Fixação Biológica de Nitrogênio

Gustavo Ribeiro Xavier
Embrapa Agrobiologia

PESQUISA AGROPECUÁRIA • INOVAÇÃO • QUALIDADE DE VIDA
Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Equipe

Norma Gouvêa Rumjanek – Ecologia de Microrganismos

Veronica Massena Reis – FBN em gramíneas

Segundo Urguiaga – Ciclagem de Nutrientes

Luiz Henrique Soares - Agroenergia

PESQUISA AGROPECUÁRIA • INOVAÇÃO • QUALIDADE DE VIDA
Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Nitrogênio

Constituinte essencial de aminoácidos, proteínas, bases e ácidos nucléicos, hormônios e clorofilas, entre outras moléculas essenciais.

PESQUISA AGROPECUÁRIA • INOVAÇÃO • QUALIDADE DE VIDA
Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Sintomas de deficiência de N nas plantas

PESQUISA AGROPECUÁRIA • INOVAÇÃO • QUALIDADE DE VIDA
Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Embrapa

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

Embrapa

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

Fixação anual de nitrogênio atmosférico

Fonte de fixação	Milhões de toneladas de N por ano	%
Industrial (fertilizantes)	49	18%
Atmosférico (eletroquímica)	10	4%
Outros processos químicos	35	13%
Fixação biológica Oceanos	36	13%
Fixação biológica Leguminosas (140 $kg^{-1}.ano^{-1}$)	35	13%
Fixação biológica arroz (30 $kg^{-1}.ano^{-1}$)	4	1%
Fixação biológica Pastagens (15 $kg^{-1}.ano^{-1}$)	45	17%
Fixação biológica Outras culturas (5 $kg^{-1}.ano^{-1}$)	5	2%
Fixação biológica Ecossistemas florestais (10 $kg^{-1}.ano^{-1}$)	40	15%
Fixação biológica Outros sistemas (2 $kg^{-1}.ano^{-1}$)	10	4%
TOTAL	**269**	**100%**
Sub-Total Fixação Biológica Sistemas Terrestres	139	52%

Adaptado de Moreira & Siqueira, 2002

A FBN e o balanço energético

A. <u>Processo Industrial</u>

Energia fóssil

N_2 + $3H_2$ ---------- $2NH_3$

(78% Ar) Gás Natural 450 ^oC (Fertilizante)

200 atm.

Processo Haber-Bosch

(~20 Mcal/kg N-Fertil.)

B. <u>FBN (bactéria diazotrófica)</u>

Fotossíntese

N_2 + $6H^+$ ---------- $2NH_3$

(Nitrogenase) ATP

PESQUISA AGROPECUÁRIA • INOVAÇÃO • QUALIDADE DE VIDA
Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL BRASIL PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Vantagens da FBN

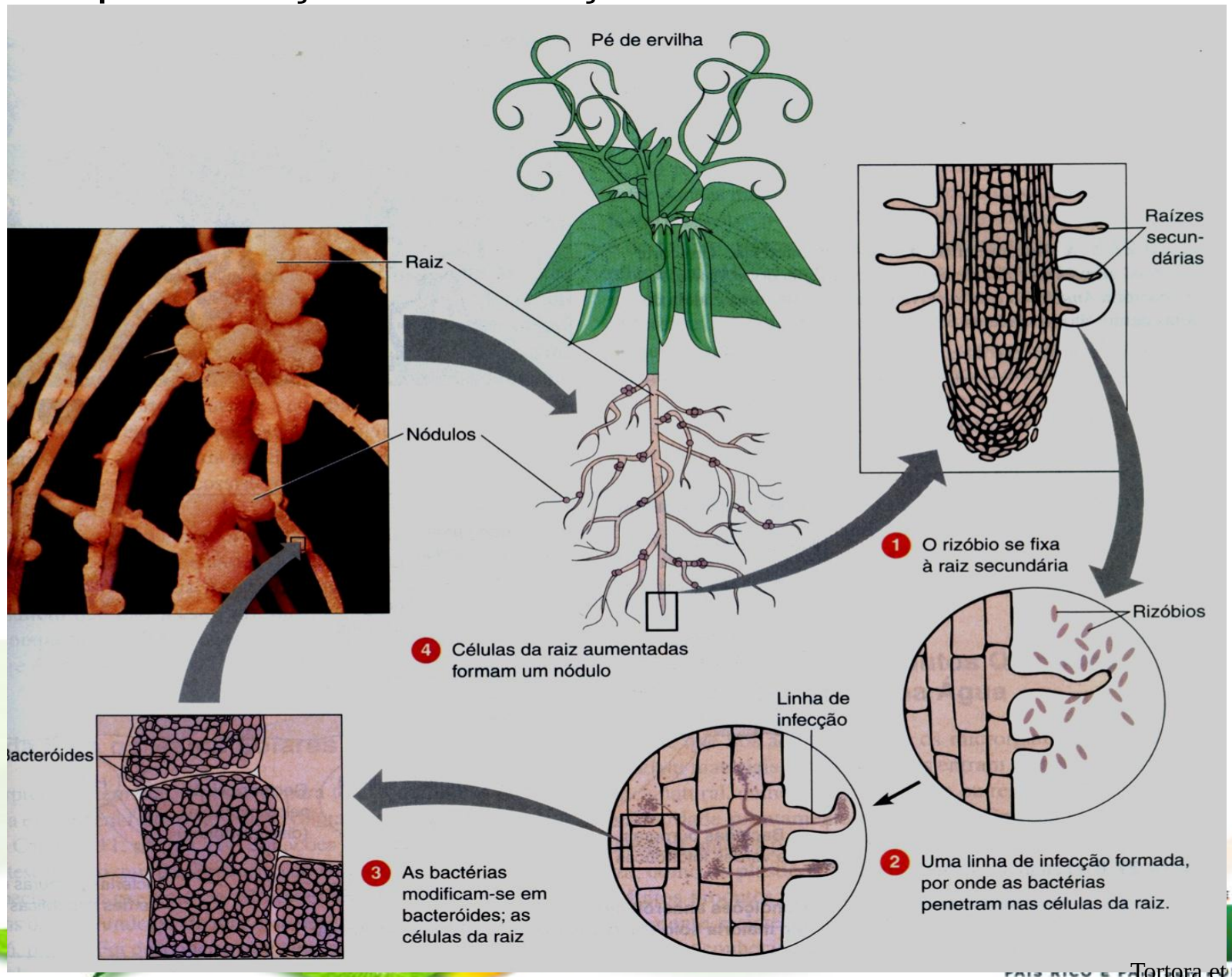
- Aumento da produtividade vegetal;
- Incremento da fertilidade e da matéria orgânica do solo;
- Economia no uso de fertilizantes nitrogenados industrializados.

contribuição com sustentabilidade dos sistemas agrícolas

Embrapa

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

Representação da formação de nódulos.



