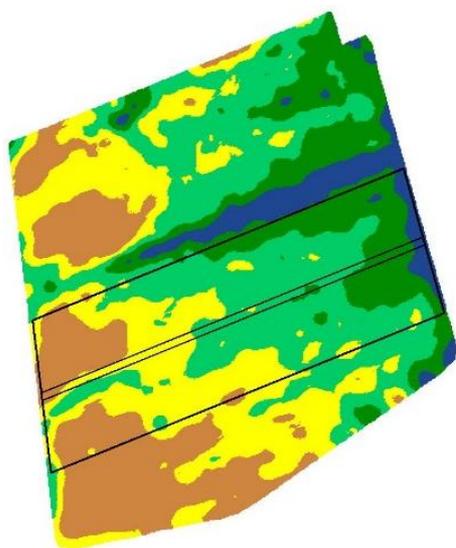
- Aplicar apenas onde a planta “pede”

CEa

N pós plantio  
1ª Aplicação

N pós plantio  
2ª Aplicação

Leitura  
NDVI

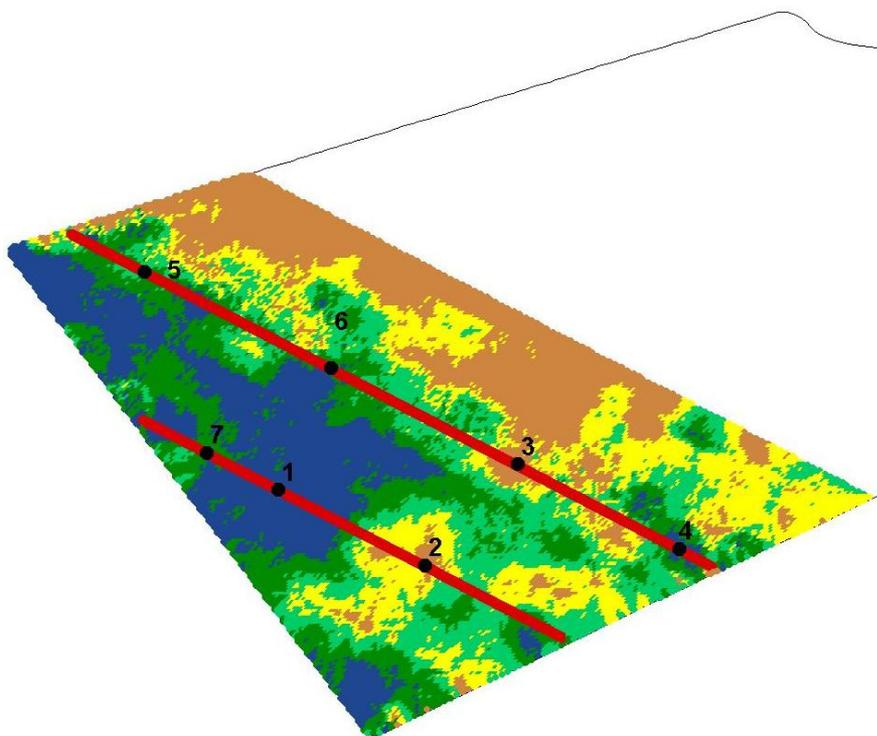


# Aplicação de N em Cobertura Milho

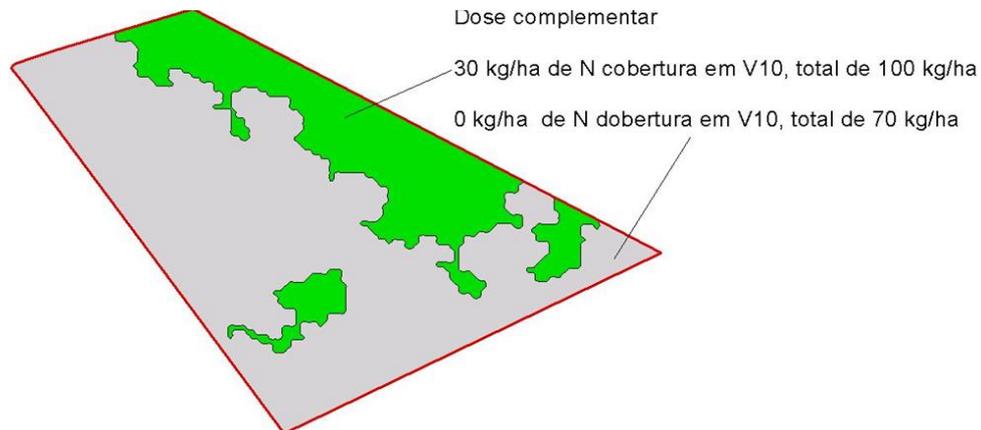


# Aplicação de N em Cobertura Milho

- Experimento em campo

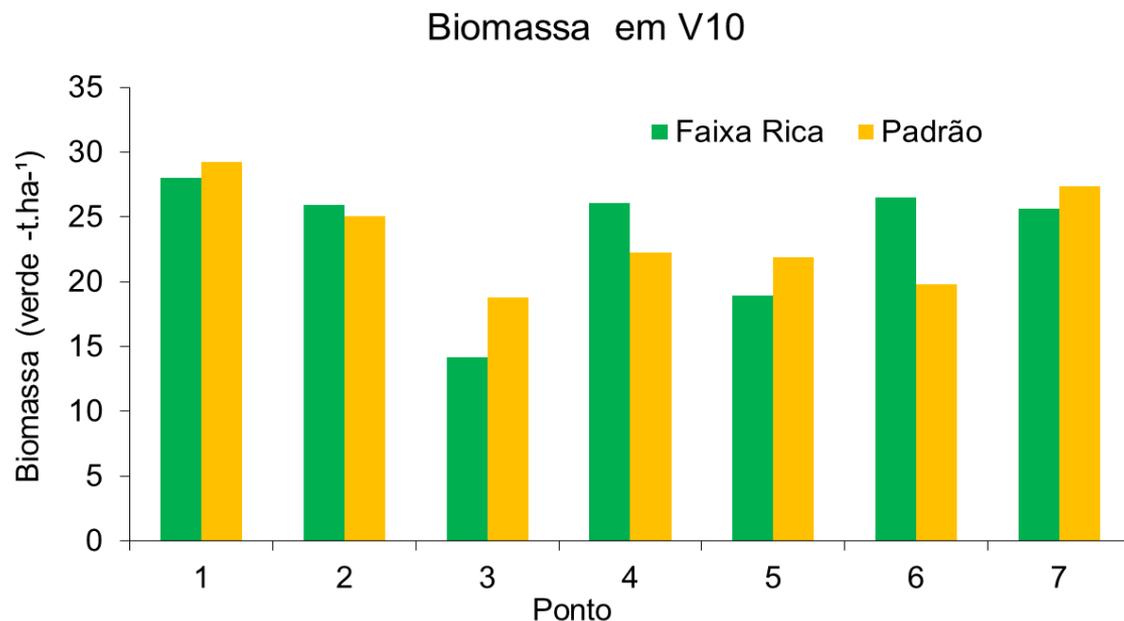


**Redução na dose  
total:  
15%  
≈ R\$35/ha**



# Aplicação de N em Cobertura Milho

- Experimento em campo



CORRELAÇÕES	NDVI 2014	CEa	Milho 2013
<b>CEa</b>	<b>0,52</b>		
<b>Milho 2013</b>	<b>0,71</b>	<b>0,90</b>	<b>1,00</b>
<b>Biomassa 2014</b>	<b>0,75</b>	<b>0,60</b>	<b>0,76</b>

