

ASPECTOS CLIMÁTICOS ASSOCIADOS A SISTEMAS AGROFLORESTAIS: implicações no planejamento e manejo em regiões tropicais

Tatiana Deane de Abreu Sá¹

RESUMO: São discutidos neste trabalho: (a) aspectos ambientais associados a sistemas agroflorestais (SAFs); (b) aspectos macroclimáticos associados à seleção de SAFs e de seus componentes; (c) modificação de condições microclimáticas pelo uso e manejo de SAFs; (d) uso de técnicas de avaliação micrometeorológica e biofísica visando o planejamento e manejo de SAFs; e (e) conhecimento atual sobre o impacto da adoção desses sistemas de uso da terra sobre as condições climáticas em diferentes escalas. Uma agenda para atuações interdisciplinares e interinstitucionais é também discutida. O objetivo é de contribuir à seleção de áreas climaticamente viáveis para a adoção de diferentes SAFs; à indicação de SAFs voltados a reduzir limitações do ambiente físico; ao desenho e adaptação desses sistemas e das práticas de manejo a eles associadas, a diferentes condições peculiares de regiões tropicais; à compreensão de prováveis impactos da adoção desses sistemas nas condições climáticas em diferentes escalas; e à implementação de estratégias voltadas a ampliar o uso de informações e técnicas de análise climática no planejamento e manejo de SAFs.

ABSTRACT: This paper discusses: (a) environmental aspects related to different Agroforestry Systems (AFSs); (b) macroclimatic aspects associated to the selection of AFSs and their components; (c) modification of microclimatic conditions by using and managing AFSs; (d) using of micrometeorological and biophysical assessments for AFSs planning and managing purposes; and (e) state of the art on the impact of the adoption of these land use systems of climatic conditions of different scales. An agenda for interdisciplinary and interinstitutional activities is also discussed. It is intended to help select climatically suitable areas for the adoption of AFSs; indicate AFSs oriented toward reducing environmental constraints; design and adapt these systems as well as management practices associated to them, under tropical conditions; understand possible different scales of impact associated with their adoption; and implement strategies oriented to the widespread use of climatic information and analysis for AFSs planning and management.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) vêm sendo, em especial nas duas últimas décadas, apontados como opções de uso agrícola da terra preferenciais, principalmente para regiões tropicais, pelo elevado potencial que ofereceriam para aumentar o nível de sustentabilidade no uso da terra, quanto a aspectos agrônômicos, sociais, econômicos, e

¹ Pesquisadora EMBRAPA/CPATU, C.P. 48, CEP 66095-100, Belém, PA, Fax (091) 226-9845

ecológicos (VERGARA, 1987; ALVIM, 1989a; FERNANDES & SERRÃO, 1992; SERRÃO & HOMMA, 1993; WEIDELT, 1993; SMITH *et al.*, 1994a,b).

Uma das justificativas ambientais a essa indicação, em especial para a Amazônia, refere-se ao papel que os SAFs desempenhariam, por apresentarem estrutura semelhante, em alguns aspectos, a das florestas primárias dessa região e, assim, garantiriam condições micrometeorológicas próximas às predominantes nessa vegetação contribuindo, dessa forma, para reduzir os riscos de mudanças climáticas (SHUTTLEWORTH & NOBRE, 1992; SALATI, 1992).

A despeito do grande alarde sobre os benefícios ecológicos e ambientais que tais sistemas poderiam trazer, é ainda difícil aquilatar a magnitude das modificações micrometeorológicas e das repercussões ecofisiológicas decorrentes de sua implantação, e inerentes às interações entre seus componentes e o ambiente, bem como sobre as possíveis implicações, em escalas local e regional, da expansão de seu uso, uma vez que, poucos são os trabalhos que têm monitorado variáveis biofísicas em SAFs, notadamente em condições de trópico úmido.

Por outro lado, considerando que a agrossilvicultura tem por objetivo o desenvolvimento de SAFs que propiciem a maximização de interações positivas e a minimização de interações negativas entre seus componentes e o ambiente, é fundamental atentar para aspectos climáticos, em diferentes escalas de espaço e tempo, ao longo das diversas fases do seu ciclo, para que os SAFs possam melhor expressar o seu potencial ecológico e produtivo em regiões com diferentes características edafoclimáticas.

Neste trabalho são discutidos aspectos climáticos relacionados ao planejamento e manejo de SAFs, com ênfase em regiões tropicais, visando fornecer subsídios para, dentre outros: seleção de SAFs e de seus componentes para diferentes ambientes; compreensão de prováveis impactos da adoção de SAFs nas condições climáticas em diferentes escalas; e implementação de estratégias voltadas a ampliar o uso de informações e técnicas de análise climática em tomadas de decisão relativas a SAFs.

2. ASPECTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS A SAFS

Em função da própria natureza heterogênea dos diversos tipos de SAFs, onde diferentes organismos partilham o mesmo espaço, o ambiente físico afeta e interage com esses sistemas de modo complexo ao longo das fases de seu ciclo, com reflexos no crescimento (das árvores, culturas, pastos e animais), no manejo (do microclima, água, solo, plantas e animais) e nas interações entre seus componentes (árvores/cultura, árvore/pastagem, árvore animal e suas combinações). Quanto mais componentes integrarem um SAF, mais complicadas se tornam as interações múltiplas em espaço e tempo.

A Tabela 1 apresenta, de modo auto-explicativo, tipos de interações entre componentes de SAFs e fatores e/ou componentes do meio físico. Observa-se que existem saldos positivos e negativos das interações, afetando ora o componente arbóreo, ora o não arbóreo. As interações são afetadas em especial pelo microclima e pelo solo, sendo as quatro principais interações negativas: arranjo, sombreamento, competição por umidade e por nutrientes (YOUNG, 1989).

Tabela 1. Interações entre o complexo árvore/cultura e o ambiente em sistemas agroflorestais, de acordo com Young (1989).

Fator	Agente	Interações	
		Positiva	Negativa
ESPAÇO	Arranjo	----	Cultura pela árvore Árvore pela cultura
CLIMA	Sombra	Árvore em poucas culturas Árvore em animais Árvore no homem	Árvore em muitas culturas
	Abrigo	Árvore abrigando a cultura em relação ao vento Árvore protegendo da erosão pelo vento	---
	Água	Árvores para reduzir a evapotranspiração Água de camadas profundas do solo (através das folhas), para o gado	Competição árvore/cultura
SOLO	Matéria orgânica	Liteira da árvore à cultura, via o solo (condições físicas e liberação de nutrientes)	
	Nutrientes	Árvores fixadoras de N à cultura Ciclagem de nutrientes pelas raízes da árvore à cultura, incluindo micorrizas	Competição árvore/cultura
	Controle da erosão	Árvores controlando a erosão hídrica (eólica v.acima)	
VEGETAÇÃO	Floresta	Redução na pressão de degradação pois árvores produzem combustível,etc.	
	Pastagem	Redução na pressão de degradação pois as árvores produzem forragem. Vários dos efeitos citados quanto a clima e solo se aplicam a pastagens.	Invasão pelos arbustos
HIDROLOGIA	Fluxo de rios	Estabilização pelo uso de SAFs em micro-bacias	
FAUNA	Animais	----	Danos às árvores
	Pragas	Árvores inibem pragas de culturas	Árvores abrigam pragas de culturas

As alterações mais comumente atribuídas ao uso de SAFs, quanto ao balanço de nutrientes, estão relacionadas à fixação de nitrogênio atmosférico por nódulos nas raízes e tornado disponível através das folhas caídas (liteira) de plantas capazes de fixar biologicamente esse elemento (VERGARA, 1987; WEIDELT, 1993; ANDERSON & SINCLAIR, 1993).

Em outros tópicos será discutida, em maior nível de detalhe, a interrelação entre componentes de SAFs e variáveis climáticas, enfocando diferentes técnicas agroflorestais e fatores climáticos em particular.

Para melhor ilustrar as interações entre variáveis do meio físico e componentes de SAFs são apresentados na Figura 1 exemplos de combinações incluindo: (a) árvores em pasto; (b) árvores em sistema multiestratificado (envolvendo freijó, cacau e pimenta-do-reino em Tomé-Açu, PA), onde são assinalados os principais processos ecológicos que têm lugar nesses SAFs; e (c) combinação envolvendo coqueiros (*Cocos nucifera*) e pimenteiras (*Piper nigrum*). Observa-se o diferente nível de complexidade das interações que têm lugar nesses sistemas, sendo que no último exemplo, pelo padrão de crescimento e de renovação das folhas da palmácea, a ação do componente arbóreo é consideravelmente diferente do verificado com árvores lenhosas, em especial leguminosas, cujas folhas caídas, constituindo a liteira, desempenham relevante papel no ciclo de nutrientes e no balanço hidrológico. Detalhes sobre SAFs envolvendo coqueiros são apresentados em NAIR (1979), ALVIM (1989b) e BALDY & STIGTER (1993). MOSS (1992) apresenta padrões de transmissão e utilização de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em coqueirais.

Ilustrando a variabilidade em tempo e espaço ao longo do ciclo de um SAF, a Figura 2 mostra um exemplo de duas fases de um mesmo cultivo em renque (*alley cropping*), baseado no arranjo espacial do experimento desenvolvido por Smyth (descrito em RILEY & SMYTH, 1993), em Capitão Poço, PA, envolvendo renques de *Inga edulis* e o cultivo de milho e caupi. Na Figura 2a observa-se uma situação em que a cultura acaba de ser colhida, deixando o solo exposto, e a leguminosa encontra-se com valor relativo de índice de área foliar (IAF) elevado, exercendo influência quanto à interceptação de radiação solar, da água da chuva, e transferências aerodinâmicas. A Figura 2b representa um momento em que foi realizado o corte dos ramos com folhas da leguminosa, sendo esse material colocado como *mulch* entre os renques, levando a que, tanto na área dos renques como nas linhas a serem ocupadas pelas culturas, ocorram drásticas mudanças quanto a vários componentes dos balanços de água, radiação, energia e nutrientes. É possível também imaginar, no mesmo sistema, as alterações nesses componentes que ocorrem quando as culturas estão ocupando as faixas entre os renques.

Uma vez que o objetivo maior da agrossilvicultura é o de maximizar as interações positivas e minimizar as negativas entre componentes e sua relação com variáveis do meio físico, é importante, no planejamento de SAFs, levar em consideração aspectos, tais como a magnitude de interfaces entre componentes, como um indicativo do grau de competição entre esses (HUXLEY, 1985; YOUNG, 1989).

