

A validação de ferramentas metodológicas para a pesquisa agrônômica em meio real: O modelo STICS e a avaliação agrônômica do plantio associado entre a bananeira (*Musa acuminata* cultivar Cavendish "Grande Naine") e o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* (L.) D. C.).

■ Luis Mauro Santos Silva

### Resumo

Através de uma cooperação entre a UFPA / CA / NEAF / MAFDS e o INRA de Guadalupe - França, o presente artigo aborda uma temática agrônômica que vem ganhando destaque em vários Institutos de Pesquisa do mundo. Trata-se da construção de ferramentas de análise para os diversos sistemas de cultivos agrícolas e ainda a construção de referenciais técnicos em meio real. Nesta análise, a base de conhecimentos agrônômicos nos campos experimentais tem um papel fundamental (os modelos gerais de funcionamento da planta), porém carecem de uma maior aproximação da realidade das parcelas dos agricultores, ou seja, considerar a ampla diversidade do meio cultivado e seus processos produtivos. E nesta linha, se propõe a aplicação / validação

### Abstract

Through a study carried out with the cooperation amongst UFPA / CA / NEAF / MAFDS, LASAT and URAPC -INRA , Guadalupe - France, this article aims to examine a new agronomical approach that has been highlighted lately by several Research Institutes all over the world: the construction of new analysis tools for different sets of farming systems as well as the development of technical referencial in real environment.

According to this analysis, the basis of agronomical knowledge in experimental fields has a fundamental role in generating vegetation functioning models, but lacks a closer approach of farmers' reality - underestimating the enormous diversity of arable/cultivated/ cropping environment and its complex interrelations with production processes.

de modelizadores de agroecossistemas que possam garantir o caráter da complexidade destes sistemas de cultivo e refletir sobre as possibilidades de adaptação de ferramentas de análise utilizadas em meio controlado (campo experimental) para um estudo de parcelas cultivadas por agricultores.

Neste caso particular, aplicouse um modelo de simulação de agroecossistemas (o modelo STICS), no mesmo momento em que se realizou um estudo experimental em três parcelas de bananeiras. Foram estudadas algumas possibilidades de realização do consórcio da bananeira com leguminosa e, ao mesmo tempo, validou-se o uso da modelização como ferramenta eficaz na construção de possíveis cenários de novos agroecossistemas sustentáveis.

In this sense, this article presents and validates agronomical and economic system modeling processes that contemplate the complexity of farming systems and deliberate over the realistic possibilities of adaptation in a field cultivated by farmers of experimental field tested analysis tools.

In this case study, a farming system simulation model (STICS model) was applied while an empiric research was being undertaken in a three banana treatments.

Some possibilities of banana and leguminosae association systems have been assessed. Meanwhile, the use of agronomical modeling have also been evaluated and validated as an effective tool for developing new possible sustainable agronomical and economic systems scenarios.

## 1 Problemática abordada

A pesquisa agronômica tem consolidado uma ampla base de conhecimentos referente ao modelo de agricultura com altos níveis de intervenção no meio cultivado. Esta base tem sido concebida nos moldes tradicionais dos campos experimentais. Porém, um novo desafio se coloca com muito mais ênfase: a necessidade de vulgarização das técnicas de manejo concebidas nos institutos de pesquisa.

Neste sentido, alguns estudos agronômicos têm investido fortemente na possibilidade de reduzir a distância entre o campo experimental e o meio real. E a adaptação de ferramentas metodológicas clássicas parece ser um caminho interessante de ser trilhado, visando uma utilização mais eficaz dos conhecimentos acumulados pelos métodos clássicos (ensaios experimentais). E, por conseguinte, os profissionais de ciências agrárias devem assumir um importante papel na concepção de sistemas de cultivos mais adaptados às diversas situações de meio agro-climático e práticas de intervenção agrícola. Porém, dispomos ainda de limitadas ferramentas que simulem e/ou testem novos referenciais técnicos de produção.

Diante do contexto acima, a implantação de ensaios experimentais ainda mantém-se como a base da concepção dos modelos agronômicos, embora apresente sérios limites quanto ao seu grau de representatividade em meio real.

Muito se tem avançado em termos de reflexões científicas sobre as limitações embutidas nos ensaios agronômicos clássicos (meio controlado) e sua posterior aplicação em meio real (parcelas dos agricultores em contextos específicos). Podemos citar algumas destas limitações relacionadas à representatividade, como: a) a grande heterogeneidade existente em termos de agro-ecossistemas, mesmo em uma pequena região; b) as diferentes situações climáticas com características cíclicas e; c) as diferentes práticas agrícolas exercidas pelos agricultores, ligadas intrinsecamente aos aspectos ambientais, econômicos e sociais, etc.

A evolução deste debate tem reforçado a aplicação de novas ferramentas que aumentem a eficiência dos ensaios agronômicos, na proposição de alternativas técnicas para as diferentes realidades dos agricultores. E a modelização do sistema água-solo-planta tem um papel importante nesta nova leitura da exploração agrícola.

Sobre ensaios de uso de modelização, STICS é um modelo que vem sendo testado e validado em regiões temperadas, desde o final da década de 80, com resultados muito promissores para a construção de cenários na produção agrícola. Ele possibilita a variação de fatores e condições do meio cultivado (solo e clima), as espécies cultivadas e em alguns casos a associação de espécies, e ainda possibilita a simulação da mudança de técnicas de intervenção na parcela cultivada.

Em se tratando de adaptação e validação do modelo STICS para cultivos tropicais, o presente estudo busca iniciar uma reflexão sobre as possibilidades do uso do mesmo como ferramenta de análise agrônômica tanto de sistemas de cultivo simples (monocultivo) quanto de sistemas mais complexos (espécies associadas).

O marco inicial desta construção tem sido a busca de sistemas de cultivo da banana mais sustentáveis que os sistemas convencionais (monocultivo), pois o mesmo vem causando conseqüências ambientais desastrosas e, muitas vezes, impedindo uma exploração continuada de uma mesma área. A redução do rendimento final deste cultivo representa um imediato prejuízo econômico, onde a diminuição do rendimento da bananeira é uma conseqüência a médio e longo prazo devido, principalmente, as limitações físico-químicas do solo e a rápida degradação do sistema radicular, agravada pela ação de parasitas do solo (nematóides, fungos, etc.) (DOREL, 1993).

Em virtudes destas limitações, várias iniciativas existem no sentido de minimizar as perdas agrônômicas e os impactos ambientais negativos, se destacando o melhoramento e a modificação genética, e ainda a associação deste cultivo com espécies leguminosas. Porém, uma das grandes dificuldades de avaliarmos os novos sistemas de cultivo alternativos concentra-se na falta de referenciais agrônômicos relacionados principalmente com o funcionamento de sistemas de cultivo associados, especialmente relacionados aos fatores e condições que interferem diretamente na definição do rendimento da espécie principal, ou seja, a nutrição mineral e hídrica e a demanda por energia luminosa.

## ***1.2 Alguns princípios que norteiam o diagnóstico agrônômico e o uso da modelização***

A análise da elaboração do rendimento, via compreensão dos processos de crescimento e desenvolvimento do vegetal é uma proposta metodológica já bastante aplicada tanto em parcelas de estudo

de uma leitura retrospectiva dos fenômenos envolvidos no processo de formação da produção final da planta, procurando identificar exatamente quando e como ocorreram limitações no rendimento final. Diversos autores têm participado nesta construção teórica e validação de metodologias de cunho sistêmico (SEBILLOTTE, 1974; MEYNARD & SEBILLOTTE, 1983; JOUVE, 1984; MEYNARD, 1985; MEYNARD & DAVID, 1987; FABRI *et al.*, 1992, DE REYNAL, 1993; Diouf, 1990; JANNOYER, 1995; JULLIEN, 2000; entre outros).

Segundo Jouve (1992, 32), os princípios que norteiam o diagnóstico da elaboração do rendimento são três:

- I - O rendimento final de um cultivo é o produto de uma série de componentes: estes são elaborados ao longo do ciclo da planta, seguindo processos específicos. Assim podemos, a partir do rendimento final, decompô-los em vários elementos (ex. número de plantas/m<sup>2</sup>; número de frutos/planta; peso do fruto);
- II - A elaboração de cada componente depende de um certo número de fatores e condições do meio: podemos afirmar que o número de plantas está em função da densidade do plantio e das condições da germinação e de crescimento das mesmas (temperatura, umidade, estrutura do solo, etc.);
- III - Os fatores e condições do meio são dependentes parcialmente das técnicas aplicadas no cultivo: as condições de germinação e crescimento da planta dependem do preparo do solo, como também a data de plantio e o modo de plantar.

Portanto, trata-se de uma leitura agrônômica, baseada na transversalidade existente entre as várias disciplinas das ciências naturais, recompondo a complexidade existente em uma atividade agrícola que objetiva uma determinada produção vegetal. Podemos ainda afirmar que o próprio diagnóstico agrônômico pode ser baseado, muitas vezes, em modelizações simples (lineares) que relacionam fatores do meio e fases do crescimento/desenvolvimento da planta. Podemos citar como exemplo, as diversas relações do balanço hídrico com a produção de biomassa.

