

VI Simpósio Regional • IPNI Brasil

BOAS PRÁTICAS PARA USO EFICIENTE DE FERTILIZANTES

Dourados - MS • 15 e 16 de Abril de 2014

**Estamos utilizando corretamente as
ferramentas da agricultura de precisão
como suporte para as BPUFs?**

Leandro M. Gimenez



Fundação MT



Apresentação



MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA

DETERMINAR O IMPACTO SOBRE CUSTOS DIRETOS E **INDIRETOS**

RESPONDER À QUESTÃO: COMO FAZER?

MANEJO DA VARIABILIDADE ESPACIAL

Retrospecto AP

- ✓ Chegada ao Brasil em 1996 através da indústria
- ✓ 1999 academia intensifica ações de pesquisa
- ✓ 2002 iniciativa privada oferece serviços
- ✓ 2008 regionalização de serviços e empresas
- ✓ 2012 “pacotes” de serviços
- ✓ 2013 sensoriamento remoto através de vant
- ✓ 2014 dificuldades e incertezas persistem

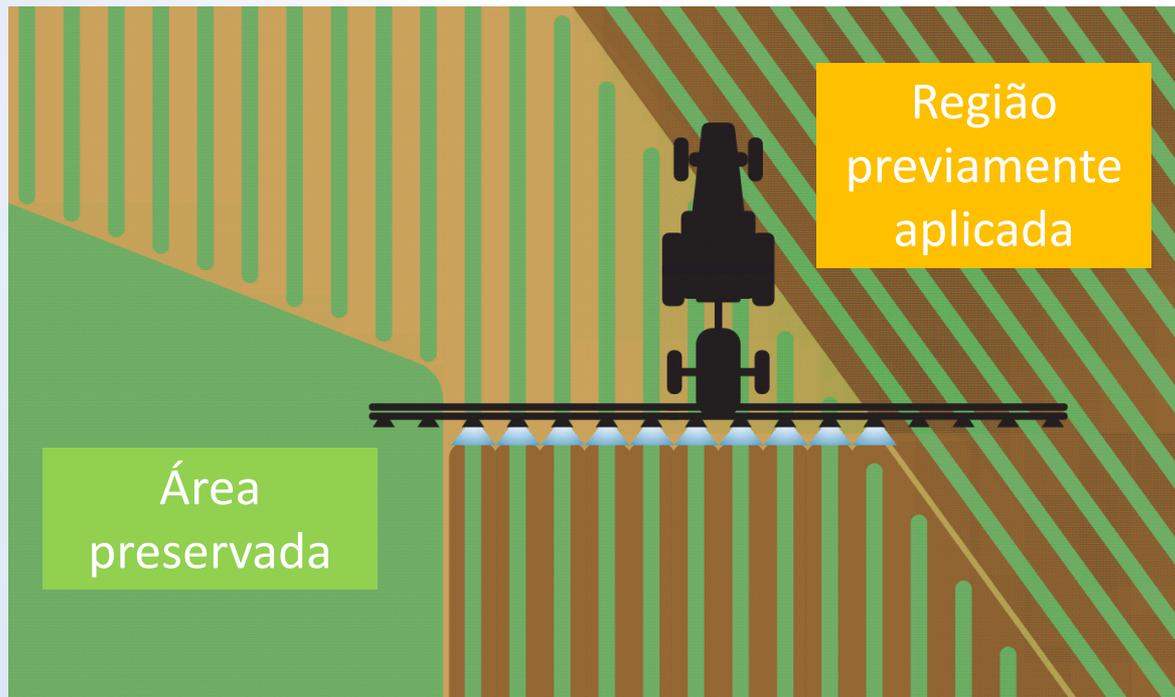
Conceito

Eletrônica embarcada em máquinas agrícolas



Eletrônica em Máquinas Agrícolas

- ✓ Controladores de seção
- ✓ Controladores de vazão



Manejo da Variabilidade Espacial

- ✓ A percepção da variabilidade é inerente ao agricultor
- ✓ Aumento em escala impediu o tratamento localizado
- ✓ Novas ferramentas permitem melhorar a eficiência na utilização de máquinas agrícolas, caracterizar, corrigir ou conviver de modo sustentável com a variabilidade espacial
- ✓ Devemos utilizar estas ferramentas como **auxiliares ao processo de produção e nunca em detrimento à ciência agrônômica**

Manejo da Variabilidade Espacial

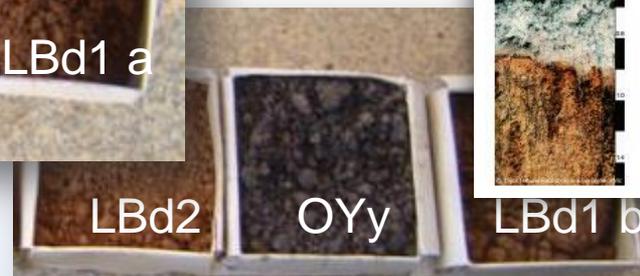
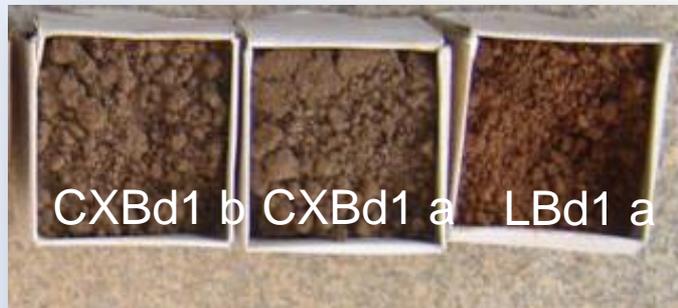
REQUISITOS

Existe?

Qual a distribuição espacial?

Oscila ao longo do tempo?

Qual a intensidade?



Relação Efeito - Causa

Caracterização da variabilidade

Vigor, Biomassa, Produtividade → **Efeito**

Ambiente → **Causa**

Água, nutrientes, impedimentos físicos, bióticos

Tratamento localizado

Fertilizantes e corretivos

Preparo do solo

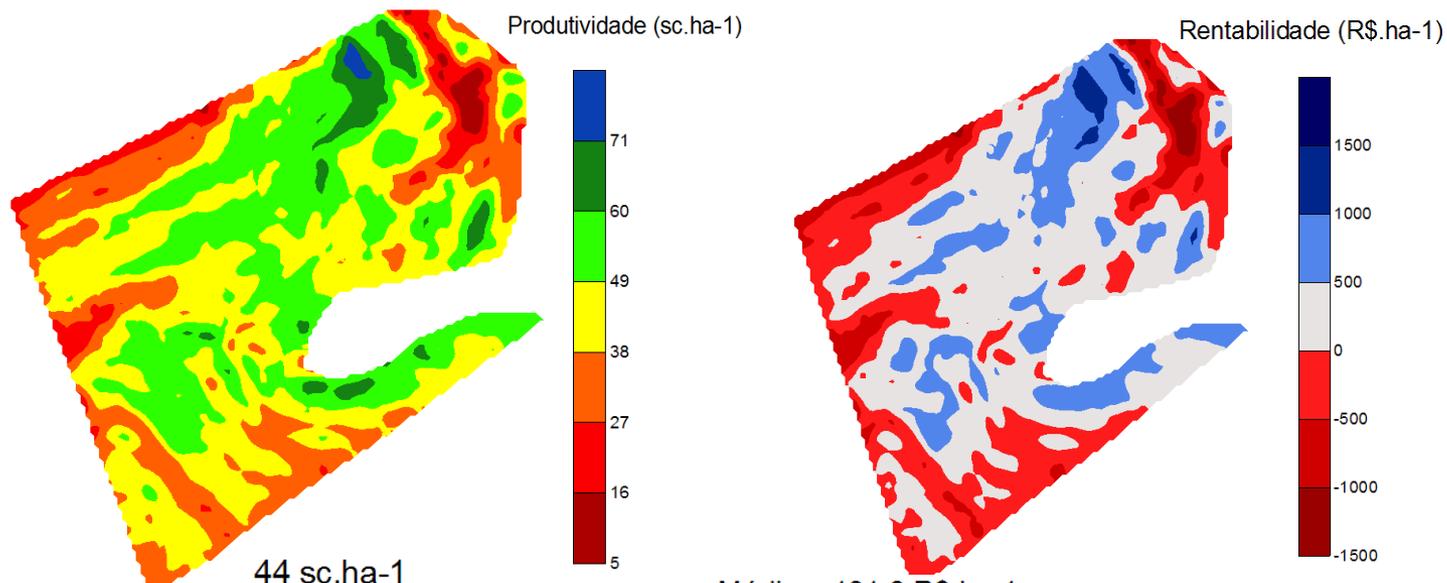
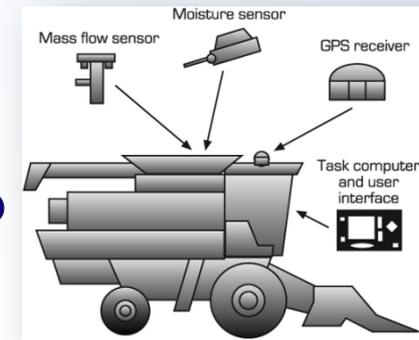
População de plantas

Qual o custo da variabilidade espacial?

Mapa de produtividade

Resultado de todas as ações de manejo

Variabilidade do retorno econômico



Gimenez, L.M. (2012) – Fundação MT

Média = 131.6 R\$.ha-1

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

Qual o custo da variabilidade espacial?

No MT coeficientes de variação para soja oscilando entre 7 e 30%, com média de 16%

Cultura	Produtividade Kg.ha ⁻¹	Kg.ha ⁻¹ em função do CV da Produt. (%)							
		5	10	15	20	25	30	35	40
Algodão	3600	180	360	540	720	900	1080	1260	1440
Milho	8000	400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200
Soja	3000	150	300	450	600	750	900	1050	1200

Qual o custo da variabilidade espacial?

O objetivo final é baixar o CV? Sim, o da rentabilidade global

Variabilidade do retorno econômico

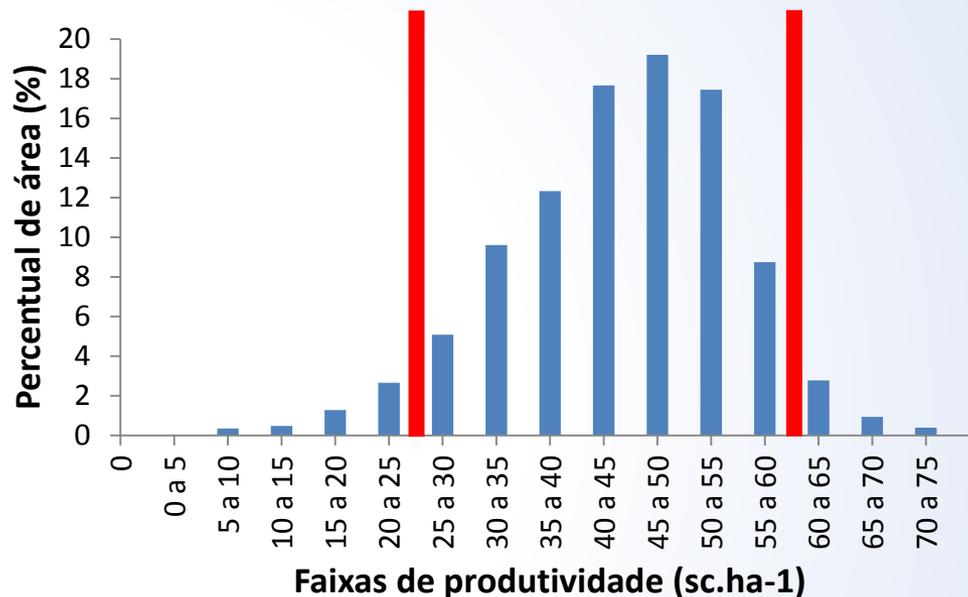
Cultura	Produtividade kg.ha ⁻¹	R\$.ha ⁻¹ em função do CV da Produt. (%)							
		5	10	15	20	25	30	35	40
Algodão	3588	408	816	1224	1632	2040	2448	2856	3264
Milho	7200	147	293	440	587	733	880	1027	1173
Soja	3000	113	225	338	450	563	675	788	900

Valores de venda: Algodão R\$34,0/@ em caroço, Milho R\$22,0/sc, Soja R\$45,0/sc.

