

**O Papel da Fixação Biológica de Nitrogênio na Sustentabilidade de Sistemas Agroflorestais**





SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. **Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas.** Brasília, DF: MEC/ESAL/FAEPE/ABEAS, 1988. 236 p.

STUTE, J. K.; POSNER, J. L. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the Upper Midwest. **Agronomy Journal**, Madison, v. 87, p. 1063-1069, 1995.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. **Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales em América Latina y el Caribe.** Porto Alegre: Gênese, 2000. 110 p.

VILELA, D.; ALVIM, J. M. Manejo de pastagens do gênero *Cynodon*: introdução, caracterização e evolução do uso no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 15., 1998, Piracicaba. **Manejo de pastagens de tifton, coastcross e estrela: anais.** Piracicaba: FEALQ, 1998. p. 23-54.



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1517-8498

Maio/2007

## **Documentos 231**

### **O Papel da Fixação Biológica de Nitrogênio na Sustentabilidade de Sistemas Agroflorestais**

Gabriela Tavares Arantes Silva  
Alexander Silva de Resende  
Eduardo Francia Carneiro Campello  
Paulo Francisco Dias  
Avílio Antônio Franco

*Seropédica – RJ  
2007*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridas na:

### Embrapa Agrobiologia

BR465 – km 7

Caixa Postal 74505

23851-970 – Seropédica/RJ, Brasil

Telefone: (0xx21) 2682-1500

Fax: (0xx21) 2682-1230

Home page: [www.cnpab.embrapa.br](http://www.cnpab.embrapa.br)

e-mail: [sac@cnpab.embrapa.br](mailto:sac@cnpab.embrapa.br)

Comitê Local de Publicações: Eduardo F. C. Campello (Presidente)  
José Guilherme Marinho Guerra  
Maria Cristina Prata Neves  
Verônica Massena Reis  
Robert Michael Boddey  
Maria Elizabeth Fernandes Correia  
Dorimar dos Santos Felix (Bibliotecária)

Expediente:

Revisores e/ou ad hoc: Sebastião Manhães Souto e Bruno José Rodrigues Alves

Normalização Bibliográfica: Dorimar dos Santos Felix

Editoração eletrônica: Marta Maria Gonçalves Bahia

1ª impressão (2007): 50 exemplares

S586p Silva, Gabriela Tavares Arantes

O papel da fixação biológica de nitrogênio na sustentabilidade de sistemas agroflorestais / Alexander Silva de Resende, Eduardo Francia Carneiro Campello, Paulo Francisco Dias, Avílio Antônio Franco. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 36 p. (Documentos, Embrapa Agrobiologia, ISSN 1517-8498; 231).

1. Agrossilvicultura. 2. Fixação biológica de nitrogênio (FBN). 3. Sustentabilidade. I. Resende, A. S. de, colab. II. Campello, E. F. C., colab. III. Dias, P. F., colab. IV. Franco, A. A., colab. V. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia (Seropédica, RJ). VI. Título. VII. Série.

CDD 634.99

© Embrapa 2007

RESENDE, A. S. de; XAVIER, R. P.; QUESADA, D. M.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Use of green manures in increase inputs of biological nitrogen fixation to sugar cane. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 37, p. 215-220, 2003.

RICKFLES, R. E. **A economia da natureza**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2003. 503 p.

SERRAJ, R. Symbiotic nitrogen fixation: prospects for enhanced application in tropical agriculture. New Delhi: IBH, 2004. 367 p.

SILVA, E. M. R. da; ALMEIDA, D. L. de; FRANCO, A. A.; DÖBEREINER, J. Adubação verde no aproveitamento de fosfato em solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 85-88, 1985.

SILVA, G. T. A.; MATOS, L. V.; NÓBREGA, P. de O.; CAMPELLO, E. F. C.; RESENDE, A. S. de. Velocidade de decomposição de fitomassa e liberação de nitrogênio de leguminosas arbóreas em um sistema agroflorestal. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRRJ, 16., 2006, Seropédica. **Anais...** Seropédica: Editora Universidade Rural, 2006a. CD ROM.

SILVA, G. T. A.; MATOS, L. V.; NÓBREGA, P. de O.; CAMPELLO, E. F. C.; RESENDE, A. S. de. Correlação entre a composição química inicial e a velocidade de decomposição e liberação de nitrogênio de dez espécies em um sistema agroflorestal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 6., 2006, Campos dos Goytacazes. **Bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais, 2006b. CD ROM.

SILVA, G. T. A.; QUEIROZ, R. O. M.; NÓBREGA, P. de O.; CAMPELLO, E. F. C.; RESENDE, A. S. de. Caracterização dos teores de nitrogênio, polifenol e relação C:N no tecido foliar de diferentes espécies vegetais em um sistema silvipastoril. In: CONGRESSO DE PESQUISA, 2., JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICAS DA UFRural/RJ, 14., 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2004. CD ROM.

NOZELLA, E. F. **Determinação de taninos em plantas com potencial forrageiro para ruminantes**. 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP.

NYATSANGA, T.; PIERRE, W. H. Effect of nitrogen fixation by legumes on soil acidity. **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, p. 936-940, 1973.

ODUM, E. P. **Fundamentos de ecologia**. 6. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2001. 927 p.

OTS/CATIE-ORGANIZACIÓN PARA ESTUDIOS TROPICAIS/CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANSA. **Sistemas agrofloreais**: principios y aplicaciones en los tropicos. San José: Trejos Hnos. Sucs., 1986. 818 p.

PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biology and Biochemistry**, London, v. 23, p. 83-88, 1991.

PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 35-40, 2004.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 6. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 906 p.

RAVEN, J. A.; FRANCO, A. A.; JESUS, E. L. de; JACOB-NETO, J. extrusion and organic acid synthesis in N<sub>2</sub>-fixing symbioses involving vascular plants. **New Phytologist**, Oxford, v. 114, p. 369-389, 1990.

RAVEN, J. A.; SMITH, F. A. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation. **New Phytologist**, Oxford, v. 76, p. 415-431, 1976.

## Autores

### **Gabriela Tavares Arantes da Silva**

Mestrando em Ciências Ambientais e Florestais – UFRRJ.  
Bolsista da Embrapa Agrobiologia  
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505, Cep 23851-970,  
Seropédica/RJ  
e-mail: gabrielatas@yahoo.com.br

### **Alexander Silva de Resende**

Eng<sup>o</sup> Florestal, Dr., Pesquisador da Embrapa Agrobiologia.  
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505, Cep 23851-970,  
Seropédica/RJ  
e-mail: alex@cnpab.embrapa.br

### **Eduardo Francia Carneiro Campello**

Eng<sup>o</sup> Florestal, Dr., Pesquisador da Embrapa Agrobiologia.  
BR 465, km 7 – Caixa Postal 74505, Cep 23851-970,  
Seropédica/RJ  
e-mail: campello@cnpab.embrapa.br

### **Paulo Francisco Dias**

Zootecnista, Doutor em Fitotecnia, Pesquisador da PESAGRO-  
RIO, Estação Experimental de Itaguaí  
BR 465, km 7, Cep 23851-970, Seropédica/RJ

### **Avílio Antônio Franco**

Eng<sup>o</sup> Agrônomo, PhD em Ciência do Solo, Pesquisador da  
Embrapa Agrobiologia  
BR 465, km 7, Caixa Postal 74505, Cep 23851-970,  
Seropédica/RJ  
e-mail: avilio@cnpab.embrapa.br

MAFONGOYA, P. L.; GILLER, K. E.; PALM, C. A. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunnings and litter. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 38, p. 77-97, 1998.

MAHECHA, L.; ROSALES, M.; MOLINA, C. H.; MOLINA, E. J. Un sistema silvopastoril de *Leucaena leucocephala* - *Cynodon plectostachyus*-*Prosopis juliflora* en el Valle del Cauca, Colombia. In: SÁNCHEZ, M. D.; ROSALES, M. M. (Ed.). **Agroforesteria para la producción animal en América Latina**. Roma: FAO, 1999. p. 407-419. (Estudo FAO Produccion y Sanidad Animal, 143).

MARADEI, M.; FRANCO, A. A. Avaliação de dez espécies do gênero *Erythrina* no Rio de Janeiro, para uso como moirão vivo. **Agronomia, Seropédica**, v. 34, p. 26-30, 2000.

