

SISTEMAS DE CULTIVO E DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA

Lucien Séguéy¹Serge Bouzinac²Angelo Carlos Maronezzi³

1. INTRODUÇÃO

No início deste novo milênio, a agricultura mundial deverá efetuar uma verdadeira revolução para se adaptar, simultaneamente, à globalização dos mercados e do conhecimento, à pressão crescente dos consumidores que exigem produtos saudáveis e de qualidade, e a dos pesquisadores e da sociedade civil em geral para a salvaguarda do planeta.

As estratégias e os modelos de desenvolvimento terão de levar em conta a necessidade de produzir mais por unidade de recursos naturais, e assim sendo, será imperativo reduzir e até suprimir os efeitos negativos provocados pela atividade agrícola na natureza. Atualmente, estimativas oriundas de pesquisas recentes (LAL et al., 1995; IPCC, 1996) evidenciam que o volume de CO₂ emitido do planeta para a atmosfera contribui com 50% para o efeito estufa e que a atividade agrícola representa mais de 23% do CO₂ total emitido.

Se esta revolução ainda está por acontecer no planeta, na última década do século passado surgiu, sob a pressão das catástrofes ecológicas mundiais repetidas, uma consciência coletiva em favor da proteção do meio ambiente. A agricultura conservacionista já tem realizado, a este respeito, uma verdadeira revolução nas práticas e nos espíritos, particularmente no continente americano, e sobretudo no Brasil, que constitui o exemplo mais significativo, através do desenvolvimento exponencial da gestão dos solos e das unidades de paisagem em Plantio Direto.

No continente americano, atual sede desta revolução agrícola (EUA e sobretudo Brasil e países do Cone Sul), inúmeros trabalhos de pesquisa conduzidos em eco e agrossistemas muito contrastados com modos de gestão de longo prazo, mostram que, tanto sob clima temperado quanto tropical ou subtropical, os sistemas praticados em Plantio Direto⁴, sem jamais preparar o solo, comparados aos mesmos sistemas de cultivo usando as diversas técnicas convencionais de preparo do solo, permitem aumentar notavelmente

os teores de matéria orgânica dos solos (CAMBARDELLA & ELLIOT, 1994; DICK et al., 1998; BAYER et al., 2000; SÁ et al., 2000a,b).

Se estes resultados do Plantio Direto, já confirmados em longos períodos, são animadores e nos tranquilizam quanto ao futuro do planeta pela sua capacidade de produzir mais, sustentavelmente e a um custo menor, poluindo menos (ELLIOT et al., 1989; REICOSKY et al., 1995), eles ainda se revelam insuficientes para bem explicitar cientificamente e dominar na prática a dinâmica do carbono em função da natureza dos sistemas de cultivo praticados, e principalmente para construir os sistemas conservadores de amanhã, os quais deverão ser ainda mais atuantes a esse respeito, satisfazendo também os “pré-requisitos” da agricultura sustentável e os objetivos dos agricultores.

Há mais de 20 anos no Brasil, mais de 15 anos na ilha da Réunion, mais de 10 anos em Madagascar e mais recentemente na Ásia (Vietnam e Laos), o CIRAD constrói, com seus parceiros de pesquisa e de desenvolvimento no Sul, diversos sistemas de cultivo em Plantio Direto⁴ que devem responder a essas exigências.

O presente trabalho reúne, de modo muito sintético⁵, os principais resultados desta construção da Pesquisa-Ação conduzida pelo CIRAD-CA e contempla sucessivamente:

- A apresentação de nossa metodologia geral de intervenção nos sistemas de cultivo, que atua em ligação direta no ambiente e com a participação efetiva dos atores do desenvolvimento;
- A análise das tendências evolutivas da matéria orgânica em função da natureza dos sistemas de cultivo existentes e dos sistemas inovadores e preservadores do meio-ambiente. Os resultados são discutidos e comparados com os obtidos em outras grandes eco-regiões do mundo, principalmente nos EUA, em clima temperado, e no Brasil, em clima subtropical;
- A avaliação das performances agronômicas, técnicas e econômicas dos sistemas de cultivo, e sua evolução no decorrer do tempo. Os resultados dos melhores sistemas apropriáveis são con-

¹ Engº Agrº do CIRAD-CA, sediado em Goiânia-GO, coordenador da Rede Plantio Direto do Programa GEC. Telefone: (62) 280-6286. E-mail: lseguy@zaz.com.br

² Engº Agrº do CIRAD-CA, trabalha em equipe com L. Séguéy no Brasil e na Rede Plantio Direto GEC. E-mail: lseguy@zaz.com.br

³ Engº Agrº e diretor da empresa de pesquisa privada AGRONORTE, Sinop-MT, parceiro do CIRAD-CA/GEC. Telefone: (65) 515-8383. E-mail: agronort@terra.com.br

⁴ O Plantio Direto (PD) é um sistema conservacionista de gestão dos solos e das culturas no qual a semente é colocada diretamente no solo. Somente um pequeno buraco ou um sulco é aberto, de profundidade e largura suficientes, com implementos concebidos para este fim, para garantir uma boa cobertura e um bom contato da semente com o solo. A eliminação das invasoras, antes e depois do plantio, durante o cultivo, se faz com herbicidas, os menos poluentes possíveis para o solo, que deve sempre permanecer coberto.

⁵ Para mais informações, o leitor poderá consultar o Dossiê “Sistemas de cultivo e dinâmica da matéria orgânica” de L. Séguéy, S. Bouzinac e A.C. Maronezzi, 2001. 203p. (Documento Interno CIRAD-CA). 34398 – Montpellier Cedex 5 França, 2001.

frontados com sua capacidade em seqüestrar o carbono e em conservar o potencial produtivo do patrimônio solo a médio prazo e ao menor custo.

Levando em consideração os inúmeros resultados já acumulados no que diz respeito às performances dos sistemas de cultivo na "Rede Plantio Direto do CIRAD-CA", só trataremos neste trabalho de alguns exemplos mais destacados nos planos ecológicos e sócio-econômicos que tiveram comprovação efetiva, e que alimentam ativa e significativamente a difusão e a apropriação pelos agricultores dos sistemas de cultivo preservadores do meio-ambiente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O método de Pesquisa-Ação utilizado, chamado de "Criação-Difusão", faz parte dos modelos de pesquisa fundamentados na experimentação em meio real (SÉGUY, 1994; SÉGUY et al., 1996; TRIOMPHE, 1989) (Figura 1).

Partindo de várias situações pedoclimáticas e sócio-econômicas regionais (*diagnóstico inicial, tipologia das fazendas que levam à análise dos maiores fatores limitantes para a fixação de agriculturas sustentáveis*), a pesquisa-ação consiste essencialmente em adaptar, construir, para e com os agricultores, nos seus ambientes, sistemas de cultivo sustentáveis baseados em técnicas de gestão conservacionistas dos solos, facilmente apropriáveis pelos produtores. Em primeiro lugar, estes sistemas devem melhorar, restaurar e, em seguida, manter o potencial produtivo do solo a

longo prazo, com uso mínimo de insumos, até sem nenhum, num ambiente totalmente protegido (*Escalas das unidades de paisagem, dos "terroirs"*⁶).

Simultaneamente, e num enfoque holístico e heurístico, estes objetivos são:

- construir, com os agricultores, soluções práticas e apropriáveis para vencer os obstáculos à fixação das agriculturas tropicais sustentáveis (*critérios dos produtores, dos extensionistas e dos pesquisadores*);
- explicar e modelar o funcionamento dos agrossistemas cultivados, sustentáveis, para poder adaptá-los logo para outros eco e agrossistemas tropicais;
- analisar e avaliar preventivamente seus impactos: na evolução da fertilidade dos solos na escala das unidades de paisagem representativas dos "terroirs" e das microbacias, no comportamento dos agricultores e das sociedades rurais.

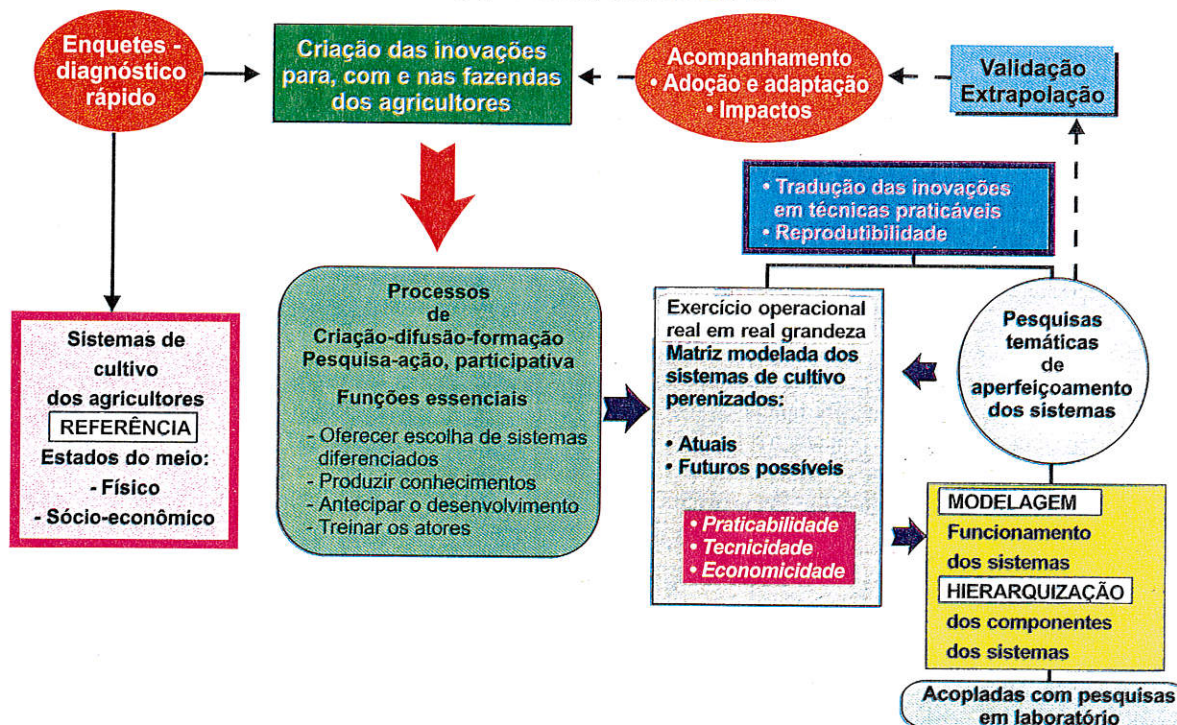
2.1. CRIAÇÃO DA OFERTA TECNOLÓGICA "Sistemas de cultivo" COM OS PRODUTORES

A pesquisa-ação cria, em cada grande eco-região, com seus parceiros de desenvolvimento (agricultores, extensionistas), um duplo dispositivo operacional com vocações complementares:

- Algumas unidades experimentais "sistemas de cultivo", geridas em meio real controlado pela pesquisa e pelos agricultores – representam as vitrinas da oferta tecnológica (*matrizes dos sistemas*);

FIGURA 1. PESQUISA-AÇÃO PARA, COM E NAS FAZENDAS DOS AGRICULTORES

FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA-GEC, 1997



⁶ Definição de "terroirs": conjunto de parcelas homogêneas caracterizadas por uma mesma estrutura e uma mesma dinâmica ecológica (agrossistema) assim como pelo mesmo tipo de aproveitamento e instalações agrícolas (G. Duby, A. Vallon).

• **Várias fazendas de referência, em meio real**, onde são aplicados, em grande escala, um ou vários sistemas de cultivo procedentes das unidades, escolhidos pelos produtores que os aplicam integralmente ou os readaptam em função de seus próprios objetivos. Este conjunto constitui um dispositivo de intervenção multilocal de longa duração que abrange as variabilidades pedoclimática e sócio-econômica regional (Figura 2).

Os sistemas de cultivo (*tradicionais + inovadores*) estão organizados e modelados em “matrizes dos sistemas”, sobre toposequências representativas do meio físico e da paisagem agrícola. Partindo dos sistemas tradicionais, os novos sistemas são elaborados por incorporação progressiva, sistemática e controlada de fatores de produção mais performantes (*modos de gestão dos solos e das culturas, produtos temáticos tais como variedades, níveis de adubação* – Figura 3).

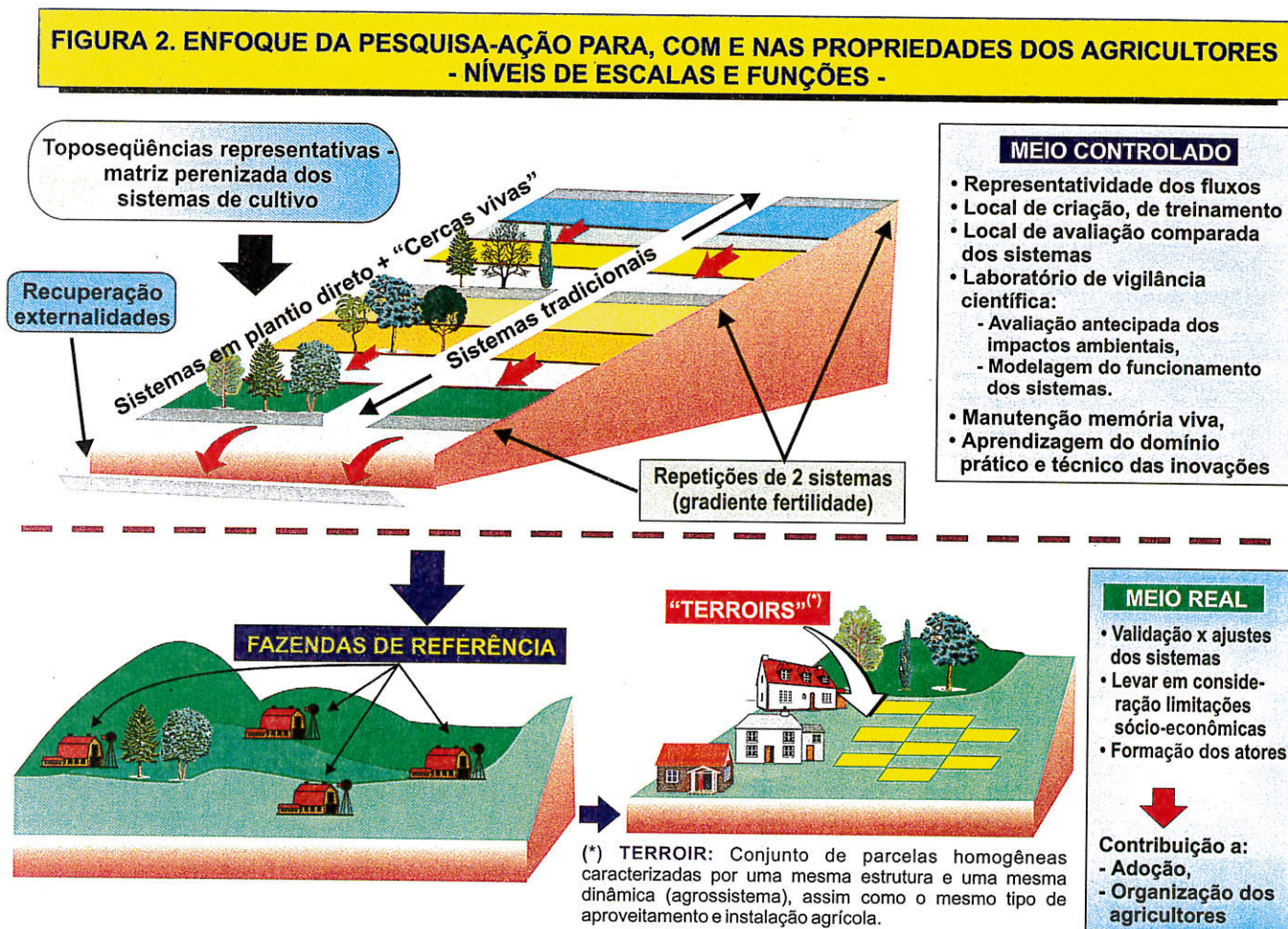
A construção das matrizes “sistemas de cultivo” obedece a regras precisas (SÉGUY, 1994; SÉGUY et al., 1996), que permitem a interpretação dos efeitos diretos e acumulados dos componentes dos sistemas no decorrer do tempo, tanto nas suas performances de produção quanto nos seus impactos na fertilidade dos solos, na biologia das invasoras ou das pragas, etc.

As matrizes “sistemas de cultivo” e a rede multilocal de fazendas de referência constituem os suportes operacionais do estudo; estes dispositivos experimentais, de longa duração, representam ao mesmo tempo:

• **Um lugar de ação, de criação da inovação e de formação dos atores**, no qual a montagem matricial dos sistemas permite avaliar suas performances agrônômicas, técnicas e econômicas, comparadas nas mesmas condições de solo e clima, e classificá-los no decorrer do tempo (*respostas de sua estabilidade ou flutuações em relação aos riscos climático ou econômico*); enfim, extrair as leis de funcionamento dos sistemas (*condições de reprodutibilidade e modelagem*);

• **Um laboratório de vigilância, precioso para os cientistas**, permitindo avaliar, de modo antecipado em relação à adoção dos sistemas pelos agricultores, seus impactos no meio ambiente (*erosão, qualidade biológica dos solos, externalidades, xenobióticos*) [conceitos de CHAUSSOD, 1996]. Portanto, trata-se de um lugar privilegiado para confrontar performances de produção dos sistemas com seus modos de funcionamento e impactos ambientais dentro de um enfoque preventivo que oferece soluções reais aos agricultores e às autoridades, a fim de conciliar as exigências da sociedade civil (*impactos ambientais*) e os objetivos dos produtores (*produtividades dos sistemas, do trabalho, das margens, etc.*);

• **Manutenção da memória viva** = os sistemas tradicionais e suas evoluções estão perenizados para medir os progressos conseguidos no decorrer do tempo (*performances agrônômicas e técnico-econômicas, impactos ambientais*). Da mesma forma, os sistemas mais destruidores do recurso-solo devem estar presentes durante todo o estudo – eles são as testemunhas vivas do que não se deve fazer, e são imprescindíveis para a formação da memória viva (*cronosequências de evolução dos sistemas controlados*).



FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIGURA 3. METODOLOGIA DE ESTUDO DO FUNCIONAMENTO DOS SISTEMAS DE CULTIVO



FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD CA-GEC; Goiânia, GO - 1998

• Um viveiro de sistemas de cultivo que reúne a agricultura de ontem (com preparo do solo), a agricultura de hoje (as culturas dos agricultores conduzidas em Plantio Direto) e a agricultura de amanhã (sistemas em plantio direto construídos com maior diversidade de culturas, com integração da agricultura com a pecuária e com recolocação das árvores no espaço cultivado).

Todos estes sistemas de cultivo são conduzidos com três níveis de adubação (Figura 3):

- A adubação tradicional, ou recomendada pela pesquisa ou pela extensão, ou a que é usada pela maioria dos agricultores da região,
- Um nível baixo de adubação, que corresponde, a grosso modo, só ao exportado pelos grãos das culturas,
- Uma adubação não limitante (*expressão do potencial agrônômico na oferta pedoclimática local*).
- ♦ Estes três níveis de adubação, combinados aos modos diferenciados de gestão dos solos e das culturas, poderão evidenciar, no decorrer do tempo:
- ♦ A importância das possibilidades de restauração da fertilidade *lato sensu* pela via organo-biológica (*velocidade de restauração, importância na produtividade de matéria seca total em função dos níveis de adubação mineral, expressão do potencial produtivo do solo no passar*

do tempo), e a comprovação do fechamento do sistema "solo-cultura" (SÉGUY et al., 1996), sem perda de nutrientes, graças aos sistemas de cultivo em Plantio Direto conduzidos com um baixo nível de adubação, que só repõe as exportações de nutrientes pelos grãos.

- ♦ A influência preponderante e capital da gestão prioritária das propriedades físicas e biológicas (*estritamente ligadas*) sobre as performances agrônômicas dos sistemas de cultivo no decorrer do tempo, em relação às das propriedades químicas nos solos tropicais (*latossolos dominantes, mais ou menos degradados*).

CONTEÚDO DAS MATRIZES "Sistemas de cultivo" PERENIZADAS:

Elas reúnem na mesma unidade experimental e nas mesmas condições pedoclimáticas:

- O/os sistemas tradicionais representativos da região;
- Sistemas inovadores, preservadores do meio ambiente em constante evolução, que usam novas técnicas de Plantio Direto, inspirados diretamente no funcionamento do ecossistema florestal: o plantio direto sobre cobertura permanente do solo (SÉGUY et al., 1996).