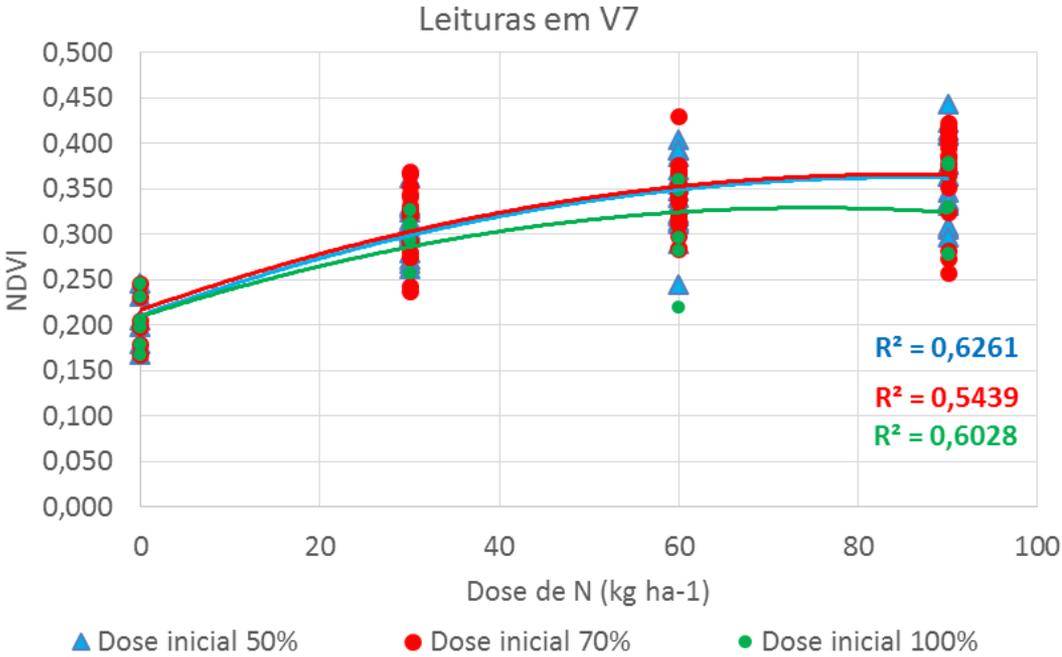
# Sensores ativos de refletância

Experimento: dose total x % dose inicial x momento



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

# Sensores ativos de refletância



Dose total (kg ha <sup>-1</sup> )	% N Inicial	Economia (%)
30	50	3
60	50	14
90	50	17
30	70	5
60	70	7
90	70	18

# Mensuração do Vigor de Plantas

- Diversas ferramentas com especificações distintas
  - Resolução temporal;
  - Resolução espacial;
  - Capacidade operacional;
  
  - Plataformas orbitais;
  - Plataformas aéreas;
  - Plataformas terrestres;

**Definir unidades  
de manejo**

**Ações durante a  
safra**

# 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	😊😊😊	😐😐😐



# Manejo da Variabilidade

# Taxa Variável em Soja – Experimento 1

## • População de plantas x adubação x região

TMG 1179 semeada em  
26/10/2013

### Adubação:

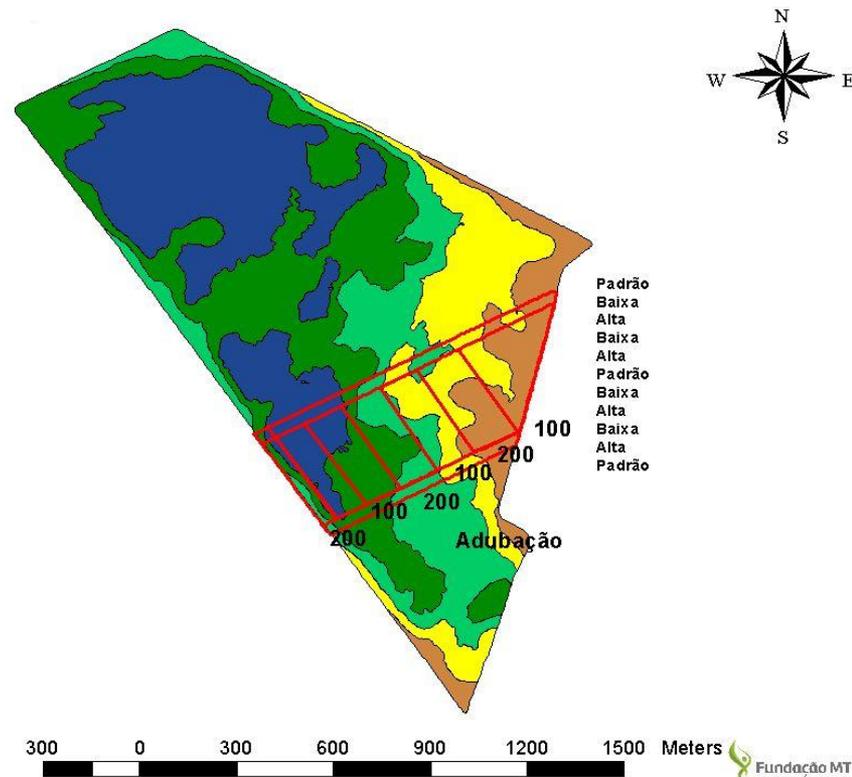
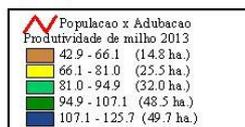
Antecipada em superfície, 250 kg  
ha<sup>-1</sup> de S Simples + 200 kg ha<sup>-1</sup> KCl +  
50 kg ha<sup>-1</sup> MAP

### População (0,45 m):

16 sem/m, 11 sem/m, 21 sem/m

### Granulometria:

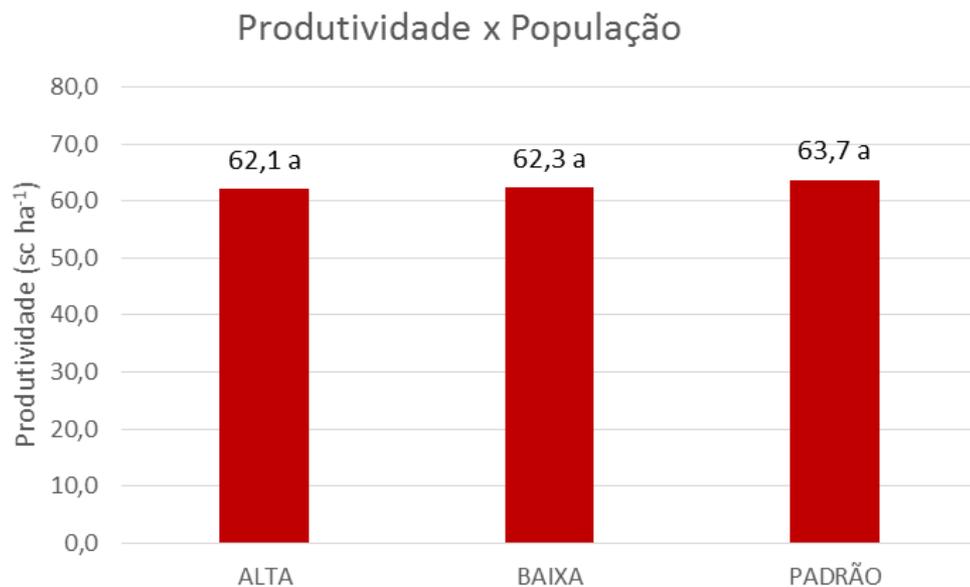
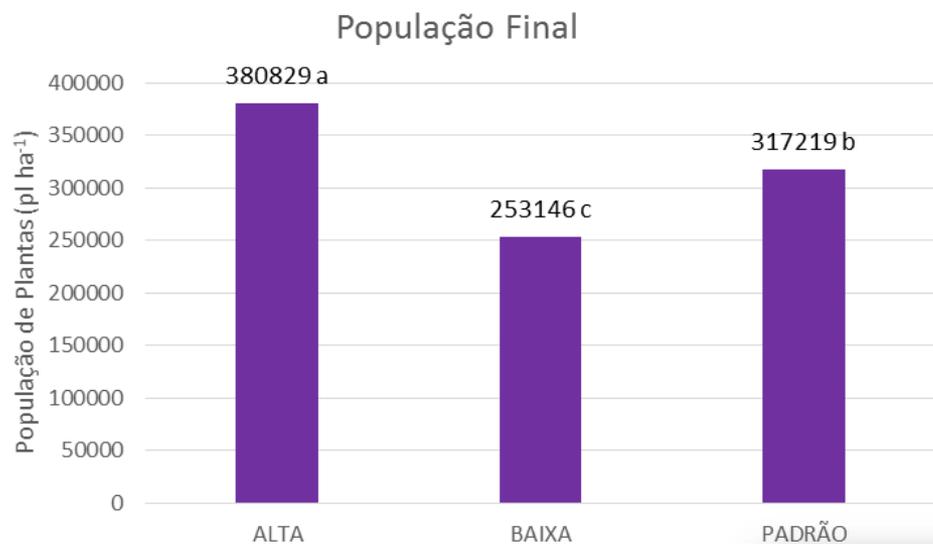
Arenoso, 16% de argila