Impacto Financeiro da Variabilidade Espacial

✓ 10% da área menos produtivo = 23,7 sc.ha⁻¹

✓ 10% da área mais produtivo = 60,4 sc.ha⁻¹



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

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

Uso mapas de colheita e fertilizantes

Nutriente a aplicar

=

Nutriente demandado

-

Nutriente disponível

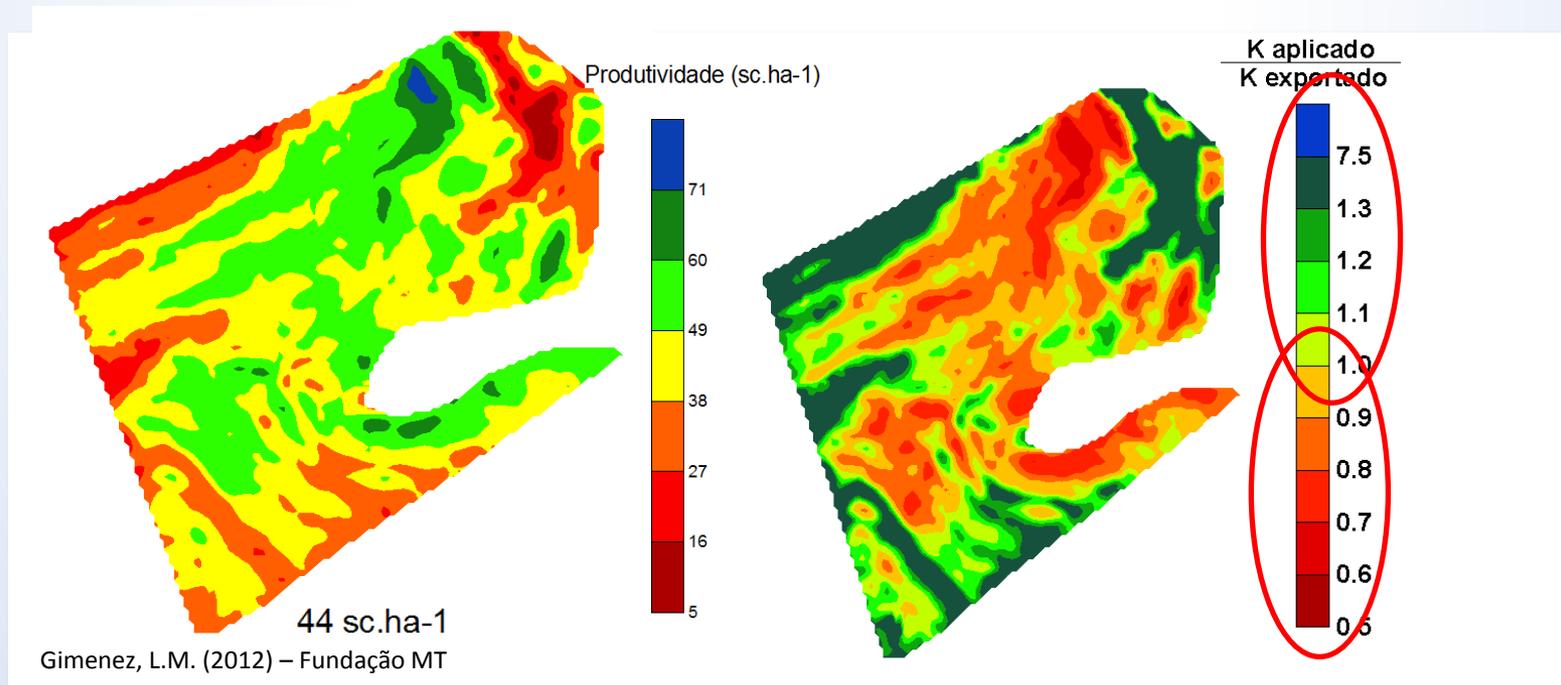


Variabilidade espacial na utilização do nutriente pela cultura

Aplicado ÷ Exportado

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

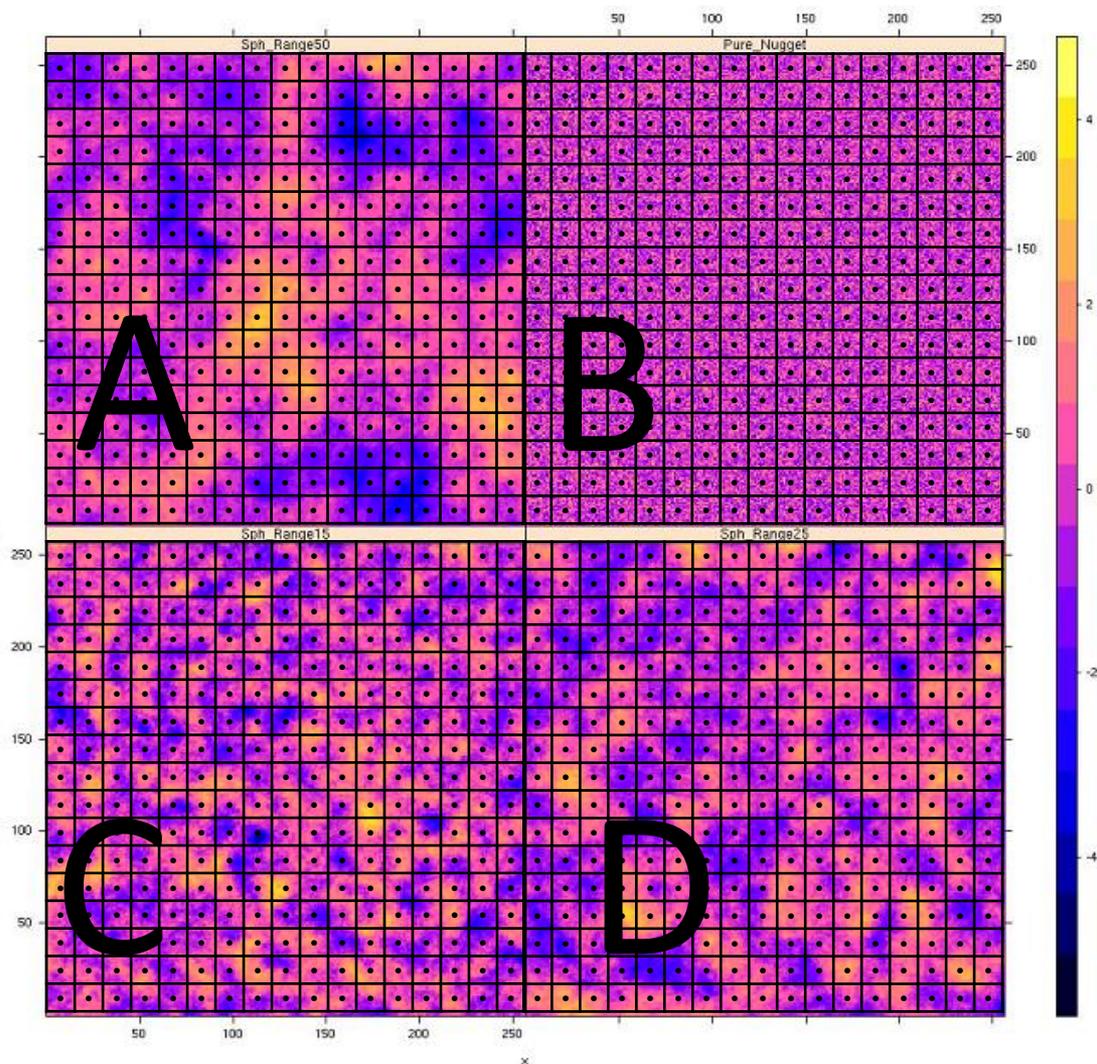
Áreas onde “sobra” nutriente, **outro fator limita**



Como caracterizar a variabilidade espacial dos teores de nutrientes?

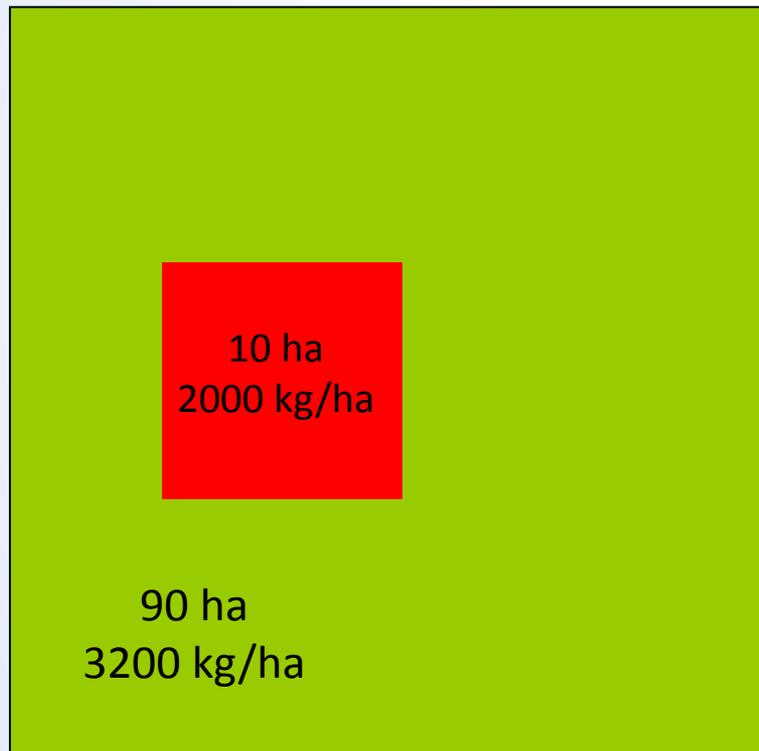
Amostragem sistemática em pontos

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



Entendendo a variabilidade espacial

Distribuição espacial e intensidade

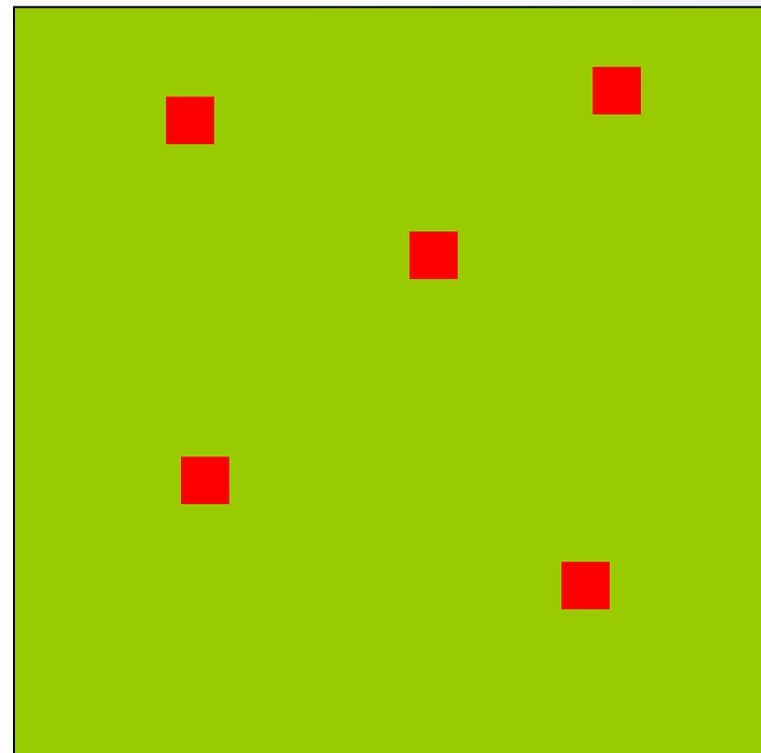
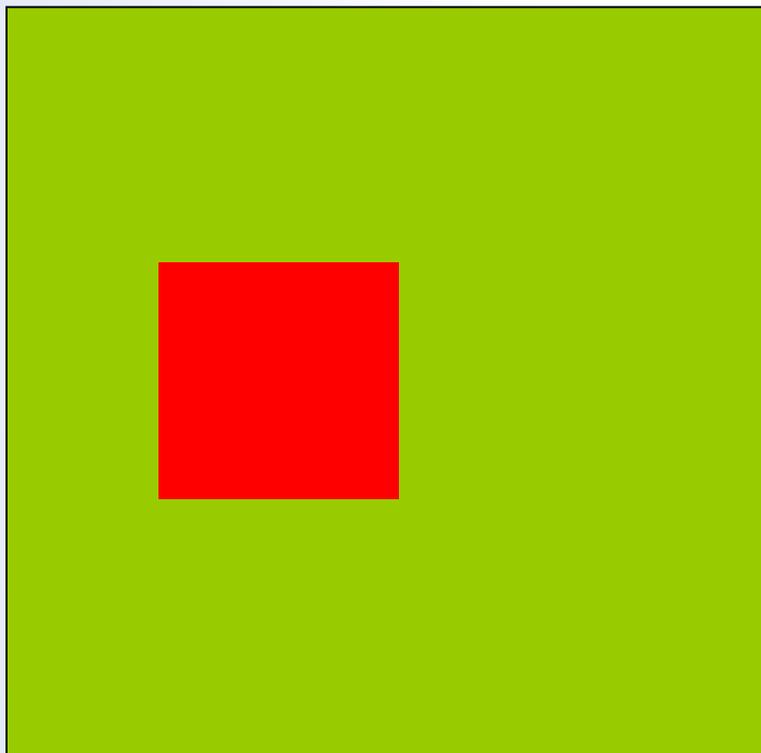


Intensidade **ALTA**
Abrangência **BAIXA**
Média = $3080 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$



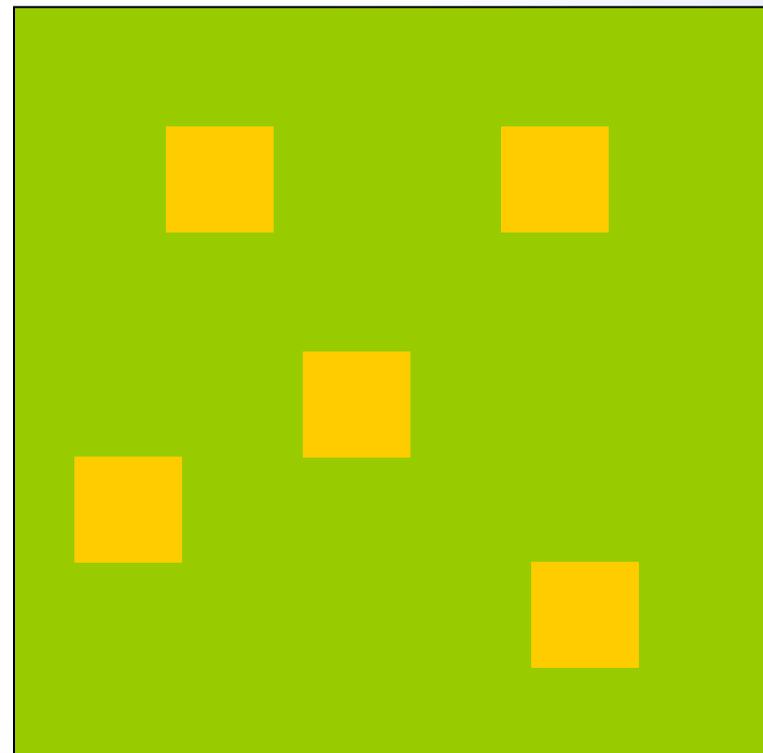
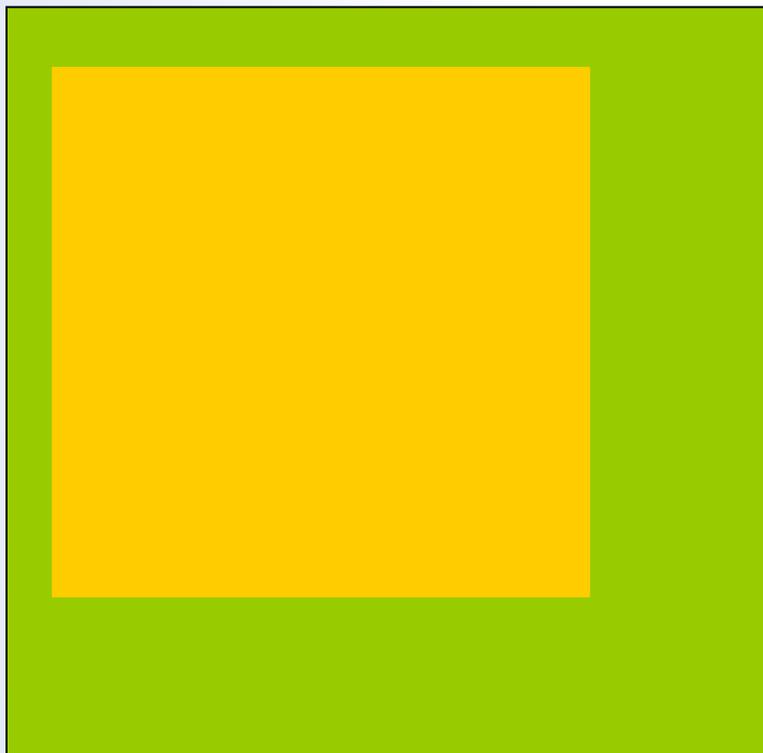
Intensidade **BAIXA**
Abrangência **ALTA**
Média = $3080 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

Entendendo a variabilidade espacial



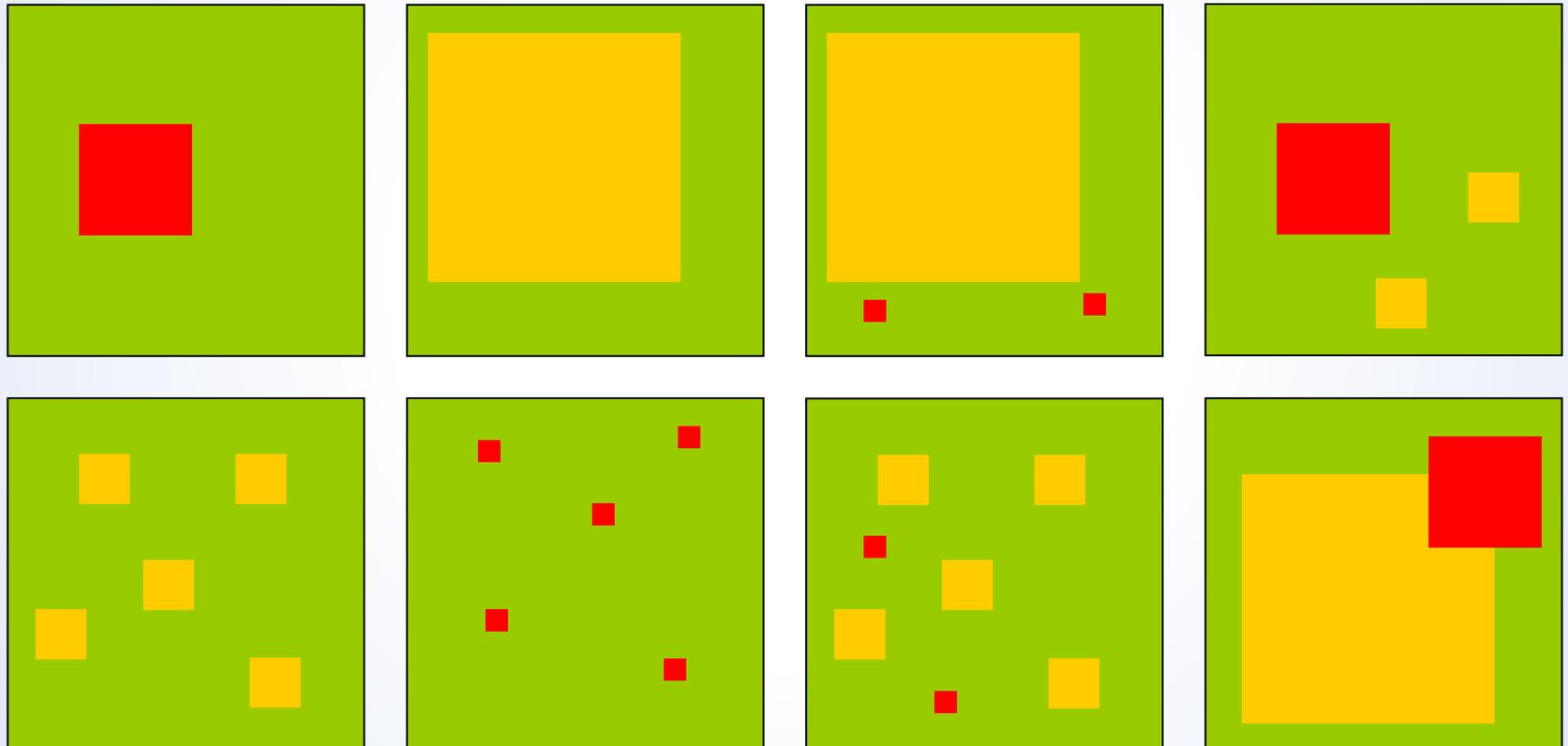
Necessário: Alta densidade de amostragem

