

### **Simulação da Produção de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e Pupunha (*Bactris gasipaes*) em Sistemas Agroflorestais Utilizando Modelos de Dinâmica de Sistemas**

Marcelo Francia Arco-Verde <sup>1</sup>  
George Amaro <sup>2</sup>

#### **Introdução**

Atualmente há uma crescente demanda por estudos sobre avaliação dos sistemas agroflorestais (SAFs) no que diz respeito a seus componentes, modelos e viabilidade econômica, especialmente para subsidiar recomendações pertinentes tanto aos componentes dos SAFs, quanto à definição de políticas públicas para a Amazônia brasileira.

“Os SAFs são uma opção viável entre os sistemas de produção sustentáveis existentes, com o principal objetivo de contribuir para a segurança alimentar e o bem-estar social e econômico dos produtores rurais, particularmente

aqueles de baixa renda, assim como para a conservação dos recursos naturais.” (ARCO-VERDE, 2008, p. 4).

De acordo com Bentes-Gamma et al. (2005) e Arco-Verde (2008), as pesquisas em sistemas agroflorestais (SAFs) se concentram principalmente em seus aspectos biofísicos, existindo poucos estudos com relação à avaliação dos aspectos econômicos e financeiros desses sistemas.

Embora haja a concordância de que os SAFs possam diminuir os riscos de investimentos relacionados ao monocultivo e ainda apresentem vantagens ecológicas sobre este, constata-se que se trata de uma

<sup>1</sup> Eng. Florestal, D.Sc., Embrapa Roraima, Caixa Postal 133, CEP 69900-970, Boa Vista, Roraima

<sup>2</sup> Esp. Dinâmica de Sistemas, Mestrando em Economia PPGE/UFRGS, Embrapa Roraima

atividade complexa, dependente do entendimento das interações dinâmicas existentes entre as culturas e espécies arbóreas selecionadas, e/ou animais, e apresentam, da mesma forma que outras atividades produtivas, vários riscos e incertezas.

Avaliações econômicas, para subsidiar a definição de políticas públicas, agentes de financiamento, técnicos, pesquisadores e produtores, sobre a natureza dos retornos desses investimentos na Amazônia brasileira são, dessa forma, fundamentais, especialmente no que se refere à agricultura familiar e à segurança alimentar.

Um modelo, segundo PIDD (1998), é o resultado de uma tentativa de representar alguma parte da realidade de forma tal que ações possam ser tomadas ou algum entendimento possa ser melhorado. Através dos modelos podemos testar nossas suposições e assim chegar a conclusões lógicas. A modelação é extremamente valiosa, pois proporciona modos novos (e menos arriscados) de provar hipóteses antes de agirmos em função delas (SENGE et al., 1997).

Para o entendimento e modelagem dos sistemas agroflorestais é necessário recorrer a um paradigma mais inclusivo,

onde possam ser abordadas as relações entre os elementos dos SAFs e do ambiente, pois é dessas relações que advêm os resultados econômicos. O pensamento sistêmico envolve mudanças de paradigmas sobre como as coisas funcionam. Essa metodologia facilita a visualização das inter-relações acerca dos elementos dos sistemas; identifica soluções em longo prazo para os problemas; procura pontos de alavancagem (em que pequenas mudanças trarão grandes efeitos no comportamento do sistema) e evita soluções que tratam apenas dos sintomas dos problemas (POWERSIM, 1996).

Entretanto, desenvolver modelos é uma situação e, simular o desempenho desses modelos, é outra, o que requer uma metodologia adequada. A dinâmica de sistemas é uma metodologia de simulação que oferece formas bastante intuitivas e criativas de analisar situações e problemas complexos, permitindo a tomada de decisões estratégicas de forma inteligente, compartilhada e comprometida (VILELLA, 2000).

As ferramentas de simulação através da dinâmica de sistemas, a exemplo dos softwares Stella<sup>3</sup> e Vensim<sup>4</sup>, permitem uma rápida avaliação dos fatores selecionados e de suas relações causais, possibilitando um aprendizado contínuo a respeito do

<sup>3</sup> <http://www.iseesystems.com/>

<sup>4</sup> <http://www.vensim.com/>

desempenho dos sistemas e a identificação das ações de maior alavancagem, de forma que podem ser consideradas como um método efetivo através do qual diferentes processos podem ser examinados e diferentes cenários podem ser testados a partir de uma perspectiva sistêmica (COSTANZA et al., 1993; VAN DEN BERGH; NIJKAMP, 1994).