Tortora et al., 2000

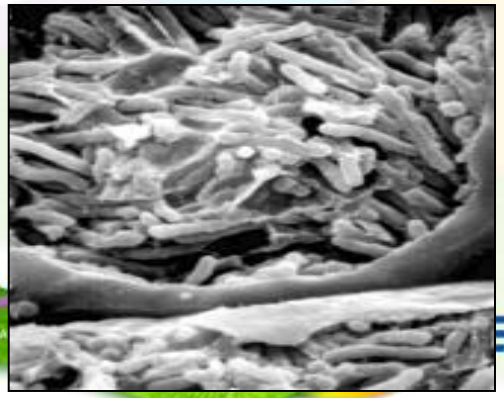
Simbiose

- relação benéfica para ambos os organismos;

planta: recebe N para o seu crescimento

bactéria: tem um nicho protegido, rico em nutrientes

- simbiose leguminosa x rizóbio: é um dos melhores exemplos e também um dos mais bem estudados;



Rizóbio dentro do nódulo

Cada nódulo tem cerca de 10^9 células bacterianas

Microscópio de varredura

Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL BRASIL
BRASIL SEM MISÉRIA É PAÍS SEM POBREZA

Nodulação nas raízes

Atividade das bactérias nos nódulos (coloração avermelhada)

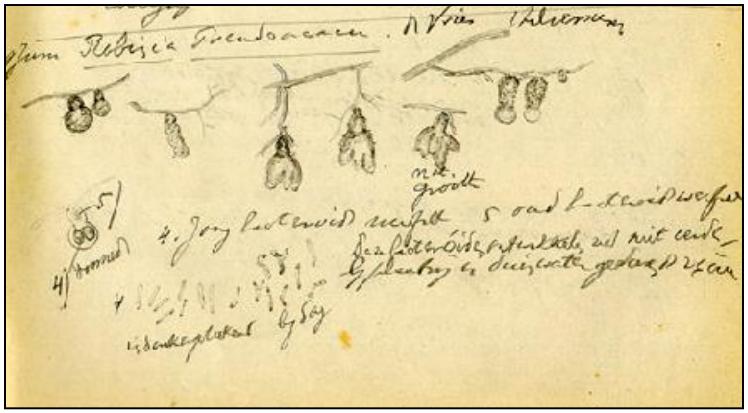
Embrapa
Agricultura, Pecuária e Abastecimento
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Embrapa

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

Identificação do rizóbio - primeiros passos

1879 - Frank: mostrou que sementes de leguminosas cultivadas em solos esterilizados não formavam nódulos



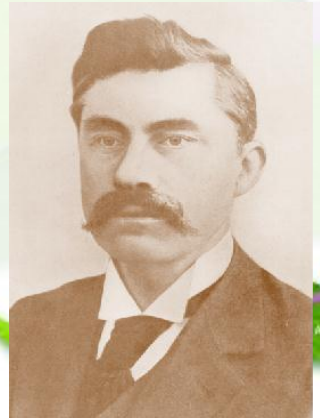
1886 a 1888 - Hellriegel: realizou experimentos em áreas com pouco N

leguminosas: bom desenvolvimento

outras famílias: desenvolvimento ruim

<u>Conclusão:</u> leguminosas poderiam aproveitar o N_2 da atmosfera

1887 - Ward: usou nódulos macerados para inocular sementes de leguminosas cultivadas em solos esterilizados

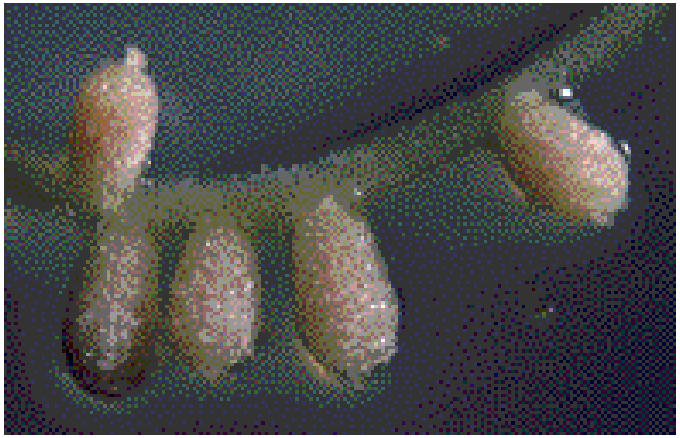


1888 - Beijerinck: isolamento e purificação da bactéria presente no nódulo

Já tem mais de 1 século que este grupo de bactérias é conhecido

Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL BRASIL PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

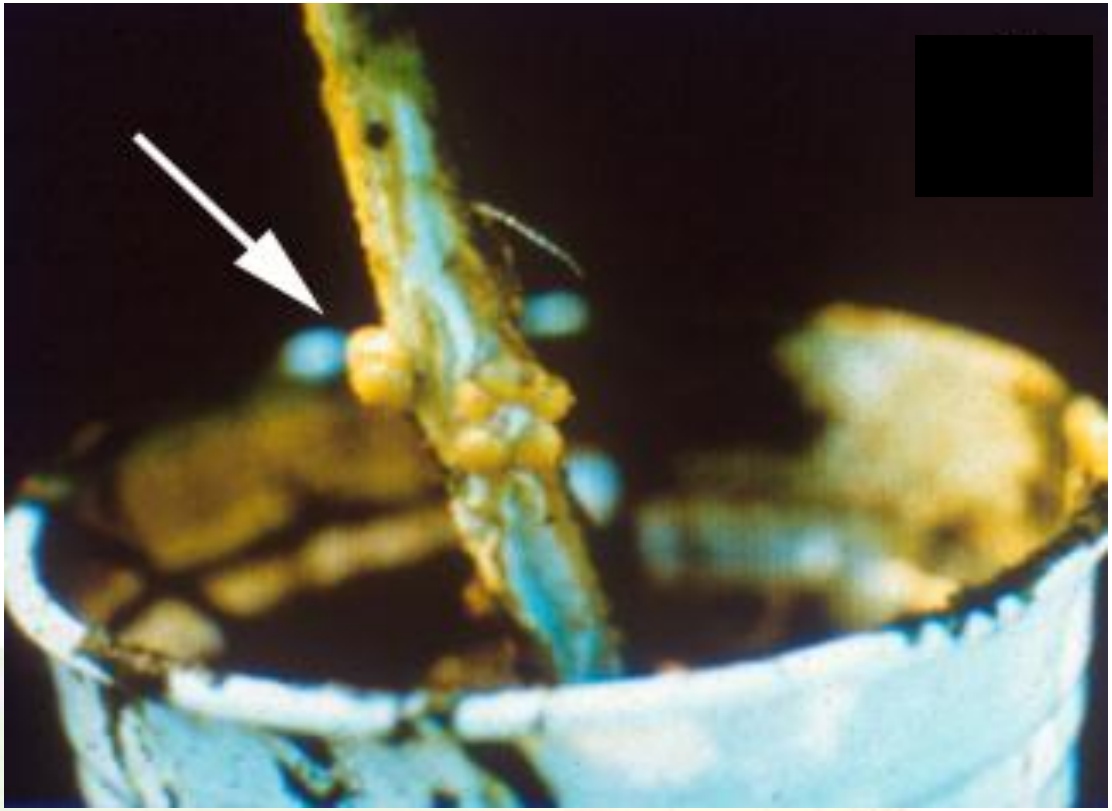
Nódulos radiculares



crescimento determinado / crescimento indeterminado

Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL BRASIL PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Nódulos caulinares



Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL BRASIL PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Principal Exemplo da FBN