Entendendo a variabilidade espacial

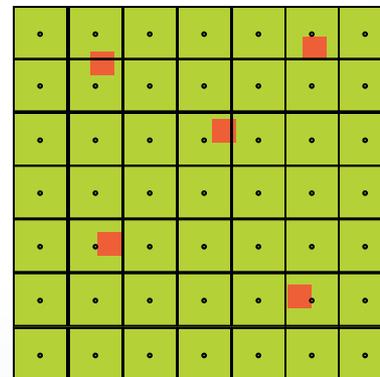
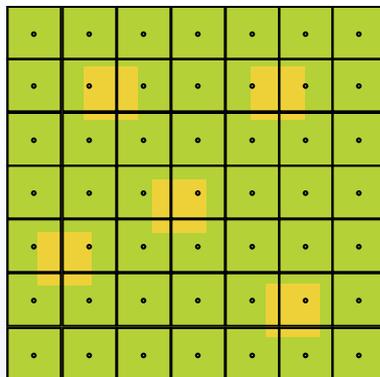
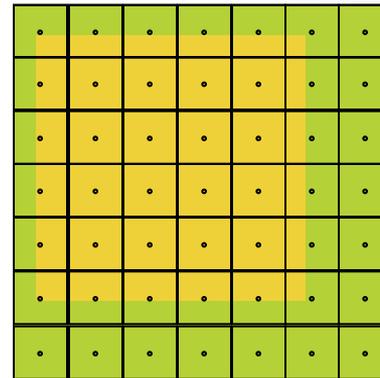
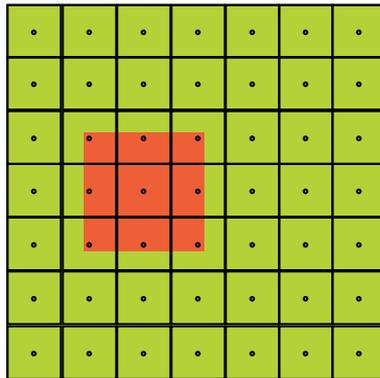


Necessário: Densidade de amostragem e sensibilidade do instrumento

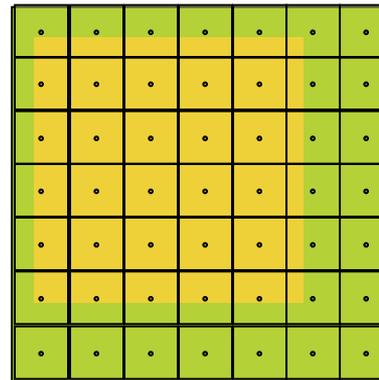
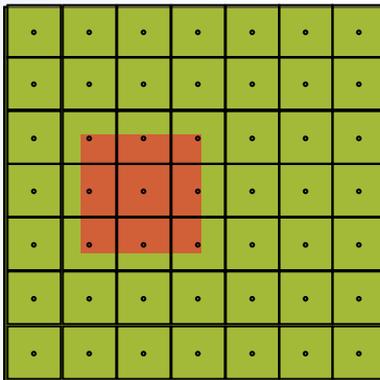
Entendendo a variabilidade espacial



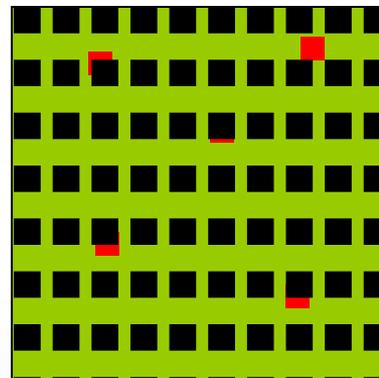
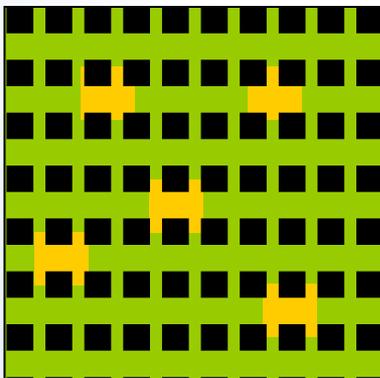
Entendendo a variabilidade espacial



Entendendo a variabilidade espacial



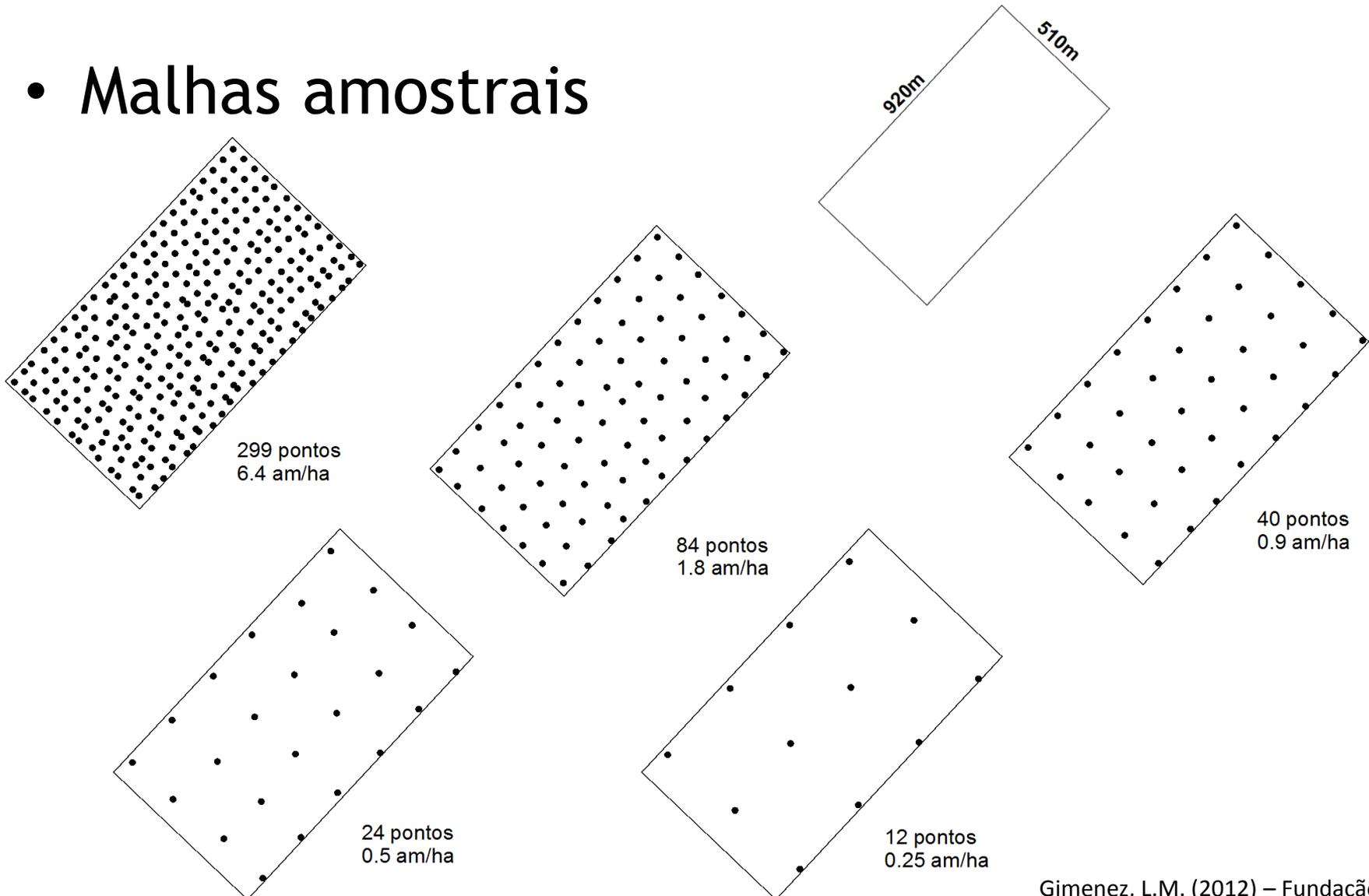
Amostragem
esparsa



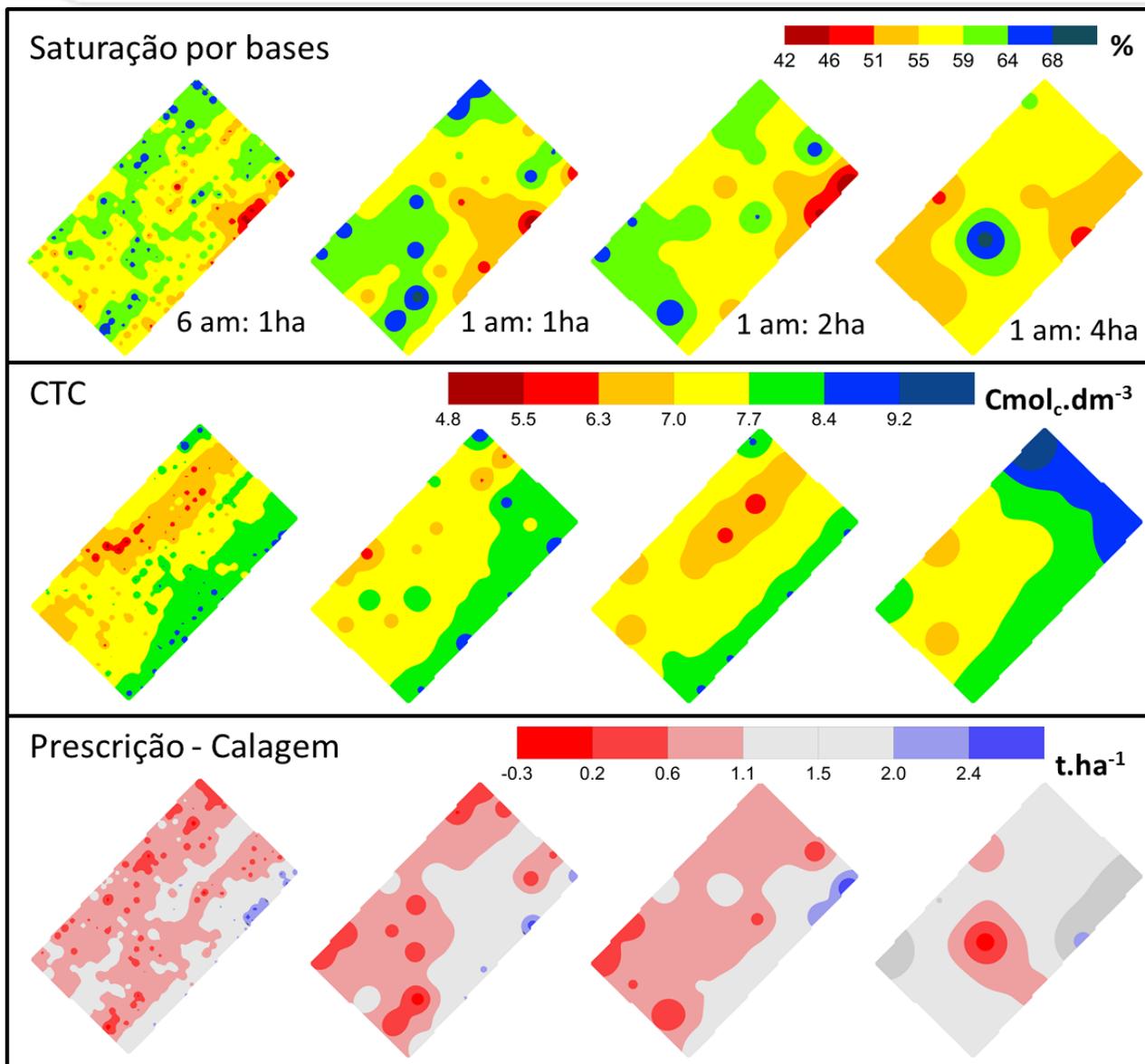
Amostragem densa
sensoriamento

Exemplo em área de lavoura no MT

- Malhas amostrais



Como caracterizar a variabilidade espacial de nutrientes?



Análise da eficiência agronômica do uso de nutrientes aplicados em taxa variável

Resultados de produtividade obtidos com a aplicação de KCl em cobertura, em solos com teores elevados de potássio (97 mg / dm⁻³). Campo Verde-MT - 2005.

Descrição dos Tratamentos	Produtividade (sc/ha)
0 Kg/ha de K ₂ O - sem fungicida	31,1
0 Kg/ha de K ₂ O - com fungicida	75,6
130 Kg/ha de K ₂ O - sem fungicida	31,2
130 Kg/ha de K ₂ O - com fungicida	74,7
200 Kg/ha de K ₂ O - sem fungicida	33,3
200 Kg/ha de K ₂ O - com fungicida	74,8

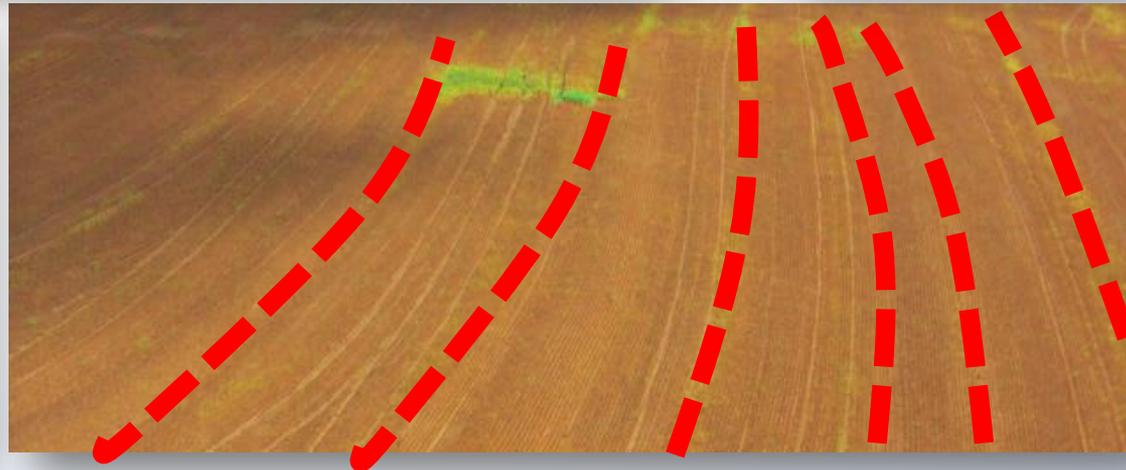
Fonte: PMA, Fundação MT - 2005

**Qual a resposta à adubação potássica?
Quantas safras fazendo “precisão”... e “economizando”
fertilizante sem que haja redução na produtividade?**

