



FUNDAÇÃO
MOKITI OKADA - M.O.A.
Centro de Pesquisa
Mokiti Okada - CPMO

MODELO DE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL SUPRIMINDO A NECESSIDADE DE ADUBAÇÕES NITROGENADAS

PROF. DR. HASIME TOKESHI, PHD.¹

Trabalho apresentado e publicado nos Anais do 13º Congresso Brasileiro de Direito Ambiental, junho de 2008, Instituto “O Direito por um Planeta Verde”, São Paulo, SP.

Resumo

Embora o ar possua 78 % do nitrogênio ele é inútil para as plantas porque elas usam apenas o nitrogênio amoniacal ou nítrico que representam menos de 1 % deste total. A forma útil para as plantas é fixada e mantida constante nos solos por bactérias diazotróficas que trabalham isoladamente ou em simbiose com as plantas. A eficiência da fixação biológica do nitrogênio (FBN) é que permite a produção sustentável de cana-de-açúcar, arroz e outros alimentos. O total de nitrogênio da FBN atinge 140 bilhões/t / ano no globo terrestre mais que o dobro sintetizado pelo homem. O uso prático da FBN e da vida do solo já foi demonstrado no Sistema de Arroz Intensificado (SAI) e cana orgânica, em que o nitrogênio sintético foi totalmente eliminado com aumento de produtividade superior a 300 %. Nestes sistemas a produtividade atinge o máximo com a total eliminação de pesticidas, herbicidas, adubo químico e do manejo convencional. Isto ocorre porque o sistema sustentável preserva a vida e tira vantagens da simbiose existente no ambiente e torna disponíveis os nutrientes diretamente do solo para as plantas. Fica comprovado que a agricultura sustentável reduz o uso de nitrogênio sintético que consome petróleo, polui o ambiente e torna as plantas suscetíveis a pragas e doenças.

1. Introdução

A previsão do crescimento populacional de 5,7 bilhões em 1995 para 8,3 bilhões em 2025 é no mínimo, assustador e alarmante. É urgente pensar em aumentar a produção agrícola sem danificar o meio ambiente, sem o uso de energia não renovável para produção de nitrogênio sintético e contaminação ambiental com nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) e amônia (NH_3) que crescem em proporções preocupantes.

A fonte de energia para a síntese do nitrogênio químico depende direta ou indiretamente do petróleo, que todos sabemos ser finito levando fatalmente a um aumento do custo deste fertilizante, além de outros problemas.

¹ Consultor Científico da Fundação Mokiti Okada – M.O.A. – Centro de Pesquisa



FUNDAÇÃO
MOKITI OKADA - M.O.A.
Centro de Pesquisa
Mokiti Okada - CPMO

A síntese de amônia (NH_3) a partir do gás nitrogênio (N_2), no entanto, poderia ser solucionada com a mudança de atitude empresarial agrícola, industrial e governamental adotando a agricultura sustentável. Neste sistema é possível reduzir ou eliminar o uso de pesticidas e fertilizantes altamente solúveis recomendados pela agricultura de precisão, neste caso a biodiversidade e manejo com a preservação da vida do solo fazem esta função.

O nível de nitrogênio disponível no solo é constante porque a natureza o repõe usando a biodiversidade. Quando o homem coloca o nitrogênio químico sintético está bloqueando a fixação biológica do nitrogênio, pois os microrganismos preferem usar o sintético em vez de fixar o gás do ar interferindo no trabalho eficiente e constante da mãe natureza. Toda essa consideração vem mostrar que a adoção do sistema sustentável significaria uma enorme economia do petróleo, pois a natureza já possui a solução para os problemas criados pelo homem.

2. Produção de Amônia a Partir do Nitrogênio do Ar

O gás nitrogênio representa 78% do ar, no entanto, o nitrogênio disponível para as plantas como nitrato (NO_3), amônia (NH_3), nitrito (NO_2) e orgânico não passa de 1 a 2%. O nitrogênio praticamente não pára no solo, sendo reciclado continuamente. Devido a este fato, a indústria química fixa o nitrogênio gasoso na forma de amônia e para isso, a indústria usa gás natural para obter hidrogênio e alimentar a síntese de amônia pelo processo Haber Bosch em reatores. Nestes reatores, as condições de trabalho sob pressão de 35 a 100 Mpa (mega pascal) e temperatura de 300 a 400°C, o consumo de petróleo é de 1,5 tonelada para cada 1,0 tonelada de amônia produzida.²

Para a produção anual de 77 mil toneladas de amônia é usado o equivalente a 100 milhões de toneladas de petróleo. Segundo a revolução verde, são estes fertilizantes sintéticos os responsáveis pela alta produção dos cereais. Além do alto consumo de petróleo, o sistema gera: contaminação de água e alimentos por nitrato, nitrito e plantas tóxicas pelo elevado teor de nitrito, excesso de nitrogênio na planta e aumento de pragas e doenças, reduzindo a qualidade biológica do produto final.

A emissão de gás carbônico (CO_2), amônia, nitrito e metano contribui para o aquecimento global.³ Como o gás é petróleo que deverá acabar em 50 anos os custos de fertilizantes químicos aumentarão consideravelmente.

O aumento de consumo constante de amoniaco, que em 1960 era de 9,6 bilhões/t/ano em 1995 passou para 77 bilhões/t/ano, equivalendo a um aumento de 800%, Bøckman (1997).