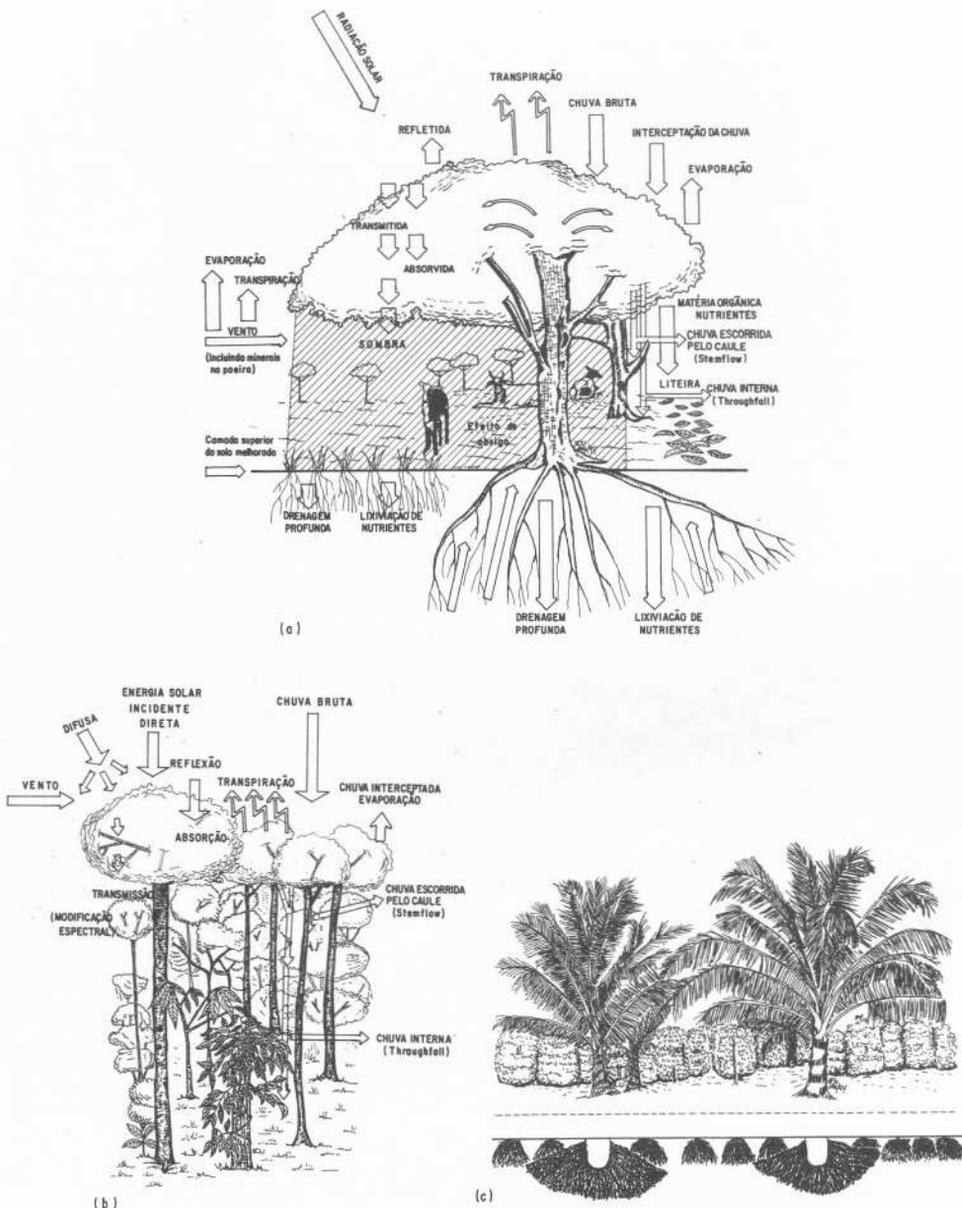
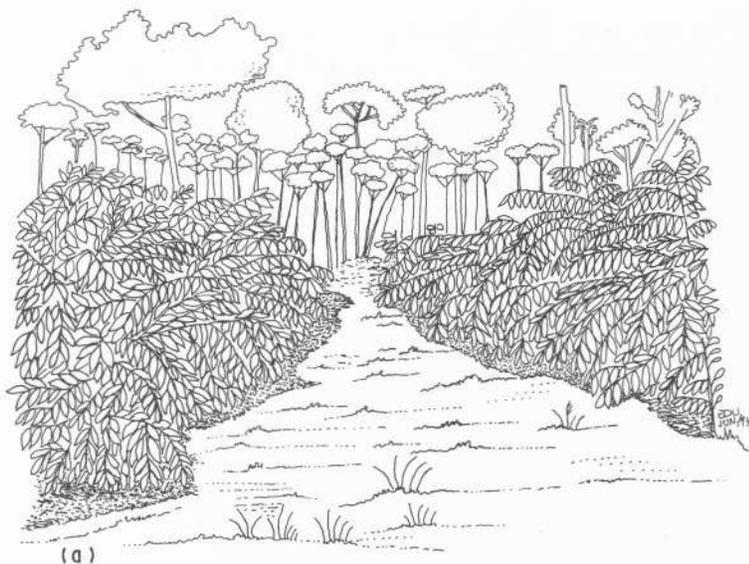
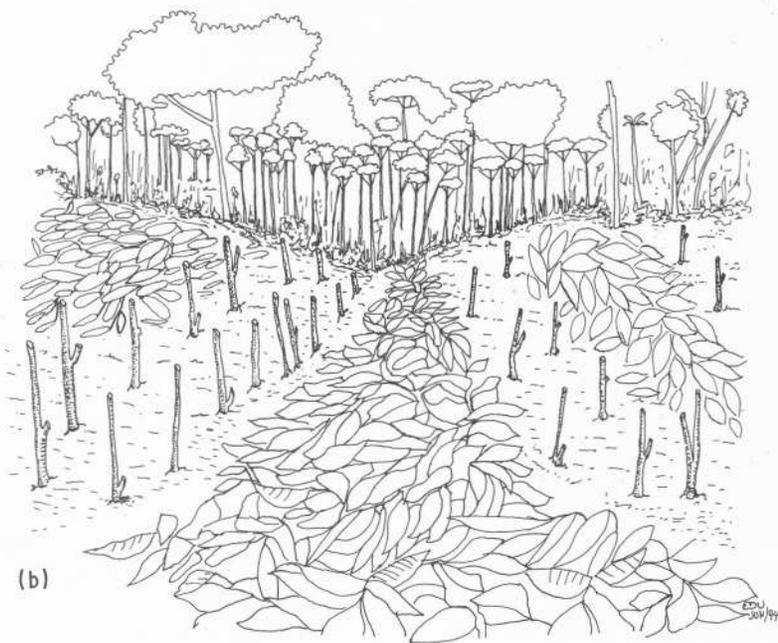


Figura 1. Interações entre componentes árvore/não árvore e o ambiente em: (a) sistema silvipastoril (árvores em pasto); (b) SAF multiestratificado (freijó, cacau e pimenta-do-reino, em Tomé-Açu, PA); e (c) combinação envolvendo coqueiros e pimentadeiras.



(a)



(b)

Figura 2. Duas fases de um cultivo em renques (*alley cropping*) com *Inga edulis*, mostrando a alteração nas interações. Baseado no arranjo espacial do experimento desenvolvido por Smyth em Capitão Poço, PA (descrito por HILEY & SMYTH, 1993).

Para melhor visualizar essa situação, são apresentados na já clássica Figura 3, seis arranjos diferentes para árvores, cobrindo 25% de uma área (1ha), onde fica evidente que o sistema que leva a um maior comprimento na linha de interface árvore/cultura é o de cultivos em renque (*alley cropping*) (YOUNG, 1989; TORQUEBAIU, 1991), o que sugere cautela à adoção dessa técnica agroflorestal em situações onde a oferta de recursos (água, energia solar, nutrientes) possa levar a uma interação fortemente negativa, face à competição ampliada, pelo comprimento da interface.

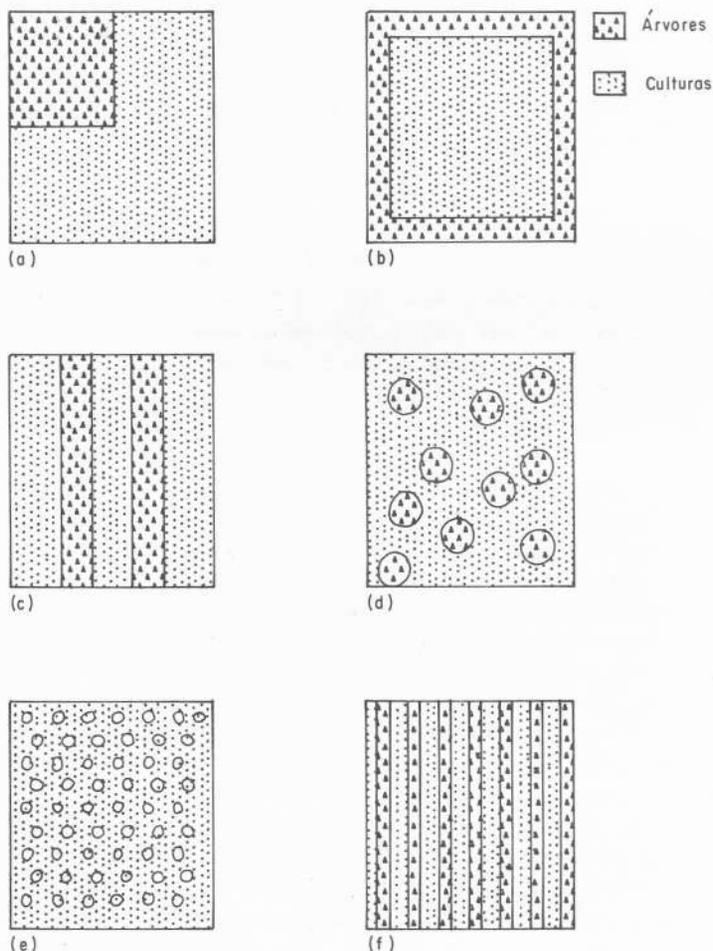


Figura 3. Seis tipos de arranjos com árvores cobrindo 25% de uma área (1ha). As linhas nos campos correspondem às interfaces árvore/cultura (HUXLEY, 1985; TORQUEBAIU, 1992).

Assim, é importante ter sempre em mente que, a depender das condições ambientais da área, uma combinação agroflorestal pode levar a balanços negativos ou positivos das interações entre seus componentes e atributos do ambiente, como evidenciado em exemplos contrastantes de cultivos em renque (PELTIER & EYOGMATIG, 1988; LAL, 1989; SINGH *et al.*, 1989; RAO *et al.*, 1990; KANG *et al.*, 1990; KANG & VAN DERBELDT, 1991; SZOTT *et al.*, 1991; BALDY & STIGTER, 1993) e de quebra-ventos (DARNHOFER, 1982; GUYOT, 1989), em diferentes zonas edafoclimáticas, conforme será discutido em outro tópico deste trabalho.

3. ASPECTOS MACROCLIMÁTICOS ASSOCIADOS À SELEÇÃO DE SAFS E DE SEUS COMPONENTES

Para a seleção e delimitação de SAFs para diferentes regiões, vários aspectos agroclimáticos devem ser considerados, de modo a garantir que os sistemas a serem usados tenham o potencial de reduzir as limitações e realçar as vantagens do ambiente local.

Assim, na pré-seleção dos sistemas e de seus componentes, devem ser considerados (REIFSNYDER & DARNHOFER, 1989; DINIZ, 1989):

- Análise agroclimática da área/região onde se deseja implantar o sistema;
- Identificação das limitações do ambiente a corrigir através dos SAFs;
- Comportamento edafoclimático de espécies (árvores e outros componentes) candidatas a serem incluídas no sistema; e
- Definição de faixas de potencialidade climática para diferentes componentes e sistemas.

A análise agroclimática pode ser feita mediante métodos convencionais, incluindo estudos freqüenciais de variáveis relevantes, tais como chuva, temperatura e umidade do ar, radiação solar e velocidade do vento, devendo permitir a visualização de variações sazonais e interanuais para, de um lado, balizar as tomadas de decisão sobre a ocupação espacial e práticas de manejo e, por outro lado, em escala temporal, avaliar o nível de risco climático a enfrentar.

Assim, para regiões tropicais, as avaliações com respeito à chuva, fator que aí exhibe maior variabilidade em espaço e tempo, devem usar intervalos curtos de tempo (cinco ou dez dias), de modo a se prestarem como indicativos da oferta de água em escala de tempo compatível com o calendário das culturas envolvidas (aspectos fenológicos e de práticas culturais).

Ainda que a disponibilidade de informações de radiação solar seja limitada, é importante procurar, com as variáveis disponíveis (na maioria dos casos apenas duração do brilho solar e grau de nebulosidade e, em poucos casos radiação solar global), identificar períodos de maior oferta dessa energia e da natureza de sua partição entre as componentes direta e difusa. Essa informação se presta para a seleção das espécies/cultivares, arranjos espaciais; e tomadas de decisão quanto a práticas (intensidade e periodicidade de poda, corte, aplicação de coberturas no solo, etc.).

As informações relativas à velocidade e direção do vento se prestam para indicar áreas e períodos onde essa variável alcança níveis indesejáveis, sugerindo a

seleção de SAFs, de componentes e arranjos espaciais e temporais capazes de reduzir essa limitação.

Na identificação das limitações do ambiente a corrigir através dos SAFs devem ser consideradas, além das análises agroclimáticas baseadas em séries de dados de variáveis climáticas, as informações levantadas em diagnósticos realizados ao nível dos SUTs da região enfocada, com respeito à ocorrência de danos ou reduções de safra causadas por elementos climáticos e a adoção de práticas de manipulação microclimática que denotem a ocorrência de limitações (como por exemplo, o uso de quebra-ventos).

Várias estratégias de diagnósticos dessa natureza encontram-se disponíveis, como é o caso do D&D (Diagnosis & Design) adotado pelo International Centre for Research in Agroforestry-ICRAF (AVILA & MINAE, 1991), bem como, diversos exemplos de levantamentos de práticas tradicionais de manipulação microclimática em diferentes SUTs, de várias regiões, são encontrados na literatura (STIGTER, 1984a,b, 1988, 1992, 1993; KARING *et al.*, 1992; STIGTER & BALDY, 1993; SÁ *et al.*, 1994).

