

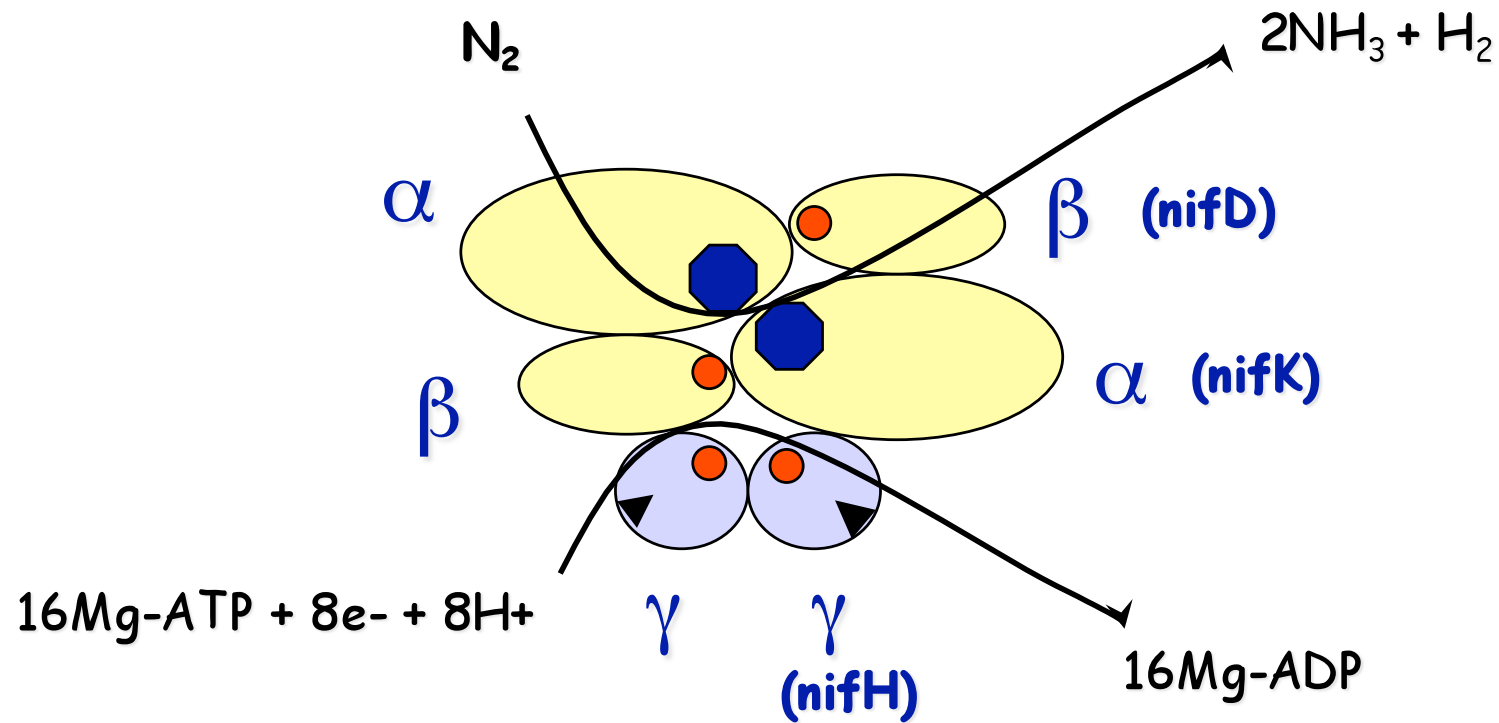
Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN)

Fixação Biológica do Nitrogênio



Consumo ~ 12 g C para cada 1 g de N₂ fixado

Modelo da Reação do Complexo Nitrogenase



- FeMoCo
- FeP Cluster
- ▲ Sítio ligação ATP

Mecanismos de Proteção da Nase contra O_2

- Produção de polissacarídeos extracelulares. Ex: Derxia
- Aumento da taxa de respiração. Ex: Azotobacter
- Desenvolvimento preferencial em sítios microaeróbios. Ex: Azospirillum
- Localização da atividade fixadora no centro de colônias (ex: algumas cianobactérias) ou em células especializadas (ex: heterocistos de Anabaena, Nostoc)
- Indução da síntese de leghemoglobina em simbioses. Ex. nódulos de leguminosas

Simbiontes



Nódulos em raízes de soja

Fatores que afetam a FBN

Temperatura

- ótimo entre 25 e 32°C
- uso de cobertura-morta minimiza efeitos negativos de altas temperaturas na camada superficial.