2 BØCKMAN, O. C. 1997. Fertilizers and biological nitrogen fixation as sources of plant nutrients. Perspectives for future agriculture. Plant and Soil 194: 11-14.

3 DÖBEREINER, J. 1995 Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic contributions. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE AGRICULTURE FOR THE TROPICS – THE ROLE OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION, Angra dos Reis, 1995. Abstracts... Angra dos Reis: The National Centre for Agrobiolgy Research (Embrapa-CNPAB), p.3-4.



A maioria deste nitrogênio sintético na forma de amônia, quando usado na agricultura convencional, apresenta baixa eficiência de utilização pelas plantas. De acordo com a Tabela 1, as perdas por volatilização podem chegar a 70% e são maiores no arroz irrigado e na cana-de-açúcar.

Tabela 1. Perda de uréia e amônia na agricultura convencional

Fatores	Volatilização	Autores
Arroz Irrigado	46 a 54%	De Datta <i>et al.</i> (1991)
Cana-de-açúcar	50 a 70%	Vários Autores
Média	15 a 20%	ECETOC (1994)

3. Nitrogênio na Natureza

De acordo com o exposto anteriormente, 78% do ar é composto de gás nitrogênio (N₂) e no solo representa 1 a 2% deste total.

O nitrogênio disponível para as plantas na forma de amônia e nitrato está em baixas concentrações nos solos tropicais e varia de 20 a 200kg/N/ha. Esta baixa concentração, no entanto, é mantida constante pela vida do solo.⁴

Dentre os seres vivos somente as bactérias são capazes de fazer a fixação biológica do nitrogênio (FBN). Estes organismos, sem núcleo definido, conseguem converter (reduzir) enzimaticamente o nitrogênio da atmosfera em amônia, que, em seguida, é incorporado nas células. As bactérias deste grupo são chamadas de diazotróficas e o mecanismo responsável pela incorporação do nitrogênio na célula da bactéria é chamado de fixação biológica de nitrogênio (FBN).⁵

Durante a conquista da terra pelos seres vivos houve evolução e o nitrogênio atmosférico foi incorporado à matéria viva. E é este sistema que evoluiu com as bactérias verdes azuladas (cianobactérias) que até hoje repõem e mantêm constante o nitrogênio no solo pela FBN e pela contínua reciclagem da vida do solo pela decomposição da matéria orgânica.

Em escala global, as estimativas da FBN anual feita pelos microrganismos são variáveis segundo os pesquisadores como mostra a Tabela 2.

4 PAUL & CLARK. 1989 Soil Microbiology. Academic Press. San Diego 275p.

5 KIRCHHOF, G; V. M. REIS; J. I. BALDANI; B. ECKER; J. DÖBEREINER AND A. HARTMANN 1997 Occurrence, physiological and molecular analysis of endophytic diazotrophic bacteria in gramineaceous energy plants. Plant and Soil 194:45-55.

Tabela 2. Estimativa Anual da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) Feita Pelos Microrganismos Diazotróficos

Fixação Biológica de Nitrogênio	Autores
44 a 200 10^{12} /t/ano	Søderlund and Rosswall (1982)
200 a 400 kg/ha/ano	Paul & Clark (1989)
139 a 170 10^6 t/ha/ano	Peoples & Ckaswell (1992)
Média	$140 \times 10^{12} = 140$ BILHÕES/TONELADA/ANO Bøckman (1997)

Na síntese biológica da amônia a energia usada é a fotossíntese, portanto, uma energia renovável. Usando os produtos da fotossíntese, as cianobactérias e suas descendentes atuando no solo, na água e nas plantas em condições variadas apresentam a eficiência mostrada na Tabela 3. Verificamos, portanto, que na natureza a FBN é a responsável pela manutenção do nível constante de nitrogênio útil para as plantas.

Tabela 3. Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN) pelas Bactérias Diazotróficas

Fatores	Sistemas
Sistema usado	Enzimático
Temperatura	Ambiente
Pressão	Ambiente
Pressão de oxigênio	Baixa
Microrganismos	Cianobactérias Diazotróficas Rhizobium Frankia
Eficiência de síntese	6:1
Carbohidrato	6 toneladas
Amônia fixada	1 tonelada
Total fixado	140 Bilhões/t/ano

Fonte: Shantharan and Matto (1997)

4. Onde e Como Trabalham as Bactérias Fixadoras de Nitrogênio

4.1 Quais são as Bactérias Fixadoras de Nitrogênio

Durante a evolução da vida na terra houve um período onde o nitrogênio amoniacal e orgânico estava se esgotando no ecossistema. Nesta ocasião, surgiram as bactérias verdes azuladas que superaram as demais na eficiência de fazer fotossíntese e FBN. Estas bactérias chamadas fotossintéticas foram as responsáveis pela poluição da atmosfera terrestre com o gás oxigênio tóxico para as bactérias anaeróbicas que fazem fotossíntese. Estas cianobactérias



primitivas evoluíram e ocuparam diferentes ambientes e formas de vida e aperfeiçoaram a FBN.⁶

A forma de vida das bactérias diazotróficas fixadoras de nitrogênio pode ser:

a) Vida livre onde o nitrogênio fixado é para consumo próprio, por exemplo: *Clostridium* sp, *Fischerella* sp, *Rhodospirillum rubrum*.

b) Associativas sem formação de nódulos estão em simbiose com as plantas que as hospedam e fornecem açúcares para estas fixarem nitrogênio, por exemplo: *Acetobacter diazotrophicus*, *Herbaspirillum* spp, *Azoarcus* spp.

c) Simbióticas com a formação de nódulos em plantas. Nestas, a simbiose é mais complexa e envolve uma co-evolução mais restrita entre a planta e a bactéria. Na família Rhizobiaceae temos os gêneros: *Azorhizobium* spp, *Bradyrhizobium* sp, *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium* e *Allorhizobium*.⁷

Entre os Actinomicetos a espécie *Frankia* forma nódulos em raízes de Casuarina e *Alnus* e outras 200 espécies de plantas.