Sucesso na cultura da soja

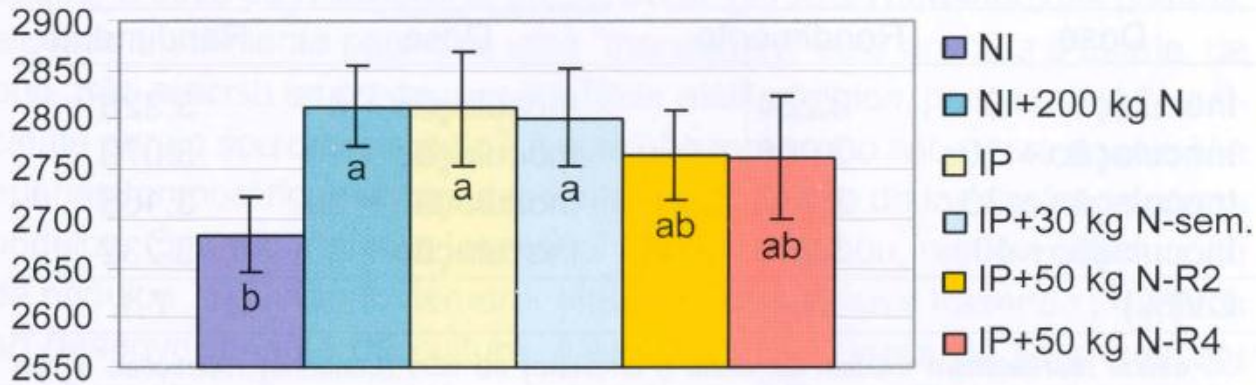


Figura 4. Rendimento de soja (kg.ha^{-1}) em solo com população estabelecida de *Bradyrhizobium* (>10^3 células.g^{-1} de solo) em função dos tratamentos: não inoculado (NI), sem e com 200 kg de N.ha^{-1} (100 kg na semeadura e 100 kg no início do florescimento - R2) e inoculado (IP, inoculante turfoso padrão, com as exigências de qualidade da legislação, contendo as estirpes SEMIA 587 e SEMIA 5080), sem e com fertilizante nitrogenado aplicado na semeadura (30 kg de N), em R2, ou no enchimento de grãos - R4 (50 kg de N). Colunas com a mesma letra não diferem estatisticamente (Duncan, 5%). Médias de 20 ensaios, conduzidos por três safras, em Londrina e Ponta Grossa (PR), com as cultivares Embrapa 48 (ciclo curto) e BRS 134 (ciclo médio), sob semeadura direta ou convencional, com seis repetições por tratamento. Adaptado de Hungria et al. (2006b).

Hungria et al., 2007. Embrapa, documento 283.

Sucesso da FBN na soja

Estudo pioneiro em diferentes genótipos no Brasil (Dobereiner e Arruda, 1967; Brose et al., 1979; Vargas et al., 1982)

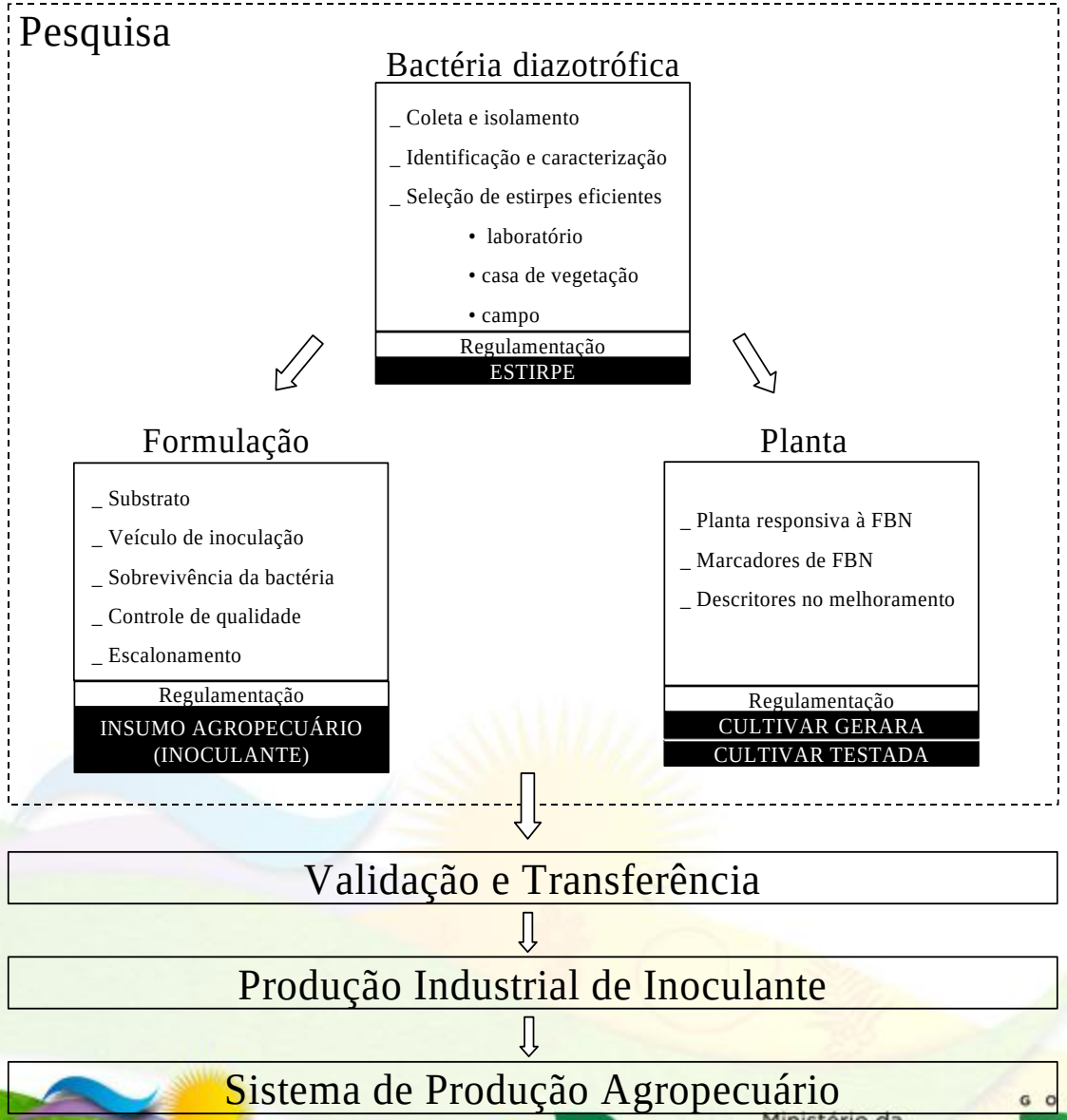
Todas linhagens foram inoculadas com as melhores estirpes de *Bradyrhizobium* disponíveis na época.

Fertilizantes nitrogenados não foram aplicados em nenhum dos campos de seleção/melhoramento.

Alves et al., 2003

Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL BRASIL PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Desenvolvimento da tecnologia da FBN



Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Eficiência agronômica em campo

Qualidade do inoculante

10^9 células/ml de inóculo

600.000 células na semente

contaminantes 10^{-5}

Experimentos de campo:

2 (dois) anos

2 (dois) locais

cultivar recomendada

controles (estirpe e dose de $N.ha^{-1}$ recomendada e controle absoluto),

6 (seis) repetições.