Bonhomme *et. al.* (1995) destacam que o desenvolvimento de modelizações mais complexas tem possibilitado uma maior compreensão da complexidade dos sistemas agrícolas, tanto na escala da parcela como as possibilidades de extrapolação em escala regional. E assim, todos os modelos criados podem ser decompostos em três grandes módulos:

- 1) **Módulo Fenológico** - O ciclo da planta é uma sucessão de aparição e evolução de órgãos.
- 2) **Módulo da Produção e definição dos órgãos** - a produção fotossintética será orientada pelos diferentes órgãos e suas diferentes prioridades no tempo.
- 3) **Módulo das limitações** - Os estrangimentos do meio terão impactos diferenciados sobre os estados da população vegetal. Estes podem ser hídricos, minerais, fitossanitários, etc.

Citando Parnaudeau *et al.* (2001), o modelo STICS<sup>1</sup> simula os principais processos do solo, como a transformação do nitrogênio (mineralização e transformação orgânica). Também trata os processos nutricionais da planta (absorção de água e minerais pelas plantas), como o fluxo da água no agroecossistema (evaporação, transpiração e drenagem). Neste modelo, o solo é considerado um reservatório com suas várias camadas (horizontes), onde cada horizonte é caracterizado pelo seu teor de água e nitrogênio mineral. O STICS é um modelo do tipo *engineering* (PASSIOURA, 1996) que considera os principais indicadores da planta, do solo e climático, para a produção de matéria seca. Seus dados de entrada são relativamente simples. Sua primeira validação foi realizada para sistemas de cultivo em solo com apenas duas espécies de cultivo (trigo e milho) (BRISSON, 1998) e sem considerar os efeitos das adventícias. Depois o STICS foi parametrado para o cultivo associado de colza e centeio devido a grande capacidade destas espécies em cobrir todo o solo.

Além do STICS, vários tipos de modelos aplicados à produção agrícola são desenvolvidos e validados atualmente, como: CANEGO, APSIM-SUGAR, Q-CANE e MOSICAS (Martine, 2000) e SARRA (BARON *et al.* 2000), etc. A maioria destes modelos funciona segundo uma mesma lógica, ou seja, fazem a associação entre o crescimento do cultivo vegetal e o balanço hídrico e/ou nutricional do sistema água-solo-planta. Lembrando sempre que a elaboração da dinâmica da biomassa resulta de 3 processos básicos: a) a interceptação da radiação pela superfície foliar; b) a conversão da radiação interceptada em biomassa aérea e; c) a repartição interna da biomassa produzida. Segundo as necessidades de crescimento, a biomassa pode ser repartida na estrutura da planta: as folhas, caule e raízes (captadores) e nas fibras do caule (órgãos de sustentação e estocagem). Nesta lógica, o índice foliar calculado permite definir as necessidades hídricas da planta (MARTINE, 2000).

1 STICS significa iSimulateur Multidisciplinaire pour les Cultures Standard ou na língua portuguesa: Simulador Multidisciplinar para as Culturas Standard.

O modelo STICS vem sendo testado e validado desde o final da década de 80, com resultados muito promissores para a construção de cenários na produção agrícola. Ele possibilita a variação de fatores e condições do meio cultivado (solo e clima), as espécies cultivadas e em alguns casos a associação de espécies. E ainda possibilita a simulação da mudança de técnicas de intervenção na parcela cultivada.

Em termos de resultados, podemos citar:

- para o modelo MILHO, ele é capaz de estimar a produção com um erro menor que 7,2 kg/ha;

- para o SORGO, este erro está na faixa de 9,5 kg/ha;

- Devido sua generalização, o STICS permite uma utilização como ferramenta de apoio ao aconselhamento técnico tanto na escala da parcela agrícola, quanto em uma escala regional (TAYOT *et al.* 1999).

Atualmente este modelo passa por novas adaptações, principalmente na formalização de sistemas de cultivo associado (Brisson, 1998). E no caso da associação banana e feijão-de-porco, este ainda se encontra em fase de adaptação, pois se tem a base do modelo puro (monocultivo) e atualmente se tenta incorporar as duas espécies em um mesmo modelo.

O modelo STICS está escrito na linguagem FORTRAN 77 e pode funcionar sobre um microcomputador padrão compatível PC dentro de um ambiente Windows. E a versão 4.0 resultou de uma reunião em set / 1998 do grupo STICS.

### ***1.3 A previsão do rendimento final da bananeira: a biomassa como indicador-chave do diagnóstico agrônômico***

Jannoyer (1995) ressalta a importância de acompanhar os níveis de matéria seca total da planta, sendo este um indicador primordial para a previsão antecipada do rendimento potencial da bananeira. Podemos ter uma noção do rendimento tão logo se inicia a fase reprodutiva da bananeira. Isto se deve principalmente ao fato de se tratar de uma espécie monocotiledônea de crescimento determinado. E este componente nos mostra o limite potencial da produção de frutos da bananeira, sendo o mesmo visualizado após a saída do cacho do pseudocaule. Porém, o rendimento potencial da bananeira é definido bem antes da saída da inflorescência. Em outras palavras, o início da diferenciação floral (fenômeno interno à planta) é marcado pela definição prévia da quantidade de reserva que a planta dispõe para o enchimento dos frutos. E, neste momento, já se tem definido o teor de nitrogênio que influencia diretamente na definição antecipada do número de flores femininas a serem formadas na futura inflorescência.

## 2 Objetivo do estudo

O presente estudo buscou validar o modelo STICS, avaliando os efeitos da competição por fatores de crescimento e de desenvolvimento (água, nitrogênio e energia solar), evidenciados no cultivo associado entre a bananeira (*Musa acuminata* cv. Cavendish "Grande Naine") e o feijão-de-porco (*Canavalia ensiformes* (L.) D. C.), através da elaboração do rendimento da primeira espécie, ao longo do primeiro ciclo de vida da bananeira.

## 3 Os passos metodológicos

Foi estabelecida a associação entre o feijão-de-porco e a bananeira, comparando a mesma com o monocultivo. Privilegiou-se a fase vegetativa do ciclo da bananeira porque é durante esta fase que a bananeira constrói sua capacidade de reservas de fotoassimilados e, conseqüentemente, define o seu potencial de produção e enchimento dos frutos.

Além do monocultivo (parcela testemunha), definiu-se mais duas parcelas associadas com o feijão-de-porco: 1) o plantio simultâneo das duas espécies e; 2) o plantio de feijão-de-porco e, após 02 meses, a introdução da bananeira.

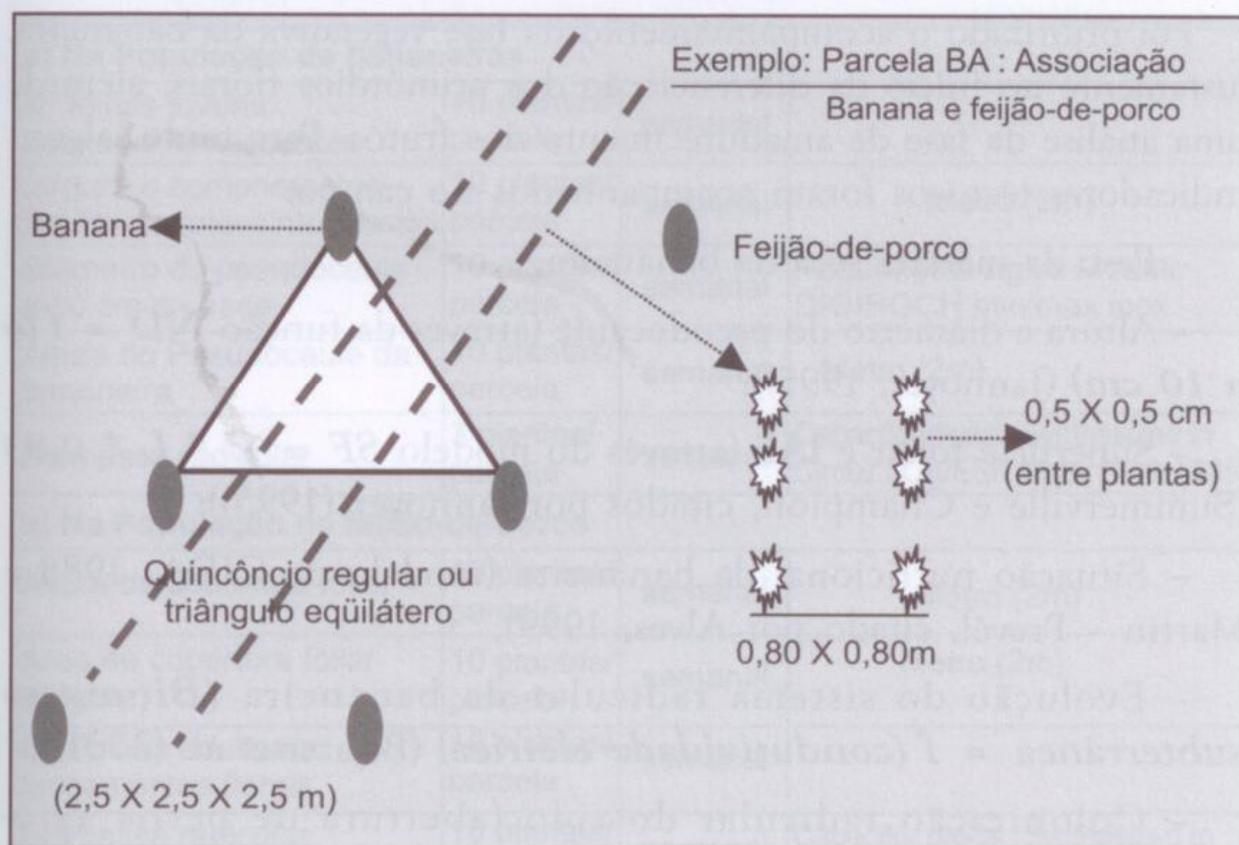
**Quadro 1** Dispositivo Experimental - Parcela 27-A, INRA - Antilhas/Guianas, Domaine Duclos, Petit-Bourg, em Guadalupe.