Três grandes tipos de sistemas de cultivo foram elaborados pelo CIRAD-CA inspirados no ecossistema florestal (vide Figuras 8 a 10):

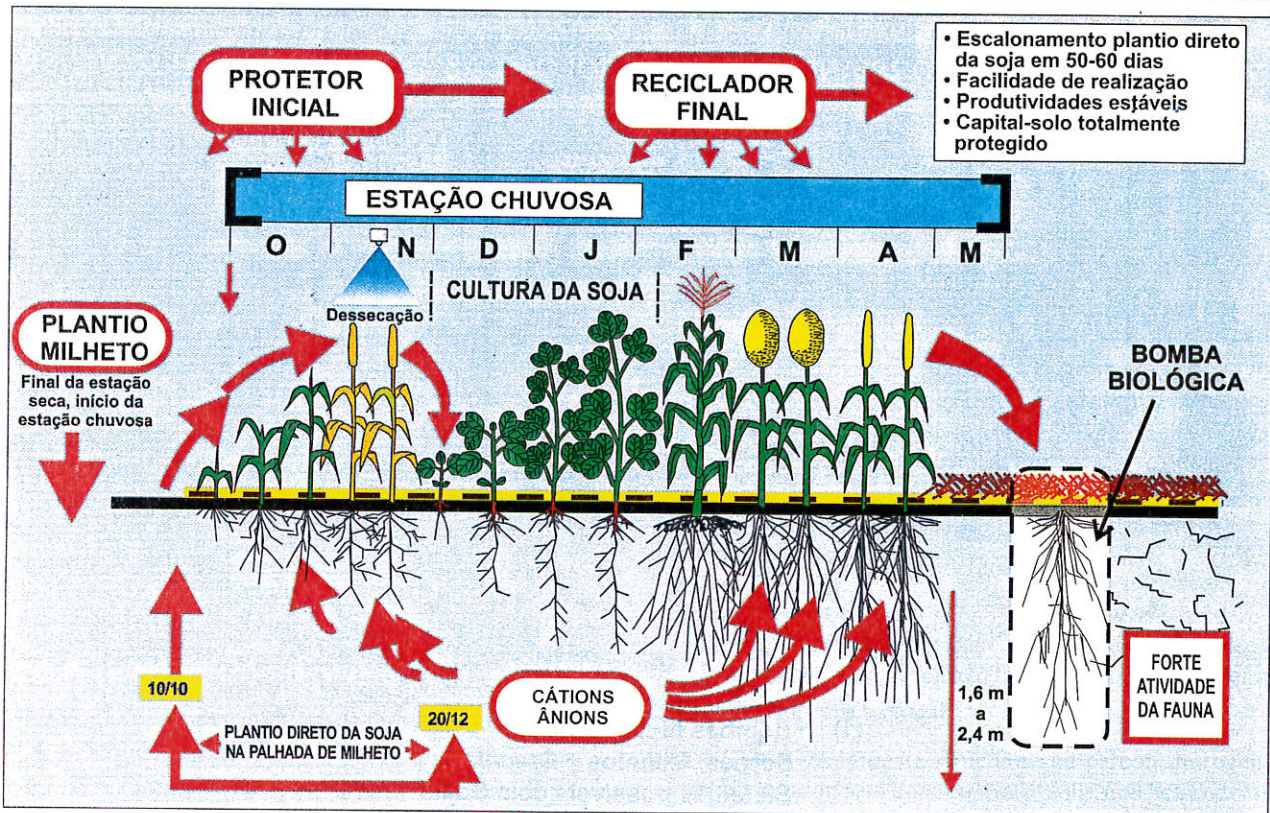
- Nas coberturas mortas,
- Nas coberturas vivas,
- Nas coberturas com vocação mista.

Nos sistemas com cobertura morta permanente, a cobertura provém, além dos resíduos de colheita das culturas comerciais, de uma cultura de biomassa vegetal (*espécie com a vocação de produção de grãos ou forrageira, ou ambas associadas*), extremamente potente, implantada antes ou depois da cobertura comercial, em condições pluviométricas frequentemente aleatórias (Figura 4). Esta forte biomassa é dessecada com herbicidas logo antes do plantio direto da cultura comercial, o qual se realiza na cobertura graças a plantadeiras especialmente concebidas para este fim.

Nos sistemas com cobertura viva permanente, é utilizada sempre uma espécie forrageira perene através de órgãos de multiplicação vegetativa (*estolões, rizomas*). A cultura comercial é implantada na cobertura em que somente a parte aérea foi dessecada (*preservando totalmente os órgãos de reprodução vegetativa com herbicidas idôneos, baratos e pouco poluidores*). A cobertura é mantida viva, mas não compete com a cultura comercial (*com ajuda de herbicidas seletivos, usados em baixíssima dosagem*), até que a cultura comercial, gerida para este fim, assegure um sombreamento total acima dela. Quando a cultura comercial amadurece, ela deixa a luz penetrar, e a cobertura viva volta a crescer cobrindo logo o solo, e pode ser pastoreada pelos animais após a colheita (*sucessões anuais = produção de grãos + produção de carne ou leite*) (Figura 5).

Os sistemas mistos (Figura 6) são intermediários entre os dois modelos anteriores e são edificados sobre sucessões anuais que incluem: uma cultura comercial + uma cultura de biomassa para produção de grãos consorciada com uma cultura forrageira; por-

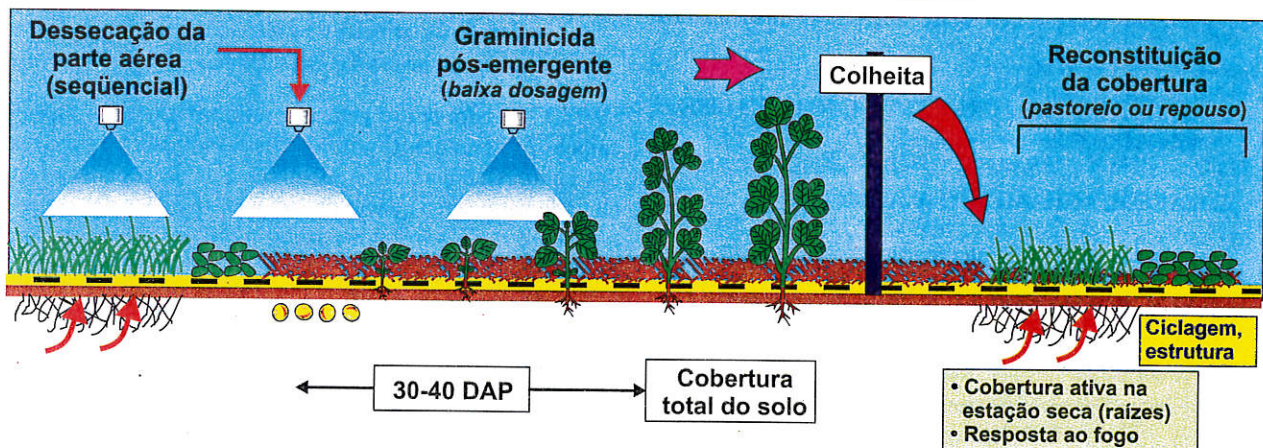
**FIGURA 4. "SISTEMA MANTENEDOR DA FERTILIDADE" NA CULTURA DA SOJA
INÍCIO DO PLANTIO DIRETO - 1987**



L. Séguy, S. Bouzinac - MT/1993

FIGURA 5. SISTEMAS DE CULTIVO EM PLANTIO DIRETO SOBRE COBERTURAS VIVAS⁽¹⁾ - PRINCÍPIOS BÁSICOS

1. COBERTURA COM ESTOLÕES E/OU RIZOMAS

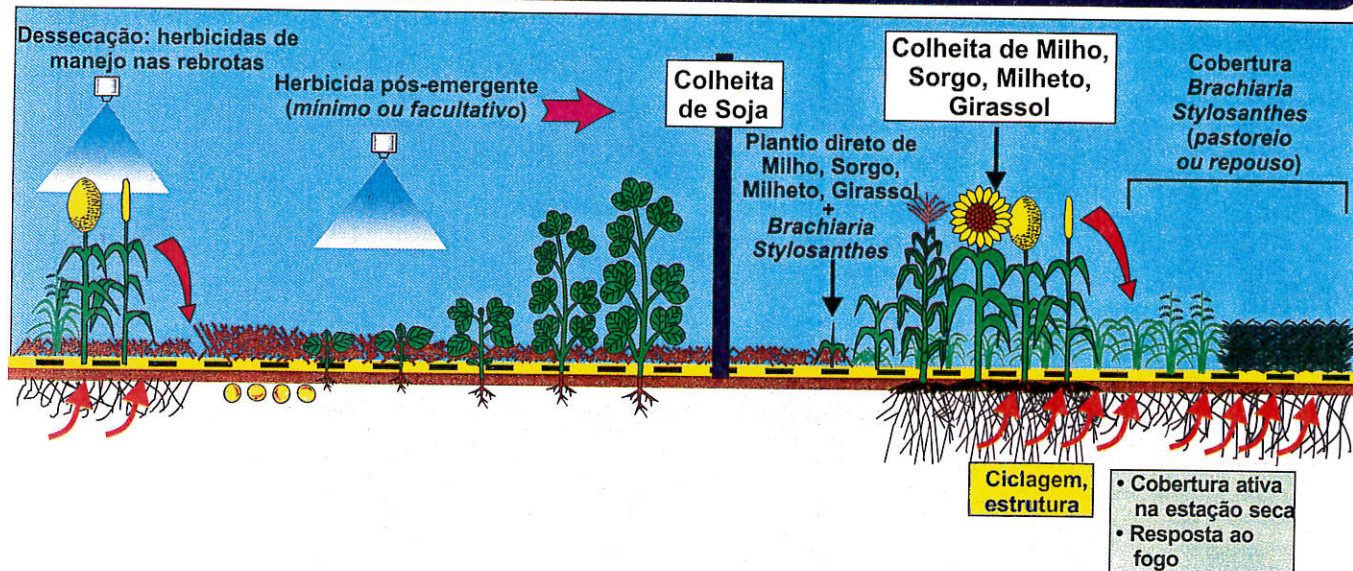


- (1) • Gêneros *Cynodon* (Tifton), *Arachis*, *Pennisetum*, *Paspalum*, *Stenotaphrum*, *Axonopus*
• Sistemas: Sucessões anuais
Soja, Arroz, Algodão, Milho + Pastagem

FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac - CIRAD CA-GEC, 1993/98

FIGURA 6. SISTEMAS DE CULTIVO EM PLANTIO DIRETO NAS COBERTURAS VIVAS - PRINCÍPIOS BÁSICOS

2. COBERTURAS CONSORCIANDO BOMBAS BIOLÓGICAS⁽¹⁾ + *BRACHIARIA RUZIZIENSIS*



- (1)
- Bombas biológicas: Sorgos, Milhetos + *Brachiaria*
 - Sistemas possíveis com Soja, Arroz de alta tecnologia, Algodão

FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac - CIRAD CA-GEC, 1993/98

tanto, colhe-se as duas culturas sucessivas durante a estação chuvosa, e em seguida, durante a estação seca, tem-se uma produção de carne ou de leite assegurada pela cultura forrageira (Figura 6).

A duração da estação chuvosa e a importância da pluviosidade determinarão as possibilidades de aplicação de um ou outro tipo de sistema de Plantio Direto com cobertura permanente dos solos.

2.2. ACOMPANHAMENTO - AVALIAÇÃO E ANÁLISE DE IMPACTOS

2.2.1. ACOMPANHAMENTO-AVALIAÇÃO

Depende das escalas de intervenção:

♦ NA ESCALA DA PARCELA estão avaliadas as performances comparadas dos sistemas de cultivo com o passar do tempo, em termos:

a) **agronômicos**: produtividade de matéria seca das culturas comerciais ou alimentares (*biomassas aéreas = grãos + palhas, e biomassas radiculares*) e seus teores em nutrientes; produtividade das culturas “biomassas de cobertura” ou “bombas biológicas” que desempenham sua multifuncionalidade nos solos e que constituem o leito no qual efetua-se o plantio direto das culturas comerciais. São registrados:

- Os rendimentos em matéria seca das partes aéreas e radiculares e sua dinâmica de crescimento,

- Seu conteúdo em nutrientes: C, N, P, Ca, Mg, K, S e micronutrientes.

Estas medições são efetuadas sistematicamente:

- ♦ antes do plantio direto das culturas comerciais,
- ♦ depois da colheita de grãos, e após a das biomassas de cobertura instaladas em safrinha.

O registro destes parâmetros informa sobre a dinâmica do carbono e dos nutrientes procedentes da mineralização das restebas das culturas comerciais e das biomassas de cobertura oriundas tanto da parte aérea quanto da radicular (*funções das coberturas: alimentar, recicladora e reestruturadora, de recarregamento em carbono*).

Igualmente são acompanhados, em cada sistema de cultivo, o parasitismo dos solos e das culturas, e a evolução da flora daninha (*função de controle das coberturas*).

b) **técnicos** = factibilidade (*exequibilidade*) técnica dos sistemas de cultivo, capacidade de trabalho dos equipamentos mecanizados e da mão-de-obra, sua flexibilidade de uso, sua penosidade.

c) **econômicos** = custos de produção, margens brutas e líquidas, relação custo/benefício. No caso das agriculturas manuais, também o número de dias de trabalho e a sua valorização.

O registro desses dados mínimos permite, em todos os casos:

- classificar os sistemas de cultivo a partir de suas performances anuais e interanuais, nos planos agronômico, técnico e econômico.
- comparar e compreender seus principais modos de funcionamento agronômicos no passar do tempo (*relações solo-culturas*), avaliá-los e classificá-los face aos riscos climáticos maiores.
- identificar os sistemas mais estáveis e de menor risco do ponto de vista da gestão econômica frente às variabilidades climáticas e econômicas.

♦ NA ESCALA DA TOPOSEQUÊNCIA

- Dinâmica da erosão e do escoamento (*qualitativo*),
- Avaliação das externalidades: carga sólida, teores em nitratos, bases, P, moléculas xenobióticas, recuperadas na parte “a justante” das toposequências (Figura 2).

♦ NA ESCALA DAS FAZENDAS DE REFERÊNCIA E DOS “TERROIRS” (*meio real*)

• Performances comparadas dos sistemas de cultivo e de produção a partir dos critérios precedentes: agronômicos, técnicos e econômicos.

• Difusão espontânea dos sistemas de cultivo em Plantio Direto (*importância, pontos fortes e fracos*).

• Identificação dos agricultores líderes, formadores de opinião (*amplificação da difusão*).

• Modificação dos sistemas de cultivo e de produção, da ocupação do espaço; importância da árvore no espaço cultivado, do pousio.

♦ NA ESCALA REGIONAL

• A partir da rede experimental (*matrizes + fazendas de referência*), criação de referências agronômicas e técnico-econômicas regionais (*banco de dados*) sobre os sistemas de cultivo em Plantio Direto nas coberturas vegetais.

• Modelagem do funcionamento comparado dos sistemas de cultivo (*leis de funcionamento dos agrossistemas e possibilidades de extrapolação para demais ecologias*).

2.2.2. ANÁLISE DOS IMPACTOS

♦ NO SOLO

Evolução da fertilidade dos solos (*escala das toposequências, dos sistemas de cultivo, do ambiente natural*):

Análises de rotina

• **Propriedades químicas:** pH, S, CTC, P total e trocável (*Resina*), K, Ca, Mg, Al, S e micronutrientes;

• **Propriedades físicas:** M.O., N orgânico, propriedades hidrodinâmicas = água utilizável, sua velocidade de infiltração sob culturas, a tipologia dos agregados e do espaço poral; caracterização e acompanhamento permanente do perfil cultural e especial-

mente da dinâmica de colonização radicular (*velocidade, características de exploração do perfil*).

Análises mais detalhadas, necessárias para quantificar a dinâmica do carbono e dos íons:

• **dinâmica dos nitratos de Ca e de K** (*tipo de funcionamento do sistema “solo-culturas”: aberto ou fechado* [conceito SÉGUY, 1996]).

• **propriedades biológicas:** caracterização da fauna (*macro e meso*), biomassa microbiana, biomassa microbiana/C, C e N orgânico, dinâmica do C (C^{13}/C^{12}) (CERRI et al., 1985), método do fracionamento granulométrico das matérias orgânicas (FELLER, 1995), índice da atividade biológica global (*Bourguignon C., 1995/2000, comunicação pessoal*).

♦ NAS EXTERNALIDADES

Na escala de toposequências representativas ou parte de microbasias:

• Manutenção das infra-estruturas: estradas, caminhos, instalações hidráulicas (*operações, custos*).

• Rios, poços, lençóis freáticos: poluição *lato sensu* (*nitratos, pesticidas*).

♦ NA MENTALIDADE DOS AGRICULTORES

• Relações com meio-ambiente (*replanteio de árvores, instalação de cercas vivas, respeito à fauna*);

• Levantar em conta a qualidade da produção;

• Organização da profissão agrícola (*clubes e associações de Plantio Direto, outros tipos de organização da produção, do crédito, dos insumos*);

• Natureza de suas decisões, visão de seu futuro.

♦ NA ECONOMIA REGIONAL

• *Continuums* produtivos e comerciais por produto, mercados, transformação dos produtos.

• Redes de abastecimento em fatores de produção, em créditos.

• Lugar da agricultura na economia regional.

2.3. ESCOLHA DAS ECO-REGIÕES

Dentro deste estudo, três grandes ecologias foram escolhidas a título de exemplos demonstrativos. Elas são muito diferentes nos planos geomorfológico, pedológico, climático e sócio-econômico, porém, todas foram submetidas a uma erosão intensa quando os solos foram preparados.

• **Os Trópicos Úmidos (TU)** foram representados pela região das frentes pioneiras do Sul da Bacia Amazônica no Brasil (*de 11 a 12° de latitude Sul*) e a região de Boumango, no Gabão, no Oeste da África (*2° de latitude N*). Elas correspondem ao domínio dos Latossolos sobre rocha ácida, altamente dessaturados, sob clima quente com alta pluviometria anual, com uma ou duas estações chuvosas, variando entre 2.000 e mais de 3.000 mm, distribuí-

das em 7 a 8 meses. As unidades geomorfológicas mais representativas são as colinas em meia-laranja, cujo declive vai de 2% até mais de 6%. Dois grandes ecossistemas estão lado a lado: o das FLORESTAS e o dos CERRADOS (*savanas*).

• **Região das FLORESTAS TROPICAIS do Centro-Oeste brasileiro** (17° de latitude Sul), representativa dos Latossolos Vermelho-Escuros eutróficos com fortes potencialidades sobre rochas basálticas (os "trapps basálticos" cobrem 750.000 km² no Brasil); o clima é mais fresco na estação seca e a pluviometria variável de um ano para outro, oscila entre 900 e 1.600 mm, em 6 meses. As unidades geomorfológicas são constituídas de "dedos" basálticos com fortes declives (6 a 20%).

Nessas duas grandes ecologias abertas para a agricultura no final dos anos 70 desenvolveu-se uma agricultura mecanizada, praticada em grandes fazendas dominantes, e baseada em culturas industriais, tais como soja, algodão, ou em culturas alimentares, como arroz e milho, ou ainda a pecuária extensiva.

• **Região das Altas Terras da ilha de Madagascar**, que se beneficia de condições climáticas subtropicais, frescas e úmidas (19° de latitude Sul), com altitude entre 1.200 e 2.000 m, e submetida a um regime ciclônico de chuvas; a pluviometria varia de 1.200 a 1.800 mm e as chuvas podem ser excepcionalmente agressivas durante os ciclones. Os solos são Latossolos sobre maciços cristali-

nos (*localidade de Ibity*), ou sobre aluviões lacustres antigos (*localidade de Sambaina*), e são geralmente ricos em matéria orgânica de baixíssima atividade. Se a agricultura concentra suas atividades na rizicultura irrigada dos vales de altitude, praticada manualmente ou com tração animal, a densidade crescente de ocupação dos solos leva à colonização cada vez maior das colinas com fortíssimo declive, cobertas de latossolos humíferos fortemente dessaturados; a agricultura praticada manualmente é de baixíssima produtividade, sem insumos químicos, os solos são "arados" com pá tradicional (*Angady*).

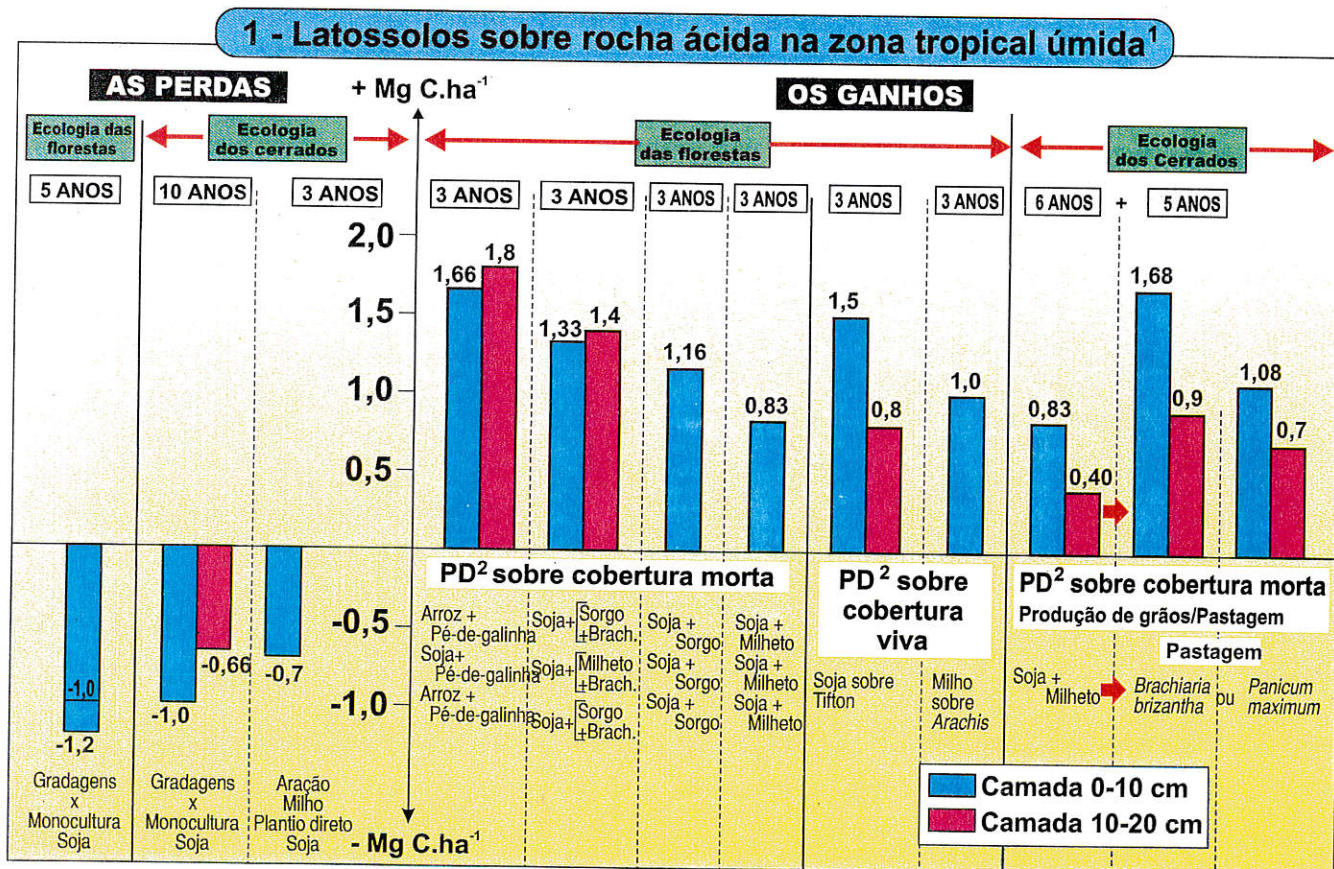
3. RESULTADOS

3.1. DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA EM FUNÇÃO DA NATUREZA DOS SISTEMAS DE CULTIVO E DAS ECOLOGIAS