Muitos modelos de sistemas agroflorestais foram desenvolvidos, para diversos propósitos, específicos ou gerais. O modelo WaNuLCAS (VAN NOORDWIJK e LUSIANA, 1999), utiliza-se de uma série de zonas de solos para calcular a competição sob a superfície entre árvores e entre as árvores e as culturas a partir de um determinado grupo selecionado de árvores. O modelo SBELTS (QI et al., 2001), simula a resposta da integração de cultivos como proteção do vento e foi comparado com o modelo CROPGRO, de Boote et al. (1998), para realizar previsões sobre produção de soja em sistemas com quebra de vento.

Matthews e Lawson (1997), combinaram o modelo Hybrid (FRIEND et al., 1997) de árvores e o GUMCAS (MATTHEWS e HUNT, 1994), de mandioca, com o objetivo de avaliar diversas alternativas de gerenciamento agroflorestal. O mesmo modelo de árvores foi utilizado pelo modelo HyPAR (MOBBS et al., 1997), o qual utiliza-se do modelo de culturas tropicais PARCH (FRY e LUNGU, 1994)

para simular o desenvolvimento das culturas.

Lawson et al. (1995) utilizou essa estrutura combinada para avaliar a produtividade das culturas sob diferentes condições ambientais usando uma grande variedade de modelos existentes de copas de árvores. Mayus et al. (1999), utilizaram-se de modelos existentes para simulação de crescimento das culturas, fluxo de água no solo e impacto do vento.

O Agroforestry Modelling Environment (MUETZELFELDT e TAYLOR, 1997) provê um ambiente gráfico que inclui a configuração de aspectos espaciais dos SAFs juntamente com os componentes de simulação.

O Agricultural Production Systems Simulator (APSIM), de McCown et al. (1996), foi especificamente desenvolvido para facilitar a pesquisa baseada em simulação multidisciplinar cruzada.

Embora a maioria desses modelos esteja disponível, sua parametrização é extremamente complexa, reduzindo seu uso a especialistas e, com isso, restringindo as oportunidades de aprendizagem decorrentes da modelagem e da simulação de cenários.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi criar modelos de dinâmica de sistemas que permitam uma avaliação financeira da produção de cupuaçu e

pupunha em SAFs através de simulações em diferentes cenários.

### Material e Métodos

A partir dos dados das pesquisas com SAFs desenvolvidas pela Embrapa Roraima desde 1995 (ARCO-VERDE, 2008), iniciou-se o desenvolvimento de modelos de dinâmica de sistemas (FORRESTER, 1989), que permitissem reproduzir o comportamento observado dos indicadores financeiros avaliados por Arco-Verde (2008).

Posteriormente, passou-se a modelar aspectos mais detalhados de cada cultura,

buscando-se uma forma genérica de simular o comportamento observado da cultura enquanto componente de SAFs a partir de ajustes em parâmetros previamente identificados por Arco-Verde (2008).

Os modelos são compostos por três submodelos, sendo um para o ciclo de vida das plantas (figuras 1 e 2), outro para a produção e o último para os indicadores financeiros (figuras 3 e 4), os quais permitem avaliar a viabilidade da cultura nos sistemas agroflorestais, tanto comercialmente quanto com relação à segurança alimentar.