Geração de variabilidade espacial em operações agrícolas

Limitação da amostragem em pontos

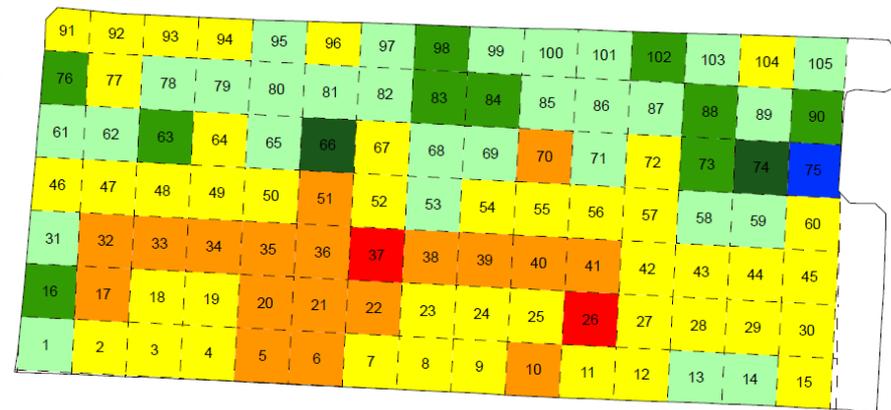
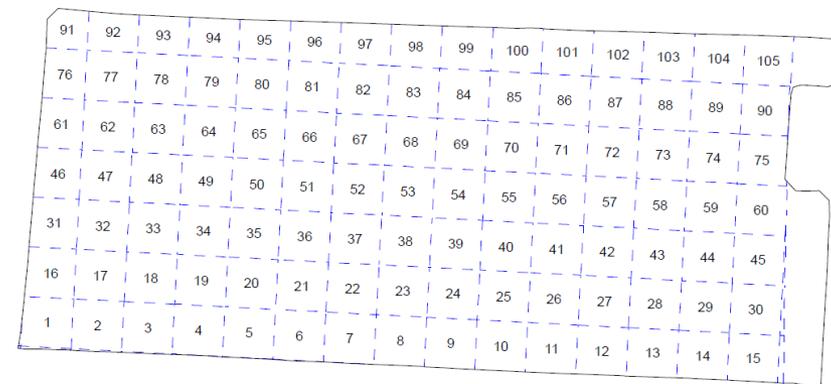
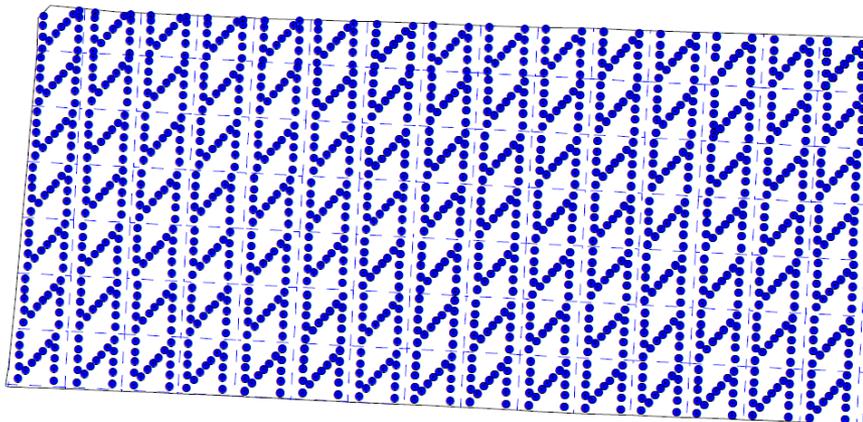
Variabilidade induzida nas operações mecanizadas



Alternativa à amostragem em pontos

Amostragem sistemática em células

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



Como melhorar a eficiência na utilização da técnica?

Aplicações em Superfície

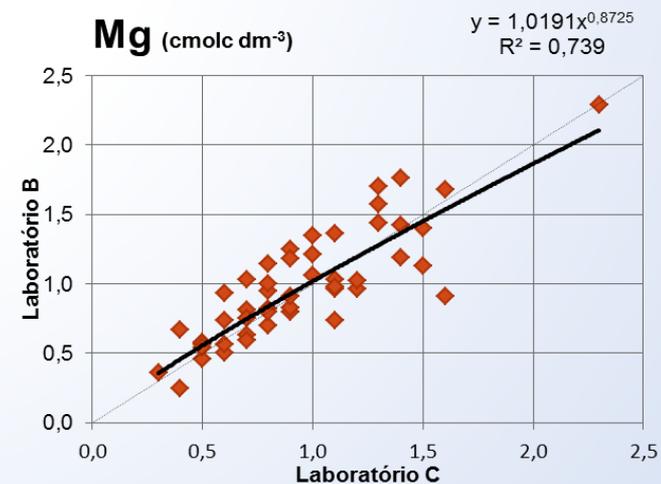
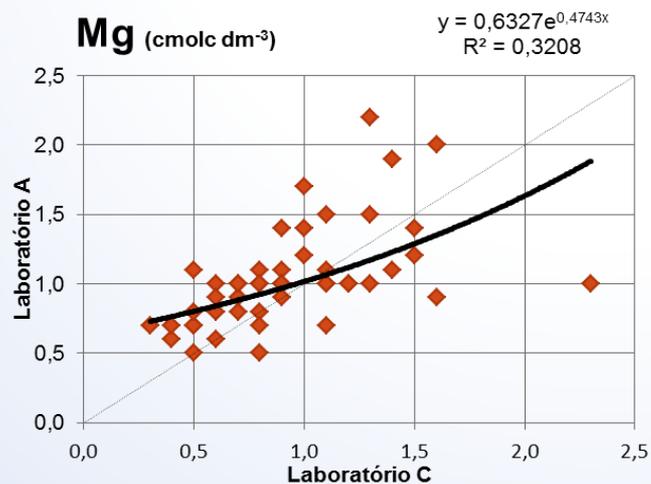
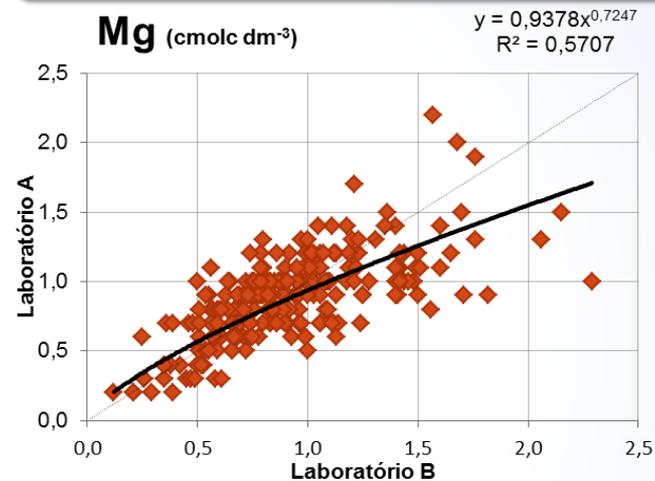
Estratificação dos teores de nutrientes – **Ferramenta de coleta adequada?**

Prof.	pH _{CaCl2}	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

Como melhorar a eficiência na utilização da técnica?

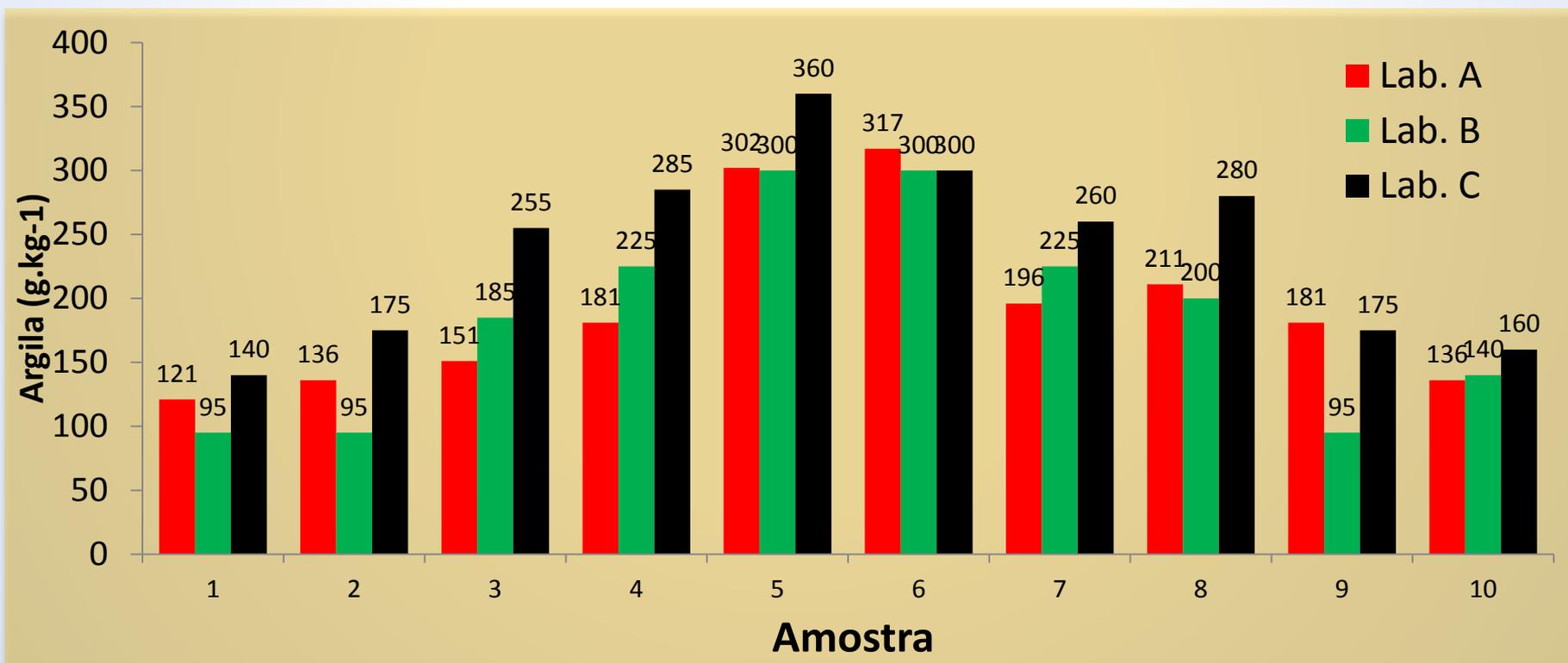
Qualidade dos resultados analíticos

Magnésio



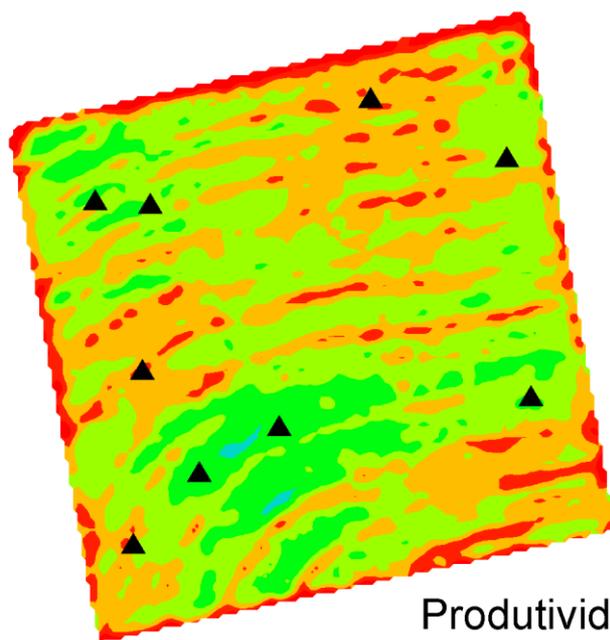
Como melhorar a eficiência na utilização da técnica?

Qualidade dos resultados analíticos

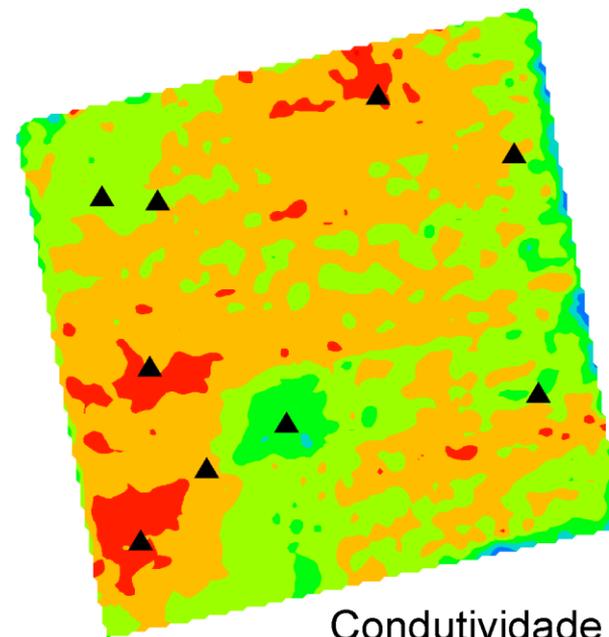


Amostragem dirigida

Estabelecer relações de causa e efeito através de amostragens dirigidas



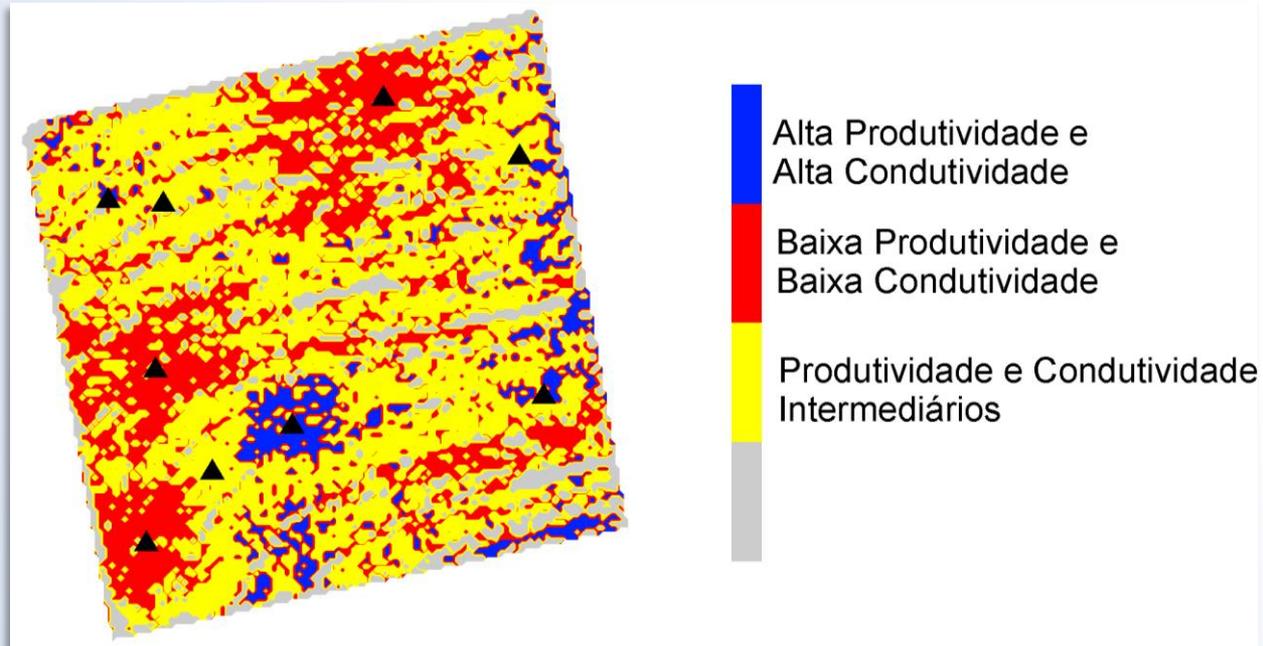
Produtividade
(média = 100)



Condutividade Elétrica
(média = 100)