Várias regras podem ser enunciadas a respeito da dinâmica do carbono em função dos sistemas de cultivo, nas diversas grandes eco-regiões tropicais e subtropicais (Figuras 7, 8 e 9):

a) Em todos os casos estudados, as técnicas de preparo de solo (*gradagens, arações*) combinadas com sistemas de monocultura com uma só cultura anual, que só utiliza uma pequena fração do potencial hídrico disponível, levam sempre a perdas expressivas

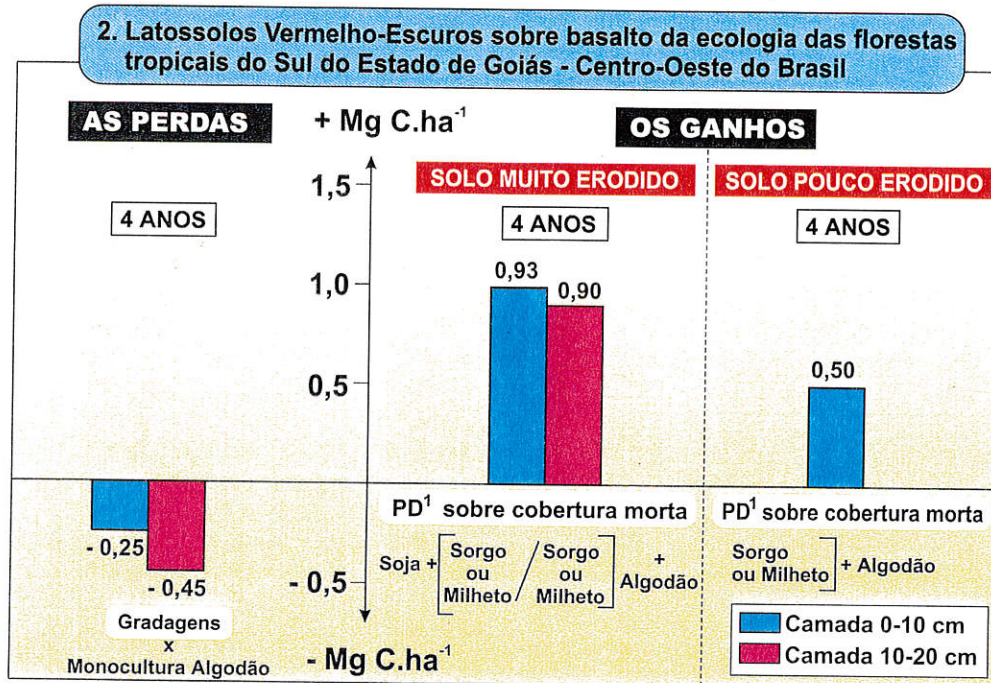
FIGURA 7. RESUMO DAS TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO DOS TEORES MÉDIOS ANUAIS DE CARBONO DO SOLO (em Mg C.ha⁻¹), EM FUNÇÃO DA NATUREZA DOS SISTEMAS DE CULTIVO PRATICADOS



1- Brasil e Gabão; 2 - PD = Plantio direto

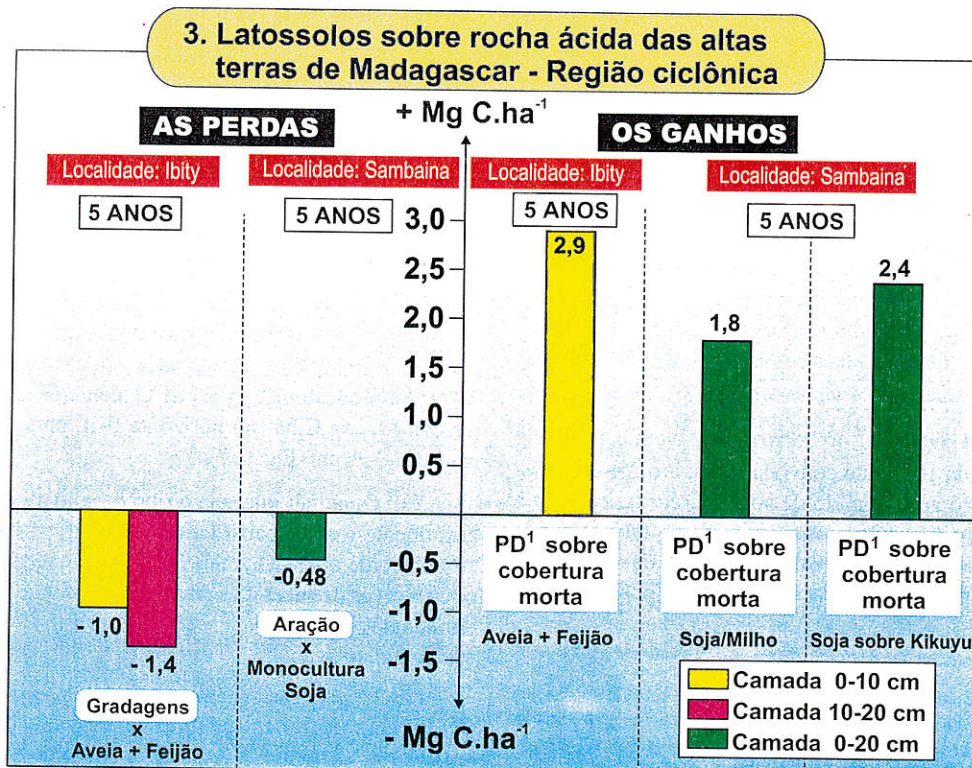
FONTE: L. Séguin, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC; M. Matsubara, Faz. Progresso; A. C. Maronezzi, Agronorte; S. Boulakia et al., CIRAD - 1994/99 - Sinop/MT

FIGURA 8. RESUMO DAS TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO DOS TEORES MÉDIOS ANUAIS DE CARBONO DO SOLO (em Mg C.ha⁻¹), EM FUNÇÃO DA NATUREZA DOS SISTEMAS DE CULTIVO PRATICADOS



FONTE: E. Maeda, M. Esaki, Grupo Maeda; L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC; Porteirão/GO, 1995/1999

FIGURA 9. RESUMO DAS TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO DOS TEORES MÉDIOS ANUAIS DE CARBONO DO SOLO (em Mg C.ha⁻¹), EM FUNÇÃO Da NATUREZA DOS SISTEMAS DE CULTIVO PRATICADOS



FONTE: ONG TAFA; R. Michellon, P. Julien, CIRAD-CA/GEC - Antsirabé, 1999 - MADAGASCAR

de matéria orgânica, cuja importância varia em função das condições de clima, solo, declive, técnicas de preparo do solo e estado de degradação do perfil cultural:

- Nos Trópicos Úmidos, na ecologia de florestas com topografia plana, as perdas se concentram no horizonte de 0-10 cm e variam entre - 0,7 e - 1,2 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹, mas podem também afetar a camada de 10-20 cm, como no caso dos cerrados, onde a declividade é maior e a erosão é mais ativa.

- Em regiões subtropicais de altitude, com relevo montanhoso, os latossolos sobre “maciço-cristalino”, submetidos a um regime ciclônico de chuvas, podem perder entre - 1,0 e - 1,4 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹.

- Em regiões de florestas tropicais sobre basalto, com fortes declives no Centro-Oeste brasileiro (*Sul de Goiás*), os latossolos mais argilosos e com fortes potencialidades se revelam menos sensíveis a estes modos de gestão (*gradagem x monocultura de algodão*) e perdem somente entre - 0,2 e - 0,45 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹.

b) Todos os sistemas de cultivo em Plantio Direto sobre coberturas vegetais permanentes permitem, em todas as situações pedoclimáticas, recarregar o perfil cultural em M.O. e controlar totalmente a erosão, qualquer que seja o declive, a pluviometria e o tipo de solo.

c) Se a importância da sequestração de C depende das condições de solo e clima (*o clima subtropical de altitude, fresco e úmido, é o que mais acumula C*), esta é principalmente condicionada, em cada grande eco-região, pela natureza dos sistemas de cultivo praticados em Plantio Direto e pelo estado de degradação físico-biológico do perfil cultural inicial. **Nos Trópicos Úmidos**⁷, onde as condições climáticas são ideais para um funcionamento máximo do “reator - mineralização da M.O.”, a taxa de sequestração anual de C pode então variar de 1 para 2 em função da natureza dos sistemas praticados; partindo de perfis culturais já muito degradados, empobrecidos em M.O.:

- + 0,83 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹ para sucessão anual soja + milho (0-10 cm)

- + 1,16 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹ para a sucessão anual soja + sorgo (0-10 cm)

- + 1,33 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹ no horizonte 0-10 cm e + 1,4 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹ na camada 10-20 cm para a sucessão soja + sorgo ou milho consorciados com *Brachiaria ruziziensis*, dentro da qual a pastagem continua produzindo biomassa verde após a colheita do sorgo e durante toda a estação seca (*biomassas aéreas e radiculares*);

- + 1,66 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹ no horizonte 0,10 cm e + 1,8 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹ na camada 10-20 cm com o sistema: arroz + *Eleusine coracana* no primeiro ano, seguido de soja + *Eleusine coracana* no 2º ano, e de arroz + *Eleusine coracana* no 3º ano, ou seja, cinco gramíneas em três anos incluindo três ciclos de *Eleusine coracana*, gramínea anual que possui o sistema radicular mais possante entre

todas as espécies que testamos até hoje (*biomassa seca radicular superior a 5 t/ha na camada 0-50 cm, em 80 dias*).

Os sistemas em plantio direto de soja, milho (*de arroz e algodão possíveis também*) sobre coberturas vivas perenes, respectivamente de *Cynodon dactylon* Tifton e *Arachis pintoi*, permitem igualmente sequestrar o carbono de modo muito eficiente; em três anos, a quantia anual de C sequestrado é de:

- + 1,5 Mg C.ha⁻¹ no horizonte 0-10 cm e de + 0,8 Mg C.ha⁻¹ no nível 10-20 cm para o sistema mais atuante: soja em cima de Tifton,

- + 1,0 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹ mas somente na camada 0-10 cm para o sistema milho sobre *Arachis pintoi*.

- Após um período de seis anos de prática contínua do sistema soja + milho ou sorgo, em plantio direto, e partindo de um perfil cultural parcialmente restaurado em M.O. pelo sistema de plantio direto, se implantarmos, sempre em plantio direto, espécies forrageiras que serão pastoreadas durante os 5 anos seguidos sem insumos (1,8 UA/ha), o percentual de M.O. do solo aumenta mais rapidamente e a quantidade de carbono sequestrado anualmente é mais elevada com a espécie *Brachiaria brizantha* (cv. *Brizantão*) do que com a espécie *Panicum maximum* (cv. *Tanzânia*): + 0,7 Mg C.ha⁻¹ para esta última no horizonte 0-10 cm contra + 0,9 Mg C.ha⁻¹ para o *brizantão*, na mesma camada;

- No horizonte 10-20 cm a taxa de sequestração anual de C é muito elevada: + 1,68 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹ com *Brachiaria brizantha* contra + 1,08 Mg C.ha⁻¹.ano⁻¹ com *Panicum maximum*.

Portanto, essas duas espécies recarregam fortemente o perfil cultural abaixo de 10 cm de profundidade.

Resultados similares de sequestração de C sob Plantio Direto foram obtidos nas savanas gabonenses, em condições pedoclimáticas próximas e a partir de sistemas de cultivo de produção de grãos semelhantes, que transferimos do Brasil (cf. cronosequências Gabão; BOULAKIA et al., 1999) (Figura 7). Como no caso das frentes pioneiras dos Trópicos Úmidos do Brasil, o preparo profundo do solo, praticado a cada ano na entrada de uma sucessão anual milho + soja, induz à perda progressiva de M.O.; as perdas anuais de C são, em três anos, de - 1,0 Mg C.ha⁻¹ no horizonte 0-10 cm, e de - 0,7 Mg C.ha⁻¹ no nível 10-20 cm na presença de uma forte adubação mineral anual. Quando é usado um nível de adubação médio a baixo a perda anual de C é menor.

Como nos Cerrados brasileiros, a prática, em plantio direto contínuo, de sistemas com duas culturas anuais em sucessão dominados por gramíneas, semelhantes aos utilizados no Brasil, leva a níveis de sequestração anual de C idênticos aos observados neste país: + 1,0 Mg C.ha⁻¹ no horizonte 0-10 cm e + 0,8 Mg C.ha⁻¹ na camada 10-20 cm (Figura 7).

d) Qualquer que seja o tipo de solo e as condições climáticas, quanto mais o perfil cultural inicial estiver desestruturado e empobrecido em M.O., mais rápido será o recarregamento em carbono através de sucessões em PD onde as gramíneas têm um papel dominante (*milho, mas sobretudo sorgo, Eleusine, aveia, espécies forrageiras*).

Sob pluviometria menor (900 a 1.600 mm), com solos argilosos naturalmente bem estruturados e ricos em M.O., como os Latossolos Vermelho-Escuros sobre basalto do Sul de Goiás, submetidos a gradagens em monocultura de algodão, sob fortes declives, as perdas de M.O. são nitidamente inferiores às registradas

⁷ A parte relativa aos 15 anos da cronosequência três em ecologia de floresta (Figura 16) e a cronosequência de Cerrados (Figura 17) incluem, na realidade, dois a três anos de arroz logo após desmatamento. Esta cultura faz parte integrante do desmatamento-abertura das terras. Ela restitui entre 7 e 11 t/ha.ano⁻¹ de resíduos com C/N elevado, que permite manter o teor de M.O. do perfil cultural do início (SÉGUY et al., 1996).

nos Trópicos Úmidos e são principalmente localizadas nos cortes de erosão (*erosão linear dominante*).

e) O clima fresco e úmido de altitude nas terras altas de Madagascar permite seqüestrar a maior quantidade de carbono anualmente, quando as gramíneas perenes muito possantes são os suportes dominantes dos sistemas em PD (*Pennisetum clandestinum*): de + 1,8 a + 2,4 Mg C.ha⁻¹ no horizonte 0-20 cm.

f) A taxa de seqüestração de C nos sistemas de Plantio Direto mais atuantes pode ser tão rápida e importante quanto são as perdas sob gestão inadequada com preparo do solo. Os sistemas em Plantio Direto mais eficientes a esse respeito são os que usam safrinhas a base de “biomassas de cobertura” ou “bombas biológicas”, possantes fornecedoras de biomassa (*matéria seca aérea e radicular*) tais como milhetos, sorgos consorciados com *Brachiaria ruziziensis*, *Eleusine coracana*, *Cynodon dactylon*, nos Trópicos Úmidos, as espécies forrageiras perenes dos gêneros *Pennisetum (clandestinum)*, e *Desmodium (intortum)* nas regiões subtropicais de altitude. Estes sistemas levam, até em períodos curtos de 3 a 5 anos, a recuperar as taxas de M.O. dos ecossistemas originais e até a ultrapassá-las.

g) O recarregamento em carbono, a curto prazo, do perfil cultural com os melhores sistemas de Plantio Direto é interessante, de modo preferencial, para o horizonte 0-10 cm, mas também para o de 10-20 cm, quando espécies forrageiras foram usadas em rotação, tais como *Brachiaria*, *Eleusine*, *Cynodon*, *Pennisetum*.

A comparação dos resultados obtidos com os de demais autores dessas regiões tropicais e subtropicais, evidencia:

- Uma boa concordância com os resultados produzidos por CORRAZA et al. (1999) na eco-região dos cerrados do Centro-Oeste brasileiro, que mostram uma taxa de seqüestração anual de C de +2,18 Mg C.ha⁻¹.

- Na região Sul do Brasil, em condições subtropicais, os resultados recentes obtidos por AMADO et al. (1999), BAYER et al. (2000) e SÁ et al. (2000a), com taxas anuais de seqüestração de C de + 1,6, de + 1,33 e de 0,99 Mg C.ha⁻¹, respectivamente, são bastante comparáveis aos que obtivemos nas Terras Altas de Madagascar em clima subtropical fresco e úmido, com taxas variando entre + 1,3 e + 2,4 Mg C.ha⁻¹.

- Como no presente estudo, vários exemplos no Kentucky (EUA) em clima temperado e em Ponta Grossa no Brasil subtropical, citados por SÁ et al. (2000a,b), mostram que o estoque de carbono acumulado durante longos períodos (*15 a 20 anos*) em Plantio Direto pode ser superior ao do ecossistema sob vegetação nativa e que diz respeito preferencialmente à camada 0-10 cm (LAL, 1997; DICK et al., 1998; KERN & JOHNSON, 1993).

Outra conclusão concordante deste estudo com os dos autores já citados: apesar da taxa de decomposição da M.O. em regiões tropicais e subtropicais ser de 5 a 10 vezes maior do que nas regiões temperadas (LAL & LOGAN, 1995), os ganhos de M.O. ligados à prática contínua do Plantio Direto podem ser equivalentes e até superiores nos trópicos: a natureza dos sistemas praticados em PD permite explicar este paradoxo.

3.2. DINÂMICA DO CARBONO, DA CTC E DO TEOR DE SATURAÇÃO (V%)

Em todas as cronoseqüências estudadas em latossolos vaquimicamente no início e com CTC efetiva baixa (LOPES, 1984),

as tendências de evolução da CTC acompanham estritamente as da M.O.: nos sistemas de cultivo que perdem M.O. (*com preparo de solo x monocultura*), a CTC dos horizontes de superfície decresce; pelo contrário, ela cresce junto com a M.O., quando o teor desta aumenta nos sistemas em Plantio Direto. Com as técnicas de Plantio Direto, cria-se um poder de retenção dos adubos minerais proporcional ao nível de seqüestração do C, e se pode assim reduzir suas perdas por lixiviação (SÉGUY et al., 2001).

O Plantio Direto influencia igualmente, de modo significativo, o teor de saturação das camadas superiores do perfil cultural e principalmente o horizonte 10-20 cm onde as variações se mostram mais sensíveis (SÉGUY et al., 2001). Para um mesmo nível de adubação mineral aplicado, o teor de saturação acompanha as variações da M.O. e da C.T.C.. O caso mais demonstrativo a esse respeito é o da cronoseqüência Cerrado dos Trópicos Úmidos, na qual as espécies forrageiras implantadas em Plantio Direto, em 5 anos, têm o papel de “bombas de cátions” e fazem crescer fortemente o teor de saturação das camadas superficiais, como se fossem aplicadas calagens em altas dosagens, enquanto nenhuma adubação mineral nem calagem foram aplicadas durante esses 5 anos (Figura 10).

Perfis culturais realizados a cada ano, em todas as cronoseqüências nas safrinhas “biomassa de cobertura - bombas biológicas”, mostram que os enraizamentos dessas safrinhas são muito profundos nesses latossolos e ultrapassam freqüentemente 2 a 2,5 m de profundidade na floração; assim sendo, essas safrinhas têm a capacidade de reciclar, a cada ano, as bases e os nitratos que escaparam das culturas comerciais. Tal é o caso das espécies dos gêneros = sorgo, *Brachiaria*, *Panicum*, *Eleusine*, *Crotalaria*, *Pennisetum*, *Cynodon*, fechando assim o sistema “solo-cultura” (conceitos de SÉGUY et al., 1996).

3.3. PERFORMANCES AGRONÔMICAS, TÉCNICAS E ECONÔMICAS DOS SISTEMAS DE CULTIVO CONFRONTADAS COM A DINÂMICA DA M.O.

3.3.1. ECO-REGIÃO DOS TRÓPICOS ÚMIDOS (TU)

A evolução das performances agronômicas dos sistemas de cultivo baseados nas culturas de arroz de sequeiro e de soja, criados pela pesquisa, foi reconstituída para o período 1986-2000. As Figuras 11 e 12, que retratam esta evolução em 14 anos, evidenciam os resultados reprodutíveis seguintes:

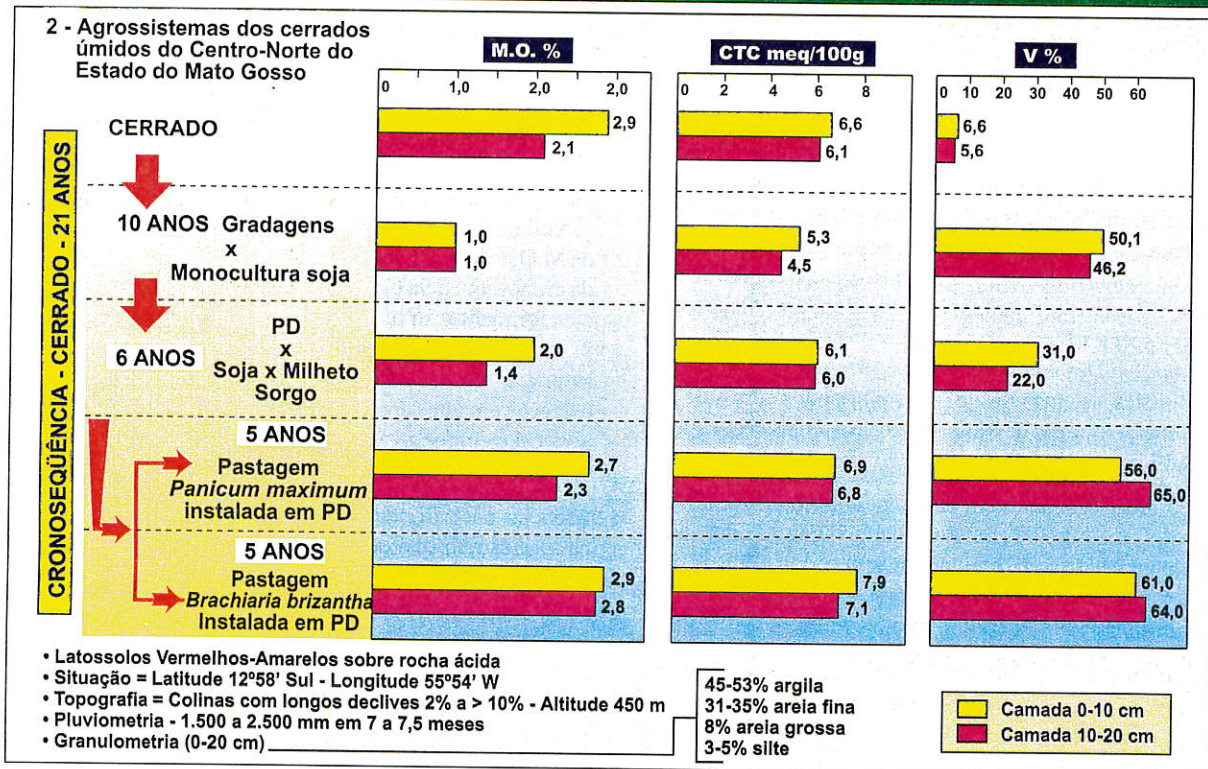
- A produção de matéria seca aérea total por hectare passou de 4 a 8 t/ha em 1986, para os sistemas iniciais com uma só cultura anual, para 25 a 28 t/ha no ano 2000, para a média dos melhores sistemas em PD com três culturas por ano (Figuras 11 e 12).