MARSCHER, H.; RÖMHELD, V. In Vivo measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: effect of plant species and nitrogen source. **Zeitschrift fur Pflanzenernaehrung und Bodenkunde**, Berlin, v. 111, p. 241-251, 1983.

MATOS, L. V.; CAMPELLO, E. F. C.; RESENDE, A. S. de. **Plantio de leguminosas arbóreas para produção de moirões vivos e construção de cercas ecológicas**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 100 p. (Embrapa Agrobiologia. Sistemas de Produção, 3).

MURGUEITIO, E.; ROSALES M.; GÓMEZ, M. **Agroforesteria para la producción animal sostenible**. Cali: Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria, 1999. 67 p.

NÓBREGA, P. de O.; SILVA, G. T. A.; SOARES, P. G.; CAMPELLO, E. F. C.; RESENDE, A. S. de. Decomposição de fitomassa e liberação de nitrogênio em resíduos das espécies *Racosperma mangium* e *Melia azedarach* para fins de adubação verde em sistemas agroflorestais. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO, 13., 2003, Seropédica. **Resumos...** Seropédica: Editora da Universidade Rural, 2003. CD ROM.

GAMA-ROFRIGUES, A. C. da; MAY, P. SAF e o planejamento do uso da terra: experiência na região norte fluminense - RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 3., 2000, Manaus. **Sistemas agroflorestais:** manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. Palestras. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001. p.130-136. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 17).

GILLER, K. E. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems**. 2. ed. Oxon: CAB International, 2001. 423 p.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia:** processos ecológicos em agricultura sustentável. 2. ed. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, 2001. 653 p.

JESUS, E. L. de. **Seleção de leguminosas para adubação com maior capacidade de acidificação da rizosfera**. 1993. 123 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1992. 352 p. v. 1.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 1998. 352 p. v. 2.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. de; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. **Árvores exóticas no Brasil:** madeiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 368 p.

MACEDO, J. L. V. de; WANDELLI, E. V.; SILVA JÚNIOR, J. P. Sistemas agroflorestais: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. In: In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 3., 2000, Manaus. **Sistemas agroflorestais:** manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural. Palestras. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001. p.13-16. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 17).

## Apresentação

A preocupação crescente da sociedade com a preservação e a conservação ambiental tem resultado na busca pelo setor produtivo de tecnologias para a implantação de sistemas de produção agrícola com enfoques ecológicos, rentáveis e socialmente justos. O enfoque agroecológico do empreendimento agrícola se orienta para o uso responsável dos recursos naturais (solo, água, fauna, flora, energia e minerais).

Dentro desse cenário, a Embrapa Agrobiologia orienta sua programação de P&D para o avanço de conhecimento e desenvolvimento de soluções tecnológicas para uma agricultura sustentável.

No documento 231/2007 são abordadas informações referentes ao ciclo biogeoquímico do nitrogênio, com destaque para o potencial de sua fixação biológica pela associação planta x bactéria na família Leguminosae. Buscou-se relatar nesse trabalho o potencial de adaptação dessas espécies em diferentes condições de solo e clima, além do seu potencial comercial e de melhoria da qualidade do solo e do ambiente.

Espera-se que esse documento possa ser útil aos técnicos do setor no planejamento e na difusão de sistemas agroflorestais baseados no uso de leguminosas.

José Ivo Baldani  
Chefe Geral da Embrapa Agrobiologia

# SUMÁRIO

1. O Nitrogênio .....	7
2. Importância das leguminosas nos Sistemas Agroflorestais.....	9
3. Escolha das leguminosas mais adequadas para Sistemas Agroflorestais .....	15
4. Potencial das leguminosas como fonte de nutrientes.....	18
5. Uso de leguminosas em Sistemas Silvopastoris .....	21
6. Conclusão.....	
7. Referências Bibliográficas .....	28

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Programa de recuperação de pastagens degradadas no cerrado brasileiro:sistema agropastoril auto-sustentável.** Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1995. 26 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 59).

ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L. de; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. de L. D. Gestão do nitrogênio em sistemas orgânicos de produção através da adubação verde. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, v. 29, p. 123-130, 2004.

FARIA, S. M. de; CAMPELLO, E. F. C. **Algumas espécies de leguminosas fixadoras de nitrogênio recomendadas para revegetação de áreas degradadas.** Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 8 p. (Embrapa Agrobiologia. Recomendação Técnica, 7).

FRANCO, A. A. **Uso de *Gliricidia sepium* como moirão vivo.** Seropédica: EMBRAPA-UAPNPBS, 1988. 5 p. (EMBRAPA-UAPNPBS. Comunicado Técnico, 3).

FRANCO, A. A.; CAMPELLO, E. F. C. Manejo integrado na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas produtivos utilizando a fixação biológica de nitrogênio como fonte de nitrogênio. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de. (Ed.). **Processos biológicos no sistema solo-planta:** ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 201-220.

FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C. Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: SEMINÁRIO SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2003, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2003. 1 CD ROM.

CARVALHO, M. M.; XAVIER, D. F.; ALVIM, M. J. Uso de leguminosas arbóreas na recuperação e sustentabilidade de pastagens cultivadas. In: CARVALHO, M. M.; ALVIM, M. J.; CARNEIRO, J. da C. (Ed.). **Sistemas agroflorestais pecuários: opções de sustentabilidade para áreas tropicais e subtropicais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite; Brasília: FAO, 2001. p. 189-204.

CHAPMAN, H. D. **Diagnostic criteria for plants and soils**. Riverside: Chapman, 1965. 793 p.

CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. de. Formação de serapilheira e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p.197-225.

COSTA, F. de A. Desenvolvimento sustentável na Amazônia: o papel estratégico dos SAFs, seus gestores e produtores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 3., 2000, Manaus. **Sistemas agroflorestais: manejando a biodiversidade e compondo a paisagem rural**. Palestras. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001. p.168-192. (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos, 17).

CREWS, T. E.; PEOPLES, M. B. Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 72, p. 101-120, 2005.

DIAS, P. F. **Importância das leguminosas fixadoras de nitrogênio na arborização de pastagens**. 2005. 128 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

DÖBEREINER, J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Alternatives for nitrogen nutrition of crops in tropical agriculture. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 42, p. 339-346, 1995.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia. A degradação das pastagens e o ciclo do nitrogênio. **A Lavoura**, Rio de Janeiro, v. 104, n. 637, p. 48-51, 2001.

## O papel da Fixação Biológica de Nitrogênio na Sustentabilidade de Sistemas Agroflorestais

---

*Gabriela Tavares Arantes Silva  
Alexander Silva de Resende  
Eduardo Francia Carneiro Campello  
Paulo Francisco Dias  
Avílio Antônio Franco*

### 1. O nitrogênio

---

Dos nutrientes minerais essenciais às plantas, o nitrogênio é, juntamente com o fósforo, o mais limitante aos sistemas de produção (MAFONGOYA et al., 1998; ODUM, 2001; RICKFLES, 2003). Este elemento está presente em muitos dos compostos bioquímicos das células vegetais, estando envolvido em processos vitais ao desenvolvimento das plantas. Apenas elementos como o carbono, o hidrogênio e o oxigênio são mais abundantes nas plantas do que o nitrogênio. A maioria dos agroecossistemas apresenta um expressivo ganho na produtividade após serem fertilizados com esse nutriente (BARROS & NOVAIS, 1990; AITA et al., 1994; ARAÚJO et al., 2005).

Na biosfera o nitrogênio está presente em diversas formas. A atmosfera possui 78% da sua composição de nitrogênio molecular (N<sub>2</sub>). Porém, esse grande reservatório não está diretamente disponível para os organismos vivos que, em sua maioria, não têm a capacidade de utilizar o nitrogênio molecular para sintetizar aminoácidos e outras substâncias orgânicas. Esses seres são dependentes de compostos nitrogenados mais reativos, como o amônio e o nitrato, presentes no solo (RAVEN et al., 2001). A obtenção do nitrogênio da atmosfera requer a quebra de uma ligação tripla covalente de excepcional estabilidade, entre os dois átomos de nitrogênio para produzir amônia ou nitrato. Para superar a alta energia de ativação da reação, são necessárias condições extremas de temperatura e pressão. Tais reações podem ser obtidas por processo industrial ou natural. No processo industrial para cada kg de N-fixado na forma de uréia por exemplo, há a necessidade

de cerca de 15 Mcal, normalmente geradas a partir da queima de combustíveis fósseis (RESENDE et al., 2003).