PESQUISA AGROPECUÁRIA • INOVAÇÃO • QUALIDADE DE VIDA
Embrapa Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL BRASIL PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

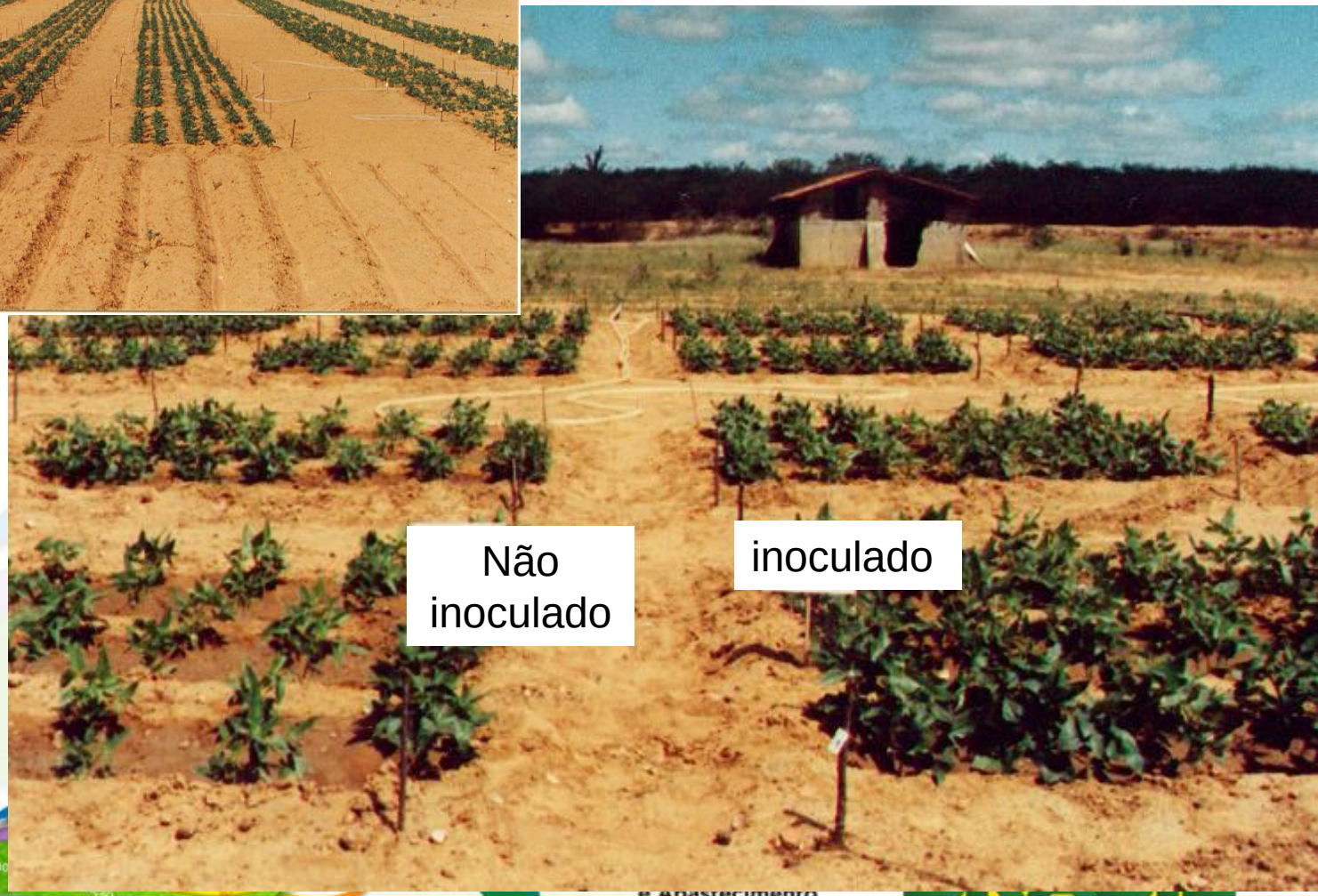
Estirpes recomendadas - MAPA

Resultados em feijão-caupi

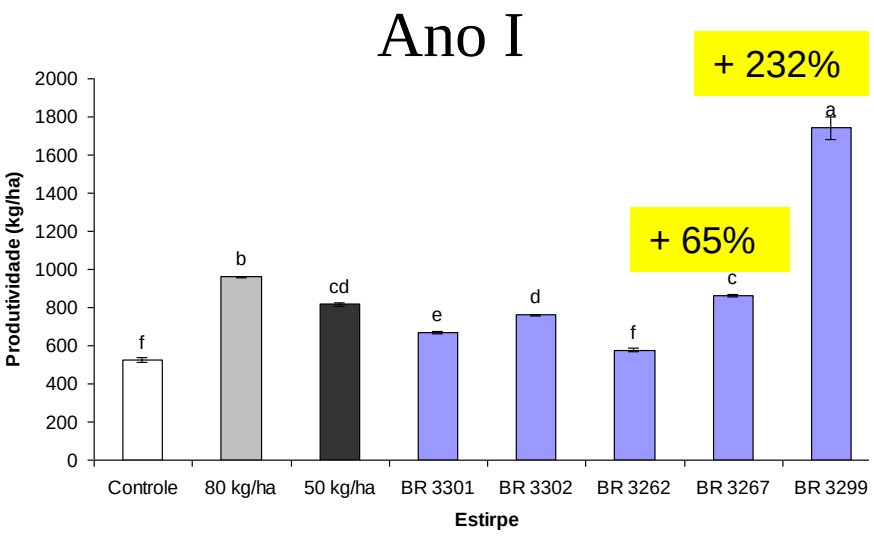
- Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*)

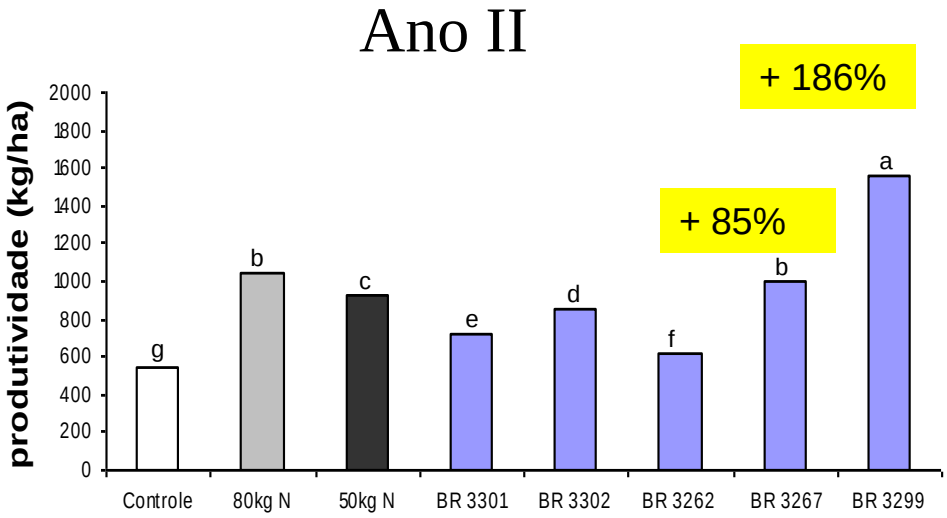
Nomes vulgares:

- Nordeste - feijão macáçar, feijão de corda;
- Norte - feijão-da-colônia, feijão-da-praia;
- Sul - feijão miúdo;
- Sudeste - feijão-catador, feijão fradinho, feijão mauá


Não inoculado
inoculado

Produtividade de feijão-caupi, cv. Canapú (Recife-PE).