Unidades de manejo do solo

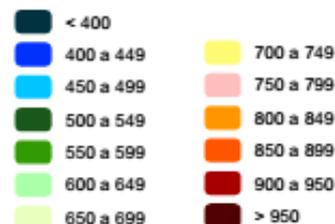
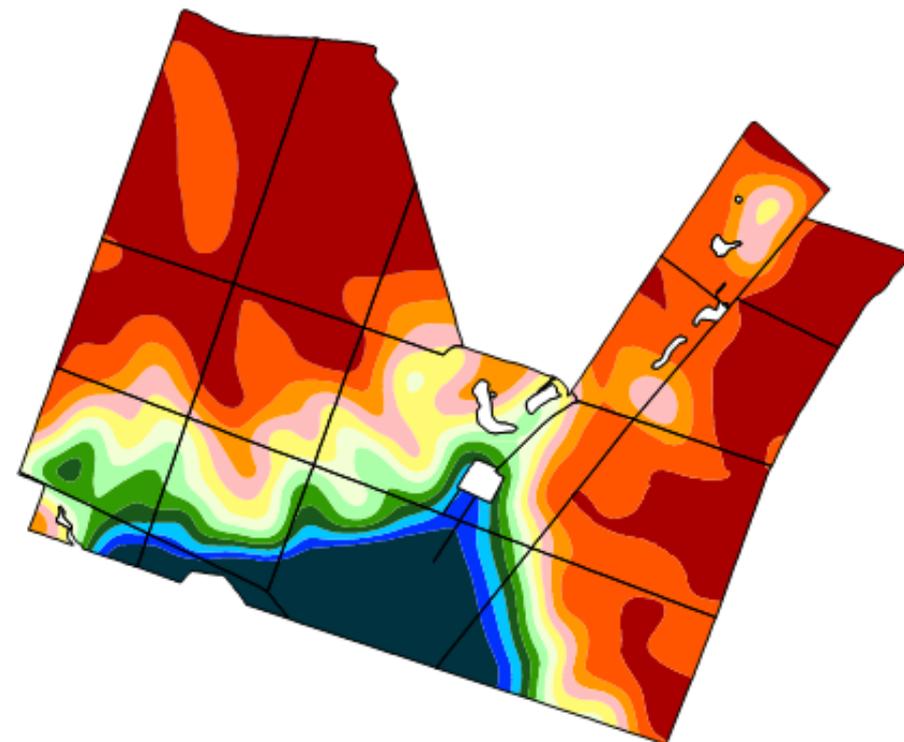
Estabelecer relações de causa e efeito através de amostragens dirigidas



Parâmetro	0 a 20 cm		
Argila (g.kg ⁻¹)	144	135	135
M.O (g.kg ⁻¹)	21,1	21,8	20,9
pH (CaCl)	5,5	5,3	5,5
Ca (cmol.dm ⁻³)	2,4	2,3	2,6
Mg (cmol.dm ⁻³)	0,9	0,8	0,9
K (mg.dm ⁻³)	41	38	37
Al (cmol.dm ⁻³)	0,0	0,0	0,0
CTC (cmolc.dm ⁻³)	5,6	5,8	5,7
V%	59	55	64
m%	0	0	0
P (mg.dm ⁻³)	26,6	27,6	29,4
S (mg.dm ⁻³)	8,6	8,6	9,0
Zn (mg.dm ⁻³)	7,7	9,0	8,1
Cu (mg.dm ⁻³)	1,2	1,1	0,9
Mn (mg.dm ⁻³)	12,7	21,5	13,6
B (mg.dm ⁻³)	0,4	0,4	0,4

Amostragem para Granulometria

- Em pontos, com menor densidade;
- 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

Sem Dados

Divisa de Talhão

Quanto custa manejar a variabilidade espacial?

Investimentos adicionais em máquinas

Operação	Custo op. (R\$.ha-1)*		Diferença
	Com AP	Sem AP	R\$/ha
Colheita	83,9	80,9	2,9
Semeadura	101,0	95,2	5,8
Aplicação fertilizantes	14,8	12,1	2,8
TOTAL	199,7	188,3	11,4

*Inclui custos fixos e variáveis para um conjunto mecanizado com capacidade de 1500 ha.

Quais as dificuldades práticas?

Recursos humanos

Operadores de máquinas, Agrônomos e Técnicos treinados

Prestadores de serviços

Diversidade de metodologias e valores

Equipamentos amostradores automatizados

Diversidade de equipamentos para aplicação dos fertilizantes e baixa qualidade na aplicação

Mecanização agrícola

Qualidade dos equipamentos

Gestão das operações e produtos a serem aplicados

Como melhorar a eficiência na utilização da técnica?

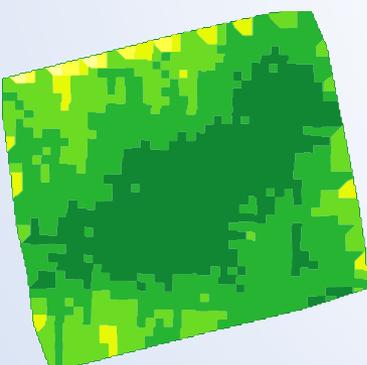
Realizar uma avaliação do sistema de produção

Histórico de abertura, operações e produtos

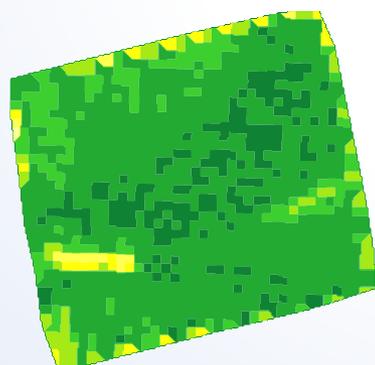
Relatos de produtores e funcionários

Vistorias a campo

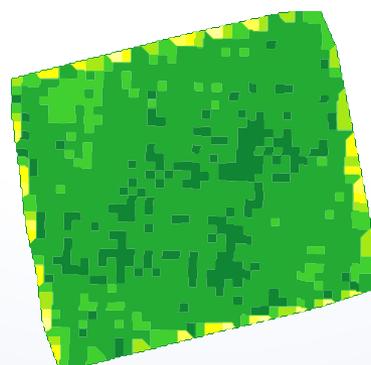
Levantamento dados disponíveis: imagens de satélite, mapas de altimetria, pedologia



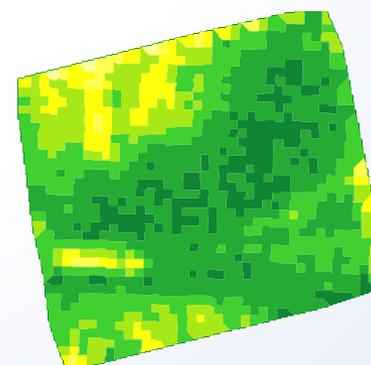
NDVI - 2008



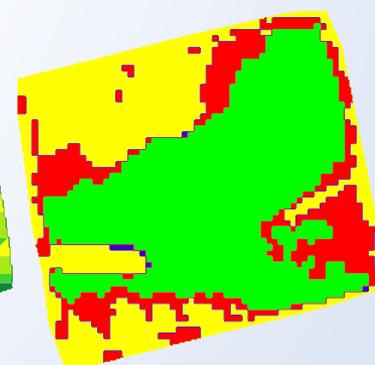
NDVI - 2008



NDVI - 2008



NDVI - 2008



Unidades

Como melhorar a eficiência na utilização da técnica?



“Jogar a Lanço” ou Aplicar em Superfície?

Aplicação de Fertilizantes em Superfície

Capacidade operacional x qualidade



CENTRO

5 m

10 m

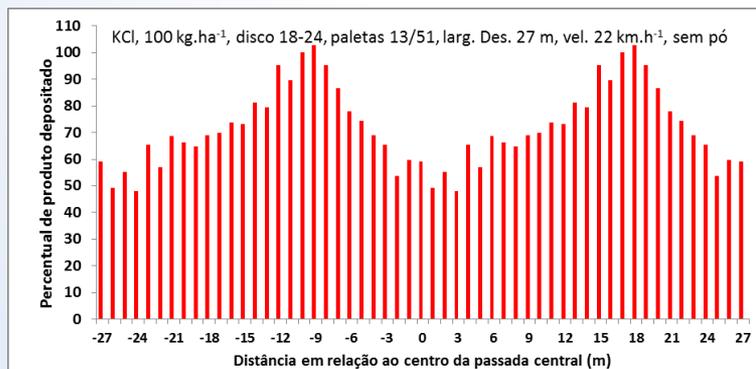
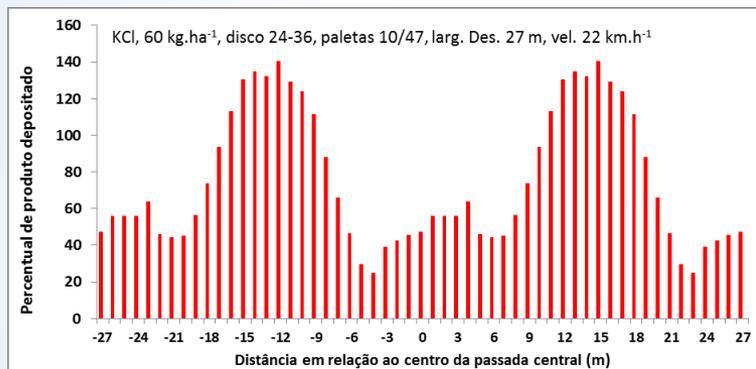
15 m

Situação atual da Aplicação de fertilizantes em superfície



Situação atual da Aplicação de fertilizantes em superfície

Diversas tentativas de ajuste



Gimenez, L. M. – Fundação MT 2012

Cloreto de potássio

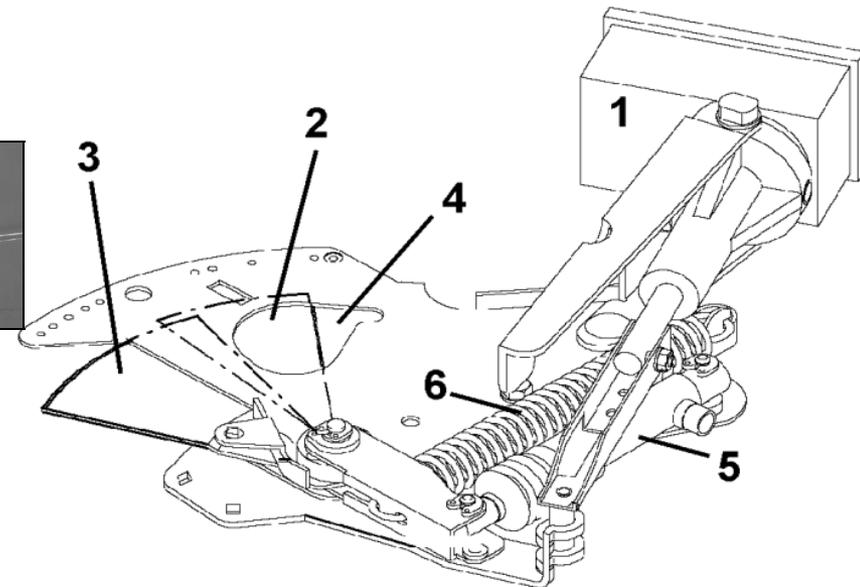
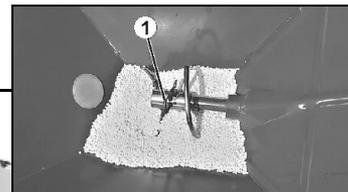
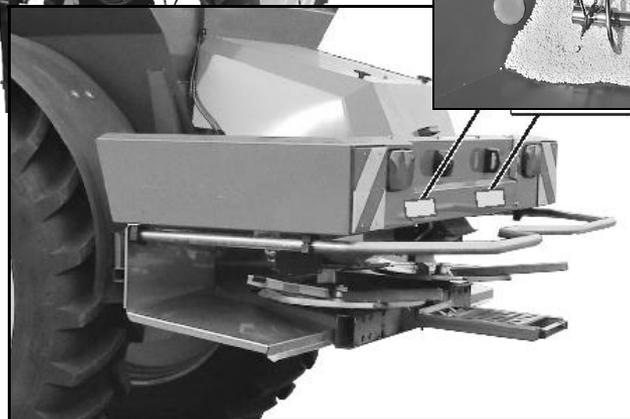
Valores de coeficientes de variação médios para as distribuições

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

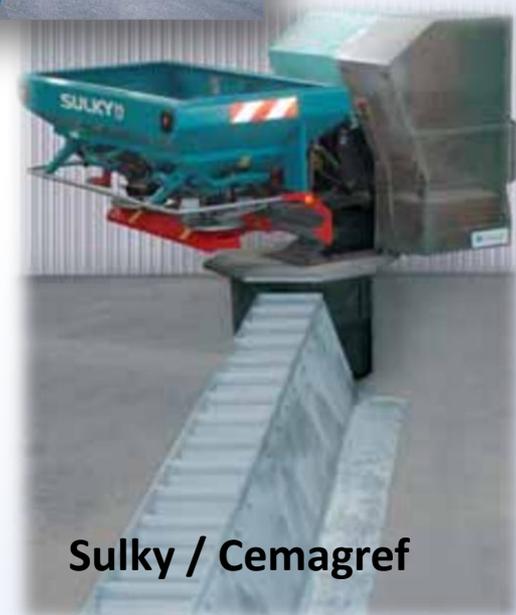
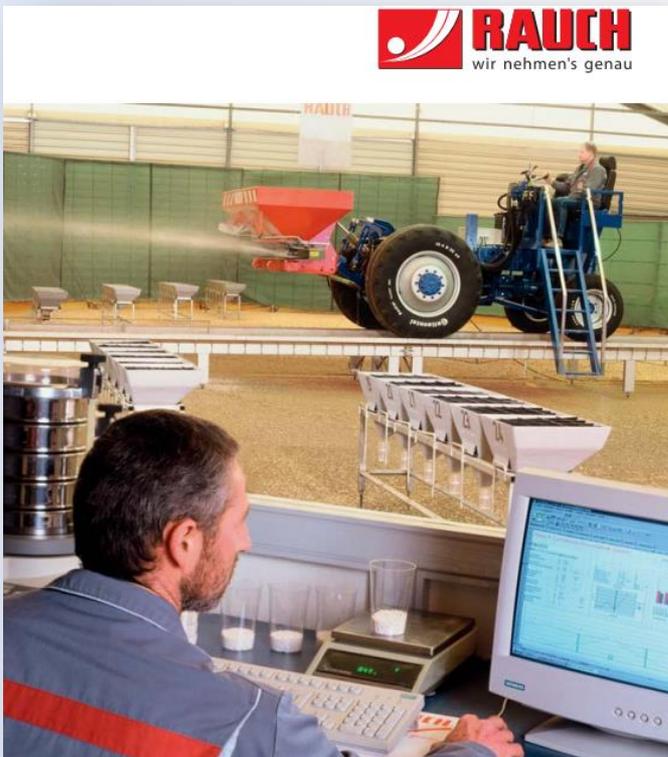
Mecanismos dosadores de distribuidores centrífugos



- MD082
- MD088
- MD095
- MD096
- MD102
- MD115



Solução para aplicar fertilizante com qualidade utilizando distribuidor centrífugo



Estabelecendo um paralelo...