Os processos naturais fixam cerca de  $190 \times 10^{12}$  g ano<sup>-1</sup> de nitrogênio e a principal fonte natural de incorporação de nitrogênio ao sistema solo-planta-animal é a fixação biológica (Tabela 1), realizada por microrganismos procariontes (bactérias e cianobactérias), respondendo por 90% do total. Em seguida, vêm os relâmpagos, que respondem por 8% do nitrogênio fixado e que precipita sobre a terra junto com a chuva. Em terceiro, estão as reações fotoquímicas, com uma participação de 2% do total.

**Tabela 1-** Principais processos do ciclo biogeoquímico do nitrogênio.

Processo	Descrição	Taxa (10 <sup>12</sup> g ano <sup>-1</sup> de N)
Fixação industrial	Conversão industrial do N <sub>2</sub> em amônia	80
Fixação atmosférica	Conversão fotoquímica e pelos relâmpagos do N <sub>2</sub> em nitrato	19
Fixação biológica	Conversão do N <sub>2</sub> em amônia pelos organismos procariontes	170
Aquisição por vegetais	Absorção e assimilação do amônio ou nitrato pelos vegetais	1200
Volatilização	Perda física do gás amônia para a atmosfera	100
Fixação do amônio no solo	Ligação física do amônio nas partículas do solo	10
Desnitrificação	Conversão bacteriana do nitrato em óxido nitroso e N <sub>2</sub>	210
Lixiviação do nitrato	Perdas por percolação do nitrato para o lençol de água	36

Adaptado de: TAIZ & ZEIGER (2004).

A fixação industrial de nitrogênio requer energia proveniente de recursos naturais não renováveis como gás natural e outros derivados do petróleo, num processo de encarecimento do produto final, o N-fertilizante. Além disso, os fertilizantes nitrogenados, quando usados em excesso, podem causar a poluição de aquíferos subterrâneos, rios e lagos. Do outro lado, a fixação biológica de nitrogênio, apesar de também requerer energia, essa é retirada de fontes renováveis como carboidratos sintetizados pelas plantas a partir da energia solar e é fornecida de forma equilibrada, diretamente

## 7. Referências Bibliográficas

AGUILAR, S. A.; VAN DIEST, A. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 61, p. 27-42, 1981.

AITA, C.; CERETTA, C. A.; THOMAS, A. L.; PAVINATO, A.; BAYERC, C. Espécies de inverno como fonte de nitrogênio para o milho no sistema de cultivo mínimo e feijão em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 101-108, 1994.

ARAÚJO, A. S. F. de; TEIXEIRA, G. M.; CAMPOS, A. X. de; SILVA, F. C.; AMBROSANO, E. J.; TRIVELIN, P. C. O. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 284-289, 2005.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. 330 p.

BODDEY, R. M.; POLIDORO, J. C.; RESENDE, A. S.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Use of the <sup>15</sup>N natural abundance technique for the quantification of the contribution of N<sub>2</sub> fixation to grasses and cereals. **Australian Journal of Plant Physiology**, Victoria, v. 28, p. 1-7, 2001.

BUCK, L. E.; LASSOIE, J. P.; FERNANDES, E. C. M. (Ed.). **Agroforestry in sustainable agricultural systems**. Boca Raton: CRC, 1999. 416 p. (Advances in Agroecology).

BUSTAMANTE, J.; IBRAHIM, M.; BEER, J. Evaluación agronómica de ocho gramíneas mejoradas en un sistema silvopastoril com poro (*Erythrina poeppigiana*) en el trópico húmedo de turrialba. **Agroforesteria en las Américas**, Turrialba, v. 5, p. 11-16, 1998.

CARDOSO, E. J. B. N; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. 360 p.

O uso de moirões vivos de leguminosas arbóreas na construção de cercas ecológicas surge como uma alternativa promissora para minimizar os impactos causados pela exploração indiscriminada das reservas florestais. Além disso, pode gerar uma série de produtos econômicos e benefícios sócio-ecológicos, como efeito estético e paisagístico, geração de serviços ambientais e de produtos econômicos, fixação biológica de nitrogênio, aporte de biomassa, reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo, abrigo para animais, pasto para abelhas, produção de lenha, formação de banco de proteínas, uso como forragem para o gado, melhoria da fertilidade do solo, alto poder calorífico (lenha) entre outros (MATOS et al., 2005). As espécies mais indicadas para uso como moirão vivo são aquelas que apresentam capacidade de enraizamento por estaquia, resistência a podas e ao fogo, boa capacidade de rebrota, maior durabilidade, rápido crescimento e, se possível, capacidade de associar-se a bactérias fixadoras de nitrogênio, o que faz com que algumas leguminosas se destaquem.

Nesse sentido, espécies como a *Gliricidia sepium* e o gênero *Erythrina* sp., destacam-se das demais, pois ambas possuem a capacidade de propagação via estaquia, rebrota e de realizar FBN (FRANCO, 1988; MARADEI & FRANCO, 2000; MATOS et al., 2005).

## 6. Conclusão

Analisando todo o potencial de diversidade biológica do Brasil, que incluem cerca de 2000 espécies de leguminosas, a maioria capaz de se associar a bactérias e fixar nitrogênio do ar, associado à baixa fertilidade dos solos tropicais e da demanda nutricional intensa dos sistemas agroflorestais, parece bem claro que a família Leguminosae é a mais indicada para fazer o papel de “facilitadora” desses modelos produtivos, necessitando que os técnicos do setor entendam e estimulem seu uso.

para atender as necessidades nutricionais das plantas. Na década de 70, com a diminuição dos estoques de petróleo e conseqüente aumento dos preços, os estudos sobre a fixação biológica de nitrogênio (FBN) foram intensificados (SERRAJ, 2004). Ainda que responsável por uma maior eficiência energética, a FBN é menos utilizada nos sistemas produtivos dos continentes Europeu, Asiático e na América do Norte em relação à aplicação de N-fertilizante. Já na América Latina, África e Oceania a FBN é mais utilizada do que os fertilizantes sintéticos (Tabela 2).

**Tabela 2:** Entrada anual de N em agroecossistemas via fixação biológica de nitrogênio (FBN) ou nitrogênio mineral (N-Fertilizante) nos diferentes continentes do mundo.

Continente	FBN	N-Fertilizante
	(10 <sup>12</sup> g ano <sup>-1</sup> de N)	
Ásia	23	44
Europa	6	14
América do Norte	10	13
América Latina	8	5
África	3	2
Oceania	5	1
Total Global	55	79

Adaptado de: CREWS & PEOPLES (2005).

No cenário atual, a fixação biológica de nitrogênio com o uso de leguminosas herbáceas, arbustivas e arbóreas associadas a bactérias diazotróficas pode ser a grande opção para o aumento da produtividade sem aumento nos custos de produção (DÖBEREINER et al., 1995; FRANCO & CAMPELLO, 2005).

## 2. Importância das leguminosas nos Sistemas Agroflorestais

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) são uma alternativa de produção que tem como premissa o consórcio entre espécies arbóreas e cultivos agrícolas e/ou animal numa mesma área de forma seqüencial

ou simultânea (OTS/CATIE, 1986). O princípio fundamental da Agrofloresta está nos processos da sucessão ecológica, da ciclagem de nutrientes e na cobertura do solo (MACEDO et al., 2001; GAMA-RODRIGUES & MAY, 2001; COSTA, 2001). Modelos agroflorestais que utilizem não somente espécies de valor comercial, mas também aquelas com capacidade de associarem-se a bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos, são os mais indicados (BUCK et al., 1999).

Dentro desse contexto, a família botânica Leguminosae destaca-se como de maior potencial. Em sua maioria, as leguminosas tropicais nodulam e fixam nitrogênio atmosférico e muitas das espécies se associam a fungos micorrízicos. A simbiose planta + bactérias diazotróficas + fungos micorrízicos aumenta a capacidade da planta em incorporar C e N ao solo, sendo mais eficientes na absorção de nutrientes e tornando-se mais tolerantes aos estresses ambientais. Esta associação pode incorporar mais de 500 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de N ao sistema solo-planta (SIQUEIRA & FRANCO, 1988). Desta forma, as espécies vegetais que formam tais simbioses são as mais indicadas para aumentar o conteúdo de matéria orgânica de solos em sistemas produtivos sob condições de baixa fertilidade (FRANCO et al., 2003).