Embrapa

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Agricultores - ano 2002

Agricultor	Área (m2)	Produtividade (kg/ha) inoculado	não inoculado	Diferença	Ganho
José Manoel de Sá	212	424,50	311,00	113,50	37%
José Vicente dos Santos	374	134	94	40	43%
Gelsino Simão dos Santos	1.620	167	142	25	18%
Reginaldo Benedito de Sá	4500	267	250	17	7%
Júlio Pedro dos Santos	(100 plantas)	2,5	1,7	0,8	47%

Agricultores - ano 2003

Agricultor	Área (m2)	Produtividade (kg/ha) inoculado	não inoculado	Diferença	**Ganho**
José Manoel de Sá	1500	773	507	266	**52%**
Júlio Pedro dos Santos	1500	373	267	106	**40%**
Manoel André	1500	800	600	200	**33%**

Novo Inoculante Feijão-caupi

Incremento na produtividade (288 %) em relação ao controle não inoculado

Plantio Direto de Feijão- Caupi inoculado, com correção da acidez. Município de Zé Doca-MA.

Plantio Direto de Feijão-Caupi Inoculado, com correção da acidez. Santa Luzia do Paruá-MA.

Parceria: Embrapa Meio-Norte, Embrapa Agrobiologia, Embrapa Amazônia Oriental, UEMA, AGERP Regional de Zé Doca, Prefeitura Municipal de Zé Doca e Santa Luzia do Paruá.

Embrapa

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

GOVERNO FEDERAL BRASIL PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Embrapa

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

Feijão-comum

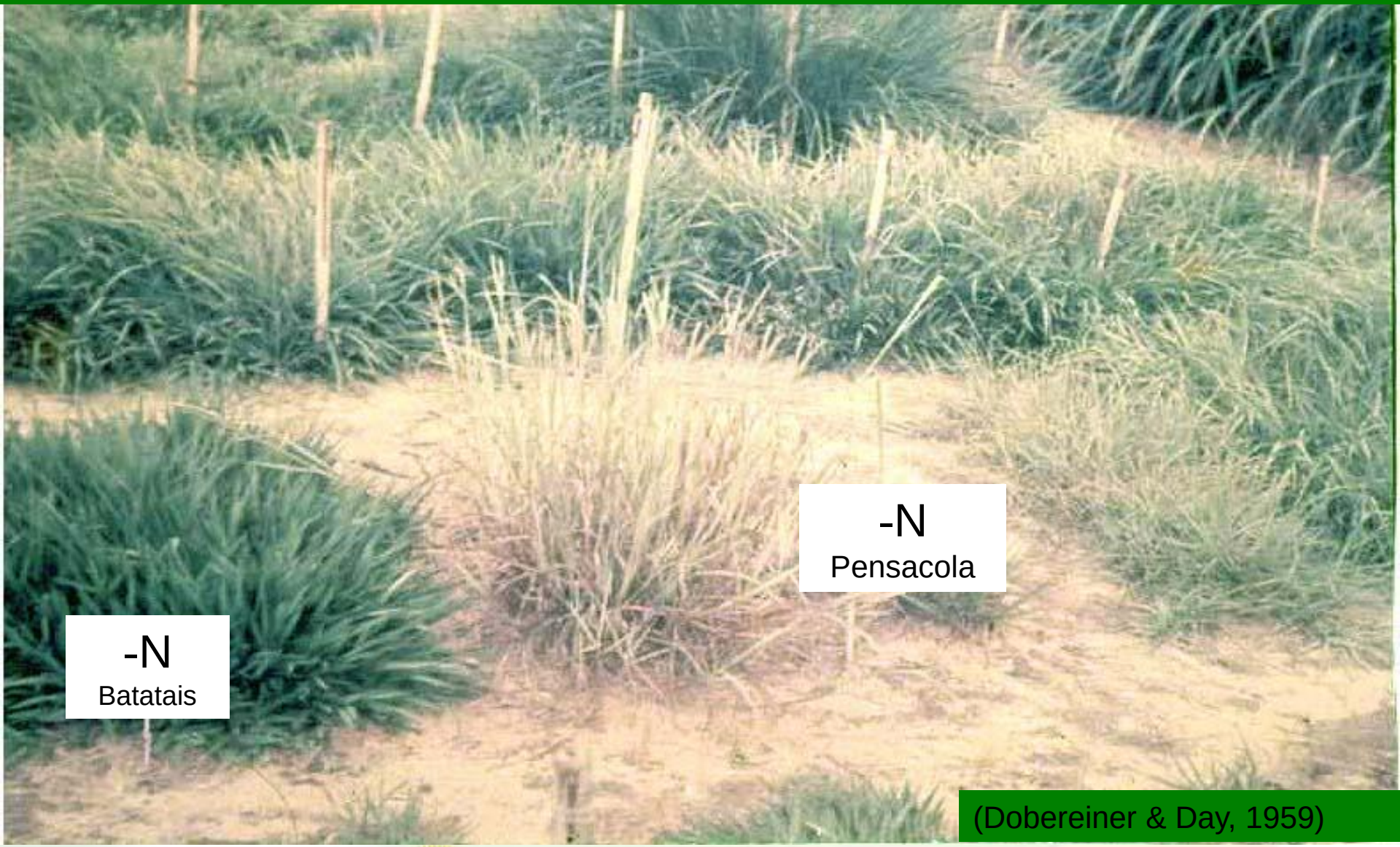
- Variabilidade de resposta à nodulação e a FBN:
  - suscetibilidade da espécie a estresses nutricionais e ambientais (Graham et al., 2003);
  - curta duração do estádio vegetativo (Chaverra & Graham, 1992);
  - sensibilidade da simbiose à presença de nitrato no solo (Leidi & Rodríguez-Navarro, 2000);
  - sensibilidade da simbiose à competição com rizóbios pouco efetivos existentes no solo (Hungria et al., 2003).