# Taxa Variável em Soja – Experimento 1

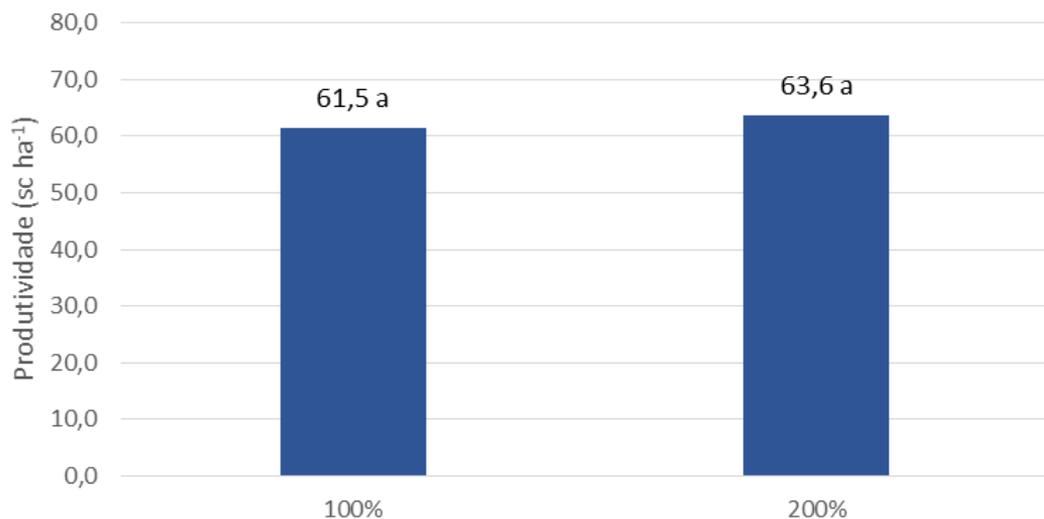
Causa de Variação	Prob > F
População	0,9263
Região	<b>0,0003</b>
Adubação	0,1903
Interação Pop x Região	0,4745
Interação Pop x Adubação	0,7971
Interação Região x Adubação	0,9315
Interação Pop. x Região x Adubação	0,8891

# Taxa Variável em Soja – Experimento 1

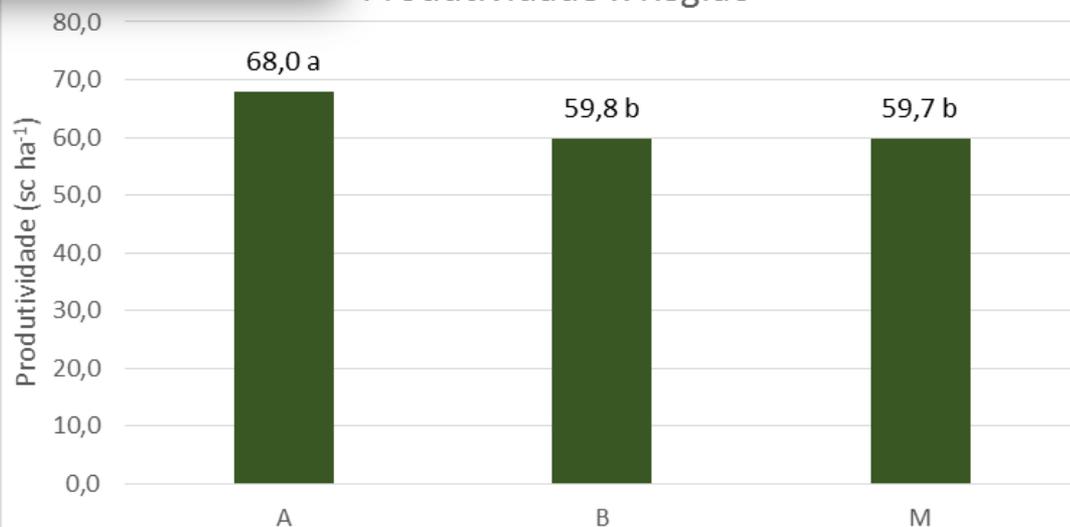


# Taxa Variável em Soja – Experimento 1

## Produtividade x Adubação

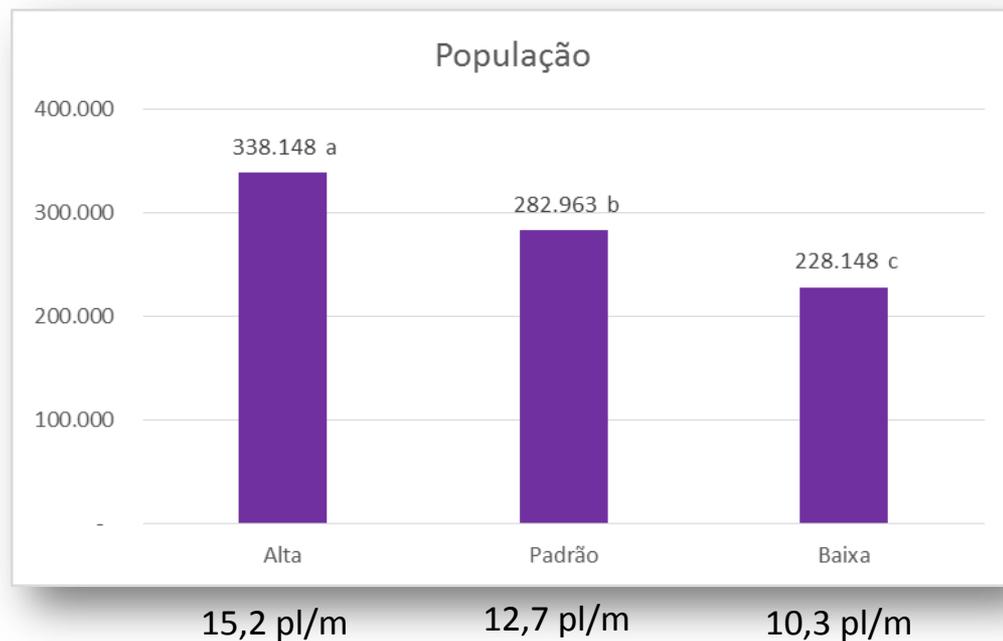
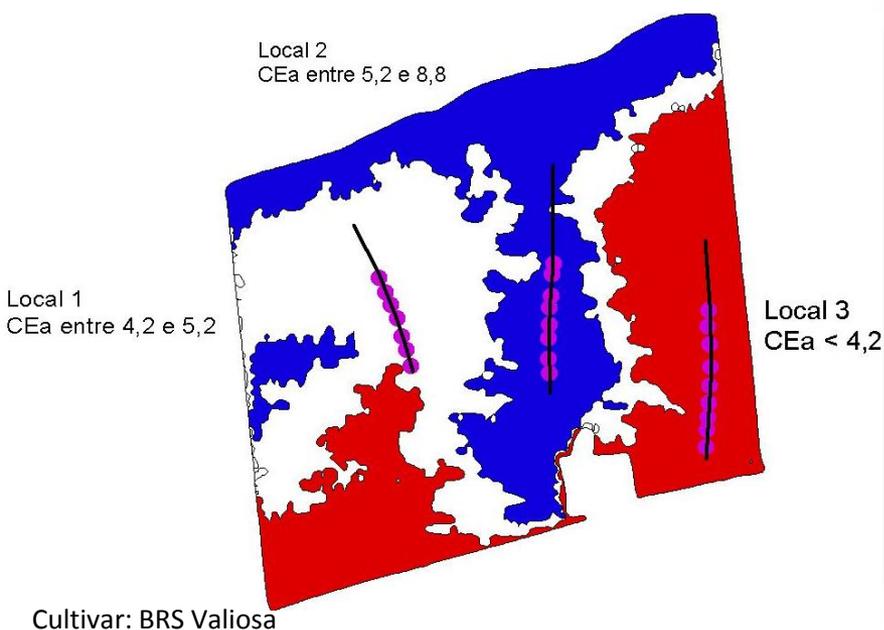