Nos trópicos, a matéria orgânica é a principal fonte de fornecimento dos nutrientes minerais essenciais às plantas: N, P, S e Mo (Tabela 3).

**Tabela 3** - Principais nutrientes minerais, fonte em solos tropicais e necessidade das plantas em sistemas naturais.

Nutrientes	Principal fonte no solo	Necessidades das plantas <sup>1</sup>
Nitrogênio (N)	Matéria orgânica (MO)	1,5 a 4,0 %
Fósforo (P)	MO e colóides minerais	0,1 a 0,4 %
Potássio (K)	Colóides minerais e MO	1,0 a 2,5 %
Enxofre (S)	MO e intemperização de minerais	0,2 a 1,0 %
Cálcio (Ca)	Colóides minerais e MO	0,2 a 2,0 %
Magnésio (Mg)	Colóides minerais e MO	0,1 a 0,6 %
B, Cu, Fe, Mn e Zn	Colóides minerais e MO	10 a 150 mg kg <sup>-1</sup>
Mo	MO e colóides minerais	0,1 a 5 mg kg <sup>-1</sup>

Adaptado de: CHAPMAN (1965).

**Tabela 12-** Estimativas da FBN em espécies leguminosas associadas à pastagens tropicais

Espécies	N <sub>2</sub> Fixado		Período	País	Método
	kg ha <sup>-1</sup>	%			
<i>Arachis pintoi</i>	1-7	68-82	12 semanas	Colômbia	DI
<i>Calopogonium mucunoides</i>	136-182	-	1 ano	W. Samoa	Dif
	64	-	1 ano	Brasil	DI
<i>Centrosema aculifolium</i>	43	82	17 semanas	Colômbia	DI
<i>C. macrocarpum</i>	41	83	17 semanas	Colômbia	DI
<i>C. pubescens</i>	5-40	63-94	10-14 semanas	Colômbia	DI
	67-68	-	1 ano	W. Samoa	Dif
<i>Clitoria ternatea</i>	136	-	1 ano	Uganda	Dif
	42	45	-	Austrália	δ <sup>15</sup> N
<i>Desmanthus virgatus</i>	3-15	15-24	-	Austrália	δ <sup>15</sup> N
<i>Desmodium canum</i>	90	-	1 ano	Havai	Dif
<i>D. intortum</i>	380	-	1 ano	Havai	Dif
	103	-	1 ano	Austrália	Dif
<i>D. ovalifolium</i>	35-51	41-55	6 meses	Kenya	δ <sup>15</sup> N
	64-110	-	1 ano	W. Samoa	Dif
	25	70	17 semanas	Colômbia	DI
<i>Galactia striata</i>	31-54	82-89	14 semanas	Brasil	DI
	31-54	81-93	14 semanas	Brasil	DI
<i>Lablab purpureus</i>	32-146	51-90	-	Austrália	δ <sup>15</sup> N
	46-167	-	1 ano	W. Samoa	Dif
	97-137	-	1 ano	Austrália	Dif
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	29	33	-	Austrália	δ <sup>15</sup> N
<i>Pueraria phaseoloides</i>	115	88	17 semanas	Colômbia	DI
<i>Stylosanthes</i> spp.	39	49	-	Austrália	δ <sup>15</sup> N
<i>S. capitata</i>	38	87	17 semanas	Colômbia	DI
	141-179	73-88	16 meses	Brasil	δ <sup>15</sup> N
<i>S. guianensis</i>	76-102	68-79	16 meses	Brasil	δ <sup>15</sup> N
	47	75	17 semanas	Colômbia	DI
<i>S. macrocephala</i>	71	88	17 semanas	Colômbia	DI
	68-89	74-79	16 meses	Brasil	δ <sup>15</sup> N
<i>S. scabra</i>	22-40	52-70	16 meses	Brasil	δ <sup>15</sup> N

δ<sup>15</sup>N = Abundância Natural de <sup>15</sup>N; DI = Diluição Isotópica de <sup>15</sup>N; Dif = Diferença de N. Adaptado de: GILLER (2001).

DIAS (2005), ao estudar a viabilidade da introdução de 16 espécies arbóreas sem o isolamento das mudas em um pasto localizado no município de Seropédica, RJ, observou uma taxa de sobrevivência superior a 90% para *Mimosa tenuiflora*, *Mimosa caesalpinifolia*, *Mimosa artemisiana*, *Enterolobium contortisiliquum* e *Machaerium hirtum*. Essas espécies apresentaram-se com potencial de serem introduzidas em pastagens de capim braquiária na presença de bovinos, sem que houvesse necessidade de proteção das mudas. O autor também recomendou as espécies *Acacia holosericea* e *Acacia auriculiformis*, mas deixa claro que ambas apresentam ciclo de vida curto. Outras espécies, como *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala* e *Albizia lebbbeck*, foram altamente pastejadas, demonstrando potencial para serem aproveitadas na formação de bosques e bancos de proteína, devendo estar protegidas dos bovinos. No caso da *Gliricidia sepium* ainda é possível sua introdução a partir de estacas como moirão vivo para cercas ecológicas.

Além da implantação de árvores em pastagens também é interessante o consórcio entre a pastagem e leguminosas herbáceas e/ou arbustivas, na tentativa de aumentar as entradas de nitrogênio no sistema. Na Tabela 12 são apresentadas algumas estimativas da fixação biológica de nitrogênio realizada por leguminosas crescendo em pastagens tropicais.

Espécies capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio são interessantes para garantir a sustentabilidade de qualquer sistema produtivo e estas também se destacam na construção de cercas e moirões vivos. A cerca ecológica refere-se ao aproveitamento da estrutura formada a partir da disposição de espécies vegetais de ocorrência natural ou plantada, de forma justaposta ou em linha, formando barreiras vivas, renques e quebra-ventos. Assim, a definição das expressões “cerca viva ou ecológica” está associada ao fato de se plantar ou manter os arbustos e árvores, ao invés de cortá-las para fazer os moirões para cerca. Em termos gerais, oferece muito mais vantagens do que as cercas convencionais, dentre elas, custos de implantação mais baixos (MARADEI & FRANCO, 2000; GLIESSMAN, 2001).

A associação planta, bactérias e fungos apresenta algumas especificidades que podem ser utilizadas de forma a tornar o sistema ainda mais eficiente. A nutrição nitrogenada em plantas vasculares tem efeito significativo na mudança do pH da rizosfera. Além da fonte de nitrogênio, as espécies vegetais também exercem efeito significativo sobre o controle do pH (MARSCHER & RÖMHELD, 1983, RAVEN et al., 1990). Se a principal fonte de N é o nitrato, o pH da rizosfera tende a subir, se for amônio e N-atmosférico, tende a baixar, sendo que com menos intensidade nesse último caso (RAVEN & SMITH, 1976). Quando a biomassa é retornada ao solo, a acidez produzida durante a assimilação de N é neutralizada durante a sua decomposição e não há mudança de pH do solo ao fim do processo (NYATSANGA & PIERRE, 1973), porém se a biomassa produzida é retirada, o solo se torna mais ácido (FRANCO et al., 2003).

Em sistemas naturais sem lixiviação, a perda de bases é mínima e o pH tende a ser estável ao longo do tempo. Nos sistemas produtivos a mudança de pH vai variar com a intensidade e qualidade do produto exportado do sistema, da fonte de N e da intensidade da lixiviação de nitrato. O N perdido por volatilização de amônia e/ou por desnitrificação não reduz o pH do solo, mas a perda de nitrato do sistema por erosão ou lixiviação sim, e por isso práticas que levem à redução destas perdas devem ser estimuladas (NYATSANGA & PIERRE, 1973, RAVEN et al., 1990). Por outro lado, a acidificação da rizosfera pode ser usada como fator de favorecimento da solubilização de fosfatos naturais favorecendo a disponibilidade de P (AGUILAR & VAN DIEST, 1981).

