

LEB0432 – Máquinas e Implementos Agrícolas

Máquinas para aplicação de corretivos e fertilizantes



USP



ESALQ



ENGENHARIA DE
BIOSISTEMAS
USP - ESALQ

José P. Molin
jpmolin@usp.br

Objetivos

- Caracterizar os diferentes sistemas mecânicos de aplicação de fertilizantes e corretivos existentes no nosso meio
- Analisar as partes constituintes e o funcionamento das máquinas utilizadas, bem como a suas regulagens

Introdução

Mercado



Associação Brasileira dos Produtores de Calcário Agrícola

CALCÁRIO AGRÍCOLA - BRASIL

CONSUMO APARENTE POR ESTADO - PERÍODO 1992/2021 (em 1.000 t)

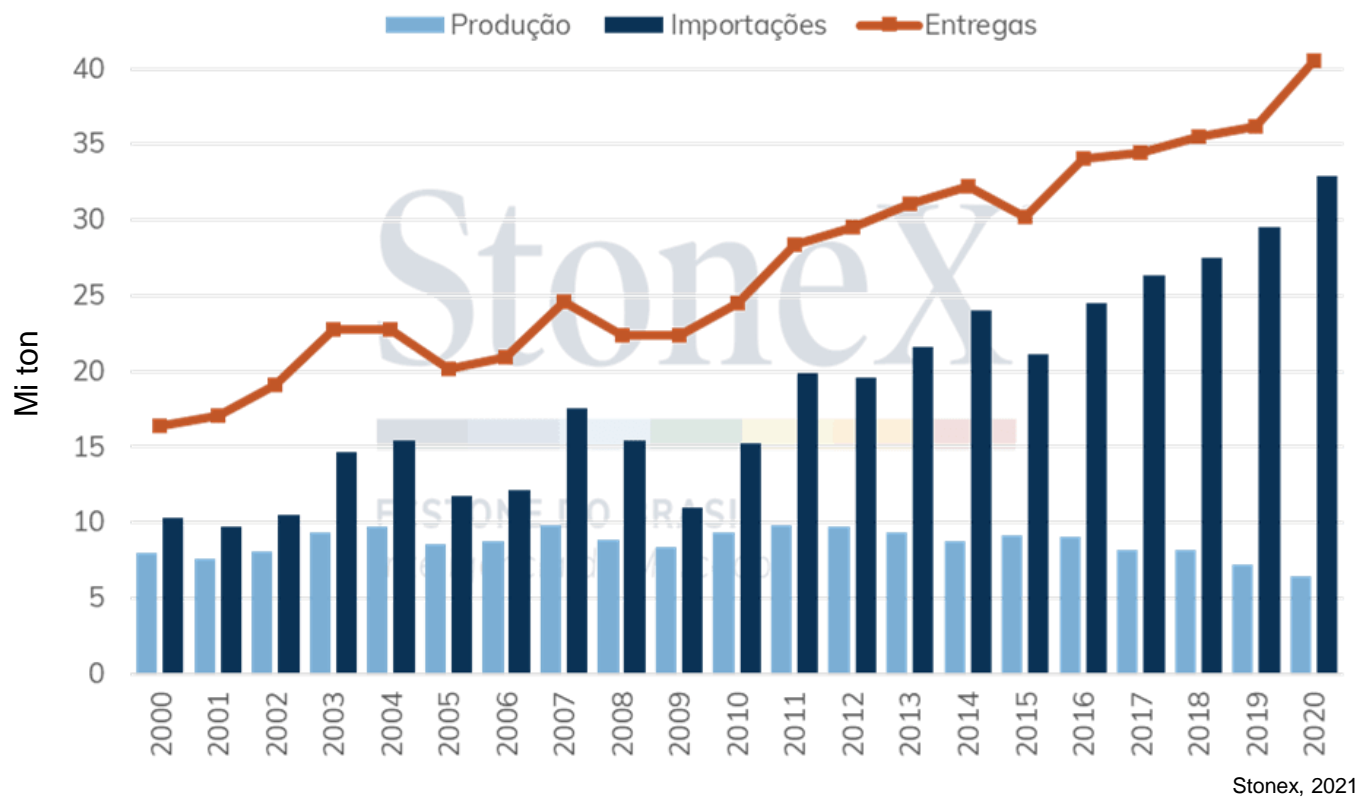
UF	RS	SC	PR	SP	MG	MS	MT	GO	TO	MA	ES	BA	AL	PE	Outros	Total
1992	2.818,0	950,0	2.073,0	3.430,0	1.800,0	520,0	1.426,0	1.762,0	151,0	173,0	ND	115,0	ND	ND	190,0	15.408,0
1993	3.696,0	734,0	2.812,0	3.611,0	2.300,0	1.076,0	2.228,0	1.940,0	550,0	140,0	120,0	270,0	65,0	90,0	27,0	19.659,0
1994	3.122,0	767,0	3.481,0	4.567,0	2.341,0	1.044,0	2.284,0	1.485,0	60,0	400,0	130,0	420,0	105,0	157,0	72,0	20.435,0
1995	1.392,0	806,6	1.852,0	3.362,0	1.769,6	390,0	773,7	1.180,0	30,0	180,0	131,2	148,1	60,0	60,0	127,0	12.262,2
1996	1.799,2	695,6	2.422,2	3.436,7	1.870,4	591,9	1.343,2	2.350,0	300,0	280,0	59,9	220,9	60,0	60,0	127,0	15.617,0
1997	2.319,1	926,1	2.906,9	3.724,3	1.958,0	899,8	1.253,8	1.844,2	80,0	220,0	112,8	488,7	87,0	60,0	178,7	17.059,4
1998	2.103,4	738,6	2.531,6	3.596,8	1.876,8	642,6	1.914,4	1.590,6	79,9	274,0	112,6	497,4	ND	40,2	137,0	16.135,9
1999	1.870,9	496,0	2.166,2	3.204,9	2.177,2	599,5	1.351,4	1.990,0	74,1	215,0	240,0	524,7	117,2	56,0	221,3	15.304,4
2000	2.004,3	596,0	2.284,7	3.323,1	2.986,7	813,6	3.099,8	2.550,0	136,0	380,0	411,9	748,3	80,0	92,0	305,8	19.812,2
2001	2.267,9	592,8	2.773,8	3.135,7	2.343,8	897,0	3.196,7	1.543,1	25,9	400,0	82,1	466,0	32,8	50,0	270,0	18.077,6
2002	2.267,3	1.100,0	2.600,0	3.199,6	2.778,1	1.083,0	4.463,5	3.000,0	350,0	350,0	161,9	435,0	70,0	90,0	338,0	22.286,4
2003	2.823,2	725,2	3.797,8	3.843,0	2.921,5	1.593,4	5.433,4	3.036,4	331,0	500,0	229,0	477,0	100,0	132,0	520,0	26.462,9
2004	2.273,1	958,0	3.431,0	3.015,9	2.374,5	1.620,0	7.056,5	3.000,0	800,0	500,0	159,7	606,0	97,6	90,0	337,5	26.319,8
2005	863,2	600,0	1.732,1	3.353,9	2.257,9	896,7	2.927,0	1.948,2	537,0	85,0	147,5	268,4	ND	160,0	1.210,4	16.987,3
2006	1.096,8	529,5	1.637,8	4.101,3	3.336,7	690,0	1.693,2	1.625,0	396,0	200,0	ND	295,0	20,0	160,0	1.068,5	16.849,8
2007	1.561,0	625,5	2.548,6	4.237,9	2.964,4	1.452,6	3.325,3	2.063,0	373,5	234,6	196,6	633,4	73,8	114,9	1.755,6	22.160,7
2008	1.963,0	903,0	2.515,0	3.322,0	3.021,0	1.931,0	3.858,0	2.908,0	489,0	ND	200,0	791,0	ND	ND	2.072,0	23.972,0
2009	1.876,8	348,0	2.948,8	2.621,9	1.966,2	1.777,8	3.362,1	1.577,9	469,8	ND	236,8	988,4	ND	ND	904,1	19.078,6
2010	1.779,6	610,1	2.836,9	3.377,8	3.711,6	1.700,9	3.800,0	2.352,7	390,0	340,0	167,0	885,5	ND	ND	1.738,0	23.690,1
2011	2.435,9	913,6	2.632,0	3.995,6	4.306,7	1.856,5	5.332,6	3.015,6	600,4	ND	190,6	872,5	ND	ND	3.200,9	29.352,9
2012	2.632,8	1.147,1	3.826,9	4.241,1	4.545,3	2.971,4	6.392,5	2.792,5	1.100,0	ND	238,1	ND	ND	ND	4.118,3	33.943,0
2013	3.251,2	869,6	3.535,7	3.691,0	4.195,3	2.885,3	6.683,6	2.624,9	1.407,8	583,4	ND	854,1	ND	ND	2.889,1	33.471,0
2014	3.095,0	831,5	3.949,5	3.763,2	4.581,7	3.025,7	6.818,3	2.649,5	1.294,7	504,6	317,0	965,4	75,5	63,7	3.442,4	35.377,7
2015	2.985,0	651,8	4.444,0	3.348,6	4.075,3	2.778,6	5.952,7	2.323,7	1.182,5	405,7	284,2	911,2	74,6	76,2	1.147,8	30.641,9
2016	3.199,0	685,2	3.437,2	4.312,3	4.821,7	3.174,2	5.329,3	2.959,6	1.373,6	368,1	364,1	1.070,7	159,8	68,3	1.915,6	33.238,9
2017	3.145,3	738,0	3.328,8	4.417,4	4.385,2	3.635,3	8.048,0	3.253,3	2.017,2	376,3	329,0	965,9	121,6	102,7	2.047,0	36.911,0
2018	3.648,8	665,5	3.820,2	4.960,6	5.076,9	3.371,5	9.977,5	4.232,2	2.239,8	797,5	192,6	1.050,9	121,6	105,0	2.649,3	42.909,9
2019	3.628,0	718,7	4.092,2	5.310,9	4.884,9	3.599,1	9.404,3	4.647,7	2.770,2	986,6	299,5	986,6	169,0	171,6	1.626,9	43.296,2
2020	3.258,5	769,9	4.301,3	4.536,0	5.387,6	4.117,9	9.518,9	4.708,7	2.325,8	1.360,9	670,0	1.250,8	538,4	546,3	2.008,7	45.299,7
2021	4.795,2	983,7	6.073,5	5.359,1	6.000,3	4.766,6	10.945,8	5.591,8	2.558,4	1.583,1	823,1	1.376,1	678,3	687,0	2.295,7	54.517,7