## Produtividade x Região



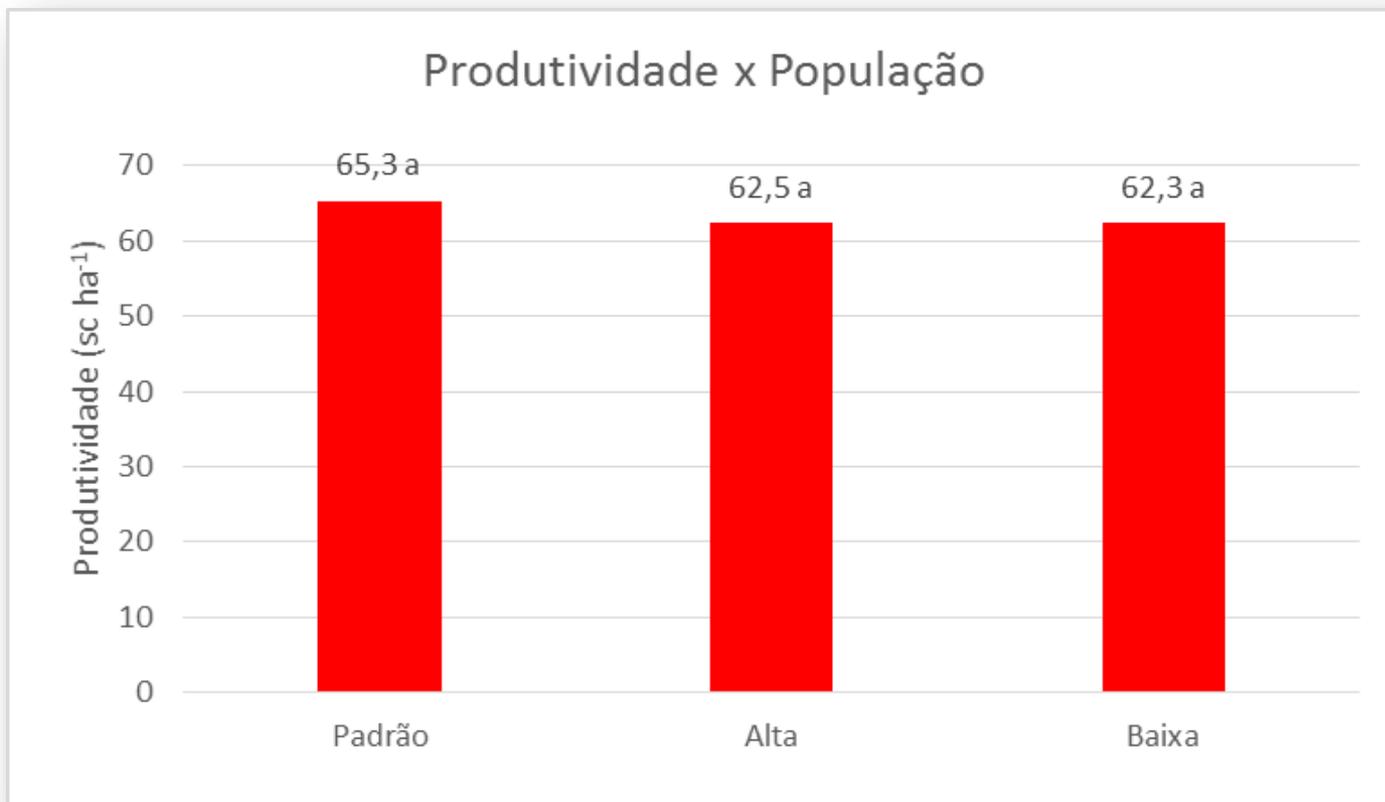
# Taxa Variável em Soja – Experimento 2

- População de plantas de soja em taxa variada
  - Faixas com população fixa atravessando variação do solo
  - Condutividade Elétrica Aparente para definir regiões