Termo de Comparação	Cód.	Característica	tamanho da parcela	Nº de plantas por tratamento*
Banana pura (Monocultivo)	BP	Simulação de um monocultivo	663 m <sup>2</sup>	105 mudas de bananeira
Consórcio com plantio na mesma data	BA	Competição progressiva ao longo do ciclo	663 m <sup>2</sup>	105 mudas de bananeira; 2655 plantas de feijão-de-porco
Consórcio com plantio da banana após 60 dias	BA 60	Competição intensa no estabelecimento da bananeira	663 m <sup>2</sup>	105 mudas de bananeira; 2655 plantas de feijão-de-porco
<b>TOTAL</b>	<b>03</b>	—	<b>49 X 39 m (1900 m<sup>2</sup>)</b>	<b>315 mudas de bananeira 7965 plantas** de F. de porco</b>

\* Densidade do plantio: Banana = 1890 ptas/ha e Canavalia = 25.000 ptas/ha.

\*\* Utilizou-se cerca de 12kg de sementes de feijão-de-porco para o plantio (relação com

O desenho espacial do plantio foi definido em forma de quincôncio ou triângulo eqüilátero, conforme exemplo abaixo.



**Figura 1** Disposição espacial do plantio das espécies.

Além de uma coleta semanal de dados sobre o crescimento das duas espécies, a cada 02 meses foram coletados dados (de forma destrutiva) sobre a produção de matéria seca, como a superfície foliar e análise nutricional das plantas. Após a análise agrônômica da fase vegetativa, que durou cerca de sete meses, aplicou-se a modelização dos sistemas de cultivo estudados<sup>2</sup>, comparando algumas simulações de manejo diferenciados (ex. com ou sem adubação e irrigação) buscando comparar as possíveis diferenças no rendimento final da bananeira, além de outros indicadores sobre os fatores de crescimento das plantas.

Através da ferramenta do diagnóstico agrônômico baseado na análise da elaboração do rendimento através de seus componentes, foram perseguidas as explicações sobre as possíveis variações dos rendimentos da bananeira, no tempo e no espaço, identificando e hierarquizando os principais entraves agrônômicos ao «funcionamento» das populações vegetais estudadas. Esta etapa de coleta e registro de dados reais também foi fundamental para uma

2 Para a modelizaÁ o foi adaptado e utilizado o Modelo STICS, concebido pela equipe do INRA

fase posterior de validação do modelo STICS, possibilitando uma simulação mais precisa de manejos diferenciados do cultivo da bananeira (pura ou associada).

Foi priorizado o acompanhamento da fase vegetativa da bananeira, justamente no início da diferenciação dos primórdios florais, além de uma análise da fase de amadurecimento dos frutos. Para tanto, alguns indicadores técnicos foram acompanhados no campo:

- Peso da matéria seca da bananeira;
- Altura e diâmetro do pseudocaule (através da função  $ND = f(\theta \text{ a } 10 \text{ cm})$  (Jannoyer, 1995));
- Superfície foliar e IAF (através do modelo  $SF = C * L * 0,83$  (Summerville e Champion, citados por Jannoyer (1995));
- Situação nutricional da bananeira (modelo da CIDA, 1988 e Martin - Prevél, citado por Alves, 1999);
- Evolução do sistema radicular da bananeira ( $Biomassa \text{ subterrânea} = f(\text{condutividade elétrica})$  (Bajazet et al. (2001));
- Colonização radicular do solo (abertura de perfis agro-pedológicos nas parcelas cultivadas);

### 3.1 A análise da elaboração do rendimento das parcelas estudadas

A análise inicial da elaboração do rendimento da bananeira foi realizada pelo desmembramento de alguns de seus indicadores vegetativos, e comparando-os nas três situações de desenvolvimento acompanhadas. Primeiramente procurou-se evidenciar as situações claras de limitações durante o ciclo vegetativo que pudessem apontar diferenças no rendimento final da bananeira. Em seguida foram estabelecidas relações entre as populações vegetais e as condições de crescimento e desenvolvimento da mesma (clima, solo e os estados de competição pelos fatores de crescimento).

Para efeito de comparação estatística de médias, optou-se pelo Teste "T" (Student), cuja fórmula é a seguinte:

$$t = (m_A - m_B) \div \text{RQ} [(s^2/n_A) + (s^2/n_B)]$$

**Quadro 2** Dados coletados durante o ciclo vegetativo da bananeira, de forma não destrutiva nas parcelas comparadas.

Variável	Tamanho da amostra	freqüência	Equipamentos e utensílios
<b>a) Na População de bananeiras</b>			
Nº folhas jovens, adultas e senescentes	10 plantas/parcela	semanal	-
Largura e comprimentos das folhas fotossintetizantes	10 plantas/parcela	semanal	Metro (2m)
Diâmetro do pseudocaule a 10 cm da base	10 plantas/parcela	semanal	Paquímetro digital Modelo DIGIROCH minimax inox
Altura do Pseudocaule da bananeira	10 plantas/parcela	semanal	Metro (2m)
Biomassa radicular	3 plantas/parcela	semanal	Capacitor digital (Synthesized In Circuit LCR/ESR Meter Model 885)
<b>a) Na População de feijão-de-porco</b>			
Altura da cobertura foliar	10 plantas/parcela	semanal	Metro (2m)
Área de cobertura foliar (largura)	10 plantas/parcela	semanal	Metro (2m)
Nº Folhas adultas e lançamentos florais	10 plantas/parcela	semanal	-
Biomassa radicular	10 plantas/parcela	semanal	Capacitor digital (Synthesized In Circuit LCR/ESR Meter Model 885)

**Quadro 3** Dados coletados bimensalmente nas parcelas comparadas

Variável	Tamanho amostra	Freqüência	Equipamento e utensílios
Superfície Foliar dabananeira	3 plantas/parcela	No Plantio, aos 60 e 150 dias do ciclo	Planímetro Modelo AREA METER Tipo LI-3100
MST acumulada na parte aérea (3 medições)	3 plantas/parcela	No Plantio, aos 60 e 150 dias do ciclo	- Balança digital de precisão decimal Modelo METTLER Tipo PM 4000
MST acumulada nas raízes (3 medições)	3 plantas/parcela	No Plantio, aos 60 e 150 dias do ciclo	- Estufa de ventilação forçada Modelo MPC Tipo S 2000
Análise de NPK na parte aérea	3 plantas/parcela	No Plantio, aos 60 e 150 dias do ciclo	Laboratório de análise química – INRA / URAPC Duclos
Evolução do Sist. Radicular	2 plantas/parcela	Na época de saída da inflorescência da bananeira	- Tela de nylon graduada a cada 10 cm - Câmera fotonumérica
Estimação e medição da biomassa radicular da bananeira	Plantio em vasos	De 10 em 10 dias	- Capacitor digital (Synthesized In Circuit LCR/ESR Meter Model 885) - Coleta e pesagem das raízes.

Após a realização do diagnóstico agrônômico do funcionamento do povoamento vegetal, se fez necessário analisar as perspectivas do rendimento final das mesmas. Para tanto, a modelização dos sistemas de cultivo possibilitou a simulação do final do ciclo.

Esta etapa da análise foi subdividida em duas etapas fundamentais:

- a) a **validação do Modelo STICS**: entrada dos dados reais no modelo e comparar os resultados reais com os dados simulados pelo modelo e;
- b) a **simulação do final do ciclo**: testar variações do manejo, introduzindo práticas como adubação nitrogenada e irrigação tanto no monocultivo quanto na associação.

#### 4 Alguns dos resultados alcançados

Após o período de acompanhamento, a data de estabelecimento da associação se mostrou determinante para o sucesso do cultivo associado. Podemos destacar que a associação entre a bananeira e o feijão-de-porco não causou limitações estatisticamente significativas na produção de biomassa ( $4,2 \text{ ton ha}^{-1}$ ), quando comparada com o monocultivo ( $4,5 \text{ ton ha}^{-1}$ ). A redução do número de capinas também foi um indicador animador do sistema de cultivo associado. Por outro lado, quando a bananeira foi plantada 60 dias após a leguminosa, ela apresentou sérias limitações na produção de biomassa ( $2,7 \text{ ton ha}^{-1}$ ). Esta limitação esteve ligada com o estado de competição na produção de biomassa, devido principalmente à agressividade com que o feijão-de-porco recobre toda a parcela. O feijão-de-porco alcançou uma altura de 74 cm, ou seja, bem superior a da muda da bananeira (29 cm).

A partir deste resultado, se optou por comparar apenas as parcelas BP e BA, devido o baixo rendimento e a dificuldade de entrar com os dados da associação BA 60 no modelo STICS.

##### *4.1 Apresentando alguns elementos de análise: a aplicação do diagnóstico agrônômico*

Sobre a produção de matéria seca, o monocultivo (parcela BP) não diferenciou estatisticamente da primeira associação da bananeira com o feijão-de-porco (parcela BA), apresentando capacidades de produção de reservas muito próximas. Estas afirmações são demonstradas no Quadro 4, onde a grande atenção tem que ser dada em relação ao alto coeficiente de variação da parcela do monocultivo (BP).