Fonte: ABRACAL - RC, 12/04/2022.

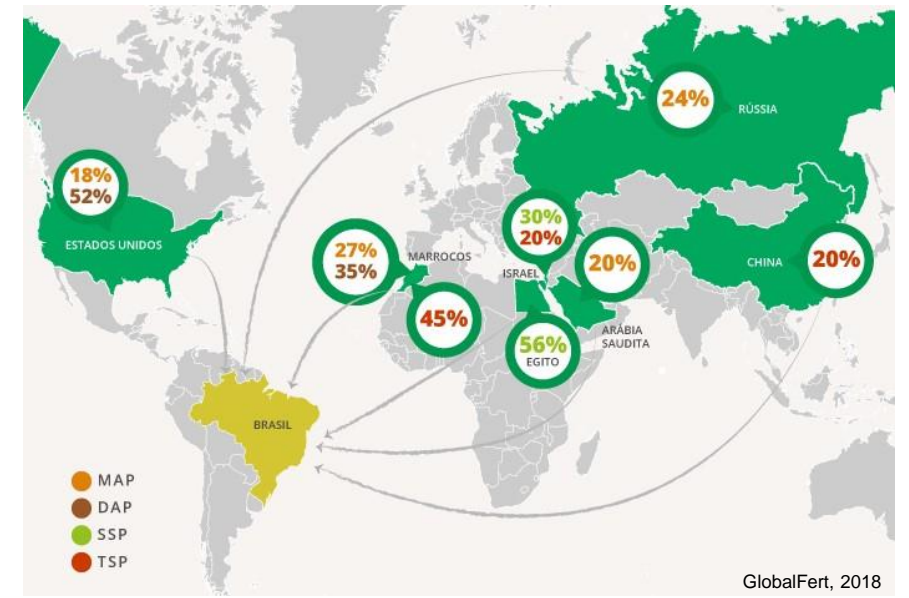
2017	3.145,3	738,0	3.328,8	4.417,4	4.385,2	3.635,3	8.048,0	3.253,3	2.017,2	376,3	329,0	965,9	121,6	102,7	2.047,0	36.911,0
2018	3.648,8	665,5	3.820,2	4.960,6	5.076,9	3.371,5	9.977,5	4.232,2	2.239,8	797,5	192,6	1.050,9	121,6	105,0	2.649,3	42.909,9
2019	3.628,0	718,7	4.092,2	5.310,9	4.884,9	3.599,1	9.404,3	4.647,7	2.770,2	986,6	299,5	986,6	169,0	171,6	1.626,9	43.296,2
2020	3.258,5	769,9	4.301,3	4.536,0	5.387,6	4.117,9	9.518,9	4.708,7	2.325,8	1.360,9	670,0	1.250,8	538,4	546,3	2.008,7	45.299,7
2021	4.795,2	983,7	6.073,5	5.359,1	6.000,3	4.766,6	10.945,8	5.591,8	2.558,4	1.583,1	823,1	1.376,1	678,3	687,0	2.295,7	54.517,7

Fonte: ABRACAL - RC, 12/04/2022.

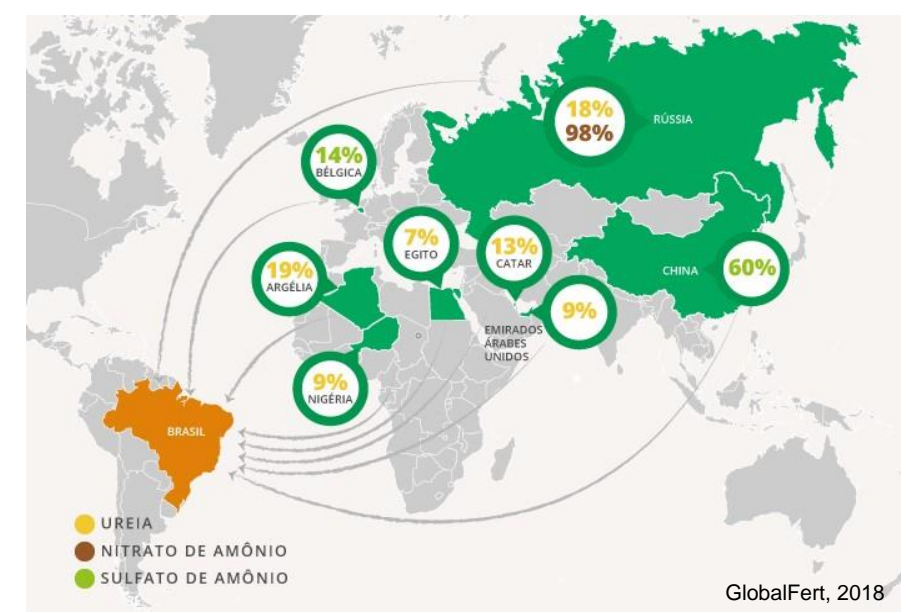
Fertilizantes



P & K



N



Introdução

Tipos de fertilizantes e corretivos

- Químicos

 - Sólidos (pós e granulados)

 - Líquidos

 - Gasosos

- Orgânicos

 - Sólidos

 - Pastosos

 - Líquidos

- Corretivos

 - Sólidos

Introdução

Olhando para a máquina:

Mecanismo dosador

– define a vazão de produto

Mecanismo distribuidor

– define a forma e a largura da deposição

Mecanismos dosadores

Gravitacionais

- orifício de abertura regulável e agitador

Volumétricos

- esteira e comporta
- rosca transportadora
- rodas denteadas

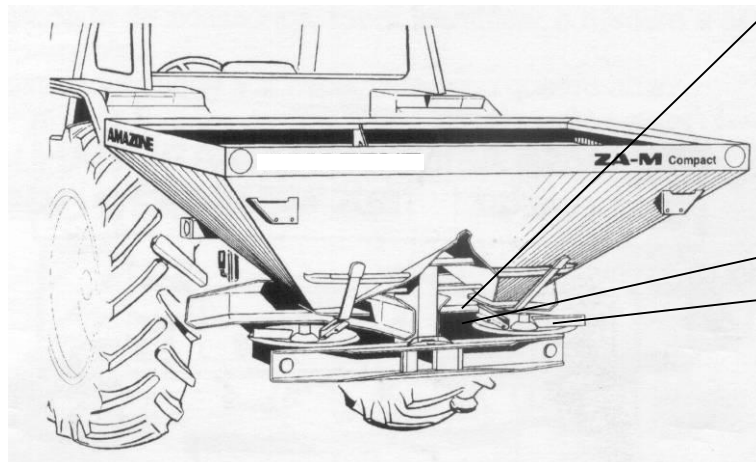
Mecanismos dosadores

Gravitacionais

- orifício de abertura regulável e agitador

Volumétricos

- Esteira e comporta
- rosca transportadora
- rodas denteada



agitador

abertura
regulável



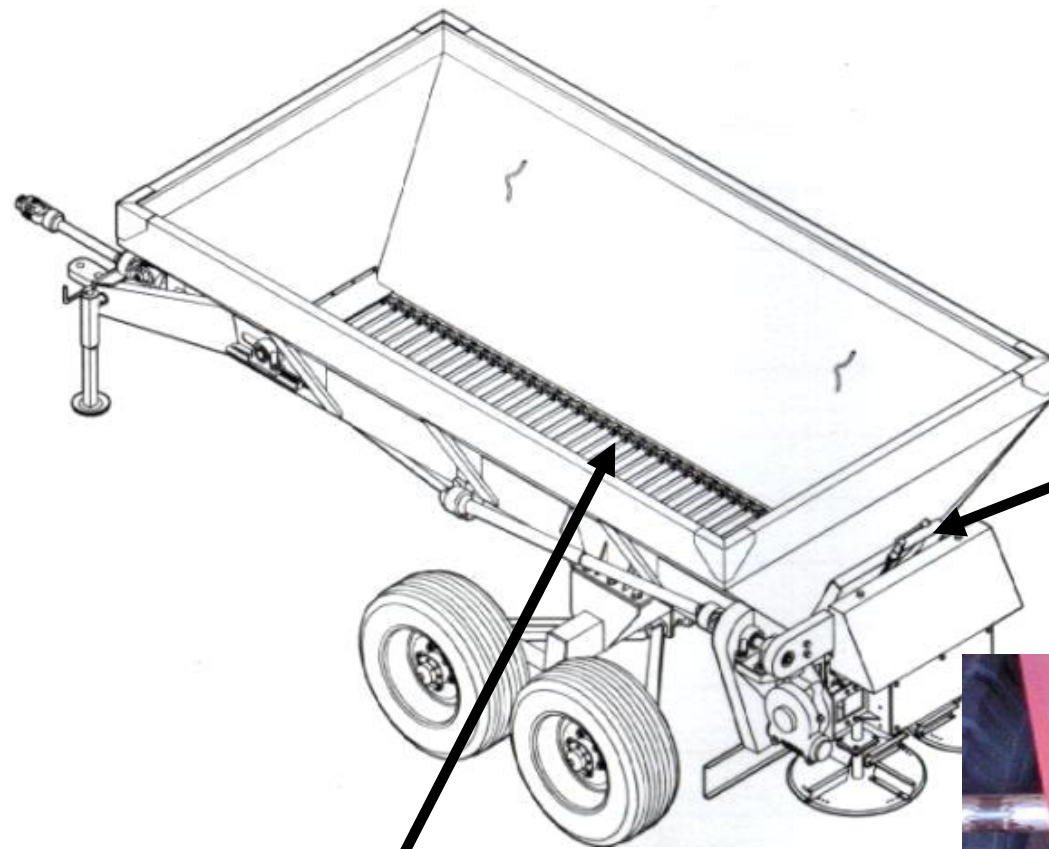
Mecanismos dosadores

Gravitacionais

- orifício de abertura regulável e agitador

Volumétricos

- esteira e comporta
- rosca transportadora
- rodas denteada

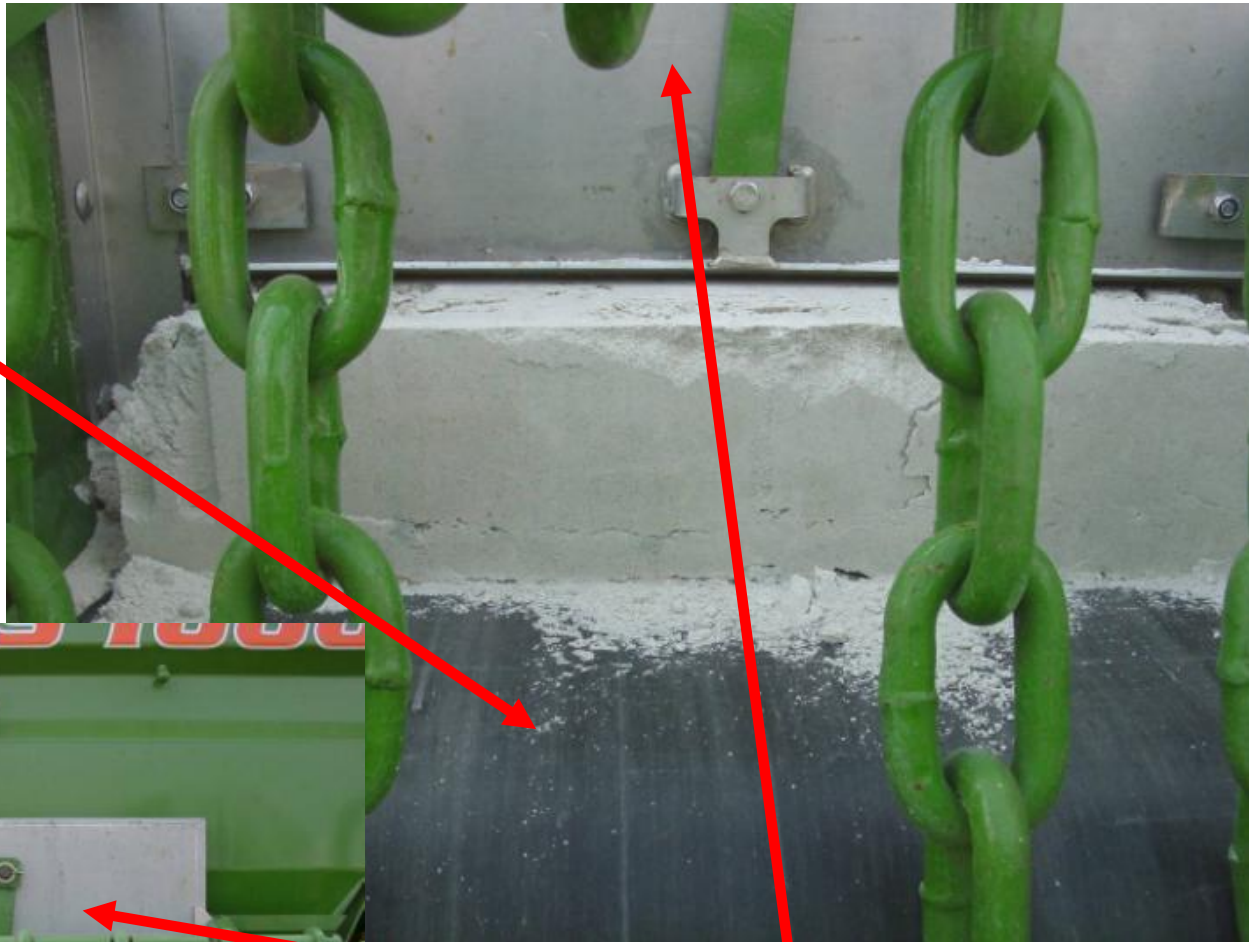


comporta



Esteira transportadora

esteira



comporta

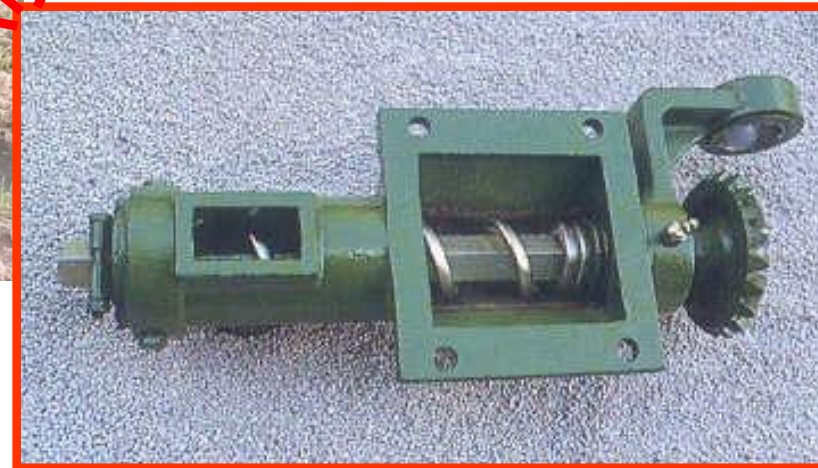
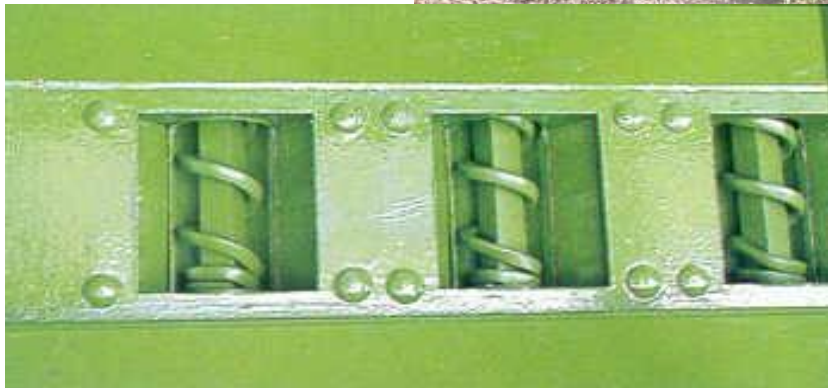
Mecanismos dosadores