Para a avaliação das necessidades climáticas das espécies a considerar, e definição das classes de potencialidade climática de áreas para o seu estabelecimento, podem ser adotados métodos convencionais, envolvendo a análise das condições climáticas em áreas de distribuição natural e cultivo das espécies (sob diferentes sistemas de manejo se possível), acrescidas de informações sobre seu padrão fenológico e produtivo (REIFSNYDER & DARNHOFER, 1989).

Mais recentemente, tem crescido o uso de agroclimatogramas e de técnicas de interpolação via computador, para a seleção de espécies adaptadas a regiões e para a identificação de homoclimas com potencial para o uso de espécies (BOOTH, 1985, 1990; FÜSSEL, 1992).

No caso de regiões como a Amazônia, onde grande parte das espécies, em especial as arbóreas, candidatas a SAFs encontram-se em processo de domesticação (DINIZ, 1989), a análise de seus requerimentos quanto a variáveis climáticas tem que, em princípio, se basear nas condições climáticas das suas áreas de dispersão natural BRIENZA JÚNIOR & SÁ (1994), seguida de estratégias para identificar o seu comportamento fenológico e ecofisiológico.

Revelam-se também úteis nesse sentido, estudos voltados à avaliação do desempenho produtivo de SAFs em relação a variáveis meteorológicas, em seqüências de anos com características contrastantes quanto a essas variáveis (BASTOS *et al.*, 1993).

4. MODIFICAÇÃO DE CONDIÇÕES MICROCLIMÁTICAS PELO USO E MANEJO DE SAFS

A interação entre as plantas componentes de SAFs e a atmosfera pode, resumidamente, ser avaliada em termos micrometeorológicos, pelos seguintes elementos (MONTEITH *et al.*, 1991): interceptação de energia radiante pela folhagem, que é um fator dominante na produção de biomassa; interceptação da chuva pela folhagem, que interfere na oferta de água ao solo; déficit de pressão de vapor d'água,

que está estreitamente relacionado à transpiração; e temperatura, que determina a taxa de desenvolvimento podendo também, em casos extremos, influenciar a taxa de crescimento. Nesse contexto também é relevante o vento, que além afetar a taxa transpiratória, interfere no fluxo de gás carbônico, pode causar efeitos mecânicos às plantas e afetar a polinização de plantas componentes dos SAFs (GRACE, 1977; NOBEL, 1981).

4.1. - Distribuição da energia radiante

A quantidade, a qualidade espectral e, até certo ponto, a natureza (predominância dos componentes direto ou difuso) da energia solar que atinge os diferentes componentes de SAFs estão associadas ao grau de fechamento das copas e à estrutura do dossel vegetal. Assim, a magnitude de interação entre componentes desses sistemas varia consideravelmente entre tecnologias, a depender de seu arranjo espacial (horizontal e vertical) e sua evolução temporal (ALLEN JR., 1976; JACKSON, 1983; STIGTER, 1988; CONNOR *et al.*, 1989; REIFSNYDER, 1989; KWESIGA, 1991; TORQUEBAU, 1990 1991; BALDY & STIGTER, 1993).

Os cultivos em renque (*alley cropping*), por serem SAFs que exibem extensa área de interface (YOUNG, 1989; TORQUEBAU, 1991), também apresentam considerável interferência entre componentes. CORLETT *et al.* (1989) reportam um aumento de 26% e 61% da interceptação de energia solar para milheto e leucena em renque, comparados aos respectivos monocultivos. LAWSON & KANG (1990), estudando caupi e milho em renques de diferentes espécies arbustivas (***Leucaena leucocephala***, ***Gliricidia sepium***, ***Alchornea cordifolia*** e ***Acioa barteris***) observaram maior sombreamento nos renques de espécies de crescimento mais rápido (leucena e gliricidia) e que, em espaçamento de 4m entre renques apenas 75% a 80% da radiação solar global incidente sobre o topo do dossel atingia a cultura. SINGH *et al.* (1989). MONTEITH *et al.* (1991) e ONG *et al.* (1991) apresentam resultados de avaliações realizadas em região semi-árida da Índia, em renques (10m) de ***Leucaena leucocephala*** associados a sorgo, mamona e caupi, indicando que, próximo ao renque, nos primeiros 45 dias do ciclo, o sombreamento foi de 30% a 85% e dos 45 dias até a colheita foi, em média, de 80%.

NYGREN & JIMÉNEZ (1993) realizando um estudo de simulação sobre o regime de radiação, relacionando o efeito de arranjos espaciais de árvores (***Erythrina poeppigiana***) em renque, em cultivo sequencial com milho e feijão, observaram que os renques orientados no sentido norte-sul exibiram mais áreas de moderada sombra, enquanto que os orientados no sentido leste-oeste apresentaram as áreas centrais não sombreadas e áreas fortemente sombreadas próximo às linhas dos renques.

A radiação solar e a radiação líquida podem ser significativamente reduzidas em áreas sombreadas pelos quebra-ventos, sendo esse efeito de menor importância em barreiras orientadas no sentido norte-sul pois, apenas pequenas áreas são sombreadas durante o dia. Em barreiras orientadas no sentido leste-oeste, contudo, o efeito do sombreamento é mais pronunciado. A Figura 4 ilustra o efeito desse tipo de SAF sobre as trocas radiativas de ondas longas e curtas (GUYOT, 1989).

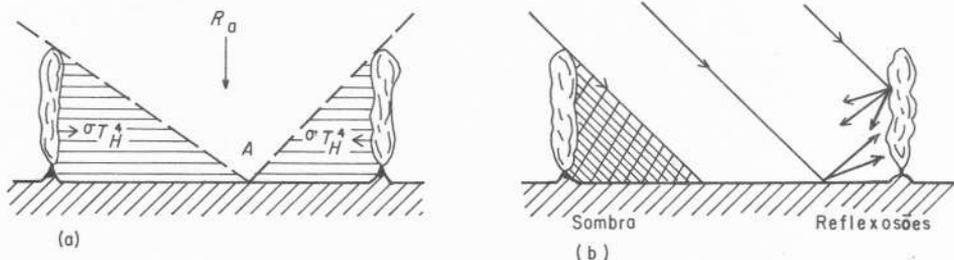


Figura 4. Trocas radiativas de ondas longas (a) e ondas curtas (b) em quebra-ventos (GUYOT, 1989).

O sombreamento também é afetado pela altura da barreira, a latitude, a estação do ano e o período do dia (ROSENBERG *et al.*, 1983). Esse efeito é, contudo, restrito às proximidades das barreiras, uma vez que, a radiação global que alcança a cultura a uma distância de duas vezes a altura da barreira, corresponde a 95% da que atinge o topo do dossel (DARNHOFER, 1982). PALMER *et al.* (1993) avaliaram, na Nova Zelândia, o sombreamento causado por quebra-ventos de diferentes espécies arbóreas, em plantios de kiwi, visando a validação de um modelo computadorizado.

Em combinações agroflorestais que usam árvores para sombreamento, o padrão de interferência dessas na cultura sombreada está estreitamente relacionado com a arquitetura das espécies utilizadas. SANCHEZ *et al.* (1990), estudando diferentes árvores e arbustos de uso múltiplo, verificou diferentes percentuais de transmissão de energia solar entre essas: *Erythrina poeppigiana* (56%); *Pithecellobium samau* (19%) e *G. sepium* (34%).

Em sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris, o padrão de sombreamento imposto pelos elementos arbóreos, é importante não apenas para os outros componentes vegetais do sistema (DJIMDE *et al.*, 1991; SEQUEIRA & GHOLZ 1991) mas, também, para os animais que por ele circulam, uma vez que esses têm vários aspectos de caráter comportamental e metabólico relacionados à quantidade de energia solar que recebem (BERBIGIER, 1988; MC ARTHUR, 1991; DJIMDE *et al.*, 1989; MIGONGO-BAKE, 1992).

Em sistemas multiestratificados, envolvendo palmeiras, o padrão de sombreamento exhibe intenso dinamismo ao longo do tempo. NAIR (1979), em estudo clássico, reporta que, em sistemas incluindo coqueiros de oito a dez anos, apenas 20% da luz é transmitida, sendo esse percentual válido até a idade de aproximadamente 25 anos, quando a quantidade de energia solar transmitida através da folhagem dos coqueiros começa a aumentar, atingindo 50% em torno dos 50 anos (Figura 5). MOSS (1992) apresenta, em detalhe, valores de interceptação e eficiência no uso de RFA por coqueiros.

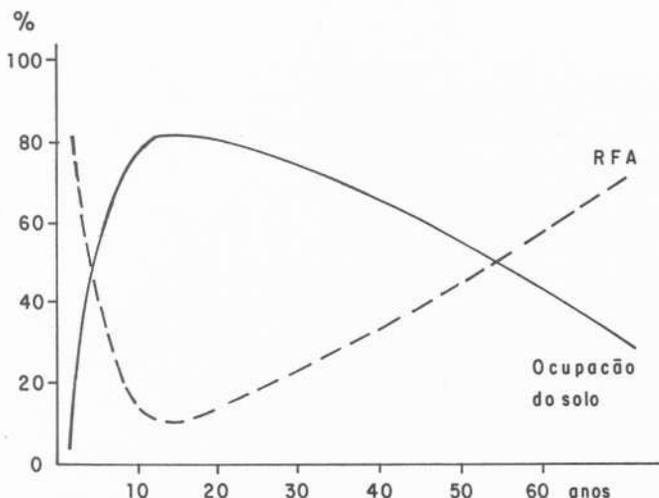


Figura 5. Quantidade de energia solar transmitida através da folhagem de coqueiros ao longo do tempo (NAIR, 1979).

Ocorrem variações drásticas na distribuição das componentes direta (R_i) e difusa (R_d) da radiação solar global (R_g), e sua partição em diferentes níveis de dosséis multiestratificados, em dias claros e em dias nublados, conforme pode ser visto na Figura 6, que apresenta uma situação verificada em uma associação de árvores sombreadoras de café (BALDY & STIGTER, 1993).

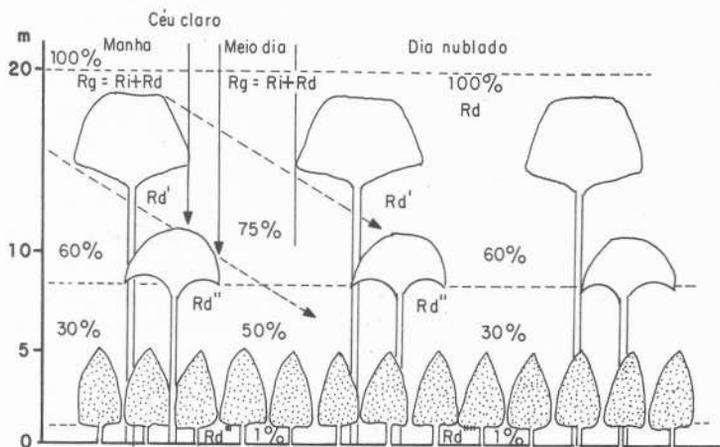


Figura 6. Distribuição das componentes direta (R_i) e difusa (R_d) da radiação solar global (R_g) em diferentes níveis do dossel multiestratificado de uma combinação de árvores sombreadoras e café (BALDY & STIGTER, 1993).

À medida em que o sistema multiestratificado se torna complexo, mais se assemelha à situação de florestas primárias, onde a RFA exibe um padrão de extinção conforme ilustrado na Figura 7 (BALDY & STIGTER, 1993).

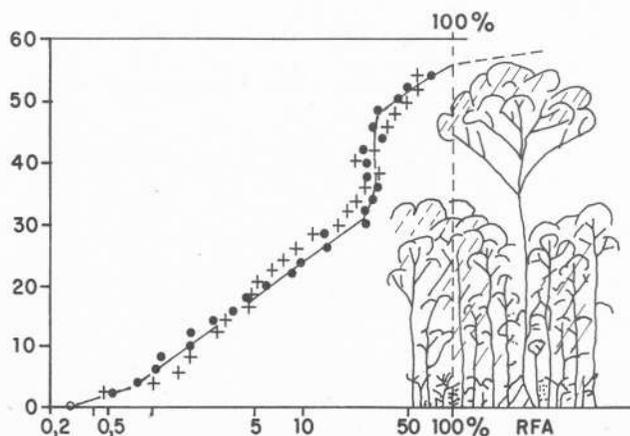


Figura 7. Padrão de extinção da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em floresta primária (BALDY & STIGTER, 1993).

A modificação na composição espectral através das diversas camadas da vegetação é decorrente do caráter seletivo da absorção de radiação pelos pigmentos encontrados nos elementos da vegetação, resultando em intensa absorção na faixa fotossinteticamente ativa (400 a 700nm) e, conseqüentemente, diminuição gradativa da energia nesta faixa até o solo. Já na faixa do infra-vermelho próximo (IVP) (700 a 1100nm), a absorção através do dossel é baixa, resultando em valores percentuais relativamente elevados ao nível da superfície do solo.