Para as gramíneas tropicais, como o arroz e a cana-de-açúcar assumem papel preponderante as bactérias vivendo dentro dos vasos do xilema (vasos da seiva bruta) e neste caso todo o nitrogênio fixado é compartilhado com a planta associada. Na Tabela 4 são apresentadas as principais bactérias do xilema ou de outras partes da planta que igualmente fixam nitrogênio em gramíneas tropicais.⁴ Além das gramíneas tropicais, estas bactérias fazem a FBN em outras plantas sendo as principais apresentadas na Tabela 5. Observa-se a grande frequência nas plantas multiplicadas por estacas (vegetativas) como a mandioca, batata-doce e banana.

Tabela 4. Bactérias Fixadoras Biológicas de Nitrogênio (FBN) nos Vasos do Xilema de Várias Gramíneas Tropicais

Bactérias (FBN)	Autores
<i>Acetobacter diazotrophicus</i>	Cavalcante & Döbereiner (1988)
<i>Azoarcus communis</i>	Reinhold-Hurek et al (1993)
<i>Herbaspirillum rubrisalbicans</i>	Baldam <i>et al.</i> (1996)
<i>Burkholderia</i> spp	Baldam <i>et al.</i> (1997)
<i>Alcaligenes faecalis</i>	You & Zhou (1989)

Fonte: Kirchhof *et al.* (1997)

6 EVANS, H.J.; BURRIS, R.H. 1992 Highlights in Biological Nitrogen Fixation during the last 50 years. In: STACEY, G.; BURRIS, R.H.; EVANS, H.J eds. Biological Nitrogen Fixation. New York: Chapman and Hall, p.1-42.

7 DeLAJUDIE, P.; WILLENS, A.; POT, B.; DEWETTINCK, D.; MAESTROJUAN, G.; NEYRA, M.; COLLINS, M.D.; DREYFUS, B.; KERSTERS, K.; GILLIS, M. 1994 Polyphasic taxonomy of rhizobia: Emendation of the genus *Sinorhizobium* and description of *Sinorhizobium* and description of *Sinorhizobium meliloti* com. nov., *Sinorhizobium saheli* sp. nov., and *Sinorhizobium teranga* sp. nov. International Journal Systematic of Bacteriology, Baltimore, 44:715-733.



Tabela 5. Plantas Hospedeiras de Bactérias Fixadoras de Nitrogênio (FBN) Isoladas dos Vasos do Xilema

Nome vulgar	Científico
Cana-de-açúcar	<i>Saccharum spp</i>
Sorgo	<i>Sorghum spp</i>
Gramma forquilha	<i>Paspalum notatum</i>
Capim cameroon	<i>Pennisetum purpureum</i>
Capim colônia	<i>Panicum maximum</i>
Braquiária	<i>Brachiaria spp</i>
Mandioca	<i>Manihot esculenta</i>
Dendê	<i>Elaeis guineensis</i>
Batata-doce	<i>Ipomea batatas</i>
Banana	<i>Musa spp</i>

Fonte: Döbereiner *et al.* (1995), Elkan (1992)

5. Produções Comerciais de Cana-de-açúcar e Arroz sem Adubação Nitrogenada

5.1 Princípios Agronômicos

A revolução verde tinha por meta acabar com a fome no mundo aumentando a produção de cereais com o uso de variedades melhoradas ou híbridas, pesticidas e fertilizantes químicos. Inicialmente houve incremento da produtividade, porém as pragas se tornaram resistentes aos pesticidas e as doenças venceram a resistência das plantas. O solo sofreu degradação física, química e biológica fazendo com que a vida do solo fosse seriamente destruída afetando a sua função benéfica. As novas variedades tornaram-se dependentes dos fertilizantes químicos e pesticidas aumentando cada vez mais a demanda destes produtos causando poluição ambiental e degradação do ecossistema. Neste contexto o sistema de produção de cana-de-açúcar orgânica e do Sistema de Arroz Intensificado (SAI) provoca a quebra de paradigma (modelo) e mostra o caminho de um cultivo sustentável e ecologicamente correto.