**Quadro 4** Comparação de indicadores ligados ao rendimento da bananeira, em dois momentos da fase vegetativa.

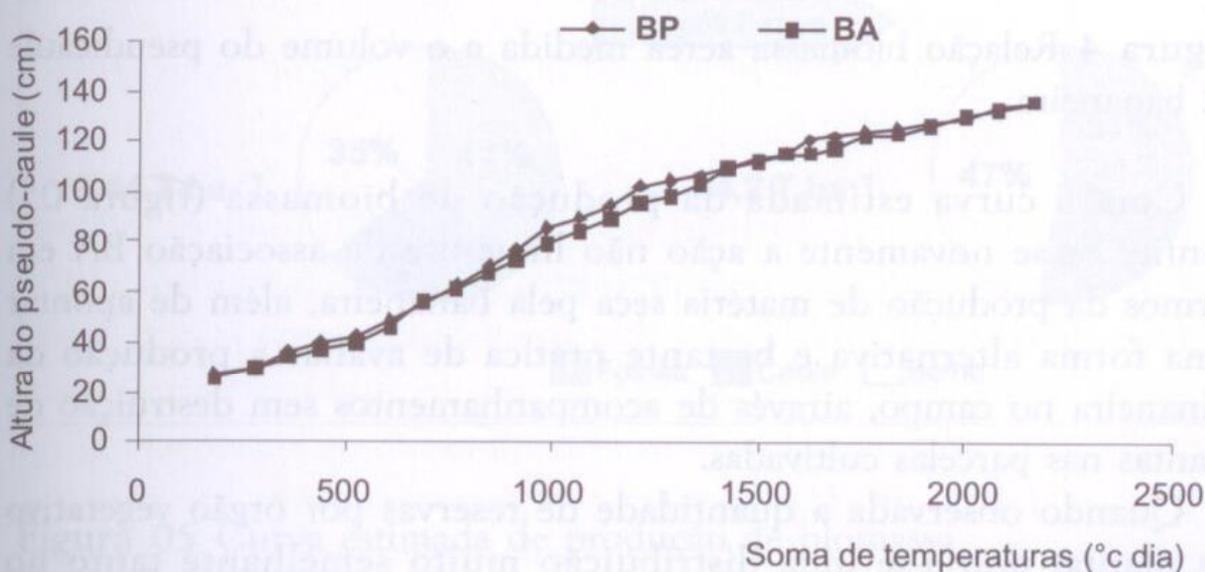
Idade pós plantio		MST (ton / ha) após 07 meses do plantio							Tamanho da amostra
		Folha	CV	Pseudocaule	CV	Bulbo	CV	Total	
2 meses	BP	0,18 a	41	0,11 a	37	0,15 a	38	0,44 a	03
	BA	0,18 a	11	0,11 a	11	0,16 a	9,0	0,45 a	03
7 meses	BP	1,10 a*	6,3	1,10 a	11,7	2,50	21,4	4,80 a	03
	BA	1,30 a	27	0,90 a	5,9	2,00 a	1,5	4,20 a	03

\*Valores seguidos de letras iguais não diferem entre si pelo teste T ( $p < 0,01$ ).

#### 4.1.1 O aumento do volume do pseudocaule e a estimação da biomassa aérea

No caso da bananeira, existe uma forte relação entre a produção de folhas e o volume do pseudocaule da planta. Isto ocorre pelo simples fato de que o falso tronco (ou charuto foliar) determina a capacidade de produção e emissão foliar da planta.

Observando as Figuras 02 e 03, os números indicaram um ritmo de crescimento muito próximo do charuto entre BP e BA, destacando-se uma tendência de estabilidade do aumento do volume após os 1900 °C dia (190 dias). E seguindo a evolução do volume da planta, validou-se um modelo de estimação da biomassa da bananeira ao longo do ciclo vegetativo (figura 04).



**Figura 2** Relação biomassa aérea medida e o volume do pseudocaule da bananeira

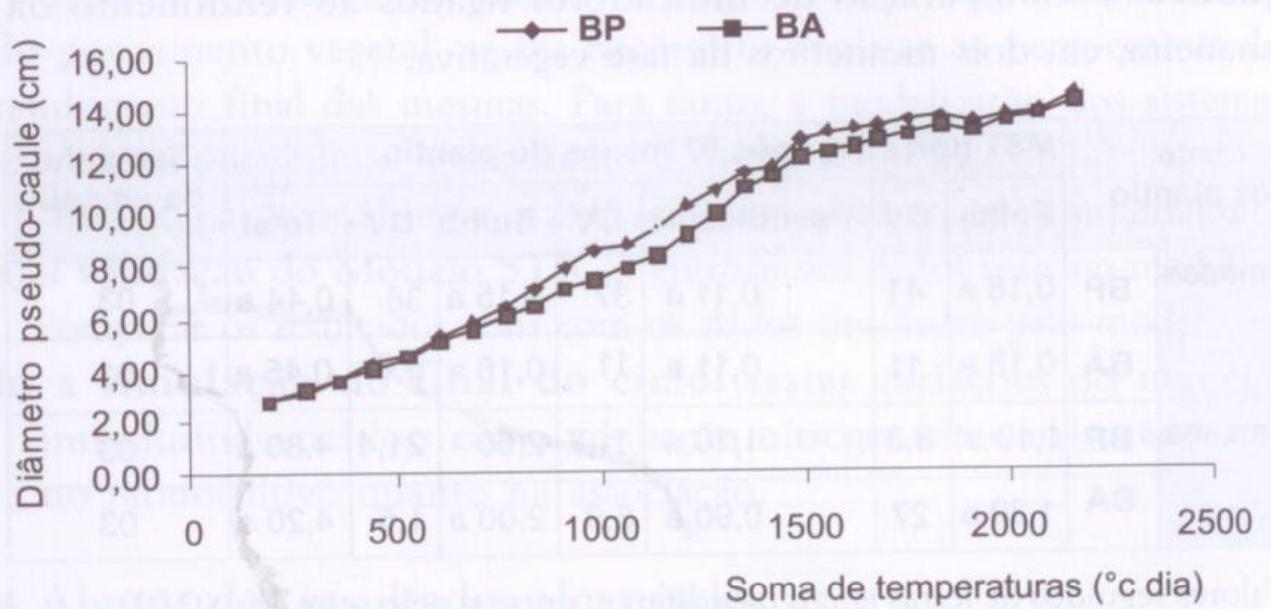


Figura 3 Evolução do diâmetro da bananeira

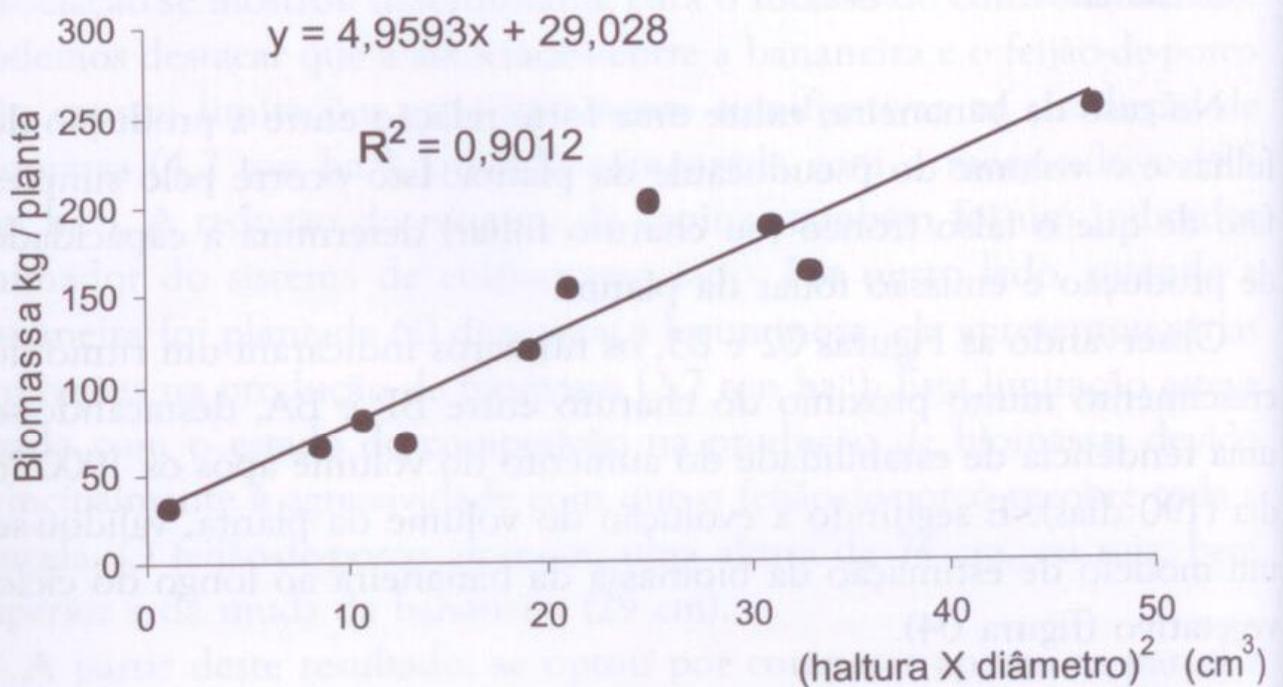


Figura 4 Relação biomassa aérea medida e o volume do pseudicaule da bananeira.