Adubos verdes

Grupos de rizóbios morfologicamentes específicos

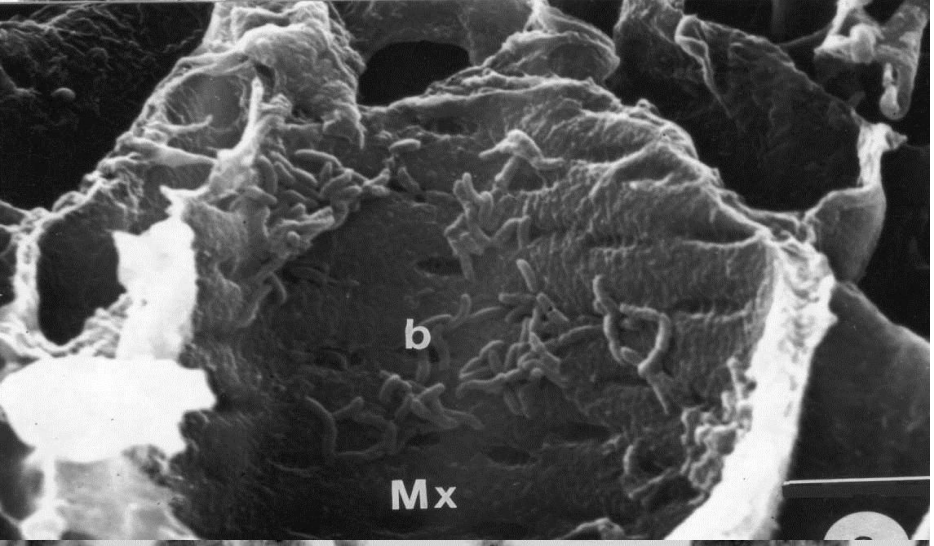
- futuros inoculantes

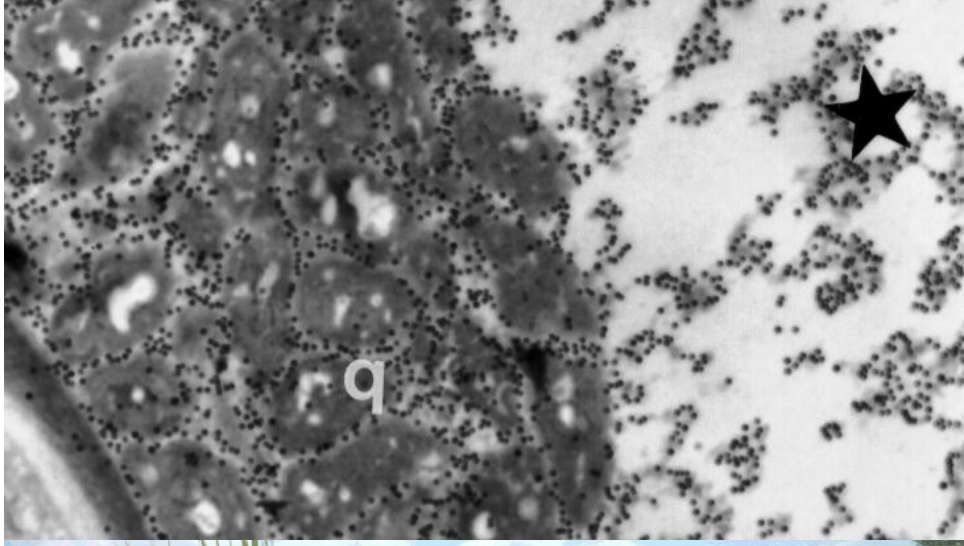
A FBN e a nutrição nitrogenada de gramíneas

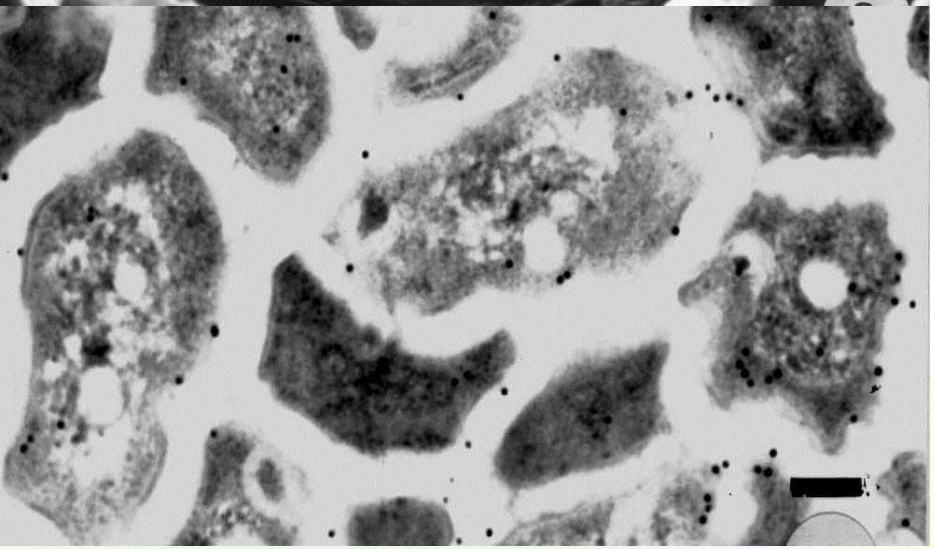


(Dobereiner & Day, 1959)

Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA





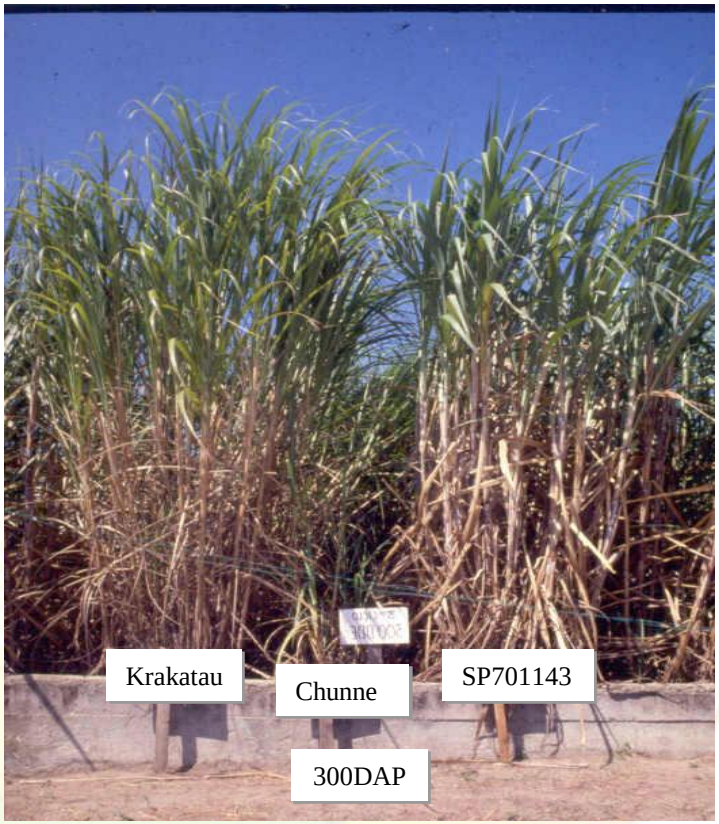


Presença de bactérias diazotróficas e funcionamento da nitrogenase em plantas de cana-de-açúcar. (James & Olivares, 1998; Urquiaga et al, 2005)

PESQUISA AGROPECUÁRIA • INOVAÇÃO • QUALIDADE DE VIDA
Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Cana de açúcar

Em variedades de cana eficientes para FBN este fenômeno pode contribuir com mais de 60% da demanda de Nitrogênio pela cultura



PESQUISA AGROPECUÁRIA • INOVAÇÃO • QUALIDADE DE VIDA
Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

PESQUISA AGROPECUÁRIA • INOVAÇÃO • QUALIDADE DE VIDA
Embrapa
Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Inoculante para cana de açúcar

5 pacotes contendo 1250 g de turfa + bactéria = [illegible]

1. Inoculação

Detalhe do processo de inoculação à sombra

PESQUISA AGROPECUÁRIA • INOVAÇÃO • QUALIDADE DE VIDA
Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Embrapa