Tendo por base o trabalho de Van Dillewijn, C. (1951), Azevedo *et al.* (1986), Döbereiner (1987), Tokeshi (1988) e (1991), Randriamiharisoa *et al.* (2006) foi possível estabelecer uma comparação entre a cana de açúcar, o arroz irrigado convencional e o Sistema do Arroz Intensificado (SAI). O sistema SAI foi idealizado a mais de 20 anos em Madagascar, por Henri de Laulanivié. Nele a produtividade do arroz, irrigado, sofreu aumento de 50 a 300 %, sem adição de produtos adquiridos ou troca de variedade. A alta produtividade alcançada com a aplicação do SAI em toda e qualquer variedade de arroz apresenta ainda a vantagem de menor uso de água e pouco ou nenhum fertilizante mineral. Devido às mudanças produzidas nas plantas elas se tornam mais resistentes às pragas, doenças, tombamento e raramente requerem proteção química. Os mecanismos responsáveis por estas vantagens são bastante conhecidos na cana-de-açúcar e no SAI é caracterizado pelas vigorosas raízes e perfilhamento (brotação de gemas no solo). O vigor e a sanidade das raízes estão associados ao manejo de

irrigação e aumento da vida do solo que geram maior produção de hormônios vegetais para a planta. No lugar de usar novas variedades híbridas, aplicar fertilizantes e pesticidas basta o produtor mudar o manejo tradicional da planta, solo, água e nutrientes pelo SAI. O sistema muda o ambiente e a interação dos genes com o ambiente e cria um ecossistema mais favorável ao crescimento da cana-de-açúcar e do arroz, favorecendo o perfilhamento e raízes resultando no aumento de produtividade no arroz de 2 t/ha⁻¹ para 8 a 16 t/ha⁻¹.⁸

5.2 Indução de Mudanças no Crescimento da Planta

O SAI está em uso em 22 países incluindo China, Filipinas, Peru, Cuba e Madagascar. Em todos estes países causou aumento de produtividade da terra, mão-de-obra, capital, água, maior precocidade da planta e redução de custo de produção. Isto tem aumentado a sustentabilidade da produção do arroz principalmente para a agricultura familiar. Em Madagascar estão obtendo médias de 8 t/ha⁻¹ por três ou mais anos consecutivos em solos onde anteriormente obtinham 2 t/ha⁻¹. Uns poucos produtores na mesma região estão obtendo produtividades de 12 a 16 t/ha⁻¹ com o SAI, nível este considerado acima do potencial biológico máximo do arroz. Em muitos casos, o solo era avaliado pelo Departamento de Solo da Universidade da Carolina do Norte, EUA, como os mais pobres da África. Eles apresentam limitações físico-químicas com pH 3,8 a 5,0 com ferro e manganês tóxico e baixa capacidade de troca iônica (CTC) em todos os horizontes e material de origem. Pelas análises conclui-se que com base nas rochas de origem e fertilidade eles somente produziram com pesadas adubações químicas. Os produtores obtiveram ótimos resultados nestes solos, sem adição de adubos e corretivos usando o SAI. E este foi o motivo do início das pesquisas do método em Madagascar e em outros países. Estas pesquisas estão ocorrendo mais em organizações não governamentais porque é necessária uma visão holística do pesquisador para entendê-lo.

Na tabela 6 são apresentadas as vantagens do SAI em que chamam mais atenção o tamanho das raízes e o perfilhamento. Os testes de avaliação da resistência das raízes ao arrancamento mostraram que o arroz comum requer 22 kg/planta no emborrachamento (início da formação do cacho), 35 kg/planta na florada e 20,7 kg/planta na maturidade. Em, contraste no SAI nos mesmos estágios vegetativos necessitou-se 55,2, 77,8 e 53 kg/planta, respectivamente. As plantas no SAI são mais resistentes aos danos de doenças e com número de cachos (panículas) maior em peso do grão em relação ao arroz convencional irrigado. Na tabela 7 são mostrados os maiores contrastes entre o sistema convencional e SAI, enfatizando o sistema de produção de mudas, quantidade de sementes, espaçamento, irrigação e manejo de invasoras. A eficiência da planta no uso do nitrogênio do solo no SAI é muito maior, pois na mesma dose de nitrogênio, produz o dobro de grãos polidos como mostra a figura 1 obtida em ensaio em condições reais de produção envolvendo 108 pequenos produtores em Madagascar. Neste ensaio fica claro que o nitrogênio existente no solo é de 100 kg/ha⁻¹, mas a produção do

8 RANDRIAMIHARISOA, R., J. BARISON AND N. UPHOFF. 2006 Soil biological contributions to the system of rice intensification. p 409 – 424. IN Ed. Uphoff, N., Ball, A. S., Fernandes, E. et al. Biological Approaches to sustainable soil systems. CRC, Taylor & Francis 2006, 764p. <http://www.taylorandfrancis.com> .



arroz e a sua exportação correspondem a 180 a 200 kg/ha⁻¹ de nitrogênio. Esta diferença vem do N₂ fixado biologicamente pelas bactérias que atuam no SAI. Nos ensaios de adubação com fósforo e potássio o SAI mostrou resultados equivalentes em eficiência aos do nitrogênio.

Tabela 6. Diferenças nas Características das Plantas de Arroz Irrigado Convencional X Sistema do Arroz Intensificado (SAI)

Característica Avaliada	Convencional	SAI
Número de Perfílos (brotos)	10 - 20	30 – 50
Resistência ao Arrancamento:	kg /planta	kg / planta
Formação do Cacho	22	55 (150) ^a
Florescimento	35	77 (120)
Maturidade	20	53 (165)
Enchimento do Cacho e Grão	Parcial	Total
Maturação e Colheita	Normal	Precoce 1 a 2 Semanas
Rendimento no Beneficiamento	Inferior	Superior (10 a 15)
Resistência a Pragas e Doenças	Pior	Melhor
Resistência a Acamamento	Pior	Melhor
Raízes até 6 cm de profundidade	75 %	Poucas
Falta de Oxigênio nas Raízes	Alta	Baixa
Comprimento de Raízes cm ³ / solo		
30 cm de profundidade	0, 19	0, 45 (137) ^a
50 cm de profundidade	0, 27	0, 53 (96)
Raízes Morrendo no Florescimento	78 %	5 %

()^a = percentagem de aumento sobre o convencional

Adaptado de Randriamiharisoa *et al.* (2006).