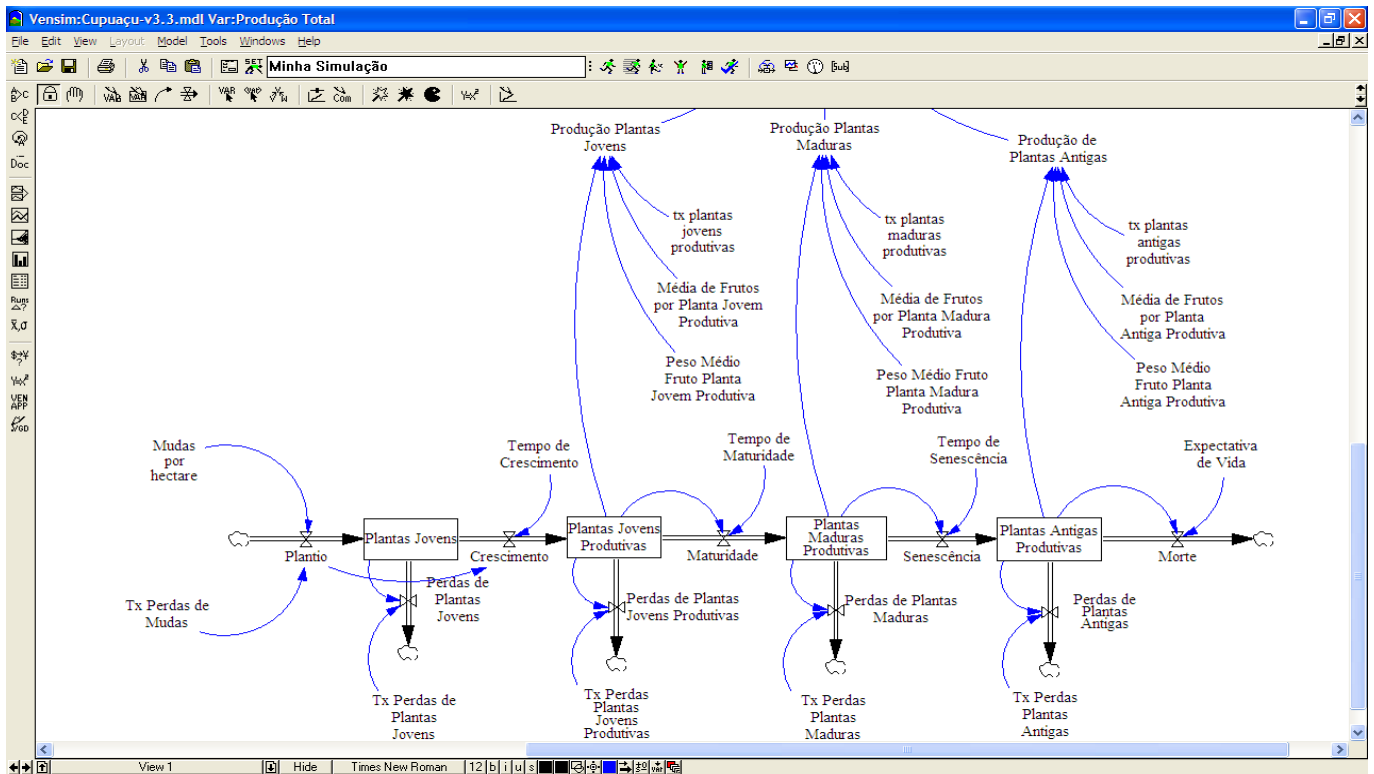


Figura 1. Submodelo para simulação do ciclo de vida do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) em sistemas agroflorestais.

Compartimentos para os diferentes estágios de desenvolvimento das plantas de cupuaçu e pupunha permitem simular a

dinâmica do ciclo de vida das culturas e de sua produção em cada estágio, conforme figuras 1 e 2. Um compartimento específico

5 Importância e distribuição da mancha-de-cercospora (*Cercospora citrullina*) em melancia no estado de Roraima

permite simular o estoque de frutos de cupuaçu e cachos de pupunha, a partir da

produção e de estratégias de venda ou consumo próprio (figuras 3 e 4).