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

ADUBAÇÃO VERDE EM CANA

Crotalaria spectabilis

crescendo em pre-plantio de cana-de-açúcar

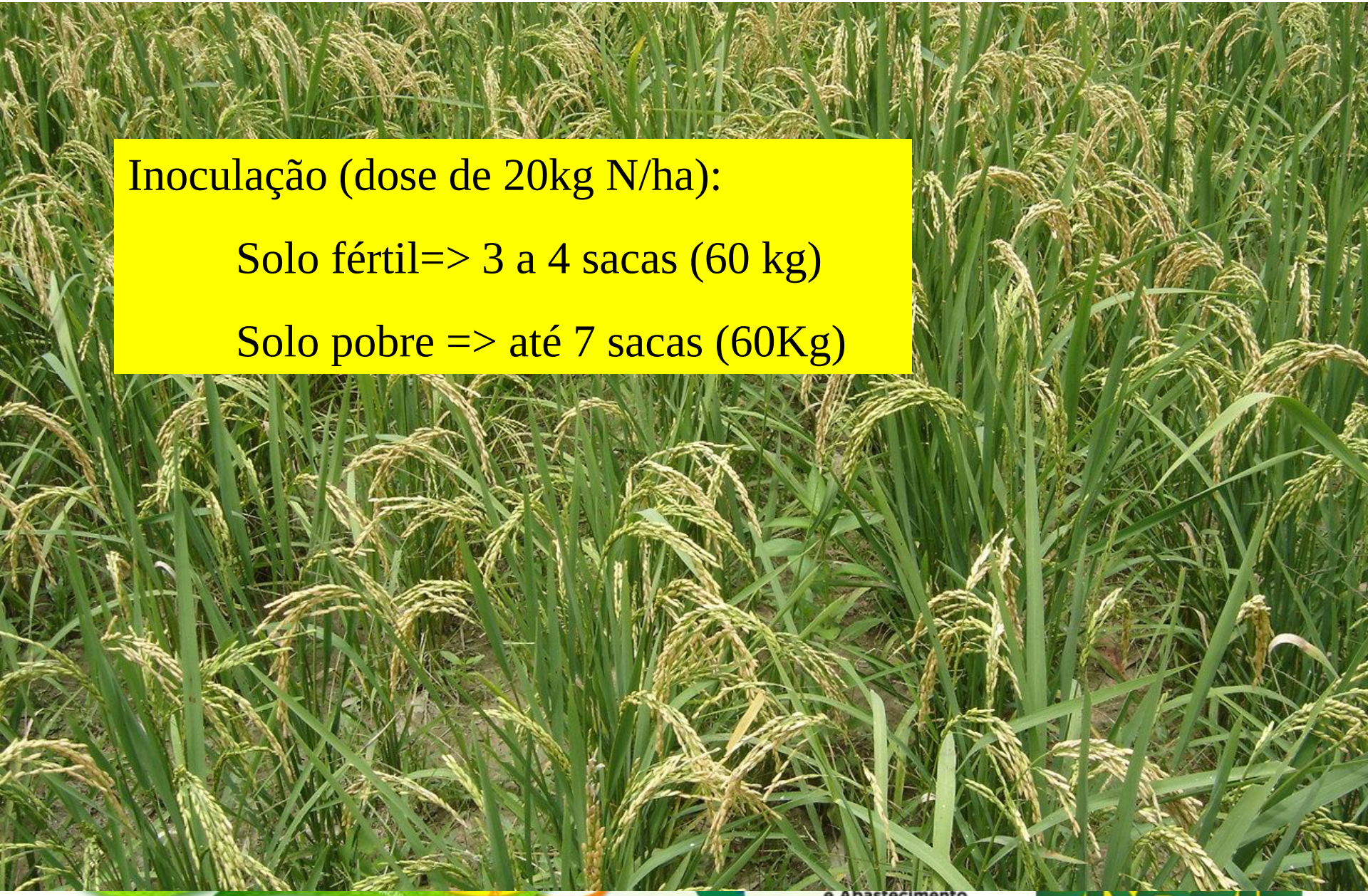
(Conteúdo de N total:

120 kg N/ha)

Maceió, Alagoas.

PESQUISA AGROPECUÁRIA • INOVAÇÃO • QUALIDADE DE VIDA
Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Arroz



Inoculação (dose de 20kg N/ha):

Solo fértil=> 3 a 4 sacas (60 kg)

Solo pobre => até 7 sacas (60Kg)

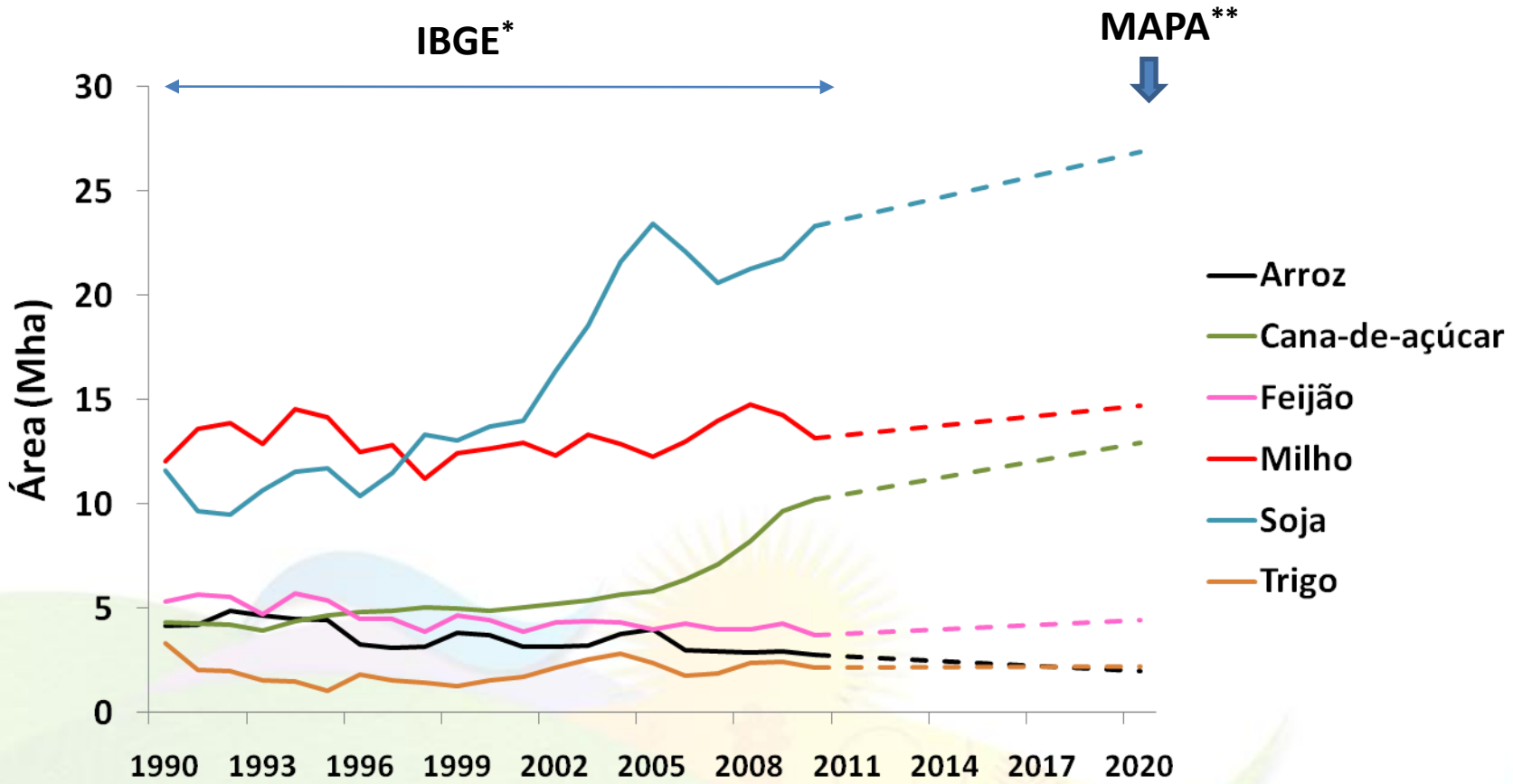
Milho

Aumento de produtividade com a inoculação => 50% dose de N (40kg N/ha)