Tabela 7. Comparações Entre os Métodos de Cultivo de Arroz Irrigado Convencional X Sistema do Arroz Intensificado (SAI)



Fatores Comparados	Convencional	SAI
Idade das Mudas	21 a 28 dias	8 a 12 dias
Sistema de Plantio das Mudas	Molhos de 3 a 4 Plantas	1 Planta
Profundidade de Plantio	Profundo e Inundado	1 a 2 cm no Seco
Viveiro de Mudas	Inundado	Seco
Consumo de Sementes	50 a 100 kg / ha ⁻¹	5 a 10 kg / ha ⁻¹
Espaçamento das Mudas	15 a 20 cm	25 x 25 a 30 x 30cm
Saturação do Solo	Anaeróbico (sem O ₂)	Aeróbico (com O ₂)
Controle de Plantas Invasoras	Inundação, Manual e Herbicida	Enxada Rotativa, Manual 3 a 4 Vezes
Adubação nitrogenada	N 100 a 150 kg / ha ⁻¹	Vida do Solo

Adaptado de Randriamiharisoa *et al.* (2006)

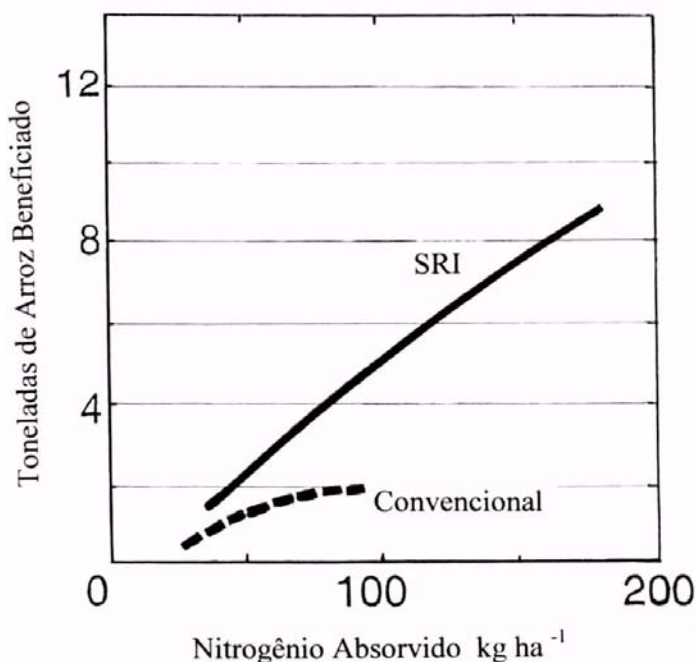


Fig. 1 Proporcionalidade entre produção de arroz beneficiado e nitrogênio absorvido. Crescendo com Irrigação Convencional e Sistema do Arroz Intensificado (SAI). Médias de 108 produtores em Madagascar. Randriamiharisoa *et al.* (2006)

5.3 Possíveis Explicações Para as Mudanças Induzidas na Planta e Causas de Suas Diferenças

Normalmente, em cana-de-açúcar e cereais a redução do número de plantas por hectare provoca queda de produção a não ser que a planta compense produzindo mais perfilhos (brotos), cachos maiores e grãos mais pesados (tabela 6). Estas três compensações ocorrem na cana-de-açúcar e SAI quando todas as técnicas do sistema são aplicadas.

Outro possível fator negativo para a vida do solo são os pesticidas com efeito biocida, como os herbicidas. Isto foi verificado no IRRI (Centro Internacional de Pesquisa do Arroz), Los Banos, Filipinas, em que o método SAI produziu apenas 1,4 t/ha⁻¹ devido ao efeito residual dos fertilizantes, pesticidas e herbicidas. No mesmo período e região do IRRI os pequenos produtores colheram 6 a 8 t/ha⁻¹. Estima-se que 20 a 40 % dos produtos da fotossíntese são mandados através das raízes para o solo, e eles nutrem as bactérias e a vida do solo. Os nutrientes alimentam inicialmente as bactérias, que são comidas pelos protozoários (pequenos animais), e estes são comidos pelos nematóides. A ciclagem dos nutrientes nesta cadeia de alimento libera muito nitrogênio no solo e isto explica em parte a produtividade do SAI sem adição de nitrogênio. Em solos arejados do SAI, as raízes absorvem nitrogênio na forma de nitrato e amônio aumentando a produção em 40 a 60% em comparação com o sistema convencional em que a planta somente absorve amônio porque o nitrato é perdido para a atmosfera como nitrogênio (N₂) inútil para a planta.