A heterogeneidade espectral em sistemas complexos, como SAFs multiestratificados, não ocorre apenas no sentido vertical, mas também horizontalmente, a depender da estrutura do dossel, a orientação do arranjo espacial, e da época do ano e da hora do dia, uma vez que, há diferenças marcantes na composição espectral das réstias de luz ou *sunflecks* (pequena redução da energia em comprimentos de onda baixos e leve aumento percentual na faixa do IVP vindo da reflexão ou transmissão por folhas vizinhas) em relação às áreas sombreadas (caracterizada pela redução na RFA). (SMITH, 1982; VARLET-GRANCHER *et al.*, 1993).

A figura 8 mostra a qualidade espectral da percentagem de radiação difusa (Dt) transmitida à base de uma oliveira, em um dia claro, em relação à radiação difusa medida no topo do dossel, enquanto que a Figura 9 apresenta curvas de transmissão espectral nas faixas do visível e do IVP, em comparação à radiação incidente em uma clareira em floresta tropical, sob diferentes condições atmosféricas e graus de sombreamento (BALDY & STIGTER, 1993).

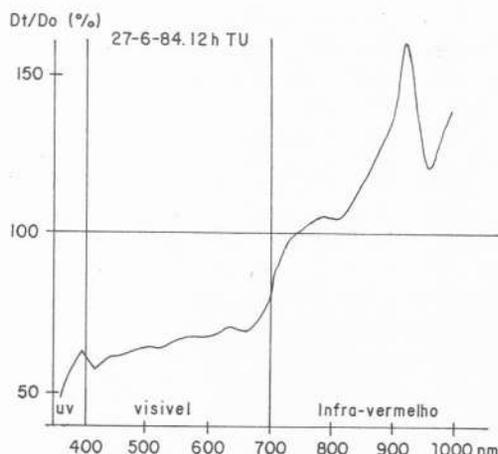


Figura 8. Qualidade espectral da percentagem de radiação difusa transmitida à base de uma oliveira, em um dia claro, em relação à radiação difusa medida no topo do dossel (BALDY & STIGTER, 1993).

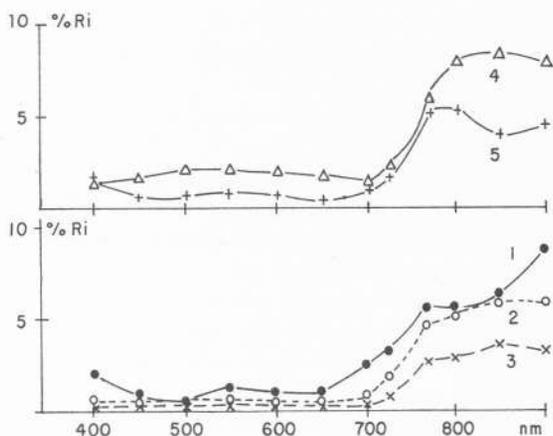


Figura 9. Curvas de transmissão nas faixas do visível e do infravermelho próximo (IVP), em comparação com a radiação incidente em uma clareira em floresta tropical, sob diferentes condições de sombreamento (BALDY & STIGTER, 1993).

Dentre os SAFs multi-estratificados, os quintais domésticos (*home gardens*) apresentam curvas de interceptação da energia solar das mais próximas às obtidas em florestas tropicais pluviais. Assim, em jardins domésticos de Java, foi observado por TORQUEBAU (1992) que 20% da radiação incidente é interceptada pela camada superior do dossel, 64% pela segunda camada, 10% pela terceira e apenas 6% atinge a

camada próxima ao solo, onde se concentram as espécies mais tolerantes à sombra. Analisando a estrutura de quatro tipos de quintais domésticos em Petén, Guatemala, GILLESPIE et al. (1993) encontraram diferenças marcantes na transmissão de luz através dos dosséis desses diferentes sistemas, sendo que os mais elevados percentuais de transmissão foram observados em área seca, onde os componentes se apresentam espaçados, evitando a superposição do dossel.

4.2. - Condições térmicas (ar, solo e planta)

As alterações impostas às temperaturas do ar, solo e planta, pelas combinações agroflorestais, expressam a natureza do efeito dos componentes desses sistemas, no balanço de energia da cobertura vegetal.

Em sistemas do tipo cultivo em renque CORLETT et al. (1989), em condições semi-áridas, observaram pequena diferença ou um ligeiro aumento na temperatura do dossel de milho com renque (leucena), 21 e 50 dias após o plantio (DAP), enquanto que, entre 50 e 80 DAP a temperatura do dossel se mostrou entre 0,3°C e 1,0°C maior no milho solteiro que no associado ao renque. MONTEITH et al. (1991) e ONG et al. (1991), em condições também semi-áridas, observaram que a folhagem de milho no renque mostrava-se cerca de 1°C mais elevada que a do seu cultivo solteiro, devido à menor exposição ao vento na área protegida pelo renque, enquanto que no final da estação de crescimento, a temperatura na área de ação do renque mostrava-se entre 0,5°C e 1,0°C menor que a do cultivo homogêneo, em decorrência da redução na oferta de radiação solar.

O efeito do renque é mais evidente em relação à temperatura do solo, uma vez que a turbulência do ar junto ao solo é menor nas proximidades do renque, quando comparada à cultura solteira. No início do ciclo a temperatura do solo, como ocorre na folhagem, mostra-se cerca de 1°C maior no renque, mas decresce ao longo do ciclo atingindo diferenças de -2°C a -4°C no final da estação do milho, com valores mais baixos às proximidades do renque (MONTEITH et al., 1991).

Em SAFs do tipo quebra-vento é observado que, durante dias claros, a temperatura do ar é maior na área protegida, aparentemente devido à redução da turbulência e conseqüente redução na remoção de calor sensível ao nível das plantas (ROSENBERG et al., 1984).

A figura 10 mostra exemplos, diurno (a) e noturno (b), do padrão de trocas térmicas que ocorrem na presença de quebra-ventos, com modificações nas temperaturas do ar e às proximidades do solo observa-se que, sob condições úmidas (a), a temperatura do ar é aumentada às proximidades da barreira. Sob condições de limitação hídrica moderada, a temperatura do ar é pouco modificada ou reduzida e, em condições de limitação hídrica forte a temperatura do ar tende a abaixar (GUYOT, 1989). DARNHOFER (1982) comenta sobre a dificuldade de avaliar qualitativa e quantitativamente as mudanças nos padrões de temperatura próximo ao quebra-vento, face ao grande número de variáveis atuantes no processo.

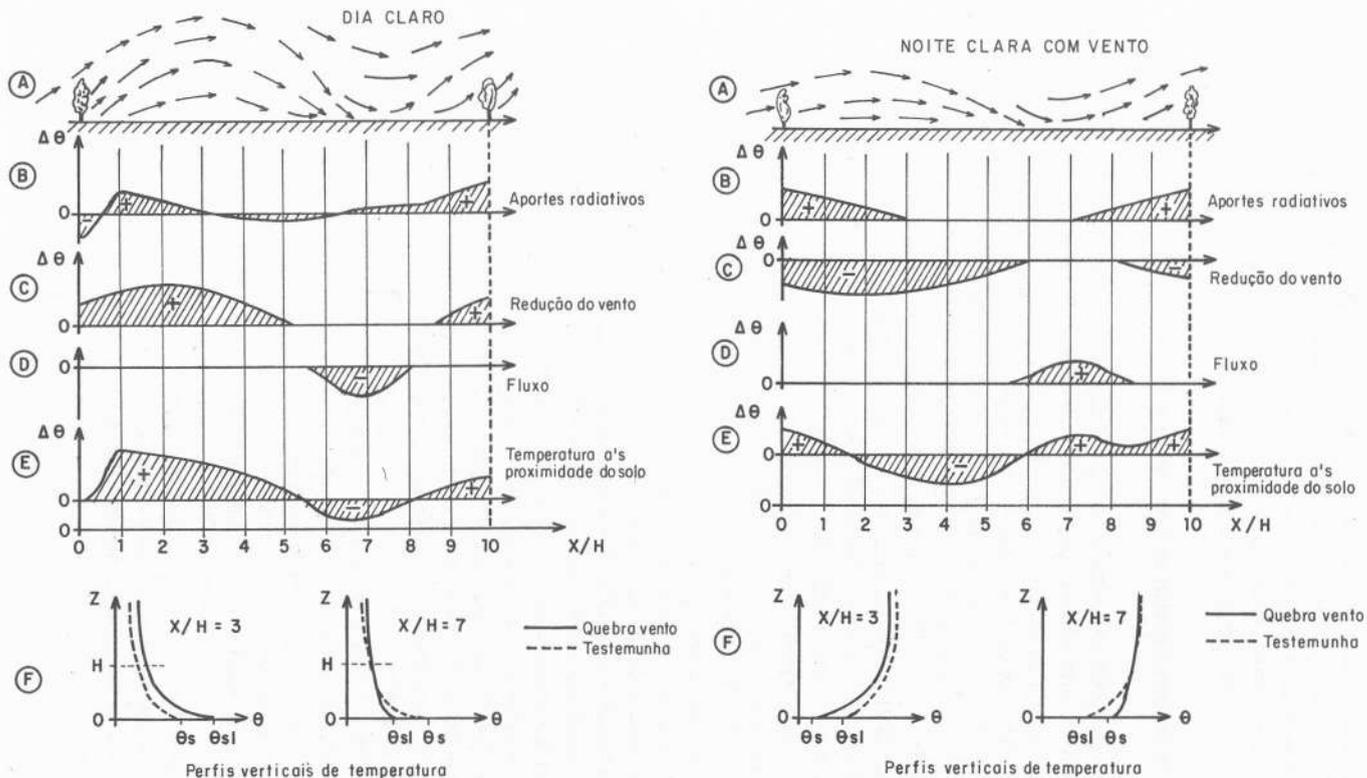


Figura 10. Exemplos diurno (a) e noturno (b) do padrão de trocas térmicas que ocorrem na presença de quebra-ventos.

Em sistemas silvipastoris SEQUEIRA & GHOLZ (1991), estudando o efeito de arranjos espaciais de *Pinus elliotti* observaram correlação positiva entre a radiação solar e a temperatura do solo, sendo essa ligeiramente mais elevada em linhas duplas que em linhas simples.

Sobre o complexo ambiente dos quintais domésticos TORQUEBIAU (1992) comenta que a temperatura varia com a radiação solar.

4.3. - Regime de umidade do ar

A quantidade de vapor d'água disponível na atmosfera, nas interfaces dos componentes de SAFs, também expressa a natureza do efeito desses componentes nos balanços hídrico e de energia.

Em condições de cultivos em renque, o déficit de pressão na área protegida pode ser maior ou menor que na área não protegida. Se for medido às proximidades do solo, serão encontrados, em geral, valores menos elevados (MONTEITH, 1991). O déficit de pressão de vapor mostrou-se menor em dosséis de milho com renque do que em situações sem renque, contudo, a magnitude dessa diferença foi pequena (CORLETT et al., 1989). SINGH et al. (1989) analisando situações de caupi submetido a renques de leucena, em condições semi-áridas, observaram que o déficit de pressão de vapor d'água no renque manteve-se próximo ao observado no caupi solteiro, ao longo do ciclo, excetuando o curto período entre 30 e 38 DAP.

No ambiente de quintais domésticos o dossel atua como tampão, reduzindo a amplitude da umidade do ar (TORQUEBIAU, 1992).

As modificações impostas por quebra-ventos aos processos de transferência de energia ao nível da superfície do solo ou da cobertura vegetal variam com a posição dentro do dossel, com o grau de satisfação hídrica das plantas, e com o período do dia, sendo que, como a barreira de árvores reduz o movimento do ar às suas proximidades, também reduz a transferência de vapor d'água e, assim, a umidade do ar na zona protegida é em geral ligeiramente mais elevada próximo à zona protegida (GUYOT, 1989). A pressão de vapor permanece maior na área protegida também através da noite, uma vez que a superfície usualmente se mantém como fonte de vapor, exceto durante a formação de orvalho, sendo esse padrão de gradiente observado em ampla faixa de condições climáticas e com diferentes espécies vegetais (ROSENBERG et al., 1983).

É importante, notadamente em regiões tropicais úmidas, atentar para a relação entre a estrutura dos SAFs e suas modificações na umidade do ar, de modo a evitar situações que favoreçam a ocorrência de doenças de plantas.