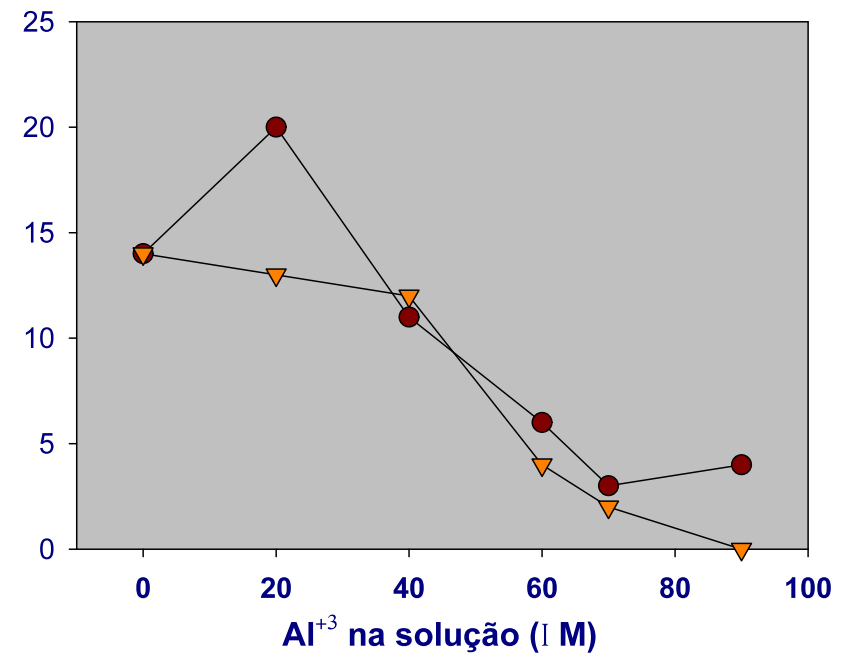
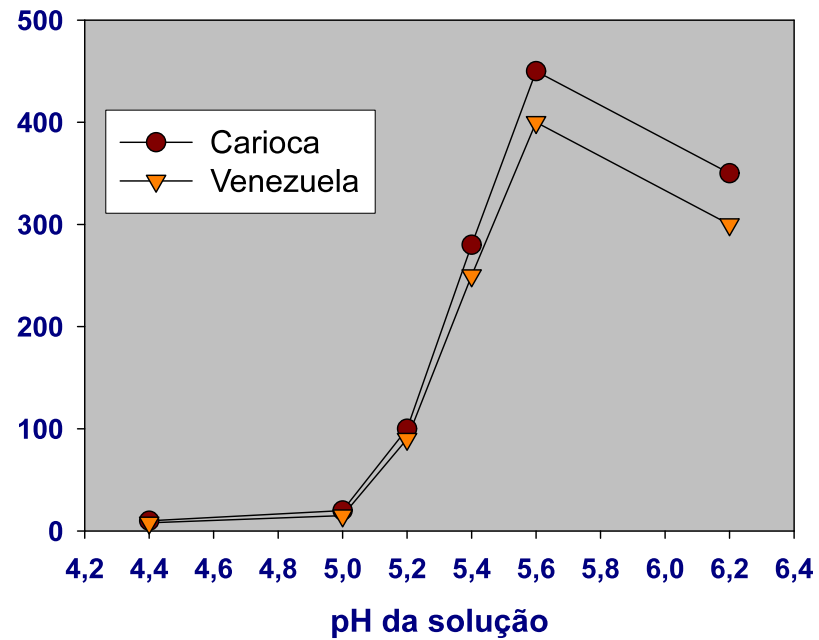
Umidade e Aeração