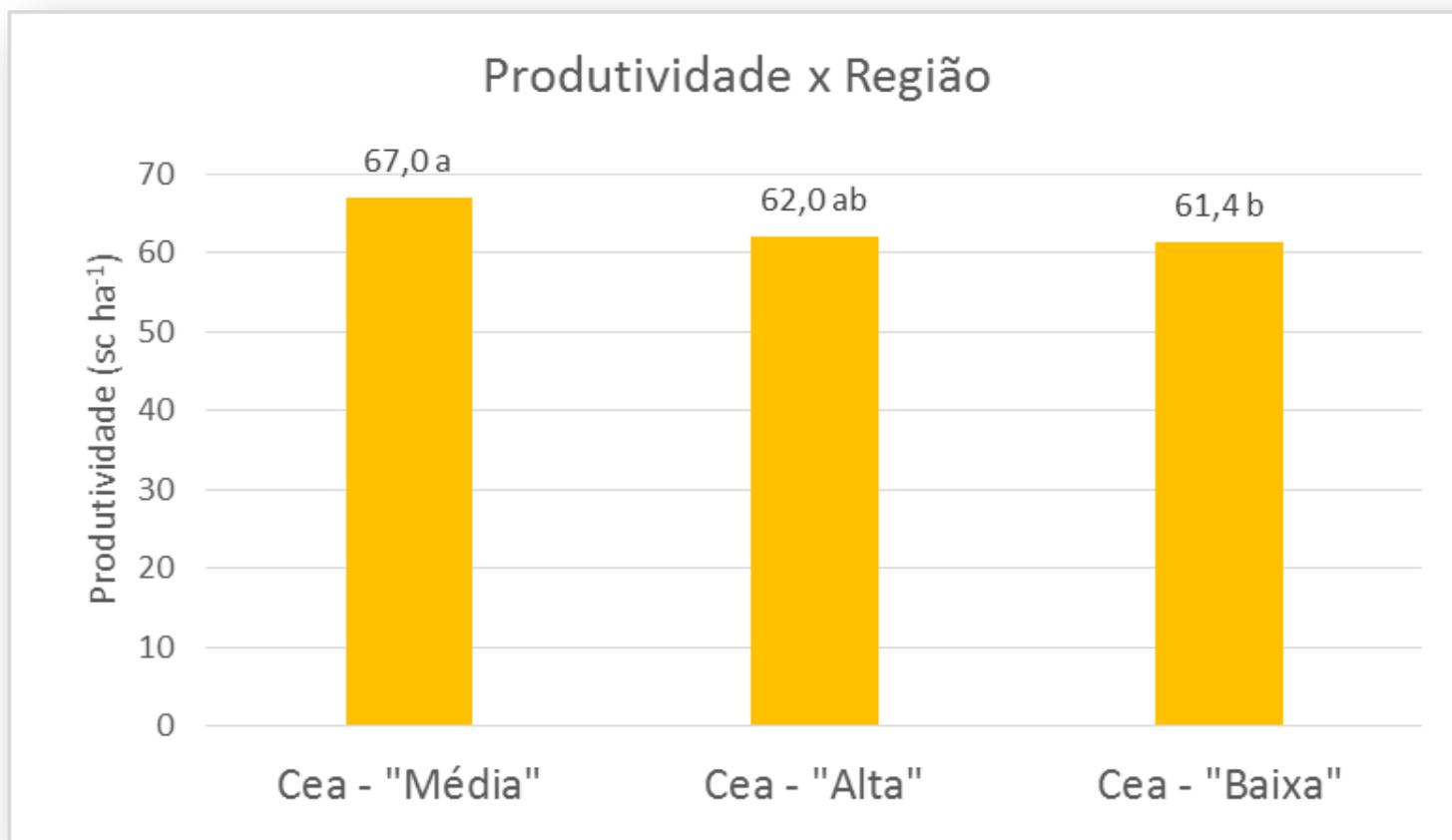
# Taxa Variável em Soja – Experimento 2

- Efeito não significativo da interação ou população



# Taxa Variável em Soja – Experimento 2

- Efeito **significativo do local**



## População de plantas x adubação x local

TMG 4182 semeada em 07/11/2013

### Adubação:

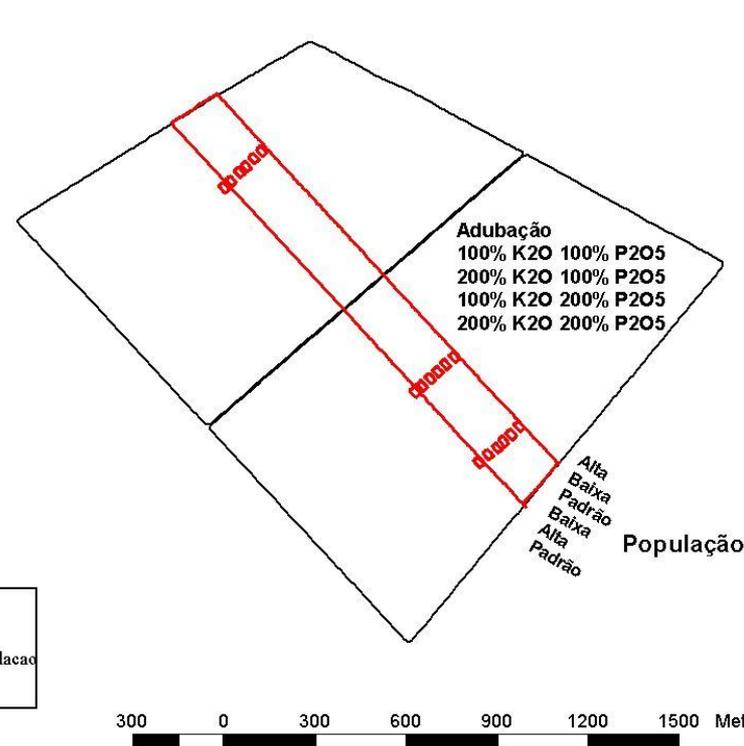
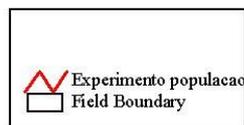
Antecipada em superfície, 250 kg ha<sup>-1</sup> de S Simplex + 200 kg ha<sup>-1</sup> KCl + 50 kg ha<sup>-1</sup> MAP

### Granulometria:

Média, 20% de argila

### População (0,45m):

14 pl/m, 11 pl/m, 18 pl/m

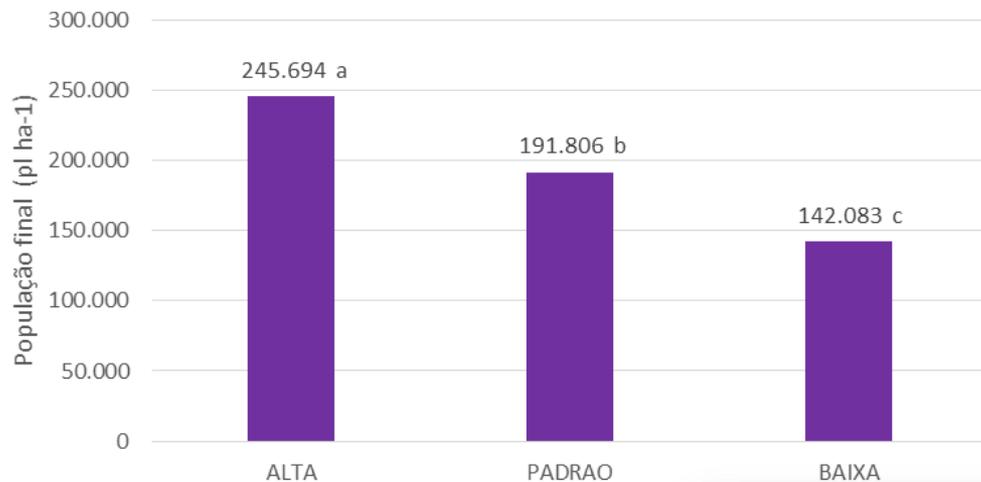


## Taxa Variável em Soja – Experimento 3

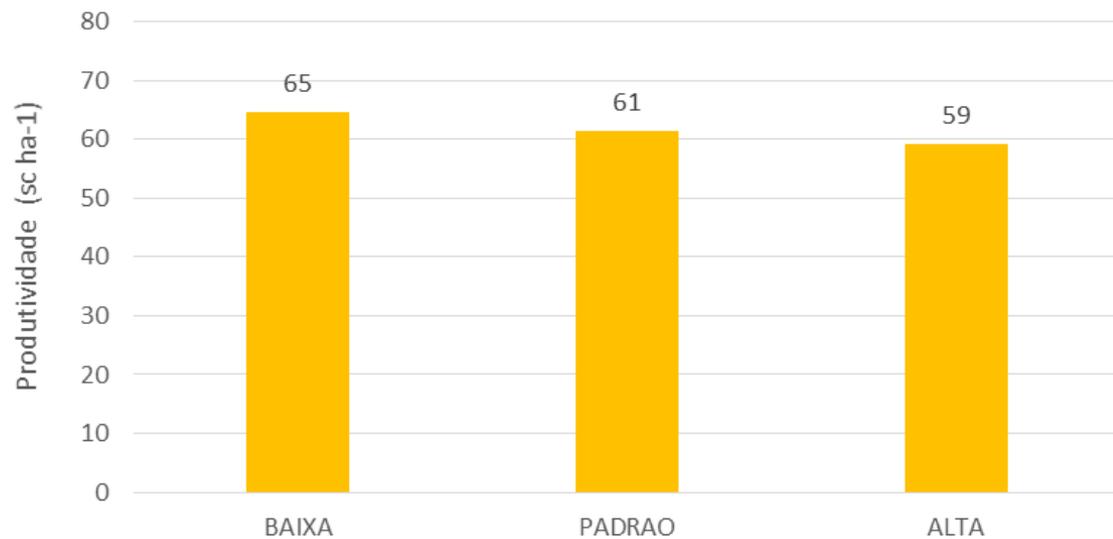
Causa de Variação	Prob > F
População	0,2603
Adubação	0,8285
Local	<,0001
População x Adubação	0,9888
Local x População	0,7855
Local x Adubação	0,6347
Local x População x Adubação	0,5348