- A variação dos teores de M.O. das camadas superficiais acompanhou estritamente a da produção de matéria seca total aérea: os sistemas mais produtivos em PD acumularam, em média, entre 1992 e 2000, entre 1,7 e 2,1% de M.O. nesses oito anos (Figuras 11 e 12).

- A produtividade da soja, principal cultura da região, passou, assim, de 1.700 kg/ha (28 sc/ha), em 1986, a mais de 4.600 kg/ha (77 sc/ha) no ano 2000; a do arroz de sequeiro, no mesmo período, passou de 1.800-2.000 kg/ha (30 a 33 sc/ha) a mais de 8.000 kg/ha (133 sc/ha) (SÉGUY et al., 1998a; SÉGUY & BOUZINAC, 1998b).

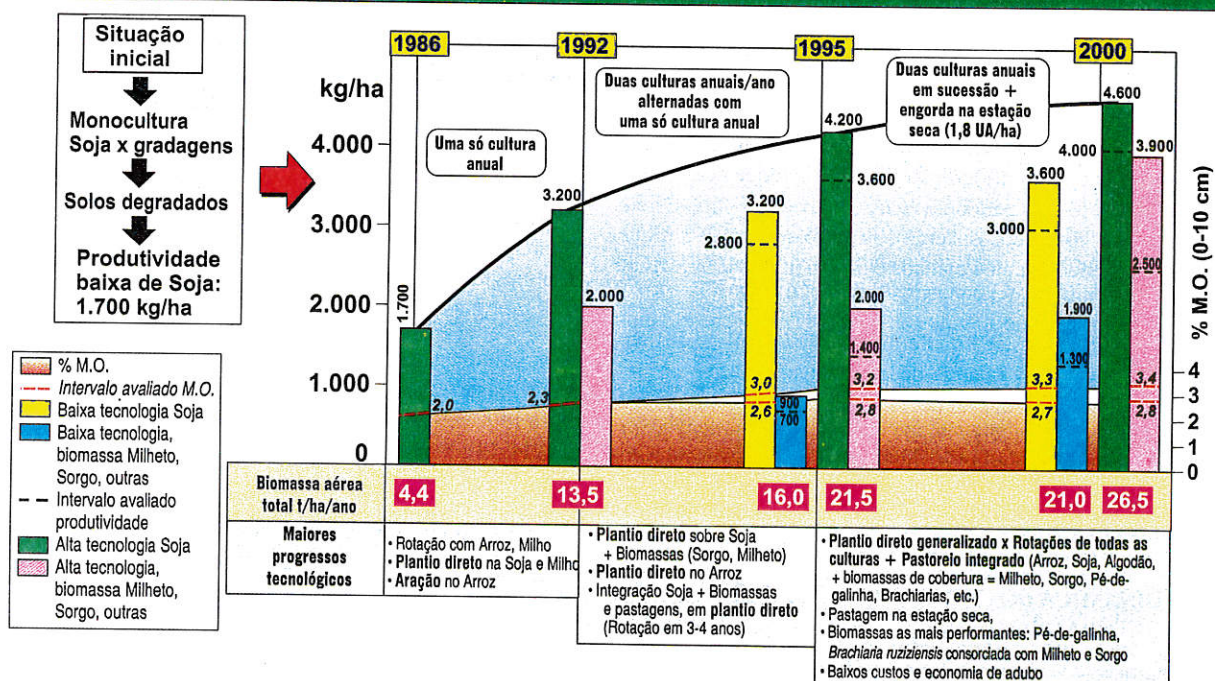
Nos últimos cinco anos, com benefícios de todos os progressos adquiridos na construção de 15 anos de sistemas de culti-

FIGURA 10. TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO DOS TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA (M.O. %), DA CAPACIDADE DE TROCA CATIÔNICA (CTC em meq/100 g) E DA TAXA DE SATURAÇÃO POR BASES (V%), EM FUNÇÃO DA NATUREZA DOS SISTEMAS DE CULTIVO PRATICADOS EM VÁRIOS AGROSSISTEMAS CONTRASTADOS, TROPICAIS E SUBTROPICAIS



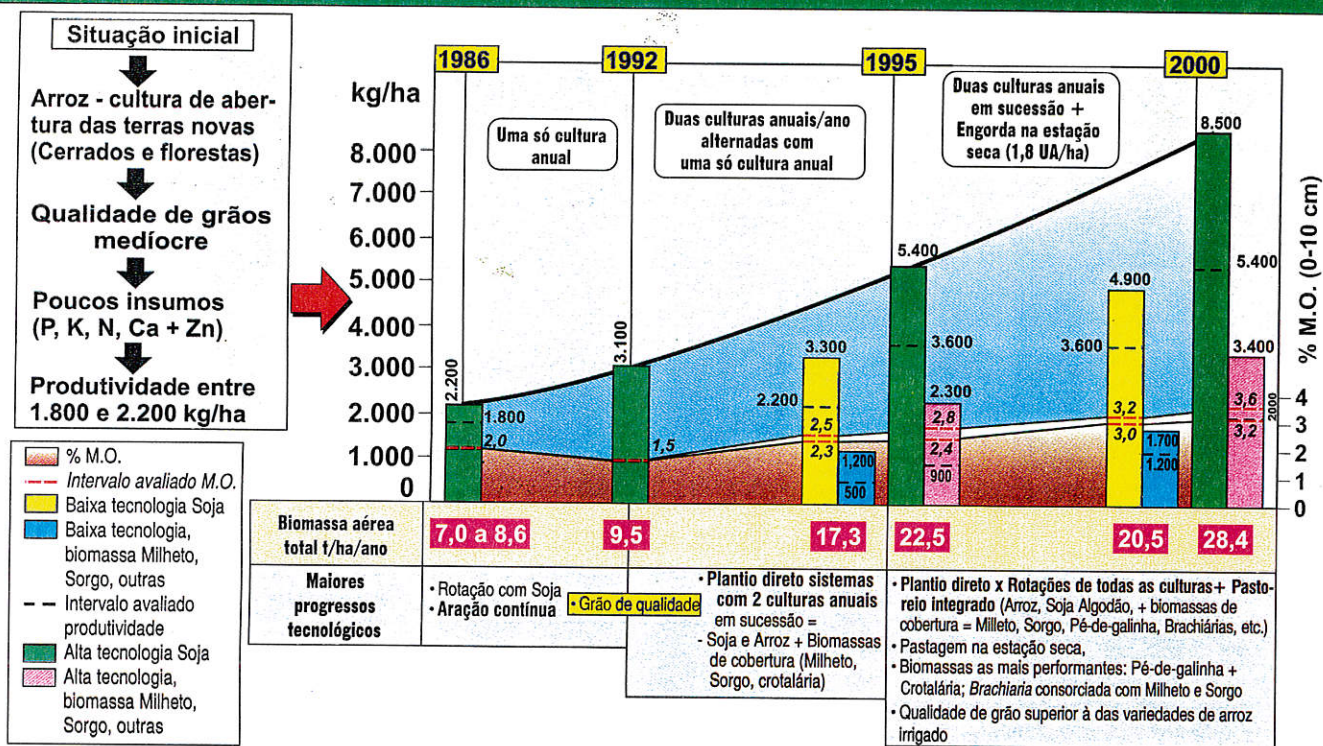
FONTE: L. Ségu, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV; Munefumi Matsubara, Fazenda Progresso - Lucas do Rio e Verde/MT - 1978/1998

FIGURA 11. TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO DAS PERFORMANCES DAS CULTURAS DA SOJA NOS SISTEMAS DE CULTURAS DURÁVEIS CRIADOS PELA PESQUISA E CONSEQUÊNCIAS SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOMASSA AÉREA E A TAXA DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO Latossolos oxidados e hidratados sobre rocha ácida das frentes pioneiras do Centro-Norte do Mato Grosso - Ecologia de florestas e cerrados úmidos



FONTE: L. Ségu, S. Bouzinac, CIRAD-CA; M. Matsubara, Fazenda Progresso; A. Trentini, Cooperlucas; A.C. Maronezzi, Agronorte-MT, 1986/2000

FIGURA 12. TENDÊNCIAS DE EVOLUÇÃO DAS PERFORMANCES DA CULTURA DO ARROZ DE SEQUEIRO NOS SISTEMAS DE CULTURAS DURÁVEIS CRIADOS PELA PESQUISA E CONSEQUÊNCIAS SOBRE A PRODUÇÃO DE BIOMASSA AÉREA E A TAXA DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO Latossolos oxidados e hidratados sobre rocha ácida das frentes pioneiras do Centro-Norte do Mato Grosso - Ecologia de florestas e cerrados úmidos



FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; M. Matsubara, Fazenda Progresso; A. Trentini, Cooperlucas; A. C. Maronezzi, Agronorte-MT, 1986/2000

vo em PD cada vez mais atuantes, e igualmente de um domínio técnico aprimorado, a análise das performances agronômicas comparadas dos sistemas de cultivo leva às seguintes conclusões:

- **O rendimento da soja**, tanto de ciclo curto (cv. Conquista) quanto de ciclo médio (cv. FT 114), é sempre nitidamente superior nos sistemas em PD do que na testemunha preparada. A diferença de produtividade cresce, ano a ano, em prol do PD; ela é proporcional à importância da biomassa seca na qual está implantada a soja em PD: na presença de um baixíssimo nível de adubação mineral (0 N-40 P₂O₅ + 40 K₂O), essa diferença de rendimento a favor do Plantio Direto vai de 13 a 17%, no primeiro ano, a 30 a 42% no terceiro ano para os melhores sistemas, qualquer que seja o ciclo da variedade (Figura 13). Quando a adubação aplicada é duplicada (0 N-80 P₂O₅ + 80 K₂O), as diferenças em favor dos melhores sistemas em PD oscilam de 15 a 25%, no primeiro ano, para ambos os ciclos, para 18-24% para o ciclo curto, e 31 a 47% para o ciclo médio no terceiro ano (Figura 13).

- **A produtividade do arroz de sequeiro** é, como a da soja, sempre maior em Plantio Direto do que em solo preparado (Figura 14). O rendimento médio das três melhores variedades, em 1997/98, é de 5.420 kg/ha (90 sc/ha) em PD sobre cobertura morta de pé-de-galinha (*Eleusine coracana*) contra 4.260 kg/ha (71 sc/ha) na aração com a mesma rotação, ou seja, um ganho de produtividade de 23% a favor do PD. Em 1998/99, na mesma rotação, o rendimento médio do Plantio Direto para essas mesmas cultivares é de 5.025 kg/ha (83,7 sc/ha) contra 2.885 kg/ha (48 sc/ha) na aração, ou seja, um ganho de 43% para o PD. Além disso, o estado sanitário do material

genético sempre é nitidamente melhor no PD do que na aração para as principais doenças fúngicas do aparelho vegetativo e reprodutor (SÉGUY et al., 1998b).

Se a produtividade da soja em PD está estreitamente correlata à produção de biomassa seca de gramíneas, o arroz de sequeiro responde da mesma forma desde que a nutrição nitrogenada não seja limitante (SÉGUY et al., 2001).

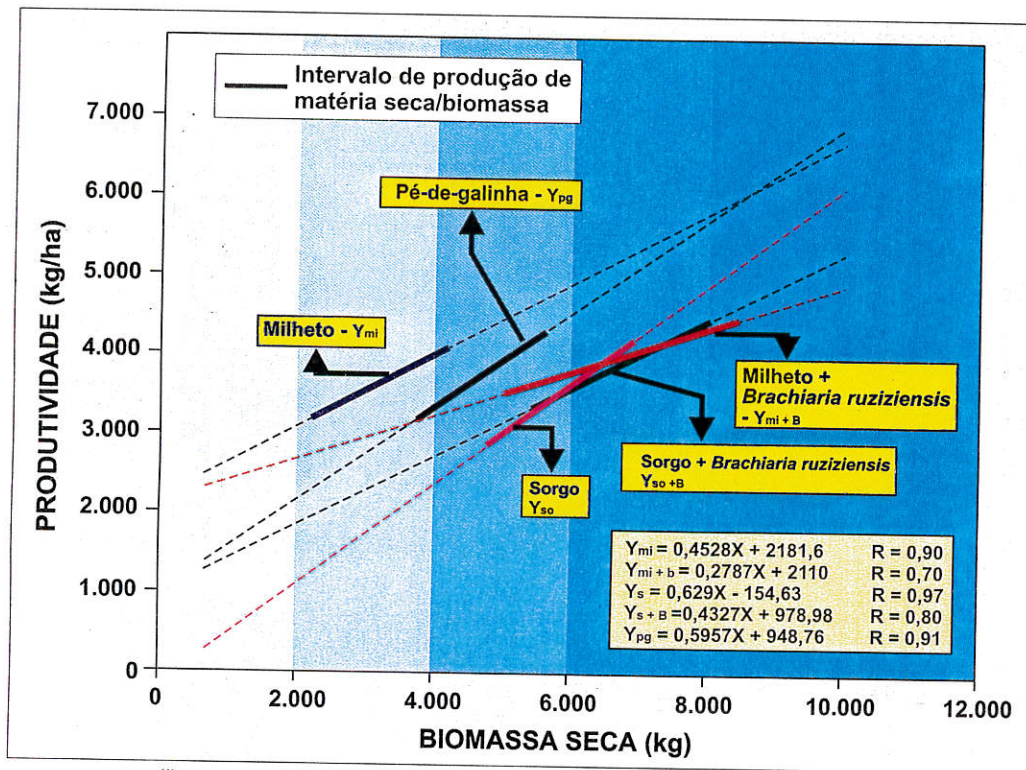
Os sistemas de PD sobre coberturas mortas e vivas mais produtivos em biomassa seca por ano são também aqueles que produzem mais grãos e que melhor sequestram o carbono.

- **Num mesmo ano agrícola**, pode-se produzir (e reproduzir) 6 a 7 t/ha de arroz de sequeiro de grão agulhinha ou 4 a 5 t/ha de soja, seguidos em safrinha, de 3 a 5 t/ha de cereais "bombas biológicas", consorciadas com espécies forrageiras que formarão uma pastagem durante toda a estação seca, a qual pode agüentar 1,5 a 2,0 cabeças de gado/ha nesses 3 meses (produção de 50 a 90 kg/ha de carne); estas três culturas anuais sucessivas, que abrangem os 12 meses do ano, conduzidas em Plantio Direto, consomem muito pouca adubação mineral: 50 a 115 kg N.ha⁻¹.ano⁻¹ no total, conforme a cultura de cabeceira (soja ou arroz, respectivamente), 100 a 110 kg P₂O₅.ha⁻¹.ano⁻¹, 110 a 130 kg K₂O.ha⁻¹.ano⁻¹.

Também é possível produzir entre 3.000 e 4.600 kg/ha de algodão (200 a 307 @/ha) em plantio direto após possantes biomassas de cobertura, em rotação com sucessões precedentes.

Portanto, a produtividade das principais culturas quase triplicou em 15 anos; os progressos marcantes realizados são impu-

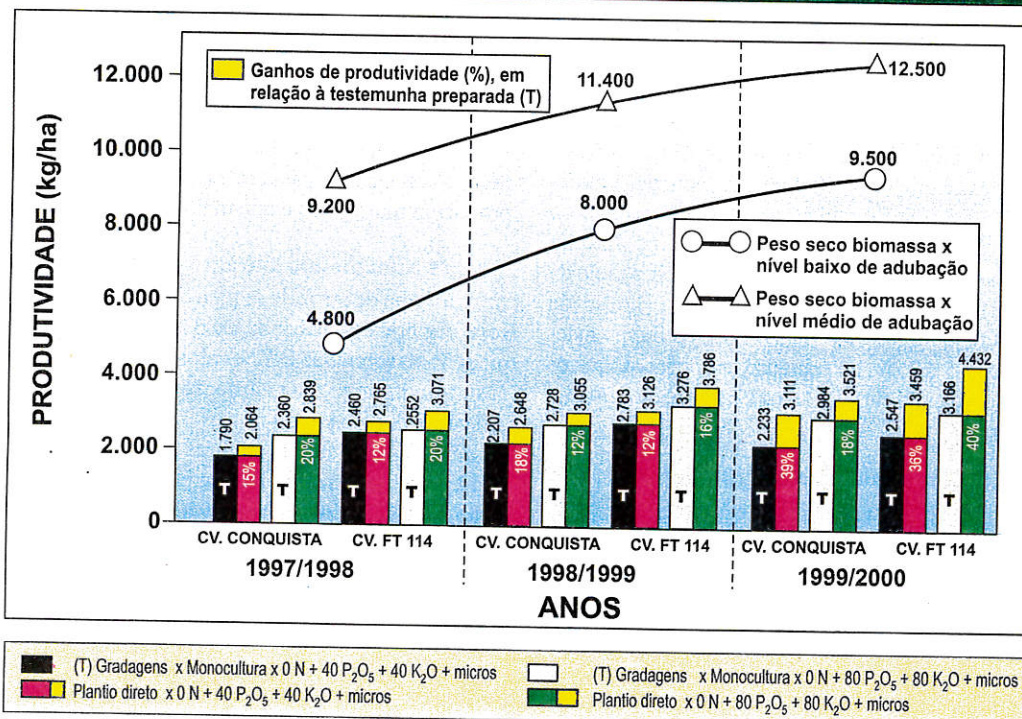
FIGURA 13. REGRESSÕES¹ ENTRE QUANTIDADE E NATUREZA DA BIOMASSA SECA E PRODUTIVIDADE DA SOJA DE CICLO MÉDIO (FT 114) EM TRÊS ANOS DE PLANTIO DIRETO (1997/2000) - AGRONORTE - SINOP/MT, 2000



⁽¹⁾ 6 Repetições/nível de adubação/cada ano

FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maronezzi, G.L. Lucas, M. Bianchi, AGRONORTE - Sinop/2000

EVOLUÇÃO, EM TRÊS ANOS, DA PRODUTIVIDADE DA SOJA EM PLANTIO DIRETO (PD), (Variedades Conquista e FT 114) E DAS MELHORES BIOMASSAS DE COBERTURA (média do peso seco de Pé de Galinha; Sorgo, Milheto + Brachiaria ruziziensis) - Ecologia das florestas do Centro-Norte do Mato Grosso - Sinop/MT - 1997/2000



FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A.C. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT, 1997/2000

FIGURA 14. PERFORMANCES MÉDIAS REGIONAIS DAS MELHORES VARIETADES AGRONORTE DE ARROZ DE SEQUEIRO DE QUALIDADE SUPERIOR DE GRÃO, NO ESTADO DO MATO GROSSO, EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO, DE 1997 A 2000

AGRONORTE - SINOP/MT - 2000

	Variedades de ciclo curto a intermediário 95 a 110 dias					Variedades de ciclo médio 115 a 130 dias				
	8FA 281-2	YM 94	Cedro	8FA 337-1	Sucupira	YM 200	YM 198	YM 114	YM 65	Best 2000
	Produtividade média - kg/ha									
• Alta tecnologia	6.066	5.403	4.925	4.851	4.486	6.044	5.862	5.751	5.412	5.328
• Baixa tecnologia	4.921	4.872	3.940	4.011	3.545	5.150	5.059	5.031	4.817	5.127
Intervalo	115	110	107	114	81	107	109	102	94	90
% das testemunhas ¹	a 179	a 167	a 148	a 131	a 142	a 145	a 139	a 124	a 126	a 121
Nº de experimentos	11	11	10	11	10	11	10	7	11	7
Produtividade máxima ² e Campo experimental	6.698 S.	5.620 C. V.	5.525 S.	5.513 S.	4.822 C. N. P.	6.375 C. P.	6.299 C. N. P.	7.023 S.	5.768 C. N. P.	6.273 S.
Campos experimentais	S. = Sinop; C. V. = Campo Verde; C. N. P. = Campo Novo dos Parecis									

- 1997/98 ➔ CIRAD 141
1. Testemunhas: 1998/99 ➔ Ciclos curtos e intermediários = Best 3; ➔ Ciclos médios = CIRAD 141
- 1999/2000 ➔ Ciclos curtos e intermediários = Primavera; ➔ Ciclos médios = Maravilha

2. Produtividade máxima registrada em área comercial ➔ Best 2000 em 1998/99 = 8.500 kg/ha, em Campo Novo dos Parecis

FONTE: Séguy L., Bouzinac S., CIRAD-CA; Maronezzi A., Lucas G. L., Bianchi M., Rodrigues F. G., AGRONORTE - Sinop/2000

táveis mais aos avanços decisivos, que foram progressivamente construídos e conquistados na gestão dos solos e das culturas em Plantio Direto do que aos do melhoramento varietal (SÉGUY & BOUZINAC, 1992/2000; SÉGUY et al., 1996).

• **As conseqüências técnico-econômicas** da utilização dos sistemas de cultivo em PD ou em solo preparado refletem as suas performances agrônômicas.

A região das frentes pioneiras do Centro-Norte do Mato Grosso enfrentou desde o início de sua abertura, nos princípios dos anos 80, uma situação econômica caótica e padecia das reestruturações econômicas sucessivas do país. Afastada dos grandes centros de transformação, dos portos de exportação (*mais de 1.500 km*), a região só tem uma estrada asfaltada, geralmente em estado de conservação precário, a qual onera muito os custos dos fretes. Este isolamento se traduz por uma penalização que oscila entre 25 e 40% de sobrecustos de produção em relação aos custos dos grandes Estados produtores do Sul do país (SÉGUY et al., 1996) (Figura 15).