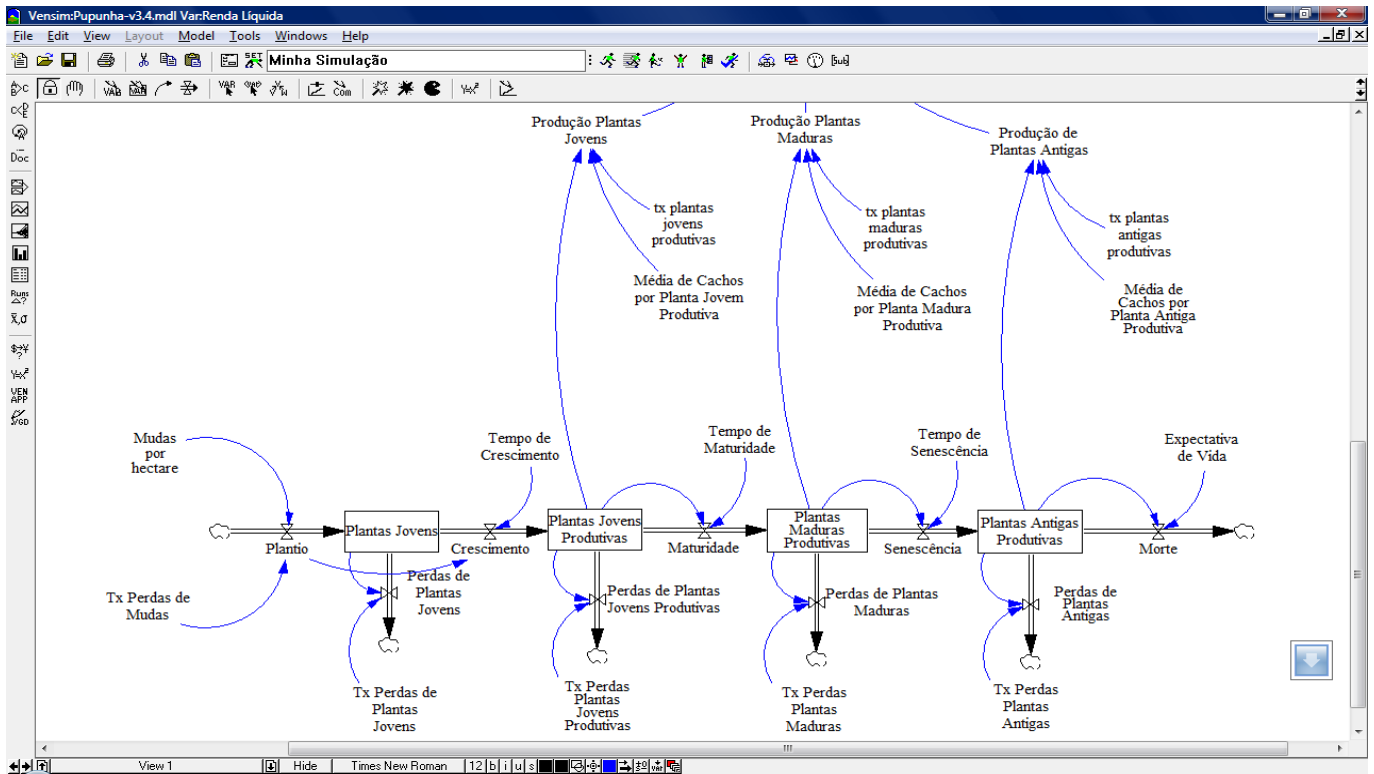


Figura 2. Submodelo para simulação do ciclo de vida da pupunha (*Bactris gasipaes*) em sistemas agroflorestais.