4.4. - Regime de vento

A ação de componentes de SAFs em relação ao regime de vento diz respeito, principalmente, às alterações que essas plantas exercem sobre a rugosidade da superfície, modificando o padrão do vento às proximidades do solo.

Em cultivo em renque com leucena (espaçada de 10m) orientado no sentido E-W, em região semi-árida da Índia, onde a a direção dos ventos dominantes é a S-E, SINGH et al., (1989) observaram uma redução de 20 a 25% na velocidade do vento

(Figura 11) e mencionam que, se os renques fossem arranjados em ângulos retos com relação aos ventos dominantes, seria esperada uma maior atenuação de sua velocidade na área protegida.

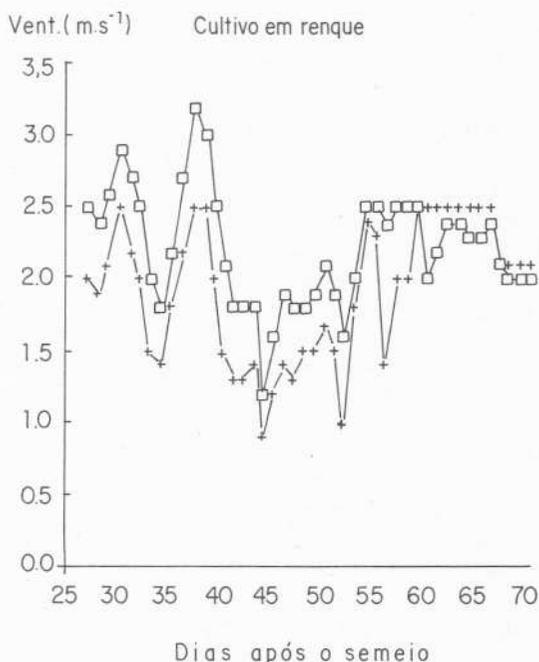


Figura 11. Variação da velocidade do vento em renques de leucena (o) e na testemunha (+) (SINGH *et al.*, 1989).

A maioria das informações sobre alterações no padrão de vento em SAFs refere-se a experiências com quebra-ventos. DARNHOFER (1982) comenta sobre a variabilidade espacial na redução da velocidade do vento imposta por essas barreiras, sendo que, a 90° dos ventos dominantes, a velocidade do vento diminui em ambas as faces, em extensão que depende da altura, comprimento, espessura e permeabilidade ao vento dessa barreira protetora. Quanto mais alta a barreira, maior a distância de sua influência, sendo que a redução na velocidade do vento imposta por essa, é função da localização e de sua altura acima das plantas (ROSENBERG *et al.*, 1983).

LOEFFLER *et al.* (1992) no Canadá, analisando quebra-ventos estreitos e homogêneos, observaram a distâncias de 2 a 6 vezes a altura das árvores, valores mínimos de cerca de 29 a 71% do vento observado fora da área de ação da barreira. PURI *et al.* (1992), em região semi-árida da Índia, observaram em quebra-ventos de *Dalbergia sissoo*, com 18 anos de idade, reduções de 15 a 45% na velocidade do vento, com variação com respeito à época do ano e à faixa de velocidade do vento.

MCANENEY & JUDD (1991) discutem sobre o padrão de distribuição de variáveis micrometeorológicas em quebra-ventos múltiplos.

4.5. - Partição da água da chuva

A estrutura dos arranjos entre componentes de SAFs e sua variação temporal afetam a partição da água da chuva nesses SUTs, alterando a magnitude da água interceptada pelo dossel, bem como da escorrida pelo caule (*stemflow*) e da disponível ao nível do solo (precipitação interna ou *throughfall*).

Em termos de culturas em renque, LAWSON & KANG (1990), estudando várias espécies de arbustos, observaram que, em situações de chuvas leves, a entrada de água no solo era retardada pela interceptação da chuva pelo dossel dos arbustos e pelo material oriundo de sua poda, colocado como cobertura do solo, sendo esse efeito mais marcante com *Acioa barteris*, que tem decomposição lenta. MONTEITH *et al.* (1991) comentam sobre a interceptação de chuva em renques de leucena em condições semi-áridas, que varia de 10% (população de 400 arbustos/ha) a 40% (1.000 arbustos/ha) e sobre o efeito dessa característica sobre a economia hídrica desses SAFs, sob diferentes condições de oferta hídrica.

TORQUEBLAU (1992) comenta sobre a interceptação da água da chuva pelas diversas camadas de vegetação existentes em quintais domésticos e sobre sua repercussão favorável na redução do impacto das gotas da chuva. JENSEN (1993), estudando componentes da partição da água da chuva em quintais domésticos de Java, encontrou valores médios de chuva interna (*throughfall*) de 92% (variando internamente entre 0 e 105%), dependendo da intensidade da chuva, sendo que em chuvas pouco intensas não foi observada chuva interna.

IMBACH *et al.* (1989), avaliando sistemas de sombreamento de *C. arabica* com *E. poeppigiana* e *C. alliadora*, observaram interceptação de 3,5% com a primeira espécie sombreadora e de 13,5% com a segunda, atribuindo a baixa interceptação pela *E. poeppigiana*, ao manejo de seu dossel e às características de suas folhas (rugosidade, cerosidade, rigidez, tamanho e arquitetura), o que leva a que não retenha água.

TAKLEHAIMANOT & JARVIS (1991), estudando um sistema silvipastoril quanto à perda por interceptação, associada ao espaçamento entre árvores, observaram que esse componente da partição da água da chuva não decresce em proporção à redução no número de árvores por área, quando o espaçamento entre árvores aumenta, mas sim, pela alteração na condutância da camada limite do dossel, que é modificada tanto pelo número de árvores, como pelo efeito do espaçamento entre árvores nas propriedades aerodinâmicas das suas copas.

DARNHOFER (1982) menciona que a magnitude da interceptação da chuva por quebra-ventos depende da intensidade e volume da chuva, do tamanho das gotículas e da velocidade do vento. GUYOT (1989) reporta situações em que o quebra-vento intercepta parte da precipitação destinada à zona protegida, acarretando uma redução na quantidade de chuva em relação à observada em área sem proteção. A chuva recebida em tais situações está relacionada estreitamente à velocidade do vento.

DARNHOFER *et al.* (1989), avaliando a distribuição da chuva na interface árvore/cultura observaram que a chuva interna foi 15% da externa em precipitações menores que 10mm, e de 21% em precipitações maiores que 20mm, enquanto que a chuva escorrida pelo caule correspondeu a apenas 11% da chuva externa. Foi também observado nítido gradiente de concentração da chuva, ditado pela orientação das linhas de árvores em relação à direção predominante dos ventos e da chuva (Figura 12).



Figura 12. Distribuição média da chuva na interface árvore/culturas, considerando todas as chuvas, e as verificadas em diferentes orientações (DARNHOFER *et al.*, 1989)

ONG *et al.* (1992) reportam valores de interceptação da água da chuva de cerca de 20% em plantio de *Cassia siamea* interplantada com milho. Observaram também que as árvores do estrato superior têm uma maior influência para a redistribuição da chuva nas três linhas mais próximas da cultura e que, essa influência é maior durante pequenas precipitações- menores que 10mm por dia- quando a linha mais próxima da cultura recebe apenas 55% da chuva que cai em área descoberta. Quando a chuva é mais intensa- mais que 30mm por dia- a linha mais próxima recebe 75% da chuva que cai em área descoberta. Em situações em que o renque de árvores foi podado, a interceptação da chuva mostrou-se insignificante.

Avaliando a partição da água da chuva em vegetações secundárias (“capoeiras”), em período de pousio, como integrantes de sistemas de derruba e queima (*slash-and-burn*), considerados também como SAFs com variação no tempo, SÁ *et al.* (1993) observaram que, na “capoeira” mais jovem (2-3 anos), 80% dos valores de chuva interna situam-se entre 30% e 90% da chuva bruta, com maior concentração de valores entre 60% e 80%, enquanto que, na “capoeira” mais antiga (8-10 anos) 80% dos valores de chuva interna situam-se entre 10% e 50%, com maior concentração entre 20% e 40%. Em ambas as áreas foram encontrados em indivíduos de algumas espécies, valores elevados de água escorrida pelo tronco, com expressiva variação sazonal, relacionada à sua fenologia e ao padrão da chuva.

4.6. - Umidade do solo

A interação entre componentes de SAFs, quanto à umidade do solo varia consideravelmente em magnitude em diferentes ambientes. Assim, uma tecnologia agroflorestal poder permitir bom suprimento hídrico aos seus componentes em uma região, enquanto que poderá impor limitações a esses em um ambiente contrastante.

Pelo elevado grau de interferência entre componentes, característico dos cultivos em renque, esses podem ser citados como exemplos de SAFs capazes de exibirem comportamentos particularmente contrastantes, sob diferentes condições de oferta hídrica (KANG & VAN DERBELDT, 1991). LAL (1989), na Nigéria, observou que renques de leucaena e gliricídia atuam como quebra-ventos, levando a que o conteúdo de umidade na camada de 0-5cm seja maior que o do controle na época seca, devido à redução na evaporação da água do solo, ao efeito da sombra e à concentração da água que seria escorrida superficialmente, caso não houvesse a proteção da barreira. Contudo, sob condições de estresse hídrico a leucaena, por ser mais competitiva que a gliricídia, pode competir em água com a cultura adjacente. Em região semi-árida da Índia, SINGH *et al.* (1989), encontraram resultados com renques de leucaena associados a caupi, indicando que esse SAF induz competição por umidade do solo entre arbustos e a cultura. O mesmo padrão de comportamento é reportado por RAO (1992).

Analisando o efeito de coberturas (*mulches*) de folhas de diversas árvores de usos múltiplos (*Leucena leucocephala*, *Shorea robusta* e *Broussonatia papriferae*), TOMAR *et al.* (1992), também na Índia, observaram que, no início do ciclo do trigo, não houve diferenças na umidade do solo com respeito à profundidade, contudo, ao longo do ciclo, a magnitude da distribuição de umidade no solo mudou, sendo observados valores mais elevados com o uso de *mulches* de *Shorea robusta* e do híbrido de *Eucalyptus*.

Um exemplo do comportamento hídrico do solo em sistema silvipastoril é apresentado por EASTHAM *et al.* (1988), que avaliando em condições de clima subtropical, em Brisbane, Austrália, três densidades de plantio de *Eucalyptus grandis* plantado em pastos dominados por *Sectaria sphacelata* cv. *kazunguea*, observou que a absorção de água, nos tratamentos de elevadas densidades de árvores, ocorreu a profundidades de 5,6m ou ainda mais profundamente no final do experimento, enquanto que, em contraste, as árvores dos tratamentos com espaçamentos menores foram capazes de explorar a água desde a superfície.

4.7. - Possibilidades de “manipulação micrometeorológica” em sistemas agroflorestais

Os SAFs, pela natureza de sua evolução em espaço e tempo, oferecem múltiplas possibilidades de manipulação micrometeorológica, com vistas a reduzir os riscos de estresse às plantas componentes e aumentar a eficiência no uso dos recursos naturais.

Assim, em termos de balanço de radiação, várias estratégias podem ser adotadas, incluindo: a seleção, para cada componente do sistema, de genótipos adequados (ideótipos) ao ambiente luminoso do local e período em que esse fará parte do sistema e à sua posição da comunidade vegetal; delimitamento de arranjos espaciais e seqüências temporais que viabilizem tirar maior proveito do ambiente luminoso local; adoção de práticas agrícolas tais como poda, com periodicidade e intensidade adequadas (CANNELL, 1983; GLOVER, 1990; MACDICKEN & MEHL, 1990; SANCHEZ *et al.*, 1990; KASS, 1993).

SEQUEIRA & GHOLZ (1991) salientam que a geometria do dossel pode ser significativamente manejada para otimizar o crescimento das árvores e a

disponibilidade de luz no extrato inferior. Maiores espaçamentos entre linhas favorecem o desenvolvimento horizontal da copa e espaçamentos mais reduzidos entre linhas favorecem, em geral, o desenvolvimento vertical da copa. Configurações intermediárias melhoram as condições de penetração de luz e de crescimento das árvores.

A sombra pode também ser manejada para controlar invasoras em cultivos em renque (VANDERMEER, 1989; JAMA *et al.*, 1991), bem como pode também ser manipulada com vistas à criação de animais (ovinos, caprinos, aves e abelhas) (TAJUDDIN, 1986).

É também possível lançar mão de práticas de manejo capazes de alterar o balanço de energia em SAFs, de modo a propiciar condições térmicas e hídricas adequadas ao bom desempenho dos componentes do sistema.