A formação de touceira em gramínea obedece ao mesmo princípio em arroz, trigo, cana-de-açúcar e pastagens. Em todas as gramíneas as plântulas produzem um caule subterrâneo com entrenós muito curtos. Em cada entrenó há uma escama e uma gema dormente. Nas gramíneas de touceira, após um período limitado de ramificações subterrâneas as gemas dormentes passam a produzir caule vertical ereto com alongamento dos entrenós que terminam com a formação dos colmos, cachos, flores e grãos. Comparando com o trabalho de Martin e Eckart (1933), Heinz, D. J. (1987), Randriamiharisoa *et al.* (2006) confirmam o comportamento do arroz cultivado no SAI com perfilhamento, aumento de produção de cacho e grão mais pesado como característica gerais das gramíneas. Estas plantas por serem a maioria do grupo C₄ fazem a fotossíntese com intensidade de luz mais ampla do que as plantas do grupo C₃ (feijão). Elas respondem ao aumento da luz, comprimento do dia, solos irrigados, plantio superficial e fixação biológica do nitrogênio (FBN).² Nestas plantas a FBN ocorre no solo, interna e externamente e principalmente na superfície das raízes.

5.4 Outros Processos Biológicos do Solo E Solubilização do Fósforo

Hoje está confirmada a presença das bactérias fixadoras de nitrogênio das leguminosas dentro das folhas, caule, panículas e raízes do arroz e outras gramíneas.⁹ Nas gramíneas não

9 YANNI, Y. G.; R. Y. RIZK; A. SQUARTINI; K. NINKE; S. P. HOLLINGSWORTH; G. ORGAMBIDE; F. DE BRUIJN; J. STOLZFUS; D. BUCKLEY; T. M. SCHMIDT; P. F. MATEOS; J. K. LADHA AND F. B. DAZZO 1997: Natural endophytic association between *Rhizobium leguminosarum* bv. *Trifoli* and rice root and assessment of its potential to promote rice growth. *Plant and Soil* 194: 99-114.

há formação de nódulos como nas leguminosas, mas ocorre a produção de hormônios de crescimento. Nelas, além da bactéria das leguminosas são mais importantes outras espécies que vivem interna e externamente na planta. Estas bactérias são Diazotróficas e podem fornecer 40 a 60 % do nitrogênio que a planta necessita. Em solos pobres em nitrogênio onde o arroz produzia 2 t/ha⁻¹, no sistema SAI, a produtividade subiu para 8 t/ha⁻¹ e isto somente é possível com a FBN.

O manejo de plantas invasoras no SAI envolve o revolvimento superficial do solo com a enxada rotativa. Neste processo as bactérias aeróbicas e anaeróbicas são misturadas e trabalham em conjunto aumentando as suas eficiências. Em Madagascar e Cuba já se comprovou que a bactéria *Azospirillum* contribui para fixar nitrogênio no SAI. Os benefícios produzidos pelo *Azospirillum* e outras bactérias benéficas do solo podem triplicar os benefícios com a adição de matéria orgânica semidecomposta e aeração fornecida ao solo. A resposta é variável tanto em solo argiloso como arenoso. Em todos eles a presença do pé do arado (compactação do solo na zona de trabalho) é prejudicial à cana-de-açúcar, ao arroz e outras plantas devido ao encharcamento do solo.

Os ensaios feitos em vários solos em Madagascar mostraram que os teores de fósforo, em todos os horizontes variavam de 3 a 6 mg/kg fósforo. Estes níveis são considerados metade do mínimo necessário para a planta produzir em níveis aceitáveis que é sempre superior a 10 mg/kg fósforo. Considera-se que, para obter 6 a 7 t/ha⁻¹ de grãos beneficiados, seja necessário, pelo menos 21 mg/kg fósforo. Em Madagascar os solos com 8 mg/kg fósforo produziram no SAI 8 t/ha⁻¹ de grãos beneficiados de arroz. Quando os cultivos foram repetidos várias vezes, na mesma área no sistema SAI, os rendimentos aumentaram contrariando as pesquisas com adubação fosfatada no sistema convencional. Provavelmente explica-se este resultado pela ação dos microrganismos que solubiliza o fósforo insolúvel do solo. As freqüentes irrigações e secagens do solo (arejamento) seja talvez o fator responsável por esta atividade da vida do solo. Como 79% das gramíneas possuem fungos micorrízicos dentro das raízes, estes recebem nutrientes do arroz retribuindo com proteção contra doenças, pragas, maior solubilização do fósforo, absorção de nutrientes minerais, FBN, e produção de hormônios de crescimento. Dentro das micorrizas são encontradas bactérias *Burkholderia* que são capazes de fixar nitrogênio do ar. Desta forma não é possível separar os seus efeitos das bactérias da rizosfera e internas que fazem atividade semelhante.^{10 11}

5.5 Características dos Solos Tropicais Cultivados

Em todos os solos tropicais cultivados no sistema convencional podemos encontrar uma camada de solo duro e compacto. Isto é facilmente percebido com sonda de ferro ou cavando uma trincheira. Devido à presença da camada mais dura a penetração das raízes e água é

10 BEVIVINO, A.; TABACCHIONI, S.; CHIARINI, L.; CARUSI, M.V.; DEL GALLO, M.; VISCA, P. 1994 Phenotypic comparison between rhizosphere and clinical isolates of *Burkholderia cepacia*. Microbiology, New York, v.140, n.5, p.1069-1077.

11 YARA R. 2001 Bacteria associada a *Pleurotus* sp. Dissertação de mestrado, Biotecnologia da USP, Instituto Butantã. São Paulo. 119p.



impedida ou retardada provocando baixa produtividade e morte prematura das plantas nos períodos de seca.

O crescimento das raízes da cana-de-açúcar nos solos ácidos do cerrado sofre impedimento físico da camada dura e química devido à falta de nutrientes.