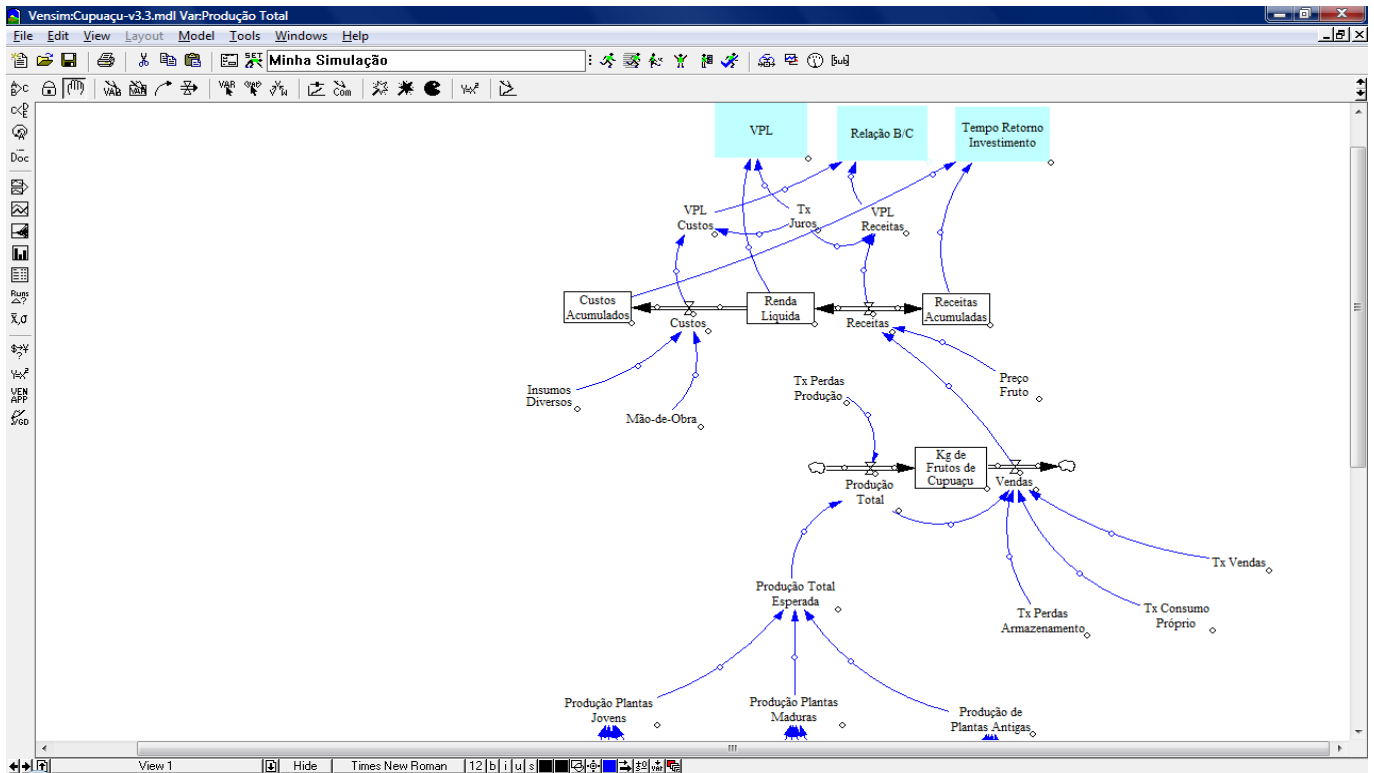


Figura 3. Submodelo para simulação da produção e indicadores financeiros de cupuaçu em sistemas agroflorestais.

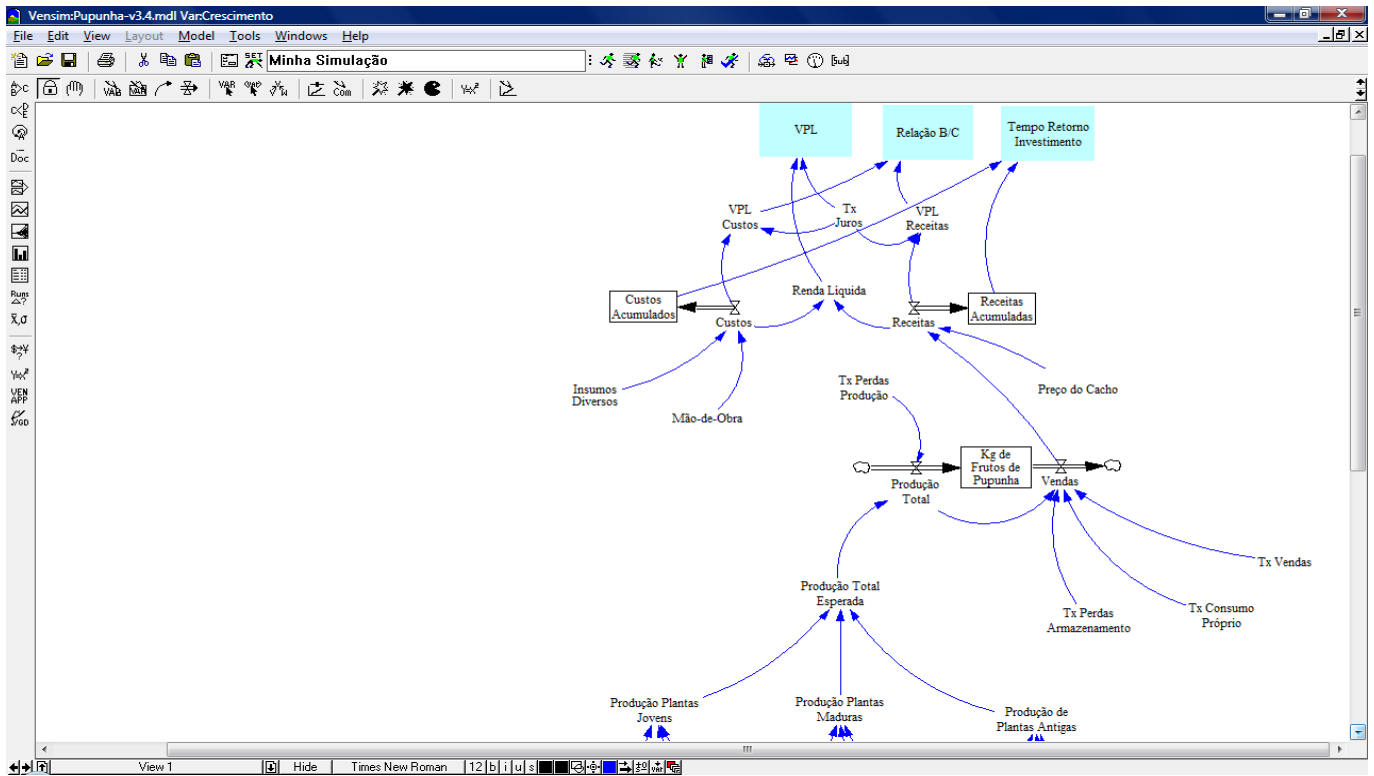


Figura 4. Submodelo para simulação da produção e indicadores financeiros de pupunha em sistemas agroflorestais.

Taxas de perda também foram incluídas em diversos momentos do modelo, possibilitando avaliar os impactos de condições extremas de manejo inadequado ou infestação por pragas e doenças.