Nesse enfoque, algumas das opções são o uso adequado de quebra-ventos (STINGTER, 1988; GUYOT, 1989), de "*mulch*" (STIGTER, 1984b); de espaçamentos e orientação de linhas de plantio de modo a contribuir à melhoria do balanço de energia para as culturas envolvidas. RAO (1992) cita que a incorporação dos pedaços cortados da leucena diminui a temperatura do solo.

Em situações onde o risco de incêndio é considerável, como vem recentemente ocorrendo na Amazônia oriental (UHL & KAUFFMAN, 1990), é também oportuno procurar estratégias de manipulação microclimática, visando reduzir esse risco.

Vários levantamentos de práticas de manipulação do microclima ao nível de estabelecimentos rurais vêm sendo realizados em diferentes partes do mundo, em especial em áreas tropicais, como é o caso dos trabalhos relatados em KARING *et al.* (1992), STIGTER (1984, 1988, 1992) e STIGTER & BALDY (1993), onde vários tipos de combinações agroflorestais são descritos.

VEIGA & SERRÃO (1990), em levantamento realizado na Amazônia brasileira, encontraram diversos exemplos de combinações silvipastoris usadas como estratégias de manipulação do microclima, em especial para fornecer sombra para animais, destacando-se plantios de coqueiros, cajueiros e urucuzeiros em pastos.

Recentemente SÁ *et al.* (1994), levantando práticas de manipulação micrometeorológica em microrregiões do Estado do Pará, Brasil, encontraram vários exemplos de práticas agroflorestais de manipulação do microclima, entre as quais sombreamentos de culturas como citros, cupuaçu, cacau e guaraná com espécies florestais e coqueiros e quebra-ventos de espécies florestais em cultivos de milho, cupuaçu, açaí e pimenta-do-reino.

Levantamentos dessa natureza são oportunos, por um lado, para detectar limitações do ambiente físico que necessitam ser atenuadas ou superadas e, por outro lado, informar sobre as opções locais disponíveis e aceitas pelos produtores como potenciais componentes de SAFs.

Um grande desafio quanto à manipulação de condições microclimáticas a ser enfrentado no desenho de SAFs, diz respeito à busca de modelos que evoluam em espaço e tempo à semelhança da sucessão natural em florestas (BAZZAZ, 1979; HART, 1980; BUDOWSKI, 1981; OLDEMAN, 1983), incluindo e manipulando, para tal, ao longo do tempo, espécies vegetais que representem diferentes estágios da sucessão, em suas áreas de origem (BUDOWSKI, 1965; AUGSPURGER, 1984; WHITMORE, 1992), procurando garantir a elas condições ambientais (em especial luz e disponibilidade hídrica) adequadas ao seu desenvolvimento (PICKETT, 1983; BROKAW, 1987; POPMA *et al.*, 1988; CANHAM, 1988).

5. USO DE TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO MICROMETEOROLÓGICA E BIOFÍSICA VISANDO O PLANEJAMENTO E MANEJO DE SAFS

Na busca de uma base ecológica ao planejamento e manejo de SAFs, várias técnicas de monitoramento e análise de variáveis ligadas ao meio físico e aos componentes dos SAFs vêm sendo usadas.

Assim, por exemplo, na identificação de genótipos dos diferentes componentes, com características de tolerância aos níveis de oferta de recursos como luz e água, característicos de diferentes fases da evolução cronológica de um SAF, vêm sendo realizadas avaliações do desempenho desses genótipos, submetidos a faixas de oferta compatíveis com as observadas no SAF de interesse. Para ilustrar essa situação, a Figura 13 mostra o efeito de níveis de radiação solar sobre a produção de biomassa em genótipos de espécies forrageiras, testadas para uso em sistemas agrossilvipastoris (TOLEDO & TORRES, 1991).

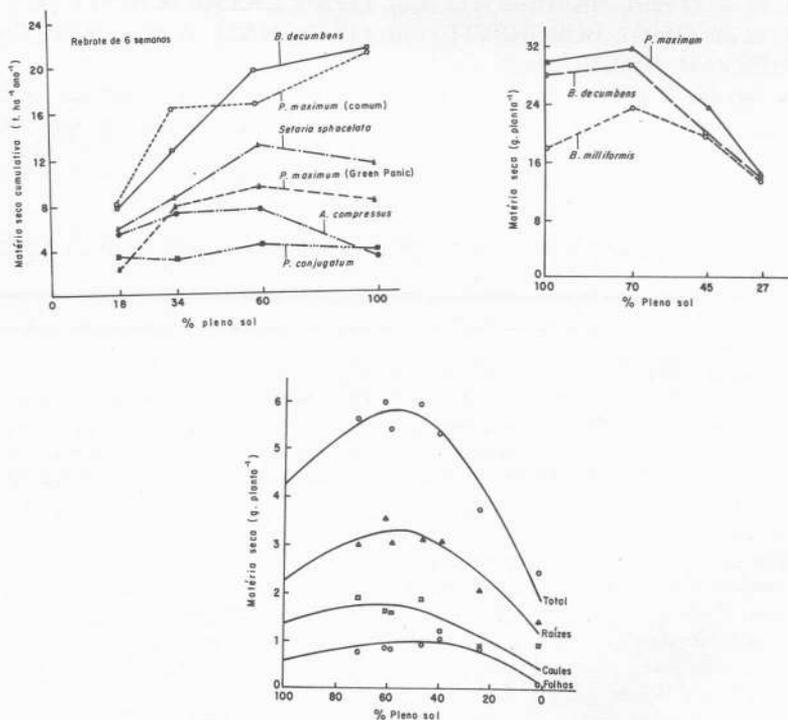


Figura 13. Efeito de níveis de sombreamento em genótipos de plantas forrageiras: (a) seis gramíneas tropicais sob diferentes níveis de sombra e desfolhadas a cada seis semanas, em relação à matéria seca; (b) matéria seca anual de três gramíneas; e (c) produção de biomassa de *Andropogon gayanus* (TOLEDO & TORRES, 1991)

Os trabalhos citados no tópico anterior, abordando aspectos micrometeorológicos associados a SAFs, em sua maioria, dizem respeito a estudos voltados a apenas um pequeno número de variáveis do meio físico e sua relação ao compartmentamento produtivo de componentes desses sistemas.

Para a compreensão de processos biofísicos que têm lugar no complexo ambiente dos SAFs, de modo a fornecer subsídios ao adequado manejo de seus componentes, é necessária a avaliação, não apenas de variáveis micrometeorológicas mas, também, de atributos estruturais dos componentes, de variáveis ecofisiológicas e do estado hídrico do solo. Dada a natureza heterogênea e dinâmica desses sistemas, é particularmente difícil a realização de estudos dessa natureza, mesmo com os progressos recentes quanto a sensores e a sistemas de aquisição de dados (COULSON & STIGTER, 1989)

Informações sobre métodos modernos de monitoramento de variáveis micrometeorológicas, ecofisiológicas e do estado hídrico do solo, compatíveis com a natureza da demanda de estudos em SAFs, podem ser encontradas, dentre outros, em: PEARCY *et al.* (1989); HASHIMOTO *et al.* (1990); LASSOI & HINCKLEY (1991); CALDER *et al.* (1992); BORGHETTI *et al.* (1993); HALL *et al.* (1993); VARLET-GRANCHER *et al.* (1993).

As tabelas 2 e 3 apresentam, respectivamente, uma resenha de métodos de medida/ estimativa de variáveis ligadas ao ambiente físico e às plantas, que podem ser usados em estudos com SAFs.

Tabela 2. Métodos de medida ou de estimativa de variáveis do ambiente físico.

Variável	Método
Balço hidrico:	
partição da água da chuva	malha pluviômetros/ colarinhos
evapotranspiração	lisímetros/ métodos micrometeorológicos/ métodos fisiológicos/ umidade do solo
umidade do solo	método gravimétrico/ tensiômetros/ psicrômetro/sonda de nêutrons/ blocos porosos/ reflectometria de domínio temporal (TDR)/ sensor de capacitância
Balço de radiação:	
radiação solar global	piranômetro
radiação direta	pireliômetro/ piranômetro com tira sombreadora
radiação difusa	piranômetro com tira sombreadora/ pireliômetro
radiação refletida (albedo)	piranômetro invertido/ albedômetro
radiação de ondas longas	pirgeômetro
saldo de radiação ou r. líquida	saldo-radiômetro ou radiômetro líquido
radiação fotossinteticamente ativa	quantômetro, ceptômetro/ piranômetro com filtros
distribuição espectral	radiômetro espectral
Temperatura:	termistores/ termopares/ teletermômetro no infra-vermelho
Umidade do ar:	psicrômetro (termistores, termopares)
Vento:	anemômetro (sônico/ de fio quente)
Perfis verticais:	torres/ mastros/ escadas

Tabela 3. Métodos de medida ou de estimativa de variáveis relacionadas às reações das plantas.

Variável	Método
Comportamento hídrico:	
potencial da água	bomba de pressão/ osmômetro
potencial osmótico:	osmômetro/ curva pressão vs. volume
condutância/ resistência estomática	porômetro
flutuação nas dimensões de caules	fitotensiômetro/ dendrômetro (LVDT)
fluxo de água (seiva)	pulso de calor/ fluxo de massas/ rastreamento de deutério
teor de água em folhas	teor relativo de água
Componentes relacionados à radiação:	
fotossíntese	sistema de medida da fotossíntese/ analisador de gás no infra-vermelho (IRGA)
clorofila (a, b)	laboratório (espectrofotômetro)
fluorescência	sensor de fluorescência
área foliar específica	relação área/peso
Componentes do balanço de calor:	
temperatura (folha)	termistor/ termopar
temperatura da superfície (dossel)	teletermômetro no infra-vermelho
condutância da camada limite	réplicas de folhas
Vento:	condutância da camada limite/ etileno
Sistema radicular:	
comprimento/ peso/ volume	perfis/ tradagem/ malha/ periscópio/ sistema de análise eletrônico/ método de Newman
Estrutura do dossel:	índice de área foliar/ ângulo foliar/ métodos diretos (planímetro/ relações alométricas/ medidor eletrônico/ métodos indiretos (método espectral)/intercessão de pontos/ liter-fenologia/ inversão (malha de sensores/ ceptômetro/ fotografia hemisférica/ sistema eletrônico de medida

São ainda poucos os exemplos de estudos envolvendo simultaneamente monitoramentos de variáveis micrometeorológicas, ecofisiológicas e hídricas do solo, em SAFs, podendo-se mencionar, nesse sentido, o estudo em andamento no ICRAF, no Quênia, em colaboração com o Institute of Hydrology do Reino Unido, que objetiva: desenvolver e aplicar técnicas de medida do uso de água por árvores e cultivos componentes de SAFs; avaliar os mecanismos pelos quais SAFs em terrenos declivosos podem melhorar o uso da água e, conseqüentemente, o rendimento; e desenvolver um modelo de balanço hídrico para SAFs em áreas declivosas, que possa fazer parte de um modelo de crescimento (JACKSON, 1994). A Figura 14 mostra a complexidade do balanço hídrico nessa situação de relevo.

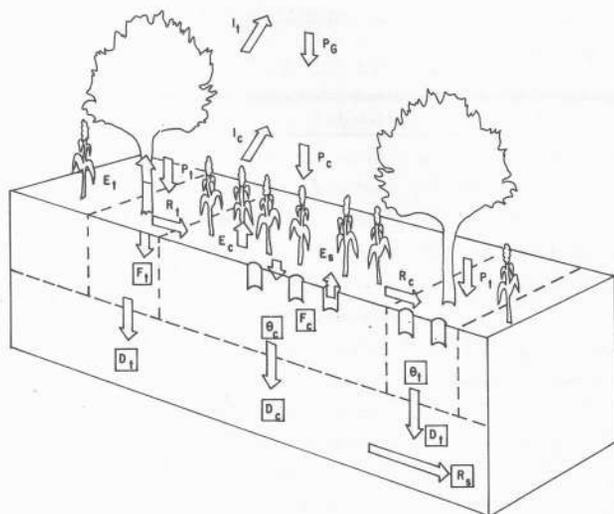


Figura 14. Complexidade do balanço hídrico de um SAF em terreno declivoso (JACKSON, 1994).