Nesta conjuntura, os custos de produção da soja, cultura industrial mais estável, podem variar de 280 a mais de US\$ 430/ha em função do nível de tecnologia e do ano. Para o arroz de sequeiro, os custos variaram ainda mais no período 1987/2000 de algodão.

As melhores performances técnico-econômicas são sempre obtidas em plantio direto; elas permitem, apesar da situação econômica muito instável, construir afolhamentos (= *distribuição anual das diversas culturas na fazenda*) mais estáveis e de menor risco

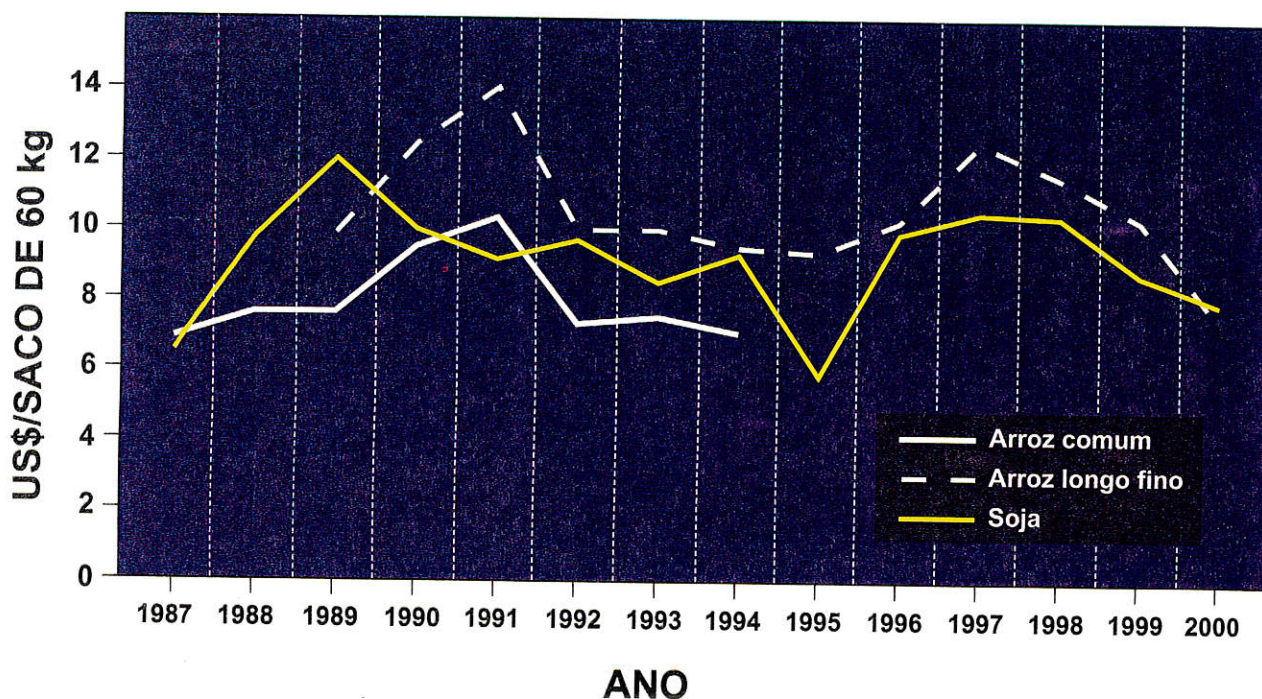
econômico. Em função do nível de risco escolhido pelo agricultor, os custos de produção podem variar de US\$ 300 a 600/ha nos sistemas em PD com base em arroz, soja, milho + safrinhas seguidas de engorda na estação seca, ou praticados sobre coberturas vivas (Figura 16), e até US\$ 1.300/ha com a cultura algodoeira de alta tecnologia (*PD + alta dose de insumos*). As margens líquidas por hectare vão de 100 a mais de US\$ 600/ha, apesar da penalização econômica, e em função das escolhas e dos preços pagos aos produtores (Figura 16).

Os encargos de mecanização puderam ser reduzidos drasticamente com a adoção do PD: o número de tratores e de plantadeiras pode ser dividido por dois, assim como o consumo de combustível (Figura 17).

Pressões e penalizações econômicas que levaram à adoção maciça do PD desde 1995 transformaram essa região na campeã brasileira de produtividade em soja e arroz de sequeiro de alta tecnologia (Figura 18). Se a média de produtividade da soja ultrapassa amplamente 3.000 kg/ha (*50 sc/ha*) na região, em mais de 1,3 milhão de ha (Figura 18), produtividades de arroz de sequeiro entre 4.000 e 5.500 kg/ha (*67 e 92 sc/ha*) são, hoje em dia, corriqueiras para os agricultores. Pouco a pouco, "na marra", nasceu, e em seguida se fortaleceu, um perfil de agricultores muito atuantes, aptos a afrontar a globalização sem subsídios.

3.3.2. ECO-REGIÃO DAS FLORESTAS TROPICAIS SOBRE BASALTO DO CENTRO-OESTE BRASILEIRO (Sul do Goiás, Norte de São Paulo)

FIGURA 15. EVOLUÇÃO DOS PREÇOS PAGOS AOS PRODUTORES¹ PARA AS PRINCIPAIS PRODUÇÕES DE ARROZ E SOJA NAS FRONTEIRAS AGRÍCOLAS DO CENTRO-NORTE DO ESTADO DO MATO GROSSO - Sinop/MT - 1987/2000



1 - Período: Fevereiro-Março, a cada ano

FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/SCV - A. C. Maronezzi, Agronorte; Cooperlucas; Coosol; Comicel; Prefeitura de Sinop - Sinop/MT - 1987/2000

• As performances agro-econômicas comparadas dos modos de gestão dos solos e das culturas, relativas à cronoseqüência de 4 anos no Sul do Estado de Goiás, estão reunidas na Figura 19 e evidenciam:

♦ Na presença de um nível de adubação mineral médio de 85 N + 50 P₂O₅ + 100 K₂O + micros, os sistemas em Plantio Direto (PD) são sempre mais produtivos do que os sistemas em solo preparado: a diferença de produtividade de algodão a favor do PD varia de +15 a +18% nos anos climáticos favoráveis, qualquer que seja o estado de degradação do solo no início, a mais de 30% em solo pouco degradado, e até mais de 65% em solo muito erodido nos anos climáticos muito desfavoráveis ao algodoeiro, tais como 1997/98 e 1998/99 (Figura 19).

♦ Quando o solo foi fortemente poluído e de modo duradouro por herbicidas de longa permanência, aplicados em dosagens altas demais, como o Sulfentrazone, algumas biomassas de cobertura, como o sorgo, demonstraram um poder despoluidor e desintoxicador muito rápido, recuperando logo os melhores níveis de produtividade do algodão (SÉGUY et al., 1999).

♦ Esta mesma cobertura de sorgo (*tipo Guínea*), de decomposição lenta e com forte efeito alelopático para o controle da flora daninha, permite controlar natural e eficientemente a praga vegetal *Cyperus rotundus*, que constitui o maior obstáculo para o cultivo nos solos oriundos de rocha vulcânica (SÉGUY et al., 1999).

• **NO PLANO ECONÔMICO**, os custos de produção do PD, cada vez mais dominados, revelam-se, em média, 5 a 10% inferiores aos dos preparos convencionais (Figuras 20 e 21); como nas frentes pioneiras, o número de máquinas pode ser reduzido em 50%, assim como o consumo de combustível (SÉGUY et al., 1998d).

• As margens líquidas/ha são muito variáveis de um ano para outro em função dos preços pagos aos produtores, eles também são muito flutuantes. As margens sempre são, como as produtividades, mais estáveis e nitidamente maiores no PD do que no preparo convencional: de 30 a 50% em função dos anos (Figuras 19, 20 e 21).

3.3.3. ECO-REGIÃO DAS ALTAS TERRAS DE MADAGASCAR

Nas propriedades dos agricultores das Terras Altas, as performances agro-econômicas e técnicas de sistemas de cultivo praticados nos Tanety (colinas), com solos ácidos, são irrelevantes: para a cultura do milho, por exemplo, a qual é importantíssima nesta região, a produtividade nos solos ácidos varia entre 700 e 1.000 kg/ha com 5 t/ha de esterco e um calendário cultural extremamente carregado com mais de 200 dias/ha em cultivo manual (De RHAM et al., 1995; FEYT et al., 1999). Estes números indicam bem, ao mesmo tempo, um calendário cultural muito constrangedor e condições de

FIGURA 16. INTEGRAÇÃO DE TODAS AS CULTURAS EM SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO DIVERSIFICADOS DE PRODUÇÃO DE GRÃOS OU INTEGRADOS COM A PECUÁRIA

+

- CRIAÇÃO DE MATERIAL GENÉTICO COM ALTO VALOR AGREGADO NOS SISTEMAS DE CULTIVO EM PLANTIO DIRETO
- Ecologia das florestas e cerrados do Mato Grosso - MT/2000

(*) Sistemas ainda não difundidos (reprodutíveis, apropriáveis)

Performances das culturas nos sistemas de cultivo em plantio direto	Custo (C) US\$/ha	Benefício (B) US\$/ha	C/B
SOJA + SAFRINHA ¹ + ENGORDA NA SECA	450	150	1,3
• 4.000 a 4.600 kg/ha soja +	a	a	a
• 1.500 a 3.500 kg/ha safrinha (Sorgo, Milheto, Pé-de-galinha) +	520	350	3,4
• 1 a 1,5 UA/ha ² , 90 dias de estação seca			
SOJA SOBRE COBERTURA VIVA DE TIFTON	300	200	0,75
• 3.200 a 4.600 kg de Soja	a	a	a
+ 1 a 1,5 UA/ha, 90 dias de estação seca	380	400	1,9
ARROZ DE SEQUEIRO DE ALTA TECNOLOGIA	420	100	0,84
• 4.200 a > 7.000 kg/ha	a	a	a
	630	500	6,3
ARROZ DE SEQUEIRO DE ALTA TECNOLOGIA como reforma de pasto	450	100	3,0
• 3.000 a 4.000 kg/ha	a	a	a
	550	150	5,5
ALGODÃO COMO CULTURA PRINCIPAL	900	100	2,25
• 3.000 a > 5.000 kg/ha	a	a	a
	1300	400	13
ALGODÃO COMO SAFRINHA ¹ sobre forte biomassa ou em sucessão de Soja ou Arroz, de ciclo curto	500	200	0,8
• 2.400 a > 3.000 kg/ha	a	a	a
	650	600	3,2

¹ Safrinha = cultura de sucessão, com insumos mínimos ou sem insumos.

² UA = unidade animal = 450 kg de peso vivo.

FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac - CIRAD-CA/ GEC; N. Maeda, M. A. Ide, A. Trentini, Grupo Maeda; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT, 2000

FIGURA 17. Comparação dos rendimentos dos equipamentos e índices técnico-econômicos entre sistema convencional e plantio direto em 38.000 ha no Estado do Mato Grosso (Rondonópolis, 1995¹)

Critérios de avaliação	Preparo mecanizado convencional	Plantio direto	Diferença %
Área (ha) trabalhada por trator de 90 HP	163,6	276,9	+ 70%
Índice HP/ha	0,556	0,325	+ 70%
Área (ha) plantada por plantadeira de 9 linhas	426,6	612,0	+ 43,4%
Índice linha/ha	47,7	68,0	+ 43,4%
Investimentos em tratores (US\$/ha)	271,0	158,6	- 41,4%
Investimentos em plantadeira (US\$/ha)	32,8	29,4	- 10,3%

¹ Fonte: Prof. Luiz Vicente Gentil, Monsanto, Semeato, Fundação MT, Rondonópolis-MT, 1995

baixíssima fertilidade dos solos quando se usa tão somente a adubação orgânica (*o rendimento do milho cai para menos de 400 kg/ha sem nenhuma adubação*).

- Os sistemas de cultivo em PD sobre as culturas de milho, soja e feijão produzem mais a cada ano, qualquer que seja o nível de adubação; com aração, a produtividade fica estagnada ou se mostra muito flutuante em presença dos mesmos níveis de insumos (Figura 22).

- Em relação ao manejo com aração, os sistemas em PD produzem no 4º ano:

- ♦ Três a quatro vezes mais milho, qualquer que seja o nível de adubação;
- ♦ Quatro vezes mais soja, somente com esterco, e 2,5 a 3 vezes mais com esterco + adubação mineral média ou forte;
- ♦ Quatro vezes mais feijão, somente com esterco, e 1,5 a 2,5 mais com esterco + adubação mineral média e forte, respectivamente (Figura 22).

- Nos solos ácidos, improdutivos com as técnicas tradicionais de aração, o plantio direto permite alcançar, no 4º ano, de 3.000 até 6.000 kg/ha de milho dependendo do nível de adubação utilizado, de 1.400 a 2.300 kg/ha de feijão, e de 1.800 a 3.000 kg/ha de soja, nessas mesmas condições.

- Com 5 t/ha de esterco somente, as técnicas de PD permitem tirar partido destes solos considerados improdutivos em cultivo tradicional.

- A Figura 23, referente ao **tempo gasto** em dias/ha nas operações manuais, estabelecidos num período de cinco anos na rede regional de localidades, em função de diferentes sistemas de cultivo, evidencia:

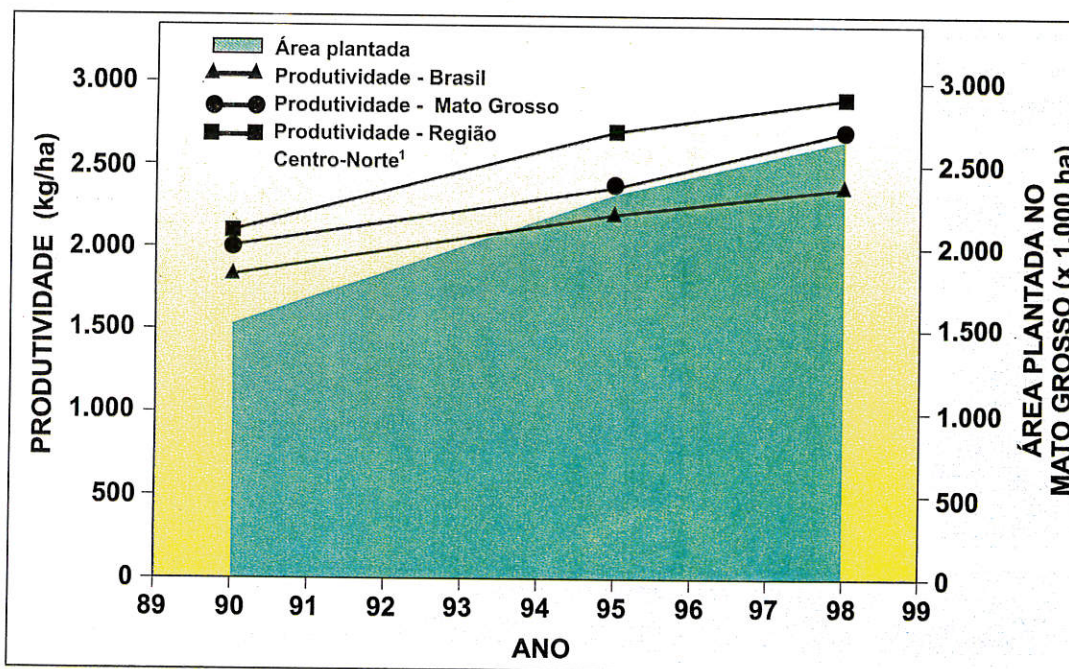
- ♦ Os sistemas de plantio direto consomem muito menos mão-de-obra do que os sistemas com aração: os manejos técnicos relativos às culturas de trigo, milho, arroz de sequeiro, feijão e soja necessitam respectivamente, em média: 74, 84, 96 e 90 dias homem/ha qualquer que seja o tipo de solo, contra 190 a mais de 220 dias/homem/ha para os manejos das mesmas culturas com aração;

- ♦ O Plantio Direto proporciona, portanto, uma grande economia de mão-de-obra em relação à aração, e justamente nas operações mais penosas do calendário cultural: preparo do solo e capinas. A aração faz uso de 50 dias/ha, em média, contra somente 4 dias/ha para tratar as biomassas da parcela ou com herbicida total de pré-plantio, ou para trazer biomassa seca exógena e assim reforçar a cobertura do solo.

- ♦ O controle das invasoras nas parcelas cultivadas necessitam de 60 a 70 dias/ha de capinas na aração, contra somente 6 a 12 dias/ha nos sistemas em PD (*uso de herbicida seletivo ou capina manual mínima ou ambos combinados*).

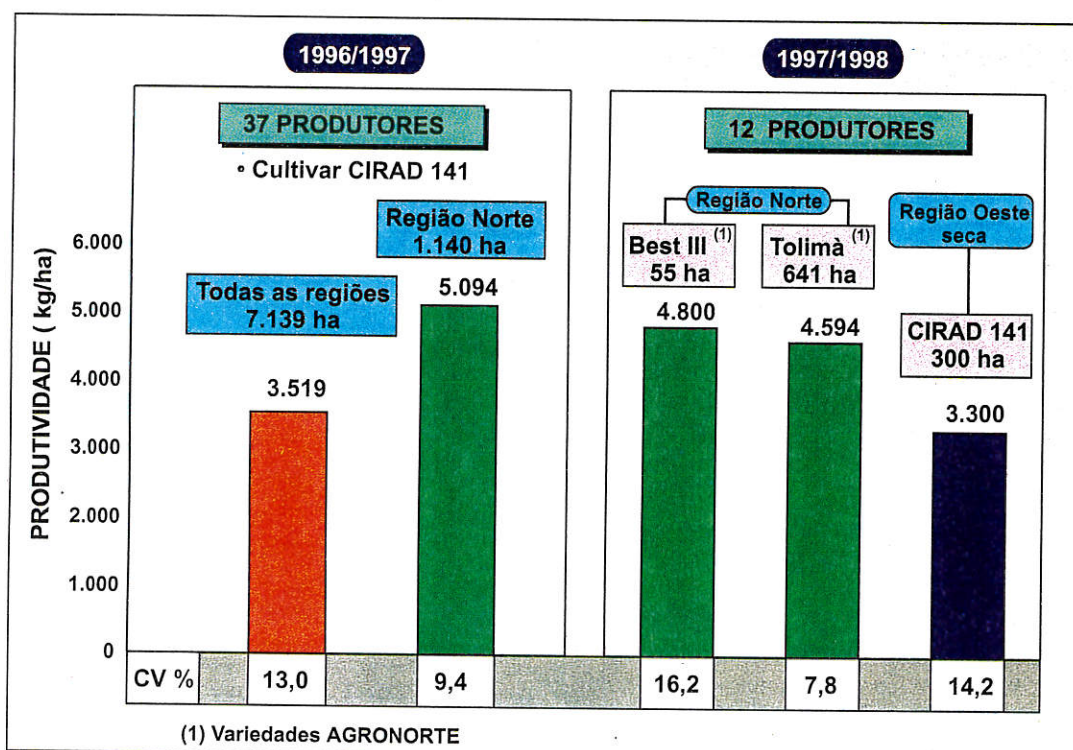
- ♦ No final, os tempos gastos nos itinerários técnicos em PD são reduzidos de 58 a 65% em relação aos conduzidos com aração e capinas tradicionais.

FIGURA 18. EVOLUÇÃO DA ÁREA PLANTADA DE SOJA E DE SUA PRODUTIVIDADE MÉDIA NO ESTADO DO MATO GROSSO, NA REGIÃO CENTRO-NORTE E NO BRASIL - 1998



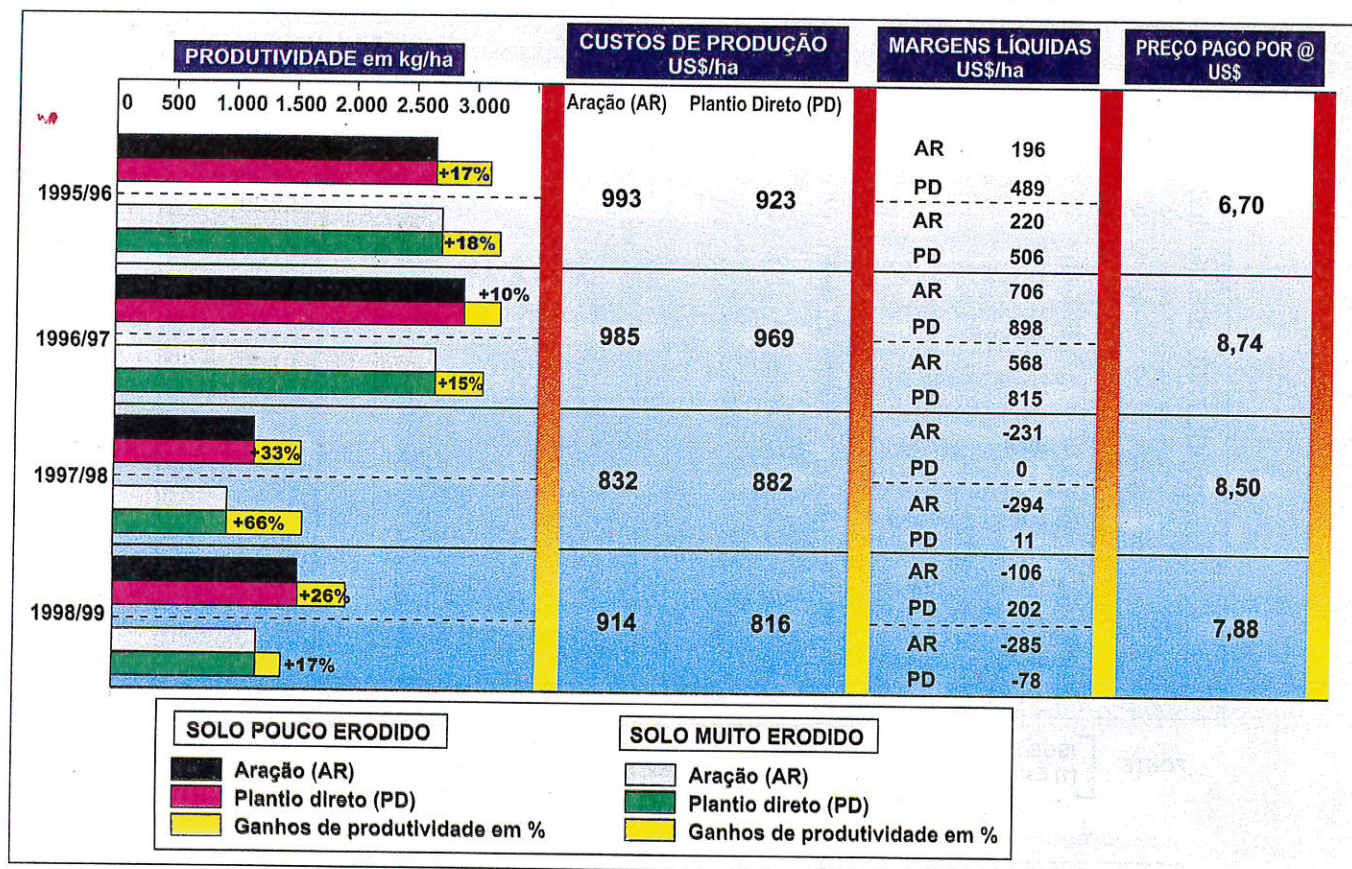
FONTE [IBGE/LSPA = Dados sobre o Brasil e o Estado do Mato Grosso
 (1) Estimativas = Extraídos de dados da Emater, Secretarias de agricultura dos principais municípios, produtores do Centro-Norte do Estado, Cooperativas.