Desta forma, a adubação com fosfatos naturais em conjunto com o uso de espécies fixadoras de N atmosférico representa uma forma eficiente de adição de C, N e P ao ciclo biogeoquímico do sistema solo-planta-animal. Isto pode ser observado na Tabela 4, onde *Crotalaria juncea* apresentou crescimento e acúmulo de biomassa, N e P reduzidos, quando a fonte de fósforo era o fosfato natural. Por outro lado, a mucuna preta, uma espécie que acidifica mais intensamente a rizosfera (JESUS, 1993), acumulou semelhante quantidade de matéria seca, N e P tanto com o fosfato natural como com o termofosfato. A adubação verde com mucuna, além de

incorporar 318 kg ha<sup>-1</sup> de N, transferiu aproximadamente 15 kg de P de uma fonte pouco solúvel à biomassa, enquanto a crotalária foi muito menos eficiente quando a fonte de fósforo foi o fosfato de rocha. Isso indica que espécies que acidifiquem a região da rizosfera com mais intensidade podem se constituir em uma importante estratégia para suprir as necessidades de fósforo do sistema de cultivo, quando a fonte é o fosfato natural.

**Tabela 4** - Efeito da espécie vegetal na incorporação de matéria seca, fósforo e nitrogênio aos sistemas produtivos.

Espécie	Fonte de fósforo	Matéria seca (Mg ha <sup>-1</sup> )	N total na mat. seca (kg ha <sup>-1</sup> )	P total (kg ha <sup>-1</sup> )
Crotalaria juncea (Crotalária)	Fosfato natural	8,4 c <sup>1</sup>	151 c	15,7 c
	Termofosfato – IPT	16,6 a	253 b	31,7 c
Mucuna aterrimum (Mucuna preta)	Fosfato natural	14,0 b	318 a	35,8 ab
	Termofosfato – IPT	14,8 b	353 a	37,2 a

<sup>1</sup> Valores na mesma coluna seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Adaptado de: SILVA et al. (1985).

Na Tabela 5 pode-se verificar a contribuição da fixação biológica de nitrogênio para algumas espécies de leguminosas e na Tabela 6 são apresentadas estimativas da FBN para espécies arbóreas e arbustivas em diferentes condições de ensaio.

Ao observar as Tabelas 5 e 6, verifica-se uma variação na quantidade de N<sub>2</sub> fixado para as mesmas espécies. Segundo CARDOSO et al. (1992), o processo de fixação biológica de nitrogênio está sujeito a uma série de estresses, os quais determinam o sucesso das espécies nas associações com microrganismos em cada ambiente.

Nota-se portanto, que a contribuição da FBN às plantas pode chegar a 600 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (SIQUEIRA & FRANCO, 1988). Considerando todo esse potencial e as mais de 2000 espécies de leguminosas encontradas somente no Brasil (LIMA<sup>1</sup>, comunicação pessoal), se faz

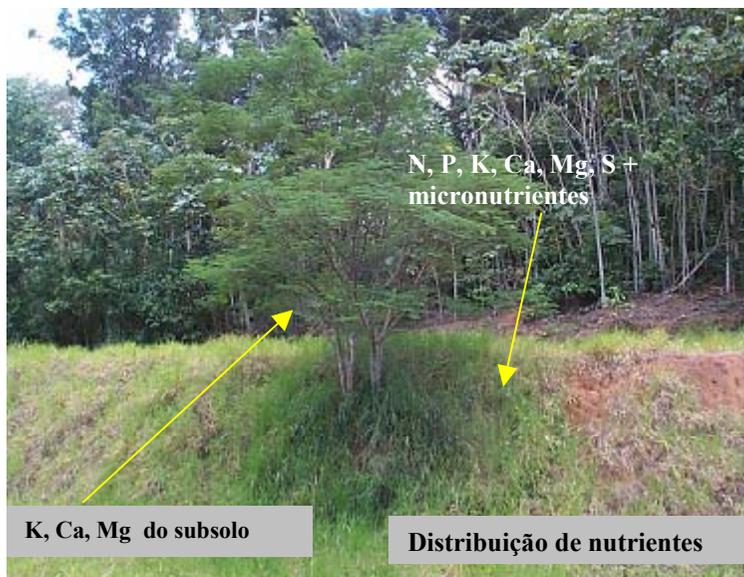
<sup>1</sup> BR 465 km 07, Caixa Postal 74505 – Seropédica-RJ E-mail: gabrielatas@yahoo.com.br

A entrada do componente arbóreo, além de melhorar as características químicas e físicas do solo via deposição de serapilheira, também proporciona ao animal maior conforto térmico, através da disponibilidade de áreas sombreadas (Figura 3). Com a arborização de pastagens existe ainda a possibilidade de utilização de espécies fornecedoras de produtos que adicionam valor a produção, tais como madeira, óleos, resinas, mel, moirões, dentre outros, podendo representar uma importante fonte adicional de renda principal para os pequenos produtores.



**Figura 3** – Disponibilidade de áreas sombreadas através da arborização de pastagens.

Um fator relevante na conversão das pastagens tradicionais em sistemas silvipastoris é que se a introdução dessas árvores ocorrer sem que haja a necessidade de indisponibilização temporária da pastagem para o gado ou utilização de proteções físicas na implantação das mudas, haverá uma redução substancial nos custos de implantação desse sistema. Para tanto, é interessante a escolha de espécies que apresentem defesas contra herbivoria, como acúleos ou espinhos, ou ainda, espécies que apresentem defesas químicas, como elevado teor de polifenol, que torna a planta pouco palatável para gado (NOZELLA, 2001).



**Figura 2** – Efeito de *Sthryphnodendrum adstringens* (Barbatimão) em Porto Trombetas- PA no crescimento de *Brachiaria brizantha*.

**Tabela 11.** Efeito do sombreamento proporcionado por três leguminosas arbóreas sobre a qualidade da forragem na época seca e chuvosa, em pastagem de *Brachiaria decumbens*.

Espécies	Tratamentos	Época seca		Época chuvosa		
		PB <sup>a</sup>	DIVMS <sup>b</sup>	PB <sup>a</sup>	DIVMS <sup>b</sup>	
		(%)				
<i>Acacia angustissima</i>	Sol	4,44b	35,63c	5,54b	42,27	
	Sombra	7,50a	45,17ab	6,25ab	42,12	
<i>Acacia auriculiformis</i>	Sol	4,37b	40,06b	5,40b	43,98	
	Sombra	8,81a	50,96 <sup>a</sup>	5,82ab	43,66	
<i>Acacia mangium</i>	Sol	4,37b	34,70c	5,39b	43,41	
	Sombra	7,3 a	48,76 <sup>a</sup>	7,61a	50,28	

<sup>a</sup>PB = Proteína Bruta, <sup>b</sup>DIVMS = Digestibilidade in vitro da Matéria Seca. Médias seguidas por letras diferentes, nas colunas, diferem significativamente entre si, de acordo com o teste de Tukey a 5%. Adaptado de: CARVALHO et al. (2001).

necessário convencer os agricultores da importância de utilizar leguminosas em seus sistemas de produção sempre que possível. Nesse ponto, os sistemas agroflorestais (SAF) podem ocupar papel de destaque, desde que a escolha das espécies, primeiro passo para o manejo bem sucedido do SAF, seja adequada, entendendo que o principal papel das leguminosas é o de “facilitadora” do sistema.

**Tabela 5** - Porcentagem de nitrogênio proveniente da atmosfera e nitrogênio fixado segundo técnicas de diluição isotópica de <sup>15</sup>N (DI) e abundância natural de <sup>15</sup>N ( $\delta^{15}\text{N}$ ) por diferentes espécies de leguminosas em diversos locais do mundo.