Ainda que, a complexidade e a natureza interdisciplinar da agrossilvicultura criem problemas ao desenvolvimento de modelos, limitando sua efetividade e rigor científico, o avanço na modelagem em outras atividades humanas vem abrindo caminho para que essa abordagem seja usada em estudos de ecologia de SAFs, como uma forma de, pelo menos, congregar informações existentes e identificar pontos que necessitam ser estudados. Uma revisão sobre modelagem ecológica de SAFs é apresentada em MUETZELFELDT & SINCLAIR (1993), enquanto que a apresentada em ANDERSON *et al.* (1993) é uma estratégia para modelagem e experimentação em agrossilvicultura, onde vários atributos a estudos ecológicos de SAFS são enfocados. STIGTER (1988) faz uma revisão de abordagens e modelos em micrometeorologia e sua aplicação.

6. CONHECIMENTO ATUAL SOBRE O IMPACTO DE SAFS SOBRE AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EM DIFERENTES ESCALAS

Vários estudos micrometeorológicos e ecológicos realizados na última década, procurando quantificar a relação entre a cobertura do solo na Amazônia brasileira e processos biofísicos, com vistas a obter dados, principalmente, para uso em Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs) (SHUTTLEWORTH *et al.*, 1984, 1991), têm permitido detectar diferenças na eficiência de processos de transferência aerodinâmica,

que acarretam substanciais diferenças no microclima de vegetações de pequeno porte, como pastagens, se comparadas à floresta original (WRIGHT *et al.*, 1992; SILVA *et al.*, 1992; BASTABLE *et al.*, 1993; ROBERTS & CABRAL, 1993; NEPSTAD *et al.*, 1994; CULF *et al.*, 1994).

Esses resultados vêm levando a apontar, como opção preferencial de uso para áreas onde a floresta foi removida, a implantação de combinações de plantas que imitem a vegetação perene anterior, tenham crescimento persistente, sejam densas mas com o dossel desuniforme, e que sejam manejadas com o mínimo uso de fogo (SHUTTLEWORTH & NOBRE, 1992). Tais características, sem dúvida, podem ser encontradas em inúmeras combinações agroflorestais.

Ainda que alguns esforços venham sendo direcionados para o monitoramento de variáveis biofísicas em SAFs na Amazônia, como é o caso de "capoeiras" em pousio no nordeste do Pará² (HÖLSCHER *et al.*, 1993; SÁ *et al.*, 1993), combinações com plantas perenes tropicais no Amazonas³ (LIEBEREI *et al.*, 1993) e diferentes combinações agrossilvipastoris, também no Amazonas⁴, esses estudos ainda são recentes e não apresentam o caráter pluridisciplinar dos realizados em áreas de florestas e pastagens, não permitindo, assim, aquilatar o padrão de comportamento desses SUTs em igual profundidade.

Assim, para que se possa avaliar com maior confiabilidade, via MCGs, o possível impacto no clima acarretado pelo aumento da área plantada com diferentes tipos de SAFs, é prioritário que monitoramentos biofísicos, como os já realizados em áreas de florestas e de pastagens, sejam realizados nesses SUTs, de modo a gerar dados a serem usados nesses modelos.

A partir dos resultados dos estudos já realizados, é possível ter uma idéia sobre algumas características microclimáticas desejáveis aos SAFs, de modo a torná-los biofísicamente semelhantes à floresta e, assim, equipararem-se a ela quanto a aspectos climáticos.

Uma vez que as principais características da vegetação determinantes do balanço de energia à superfície e das trocas de calor com a atmosfera são: albedo (refletividade da superfície à radiação solar), rugosidade aerodinâmica da vegetação (que determina a facilidade de troca de calor, gases e quantidade de movimento entre a vegetação e a atmosfera) e condutância superficial (que quantifica a facilidade do vapor d'água em se mover de dentro das folhas para a atmosfera) (ABRACOS, 1994), é possível procurar SAFs que exibam valores dessas variáveis, próximos aos verificados em florestas da Amazônia, conforme apresentado por SHUTTLEWORTH *et al.*, (1991), ROBERTS *et al.*, (1990), DOLMAN *et al.* (1991), ROBERTS & CABRAL (1993), e CULF (1994).

Também devem ser considerados, no mesmo enfoque, alguns aspectos relevantes ao balanço hidrológico desses sistemas, como a partição da água da chuva,

² EMBRAPA-CPATU/Projeto SHIFT (Studies on Human Impact on Forest and Floodplains in the Tropics), Acordo Brasil-Alemanha em Pesquisa e Tecnologia Ambiental.

³ EMBRAPA-CPAA/Projeto SHIFT

⁴ Convênio EMBRAPA-CPAA/NCSU/IICA-Brasil

que foi monitorada em áreas de florestas da Amazônia, dentre outros, por LLOYD & MARQUES (1988), e as características do sistema radicular das espécies componentes, que têm sido exaustivamente avaliadas em florestas primária e secundária em Paragominas, PA (NEPSTAD *et al.*, 1994).

A tabela 4 apresenta valores médios de algumas variáveis microclimáticas, obtidos em floresta primária da Amazônia.

Tabela 4. Valores médios de variáveis microclimáticas encontrados em floresta amazônica.

Variável	Valor médio	Fonte
Albedo	13,4%	Culf <i>et al.</i> (1994)
Rugosidade aerodinâmica	1,5 m	Roberts & Cabral (1993)
Condutância superficial	8,9mm s ⁻¹	Dolman <i>et al.</i> (1991)
Chuva interceptada pelo dossel	10-15%	Lloyd & Marques (1988)
Energia usada para evaporação	75%	Salati (1992)
Energia usada para aquecer o ar	25%	Salati (1992)
Energia atingindo o solo	1,2%	Salati (1992)

7. AGENDA PARA ATUAÇÕES INTERDISCIPLINARES E INTERINSTITUCIONAIS

Para que o avanço na adoção de técnicas de análise climática e ecológica propicie um aumento na sustentabilidade dos SAFs, é necessário aproveitar as diferentes oportunidades oferecidas em diversos níveis para, gradativamente, ir montando o intrincado quebra-cabeça que se constitui a compreensão dos mecanismos que têm lugar em SAFs, sob distintas condições ambientais.

Uma abordagem passível de ser usada nesse contexto é a da modelagem, que poderá ser encarada como uma peça central, determinando e coordenando estudos experimentais baseados em processos e, certamente, levando à compreensão de como funcionam os SAFs e, assim, fornecendo bases sólidas para a manipulação de seus componentes (ANDERSON *et al.*, 1993).

A seguinte estratégia poderia ser adotada para tornar viável uma iniciativa nesse sentido:

- Identificação de SAFs relevantes (em uso ou potenciais) a regiões de interesse, acompanhados da natureza de limitações do meio físico e socioeconômico encontradas nessa área. Para tal, podem ser consultados levantamentos ou diagnósticos disponíveis, ou poderão ser realizados levantamentos específicos para esse fim.;
- Levantamento de áreas onde são encontrados SAFs capazes de serem usados em monitoramentos para identificação de processos biofísicos atuantes nesses SUTs. Na Amazônia, recentemente, em função do processo de organização de produtores

e da popularidade dos SAFs, várias comunidades e grupos de agricultores vêm implantando SAFs de diversas naturezas, como é o caso dos em andamento em Ponta de Pedras, ilha do Marajó, Pará⁵, em Nova Califórnia na região de litígio entre Acre e Rondônia⁶ e a diversidade de sistemas encontrados em Tomé-Açu, Pará (SUBLER & UHL, 1990);

- (c) Identificação de redes de atividades /pesquisa em agrossilvicultura existentes na área ou em sua região de abrangência, de modo a poder avaliar, de um lado, o tipo de trabalho já realizado e, por outro lado, a viabilidade de implantação de estudos, em parceria, repetidos espacialmente, em cenários contrastantes. Nesse sentido, no Brasil a EMBRAPA detém uma rede de Centros de Pesquisa Agroflorestal, que se espalham por todas as unidades federativas da Amazônia e, a nível nacional, foi recentemente criada uma Secretaria Executiva de Pesquisas em Sistemas de Produção Florestais e Agroflorestais. Na África, o ICRAF orienta a formação de redes agroflorestais envolvendo diversos países. Na América Latina e Caribe o Escritório Regional da FAO possui uma Rede de Cooperação Técnica em SAFs.
- (d) Procura de projetos/atividades de instituições (isoladas e/ou em consórcios) atuantes em monitoramento ambiental, que realizem a avaliação de processos biofísicos em diferentes SUTs para tentar conciliar os interesses daqueles com o de monitorar SAFs. Na Amazônia brasileira, várias iniciativas nesse sentido estão em andamento, como é o caso dos Projetos SHIFT (DENICH & KANASHIRO, 1993) e ABRACOS (SHUTTLEWORTH *et al.*, 1991; ROBERTS & CABRAL, 1993) e diversas propostas nesse sentido estão em vias de se concretizarem, como é o caso do conjunto de projetos LAMBADA/BATERISTA/ AMBIACE (SELLERS *et al.*, 1993; WOFYSY *et al.*, 1994);
- (e) Busca de instituições ou programas de financiamento de pesquisas nessa linha. Nesse particular, pode ser mantido contato, por exemplo, com o Fundo de Recursos Naturais Renováveis (Renewable Natural Resources Research) da ODA (Overseas Development Administration, UK), que vem financiando pesquisas em SAFs (ANDERSON *et al.*, 1993; JACKSON, 1994);
- (f) Envolvimento, o maior possível, com programas de graduação e de pós-graduação de universidades que abriguem cursos que incluam temas relacionados à avaliação biofísica de SAFs de modo a, de um lado, garantir pessoal para a realização de campanhas intensivas de coleta de dados nos SAFs e, por outro lado, a médio prazo, formar grupos especializados em estudos dessa natureza;
- (g) Viabilização -através da contratação de consultorias ou do recebimento de pesquisadores em períodos de licença sabática- do intercâmbio com especialistas em tópicos relevantes a trabalhos dessa natureza, como é o caso de modelagem, instrumentação, micrometeorologia, ecofisiologia e física de solo.

⁵ Apoiados pelo Programa Pobreza e meio-ambiente na Amazônia (POEMA) da Universidade Federal do Pará

⁶ Projeto de Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado (RECA)

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRACOS- Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study. **Impactos climáticos dos desmatamentos na Amazônia**, Wallingford, 1994. 4p.
- ALLEN JUNIOR, L. H.; SINCLAIR, T. R. LEMON, E. R. Radiation and microclimate. Relationships in multiple cropping systems. In: PAPENDICK R. I.; SANCHEZ, R. A. & TRIPLETT, G.B.(eds.) **Multiple cropping**. Madison, ASA, 1976.p.171-200. (Spec. Publ.27)
- ALVIM, P. de T. Tecnologias apropriadas para a agricultura nos trópicos úmidos. **Agrotropica**, 1: 5-24, 1989a.
- ALVIM, R. O cacauceiro (*Theobroma cacao* L.) em sistemas agrossilviculturais. **Agrotropica**, 1: 89-103, 1989b.
- ANDERSON, L. S. SINCLAIR, F. L. Ecological interactions in agroforestry systems. **Agrofor. Abstr.**, 6: 57-91, 1993.
- ANDERSON, L. S.; MUETZELFELDT, R. I. SINCLAIR, F. L. An integrated research strategy for modelling and experimentation in agroforestry. **Commonw. For. Rev.**, 72: 166-174, 1993.
- AUGSPURGER, C. K. Light requirements of neotropical tree seedlings: a comparative study of growth and survival. **J. Ecol.**, 72:777-95, 1984.
- AVILA, M.; MINAE, S. Diagnosis and design: ICRAF develops a methodology for planning agroforestry research. **Agrofor. Today**, 3(3):9-11.
- BALDY, C.; STIGTER, C. J. **Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes**. INRA, Paris,1993. 246p.
- BASTABLE, H. G.; SHUTTLEWORTH, W. J.; DALLAROSA, R. L. G.; FISCH, G.; NOBRE, C. A. Observations of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed amazonian forest. **Int J. Climatol.**, 13: 783-796, 1993.
- BASTOS, T. X.; MARQUES, L. C. T.; SÁ, T. D. de A.; BRIENZA JÚNIOR, S. **Rainfall variability and its implication on agroforestry systems in the Brazilian Eastern Amazon: a case study of Santarém**, Apresentado na INTERNATIONAL MEETING ECOPHYSIOLOGY OF TROPICAL INTERCROPPING, Guadalupe, 1993. 12p.