Gravitacionais

- orifício de abertura regulável e agitador

Volumétricos

- esteira e comporta
- **rosca transportadora**
- rodas denteada





Sistema com dispositivo para minimizar a intermitência causada pela rosca

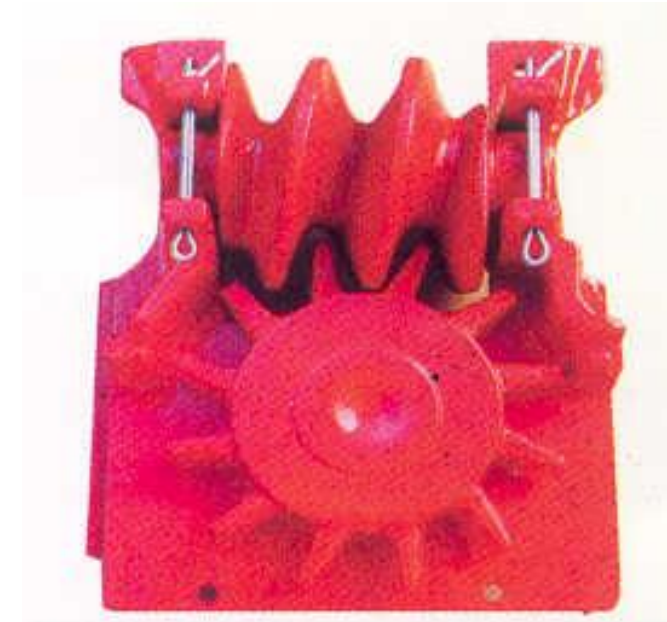
Mecanismos dosadores

Gravitacionais

- orifício de abertura regulável e agitador

Volumétricos

- esteira e comporta
- rosca transportadora
- rodas denteada



Mecanismos distribuidores

- Queda livre
- Centrífugo
- Pendular
- Pneumático

Mecanismos distribuidores

- Queda livre

- Centrífugo

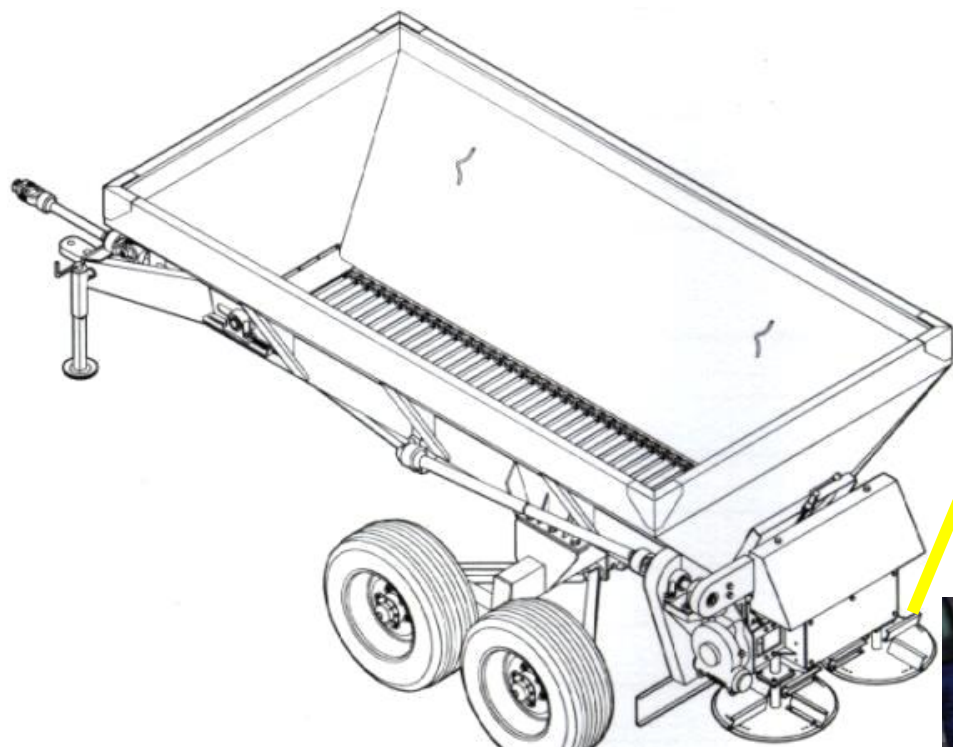
- Pendular

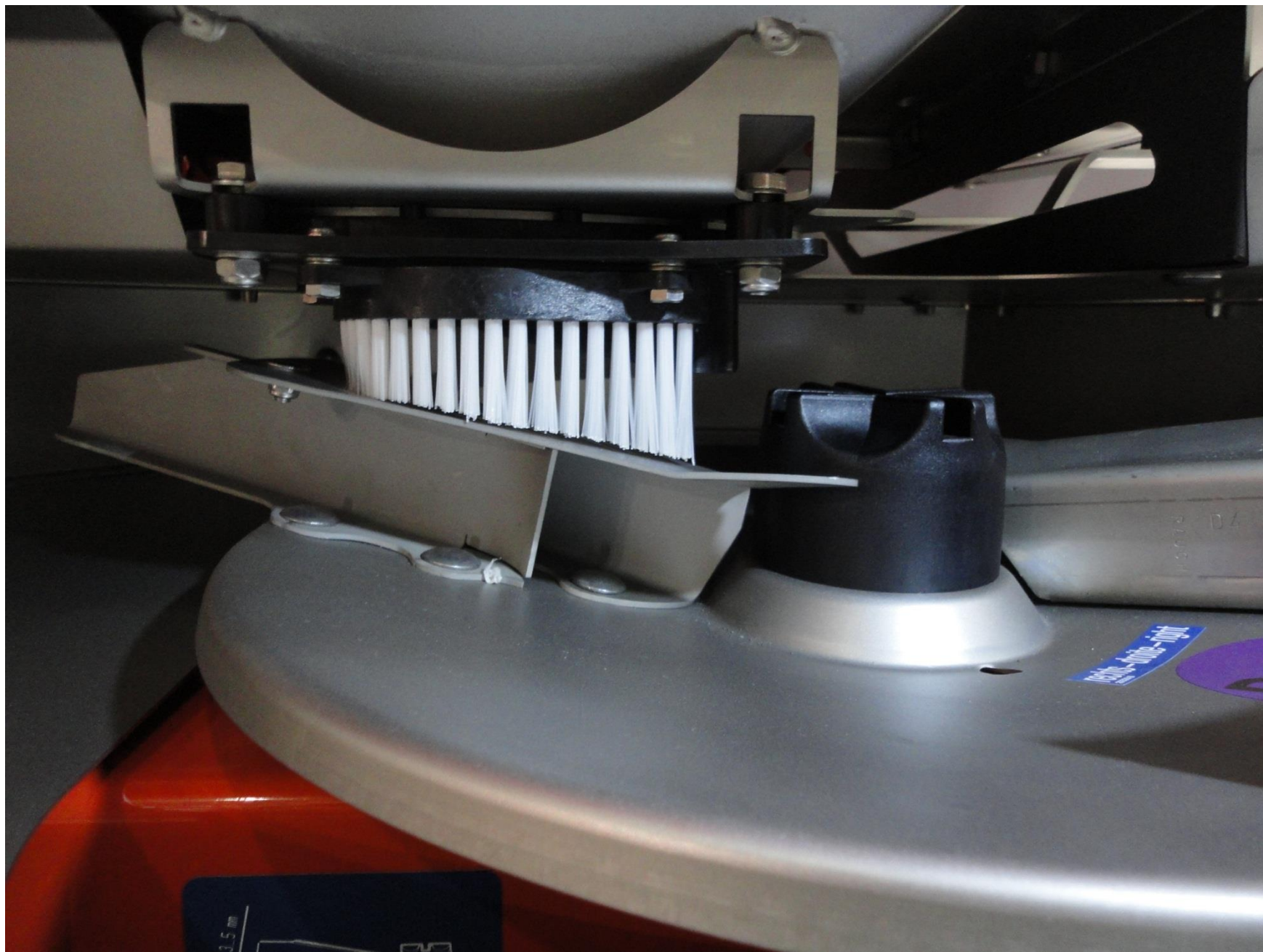
- Pneumático



Mecanismos distribuidores

- Queda livre
- **Centrífugo**
- Pendular
- Pneumático





A força centrífuga espalha as partículas de forma ordenada, bastando uma boa regulagem para a sobreposição entre passadas



Calcário úmido



Mecanismos distribuidores

- Queda livre
- Centrífugo
- **Pendular**
- Pneumático



Mecanismos distribuidores

- Queda livre
- Centrífugo
- Pendular
- **Pneumático**



Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
 - montados
 - de arrasto
 - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
 - avião agrícola
 - conjuntos de irrigação

Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
 - montados
 - de arrasto
 - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
 - avião agrícola
 - conjuntos de irrigação

Mecanismo dosador gravitacional e distribuidor centrífugo





Mecanismo dosador gravitacional e distribuidor pendular

Mecanismo dosador volumétrico de duas esteiras independentes e distribuidor centrífugo



Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
 - montados
 - de arrasto
 - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
 - avião agrícola
 - conjuntos de irrigação

Mecanismo dosador volumétrico e mecanismo distribuidor centrífugo



Rodado em tandem



Mecanismo dosador de abertura regulável e agitador, com mecanismo distribuidor centrífugo



Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
 - montados
 - de arrasto
 - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
 - avião agrícola
 - conjuntos de irrigação

Mecanismo dosador volumétrico e distribuidor centrífugo



Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
 - montados
 - de arrasto
 - autopropelidos
- **Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas**
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
 - avião agrícola
 - conjuntos de irrigação



Mecanismo dosador de abertura regulável e agitador, com mecanismo distribuidor de queda livre

Mecanismo dosador volumétrico e distribuidor de queda livre





Mecanismo dosador volumétrico e distribuidor centrífugo, com duto direcional



Mecanismo dosador volumétrico e distribuidor pneumático





Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
 - montados
 - de arrasto
 - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- **Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais**
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
 - avião agrícola
 - conjuntos de irrigação

adubadora

semeadora

Mecanismo dosador volumétrico helicoidal e distribuidor de queda livre com tubo condutor



Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
 - montados
 - de arrasto
 - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- **Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos**
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
 - avião agrícola
 - conjuntos de irrigação





Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
 - montados
 - de arrasto
 - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos**
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais
 - avião agrícola
 - conjuntos de irrigação



Compostagem





Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
 - montados
 - de arrasto
 - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos**
- Máquinas especiais
 - avião agrícola
 - conjuntos de irrigação









Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
 - montados
 - de arrasto
 - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais**
 - conjuntos de irrigação**
 - avião agrícola



Tipos de máquinas

- Aplicadores de fertilizantes e corretivos a lanço
 - montados
 - de arrasto
 - autopropelidos
- Aplicadores de fertilizantes e corretivos em faixas
- Aplicadores de fertilizantes de linhas individuais
- Injetores de fertilizantes líquidos e gasosos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos sólidos
- Distribuidores de fertilizantes orgânicos líquidos
- Máquinas especiais**
 - conjuntos de irrigação
 - avião agrícola**



Difusores para sólidos

SCHRÖDER & ECHENIQUE (n/d)

Regulagens

$$D = Q / (L \cdot v)$$

$$D = Q / (L \cdot v) \cdot 10000$$

D - dose

Q - vazão

L - largura efetiva

v - velocidade

Regulagens

$$D = Q / (L \cdot v)$$

D - dose

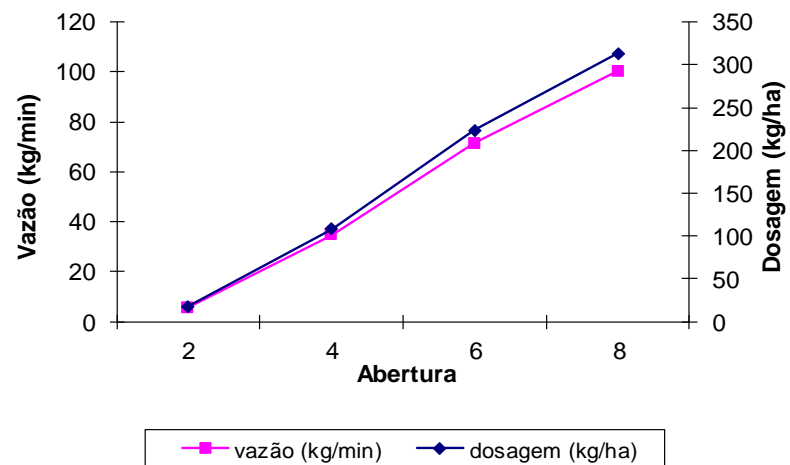
Q - vazão

L - largura efetiva

v - velocidade

Como definir a vazão?

Pesagem de material coletado ao longo de uma amostragem – 30 a 60 s



Pesagem de material coletado ao longo de uma distância conhecida (com lona)





EXEMPLO 1

Aplicação a lanço

Dose de 180 kg/ha de uréia

Largura efetiva de 8,0 m

Velocidade de 9,0 km/h (2,5 m/s)

Como regular a máquina - quanto produto coletar em 30s?

$$D = (Q/v \cdot I) / 10000$$

$$Q = (D \cdot v \cdot I) / 10000$$

$$Q = (180 \cdot 2,5 \cdot 8,0) / 10000$$

$$Q = 0,36 \text{ kg/s} \times 30\text{s}$$

$$Q = 10,8 \text{ kg}$$

EXEMPLO 2

Aplicação de calcário a lanço

Dose de 3000 kg/ha

Em 30s – 130 kg de calcário (4,33 kg/s)

Largura efetiva de 6,0m

Qual a velocidade de operação?

$$D = (Q/v \cdot l) 10000$$

$$v = (Q / D \cdot l) 10000$$

$$v = (4,33 / 3000 \cdot 6,0) 10000$$

$$v = 2,41\text{m/s} = 8,7\text{km/h}$$

EXEMPLO 3

Adubação de soqueira de cana-de açúcar
1,4 m entre linhas

Velocidade de 8,0 km/h (2,22 m/s)

Dose de 240 kg/ha de NPK

Qual a vazão do mecanismo dosador de cada linha?

$$D = (Q/v \cdot l) 10000$$

$$Q = (D \cdot l \cdot v) / 10000$$

$$Q = (240 \cdot 1,4 \cdot 2,22) / 10000$$

$$Q = 0,0799 \text{ kg/s} \times 30 \text{ s} = 2,40 \text{ kg}$$

Regulagens

$$D = Q / (L \cdot v)$$

D - dose

Q - vazão

L - largura efetiva

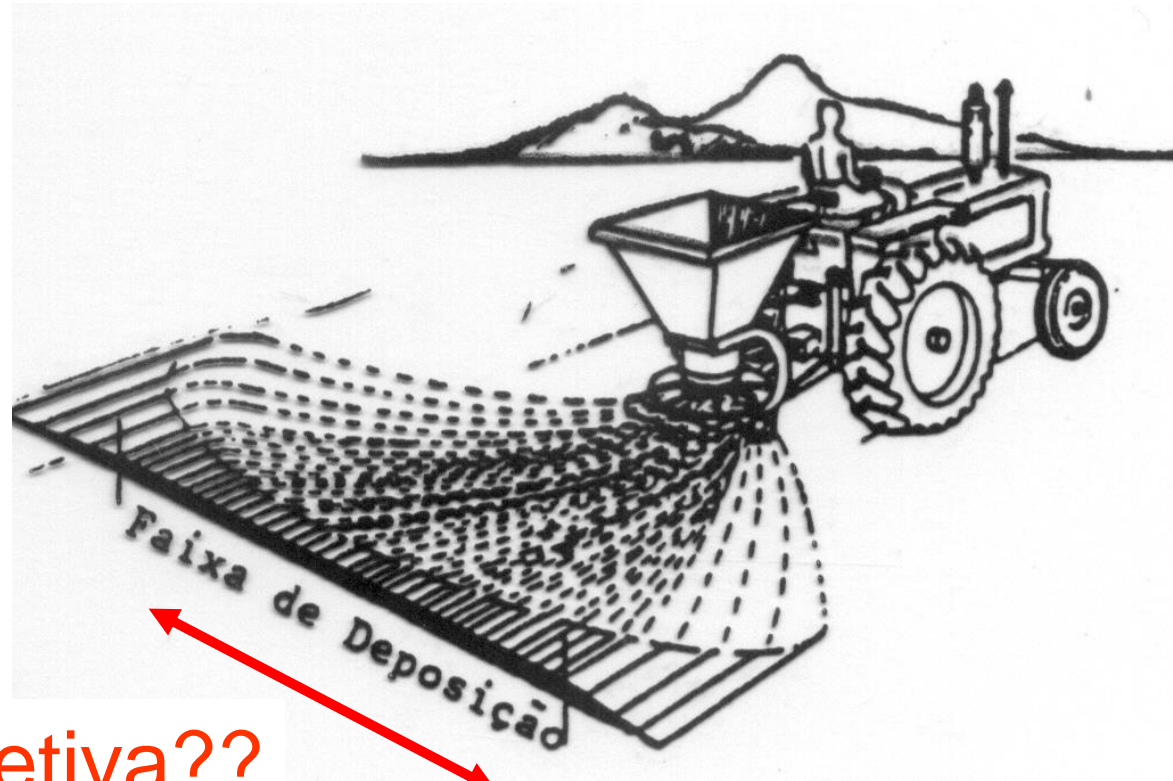
v - velocidade

Como definir a largura?

Regulagens

Como definir a largura efetiva?





Largura efetiva??