Espécie	País	Idade da Planta (anos)	N fixado		Método
			%	(kg ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> de N)	
<i>Acacia caven</i>	Chile	1	14	0,07	DI
<i>Acacia caven</i>	Chile	2	86	7,74	$\delta^{15}\text{N}$
<i>Acacia holosericea</i>	Senegal	10	39	nd	$\delta^{15}\text{N}$
	Brasil	nd	nd	6,4	-
<i>Acacia mangium</i>	-	2	50	nd	$\delta^{15}\text{N}$
<i>Acacia mearnsii</i>	Brasil	nd	nd	200	-
<i>Acacia melanoxylon</i>	Austrália	2,25	43	<0,43	$\delta^{15}\text{N}$
<i>Acacia mucronata</i>	Austrália	2,25	48	<0,48	$\delta^{15}\text{N}$
<i>Calliandra calothyrsus</i>	Austrália	1	50	38	$\delta^{15}\text{N}$
<i>Erythrina lanceolata</i>	Costa Rica	1	0-53	0-72	$\delta^{15}\text{N}$
<i>Faidherbia albina</i>	Senegal	1	15-23	nd	DI
<i>Flemingia macrophylla</i>	Burundi	1	nd	10	$\delta^{15}\text{N}$
<i>Gliricidia sepium</i>	Senegal	10	17	nd	$\delta^{15}\text{N}$
	Brasil	nd	nd	12,9	-
<i>Hardwickia binata</i>	Senegal	10	0-22	nd	$\delta^{15}\text{N}$
<i>Leucaena leucocephala</i>	Porto Rico	2	70	72,1	DI
<i>Prosopis alba</i>	Chile	1	25	0,1	DI
	Chile	2	52	0,936	DI
<i>Prosopis chilensis</i>	Chile	1	31	0,155	DI
	Chile	2	70	1,4	DI
<i>Prosopis cineraria</i>	Senegal	10	21	nd	$\delta^{15}\text{N}$
<i>Prosopis glandulosa</i>	U.S.A.	1	41-63	16,4-25,2	$\delta^{15}\text{N}$

nd = Não determinado. Adaptado de: CARDOSO et al. (1992) e SERRAJ (2004).

**Tabela 6** - Estimativa da FBN em leguminosas sob diferentes condições de ensaio.

Espécies	N <sub>2</sub> fixado		Período (Meses)	Condições do ensaio ou Parte da planta amostrada	Método
	kg ha <sup>-1</sup>	%			
<i>Acacia auriculiformis</i>	-	52-66	-	Folhas de árvores maduras	δ <sup>15</sup> N
<i>A. hereroensis</i>	-	49	-	Folhas de árvores maduras	δ <sup>15</sup> N
<i>A. holosericea</i>	3-6	30	7	Podas	δ <sup>15</sup> N
<i>A. melanoxylon</i>	46	43	27	Biomassa total	δ <sup>15</sup> N
<i>A. mellifera</i>	-	71	-	Folhas de árvores maduras	δ <sup>15</sup> N
<i>A. mucronata</i>	116	48	27	Biomassa total	δ <sup>15</sup> N
<i>Cajanus cajan</i>	-	65	-	Rebrota	δ <sup>15</sup> N
	71-118	53-72	6-9	Biomassa de área em recuperação	δ <sup>15</sup> N
<i>Calliandra calothyrsus</i>	-	0-14	-	Rebrota	δ <sup>15</sup> N
	1026	24-84	27	Podas	δ <sup>15</sup> N
<i>Crotalaria grahamiana</i>	116-162	36-80	6-9	Biomassa de área em recuperação	δ <sup>15</sup> N
<i>Desmodium rensonii</i>	-	68-84	-	Rebrota	δ <sup>15</sup> N
<i>Flemingia macrophylla</i>	27	24	12	Podas	δ <sup>15</sup> N
<i>Gliciridia sepium</i>	-	26-75	-	Rebrota	δ <sup>15</sup> N
	-	30-55	-	Planta de 1-3 anos	δ <sup>15</sup> N
	1063	56-89	27	Podas	δ <sup>15</sup> N
	146-204	54-92	12	Podas	δ <sup>15</sup> N
	19	37	12	Podas	δ <sup>15</sup> N
	70	44-58	7	Podas	δ <sup>15</sup> N
<i>Leucaena leucocephala</i>	224-274	56	-	Podas	Dif
	76-133	34-39	-	Podas	Dif
<i>Paraserianthes falcataria</i>	-	60-100	-	-	δ <sup>15</sup> N
	-	55	-	Folhas de árvores maduras	δ <sup>15</sup> N
<i>Sesbania grandiflora</i>	-	30	-	Folhas de árvores maduras	δ <sup>15</sup> N

δ<sup>15</sup>N = Abundância natural de N<sup>15</sup>; Dif = Diferença de N. Adaptado de: GILLER (2001).

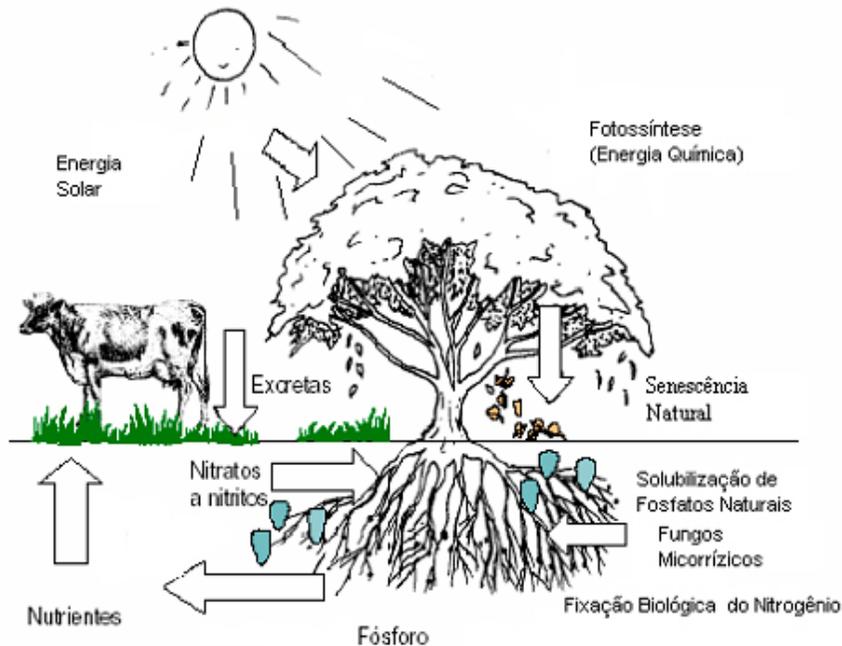
leguminosas arbóreas inoculadas e micorrizadas se apresentam como importante estratégia para manutenção e recuperação de pastagens degradadas, uma vez que podem adicionar ao sistema até 600 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de nitrogênio (SIQUEIRA & FRANCO, 1988).

Estudo realizado com pastagens degradadas de braquiária, em solos do cerrado, encontrou que o aumento da quantidade de N-disponível no sistema poderia elevar consideravelmente a produção das pastagens (EMBRAPA, 2001). MAHECHA et al. (1999), trabalhando na Colômbia, encontrou para o capim-estrela (*Cynodon plectostachyus*) um aumento de cerca de 40% na produção de massa seca quando associado a *Leucaena leucocephala* e *Prosopis juliflora* em relação à monocultura. A espécie *C. nlemfuensis* teve sua produção total de massa seca 50% maior quando associada com *Erythrina poeppigiana* do que em área sem a árvore (BUSTAMANTE et al., 1998).

Outro aspecto que vem sendo observado na associação leguminosa x pastagem é citado por CARVALHO et al. (2001) que, trabalhando com a introdução de leguminosas arbóreas em pastagens, constataram que, após 4 anos, a forrageira (*Brachiaria decumbens*) sob a copa das árvores apresentava-se sempre mais verde, com maior teor de proteína bruta (PB) e maior digestibilidade, avaliada *in vitro*, tanto na época seca quanto na chuvosa (Tabela 11). Efeitos semelhantes podem ser observados na Figura 2.

Estes valores mostram que a serapilheira depositada pelas leguminosas proporciona aumentos, principalmente nos teores de N e, conseqüentemente de proteínas, melhorando a qualidade da forragem ofertada, até mesmo na época seca (Tabela 11) (CARVALHO et al., 2001).

orgânica, composta principalmente, pela deposição de folhas, galhos e outros resíduos vegetais, formando a serapilheira que libera nutrientes para as plantas através do processo de decomposição (Figura 1). Se a formação de serapilheira diminui devido ao alto consumo da forragem pelos animais, não haverá nitrogênio suficiente para manter o ciclo e assim, a pastagem se degrada (BODDEY et al., 2001).