# Taxa Variável em Soja – Experimento 3

## População Final

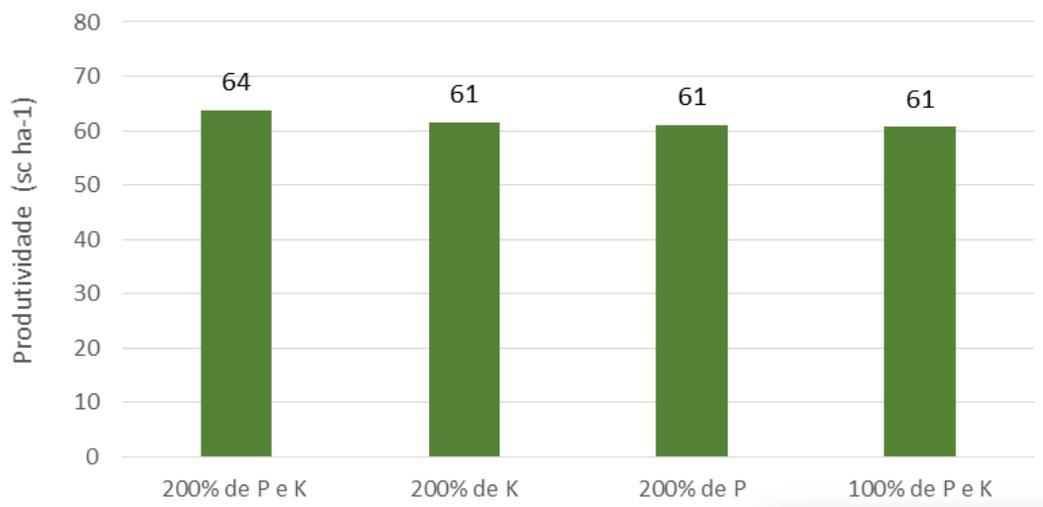


## Produtividade x População

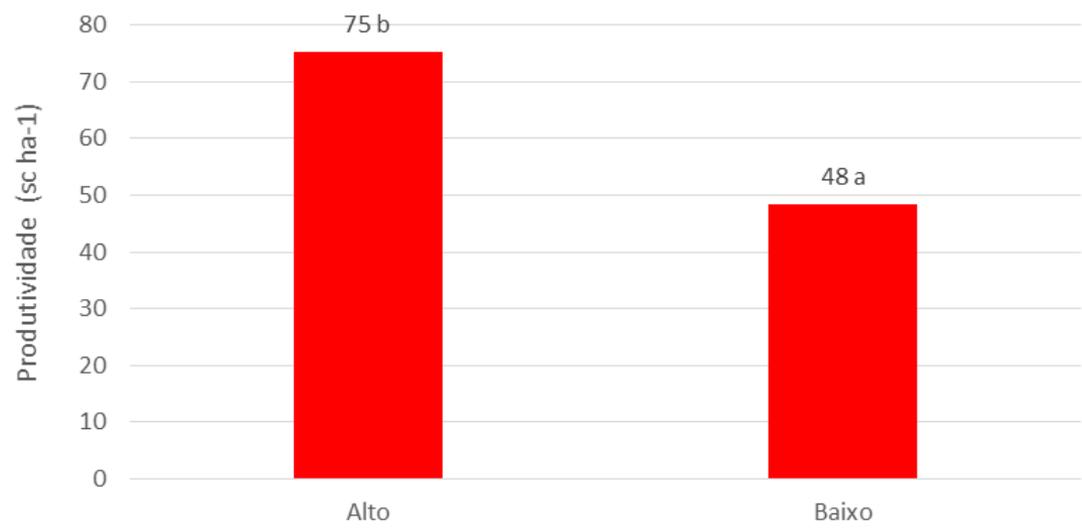


# Taxa Variável em Soja – Experimento 3

### Produtividade x Adubação



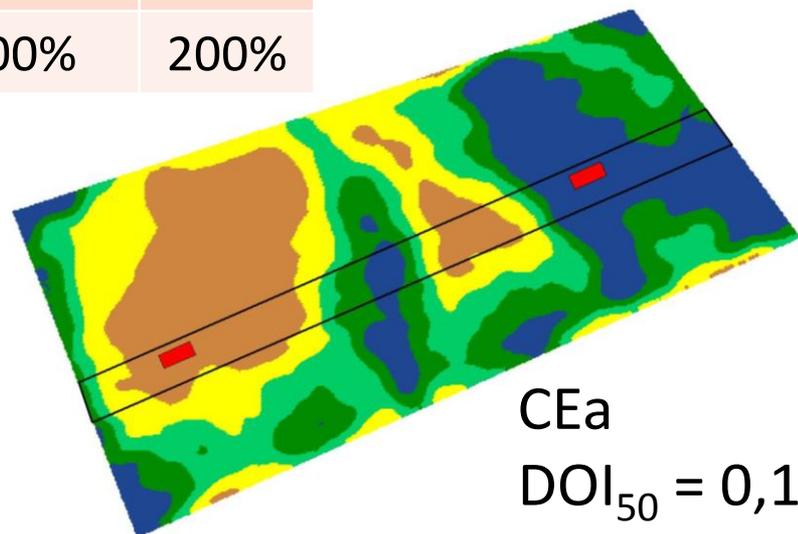
### Produtividade x Potencial



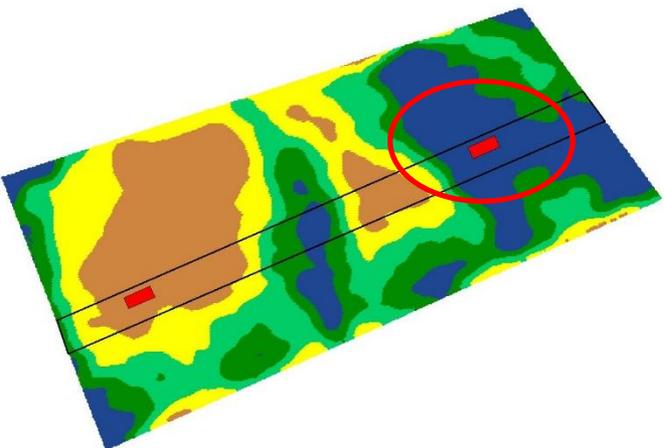
# Taxa Variável em Algodão

- Algodão em área com Variabilidade
  - CEa e produtividade

Fator	Níveis			
Potencial	Alto	Baixo		
Densidade Sem.	7 pl/m	10 pl/m	17 pl/m	
Regulador	Com	Sem		
Adubação	0%	50%	100%	200%

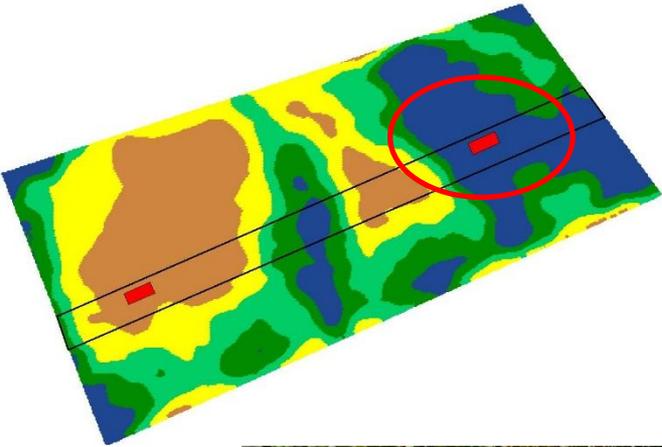


# Tecnologia f(ambiente)



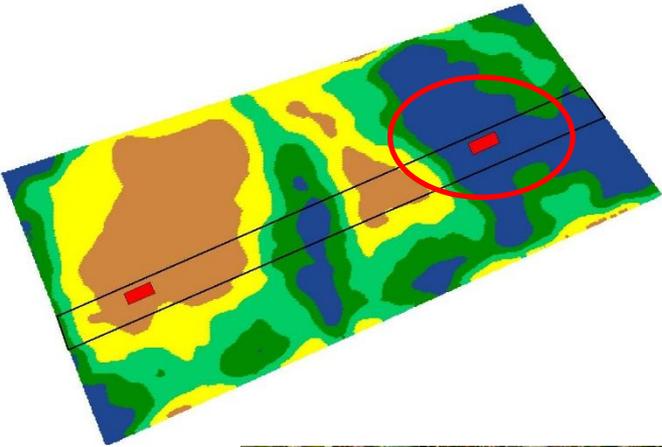
**TALHÃO: 7 R. ALTA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 0%**  
**REGULADOR: C**

# Tecnologia f(ambiente)



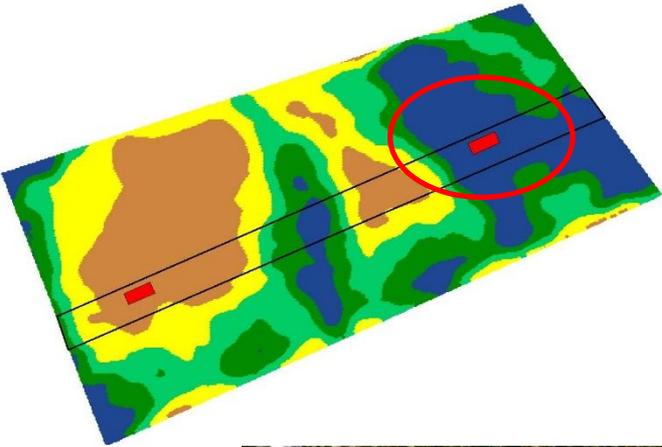
**TALHÃO: 7 R. ALTA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 50%**  
**REGULADOR: C**

# Tecnologia f(ambiente)



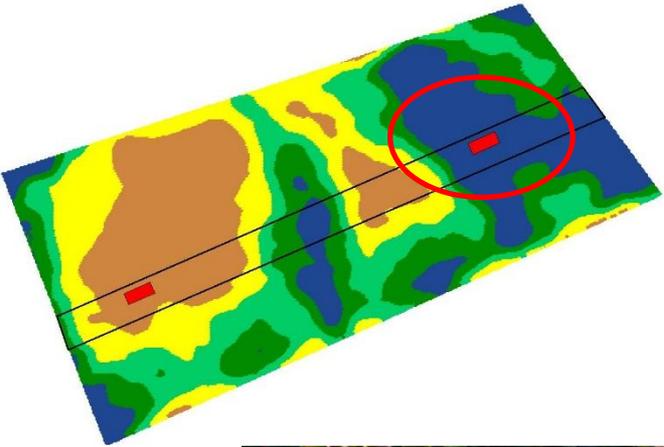
**TALHÃO: 7 R. ALTA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 100%**  
**REGULADOR: C**