Europäischer Prüfbericht

Anbau-Vierscheiben-Düngerstreuer
AMAZONE ZA-M 4.2
MAXIMA

(Arbeitsbreite 10 bis 48 m, geprüfte Arbeitsbreite 48 m)

1999

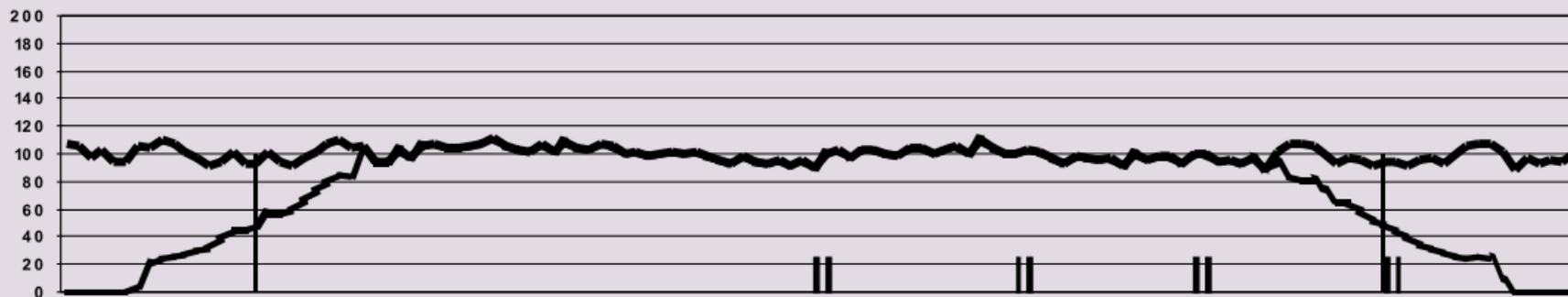
Ensaio DLG Alemanha

- Faixa de aplicação 48 m
- Coeficiente de variação 5,2%



Normales Flächenstreuen

Versuch Nr.	9901624
Dünger-kategorie	A, z.B. Ammonsalpeter 24 %
Ausbringmenge	125 kg/ha
Arbeitsbreite	48 m
VK	5,2 %

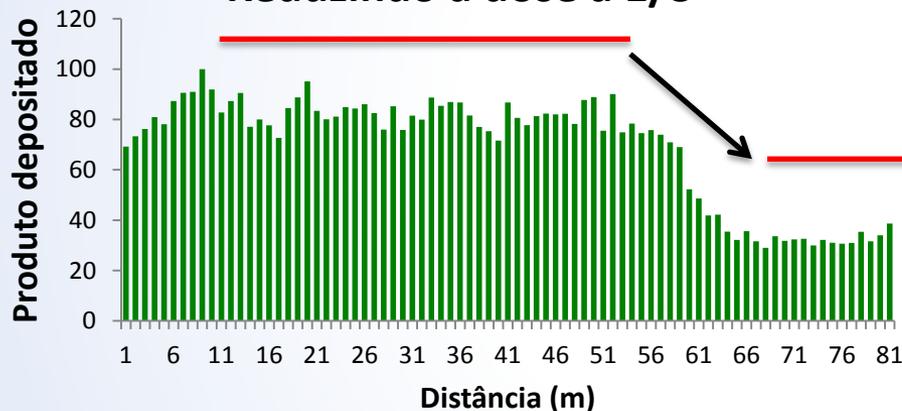


Tempo de resposta

Equipamentos com dosador do tipo esteira

Taxa variável ou Controle de vazão para taxa fixa

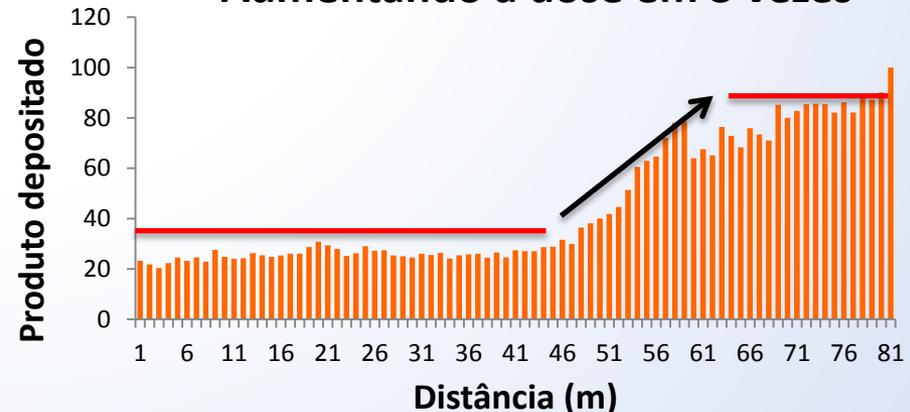
Reduzindo a dose a 1/3



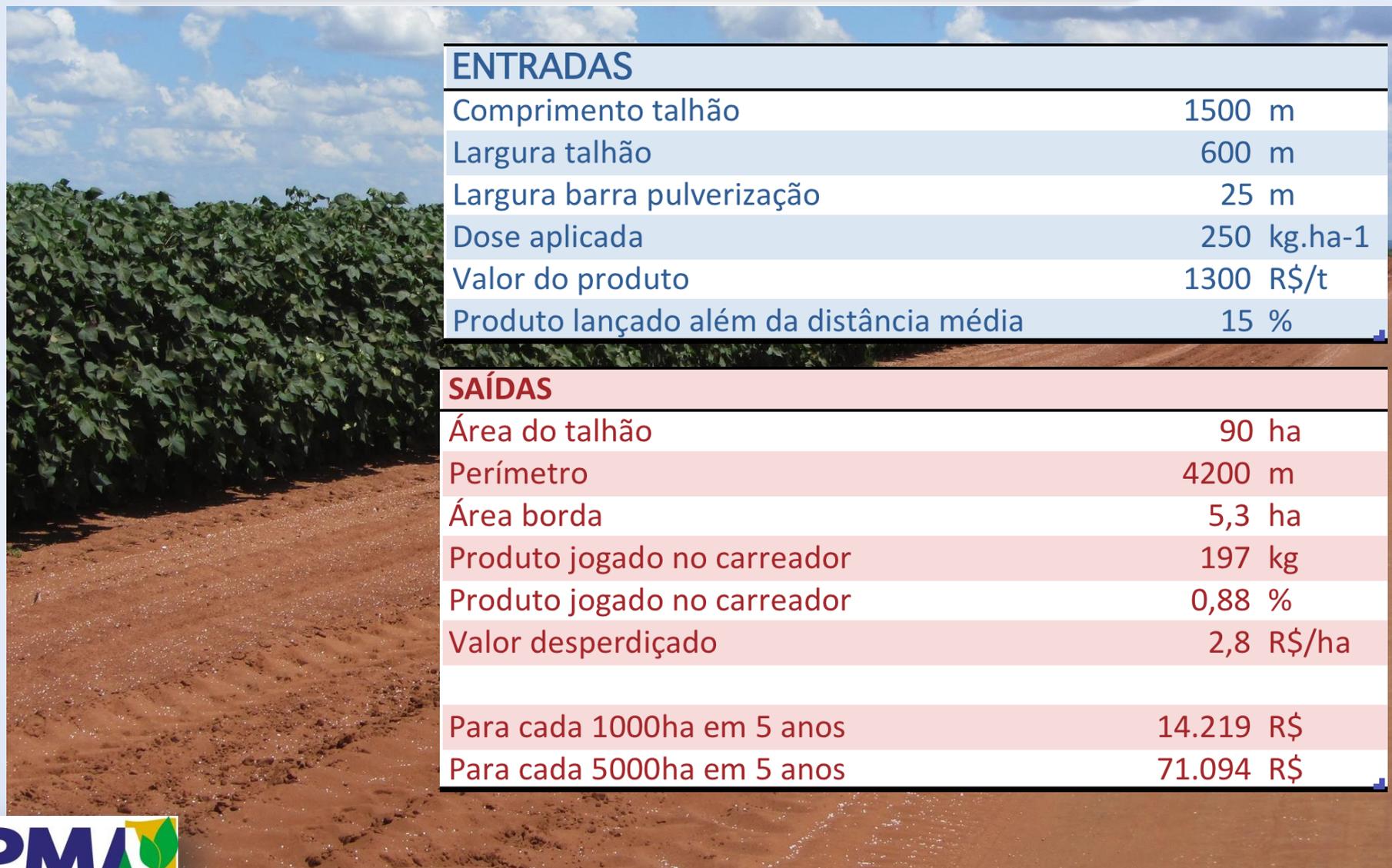
67m – 59m = 8m
Operando a 20 km.h⁻¹ = 22 m
4 segundos, 106 m²

72m – 47m = 25m
Operando a 20 km.h⁻¹ = 71 m
12 segundos, 312m²

Aumentando a dose em 3 vezes



Desperdício de Fertilizante



ENTRADAS	
Comprimento talhão	1500 m
Largura talhão	600 m
Largura barra pulverização	25 m
Dose aplicada	250 kg.ha-1
Valor do produto	1300 R\$/t
Produto lançado além da distância média	15 %
SAÍDAS	
Área do talhão	90 ha
Perímetro	4200 m
Área borda	5,3 ha
Produto jogado no carreador	197 kg
Produto jogado no carreador	0,88 %
Valor desperdiçado	2,8 R\$/ha
Para cada 1000ha em 5 anos	14.219 R\$
Para cada 5000ha em 5 anos	71.094 R\$

Alternativas para Aplicação

1º modelo pneumático nacional disponível para comercialização no Brasil este ano



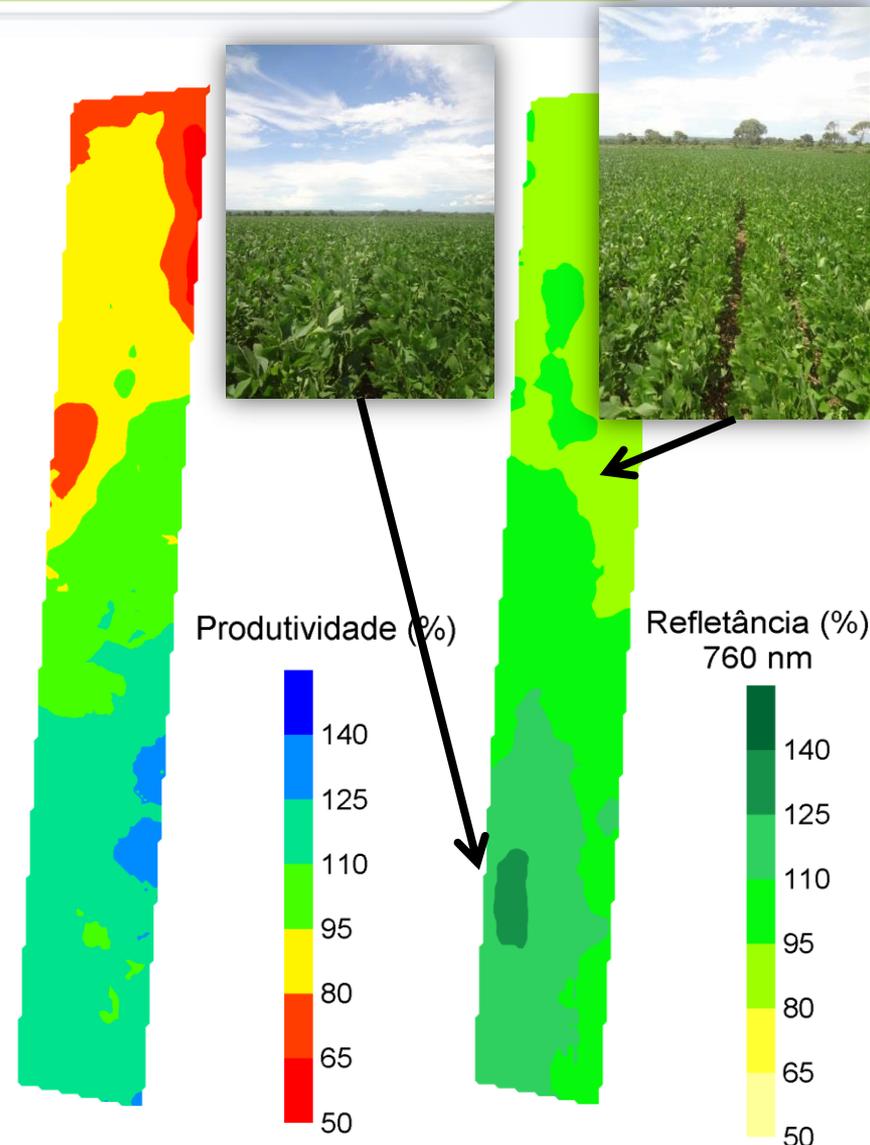
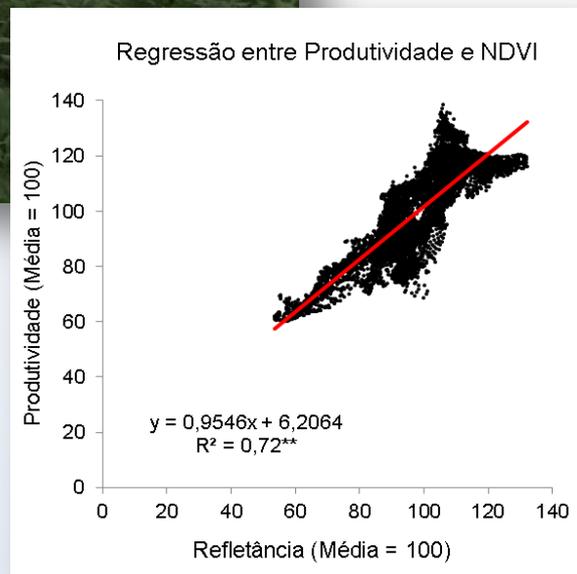
Estratégia de caracterização da variabilidade

Utilização de sensores

Vigor de plantas : refletância

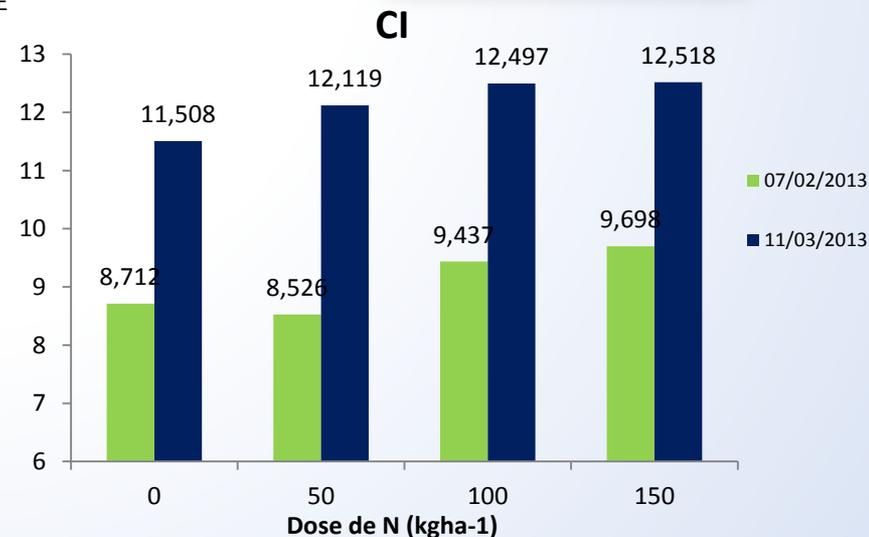
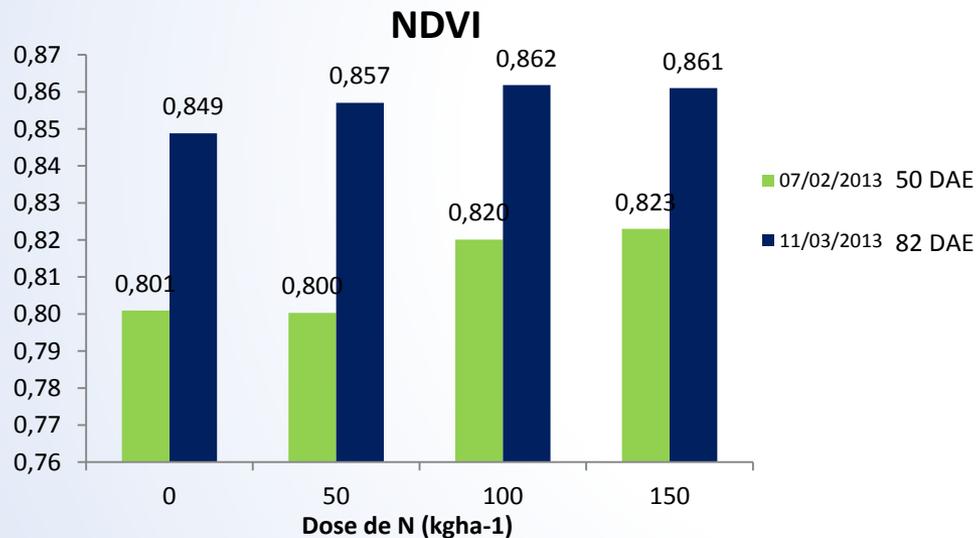