Com a curva estimada da produção de biomassa (figura 05) confirmou-se novamente a ação não limitante da associação BA em termos da produção de matéria seca pela bananeira, além de apontar uma forma alternativa e bastante prática de avaliar a produção da bananeira no campo, através de acompanhamentos sem destruição de plantas nas parcelas cultivadas.

Quando observada a quantidade de reservas por órgão vegetativo da planta, notou-se uma distribuição muito semelhante tanto no monocultivo quanto na associação, provando novamente que o funcionamento fisiológico da bananeira associada não sofre alterações

Durante os primeiros meses, as folhas concentram o maior percentual de biomassa, confirmando a importância de uma produção eficiente de superfície foliar para a manutenção das reservas fotossintéticas. Já no sétimo mês, quando a planta estabilizou seu desenvolvimento foliar, as folhas passam a participar de forma menos representativa na acumulação de reservas, ficando o bulbo (e raízes superficiais) com este papel. O menor percentual de biomassa do pseudocaule também pode ser traduzido pela fase de menor emissão de folhas pela planta, devido à planta já estar alcançando uma superfície fotossintética estável (lançamento de uma folha por semana).

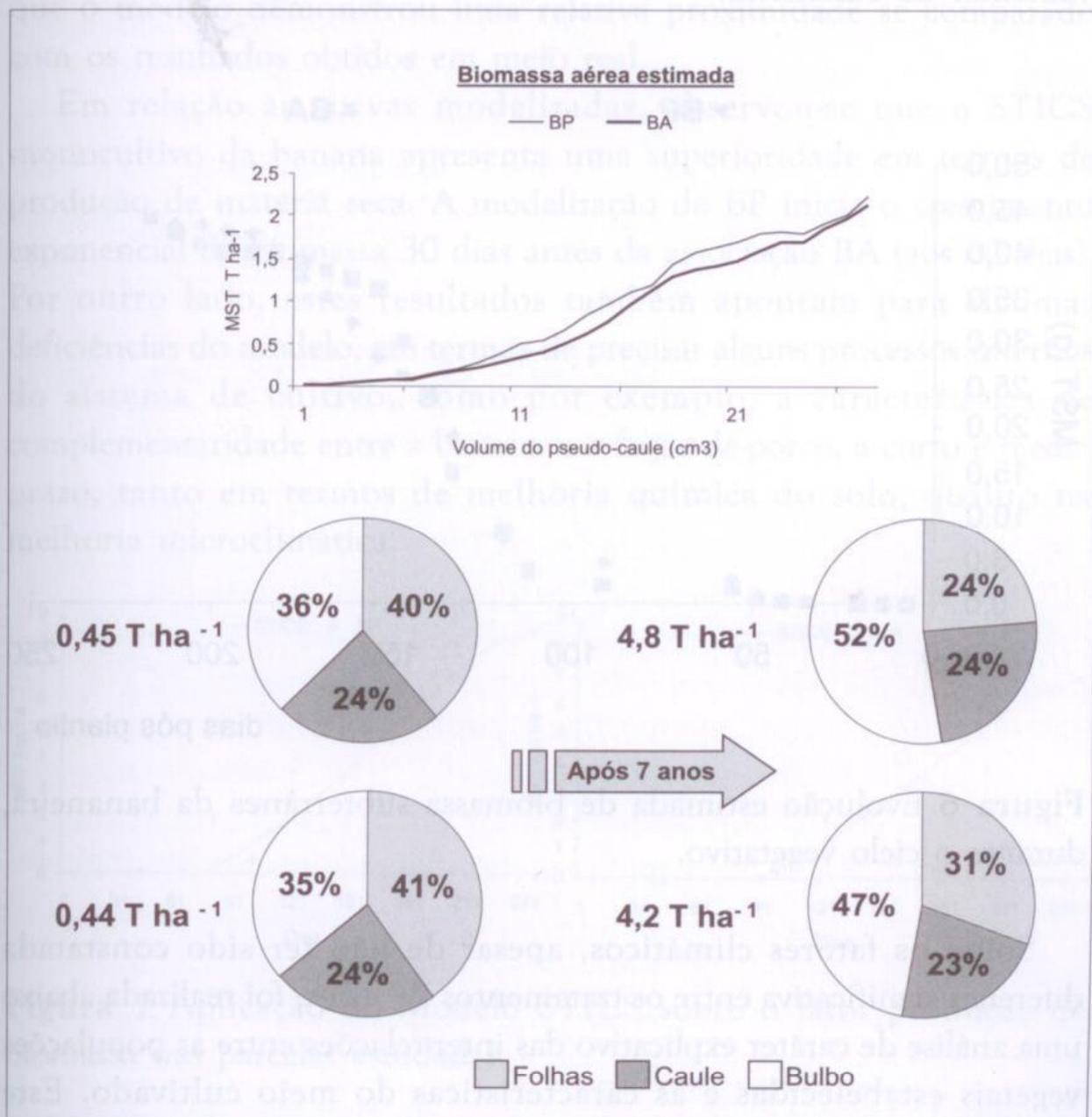
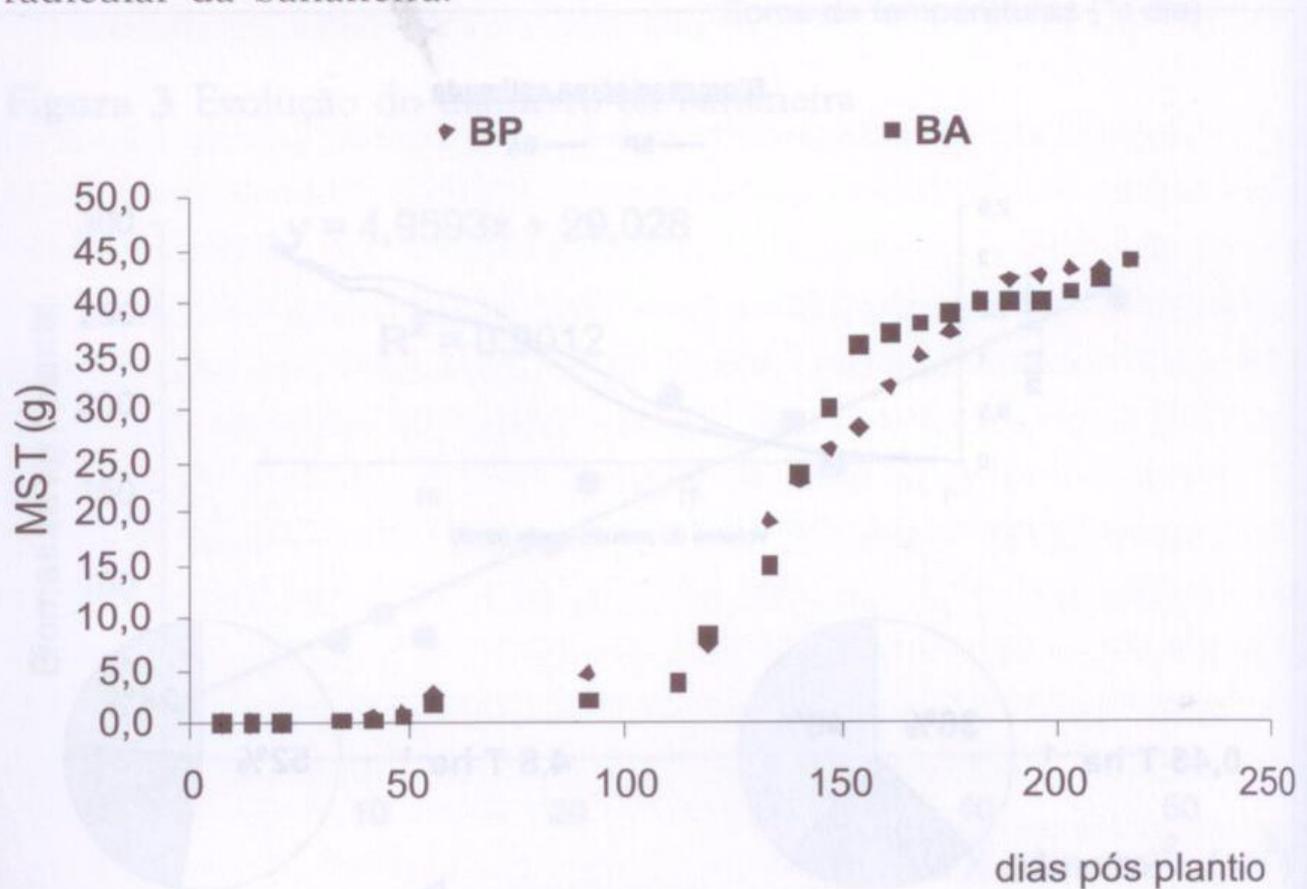


Figura 05 Curva estimada de produção de biomassa

## 4.2 Estimando a biomassa subterrânea da bananeira

A figura 06 ilustra bem os resultados em termos de evolução do sistema radicular da bananeira nas duas primeiras parcelas. Esta curva, quando comparada com a curva da biomassa aérea, demonstra uma grande proximidade, pelo menos em termos do ritmo de crescimento ao longo do período acompanhado. Cabe ressaltar que o método de medir a diferença de condutividade elétrica do solo e planta ainda necessita de uma validação para uma maior confiabilidade de seus resultados quanto à estimação do sistema radicular da bananeira.