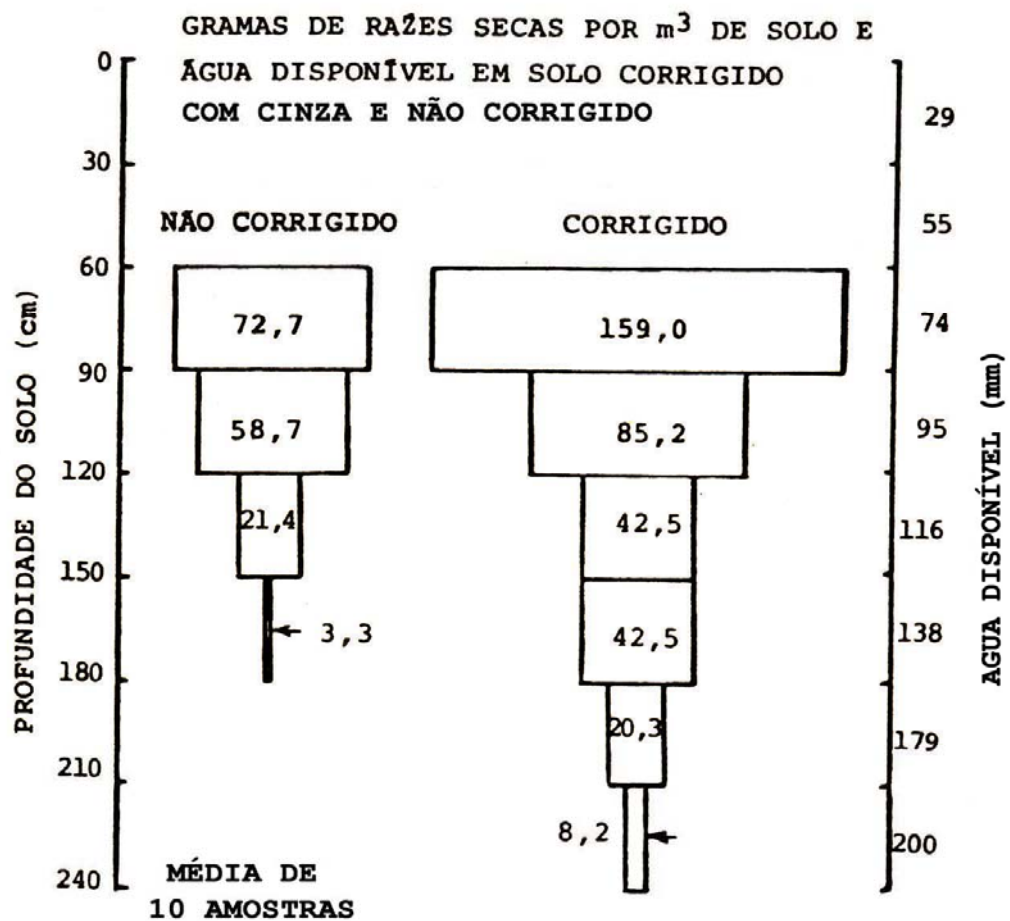


FIG. 2. PROFUNDIDADE DE RAÍZES, PESO SECO E ÁGUA DISPONÍVEL EM SOLO DE CERRADO. TOKESHI (1988)

Quando a barreira química é corrigida, a cana-de-açúcar é capaz de penetrar mais de 2 metros de profundidade e sobreviver a períodos de 5 meses de seca com FBN, obtendo água do solo. Isto foi comprovado por Tokeshi (1988 e 1991) em condições reais de campo como mostra a figura 2.

6. Conclusões

Do exposto no trabalho as seguintes conclusões foram obtidas.

1. A contínua ciclagem do nitrogênio na natureza mantém constante o nitrogênio útil para as plantas.
2. A produção de arroz no sistema SAI, cana-de-açúcar orgânica e pastagens comprova que não há necessidade de se aplicar nitrogênio sintético na agricultura sustentável.
3. Na agricultura sustentável e ecologicamente correta o uso de agrotóxicos e fertilizantes solúveis pode ser quase totalmente eliminado.
4. A mudança de atitude mental industrial, empresarial agrícola e governamental é indispensável para a substituição do paradigma atual da agricultura convencional pela sustentável.