**Figura 1-** Ciclagem de nutrientes em um Sistema Silvopastoril. Adaptado de: MURGUEITIO et al. (1999).

Estudos de respostas de gramíneas forrageiras à aplicação de fertilizantes nitrogenados indicam que no Brasil as pastagens de gramíneas não adubadas com nitrogênio vêm produzindo somente 10 a 40% do obtido com adubo nitrogenado (VILELA & ALVIM, 1998). No entanto, a prática de adubação tem sido limitada, devido ao alto custo dos fertilizantes, principalmente o nitrogenado. Dessa forma, as

### 3. Escolha das leguminosas mais adequadas para Sistemas Agroflorestais

O papel de “facilitadoras” do sistema das leguminosas, se dá principalmente, através de podas de suas folhas e galhos, favorecendo a ciclagem de nutrientes. Para que essa função seja otimizada é importante que se caracterize localmente o comportamento das espécies quanto à capacidade de produzir biomassa vegetal, qualidade do material produzido, velocidade em que os nutrientes se tornam disponíveis para as culturas de interesse comercial, eficiência do sistema radicular em absorver nutrientes das camadas mais profundas do solo, rusticidade, capacidade de realizar FBN e, em se tratando de leguminosas arbóreas, à capacidade de rebrota após o corte. É importante frisar que os fatores edafoclimáticos de cada região devem ser considerados. A Embrapa Agrobiologia tem testado espécies de leguminosas em todas as regiões do território nacional e, com base nessas pesquisas, é possível indicar espécies para diferentes situações devendo-se ressaltar que as aqui indicadas não esgotam as possibilidades para cada localidade (Tabela 7).

Na escolha da espécie adequada, além da preocupação com a contribuição ecológica que este componente trará para o sistema, pode-se considerar ainda outras propriedades que trarão benefícios de cunho financeiro ao produtor, como por exemplo, da espécie ser melífera, frutífera, madeireira, atrativa da fauna silvestre, dentre outras. Algumas espécies utilizadas em sistemas agroflorestais e os usos que se pode obter delas, estão descritas na Tabela 8.

**Tabela 7-** Indicação de espécies considerando condições de solo e regiões climáticas.

Espécies definidas em função das condições de solo.	
Espécie	Nome vulgar
<b>Espécies tolerantes a solos salinos</b>	
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acácia auriculada
<i>Acacia mangium</i>	Acácia
<i>Albizia falcataria</i>	
<i>Albizia lebbek</i>	Coração de negro
<i>Inga edulis</i>	Ingá
<i>Mimosa caesapiniifolia</i>	Sabiá
<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba
<b>Espécies tolerantes a solos alcalinos</b>	
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acácia
<i>Prosopis cineraria</i>	
<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba
<b>Espécies tolerantes a solos pouco drenados</b>	
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acácia auriculada
<i>Acacia mangium</i>	Acácia
<i>Aeschynomene denticulata</i>	Paricazinho
<i>Aeschynomene fluminenses</i>	Paricazinho
<i>Chamaecrista nictitans var. praetexta</i>	Paricazinho
<i>Erythrina fusca</i>	Mulungu
<i>Inga spp</i>	Ingá
<i>Mimosa bimucronata</i>	Maricá
<i>Sesbania bispinosa</i>	Sesbania
<i>Sesbania grandiflora</i>	
<i>Sesbania sesban</i>	
<i>Sesbania virgata</i>	
Espécies definidas por regiões climáticas	
<b>Espécies para trópicos úmidos e sub-úmidos</b>	
<i>Acacia mangium</i>	Acácia
<i>Anadenanthera colubrina</i>	Angico
<i>Ateleia glazioviana</i>	Pau cabrito
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Orelha de negro
<i>Erythrina falcata</i>	Mulungu
<i>Inga sessilis</i>	Ingá
<i>Mimosa bimucronata</i>	Maricá
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga dos campos
<i>Parapiptadenia rigida</i>	Angico
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	Jacaré
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	Taxi
<b>Espécies para acima de 1.200 m de altitude</b>	
<i>Acacia mearnsii</i>	Acácia negra
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga dos campos
<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga
<b>Espécies para regiões semi-áridas</b>	
<i>Albizia lebbek</i>	Coração de negro
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu
<i>Mimosa tenuiflora</i>	Jurema preta
<i>Pithecellobium dulce</i>	
<i>Prosopis alba</i>	Alba, juliflora, chilensis
<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba

Adaptado de: FÁRIA & CAMPOLLO (2000).

podendo ser acessada pelo endereço: [http://www.cnpab.embrapa.br/adubacao\\_verde/](http://www.cnpab.embrapa.br/adubacao_verde/). Num futuro próximo, com a obtenção de novas informações agregadas às já catalogadas no banco de dados, objetiva-se chegar a um nível de conhecimento em que seja possível criar grupos de espécies com potenciais semelhantes de fertilização, de forma que seja viável a recomendação de um grupo de espécies para determinada situação de clima, solo, época do ano, região do país, entre outros.

## 5. Uso de leguminosas em sistemas silvipastoris

No Brasil e no mundo, diversas experiências sobre a utilização de leguminosas nos diferentes sistemas agroflorestais já foram relatadas e um dos exemplos que tem mostrado resultados satisfatórios é a arborização de pastagens.

A atividade pecuária ocupa papel de destaque no Brasil. Cerca de 200 milhões de hectares do território nacional são dedicados a esta prática (EMBRAPA, 2001). Porém, a expansão da bovinocultura no país se deu através da derrubada de extensas áreas de florestas naturais, caracterizando esta atividade pela monocultura de gramíneas, nativas e/ou cultivadas, numa pecuária com baixa produtividade, pouco uso de mão-de-obra e, salvo raras exceções, eliminando todas as árvores do sistema (FRANCO et al., 2003).

Como nas regiões tropicais a fertilidade dos solos é proveniente, principalmente, da manutenção da matéria orgânica do solo através da conservação da vegetação, a substituição dos sistemas naturais afeta todo o ecossistema, provocando a exposição direta do solo às chuvas, picos de temperatura e pisoteio animal, ocasionando alterações na estrutura do solo, na perda de sua fertilidade e diversidade de microrganismos. A consequência dessa estratégia de implantação de pastagens no Brasil é que aproximadamente 60% da área coberta com pastagens encontram-se com algum grau de degradação (EMBRAPA, 1995).

De acordo com EMBRAPA (2001), a degradação de pastagens tem início a partir da insuficiência nutricional, na qual o nitrogênio é o principal responsável. A fonte natural de N no solo é a matéria

decomposição dos resíduos vegetais para que a escolha das espécies “facilitadoras” e o planejamento das podas possam ser adequados. A Tabela 10 traz resultados de estudos de decomposição com diferentes plantas utilizadas como adubo verde. Espécies como *Gliricidia sepium* e *Erythrina poeppigiana*, ambas com um tempo de meia vida de 15 dias para liberação do nitrogênio (SILVA et al., 2004), podem ser utilizadas quando se objetiva um rápido fornecimento desse nutriente para o sistema. Em contrapartida, espécies como *Acacia auriculiformis* e *Acacia holosericea* têm um processo de liberação de nitrogênio mais lento, em torno de 128 e 197 dias, respectivamente (SILVA et al., 2006ab), são mais indicadas como cobertura do solo.

**Tabela 10.** Taxa de decomposição (k), Tempo de meia vida ( $t_{1/2}$ ) e Coeficiente de determinação ( $r^2$ ) da matéria seca e do nitrogênio total contido em leguminosas herbáceas e arbóreas.

Espécies	Parâmetros de Decomposição					
	Matéria Seca			Nitrogênio total		
	k	$t_{1/2}$ (dias)	$r^2$	k	$t_{1/2}$ (dias)	$r^2$
<i>Indigophera</i> sp. <sup>1</sup>	0,013	54	0,93***	0,017	41	0,94***
<i>Canavalia ensiformis</i> <sup>1</sup>	0,013	54	0,79**	0,015	46	0,92***
<i>Crotalaria juncea</i> <sup>1</sup>	0,014	50	0,99***	0,020	34	0,99***
<i>Gliricidia sepium</i> <sup>2</sup>	0,037	11	0,97**	0,056	19	0,98***
<i>Melia azedarach</i> <sup>2</sup>	0,022	31	0,90***	0,023	31	0,92***
<i>Arachis pinto</i> <sup>3</sup>	0,195	36	-	0,016	44	-
<i>Pueraria phaseoloides</i> <sup>3</sup>	0,010	68	-	0,006	110	-
<i>Macroptilium atropurpureum</i> <sup>3</sup>	0,010	67	-	0,008	86	-
<i>Crotalaria juncea</i> <sup>4</sup>	0,017	39	0,95**	0,047	15	0,93**

1- RESENDE et al. (2003); 2- NÓBREGA et al. (2003); 3- ESPINDOLA et al. (2004); 4- PERIN et al. (2004).