# Tecnologia f(ambiente)



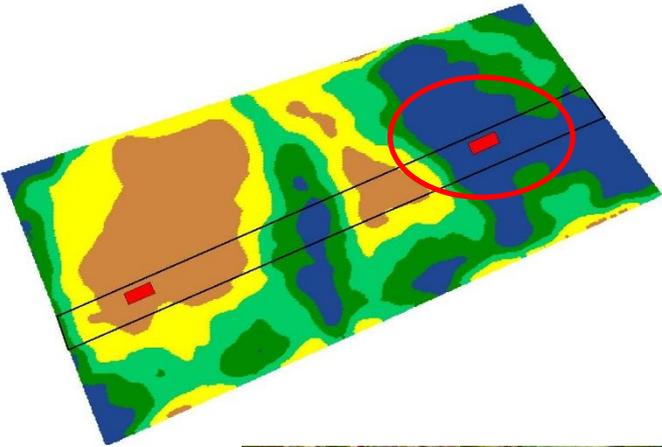
**TALHÃO: 7 R. ALTA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 200%**  
**REGULADOR: C**

# Tecnologia f(ambiente)



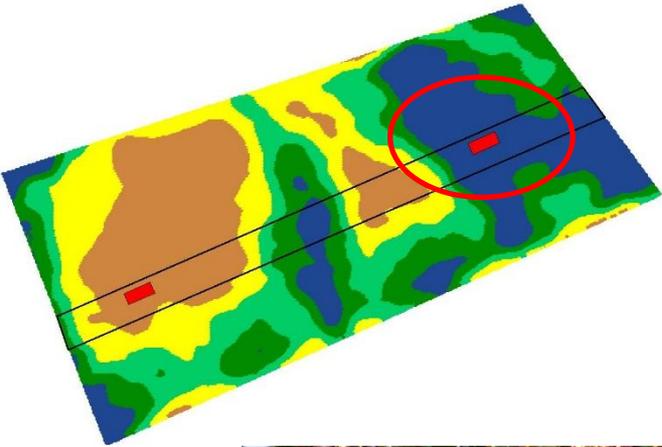
**TALHÃO: 7 R. ALTA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 0%**  
**REGULADOR: S**

# Tecnologia f(ambiente)



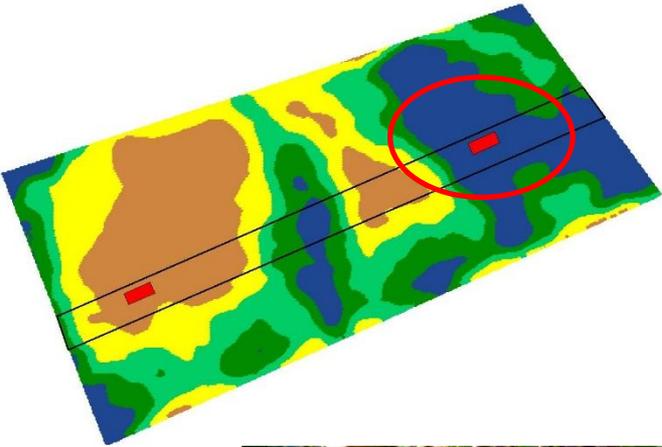
**TALHÃO: 7 R. ALTA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 50%**  
**REGULADOR: S**

# Tecnologia f(ambiente)



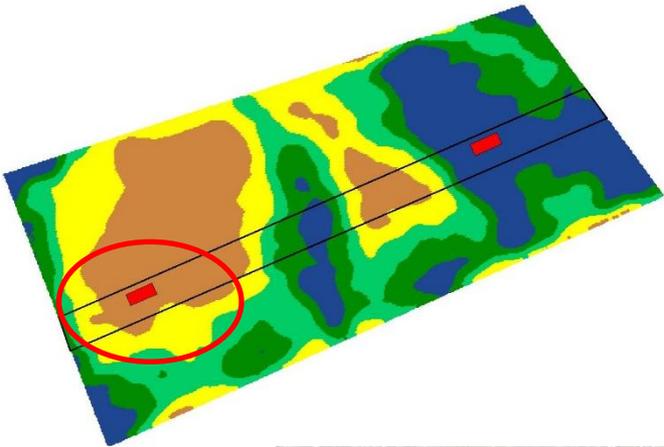
**TALHÃO: 7 R. ALTA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 100%**  
**REGULADOR: S**

# Tecnologia f(ambiente)



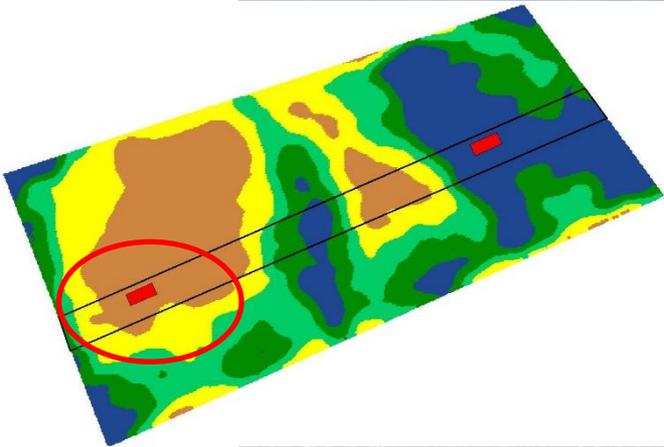
**TALHÃO: 7 R. ALTA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 200%**  
**REGULADOR: S**

# Tecnologia f(ambiente)



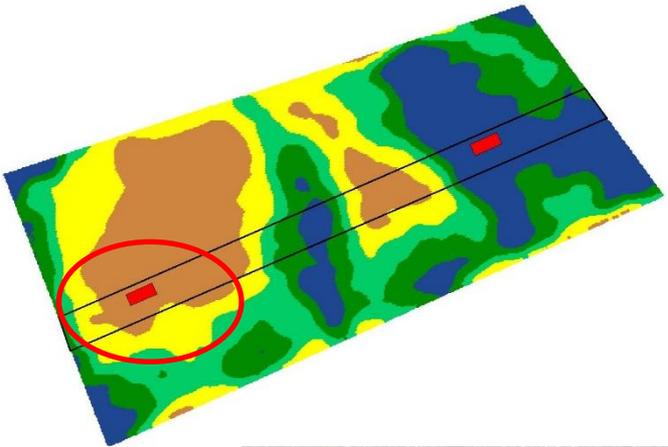
**TALHÃO: 7 R. BAIXA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 0%**  
**REGULADOR: C**