Pesticidas e Antibióticos

Fertilidade do solo

- **acidez**: ótimo entre pH 3,5 e 5,5
- **alumínio**: excesso de Al inibe nodulação
- **cálcio**: baixa concentração de Ca afeta o desenvolvimento de nódulos
- **fosfato**: requer altos níveis de P
- **molibdênio**: elemento constituinte da nitrogenase
- **ferro e magnésio**: importantes para o funcionamento da nitrogenase
- **nitrogênio**: excesso inibe desenvolvimento de nódulos e a atividade da nitrogenase

Efeito do pH e Al^{+3} na nodulação



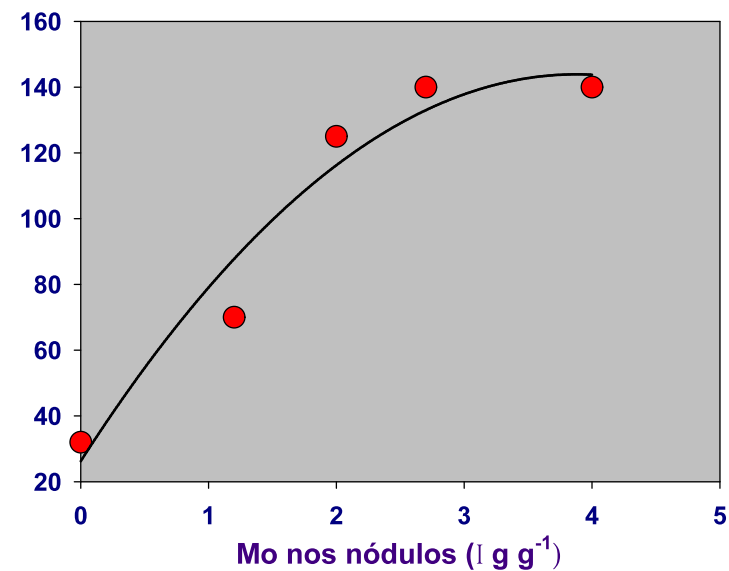
Franco & Munns, 1982

Efeito do Mo na produção de feijão e FBN

Produção de grãos em kg por ha

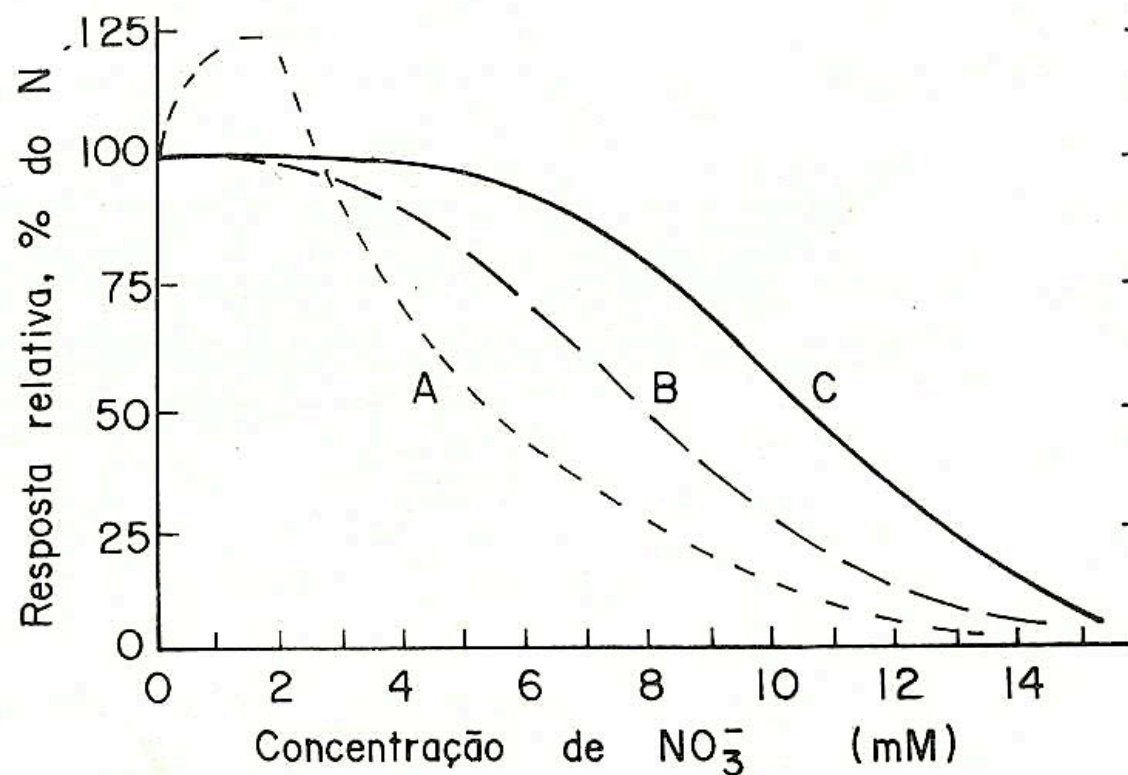
Calagem (t/ha)	pH do solo	Mo adicionado ao solo (kg/ ha)			
		0	0,25	0,50	2,00
0	4,9	0	71	124	56
1	5,3	85	448	494	376
2	5,6	246	657	653	623
4	6,4	807	864	913	885