Os custos totais de insumos diversos e de mão de obra para todos os anos de cultivo, bem como a quantidade de mudas utilizadas para o plantio por hectare são obtidos a partir de uma planilha criada com o software Microsoft Excel®, aumentando ainda mais a flexibilidade de parametrização do modelo. Os demais parâmetros podem ser alterados dinamicamente durante as simulações.

Os resultados da simulação foram comparados com dados reais de SAFs implantados no campo experimental Confiança, de propriedade da Embrapa Roraima, a partir de 1995, para efeito de validar o modelo.

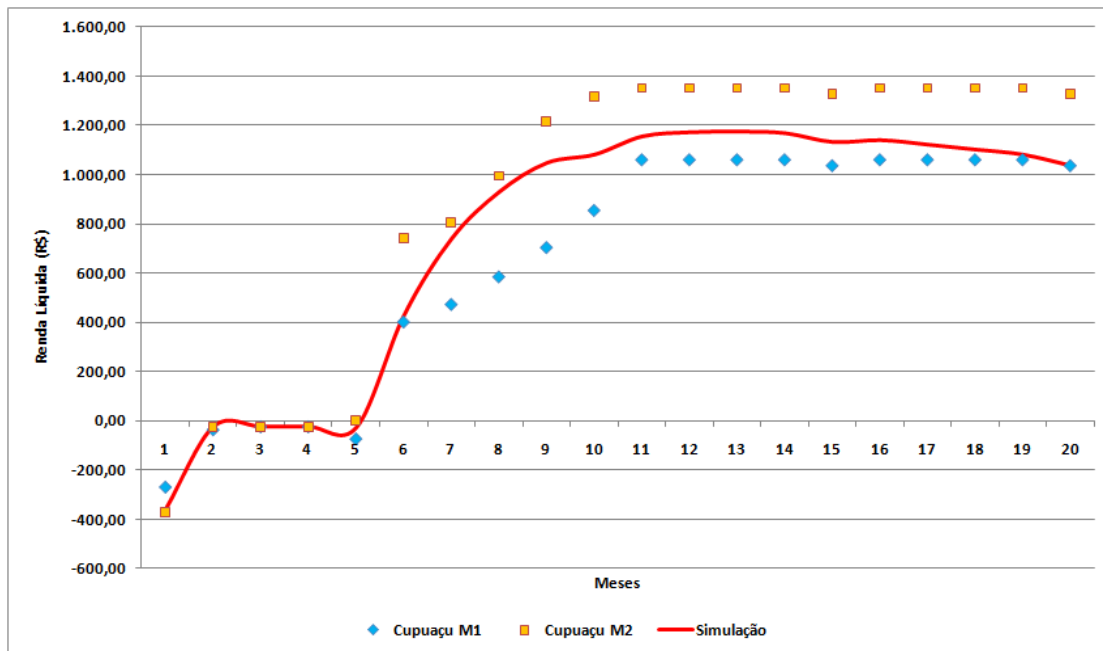
### Resultados e Discussão

Arco-Verde (2008) avaliou o desempenho de sistemas agroflorestais considerando um modelo com baixos insumos ( $M_1$ ) e outro com altos insumos ( $M_2$ ). A diferença entre os modelos  $M_1$  e  $M_2$  está no preparo e correção do solo. No sistema  $M_2$  a área foi gradeada e o solo teve sua acidez corrigida, recebendo