Refletância x produtividade



Utilização de sensores - Algodão

- Aplicação de nitrogênio, regulador de crescimento, e desfolhantes em taxa variável utilizando sensores



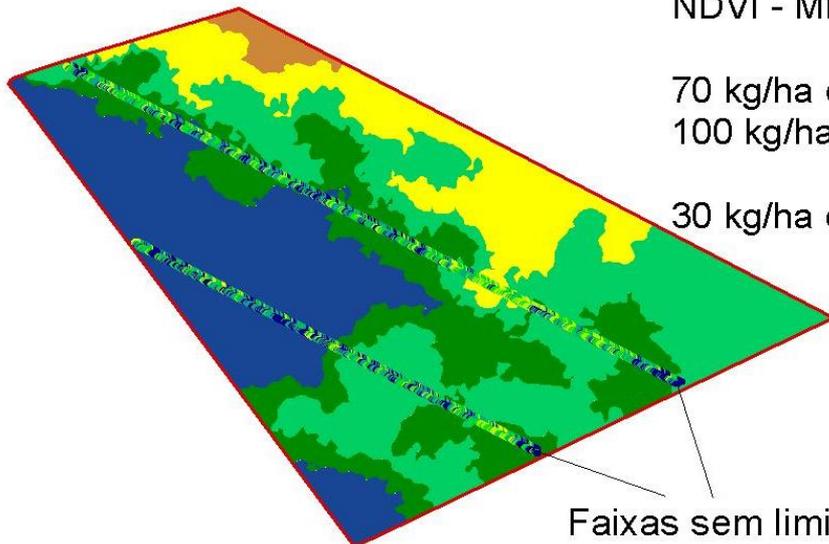
Aplicação de N em milho utilizando sensores

NDVI - Milho V10

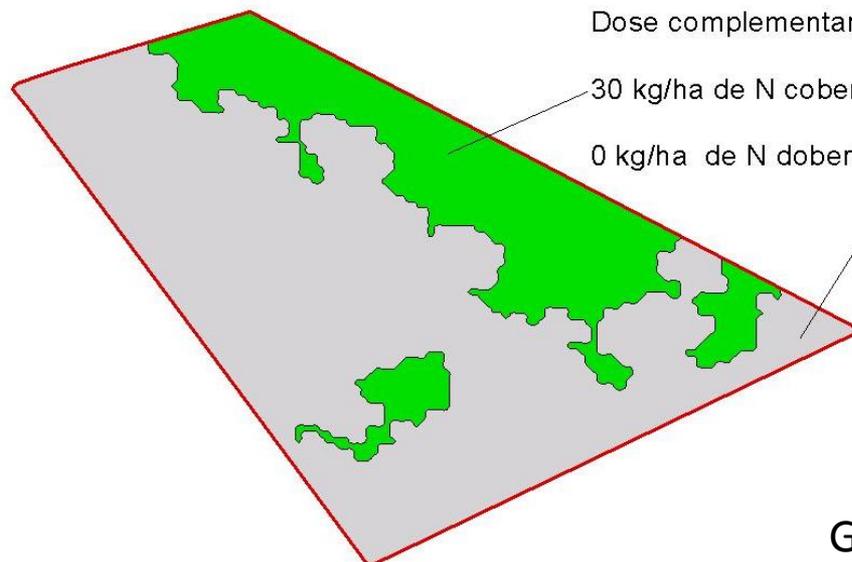
70 kg/ha de N cobertura em V4

100 kg/ha de N dose total planejada

30 kg/ha onde necessário, em V10



Faixas sem limitação de N

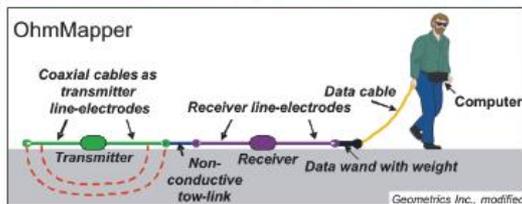
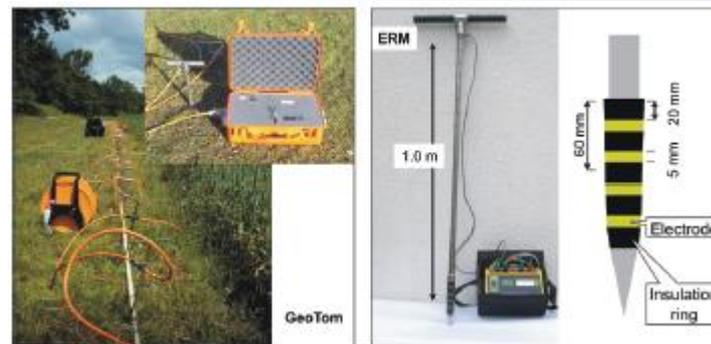
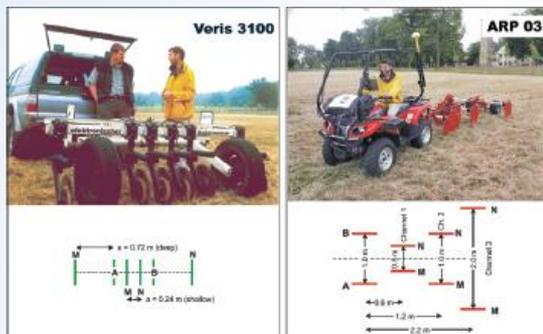


Dose complementar

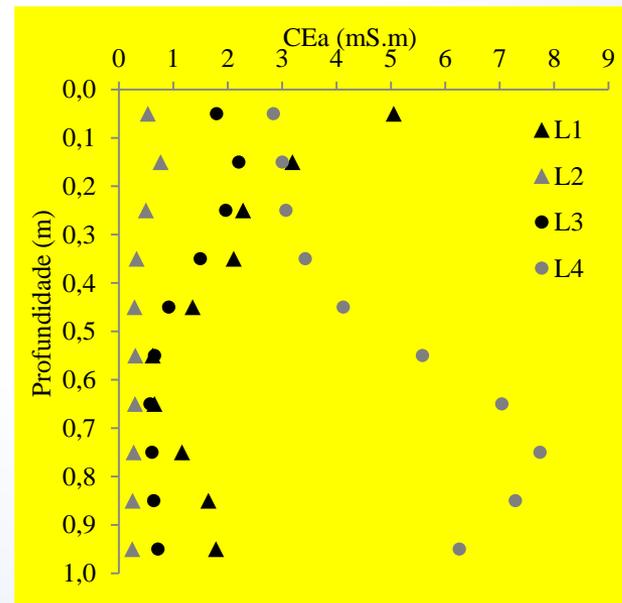
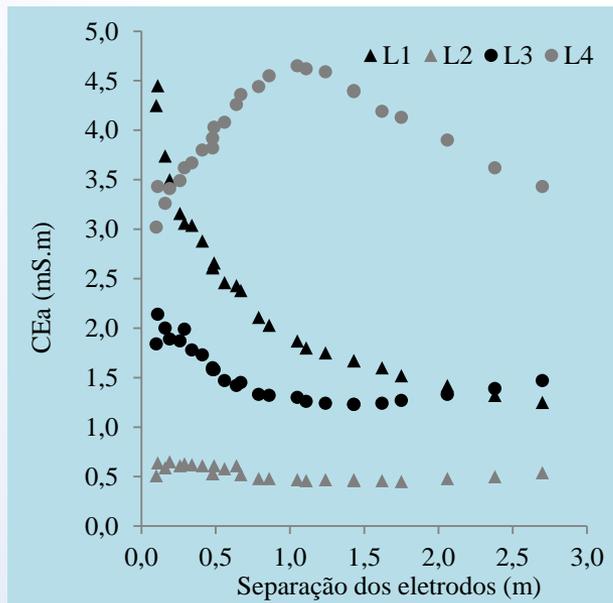
30 kg/ha de N cobertura em V10, total de 100 kg/ha

0 kg/ha de N cobertura em V10, total de 70 kg/ha

Sensores para caracterizar variabilidade do solo Condutividade elétrica aparente



Condutividade elétrica do solo



Condutividade elétrica aparente do solo

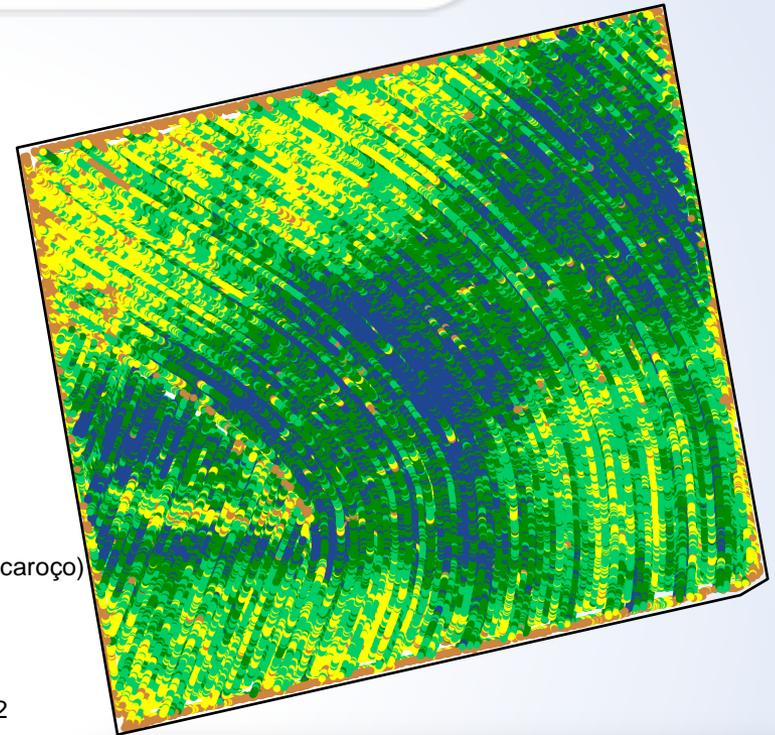
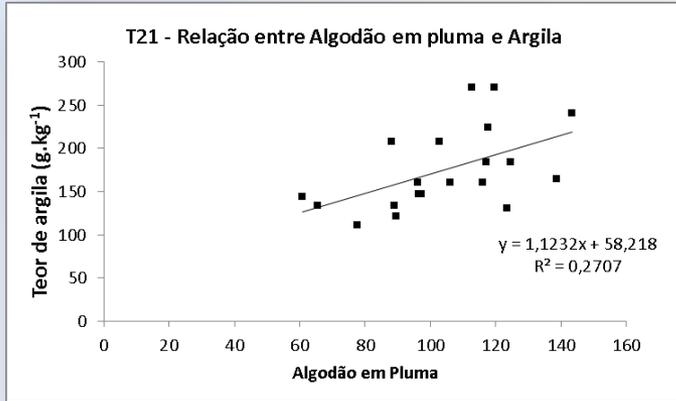
– Correlações

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

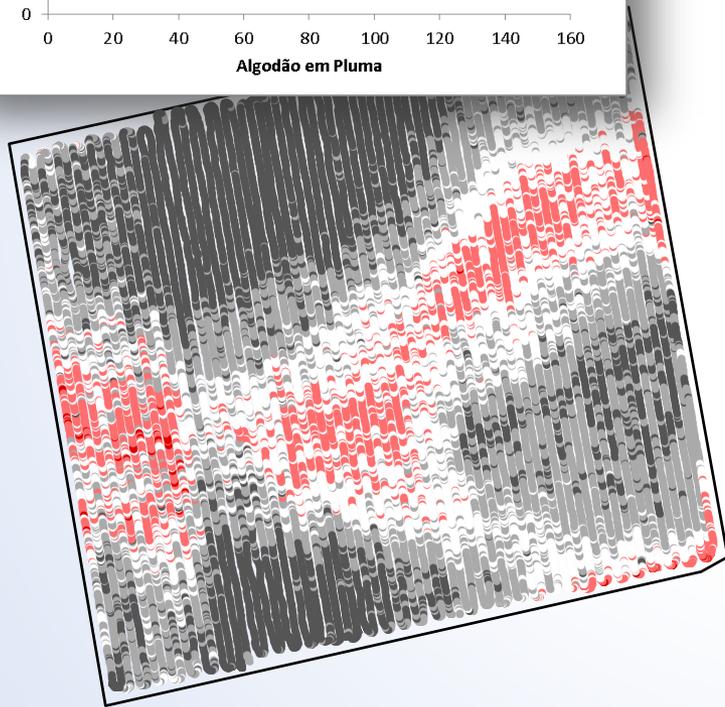
Umidade Elevada			Umidade Baixa		
Atributos	r	p-valor	Atributos	r	p-valor
Silte	0,56	<0,0001	Poros entre 0,03 e 0,05 mm*	0,53	<0,0001
Macroporosidade	-0,49	<0,0001	SR	0,52	<0,0001
Poros entre 0,03 e 0,05 mm*	0,49	<0,0001	RP	0,49	<0,0001
RP	0,42	<0,0001	Poros entre 0,05 e 0,1 mm*	-0,47	<0,0001
Poros >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

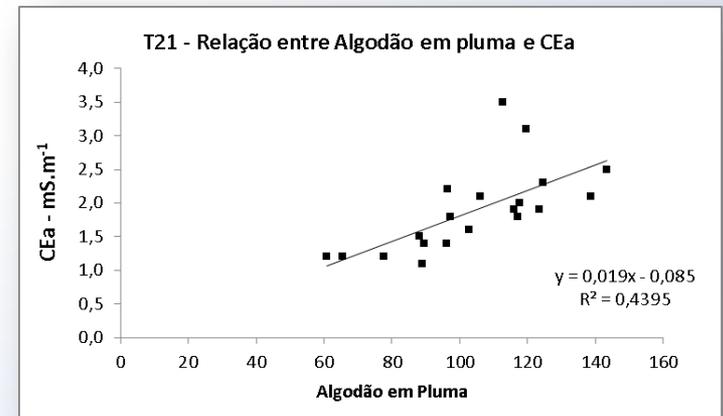
Cea x produtividade



- Perímetro
- Produtividade (t/ha caroço)
- 0.3 - 3.137
- 3.137 - 5.015
- 5.015 - 6.343
- 6.343 - 7.633
- 7.633 - 11.992



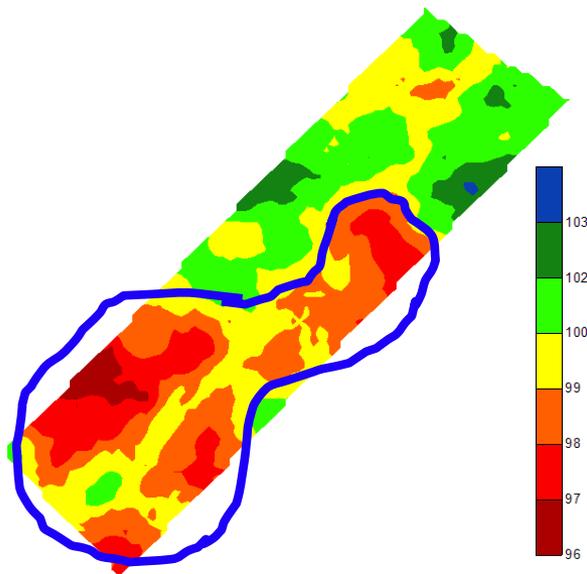
- Cond Eletrica (0 a 30cm)
- 0.4 - 1.8
- 1.8 - 3.2
- 3.2 - 4.6
- 4.6 - 7.7
- 7.7 - 11.9
- Perímetro