Nitrogênio

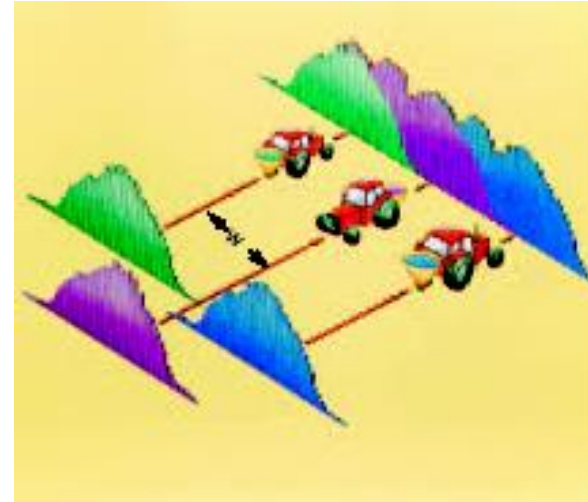


Potássio

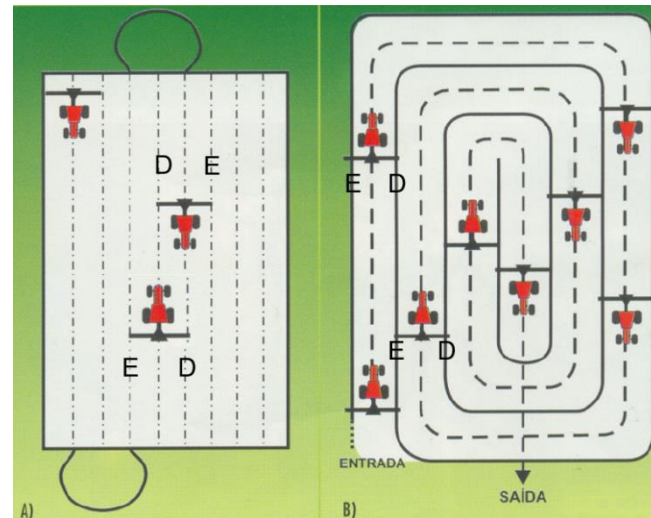
Procedimento



Passando a máquina sobre coletores para registrar a deposição transversal

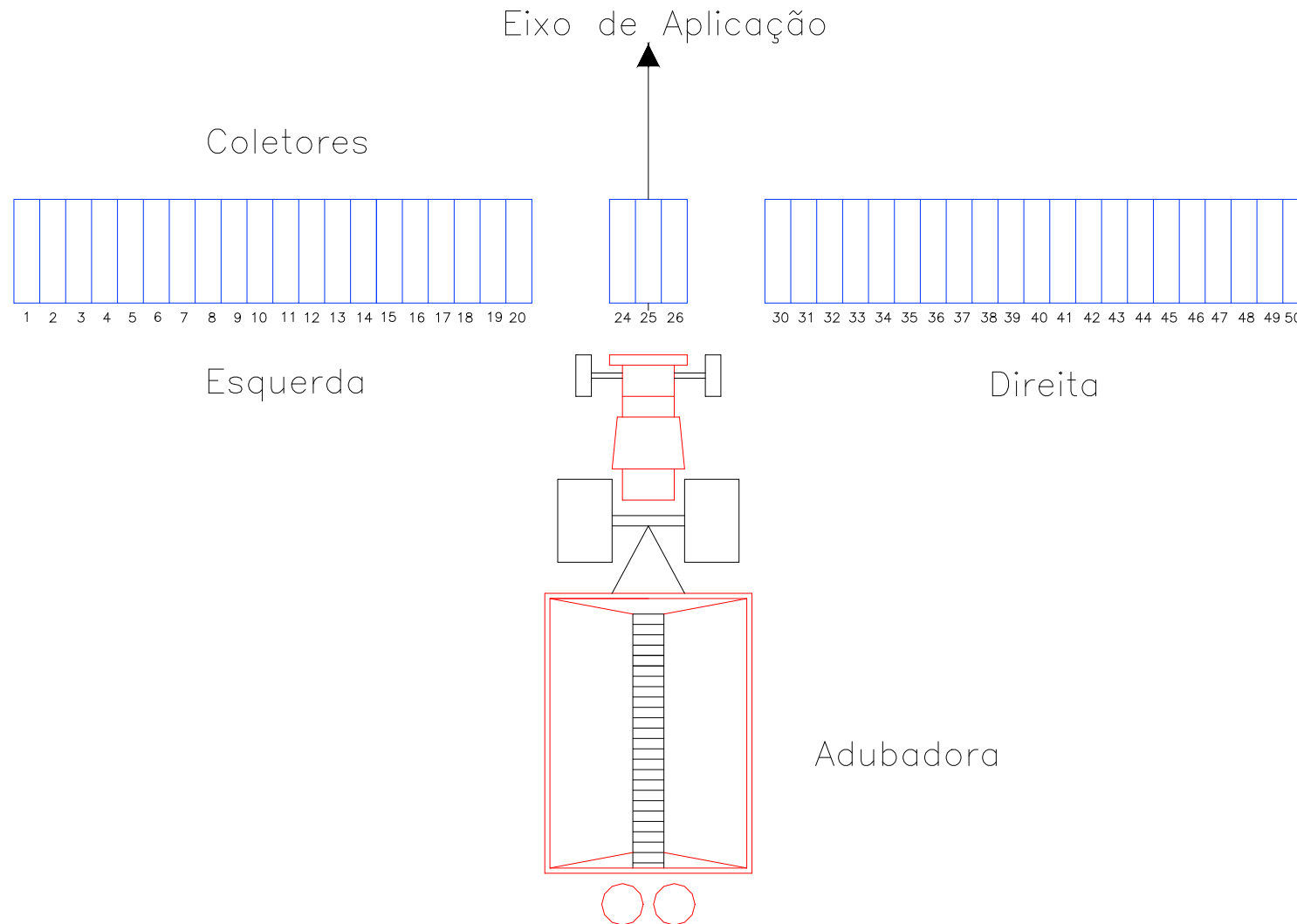


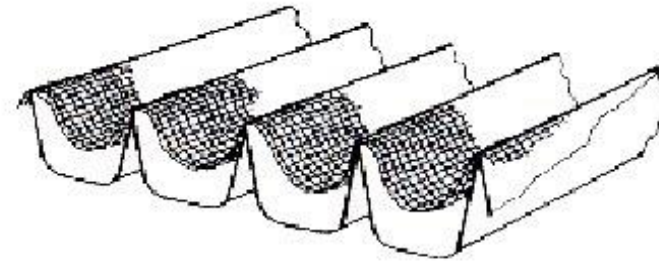
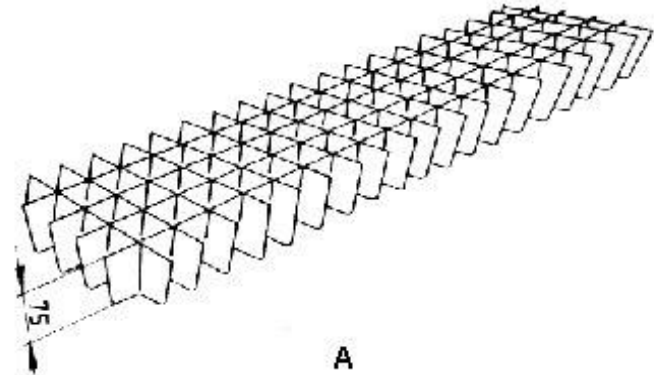
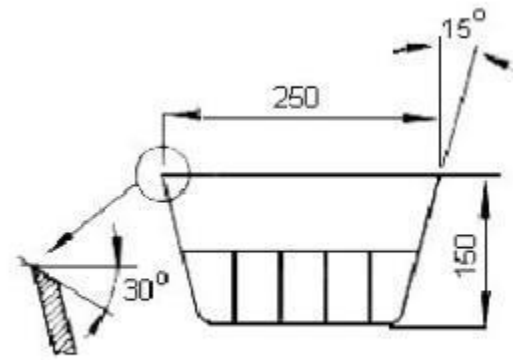
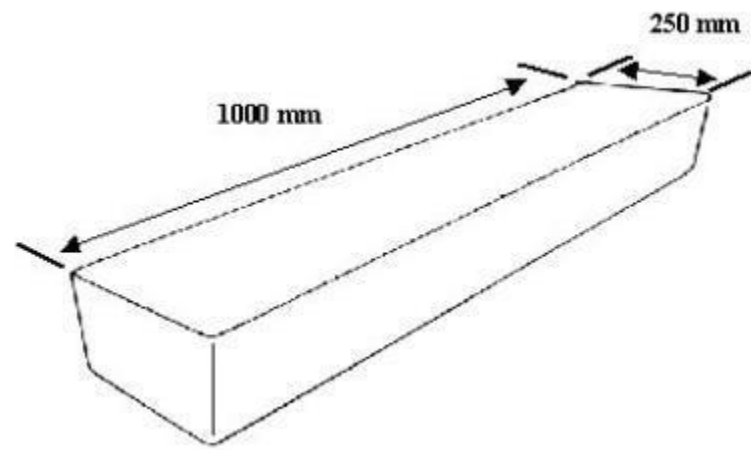
... a combinação das diferentes passadas vai produzir a deposição total



... o resultado depende do percurso adotado

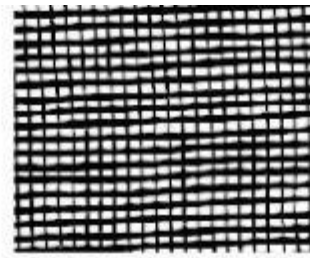
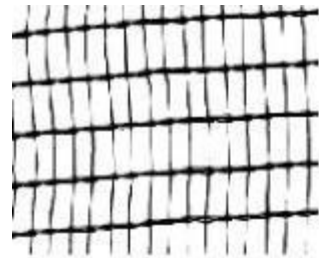
Procedimento de campo





A

B



1: Sombrite 18%.

2: Sombrite 30%.