PRODUTIVIDADE DO ARROZ DE SEQUEIRO DE ALTA TECNOLOGIA EM DIVERSAS ECOLOGIAS DO ESTADO DO MATO GROSSO-MT - (Trópicos Úmidos) - 1996/98



FONTE: AGRONORTE; CIRAD CA - GEC; Sorriso/MT, 1998

FIGURA 19. EVOLUÇÃO DAS PERFORMANCES MÉDIAS AGRO-ECONÔMICAS DO ALGODOEIRO, EM 4 ANOS, EM FUNÇÃO DOS SISTEMAS DE CULTIVO PRATICADOS
Ecologia das florestas tropicais e latossolos sobre basalto do Sul do Estado de Goiás - Centro-Oeste do Brasil



FONTE: E. Maeda, M. Esaki, GRUPO MAEDA; L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA/GEC; Porteirão/GO, 1995/1999

• Os custos de produção são sistematicamente menores no PD, qualquer que seja o nível de adubação e o tipo de solo, graças a uma grande redução da mão-de-obra: 12 a 30% de economia em função da cultura e do nível de adubação (Figura 24).

• As margens líquidas sempre são muito maiores no Plantio Direto do que na aração, para todas as culturas e qualquer que seja o nível de adubação. As mais interessantes, nos solos ácidos, são, em PD:

- ♦ Para a cultura de milho somente com esterco: + US\$ 323/ha contra US\$ 58,00 na aração;
- ♦ Para a cultura de soja com esterco + adubação mineral média: + US\$ 469/ha contra + US\$ 122/ha na aração;
- ♦ Para a cultura de feijão somente com esterco: + US\$ 139/ha contra uma margem negativa de - US\$ 104/ha na aração (Figura 24).

Em relação ao **salário mínimo diário** de US\$ 0,87 pago na região em 1997/98, os sistemas em PD praticados somente com esterco que valorizam melhor o dia de trabalho (Figura 24) oferecem remunerações diárias oscilando entre US\$ 2,13 e US\$ 4,65 nos solos ácidos de baixa fertilidade, em função das culturas, ou seja, de 3 a 5 vezes o salário mínimo diário.

O milho revela-se a cultura mais remuneradora em solo ácido em PD somente com esterco, seguido da soja e do feijão. A soja é a

cultura que melhor valoriza a adubação mineral e proporciona a maior valorização do dia de trabalho: US\$ 5,80 na adubação média + esterco e US\$ 6,00 na adubação forte + esterco.

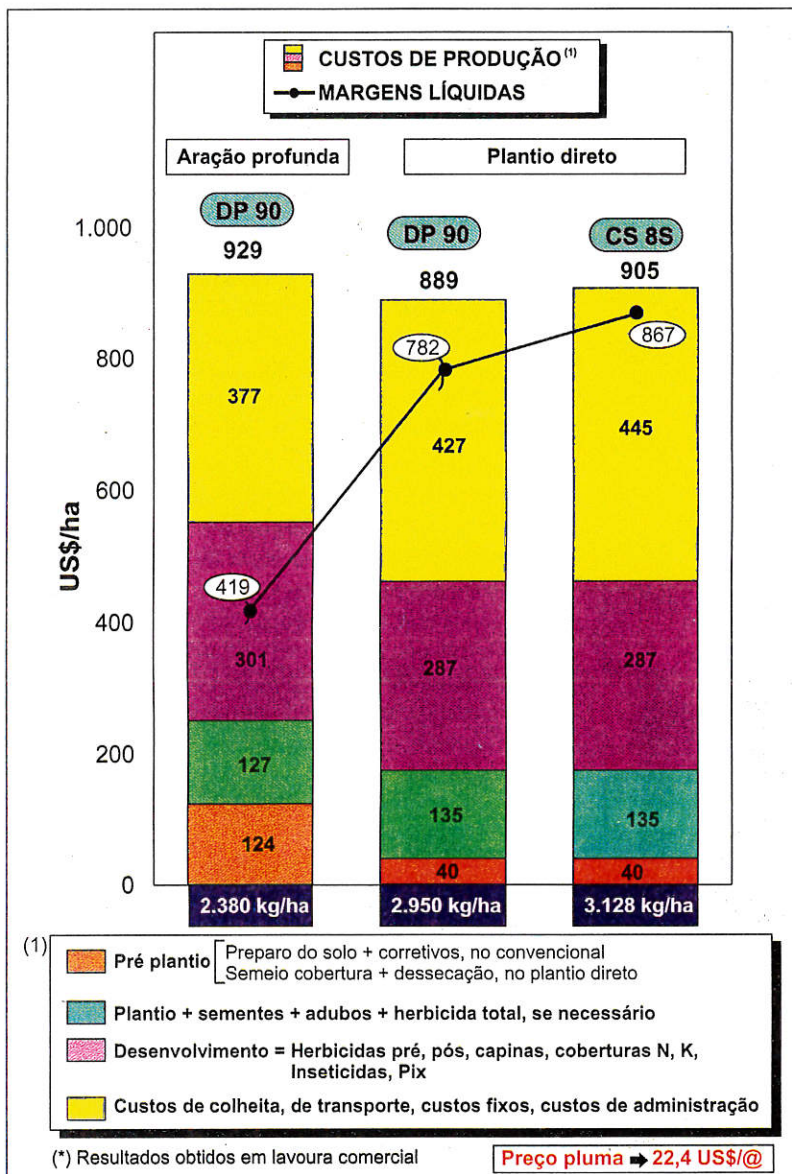
Os sistemas de cultivo praticados com aração nos solos ácidos induzem a valorizações de dia de trabalho próximas ao salário mínimo diário unicamente para as culturas de milho e soja.

4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

O Plantio Direto sobre coberturas permanentes do solo é provavelmente o paradigma mais completo construído até hoje para o desenvolvimento planetário de uma agricultura sustentável, preservadora do meio ambiente, manejado de modo mais "biológico" possível.

Mais do que portador de esperança, o PD mostra sua capacidade de restauração do estatuto orgânico dos solos tão rapidamente quanto este se degrada com o preparo destruidor nas grandes eco-regiões subtropicais e tropicais. O exemplo dos Trópicos Úmidos é eloquente a este respeito, onde os processos que comandam a degradação do recurso-solo (erosão) e a mineralização da M.O. andam mais depressa do que em qualquer outro lugar do planeta. O estatuto orgânico dos solos pode, com o uso dos sistemas em PD mais atuantes, alcançar logo e ainda ultrapassar o dos ecossistemas naturais (*florestas, cerrados*), até nessas eco-regiões com climas excessivos, onde temperatura e pluviometrias são altas

FIGURA 20. CUSTOS DE PRODUÇÃO DETALHADOS E MARGENS LÍQUIDAS EM US\$/ha DE DUAS VARIEDADES DE ALGODÃO EM FUNÇÃO DE DOIS SISTEMAS DE GESTÃO DO SOLO - LATOSSOLO SOBRE BASALTO DEGRADADO PELA EROSIÃO, EMBAIXO DO DECLIVE - FAZENDA SANTA JACINTA, ITUVERAVA, SP - 1998



FONTE: L. Séguéy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; M.A. Ide, A. Trentini, GRUPO MAEDA - Ituverava, SP

e onde os solos são “vazios quimicamente”, e apresentam um poder de retenção irrelevante em relação aos adubos minerais.

Se o Plantio Direto (PD) sobre cobertura vegetal propicia sempre, em todas as grandes eco-regiões estudadas, a sequestração do carbono, a importância desta sequestração depende da natureza e da tipologia dos sistemas de cultivo praticados: os mais atuantes para esta função são aqueles que produzem mais biomassa aérea com C/N e teor de lignina elevados, e que possuem sistemas radiculares muito desenvolvidos na superfície e em profundidade para poder utilizar eficientemente a água profunda do solo, abaixo da área de atuação radicular das culturas comerciais. Os sistemas radiculares mais resistentes à mineralização estão cercados de “mangas” importantes de microagregados que protegem a M.O. (*polissacarídeos*, *endomycorizas vesículo-arbusculares*, *polifenóis*),

como se encontram na espécie *Eleusine coracana*, cultivada pura ou consorciada com leguminosas pivotantes, ou as do gênero *Brachiaria*, consorciadas com bombas biológicas recicladoras, tais como milho e sorgo.

Nestes sistemas, a produção de matéria seca é contínua durante o ano todo, através da utilização progressiva de uma enorme reserva hídrica, numa grande espessura de solo, e as concentrações em M.O. aumentam na superfície do solo (Figura 25). O recarregamento em carbono interessa principalmente no horizonte de 0-10 cm, mas também no de 10-20 cm, quando gramíneas com sistema radicular mais potente são usadas (*Eleusine*, *Brachiaria* consorciada com sorgo, milho ou em pastagem em 4 a 5 anos; espécies perenes usadas como coberturas vivas, tais como *Cynodon dactylon* ou *Pennisetum clandestinum*). O acréscimo de M.O. na superfície aumenta a resistência dos microagregados e a proteção da M.O.; ou seja, a M.O. aumenta a estabilidade dos agregados onde se encontram, e os agregados mais estáveis, por sua vez, protegem a M.O. nele incorporada, estabelecendo assim relações recíprocas entre dinâmica da M.O. e estabilidade da agregação (*autoregulação*, *auto-proteção*).

A evolução das performances agrônômicas e técnico-econômicas dos sistemas de cultivo acompanha, em todas as grandes eco-regiões, a evolução do estatuto orgânico dos solos:

- Nos Trópicos Úmidos, entre 1986 e 2000, em agricultura moderna mecanizada, os rendimentos das culturas tropicais soja e arroz foram mais do que duplicados e a produção de matéria seca total por hectare foi multiplicada por 4 a 5, permitindo produzir duas culturas anuais de grãos em sucessão e também carne ou leite na estação seca, e ao mesmo tempo proteger totalmente o solo;

- Na ecologia das florestas tropicais do Centro-Oeste do Brasil, sobre latossolos oriundos de basaltos, com fortes declives, o plantio direto, em cultivo moderno e mecanizado, propicia a controle total da erosão, o acréscimo de 10 a 30% na produtividade do algodoeiro, a diversificação da produção, controlando a peste vegetal “tiririca” (*Cyperus rotundus*).

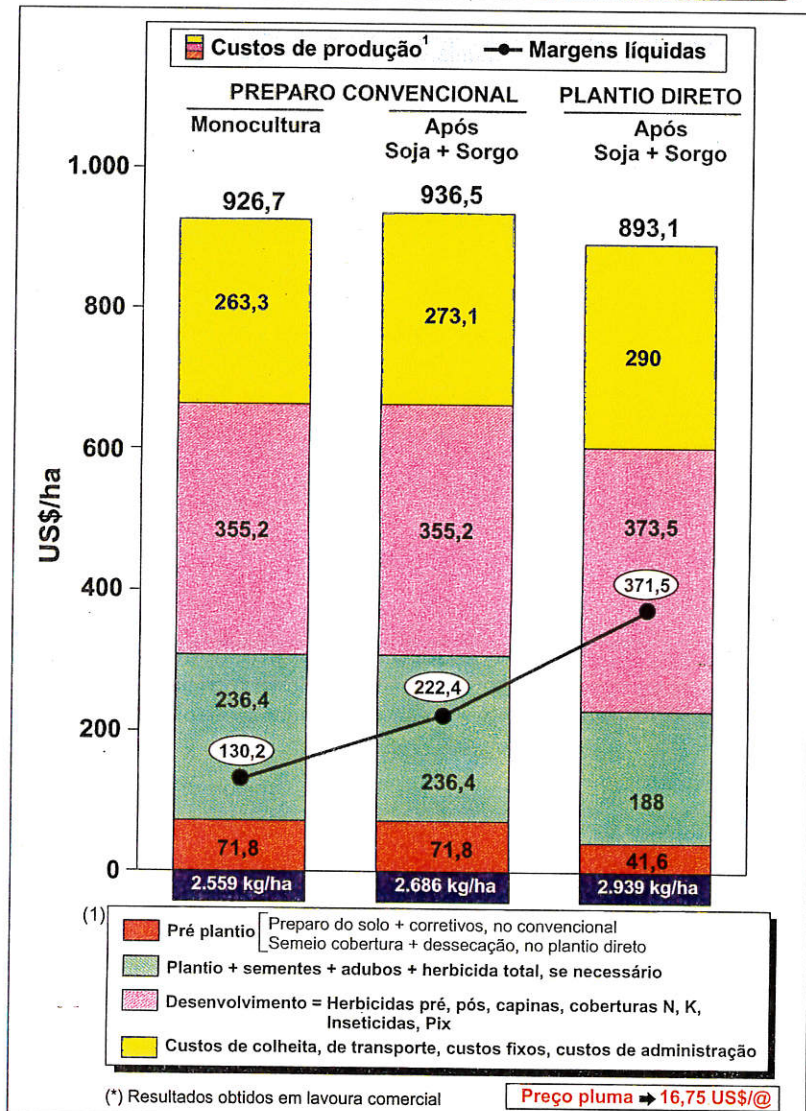
- Na eco-região subtropical de altitude das terras altas de Madagascar, local com erosão catastrófica, onde se pratica pequena agricultura familiar, manual e com tração animal, com insumos mínimos, a produtividade dos sistemas em PD é de 2 a 5 vezes superior à dos sistemas com preparo do solo para as culturas principais de milho, feijão e soja.

Em todas as grandes eco-regiões, qualquer que seja o tipo de agricultura, os sistemas em PD controlam totalmente a erosão e são sempre nitidamente mais lucrativos do que os sistemas com preparo do solo; as economias de mão-de-obra ou de máquinas e combustível são espetaculares, a favor do Plantio Direto (PD).

Estes resultados obtidos em eco-regiões muito diferenciadas evidenciam que o Plantio Direto na cobertura vegetal permanente do solo propicia maior produção, de modo mais estável, e

FIGURA 21. CUSTOS DE PRODUÇÃO E MARGENS LÍQUIDAS (em US\$/ha), DO ALGODOEIRO (CV. DELTA OPAL), SOB TRÊS MODOS DE GESTÃO DO SOLO - Latossolo Vermelho-Escuro sobre basalto

Fazenda Santa Bárbara - Grupo Maeda - Ituverava/SP, 1999/2000



FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; N. Maeda, M.A. Ide, A. Trentini, GRUPO MAEDA - Ituverava, SP

mais limpo, dando uma parte crescente para a fertilidade de origem organo-biológica na capacidade do solo em produzir. Este tipo de agricultura que insere a noção de “biomassa anual”, “bomba biológica” como “reforço” das culturas comerciais, pode agir como armazenador líquido de CO₂ e não mais como produtor líquido.

Os efeitos benéficos na qualidade biológica dos solos, da água, podem ser muito rápidos, permitindo caracterizar esta atividade como despoluidora, e, nesse sentido, receber subsídios da sociedade civil por sua participação na limitação do efeito estufa, na preservação das paisagens, das infra-estruturas rurais e da fauna: “créditos-carbono” poderiam constituir um meio estimulador para sustentar o desenvolvimento agrícola nessa direção. Estes créditos poderiam ser modulados em função da capacidade dos manejos técnicos e dos sistemas de cultivo em sequestrar o carbono, constituindo, então, argumentos decisivos na escolha dos agricultores.

Porém, estes cenários só serão reais e possíveis se os diversos atores do desenvolvimento, trabalhando de mãos dadas *in*

situ, forem capazes de criar esses sistemas de cultivo do futuro, mais atuantes em, simultaneamente, sequestrar o carbono, reciclar os nitratos e as bases, degradar os xenobióticos (*critérios dos cientistas e da sociedade civil*), e que satisfaçam os critérios de escolha da agricultura sustentável e os dos agricultores (*agronômicos e técnico-econômicos*).

A metodologia de Pesquisa-Ação apresentada neste documento permite responder às exigências de todos e conciliá-las. A modelização dos sistemas de cultivo leva, partindo dos sistemas vigentes, a construir para e com os produtores, nos seus ambientes, uma tipologia muito diversificada dos sistemas de cultivo possíveis e apropriáveis. Esta experiência mostra como nosso enfoque experimental leva a recolocar *in situ*, no quadro dos sistemas inovadores edificados com os agricultores, estudos tão fundamentais como os relativos à dinâmica do carbono, a eficiente reciclagem anual dos nitratos e das bases, a degradação dos xenobióticos, a biorremediação em geral.

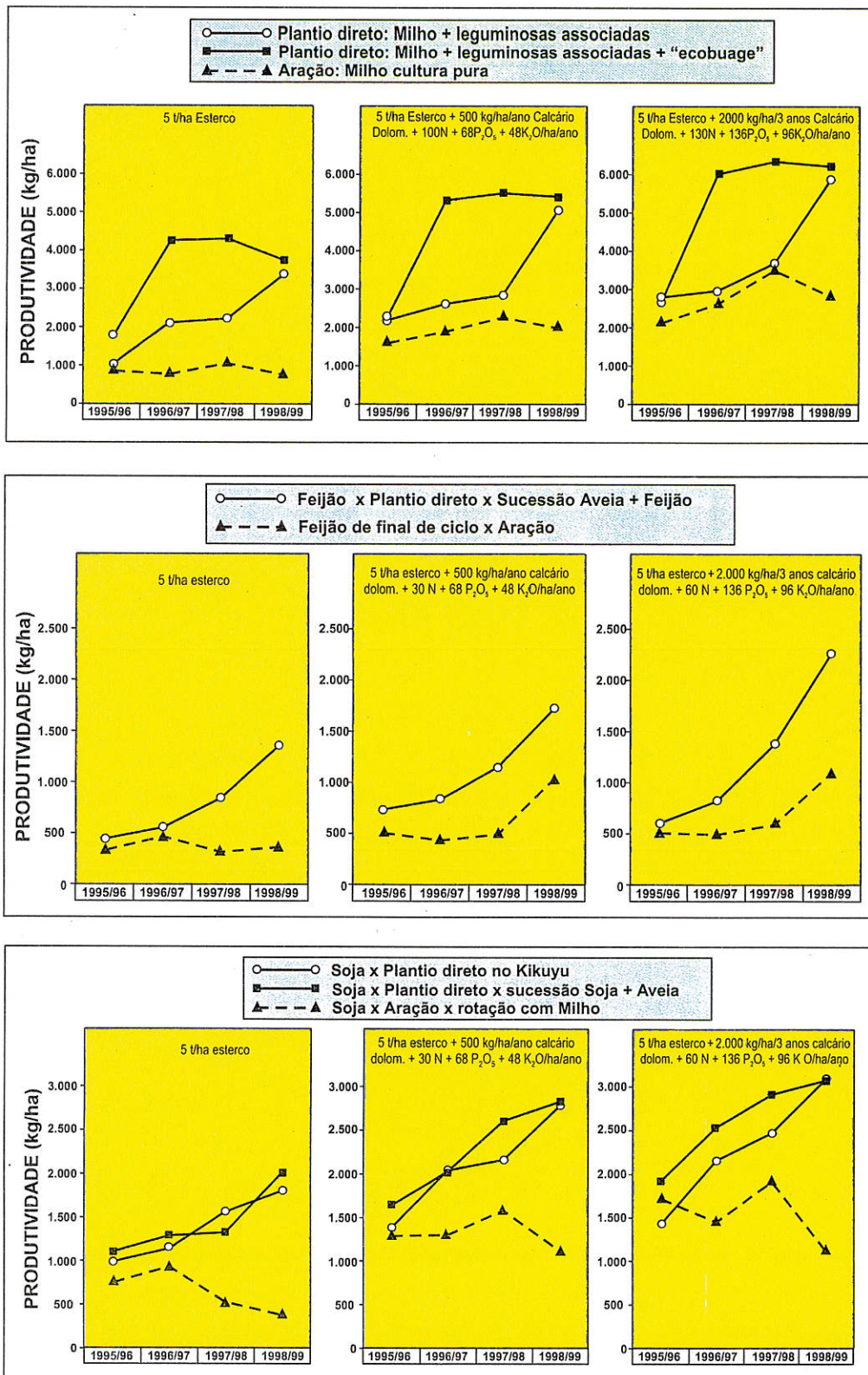
No decorrer do enfoque experimental praticado *in situ*, estas temáticas fundamentais são tratadas e confrontadas com as performances agrônômicas e técnico-econômicas dos sistemas de cultivo que poderão ser utilizados no futuro pelos produtores; assim, o impacto econômico da dinâmica do carbono, dos nitratos, das bases e dos xenobióticos, pode ser avaliado de modo preventivo. Portanto, é uma maneira de incorporar e tratar as exigências da sociedade civil e da ciência dentro da tipologia dos sistemas de cultivo, na prática mesmo das agriculturas regionais.