Franco & Day, 1980



Jacob-Neto & Franco, 1988

Relação entre NO_3^- e o crescimento (A), atividade da nitrogenase (B) e iniciação dos nódulos (C)



Citado por Siqueira e Franco, 1988

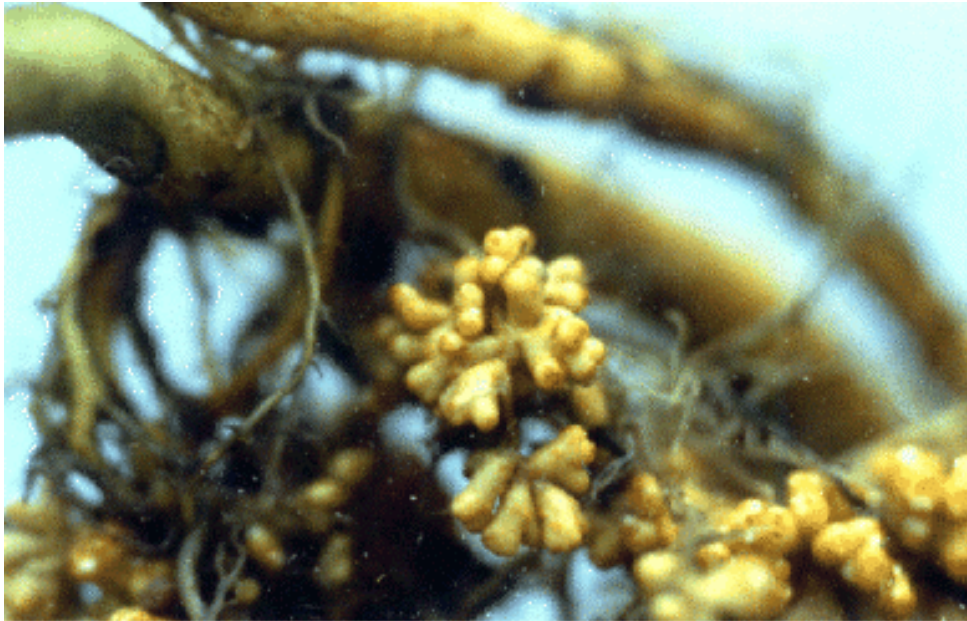
Outros sistemas
fixadores de N

Exemplos of Bactérias Fixadoras de Nitrogênio

Vida-livre		Simbiontes/Associativos	
Aeróbias	Anaeróbias	Leguminosas	Outras plantas
<i>Azotobacter</i> <i>Beijerinckia</i> <i>Klebsiella</i> (algumas) Cianobactérias (algumas)*	<i>Clostridium</i> (alguns) <i>Desulfovibrio</i> Bactérias púrpuras sulfurosas* Bactérias púrpuras não-sulfurosas* Bactérias verdes sulfurosas*	<i>Rhizobium</i> <i>Bradyrhizobium</i>	<i>Frankia</i> <i>Azospirillum</i> <i>Gluconacetobacter</i>