**Figura 6** Evolução estimada de biomassa subterrânea da bananeira, durante o ciclo vegetativo.

Sobre os fatores climáticos, apesar de não ter sido constatada diferença significativa entre os tratamentos BP e BA, foi realizada abaixo uma análise de caráter explicativo das inter-relações entre as populações vegetais estabelecidas e as características do meio cultivado. Este procedimento auxiliou um melhor entendimento da influência edafoclimática e das práticas sobre o comportamento do cultivo, possibilitando a visualização dos fatores que mais afetaram o rendimento em biomassa da bananeira.

### 4.3 Validando o Modelo STICS

Uma etapa importante no uso do modelo foi a de testar (validar) a pertinência dos dados gerados pelo mesmo. E para tanto, se estabeleceu uma comparação entre a curva de STICS com os dados reais coletados nas parcelas estudadas, privilegiando no caso da bananeira três indicadores do ciclo:

(A) **A produção de biomassa:** a figura 07 demonstra uma proximidade entre a curva modelizada pelo STICS e os dados medidos durante o ciclo vegetativo das parcelas. Desta forma podemos considerar que o modelo demonstrou uma relativa proximidade se comparado com os resultados obtidos em meio real.

Em relação às curvas modelizadas, observou-se que o STICS monocultivo da banana apresenta uma superioridade em termos de produção de matéria seca. A modelização de BP inicia o crescimento exponencial de biomassa 30 dias antes da associação BA (aos 60 dias). Por outro lado, estes resultados também apontam para algumas deficiências do modelo, em termos de precisar alguns processos internos do sistema de cultivo, como por exemplo, a característica de complementaridade entre a banana e o feijão-de-porco, a curto e médio prazo, tanto em termos de melhoria química do solo, quanto na melhoria microclimática.

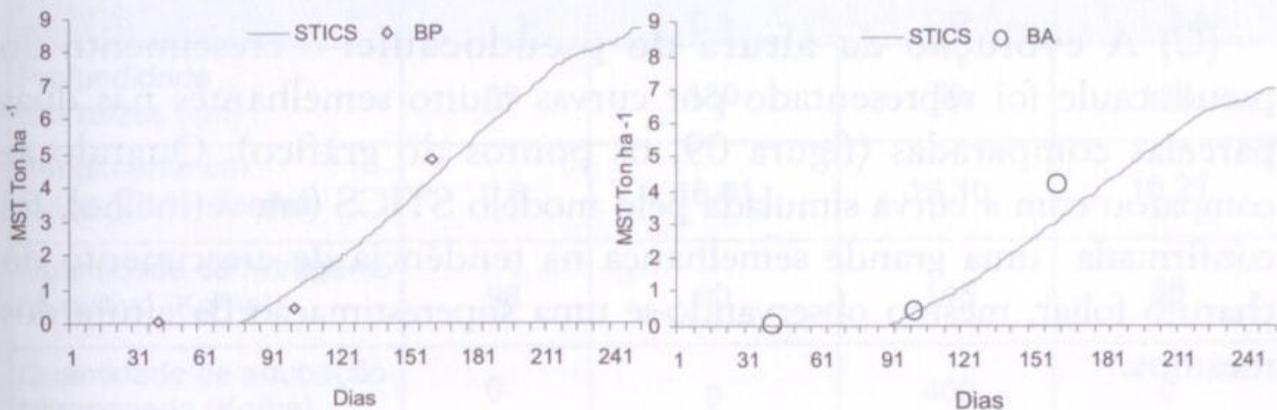
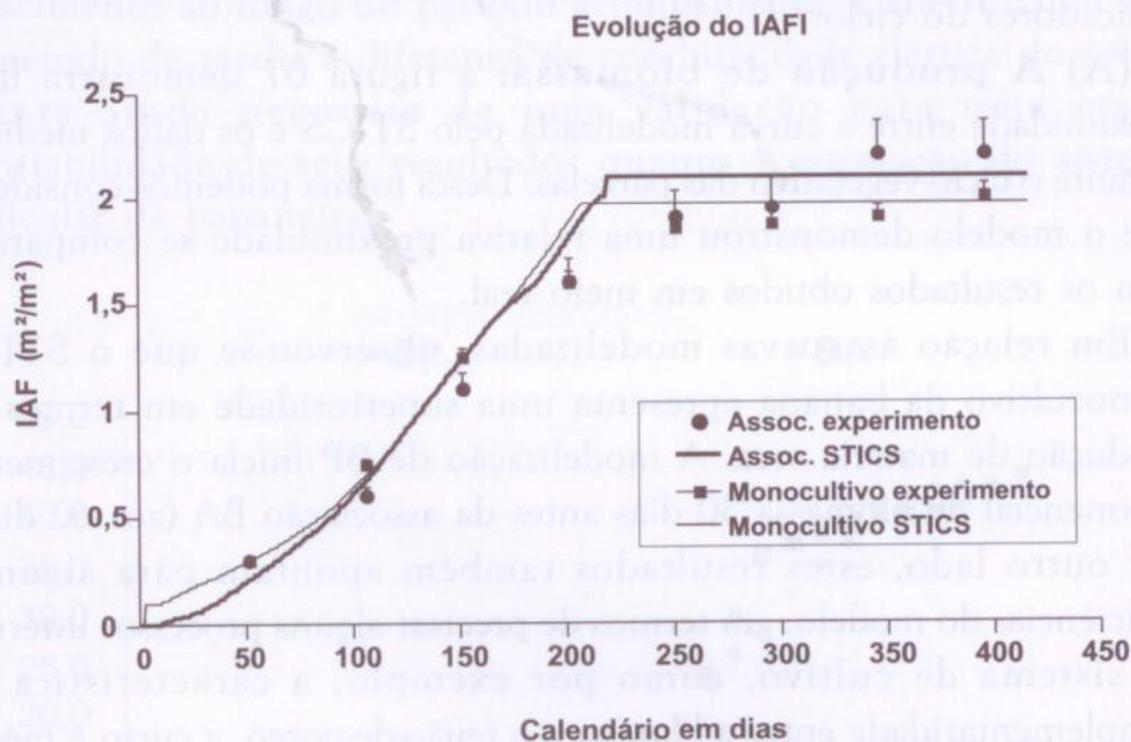


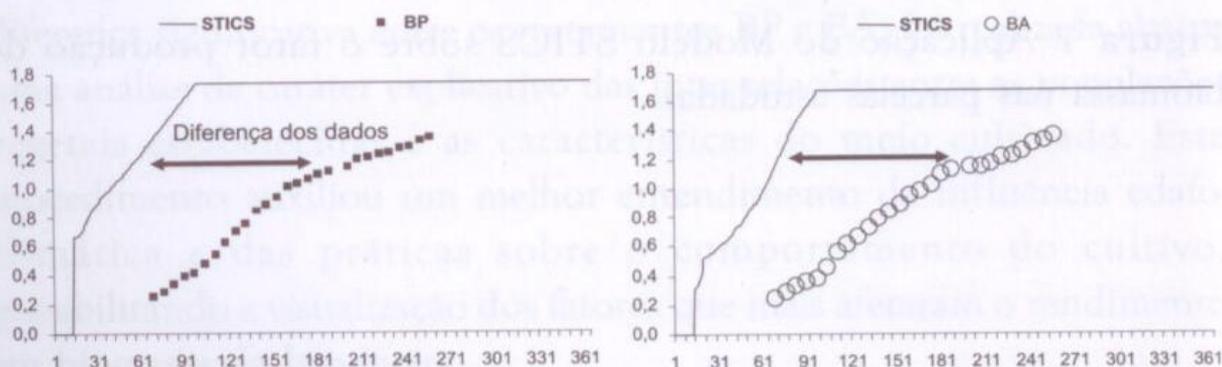
Figura 7 Aplicação do Modelo STICS sobre o fator produção de biomassa nas parcelas estudadas.

(B) **A evolução do índice de área foliar:** A figura 08 demonstra a evolução medida e simulada do IAF para os dois tratamentos. Para a banana associada, notamos uma ligeira superestimação do modelo STICS durante a fase de forte metabolismo, devido principalmente a uma necessidade de calibração de STICS no tocante ao efeito de competição promovido pela presença da leguminosa.



**Figura 8** Evolução dos índices foliares medidos (I) e simulados (--) para o monocultivo (I) e associação (I).

(C) **A evolução da altura do pseudocaule:** o crescimento do pseudocaule foi representado por curvas muito semelhantes nas duas parcelas comparadas (figura 09, os pontos do gráfico). Quando se comparou com a curva simulada pelo modelo STICS (em vermelho), foi confirmada uma grande semelhança na tendência de crescimento do charuto foliar, mesmo observando-se uma superestimação da altura dos mesmos.



**Figura 9** Aplicação do Modelo STICS sobre o fator altura do pseudocaule nas parcelas estudadas

Portanto, podemos considerar um percentual de superestimação do modelo em torno de 20%. E esta ferramenta de simulação permitiu a construção de algumas simulações de sistemas de manejo diferenciados (as simulações ou cenários de manejo no cultivo da bananeira).

#### 4.4 As simulações geradas pelo modelo STICS

Na fase de modelização, chegou-se a uma leitura dos resultados próxima aos obtidos no campo experimental. Conforme a modelização com STICS, o rendimento em frutos do monocultivo com adubação (400 Kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio) e irrigação (133 mm) apresentou um rendimento de 28 ton ha<sup>-1</sup>, representando um aumento superior a 60% quando comparado com o rendimento esperado nas condições reais (19 ton ha<sup>-1</sup>). Já o rendimento em frutos da associação, apresentou o mesmo resultado com e sem adubação e irrigação (16 ton ha<sup>-1</sup>), apontado assim uma possível compensação no sistema associado.