Na tentativa de reunir informações de diferentes experimentos sobre a caracterização de potenciais adubos verdes nas mais diversas situações de campo no território brasileiro, a Embrapa Agrobiologia vêm elaborando um banco de dados. Sua primeira versão ainda está em aprimoramento, mas já encontra-se disponível na internet,

**Tabela 8 -** Espécies da família Leguminosae e suas principais utilidades em SAFs.

Nome científico	Nome vulgar	Utilidade
<i>Arachis pinto</i>	Amendoim-forrageiro	Adubação verde, cobertura do solo
<i>Acacia angustissima</i>	Acácia	Adubação verde, sombreamento
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acácia-auriculada	Lenha, adubação verde
<i>Acacia holosericea</i>	Acácia	Adubação verde, sombreamento
<i>Acacia mangium</i>	Acácia	Madeiraira, sombreamento
<i>Acacia mearnsii</i>	Acácia negra	Madeiraira, extração de tanino, quebra-vento
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Angico	Madeiraira, sombreamento, biomassa
<i>Albizia lebbek</i>	Albizia	Adubação verde, sombreamento
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu	Adubação verde, alimentação humana e animal
<i>Canavalia brasiliensis</i>	Feijão de porco	Adubação verde
<i>Calliandra roustoniana</i>	Calliandra-candelabro	Sombreamento, ornamental
<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalaria	Adubação verde
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Orelha de negro	Apícola, madeiraira, sombreamento.
<i>Erythrina variegata</i>	Eritrina-variegada	Madeiraira, quebra-vento, alimentação animal, adubação verde, moirões vivos
<i>Gliricidia sepium</i>	Gliricídia	Sombreamento, adubação verde, forrageira, apícola, moirões vivos
<i>Inga edulis</i>	Ingá	Apícola, fauna silvestre, frutos, madeiraira, biomassa
<i>Inga semialata</i>	Ingá	Apícola, fauna silvestre, frutos, madeiraira, biomassa
<i>Leucaena leucocephala</i>	Leucena	Alimentação animal, adubação verde
<i>Mimosa flocculosa</i>	Bracatinga do campo mourão	Adubação verde, sombreamento
<i>Mimosa caesalpiniiifolia</i>	Sabiá	Apícola, forrageira, madeiraira, moirões
<i>Mimosa scabrella</i>	Bracatinga de campo mourão	Apícola, madeiraira,
<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba	Biomassa, sombreamento
<i>Schizolobium parahyba</i>	Guapuruvu	Artesanato, sombreamento
<i>Sesbania virgata</i>	Sesbania	Adubação verde

Adaptado de: LORENZI (1992, 1998); LORENZI et al. (2003).

Das espécies descritas na Tabela 8, apenas *Schizolobium parahyba*, não nodula. Todas as demais espécies mencionadas realizam associações com bactérias, nodulando e fixando o nitrogênio da atmosfera, apresentando-se com potencial para serem implantadas em SAFs com a finalidade de contribuírem no fornecimento de nutrientes, principalmente o nitrogênio.

#### 4. Potencial das leguminosas como fonte de nutrientes

Um aspecto importante no manejo de sistemas agroflorestais, que visa potencializar a eficiência do processo de ciclagem de nutrientes, é associar o período de maior disponibilidade de nutrientes no sistema, normalmente proveniente de práticas como a poda, com a demanda da cultura de interesse comercial.

Em se tratando de sistemas convencionais de produção, pode-se dizer que estudos sobre a curva de crescimento e demanda nutricional de espécies comerciais são muito comuns na literatura. Informações sobre o pico de absorção de nutrientes do milho, do arroz, do feijão, da soja, da cana, etc são bem consolidadas. Essas informações permitiram que a pesquisa identificasse o período ideal de aplicação de fertilizantes solúveis (que estão prontamente disponíveis), suas doses e necessidade de parcelamento. O sucesso da agricultura se deve em grande parte a essas informações (URQUIAGA & ZAPATA, 2000).

No entanto, em Sistemas Agroflorestais, a principal entrada de nutrientes ocorre via decomposição de biomassa, estando os elementos essenciais ao desenvolvimento vegetal associados aos tecidos vegetais, e, portanto, não estando prontamente disponíveis para a cultura de interesse comercial. Assim, é imprescindível que se conheça bem os processos de decomposição do material vegetal utilizado como adubo verde e também a velocidade com que os nutrientes presentes nesse material são liberados para o sistema. Se houver alta taxa de mineralização desses nutrientes antes ou depois do crescimento logarítmico da cultura, pode haver perdas por lixiviação e outros processos. Desta maneira, é importante buscar a sincronia entre o pico de absorção de nutrientes pela cultura de interesse com o momento de maior disponibilidade de nutrientes pelo adubo verde (STUTE & POSNER, 1995). Sob as mesmas condições de clima e solo, a velocidade de decomposição dos resíduos e a liberação de nutrientes são influenciadas pela soma de muitos fatores, como as características químicas do material, teores de N, lignina e polifenol e as relações C:N, lignina:N, polifenol:N e (lignina + polifenóis):N (PALM & SANCHEZ, 1991), associados à atuação de macro e microrganismos (CORREIA & ANDRADE, 1999).

Conhecer o potencial de fertilização das espécies através da decomposição de seus resíduos passa, inicialmente, pela caracterização química dessas espécies. Na Tabela 9 pode-se observar os teores de polifenol, N, Ca, Mg, P e K e a relação C:N de folhas maduras de 20 leguminosas arbóreas amostradas num sistema silvipastoril em Seropédica, RJ, a partir de trabalho de SILVA et al. (2004).

**Tabela 9** - Teores de polifenol, nitrogênio (N), cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) e potássio (K) e relação C:N, contidos no tecido foliar de 20 leguminosas arbóreas.

Espécies	Polifenol	N	%				C:N
			Ca	Mg	P	K	
<i>Acacia angustissima</i>	14,63	3,83	0,51	0,17	0,18	0,50	11,9
<i>Acacia auriculiformis</i>	11,29	2,08	0,68	0,31	0,04	0,40	22,3
<i>Acacia holosericea</i>	10,10	2,13	0,34	0,25	0,04	0,24	21,4
<i>Acacia mangium</i>	11,12	2,70	0,66	0,18	0,07	0,63	16,9
<i>Albizia guachapele</i>	7,82	3,30	0,54	0,18	0,05	0,41	13,8
<i>Albizia lebbbeck</i>	5,07	3,67	0,28	0,15	0,03	0,29	12,5
<i>Albizia saman</i>	3,65	3,40	0,99	0,11	0,07	0,44	13,3
<i>Centrolobium tomentosum</i>	7,61	2,64	0,54	0,10	0,02	0,17	17,2
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	5,79	2,96	0,21	0,21	0,04	0,35	15,2
<i>Erythrina poeppigiana</i>	6,28	3,57	0,61	0,26	0,05	0,24	12,7
<i>Gliricidia sepium</i>	5,34	2,71	0,66	0,26	0,06	0,38	17,6
<i>Inga semialata</i>	12,22	2,41	0,49	0,14	0,06	0,24	19,2
<i>Leucaena leucocephala</i>	14,54	3,68	0,76	0,22	0,05	0,36	12,3
<i>Machaerium isadelphum</i>	14,51	2,60	0,74	0,21	0,08	0,59	17,5
<i>Mimosa artemisiana</i>	14,88	2,63	0,53	0,15	0,04	0,25	17,3
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	10,70	2,29	0,42	0,22	0,04	0,25	19,9
<i>Mimosa tenuiflora</i>	11,77	2,27	0,31	0,11	0,03	0,36	19,9
<i>Peltophorum dubium</i>	19,26	1,99	0,71	0,27	0,10	0,40	24,5
<i>Schizolobium parahyba</i>	7,23	2,91	1,08	0,21	0,13	0,56	16,4
<i>Senna siamea</i>	8,04	2,69	2,17	0,19	0,09	0,23	16,8

Adaptado de: SILVA et al. (2004).

No entanto, somente conhecer as características químicas das plantas não é suficiente. Faz-se necessário entender os processos de