***bactérias fotossintéticas**

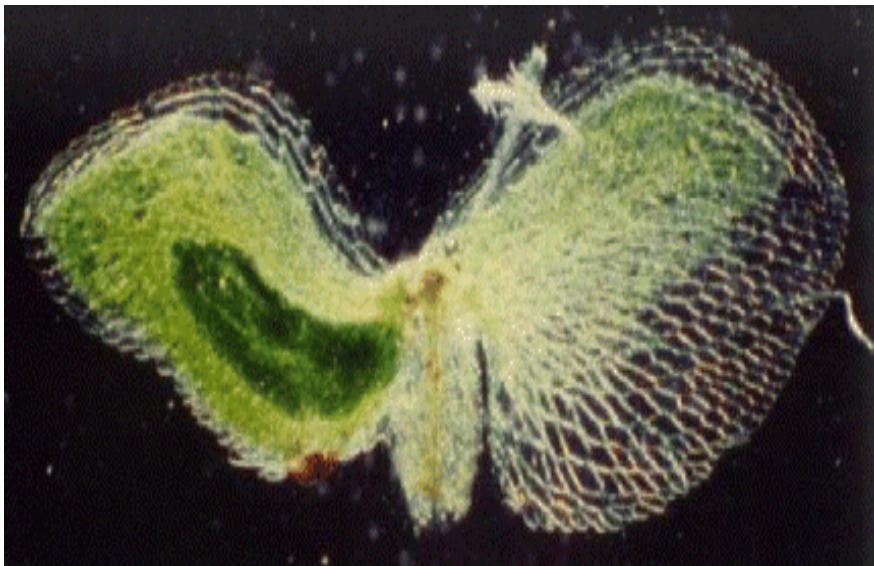
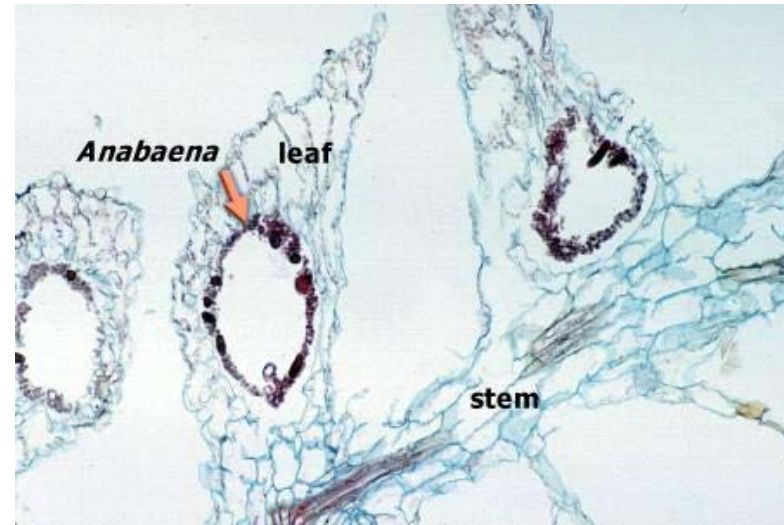
Actinorrizas



(Alnus-Frankia)

- Importantes em árvores (Casuarina e Alnus)
- Podem fixar entre 40 e 300 kg N ha⁻¹ ano⁻¹