**Quadro 5** Simulações de manejo do cultivo da bananeira - aplicação do Modelo STICS para as parcelas BP e BA.

Alguns indicadores	Simulação tipo "A" (Sem irrigação e adubação)		Simulação tipo "B" (Com irrigação e adubação)	
	P	BA	BP	BA
Profundidade das raízes (cm)	59	130	59	132
Rendimento em frutos (78 %) Ton/há	9,6	16,01	28,10	16,21
Quantidade de Nitrogênio no cultivo (Kg/ha)	98	90	145	98
Quantidade de adubação Nitrogenada (Kg/ha)	0	0	400	0
Balanço do Nitrogênio na parcela (Kg/ha)	347-347= 0	3063-2824=239	31953.203= 8	3195-2848=347
Quantidade de água irrigada (mm)	0	0	133	133
Temperatura acumulada ao final do ciclo vegetativo (C° dia)	2 714	2726	2712	2719
Duração do ciclo da bananeira (dias)	240	239	242	238

Portanto, o modelo STICS demonstrou grandes possibilidades de adaptação para a simulação de novos sistemas de cultivos alternativos para a produção de banana.

A fase de calibração e validação do modelo foi fundamental para a maior confiabilidade dos dados de saída destes cenários lógicos. No caso deste estudo, o modelo ainda demonstra limitações na sua aplicabilidade em sistemas de cultivos onde a espécie principal encontra-se em um estrato inferior ao da espécie secundária.

#### 4.4.1 Atividade biológica do solo

Considerando uma maior colonização radicular da associação (figura 11), o modelo supõe que os efeitos positivos nas características do solo cultivado serão bem mais interessantes nesta parcela, no segundo e terceiro ciclo da mesma parcela. Também o incremento nitrogenado da ação simbiótica das bactérias junto ao sistema radicular da leguminosa (cerca de 140 Kg / ha), proporcionou uma atividade biológica intensa a mais de 1 metro de profundidade, além de garantir uma mobilização de elementos nutricionais das camadas mais profundas.

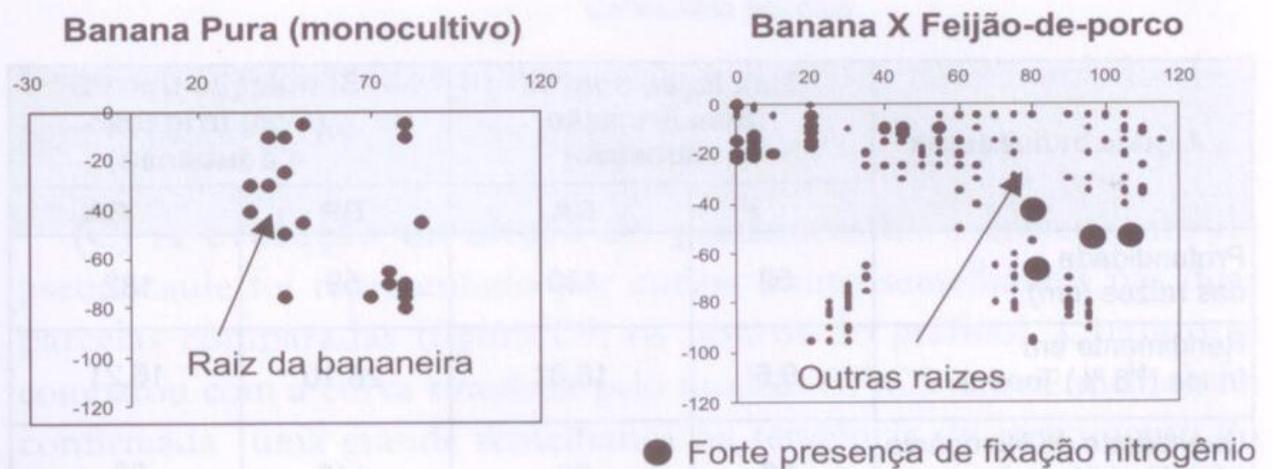


Figura 10 Perfil agropedológico das parcelas BP e BA, após 7 meses do plantio.

## 4.2 O Balanço do Nitrogênio

Após realizar as simulações (quadro 05), a associação ainda supera o monocultivo em termos de produção e mobilização do nitrogênio. Quando observamos a necessidade de adubação, constatamos que, mesmo no modelo com adubação, a associação dispensa este tipo de intervenção, pois disponibiliza quantidades suficientes para um bom funcionamento da bananeira em relação a este nutriente.

Por outro lado, apesar de boa parte deste nitrogênio encontrar-se imobilizado pela leguminosa (partes aéreas e raízes). A associação consegue disponibilizá-lo tanto em curto prazo (reciclagem via morte das raízes e seus nódulos), quanto a médio e longo prazo (via incorporação de 1,5 ton/ha de matéria seca, produzida pelo feijão-deporco). Fora isto, as perdas do nitrogênio pela lixiviação foram inferior na associação (66 Kg / ha), sendo apontadas como inferiores às estimadas para o monocultivo (93 Kg / ha).

Na comparação das simulações do monocultivo da banana, observou-se que a adubação nitrogenada é decisiva na definição do rendimento final da mesma, pois no sistema de cultivo adubado (simulação tipo "B"), o monocultivo utilizou 400 Kg / ha de adubação nitrogenada para garantir um rendimento de quase o dobro que o monocultivo sem adubação.

#### **4.4.3 A demanda Hídrica**

Embora a reserva hídrica utilizada pela planta tenha apresentado pequenas variações entre os 04 manejos comparados (a associação com uma demanda levemente superior), observou-se que tanto o monocultivo quanto a associação demandaram 133 mm de irrigação no modelo STICS, apontando assim uma possível necessidade de reposição hídrica para um melhor funcionamento fisiológico das bananeiras, nas condições reais do estudo (simulação tipo "A").

Em relação aos outros fatores como temperatura e radiação absorvida, notou-se que tanto o monocultivo quanto a associação BA mostraram resultados muito próximos. Talvez precisamos frisar uma maior demanda hídrica por parte da parcela associada, sendo este aumento imposto pela alta atividade fotossintética de ambas as espécies combinadas.

Porém, o modelo demonstra uma limitação na definição exata da temperatura acumulada ao final do ciclo reprodutivo, pois se acredita que a temperatura acumulada pela planta na parcela estudada, ultrapassou os 3.000°C dia, após o ciclo vegetativo.

### **5 À guisa de conclusão**

Após a análise dos resultados, foi constatado que a associação entre a bananeira e o feijão-deporco não causou limitações na produção de biomassa (4,2 ton ha<sup>-1</sup>), quando comparada com o monocultivo (4,5 ton ha<sup>-1</sup>). A redução do número de capinas também foi um indicador animador deste sistema de cultivo alternativo.

Por outro lado, quando a bananeira foi plantada 60 dias após a leguminosa, apresentou uma séria limitação na produção de biomassa ( $2,7 \text{ ton/ha}^{-1}$ ). Esta limitação se deveu ao estado de forte competição devido à agressividade com que o feijão-de-porco, recobrando toda a parcela e alcançando uma altura (74 cm) superior que a muda de banana (29 cm).

Portanto, a data de estabelecimento da associação foi determinante para o sucesso do cultivo associado. E no caso deste estudo, o plantio simultâneo das duas espécies não causou limitações no rendimento potencial da bananeira.

Em relação à primeira parte da metodologia aplicada - o diagnóstico agrônomo -, a mesma foi eficiente para a avaliação do ciclo vegetativo da associação estudada, ficando a necessidade de continuidade de acompanhamento do ciclo reprodutivo para a confirmação dos resultados em termos de formação e produção de frutos (final do ciclo).

Na fase de modelização, chegou-se a uma leitura dos resultados próxima dos resultados obtidos no campo. Em termos de rendimento em frutos, o monocultivo com adubação ( $400 \text{ kg / ha}$  de nitrogênio) e irrigação (133 mm) teve um aumento de quase o dobro do rendimento ( $28 \text{ ton ha}^{-1}$ ) quando comparada com a parcela nas condições reais do experimento ( $19,6 \text{ ton ha}^{-1}$ ). Já o rendimento em frutos da associação, o resultado foi próximo entre os dois cenários testados - modelo com e sem adubação e irrigação (em torno de  $16 \text{ ton ha}^{-1}$ ).

No tocante as simulações realizadas, se confirmaram algumas das vantagens da associação, principalmente na redução da adubação nitrogenada aplicada nos sistemas convencionais de cultivo.

A decisão de utilizar algumas formas de estimar indicadores dos componentes de rendimento da bananeira foi de fundamental importância, pois possibilitaram testar ferramentas para futuros diagnósticos deste cultivo em áreas de agricultores, utilizando alguns indicadores agrônômicos existentes sobre a bananeira.

De uma forma geral, o modelo STICS proporcionou uma simulação interessante dos agroecossistemas estudados. Esta simulação mostrou uma gama de heterogeneidade ligada ao desvio padrão, tornando possível uma melhoria dos parâmetros N° de frutos e os outros sub-componentes que afetaram significativamente os dois tratamentos (diferenças de crescimento em altura, variação micro-climática, efeitos de estresse durante o ciclo, etc.).