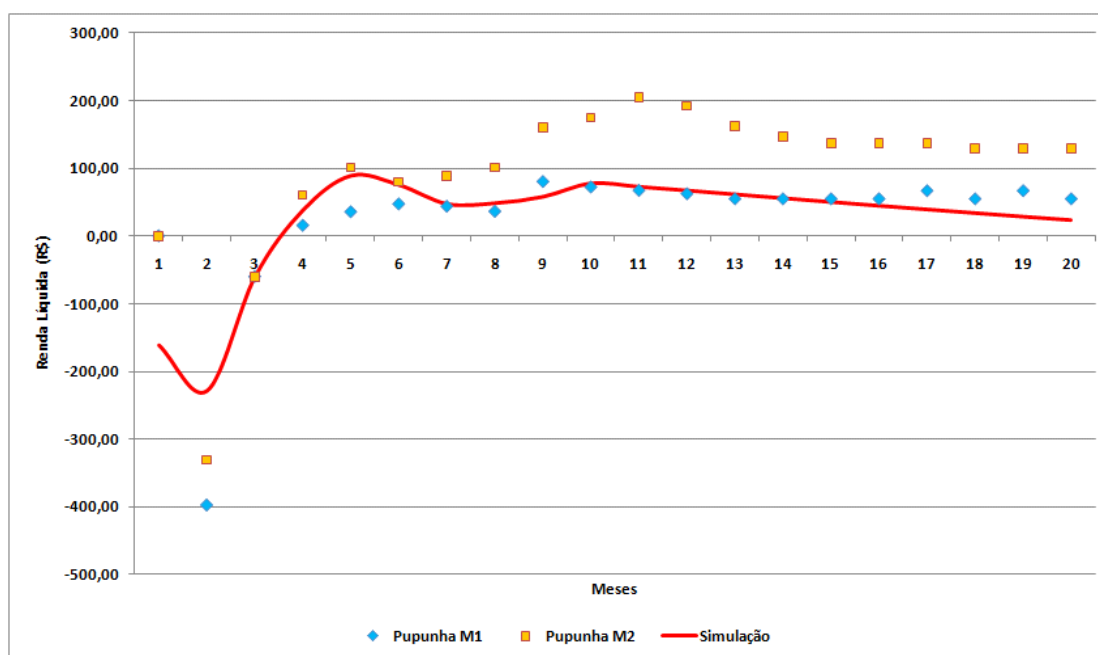
calagem na proporção de 2 ton ha<sup>-1</sup> (PRNT 100 %), sendo ainda fertilizado com a aplicação de 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 50 kg ha<sup>-1</sup> de micronutrientes FTE BR12 no primeiro ano da implantação do estudo. O modelo M<sub>1</sub> não foi gradeado, e nem recebeu correções da acidez e da fertilidade do solo.

O modelo de simulação desenvolvido foi executado tendo como parâmetros iniciais os mesmos que foram apresentados na pesquisa de Arco-verde (2008), para que o comportamento resultante pudesse ser validado frente ao que foi observado nos dois modelos agroflorestais utilizados (M<sub>1</sub> e M<sub>2</sub>).

Observa-se nas figuras 5 e 6 comparações entre os resultados dos modelos de simulação para o cupuaçu e para a pupunha, respectivamente, e as informações obtidas por Arco-Verde (2008) para dois tipos de SAFs, considerando-se a variável “Renda Líquida”, permitindo avaliar que os modelos de dinâmica de sistemas desenvolvidos são suficientes para o objetivo proposto, uma vez que as simulações realizadas apresentaram resultados que estão próximos aos dados reais.



**Figura 5.** Comparação entre os resultados da simulação e o desempenho da renda líquida do cupuaçu em SAFs.



**Figura 6.** Comparação entre os resultados da simulação e o desempenho da Renda Líquida da pupunha em SAFs.

A integração destes modelos com outros, referentes a outras culturas utilizadas em sistemas agroflorestais, permitirá a modelagem e a simulação do resultado financeiro e econômico de SAFs a partir da combinação e variação de diversas culturas e de seus parâmetros produtivos, possibilitando análises e fundamentando a tomada de decisão a partir da definição e simulação de diferentes cenários.

## Conclusões

Os modelos desenvolvidos permitem avaliar o desempenho financeiro das culturas do cupuaçu e da pupunha em SAFs, a partir de simulações realizadas sob

diferentes condições expressas por seus parâmetros, de forma dinâmica.

A utilização dos modelos para testar condições específicas ou realizar simulações a partir de variações aleatórias em parâmetros, possibilita o entendimento das inter-relações existentes entre os diversos elementos do modelo, bem como a compreensão de suas influências.

A definição de políticas e a avaliação de cenários permitem identificar as situações mais e menos favoráveis, possibilitando avaliar quais são os parâmetros que devem ser monitorados mais atentamente.