Simbiose Azolla-Anabaena





Incorporação de Azolla

Efeito da Azolla na produção de arroz

Tratamento	Produção de grãos (t ha ⁻¹)	
	1979	1980
Sem N	2,6 (100)	3,2 (100)
30 Kg N ha ⁻¹ - uréia	3,2 (122)	3,8 (123)
60 Kg N ha ⁻¹ - uréia	3,7 (141)	4,2 (139)
Azolla antes do plantio	3,2 (122)	4,0 (123)
Azolla depois do plantio (incorporada)	3,1 (118)	3,9 (123)
Azolla depois do plantio (não-incorporada)	3,1 (118)	4,0 (123)
30 Kg N ha ⁻¹ + Azolla antes do plantio	3,7 (143)	4,4 (140)
30 Kg N ha ⁻¹ + Azolla depois do plantio	3,5 (134)	4,4 (140)
Azolla antes e depois do plantio	3,6 (139)	4,2 (137)

Fatores limitantes à simbiose Azolla-Anabaena

- Umidade: ótima entre 85-90%; crítica abaixo de 60%
- Luminosidade e temperatura: variam com a origem da espécie (clima tropical ou temperado)
- Salinidade: a planta é sensível a alta salinidade
- Nutrientes: depende de P e Mo; N tem pouca influência
- pH: ótimo entre 4,5 e 7,0
- Turbulência da água: azolas tem seu crescimento estimulado em águas paradas
- Fungos e insetos: atacam a planta nas estações quentes e úmidas

Azolla-Anabaena como biofertilizante

- Crescimento rápido (biomassa pode dobrar a cada 5-7 dias) e alto teor de N (4-5%)
- Ensaios realizados pela EMBRAPA na Amazônia ocidental mostraram que 1 ha de Azolla pode produzir 9 t de proteína bruta por ano (equivalente a 50 ha de pastagens)
- São recomendados 4 a 6 cultivos de Azolla seguidos de drenagem e incorporação da biomassa (2 a 5 t por ha)
- Em sistemas consorciados, é utilizado um inóculo de 0,02 a 0,75 kg de Azolla por m²
- Na China, o plantio de arroz consorciado com Azolla resulta em aproximadamente 100 mil t de fertilizante nitrogenado por ano, com valor de US\$ 50 milhões.

Diazotróficos associativos na rizosfera

Diazotrófico	Espécie Vegetal
Azotobacter paspali	Paspalum notatum
Azospirillum brasilense/ Azospirillum lipoferum	Milho, arroz, sorgo, trigo, cevada
Azospirillum amazonense	Panicum boliviense, Paspalum repens, Sorghum arudinaceum, Brachiaria humidicola, Brachiaria brizantha
Beijerinckia spp.	Cana-de-açúcar, braquiária
Burkholderia brasiliensis	Arroz, mandioca, batata-doce e cana- de-açúcar

Aumento da produção vegetal em resposta à inoculação com *Azospirillum*

Espécie Vegetal	Bactéria	Variação de crescimento* (%)
Pennisetum americanum	A. lipoferum	0-29
	A. brasiliense	-3-32
Panicum maximum	A. lipoferum	0-16
Zea mays	A. brasiliense	0-37
	A. lipoferum	0-154
Oryza sativa	A. lipoferum	-32-99
Sorghum bicolor	A. brasiliense/A. lipoferum	0-370

*Em relação ao tratamento não-inoculado

N fixado em gramíneas ~ 25-50 kg N ha⁻¹ ano⁻¹ (aproximadamente 17% das necessidades das culturas)

Associação *Gluconacetobacter diazotrophicus*-cana de açúcar

- *G. diazotrophicus* é uma bactéria endofítica isolada do colmo de cana-de-açúcar
- É uma bactéria acidófila (cresce em meio com pH 3) e tolerante a altas concentrações de açúcar
- Cana-de-açúcar pode obter até 60% de sua necessidade de N da FBN (aproximadamente 164 kg N fixado ha⁻¹ ano⁻¹). Outras bactérias endófitas ocorrem em cana, tais como *Herbaspirillum seropedicae*.
- Transferência via toletes

FBN em cana-de-açúcar

Variedade de cana	N na planta (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	FBN* (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)
CB 45-3	281	175
SP 70-1143	258	173
NA 56-79	129	109
Krakatau	342	239
Chunee	110	56

*Estimado por diluição de ¹⁵N

FBN em milho



Stimulate é um produto a base de ácido giberélico e ácido indol-3-butírico