7. Bibliografia

- AZEREDO, D.F.; J. BOLSANELLO; H. WEBER; J. R. VIEIRA 1986: Nitrogênio em cana-de-açúcar doses e fracionamento. Revista da Soc. Tec. Açucareiros do Brasil (STAB). Piracicaba SP, maio e junho: 26-32.
- BEVIVINO, A.; TABACCHIONI, S.; CHIARINI, L.; CARUSI, M.V.; DEL GALLO, M.; VISCA, P. 1994 Phenotypic comparison between rhizosphere and clinical isolates of *Burkholderia cepacia*. **Microbiology**, New York, v.140, n.5, p.1069-1077.
- BØCKMAN, O. C. 1997. Fertilizers and biological nitrogen fixation as sources of plant nutrients. Perspectives for future agriculture. *Plant and Soil* 194: 11-14.
- De DATTA S. K.; R. J. BURESH; M. I. SAMSON ; W. N. OBCEMEA and J. G. Real 1991 Direct measurement of ammonia and denitrification fluxes from urea applied to rice. *Soil. SCI. Soc. Am. J.* 55:543-548
- DeLAJUDIE, P.; WILLENS, A.; POT, B.; DEWETTINCK, D.; MAESTROJUAN, G.; NEYRA, M.; COLLINS, M.D.; DREYFUS, B.; KERSTERS, K.; GILLIS, M. 1994 Polyphasic taxonomy of rhizobia: Emendation of the genus *Sinorhizobium* and description of *Sinorhizobium* and description of *Sinorhizobium meliloti* com. nov., *Sinorhizobium saheli* sp. nov., and *Sinorhizobium teranga* sp. nov. **International Journal Systematic of Bacteriology**, Baltimore, 44:715-733.
- DÖBEREINER, J. 1995 Biological nitrogen fixation in the tropics: social and economic contributions. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE AGRICULTURE FOR THE TROPICS – THE ROLE OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION, Angra dos Reis, 1995. **Abstracts...** Angra dos Reis: The National Centre for Agrobiological Research (Embrapa-CNPAB), p.3-4.
- DÖBEREINER, J.; PEDROSA, F.O. 1987 **Nitrogen-fixing bacteria in nonleguminous crop plants**. Madison: Springer-Verlag, 155p.
- ECETOC 1994 Ammonia emission to air in Western Europe. Technical Report n° 62, European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals. Brussels.
- ELKAN, G. H. 1992. Biological nitrogen fixation systems in tropical ecosystems: an overview. In: BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION AND SUSTAINABILITY OF



FUNDAÇÃO
MOKITI OKADA - M.O.A.
Centro de Pesquisa
Mokiti Okada - CPMO

- TROPICAL AGRICULTURE. Eds K. Mulongoy, M. Gueye and D. S. C. Spencer.. John Wiley and Sons Chichester. V.K. p 27-40.
- EVANS, H.J.; BURRIS, R.H. 1992 Highlights in Biological Nitrogen Fixation during the last 50 years. In: STACEY, G.; BURRIS, R.H.; EVANS, H.J eds. **Biological Nitrogen Fixation**. New York: Chapman and Hall, p.1-42.
- HEINZ, D. J. 1987 Sugarcane improvement through breeding . Elsevier 601 p
- KIRCHHOF, G; V. M. REIS; J. I. BALDANI; B. ECKER; J. DÖBEREINER AND A. HARTMANN 1997 Occurrence, physiological and molecular analysis of endophytic diazotrophic bacteria in gramineaceous energy plants. *Plant and Soil* 194:45-55.
- MARTIN, J. P. R. C. ECKART. (1933). The effect of various intensities of light on the growth of the H 109 variety. *Haw.Plant Rec.* 37: 53-66. IN. *Botânica de la caña de azúcar* p106 – 132. Edición Revolucionaria Instituto del libro, Habana Cuba (sem data).
- PAUL & CLARK. 1989 *Soil Microbiology*. Academic Press. San Diego 275p.
- PEOPLES, M.B.; CRASWELL, E.T. 1992 Biological nitrogen fixation; investments, expectations and actual contributions to agriculture. **Plant and Soil**.141:13-39.
- RANDRIAMIHARISOA, R., J. BARISON AND N. UPHOFF. 2006 Soil biological contributions to the system of rice intensification. p 409 – 424. IN Ed. Uphoff, N., Ball, A. S., Fernandes, E. et al. *Biological Approaches to sustainable soil systems*. CRC, Taylor & Francis 2006, 764p. <http://www.taylorandfrancis.com> .
- SHANTHARAN S. AND A. K. MATTO 1997 Enhancing biological nitrogen fixation: An appraisal of current and alternative technologies for N input into plants. *Plant and Soil* 194: 205-216.
- SØDERLUND R.; T. ROSSWALL 1982 The nitrogen cycle. In Ed. O. HUTZINGER. *The handbook of environmental chemistry* Vol. 1B. The natural environment and the biogeochemical cycles. pp 60.81. Springer Verlag. Berlin/Heidelberg.
- TOKESHI, H. 1991 Cana-de-açúcar fotos 352 a 353, 485-499, In Ferreira, M.E.; M.C. Pessoa da Cruz Ed. *Micronutrientes na Agricultura Assoc. Brasileira Pesquisa do Potassa e do Fósforo (POTAFOS)* Piracicaba.
- TOKESHI, H. 1988 Plantas produtoras de açúcar e álcool: Exigências de micronutrientes e diagnose de deficiência em cana-de-açúcar p. 787-814, In *Simpósio Sobre Micronutrientes na Agricultura* Vol. 2 (versão preliminar), Fac. C. Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal.
- VAN DILLEWIJN, C 1951 *Botânica de la caña de azúcar* p106 – 132. IN *Edición Revolucionaria Instituto del libro, Habana Cuba* (SEM data)
- YANNI, Y. G.; R. Y. RIZK; A. SQUARTINI ; K. NINKE ; S. P. HOLLINGSWORTH; G. ORGAMBIDE; F. DE BRUIJN; J. STOLZFUS; D. BUCKLEY; T. M. SCHMIDT; P. F. MATEOS; J. K. LADHA AND F. B. DAZZO 1997: Natural endophytic association between *Rhizobium leguminosarum* bv. Trifoli and rice root and assessment of its potential to promote rice growth. *Plant and Soil* 194: 99-114.
- YARA R. 2001 Bacteria associada a *Pleurotus* sp. Dissertação de mestrado, Biotecnologia da USP, Instituto Butantã. São Paulo. 119p.