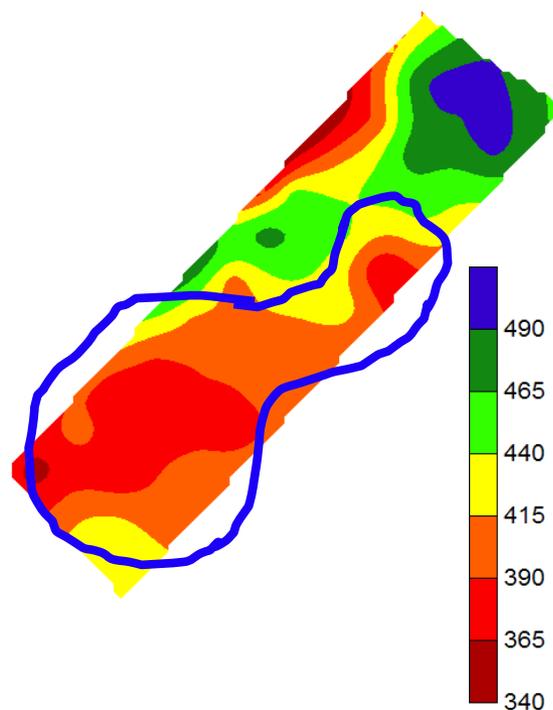
Gimenez, L.M. (2012) – Fundação MT

Relação causa-efeito em agricultura de sequeiro

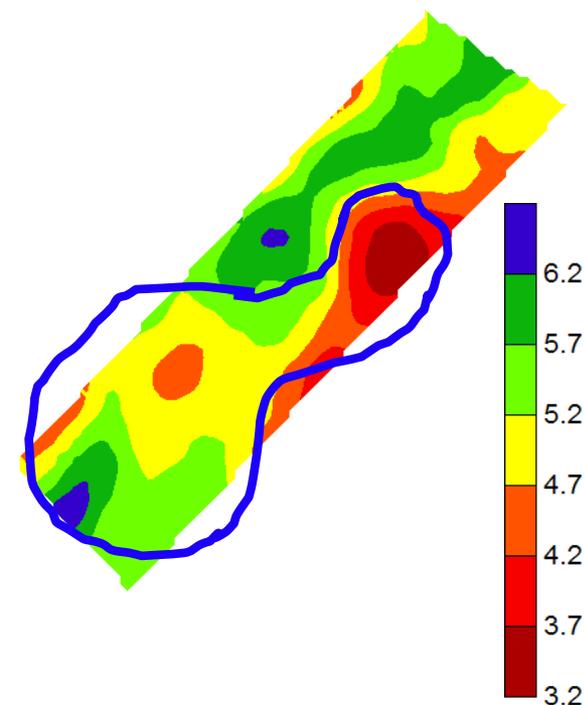
Milho 2011/2012
Rendimento Relativo (%)



Argila (g.kg⁻¹)
0.1 a 0.2 m



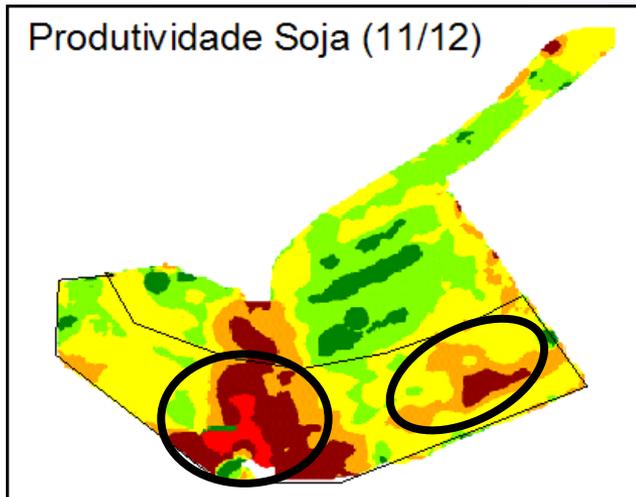
Condutividade Elétrica
Prof. - 0 a 0.3 m



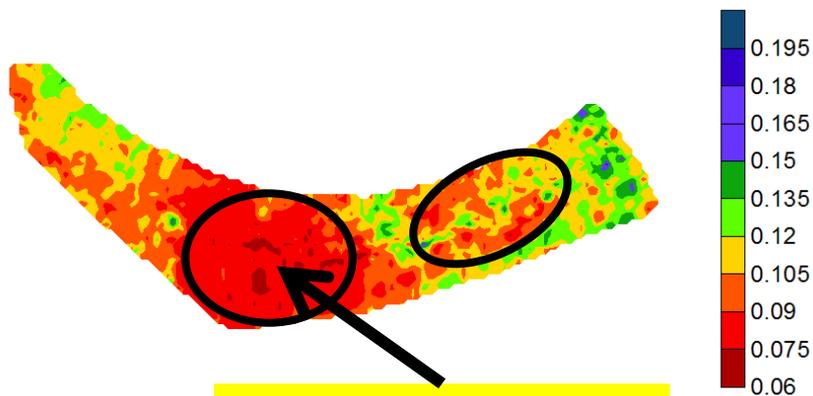
Gestão da água disponível: impedimentos físicos e químicos, população de plantas em taxa variável, herbicidas pré/residuais...

Unidades de manejo

Relação causa-efeito em agricultura de sequeiro

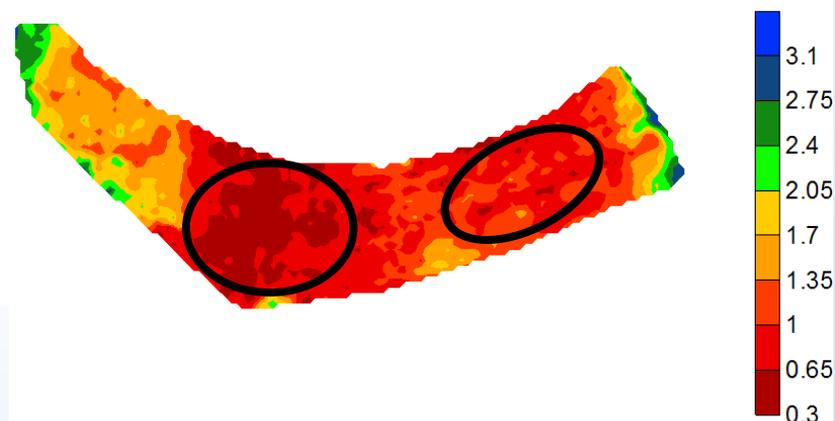


NDVI - Crotalaria 2012

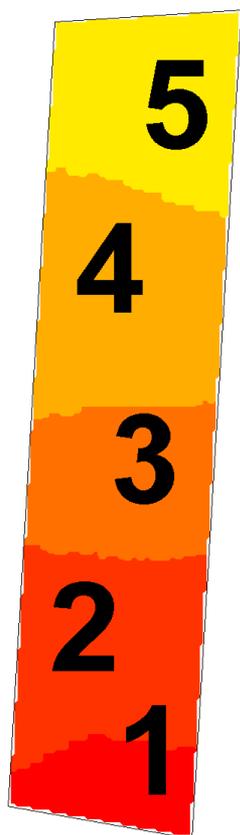


Adubar cobertura verde?

Condutividade Elétrica (mS.m⁻¹)



Quando nutrientes não limitam



Argila (%)



Positivo

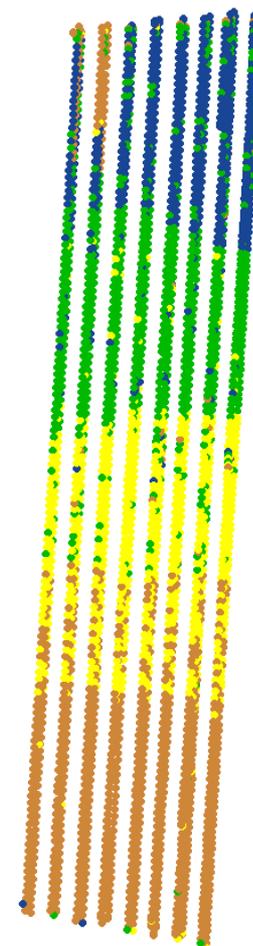
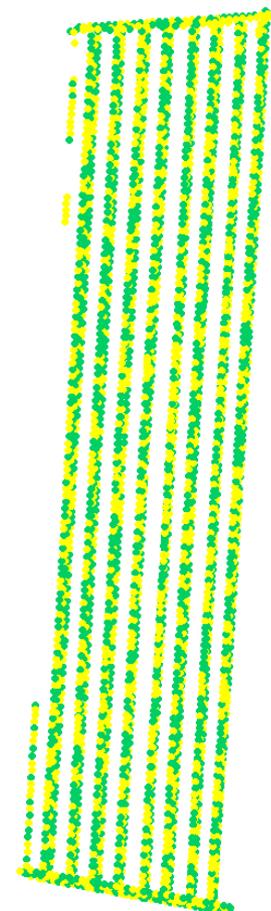
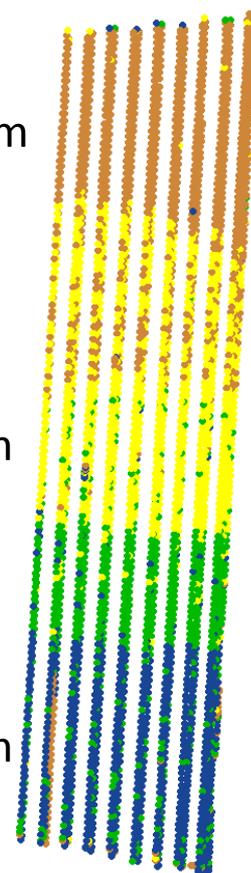
Padrão

Negativo

10 sem/m

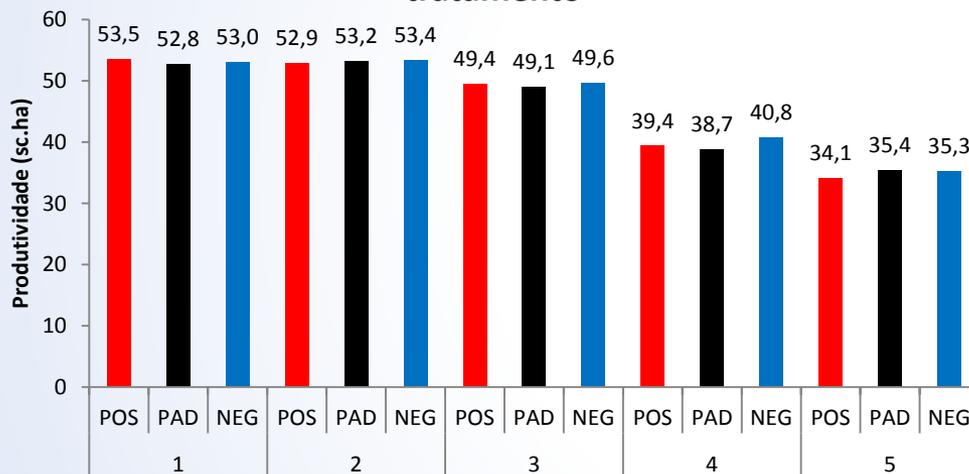
15 sem/m

20 sem/m

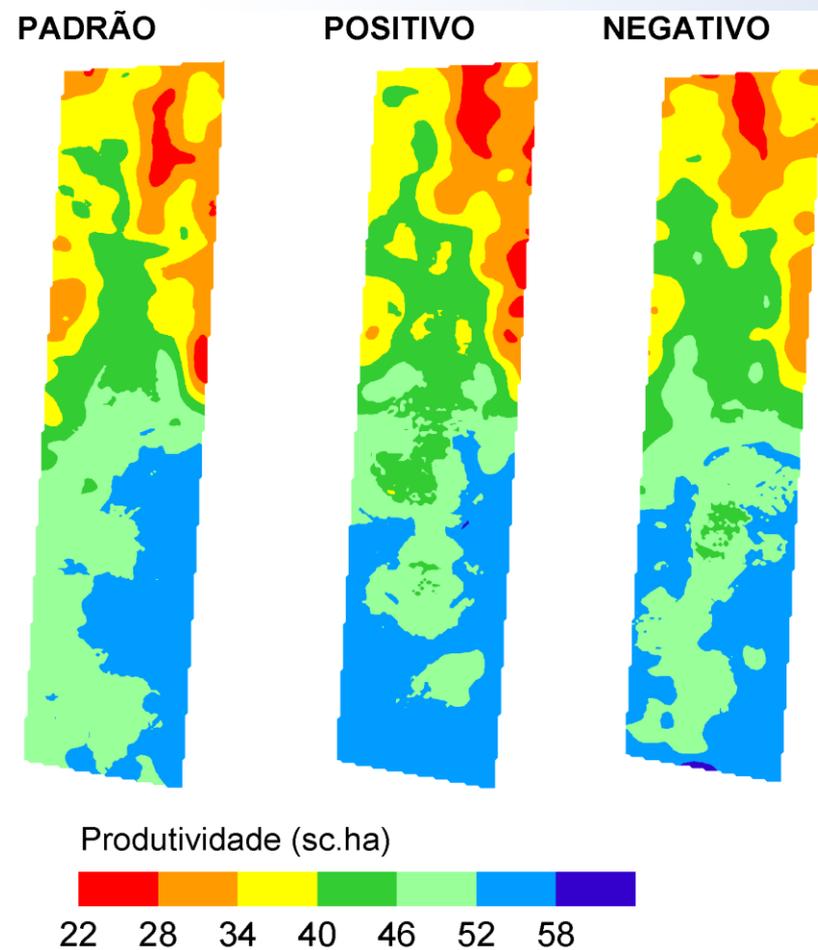


Resultados - Faixas

Valores de produtividade em função do ambiente e tratamento



PADRÃO 44,5 sc.ha
 POSITIVO 44,6 sc.ha
 NEGATIVO 45 sc.ha



Como manejar a variabilidade espacial de nutrientes e corretivos?



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

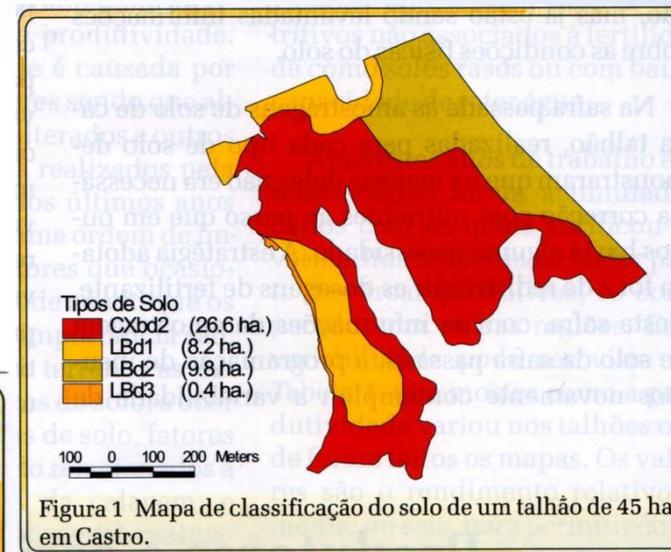
✓ Téc. Agric. Wagner P. G. dos Anjos
Fundação ABC / Mecanização Agrícola
wagner@fundacaoabc.org.br

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.



Finalizando

Estamos utilizando corretamente as ferramentas da agricultura de precisão como suporte para as BPUFs?

- BPUFs estão sendo parcialmente atendidas havendo necessidade de melhoria
 - 4Cs:Fonte, Momento, Local, Dose
- Técnica intensiva no uso de informação;
 - Há diversos resultados na pesquisa, entretanto como a variabilidade não se processa da mesma maneira nos diversos sistemas de produção, é necessário investir em programas de educação e difusão.

Finalizando

- ✓ Avaliar presença de variabilidade: sistema de produção, histórico;
- ✓ Utilizar a abordagem de amostragem contínua evitando amostragem esparsa a menos que dirigida;
- ✓ Estabelecer relação causa-efeito;
- ✓ Manter visão ampla, as causas podem ser diversas: nutrientes, fatores abióticos, bióticos
- ✓ Máquina como fonte de informação
- ✓ Priorizar áreas com maior controle operacional e monitorar em detalhe, aprendizado é seguro
- ✓ Qualidade nas operações mecanizadas é crítica

Obrigado



Leandro M. Gimenez

leandrogimenez@fundacaomt.com.br

(66)3439 - 4100