# Tecnologia f(ambiente)



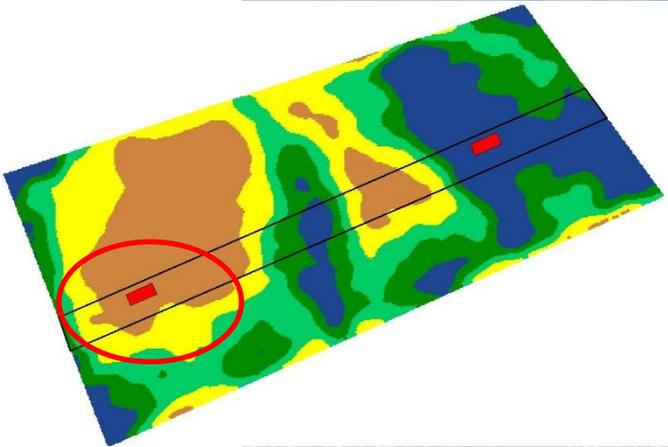
**TALHÃO: 7 R. BAIXA  
POPULAÇÃO: MÉDIA  
ADUBAÇÃO: 50%  
REGULADOR: C**

# Tecnologia f(ambiente)



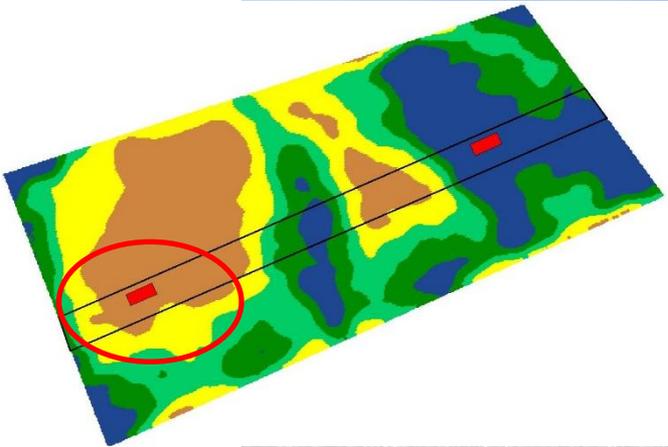
**TALHÃO: 7 R. BAIXA  
POPULAÇÃO: MÉDIA  
ADUBAÇÃO: 100%  
REGULADOR: C**

# Tecnologia f(ambiente)



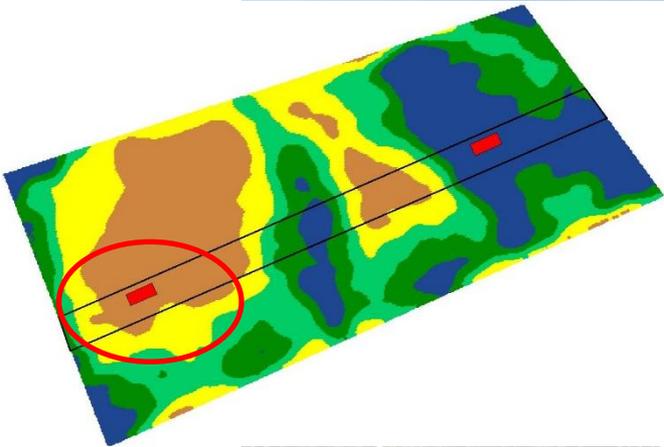
**TALHÃO: 7 R.BAIXA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 200%**  
**REGULADOR: C**

# Tecnologia f(ambiente)



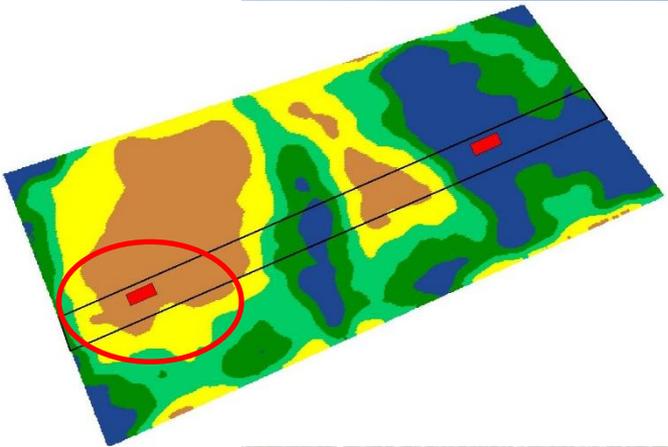
**TALHÃO: 7 R.BAIXA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 0%**  
**REGULADOR: S**

# Tecnologia f(ambiente)



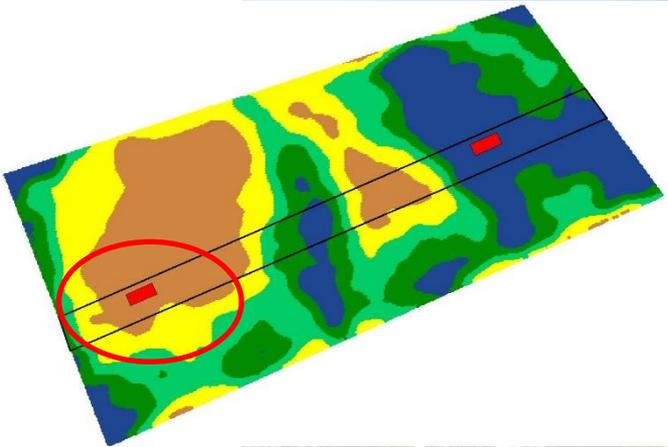
**TALHÃO: 7 R.BAIXA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 50%**  
**REGULADOR: S**

# Tecnologia f(ambiente)



**TALHÃO: 7 R.BAIXA**  
**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 100%**  
**REGULADOR: S**

# Tecnologia f(ambiente)



**POPULAÇÃO: MÉDIA**  
**ADUBAÇÃO: 200%**  
**REGULADOR: S**

# Tecnologia f(ambiente)



# Tecnologia f(ambiente)



# Tecnologia f(ambiente)



# Manejo da variabilidade espacial - Cerrado

**Agricultura de Sequeiro – Cerrado:  
2 safras onde “caberiam” 1,5**

**Intensificação  
Ciclos curtos**

**Pressão operacional**

**Impedimento  
mecânico**

**Correção**

**Nematóides**

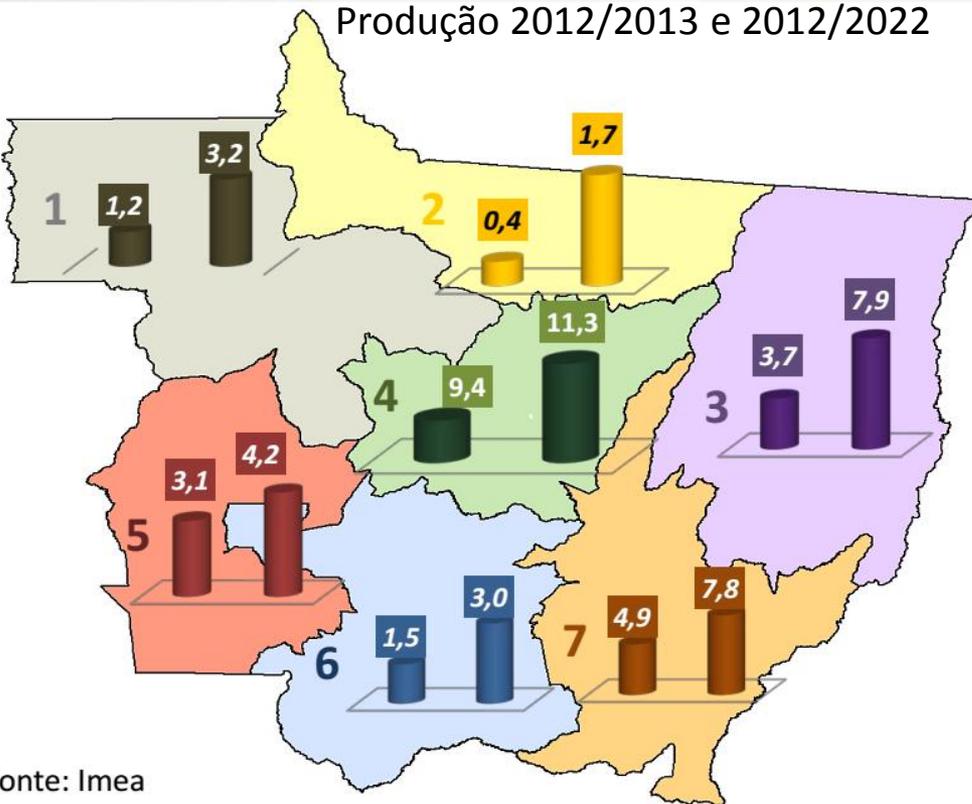
**Nutrição**

**Raízes  
Demanda por água**

**Gestão da água disponível!**

# Desafio

Produção 2012/2013 e 2012/2022



Indicadores	2012/13	2021/22	%
Área (milhões de ha)	7,9	11,9	51,8%
Produtividade (t/ha)	3,1	3,3	6,7%
Produção (milhões de t)	24,1	39,1	61,9%

Participação

Macroregião	2012/13	2021/2022
1 Noroeste	5%	8%
2 Norte	2%	4%
3 Nordeste	15%	20%
4 Médio-Norte	39%	29%
5 Oeste	13%	11%
6 Centro-Sul	6%	8%
7 Sudeste	20%	20%

Fonte: Imea

# Considerações Finais

- Fatores restritivos f(sistema);
- Manejo nutricional **de sistema** de modo localizado;
- Há diversas ferramentas disponíveis e complementares;
- Passo a passo, colocando a técnica como auxiliar à ciência agrônômica;
- Sistemas com histórico de cultivo demandam maior atenção;

# Considerações Finais

- Em áreas com histórico de cultivo com granulometria média ou menos argilosa não houve aumento em produtividade com aplicação de fertilizantes para a soja;
- Amadurecimento da técnica;
  - Agricultura de Precisão → continua sendo agricultura;
  - Para evolução está evidente um desafio aos prestadores de serviço: conquistar clientes através de maior comprometimento – filosofia de manejo;

# Grato pela atenção,



20 anos

Leandro M. Gimenez

PMA – Fundação MT

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

(66) 3439 4100