Foto: Ivanildo Marriel - Embrapa Milho e Sorgo

Foto – Fabio Bueno – Embrapa Cerrados

Evolução da área plantada para as seis culturas anuais até 2010*, e expectativa para 2020**



* IBGE, Produção Agrícola Municipal/Previsão de Safra (Dezembro, 2010)

**MAPA, Projeções do Agronegócio 2009/10 a 2019/20 (Março, 2010)

Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Uso de fertilizante nitrogenado em 6 espécies agrícolas do País (~60% do N consumido) e redução potencial de fertilização pelo uso de Inoculante

Cultura	Dose de N em 2002[a] kg/ha	Total de N na área plantada em 2009 (mil t N)	Total de N na área plantada em 2020 (mil t N)	Redução de N fertilizante com uso de inoculante (%)
Soja	8	174,2	214,8	100
Cana-de-açúcar	55	532,2	711,7	40
Milho	40	570,9	589,2	40
Arroz	27	78,9	54,0	30
Trigo	12	29,3	26,6	50
Feijão	25[b]	106,6	110,5	50
Subtotal	--	**1.492,1**	**1.706,8**	--
Total no País	--	**2.535,1**	--	--

[a]FertiStat – FAO (http://www.fao.org/ag/agl/fertistat)
[b]Estimativa Segundo Urquiaga – Workshop FBN Embrapa
[c] ANDA – Anuário Estatístico

Embrapa

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

GOVERNO FEDERAL BRASIL PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Outras ações com a Fixação Biológica de Nitrogênio....

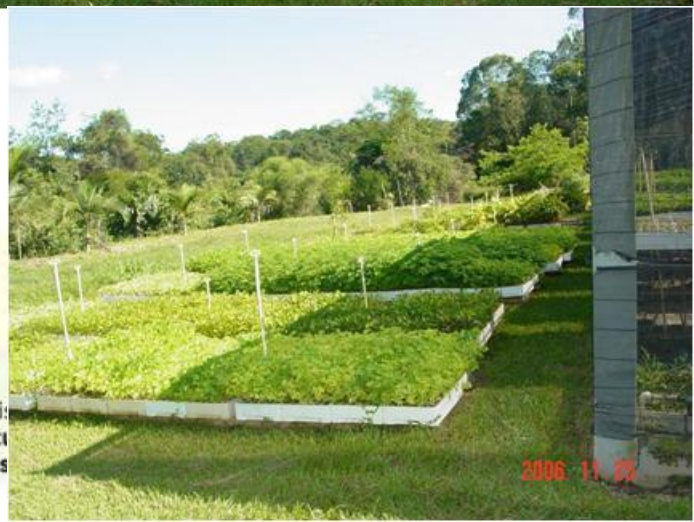
Práticas agrícolas equivocadas

Todas essas atividades causam algum nível de degradação...

Embrapa

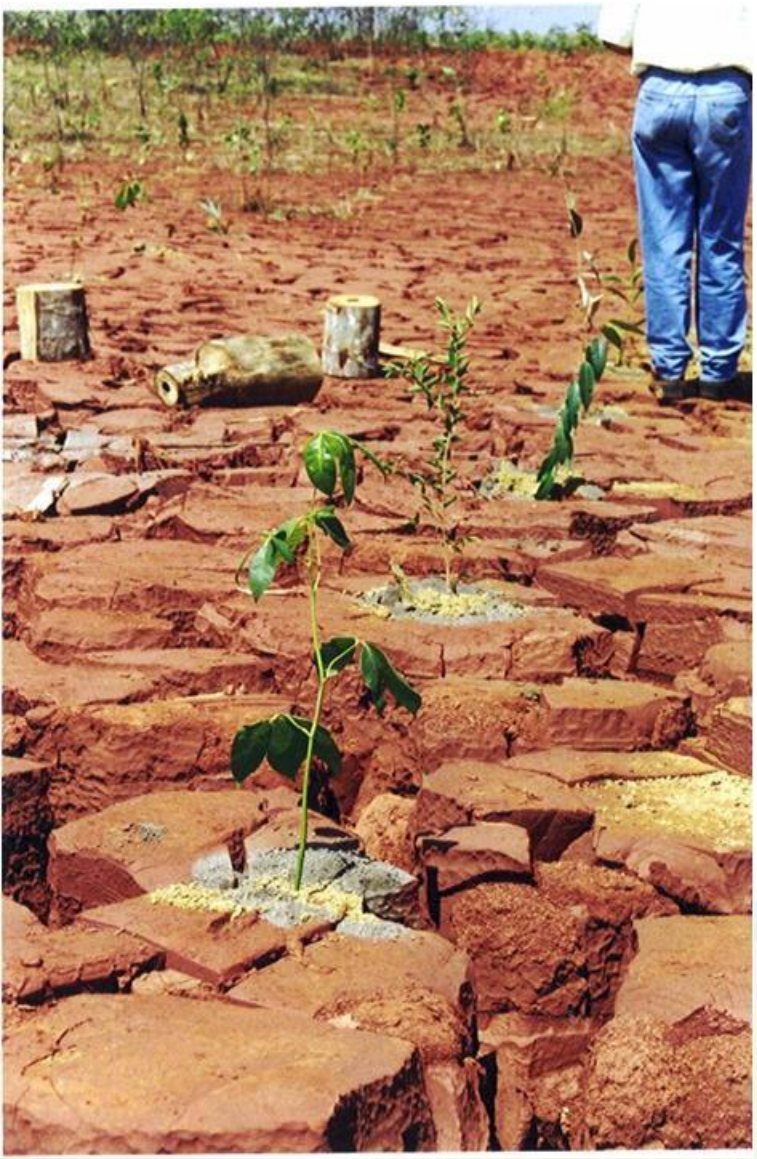
Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

Produção de mudas e plantio de leguminosas



Embrapa

Lavado de bauxita – P. Trombetas-PA



O objetivo é adicionar matéria orgânica ao solo e deixar que os processos de sucessão ecológica se estabelecem

PESQUISA AGROPECUÁRIA • INOVAÇÃO • QUALIDADE DE VIDA
Embrapa
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

Fonte: Resende, A. S.

Veículo de inoculação

Características ideais de um veículo Inoculante (Denardin, 1997):

- Ser de fácil obtenção;
- Características constantes;
- Fácil processamento e manuseio;
- Não exigir condições especiais de armazenamento;
- Assegurar a viabilidade de células;
- Ser atóxico.

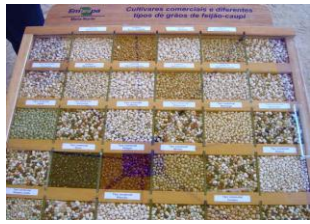
Prática de inoculação: plantio em até 24hs após a inoculação

Embrapa

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento

Principais Desafios para a adoção da FBN em larga escala

- Novos inoculantes
- Sinergismo com o melhoramento vegetal
  - plantas responsivas FBN
- Ações de Transferência
  - aumento da demanda



Vantagens da FBN

- Aumento da produtividade vegetal;
- Incremento da fertilidade e da matéria orgânica do solo;
- Economia no uso de fertilizantes nitrogenados industrializados

contribuição com sustentabilidade dos sistemas agrícolas

Muito Obrigado!!!

E-mail:gustavo@cnpab.embrapa.br
Tel. (21) 3441-1609