Esta experiência revela também a importância dos Trópicos Úmidos como “simulador excepcional” para o estudo científico da dinâmica do carbono: num clima com alta pluviometria em 7,5 a 8 meses, e com temperatura média muito elevada, as velocidades de reação dos processos fundamentais que comandam a dinâmica do carbono, mas também a lixiviação dos nitratos e das bases, são muito maiores do que em qualquer outro lugar, e permitem apreender a dinâmica, até a curtíssimo prazo, destes processos fundamentais de funcionamento. É um modo acadêmico e rigoroso de elucidar estes fenômenos, encurtando o espaço-tempo, portanto um auxílio precioso de modelagem para a pesquisa, que permitirá antever essas dinâmicas para as demais grandes eco-regiões do planeta onde a velocidade das reações é muito mais lenta.

As unidades operacionais de criação-difusão desses cenários de agricultura sustentável de amanhã estão organizados numa rede tropical e subtropical no CIRAD-CA. Este conjunto muito diversificado nos planos dos ambientes físicos e sócio-econômicos reúne uma malha de unidades operacionais de campo, monitoradas pela pesquisa com o apoio das agriculturas locais, que são laboratórios de vigília para a análise antecipada dos impactos dos sistemas em PD no ambiente e nos homens que o cultivam, e para a modelagem científica dos funcionamentos destes sistemas que estão em ligação direta com as realidades agrícolas regionais. Estas unidades, que pré-figuram os cenários da agricultura “limpa” de

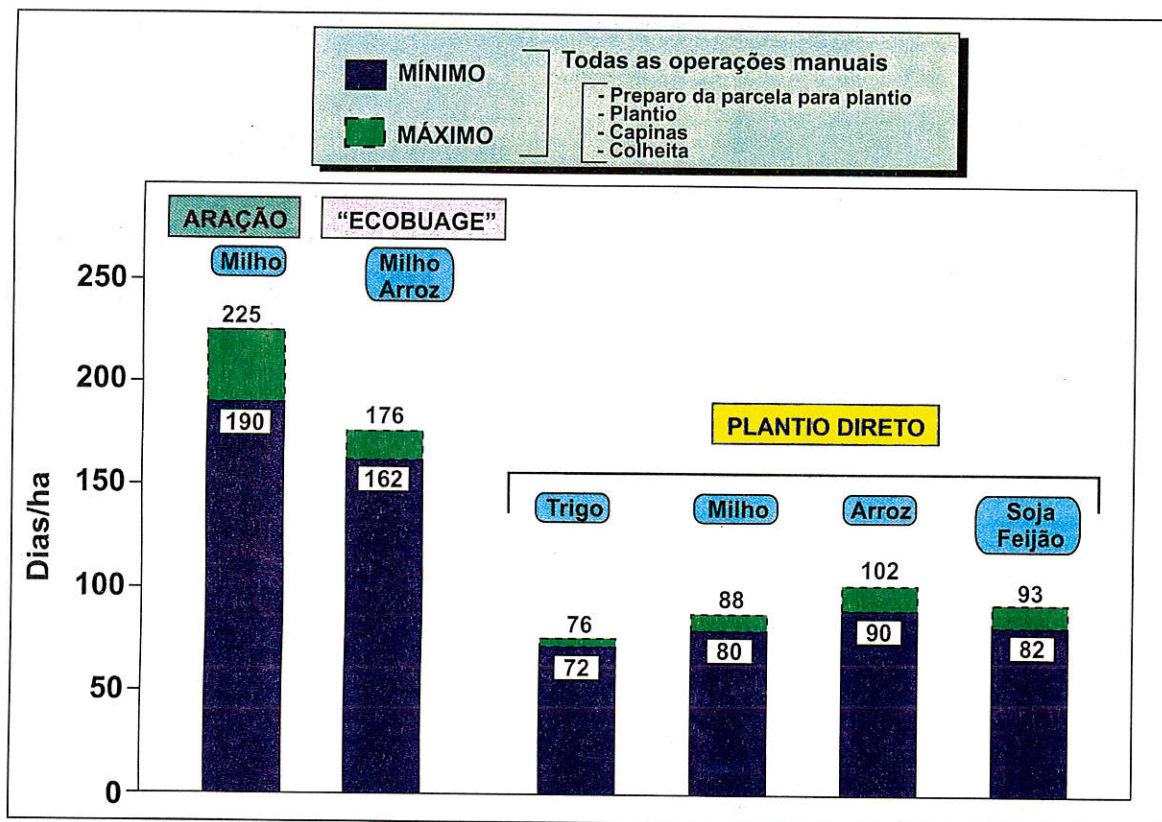
FIGURA 22. EVOLUÇÃO DAS PRODUTIVIDADES MÉDIAS DE MILHO, FEIJÃO E SOJA EM FUNÇÃO DO MODO DE GESTÃO DO SOLO E DAS CULTURAS, EM CULTURA MANUAL
Latossolos e solos vulcânicos das terras altas de Madagascar - Antsirabé, 1995/99

• MÉDIA DE QUATRO LOCALIDADES EM SOLOS ÁCIDOS DE BAIXA FERTILIDADE

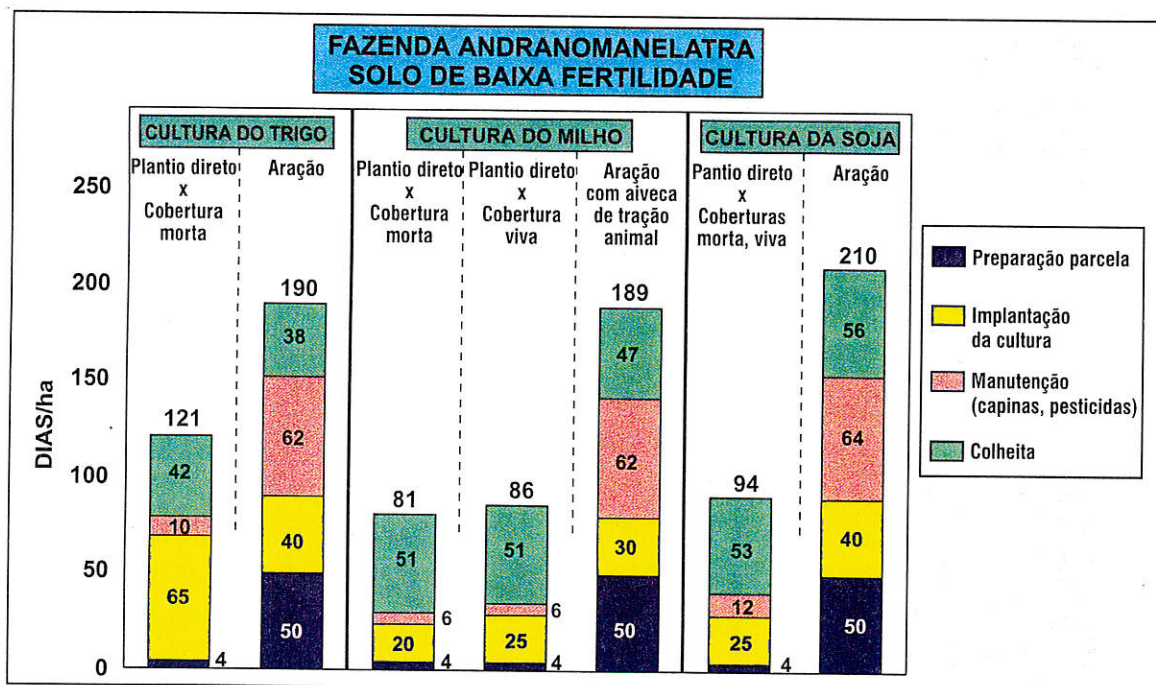


FONTE: L. Séguy, CIRAD/GEC - ONG TAFE, Antsirabé, 1999

FIGURA 23. TEMPO GASTO NAS OPERAÇÕES MANUAIS POR ITINERÁRIO TÉCNICO EM DIAS/HA EM FUNÇÃO DOS MODOS DE GESTÃO DOS SOLOS E DAS CULTURAS
 - Latossolos e solos vulcânicos das altas terras de Madagascar - Antsirabé, 1994/99



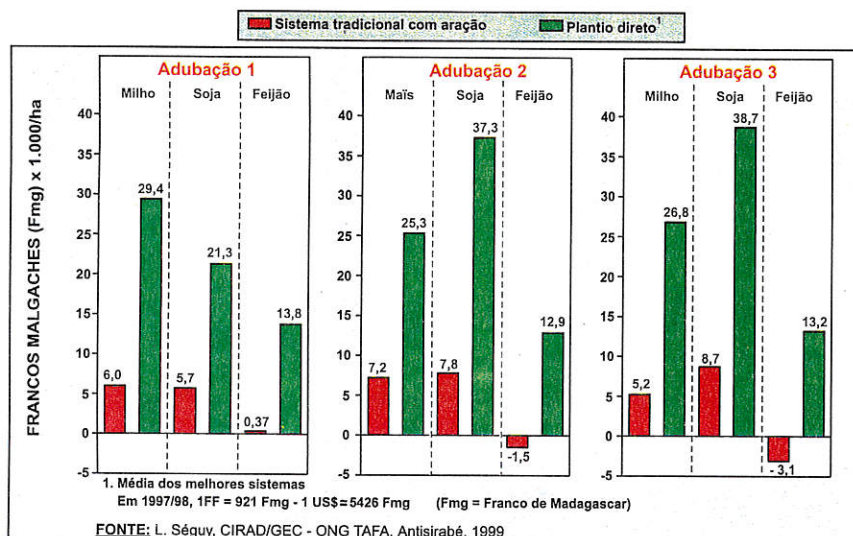
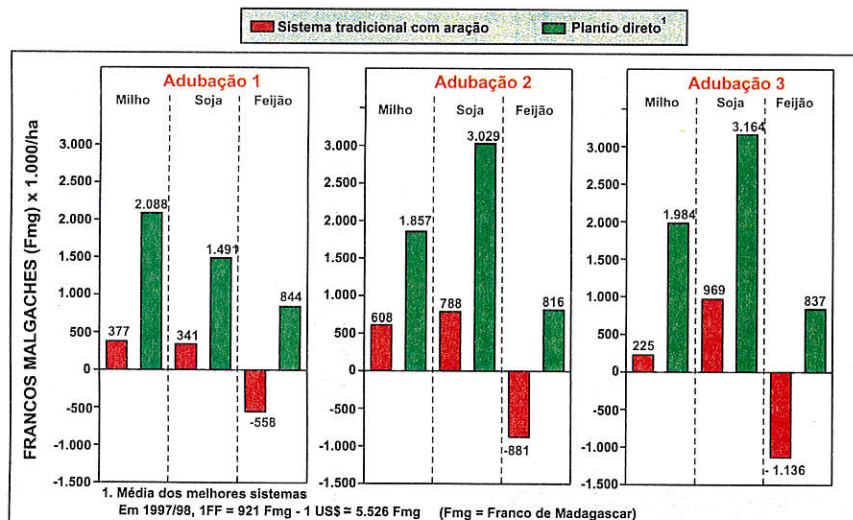
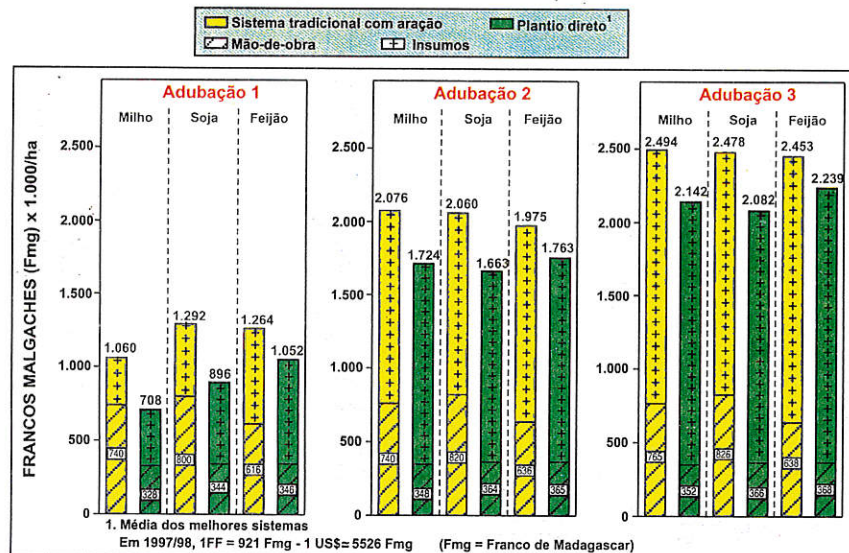
COMPARAÇÃO DO TEMPO MÉDIO GASTO NAS OPERAÇÕES EM FUNÇÃO DOS MODOS DE GESTÃO DOS SOLOS E DAS CULTURAS NA SOJA, NO MILHO E NO TRIGO
 - Latossolos e solos vulcânicos das altas terras de Madagascar - Antsirabé, 1994/99



FONTE: L. Séguy, CIRAD/GEC-ONG TAFE, Antsirabé, 1999

FIGURA 24. CUSTOS DE PRODUÇÃO, MARGENS LÍQUIDAS E VALORIZAÇÃO DO DIA DE TRABALHO DAS CULTURAS DE MILHO, SOJA E FEIJÃO EM FUNÇÃO DOS MODOS DE GESTÃO DOS SOLOS E DAS CULTURAS EM AGRICULTURA MANUAL - Latossolos e solos vulcânicos das terras altas de Madagascar - Antsirabé, 1997/98

• MÉDIA DE QUATRO LOCALIDADES: Solos ácidos de baixa fertilidade natural



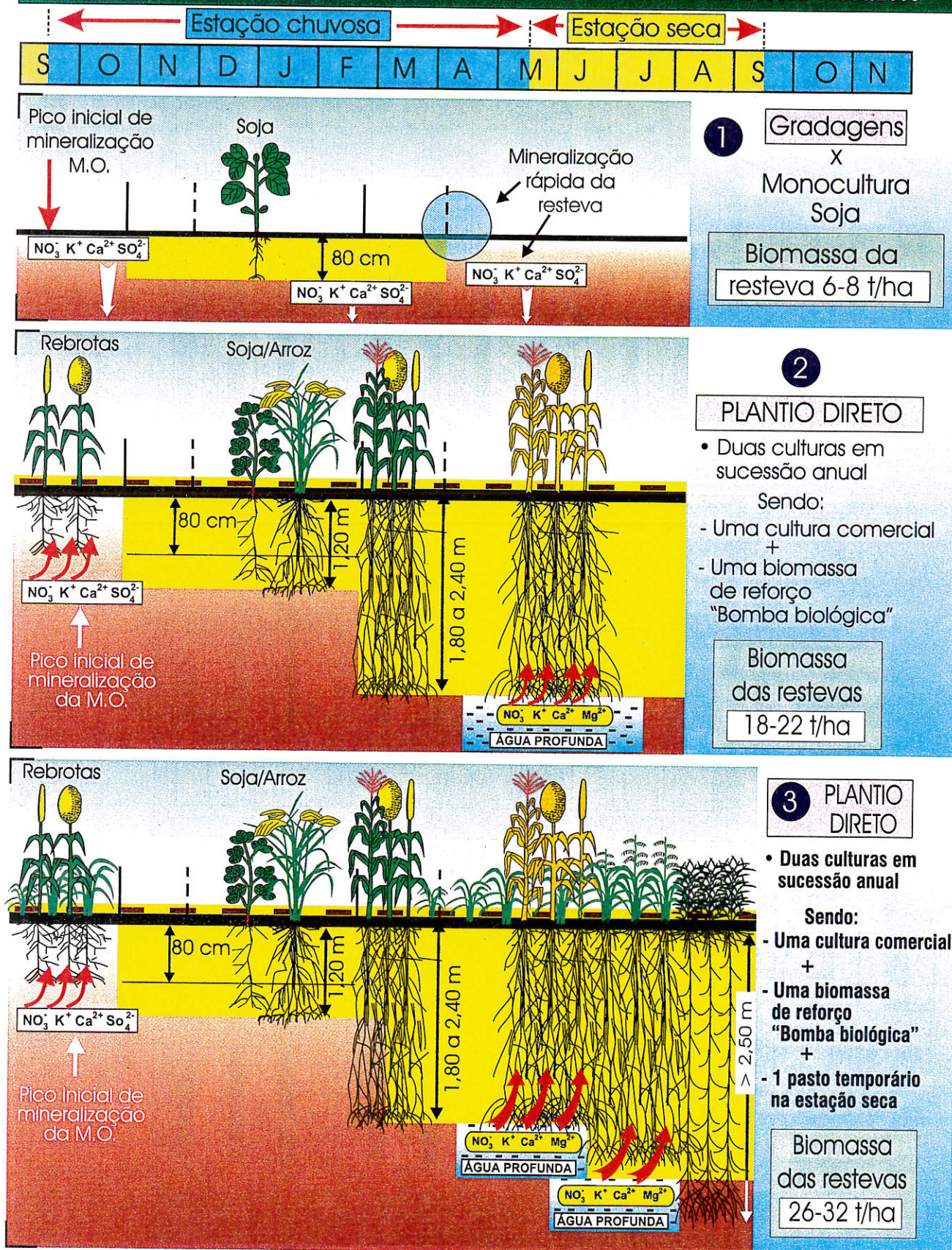
FONTE: L. Séguay, CIRAD/GEC - ONG TAFSA, Antsirabé, 1999

Adubação 1 = 5 t/ha esterco

Adubação 2 = 5 t/ha esterco + 500 kg/ha/ano calc. dolom. + 100 N + 68P₂O₅ + 48K₂O/ha/ano - Milho + 30 N + 68 P₂O₅ + 48 K₂O/ha/ano - leg.

Adubação 3 = 5 t/ha esterco + 2.000 kg/ha/ano calc. dolom. + 130 N + 136 P₂O₅ + 96 K₂O/ha/ano - Milho + 60 N + 136 P₂O₅ + 96 K₂O/ha/ano - leg.

FIGURA 25. EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE CULTIVO, DA BIOMASSA DAS RESTEVAS E DA UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - Ecologia dos cerrados e florestas úmidas do Centro-Norte do Mato Grosso - 1986/2000



FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. Maronezzi, Agronorte - Sinop/MT - 2001

amanhã, estão muito adiantadas em relação aos cenários atuais de desenvolvimento e, portanto, constituem ferramentas preciosas de monitoramento da agricultura do futuro para conciliar as exigências da sociedade civil (*luta contra o efeito estufa, produtos alimentícios saudáveis*) e as dos agricultores (*agricultura sustentável e lucrativa, ao menor custo, num ambiente protegido e limpo*). A “Rede Plantio Direto sobre cobertura vegetal do CIRAD-CA”, que se estende a passos largos graças ao apoio da cooperação francesa (FD, MAE, FFEM), abrange a América Latina com o Brasil e o México, o Oceano Índico em Madagascar (*trabalhos de H. Charpentier, R. Michellon do CIRAD, ONGs TAFE e ANAE, FOFIFA e ONGs associadas*) e na Ilha da Réunion (*trabalhos de R. Michellon, A. Chabanne, J. Boyer, F. Normand, APR, DDA*), a Ásia com o Laos (*trabalhos de P. Julien, F. Tivet e pesquisa laociana*) e o Vietnã (*trabalhos de O. Husson, P. Lienard, S. Boulakia e pesquisa vietnamita*), e vai se abarcar para a África no início dos anos 2000 (*Tunísia já em andamento, Camarões, Mali, e Etiópia por vir*).

Esta rede pluri-ecológica de unidades experimentais “sistemas de cultivo em Plantio Direto” do CIRAD-CA é também um suporte de treinamento e formação para todos os atores do desenvolvimento e pode se tornar uma referência mundial (*diversidade das ecologias, dos sistemas de cultivo, do nível de domínio*), onde a pesquisa antecipa, cria os sistemas de amanhã, modela seu funcionamento, avalia e explica para a sociedade civil seus impactos nos ambientes físicos e humanos, antes deles serem adotados em grande escala. Este enfoque reencontra o princípio de precaução e a necessidade, que é sempre preferível, de prevenir do que remediar (*papel de laboratório de vigília, de aviso*).

5. LITERATURA CONSULTADA

- AMADO, T.J.; PONTELLI, C.B.; JÚNIOR, G.G.; BRUM, A.C.R.; ELTZ, F.L.F.; PEDRUZZI, C. Seqüestro de carbono em sistemas conservacionistas na Depressão Central de Rio Grande do Sul. In: REUNIÃO BIENAL DE LA RED LATINOAMERICANA DE AGRICULTURA CONSERVACIONISTA, 5., Florianópolis, 1999. p.42-43.
- BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **Eur. J. Soil Sci.**, v.47, p.151-163, 1996.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T.J.C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S.V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Till. Res.**, v.54, p.101-109, 2000.
- BORGES, G. Especial 10 anos – retrospectiva dos principais fatos que foram notícia. **Revisão Plantio Direto**, edição nº 59, 48p., Setembro/outubro de 2000.
- BOULAKIA, S.; MADJOU C.; SÉGUY, L. **Impacts de quelques itinéraires techniques de Semis Direct, comparés au travail du sol, sur des indicateurs fondamentaux de gestion de la fertilité sous climat équatorial**. Montpellier Cedex 5 France, 1999. p.34398. (Doc. Interne CIRAD, 11)
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.58, p.123-130, 1994.
- CERRI, C.; FELLER, C.; BALESSENT, J.; VICTORIA, R.; PLENECASSAGNE, A. Application du traçage isotopique naturel en ^{13}C à l'étude de la dynamique de la matière organique dans les sols - Comptes. **Rendus de L'académie des Sciences**, Paris, v.300, p.423-428, 1985.
- CHAUSSOD, R. La qualité biologique des sols – évaluation et implications. **AFES**, v.3, n.4, p.261-278, 1996.
- CORAZZA, E.J.; SILVA, J.E.; RESCK, D.V.S.; GOMES, A.C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, v.23, p.425-432, 1999.
- DERHAM et al. **Enjeu des tanety pour le développement paysan imerina**. FAFIALA ONG - ANTANANARIVO – MADAGASCAR 1995. 20p.
- DICK, W.A.; BLEVINS, R.L.; FRYE, W.W.; PETERS, S.E.; CHRISTENSEN, D.R.; PIERCE, F.J.; VITOSH, M.L. Impacts of agricultural management practices on C sequestration in forest-derived soils of the eastern Corn Belt. **Soil & Till. Res.**, v.47, p.235-344, 1998.
- DOSS, D.D.; BAGYARAJ, D.J.; SYAMASUNDAR, J. Morphological and histochemical changes in the roots of finger millet *Eleusine coracana* colonized by VA mycorrhiza. **Proc. India Natl. Sci. Acad.**, v.54, p.291-293, 1989.
- ELLIOT, E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.50, p.627-633, 1989.
- ESWARAN, H.; VAN DER BERG, E.; REICH, P. Organic carbon in soils of the world. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.57, p.192-194, 1993.
- FEBRAPDP - Federação brasileira de plantio direto na palha 2000. **Evolução da área de plantio direto no Brasil - dados estatísticos**. <http://www.agri.com.br/febrapdp/pd>.
- FELLER, C. La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1:1. Recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Orstom, 1995. 393p. Tese (Doutorado) – Université Louis Pasteur, Strasbourg, França.
- FEYT, H.; MENDEZ DEL VILLAR, P.; RAVOHITRARIVO, C.P.; RABENJANA HARYE. **ENQUÊTES - Études de la variabilité de la filière semences de FIFAMANOR dans le cadre du désengagement de l'état**. DOC FOFIFA - CIRAD - ANJANANARIVO – MADAGASCAR, 1999.
- IPCC. **Climate change 1995. Working group 1**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
- KERN, J.S.; JOHNSON, M.G. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.57, p.200-210, 1993.
- LAL, R. Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in Western Nigeria. II. Soil Chemical properties. **Soil & Till. Res.**, v.42, p.161-174, 1997.
- LAL, R. Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. **Progress in Env. Sc.**, v.4, p.307-326, 1999.