## Referências Bibliográficas

- ARCO-VERDE, M. F. **Sustentabilidade biofísica e socioeconômica de sistemas agroflorestais na Amazônia Brasileira.** 2008. 188p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- BENTES-GAMA, M. M.; SILVA, M. L.; VILCAHUAMÁN, L. J. M.; LOCATELLI, M. Análise econômica de sistemas agroflorestais na Amazônia ocidental, Machadinho D'Oeste-RO. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.3, p.401-411, 2005.
- BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; HOONGENBOOM, G.; PICKERING, N. B. The CROPGRO model for grain legumes. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.). **Understanding Options for Agricultural Production.** Kluwer, Dordrecht, 1998. p. 99-128.
- COSTANZA, R.; WAINGER, L.; FOLKE, C.; MÄLER, K. G. Modelling complex ecological economic systems: toward an evolutionary, dynamic understanding of people and nature. **BioScience**, v.43, n.8, p.545- 555, 1983.
- FORRESTER, J. W. **The beginning of system dynamics.** Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 1989.
- FRIEND, A. D.; STEVENS, A. K.; KNOX, R. G.; CANNEL, M. G. R. A process-based, terrestrial biosphere model of ecosystem dynamics (Hybrid v3.0). **Ecological Modeling**, n.95, p.249-287, 1997.
- FRY, G. J.; LUNGU, C. Assessing the benefits of interventions to improve soil moisture conditions using the PARCH Crop Environment Model. In: ANNUAL SCIENTIFIC CONFERENCE, SADC-LAND AND WATER MANAGEMENT RESEARCH PROGRAMME, 5., 1994. **Proceedings...** Harare, Zimbabwe, 1994. p.119-125.
- LAWSON, G. J.; CROUT, N. M. J.; LEVY, P. E.; MOBBS, D. C.; WALLACE, J. S. CANNELL, M. G. R.; BRADLEY, R. G.; SINCLAIR, F. The tree/crop interface: representation by coupling of forest and crop process-models. **Agroforestry Systems**, n.30, p.199-221, 1995.
- MATTHEWS, R. B.; HUNT, L. A. GUMCAS: a model describing the growth of cassava (*Manihot esculenta* L.Crantz). **Field Crops Res.**, n.36, p.69-84, 1994.
- MATTHEWS, R. B.; LAWSON, G. J. Structure and applications of the HyCas model. **Agroforestry Forum**, n.8, p.14-17, 1997.
- MAYUS, M.; VAN KEULEN H.; STROOSNIJDER, L. Analysis for dry and wet years with the WIMISA model of tree/crop competition for windbreak systems in the Sahel. **Agroforestry Systems**, n.43, p.203-215, 1999.

McCOWN, R. L.; HAMMER, G. L.; HARGREAVES, J. N. G.; HOLZWORTH, D. P.; FREEBAIRN, D. M. APSIM: A novel software system for model development, model testing, and simulation in Agricultural Systems Research. **Agric.Syst.**, n.50, p.255-271, 1996.

MOBBS, D. C.; CROUNT, N. M. J.; LAWSON, G. J.; CANNELL, M. G. R. Structure and applications of the HyPAR model. **Agroforestry Forum**, n.8, p.10-14, 1997.

MUETZELFELDT, R.; TAYLOR, J. The suitability of AME (the Agroforestry Modelling Environment) for agroforestry modelling. **Agroforestry Forum**, n.8, p.7-9, 1997.

PIDD, M. **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão.** Porto Alegre: Artes Médicas, 1998. 318p.

POWERSIM C.O. **Introduction to system dynamics.** Reston: Powersim Press, 1996. 44p.

QI, X.; MIZE, C. W.; BATCHELOR, W. D.; TAKLE, E. S.; LITVINA, I. V. SBELTS: a model of soybean production under tree shelter. **Agroforestry Systems**, n.52, p.53-61, 2001.

SENGE, P.; ROSS, R.; SMITH, B.; ROBERTS, C.; KLEINER, A. **A quinta disciplina: caderno de campo.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

VAN DEN BERGH, J. C. J. M.; NIJKAMP, P. An integrated dynamic model for economic development and natural environment: an application to the Greek Sporades **Islands.** **Ann. Oper. Res.**, n.54, p.143-174, 1994.

VAN NOORDWIJK, M.; LUSIANA, B. WaNuLCAS, a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, n.43, p.217-242, 1999.

VILLELA, P. R. C. **Modelagem e simulação da dinâmica de sistemas: Conceito e Prática.** In: WORKSHOP DA SBI-AGRO, 2., 2000. Minas Gerais: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2000.

Comunicado  
Técnico, 32

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,  
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
Embrapa Roraima  
Rodovia Br-174, km 8 - Distrito Industrial  
Telefax: (95) 3626 7102  
Cx. Postal 133 - CEP. 69.301-970  
Boa Vista - Roraima- Brasil  
[sac@cpafrr.embrapa.br](mailto:sac@cpafrr.embrapa.br)  
1ª edição  
1ª impressão (2009): 100

Comitê de  
Publicações

Presidente: Marcelo Francia Arco-Verde  
Secretário-Executivo: Newton de Lucena Costa  
Membros: Aloísio de Alcântara Vilarinho  
Jane Maria Franco de Oliveira  
Paulo Sérgio Ribeiro de Mattos  
Ramayana Menezes Braga  
Ranyse Barbosa Querino da Silva

Expediente

Editoração Eletrônica: Vera Lúcia Alvarenga Rosendo