Com uma calibragem mais afinada, o modelo STICS permite uma boa estimativa da produção da bananeira, seja no monocultivo ou no

cultivo associado, ajudando no estabelecimento de estratégias de intervenção mais adequadas a partir de simulações (climáticas, de intervenção técnica, etc.) (quadro 07).

**Quadro 7** Síntese de algumas vantagens e desvantagens observadas durante o acompanhamento do ciclo vegetativo da associação banana x feijão-de-porco e aplicação do modelo STICS

Indicadores	Vantagens	Desvantagens
<b>Estado do povoamento vegetal</b>	Redução da presença de adventícias na parcela.	Competição entre as espécies associadas.
<b>Produção de biomassa</b>	Mantém os mesmos níveis do monocultivo da bananeira, no caso da associação simultânea.	Drástica redução da produção da bananeira, quando a bananeira é introduzida após dois meses do feijão-de-porco.
<b>Clima</b>	Provável melhoria nas condições de temperatura da parcela.	Aumento na demanda hídrica na parcela associada.
<b>Estado nutricional do solo</b>	Provável melhoria a médio e longo prazo.	Aumento da demanda por nutrientes, em curto prazo.
<b>Estado estrutural do solo</b>	Melhoria em longo prazo, via maior colonização radicular do feijão-de-porco (chegando até a 120 cm de profundidade).	Maior pressão radicular nos primeiros 35 cm do solo.
<b>Estado hídrico do solo</b>	-----	Aumento considerável da demanda hídrica pela associação
<b>Atividade biológica do solo</b>	Intensa atividade biológica até 120 cm de profundidade	-----
<b>Controle de adventícias</b>	Redução de 50% no número de capinas	Maior dificuldade de transitar dentro da parcela
<b>Adubação</b>	Boa participação do feijão-de-porco como adubo verde, a médio e longo prazo (a verificar, futuramente)	Pouca contribuição da leguminosa, em curto prazo.

Portanto, é possível visualizar vantagens na utilização da modelização apoiando estudos comparativos de agrossistemas alternativos (por ex. cultivos associados).

Outra forma interessante da aplicação de modelos como o STICS, como a que vem sendo consolidada pelo INRA, no apoio a tomada de decisões de agricultores, para a definição e teste de novos sistemas de

## ■ Referências Bibliográficas

ALVES, E. J. **A cultura da bananeira**: aspectos técnicos, sócio-econômicos e agro-industriais. Organizado por Élio José Alves - 2. Ed., rev. - Brasília: Embrapa-SPI, Cruz das Almas: Embrapa-CNPMPF, p.233-235, 1999.

BARON C.; REYNIERS, F. N.; CLOPES, A & FOREST, F. Applications du logiciel SARRA à l'étude de risques climatiques. **Agriculture et Développement**, France, p. 89-96. 2000.

BAJAZET, T.; OZIER-LAFONTAINE, H. E RAPHAEL, L. Effect of position and plant electrodes when measuring the electrical of the root system of maize. (Article soumis dans **Agronomy Journal**), 2001.

BONHOMME, R; DROUET, J-L & AMÉGLIO, T. Introduction à la modélisation du fonctionnement physiologique d'un couvert. In: ACTES DE L'ECOLE-CHERCHEURS INRA EN BIOCLIMATOLOGIE. Tome 01: de la plante au couvert, Le Croisic, p. 647-669, 1995.

BORGES, A.L. SOUZA, L. DA S.; ALVES, E.J. Coberturas vegetais do solo na produção da bananeira I ciclo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13, 1996, Águas de Lindóia, SP. **Resumos expandidos**, Águas de Lindóia, SBCS, 1996 (Trabalho publicado em CD Rom).

BRISSON, N. **STICS-APC**: l'adaptation d'un modèle de culture pure aux cultures associées et à certaines composantes de l'agronomie tropicale. Rapport de Travail, INRA-URAPC, Guadeloupe, 52p. 1998.

CHAMPION, J. e CHARPENTIER, J. M. La position des feuilles de bananier Poyo, **Fruits**, 25 (7-8), p.508-510, 1970.

CHAMPION, J. **Le bananier**. Collection Techniques agricoles et productions tropicales, G.P. Maisonneuve et Larose, Paris, France, 263 p. 1963.

CHAUVET, Y. **Cartographie et caracterisation des sols d'un Domaine Agricole Experimental**, en milieu ferrallitique tropical.

DE REYNAL, V. (organizador). **Elementos de Agronomia**. Vol. 1: **Elaboração do rendimento (apostila DAZ)**. Belém, 73p., 1993.

DIOUF, M. **Analyse de l'élaboration du rendement du mil** (*Pennisetum typhoides* Stapf et Hubb.): mise au point d'une methode de diagnostic en parcelles paysannes. INAP-G, France, These, 227p., 1990.

DOREL, M. Développement du bananier dans un andosol de Guadeloupe: effet de la compacité du sol. In: SPÉCIAL BANANES II **TECHNIQUES DE PLANTATION EN BANANERAIES INDUSTRIELLES**. **Fruits**, vol. 48, n. 2, p. 83-87, 1993.

FABRI, C.; VEIGA JR, I & OZIER-LAFONTAINE, H. Diagnóstico agrônômico do arroz na Micro-região de Marabá (Pará-Brasil): primeiros resultados e metodologia. In: ACTES DU SEMINAIRE **AGRICULTURE FAMILIALE ET DEVELOPPEMENT RURAL EN AMAZONIE ORIENTALE**. n. hors série, d'Agricultures Paysannes et Développement: Caraïbe - Amérique Tropicale. Pointe-à-Pitre (Guadeloupe), SACAD - DAC. p.143-158, 1992.

GANRY, J. **Action de la température et du Rayonnement d'origine solaire sur la vitesse de croissance des feuilles du bananier** (*Musa acuminata* Colla): Application à l'étude du rythme de développement de la plante et relation avec la productivité. Thèse Université de PARIS VII, 331p., 1980.

JANNOYER, M. **Déterminisme du nombre d'organes reproducteurs d'une inflorescence de bananier** (*Musa acuminata*, cv. **Grande Naine**). Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon & CIRAD-FLHOR, Paris, 175 p. 1995.

JOUBE, P. Le diagnostic agronomique préalable aux opérations de recherche-développement. **Les Cahiers de la Recherche-Development**. N.3-4, p. 67-75, 1984.

JOUBE, P. **Le diagnostic du milieu rural**: de la region a la parcelle. CNEARC, Montpellier, France, N.6, 40 p., 1992.

JULLIEN, A. **Croissance, développement et qualité des fruits du bananier** (*Musa spp.* Groupe AAA cv. Grande Naine). Modélisation de la répartition des assimilats entre les fruits du régime. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon & CIRAD-FLHOR, Paris, 2000. 92 p.

MARCHAL, J. et JANNOYER, M. Elaboration du rendement du bananier. In: SPÉCIAL BANANES. **PHYSIOLOGIE**. **Fruits**, vol. 48,

Agricultura Familiar, Pesquisa, Formação e Desenvolvimento, v. 4, n. 4 (2004) 87

MARÍN, D. C. Comparacion ecofisiologica de los cultivares Tovar y Yaracuy de *Canavalia ensiformis* (L.) DC., sembrados em dos localidades i analisis de crecimiento. **Agronomia Tropical**, 46(1): 5-29, Venezuela, 1995.

MARTINE, J.F. Corissance de la canne et stress hydrique: les apports d'un modèle plante. CIRAD-CA, **Agriculture et Développement**, France, p. 21-28, 2000.

MEYNARD, J.M. **Eléments de prévision de l'effet dos techniques culturales sur l'élaboration du rendement** (extraído de la thèse de Docteur Ingénieur présentée à l'INAPG), 1985.

MEYNARD, J.M. SEBILLOTTE, M. Diagnostic sur les causes de variation du rendement du blé dans une petite région. In: **La fatigue des sols**, 23ème colloque SPF, Versailles, 21-22 octobre 1982 (les Colloques de l'INRA, n 17); p. 157-168. Versailles: Ed. INRA, 1983.

MEYNARD, J. M. & DAVID, G. **Diagnostic sur l'elaboration du rendement de cultures**. Coll. Fertilité de Sols et Besoin des plantes, Sorrento-Italie, 6-7, 1987.

PARNAUDEAU, Y.; BEAUDOIN, N.; MARY, B.; MAKOWSKI, D. & MEYNARD, J. M. **Simulation de l'impact de diferents scenarios agronomiques sur les pertes de nitrate a l'échelle d'un bassin hydrologique**. Paris, no prelo, 27 p. 2001.

SEBILLOTTE, M. Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. **Cahiers de l'Orstom**, série biologie, n. 24, 1974.

TAYOT, X.; RUGET, F.; BOUTHIER, A; LOUGEOU, J.; LACROIX, B. & PONS, Y. STICS en Poitou-Charentes: Calibration et validation sur mais et sorgho. **Perspectives agricoles**, n° 242, p. 86-95, jan. 1999.

TOURNEBIZE, R.; SILVA, L. M. S.; DAUPHIN, C.; OZIER-LAFONTAINE, H e LEINSTER, S. Calibrando modelos de simulação de sistemas de cultivo orgânicos: a utilidade do modelo STICS na comparação do monocultivo da banana com a associação com leguminosas. II WORLD CONGRESSO N CONSERVATION AGRICULTURE: PRODUCING IN HARMONY WITH nature, Vol. II, Foz do Iguaçu, p.58-61, 2003.