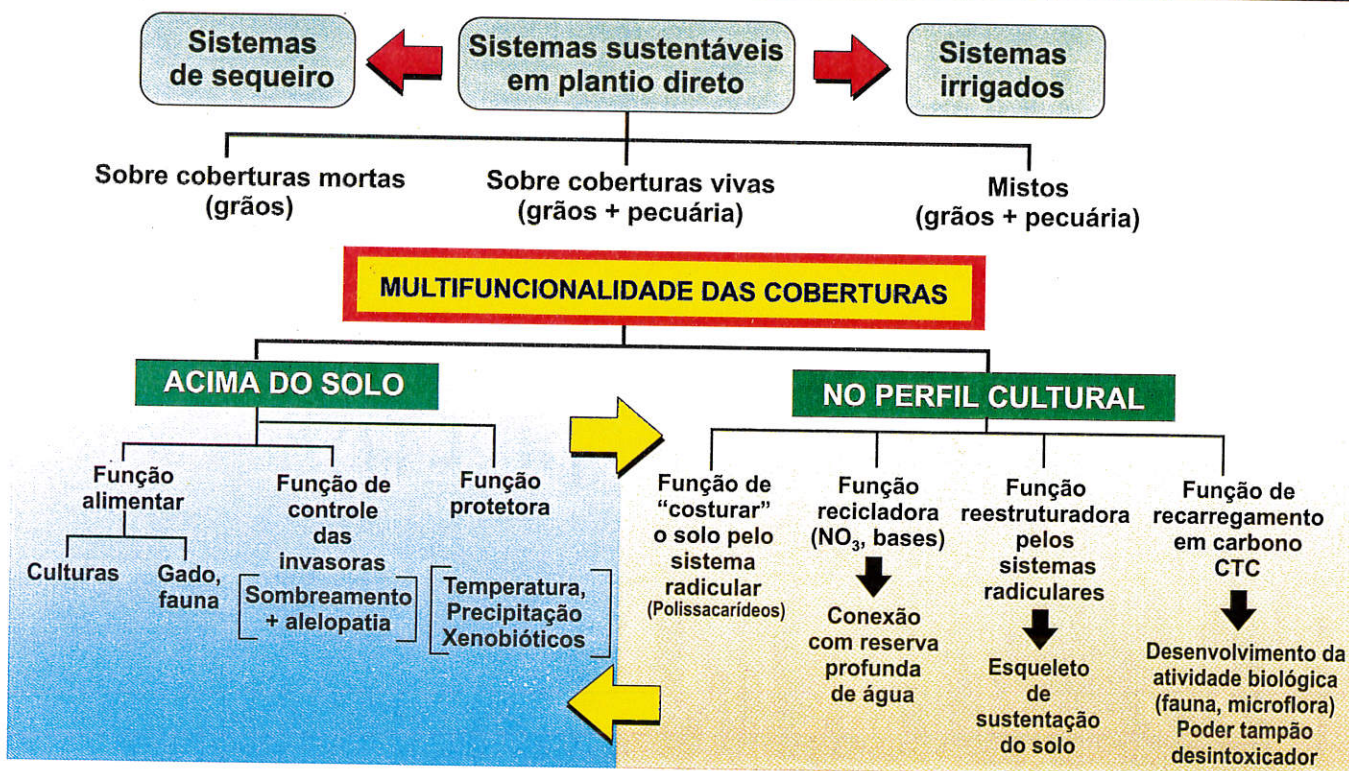
- LAL, R.; LOGAN, T.J. Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. In: LAL, R.; KIMBLE, J.M.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (eds.). **Soil management greenhouse effect**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p.293-307.
- LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; WHITMAN, C. World soils and greenhouse effect: An overview. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (eds.). **Soils and global change**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p.1-7.
- LOPES, A.S. **Solos sob Cerrado – características, propriedades e manejo**. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162p.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil de solo por resíduos vegetais. **Informações Agronômicas**, POTAFOS, n.92, Dezembro/2000.
- NEUFELDT, H.; AYARZA, M.A.; RESK, D.V.S.; ZECH, W. Distribution of water-stable aggregates and aggregating agents in Cerrado Oxisols. **Geoderma**, v.93, p.85-99, 1999.
- RAIJ, B. VAN. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343p.
- REICOSKY, D.C.; KEMPER, W.D.; LANGDALE, G.W.; DOUGLAS Jr., C.L.; RASMUSSEN, P.E. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. **J. Soil Water Cons.**, v.50, p.253-261, 1995.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R. Plantio Direto – Recupera a matéria orgânica do solo e reduz a emissão de CO₂ para a atmosfera. **Revista Plantio Direto**, n. 59, setembro/outubro de 2000a. p.41-45.
- SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; LAL, R.; DICK, W.A.; VENZKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.; FEIGL, B. Organic matter dynamics and sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 2000b.
- SÉGUY, L. **Contribution à l'étude et à la mise au point des systèmes de culture en milieu réel: petit guide d'initiation à la méthode de création-diffusion de technologies en milieu réel, - résumés de quelques exemples significatifs d'application**. France, Octobre 1994. 191p. (Doc. CIRAD)
- SÉGUY, L. **Les techniques de semis direct sur couvertures végétales dans la région des Hauts Plateaux de Madagascar**. Partie d'un document collectif sur Madagascar à paraître pendant l'année - 34398 Montpellier cedex 5 - France, 2001a. 100p. (Doc. CIRAD provisoire).
- SÉGUY, L. **Quelques éléments simples et utiles: à la compréhension de la démarche du CIRAD-CA en matière d'agroécologie - à la rédaction d'un projet scientifique SCV**. France, 2001b. 23p. (Document CIRAD).
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S. **Cultiver durablement et proprement les sols de la planète, en Semis direct**. France, 1998b. 45p. (Doc. INTERNE CIRAD).
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S. **Rapports annuels de recherches sur les fronts pionniers du Mato Grosso. ZTH - 1992/2000**. (Doc. INTERNES CIRAD)
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MARONEZZI, A.C. **Les plus récents progrès technologiques réalisés sur la culture du riz pluvial de haute productivité et à qualité de grain supérieure, en systèmes de semis direct. Ecologies des forêts et cerrados du Centre Nord de l'Etat du Mato Grosso**. Agronorte - Sinop-MT. France, 1998a. 4p.
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MARONEZZI, A.C. **Semis direct et résistance des cultures aux maladies**. France, 1998b. 4p. (Doc. CIRAD)
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MARONEZZI, A.C. **Systèmes de culture et dynamique de la matière organique**. France, 2001. 200p. (Doc. CIRAD).
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MAEDA, E.; MAEDA, N. Brésil: semis direct du cotonnier en grande culture motorisée. **Agriculture et développement**, n.17, Mars 1998c. p.3-23.
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MAEDA, E.; MAEDA, N. Large scale mechanized direct drilling of cotton in Brazil. The ICAC Recorder. **Technical Information Section**, v.16, n.1, march 1998d. p.11-17.
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; MAEDA, E.; IDE M, A.; TRENTINI, A. La maîtrise de *Cyperus rotundus* par le semis direct en culture cotonnière au Brésil. **Agriculture et développement**, n.21, p.87, 1999.
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; TAFFAREL, W.; TAFFAREL, J. Méthode de défrichement préservant la fertilité du sol. In: **Bois et forêts des tropiques**, n.263, 1^o trimestre 2000. p.75-79.
- SÉGUY, L.; BOUZINAC, S.; TRENTINI, A.; CORTEZ, N.A. L'agriculture brésilienne des fronts pionniers. **Agriculture et développement**, n.12, décembre 1996. p.2-61.
- TRIOMPHE, B. **Méthodes d'expérimentation agronomique en milieu paysan. Approche bibliographique. Collection Mémoires et travaux de l'IRAT 19**. CIRAD-CA, 1989. 223p.

ANEXO

O CONCEITO DE MULTIFUNCIONALIDADE DAS BIOMASSAS DE COBERTURA EM PLANTIO DIRETO

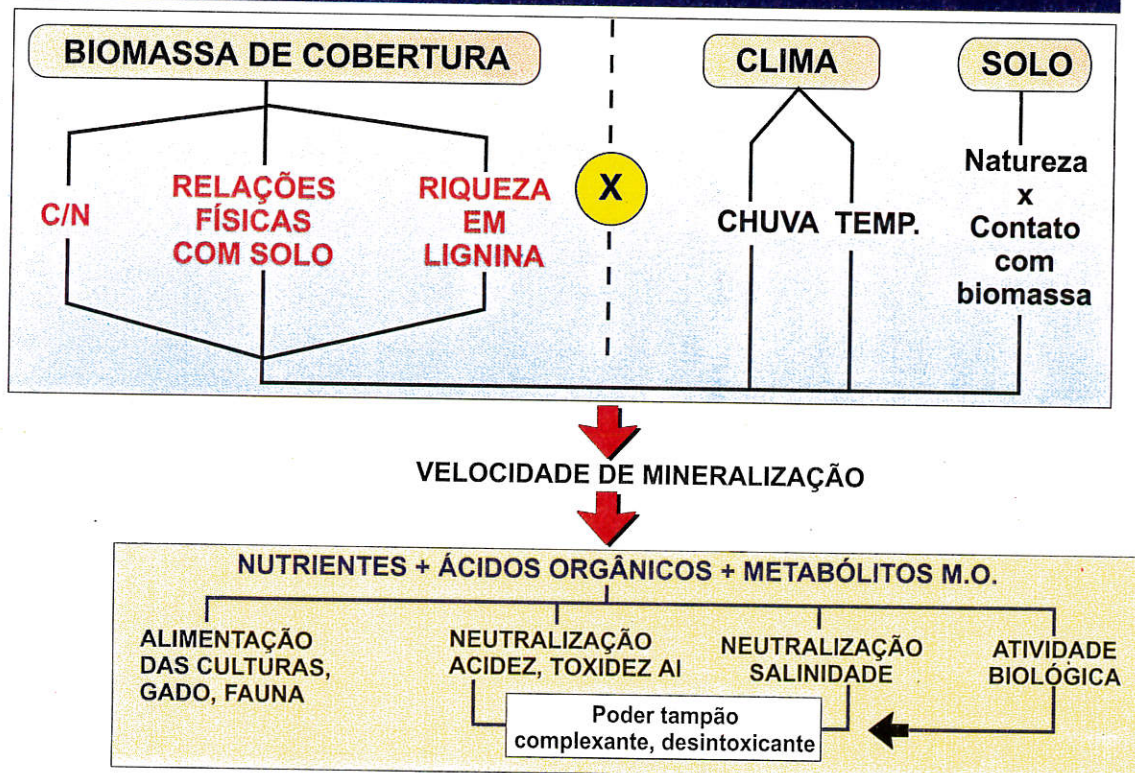


FIGURA 26. O CONCEITO DE MULTIFUNCIONALIDADE DAS BIOMASSAS DE COBERTURA EM PLANTIO DIRETO



FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

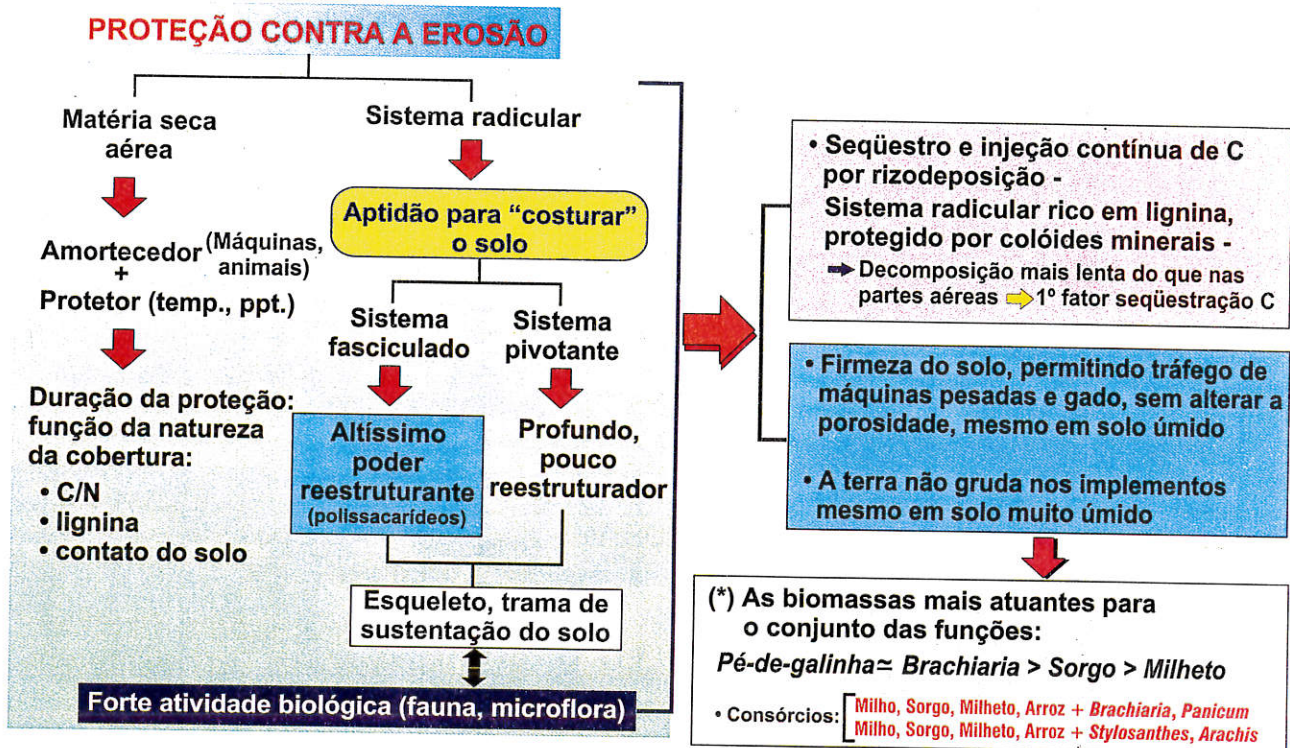
FIGURA 27. FUNÇÃO ALIMENTAR



FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

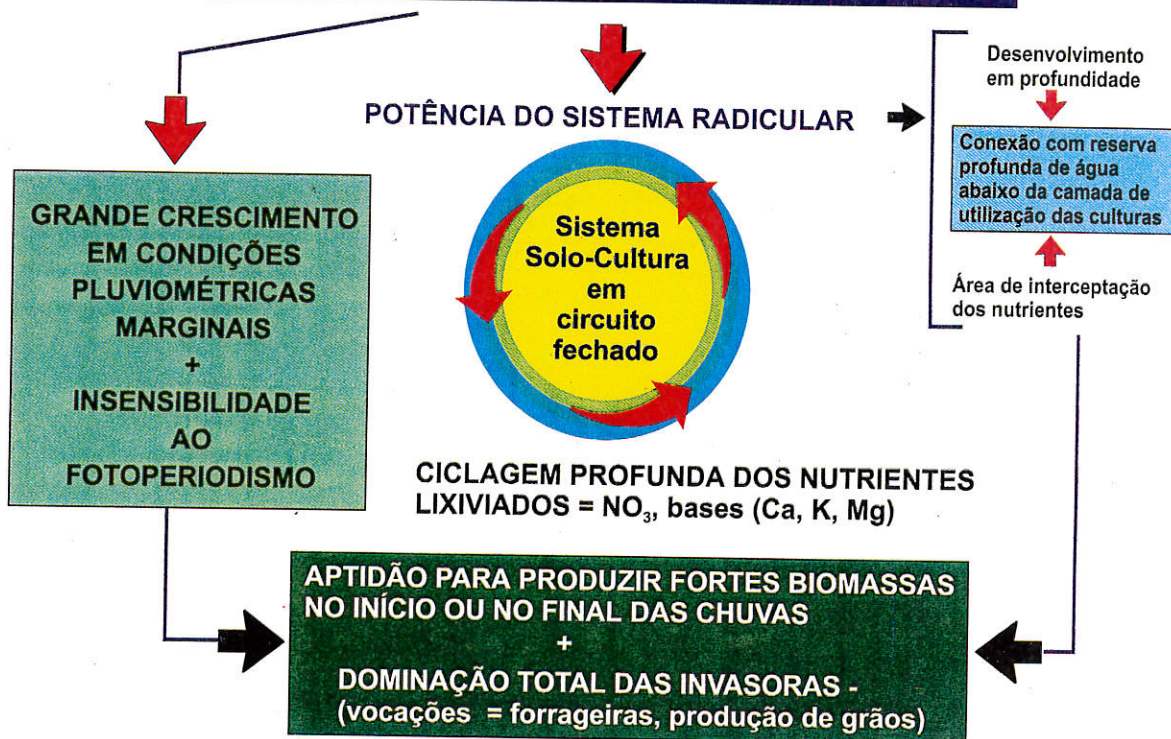
FIGURA 28. FUNÇÕES

- PROTEÇÃO CONTRA A EROSÃO
- PODER REESTRUTURANTE
- RECARREGAMENTO DO CARBONO



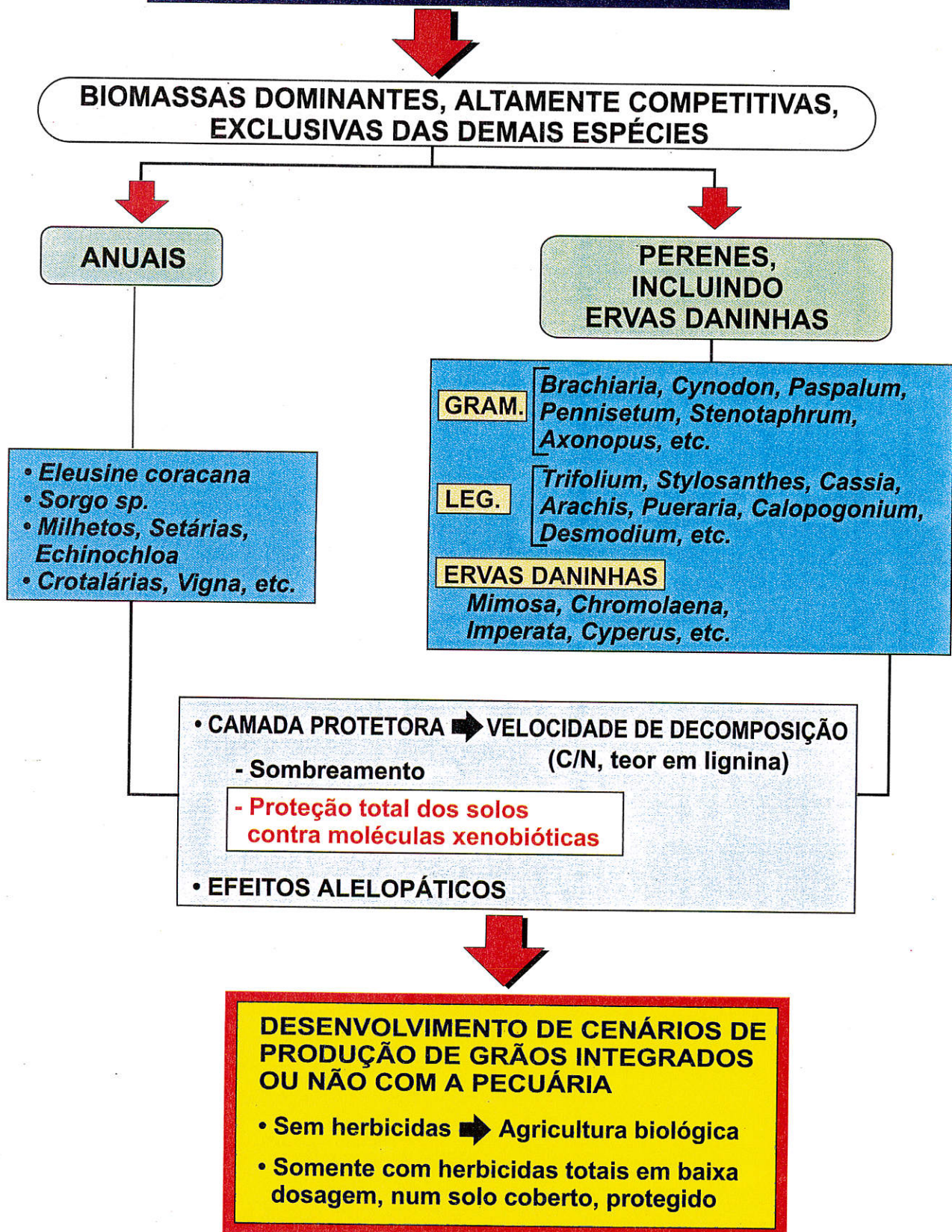
FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIGURA 29. FUNÇÃO RECICLADORA



FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A.C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000

FIGURA 30. FUNÇÃO: CONTROLE DAS INVASORAS



FONTE: L. Séguy, S. Bouzinac, CIRAD-CA; A. C. Maronezzi, AGRONORTE, Sinop/MT - 1978/2000