3: Malha 1/2"





Repetições



Passadas \neq repetições

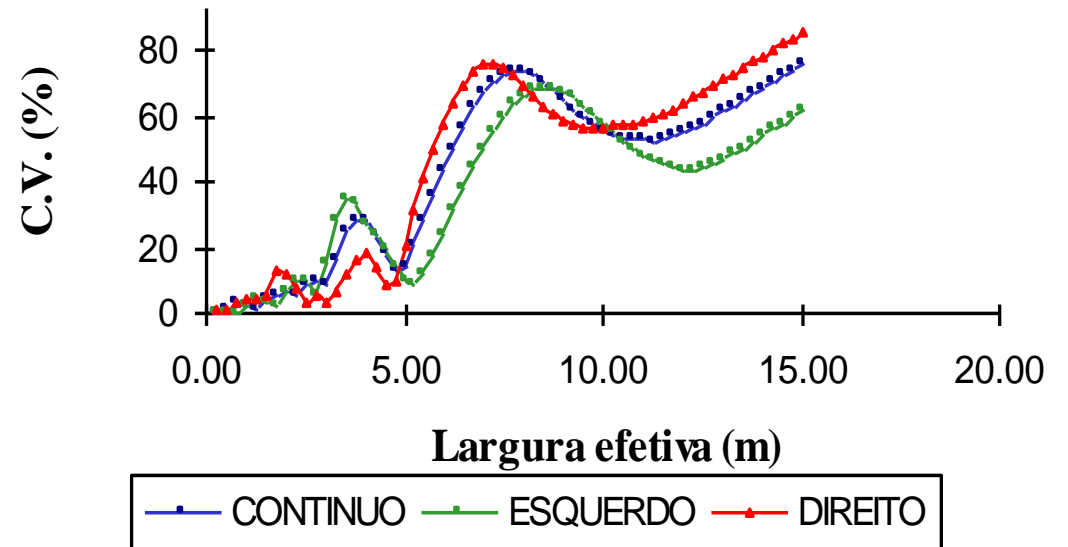
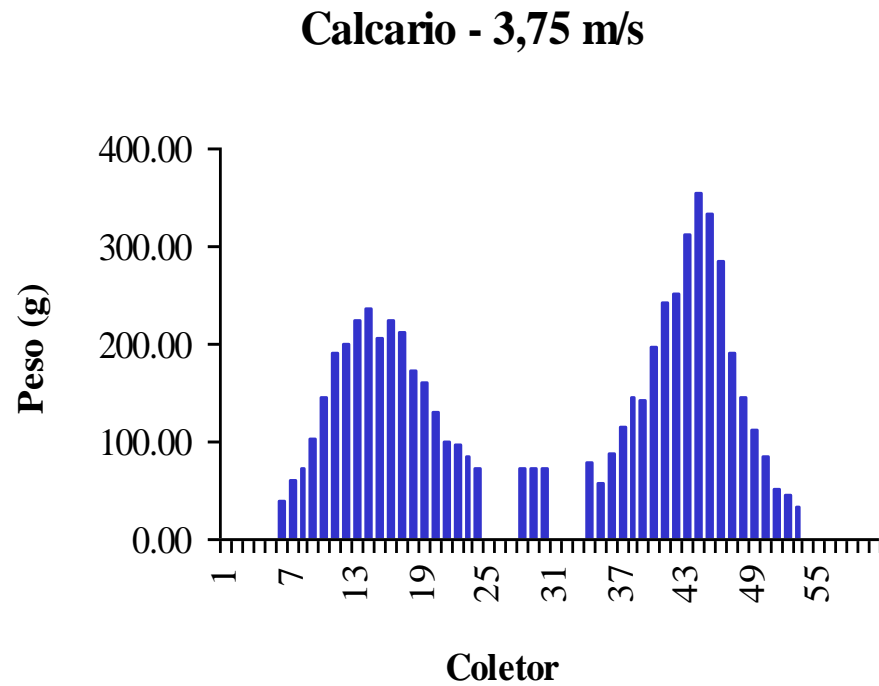




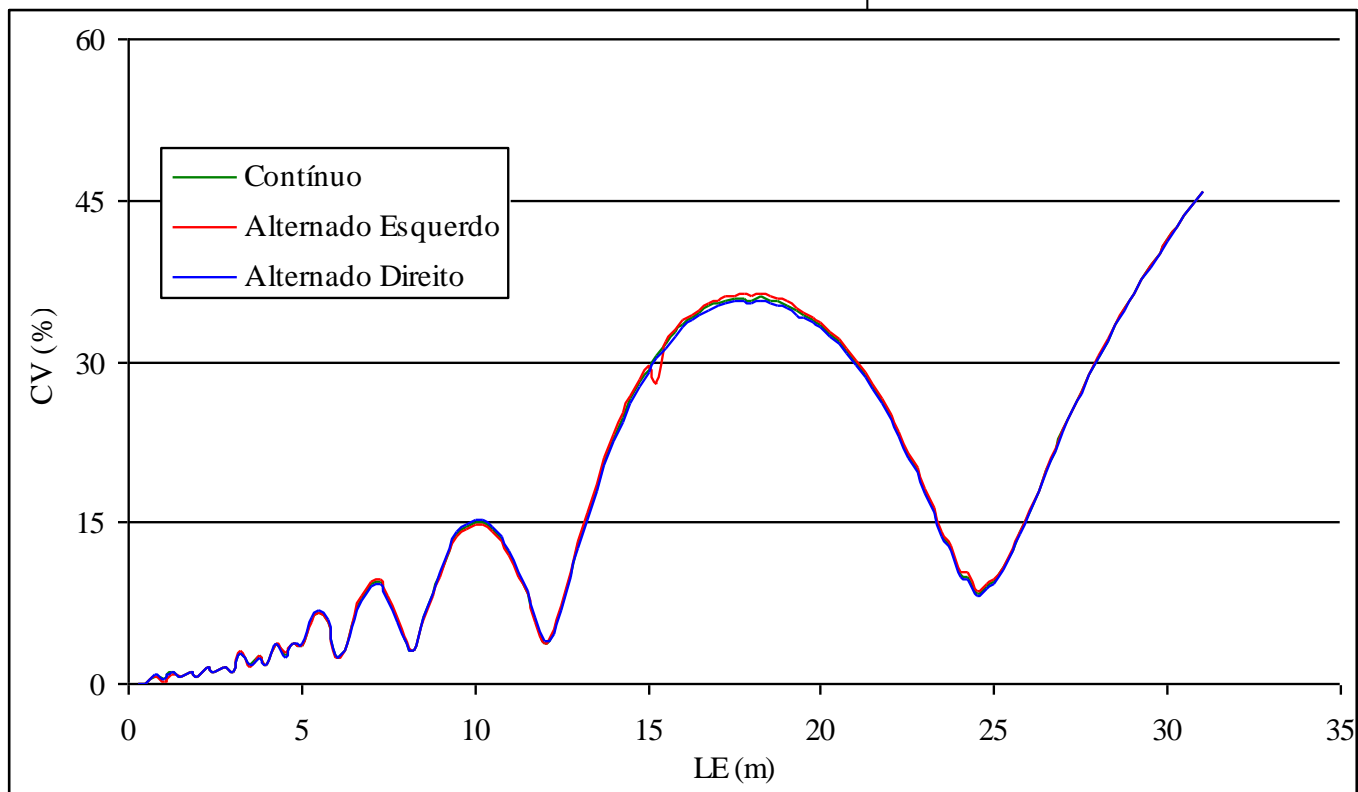
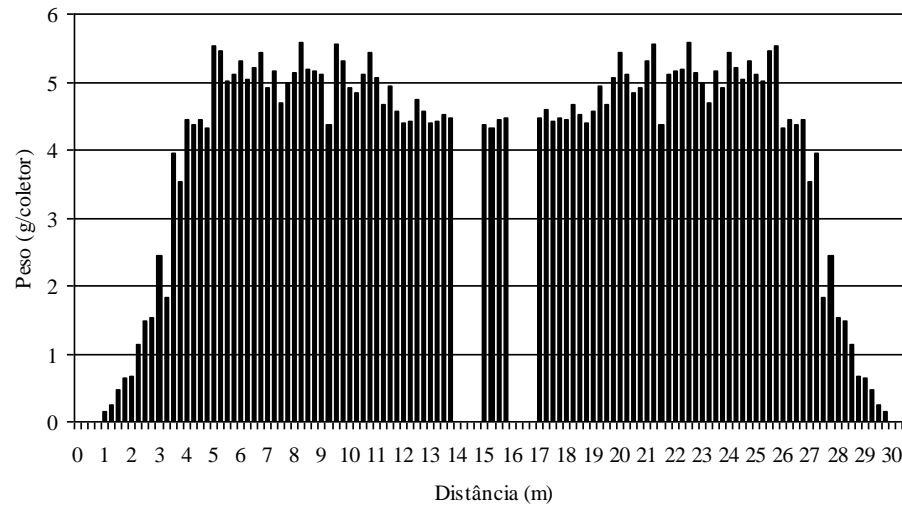


Obter o perfil da distribuição e simular as possíveis sobreposições

calcular o CV de cada uma, plotar o CV x largura efetiva e selecionar a largura efetiva



24 m e 250 kg/ha – R3



Software para isso:

<https://www.agriculturadeprecisao.org.br/software/>

Adulção 3.1

Montagem do teste de campo
Manual de uso passo-a-passo
Análise de resultados



Coordenação:
Prof. J.P. Molin

www.agriculturadeprecisao.org.br

Colaboraram diretamente ao longo do
desenvolvimento do Programa e deste Manual:

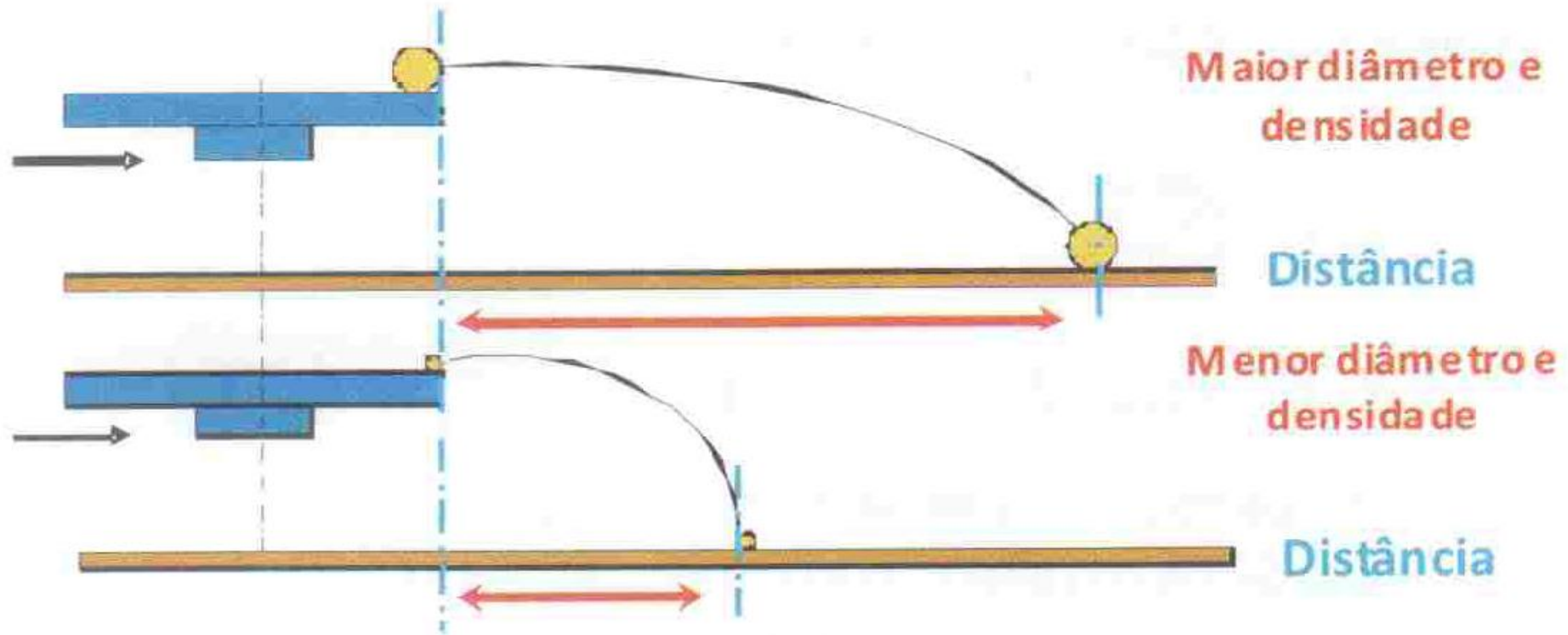
gMAP - Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão
COELHO, J.L.D.
GONÇALVES, A.O.
MENEGATTI, L.A.A.
ROZESTRATEN, H.
SILVA, G.F.
SOLLERO, G.C.
SPEKKEN, M.
VASARHELYI, A.

USP/ESALQ
Piracicaba, SP, Fevereiro de 2015

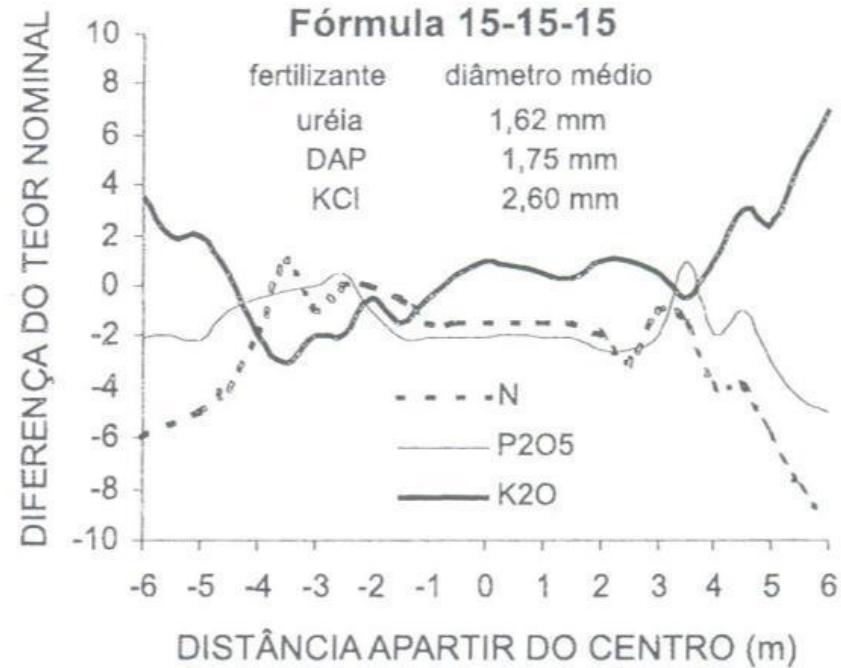


<http://www.amazone.co.uk/agricultural-products.asp?cid=6>

Segregação de partículas



Segregação de partículas

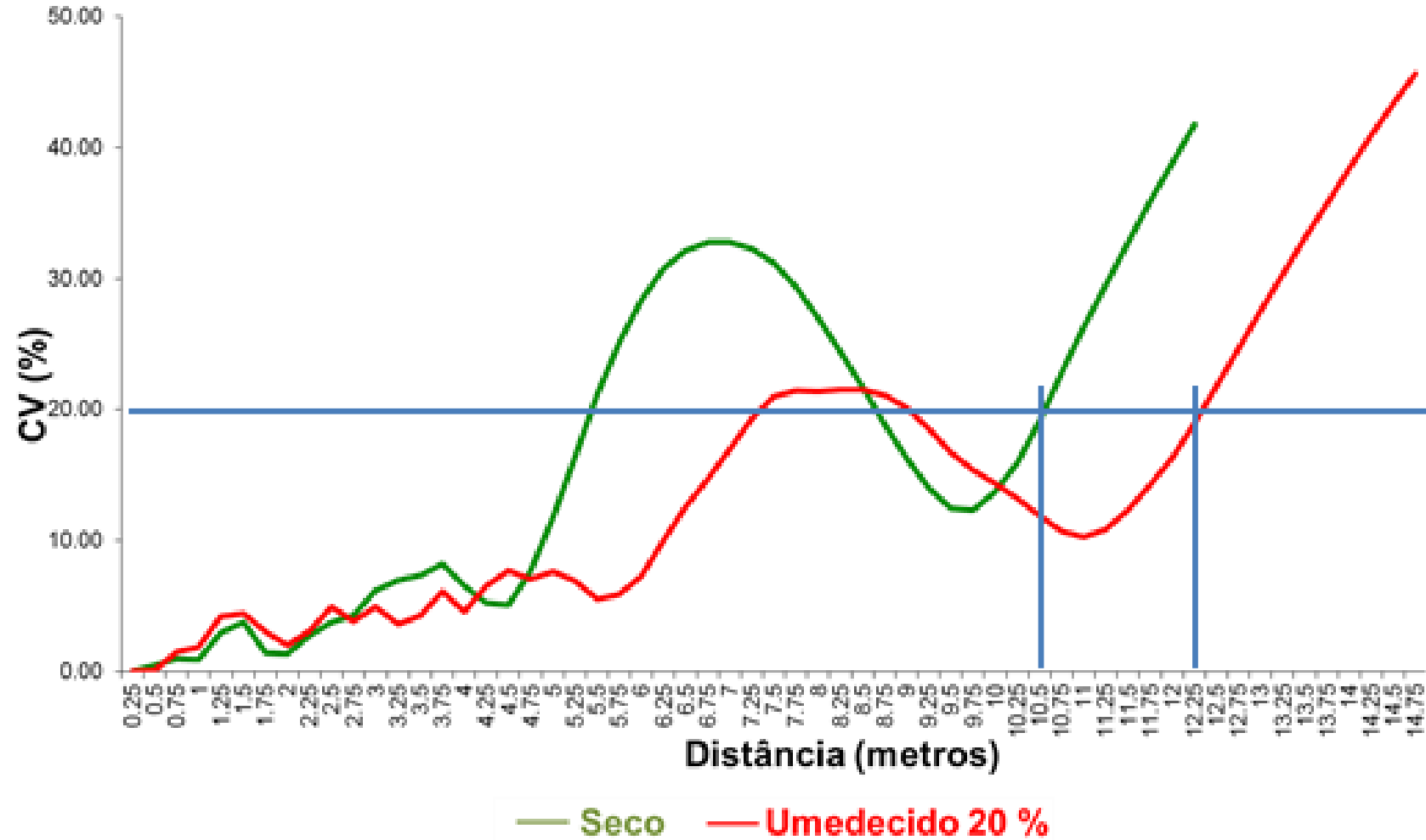


- 6 m	- 3,5m	0 m	+ 3,5m	+ 6m
9,0-13,0-18,4	16,6-15,1-12,1	13,6-12,8-16,2	13,7-16,0-14,6	6,2 - 9,9 - 22,1

Variação dos teores de N, P₂O₅ e K₂O de uma fórmula 15-15-15, aplicada por uma adubadora com distribuição centrífuga, em função da distância a partir do centro de aplicação

Adaptado de POPP e ULRICCH, 1985

Adicionar água ao calcário?



Pereira et al.(2015)

Fim!