- BAZZAZ, F. A. The physiology ecology of plant succession, *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **10**: 351-371, 1979.
- BERBIGIER, P. *Bioclimatologie des ruminants domestiques en zone tropicale*. Paris, INRA, 1988. 237p.
- BOOTH, T. H. A new method for assisting species selection. *Commonw. For.*, **64**: 241-250, 1985.
- BOOTH, T. H. A climatic analysis method for expert systems assisting tree species introduction. *Agrofor. Syst.*, **10**: 33-45, 1990.
- BORGHETTI, M.; GRACE, J.; RASCHI, A. *Water transport in plants under climatic stress*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1993. 300p.
- BRIENZA JÚNIOR, S.; SÁ, T. D. de A.. Árvores nativas para uso em sistemas agroflorestais na Amazônia. 1994. Apresentado no Congresso Brasileiro sobre Sistemas Agroflorestais. Porto Velho, julho de 1994. 14p.
- BROKAW, N. V. L. Gap-size regeneration of three pioneer tree species in a tropical forest. *J. Ecol.*, **75**: 9-19, 1987.
- BUDOWSKI, G. Distribution of tropical american rain forest in the light of successional processes. *Turrialba*, **15**: 40-42, 1965.
- BUDOWSKI, G. The place of agroforestry in maneging tropical forest. In: MEGEN, F. (ed.) **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TROPICAL FOREST UTILIZATION AND CONSERVATION**. New Haven, Yale Univ., 1981. p. 181-194.
- CALDER, I. R.; HALL, R. L.; ADLARD, P. G. *Growth and water use of forest plantations*. New York, John Wiley & Sons, 1992. 381p.
- CANHAM, C. D. Growth and canopy architecture of shade tolerant trees: response to canopy gaps. *Ecology*, **69**: 786-795, 1988.
- CANNELL, M. G. R. Plant management in agroforestry: manipulation of trees, population densities and mixtures of trees and herbaceous crops. In: HUXLEY, P. **Plant Research and Agroforestry**. ICRAF, Nairobi. 1983. p. 455-487.
- CONNOR, D. J. Plant stress factors and their influence on production of agroforestry plant association. In: HUXLEY, P. **Plant Research and Agroforestry**. ICRAF, Nairobi. p. 401-426.

- CONNOR, D. J.; SANDS, R. & STRANDGARD, M. Competition for water, light and nutrients in agroforestry associations of *Pinus radiata* and pasture. In: REIFSNYDER, W. S. & DARNHOFER, T. O. **Meteorology and Agroforestry**. ICRAF, Nairobi. 1989. p. 451-462.
- CORLETT, J. E.; ONG, C. K. & BLACK, C. R. Microclimatic modification in intercropping and alley-cropping system. In: REIFSNYDER, W. E. & DARNHOFER, T. O. **Meteorology and Agroforestry**. Nairobi, ICRAF, 1989. p.419-30.
- COULSON, C. L.; STIGTER, C. J. Appropriate instrumentation and the appropriateness of instrumentation for agroforestry and agricultural research in developing countries. In: REIFSNYDER, W. S. & DARNHOFER, T. O. **Meteorology and Agroforestry**. ICRAF, Nairobi. 1989. p.305-314.
- CULF, A. D.; FISCH, G.; HODNETT, M. G. The albedo of amazonian forest and ranchland. **J. Climate**, 1994 (no prelo)
- DARNHOFER, T. Shelterbelts. Some remarks on the microclimatic effects and design considerations of shelterbelts. In: AGROFORESTRY SYSTEMS FOR SMALL SCALE FARMERS. ICRAF/BAT, Nairobi. 1992. **Proceedings...**, Nairobi, 1982. p. 95-111
- DARNHOFER, T. O.; GATAMA, D.; HUXLEY, P.; AKUNDA, E. The rainfall distribution at a tree/crop interface. In: REIFSNYDER, W. E. & DARNHOFER, T. O. **Meteorology and Agroforestry**. Nairobi, ICRAF, 1989. p. 371-82.
- DENICH, M.; KANASHIRO, M. Secondary forests and fallow vegetation in the Eastern Amazon Region. Functions and management. In: WORKSHOP OF THE RESEARCH PROGRAM "STUDIES ON HUMAN IMPACT ON FOREST AND FLOODPLAINS IN TROPICS", Belém, 1993, **Proceedings...**, 1993. p. 145-151.
- DINIZ, T. D de A. S. Meteorology applied to agroforestry systems in the Brazilian Amazon region. In: REIFSNYDER, W. S. & DARNHOFER, T. O. **Meteorology and Agroforestry**. ICRAF, Nairobi, 1989. p. 245-55.
- DJIMDE, M.; TORRES, F.; MIGONGO-BAKE, W. Climate, animal and agroforestry. In: REIFSNYDER, W. S.; DARNHOFER, T. O. **Meteorology and Agroforestry**, ICRAF, NAIROBI, 1989. P. 463-70.
- DOLMAN, A. J.; GASH, J. H. C.; ROBERTS, J. M. & SHUTTLEWORTH, W. J. Stomatal and surface conductance of tropical rainforest. **Agric. For. Meteorol.**, 54: 303-318, 1991.

- EASTHAM, J.; ROSE, C. W.; CAMERON, D. M.; RANCE, S. J. & TALSMA, T. The effect of tree spacing on evaporation from an agroforestry experiment. *Agr. For. Meteorol.*, **42**: 35:5-68, 1988.
- FERNANDES, E. C. M.; SERRÃO, E. A. S. **Protótipo e modelos agrossilvipastoris sustentáveis**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE MEIO AMBIENTE, POBREZA E DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA- SINDAMAZÔNIA. 1992, Belém, PA. *Anais...Belém, PRODEPA*, 1992. p. 245-251.
- FÜSSEL, J. Adoption of agroclimograms for assisting species selection in the tropics. *Agrofor. Syst.*, **17**:87-96, 1992.
- GILLESPIE, A. R.; KNUDSON, D. M.; GEILFUS, F. The structure of four home gardens in the Petén, Guatemala. *Agrofor. Syst.*, **24**: 157-170, 1993.
- GLOVER, Improvement objectives for MPTs. In: GLOVER, N.; ADAMS, N. (eds.) **The improvement of multipurpose species**. Winrock Int. Inst. Agr. Dev., 1990. p.39-44.
- GOPINATHAN, R.; SREEDHARAN, C. Soil erosion as influenced by rainfall erosivity under different agroforestry systems. In: REIFSNYDER, W. S. & DARNHOFER, T. O. *Meteorology and Agroforestry*. ICRAF, Nairobi, 1989. p. 407-18.
- GRACE, J. *Plant response to wind*. London, Academic Press, 1977. 211p.
- GUYOT, G. Les effets aerodynamiques et microclimatiques des brise vent et des aménagements regionaux. In: REIFSNYDER, W. S.; DARNHOFER, T. O. *Meteorology and Agroforestry*. ICRAF. Nairobi, 1989. p.485-520.
- HALL, D. O.; SCURLOCK, J. M. O.; BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R.; LEEGOOD, R. C.; LONG, S. P. **Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual**. London, Chapman & Hall, 1993. 462p.
- HASHIMOTO, Y; KRAMER, P. J.; NONAMI, H.; STRAIN, B. R. **Measurement techniques in plant science**. London, Academic Press. 1990. 431p.
- HART, R. D. A natural ecosystem analog approach to the design of a successional crop system for tropical forest environments. *Biotropica*: **12**: 73-82, 1980.
- HÖLSCHER, D.; SÁ, T. D. de A.; MÖLLER, M. R. F.; DENICH, M. Water and element budget of slash and burn agriculture in eastern Amazon: methods and preliminary results. In: WORKSHOP OF THE RESEARCH PROGRAM "STUDIES ON HUMAN IMPACT ON FOREST AND FLOODPLAINS IN TROPICS". Belém, 1993, *Proceedings...*, 1993. p.

- HUXLEY, P. Phenology of tropical woody perennials and seasonal crop plants with reference to their management in agroforestry systems. In: HUXLEY, P. **Plant Research and Agroforestry**. ICRAF, Nairobi. 1983. p. 503-25.
- HUXLEY, P. A. The tree/crop interface or simplifying the biological environmental study of mixed cropping. **Agrofor. Syst.**, 3: 252-66. 1985.
- IMBACH, A. C.; FASSBENDER, H. W.; BEER, J.; BOREL, R.; BONNEMANN, A. Sistemas agroforestales de café, (*Coffea arabica*) con laurel (*Cordia alliodora*) y café, con poró (*Erythrina poeppigiana*) en Turrialba, Costa Rica. IV. Balances hídricos e ingreso con lluvias y lixiviación de elementos nutritivos. **Turrialba**, 39: 400-14, 1989.
- JACKSON, J. E. Light climate and crop-tree mixtures. In: HUXLEY, P. **Plant Research and Agroforestry**. ICRAF, Nairobi. 1983. p. 391-400.
- JACKSON, J. E. Tree and crop selection and management to optimize overall system productivity, especially light utilization, in agroforestry. In: REIFSNYDER, W. S. & DARNHOFER, T. O. **Meteorology and Agroforestry**. ICRAF, Nairobi, 1989. p. 163-73.
- JACKSON, J. E.; HAMER, P. J. C.; JACKSON, B. Water-balance and soil water relations studies in a mixed tree/grass/bare-soil system. REIFSNYDER, W. S. & DARNHOFER, T. O. **Meteorology and Agroforestry**. ICRAF, Nairobi. 1989. p.431-442.
- JACKSON, N. Agroforestry in Kenya. **Inst. Hydr. Overseas**, 7: 4-5, 1994.
- JAMA, B.; GETAHUN, A.; NGUGI, D. N. Shading effects of alley cropped *Leucaena leucocephala* on weed biomass and maize yield at Mtwapa, Coast Province, Kenya. **Agrofor. Syst.**, 13: 1-11, 1991.
- JENSEN, M. Productivity and nutrient cycling of a Javanese homegarden. **Agrofor. Syst.**, 24: 187-201, 1993.
- KANG, B. T.; VAN DERBELDT, R. Agroforestry systems for sustained crops production in the tropics with special reference to West Africa. In: MOORE, E. **Agroforestry land-use systems**. Waimando. NFTA/IITA, 1991. p. 13-33.
- KANG, B. T.; REYNOLDS, L.; ATTA-KRAH, A. N. Alley farming. **Adv. Agron.**, 43: 315-359, 1990.
- KARING, P. H.; STIGTER, C. J.; CHEN, W.; WILKEN, G. C. **Application of microclimate management and manipulation techniques in low external input agriculture**. Geneva, WMO, 1992. 192p. (WMO. CAgM Report, 43).

- KASS, D. C. L. Tree domestication for agroforestry: present status and future directions. *Agrofor. Syst.*, **23**: 195-205, 1993.
- KWESIGA, F. **Crops under tree cover**. Lecture Notes for AFRENA-SA. In: Zone Course, 1991. Arusha, Tanzania, 1991. 18p.
- LAL, R. Agroforestry system and soil surface management of a tropical alfisol: I: Soil moisture and crop yields. *Agrofor. Syst.*, **8**: 7-29, 1989.
- LASSOIE, J.; HINCKLEY, T. M. **Techniques and approaches in forest tree ecophysiology**. Boca Raton, CRC Press, 1991. 599p.
- LAWSON, T. L.; KANG, B. T. Yield of maize and cowpea in an alley cropping system in relation to available light. *Agric. For. Meteorol.*, **52**: 347-57, 1990.
- LIEBEREI, R.; GASPAROTTO, L.; PREISINGER, H.; FELDMANN, F.; IDCZAK, E. Recultivation of abandoned monoculture areas in Amazonia. In: WORKSHOP OF THE RESEARCH PROGRAM "STUDIES ON HUMAN IMPACT ON FOREST AND FLOODPLAINS IN TROPICS", Belém, 1993, *Proceedings...*, 1993. p. 123-132.
- LIYANAGE, M. de S. The hole of MPTs in coconut-based farming systems in Sri Lanka. *Agrofor. Today*, **5**: 7-9.
- LLOYD, C. R.; MARQUES FILHO, A. de O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agric. For. Meteorol.*, **42**: 63-73, 1988.
- LOEFFLER, A. E.; GORDON, A. M.; GILLESPIE, T. J. Optical porosity and windspeed reduction by coniferous windbreaks in Southern Ontario. *Agrofor. Syst.*, **17**: 119-33, 1992.
- LOVENSTEIN, H. M.; BERLINER, P. R.; VAN KEULEN, H. Runoff agroforestry in arid lands. *For. Ecol. Manag.*, **45**: 59-70, 1991.
- MACDICKENS, K. G.; MEHL, C. B. Farmer's perspective on improvement objectives for MPTs. In: GLOVER, N.; ADAMS, N. (eds.) **The improvement of multipurpose species**. Winrock Int. Inst. Agr. Dev., 1990. p. 45-53.
- MC ANENEY, J. J.; JUDD, M. J. Multiple windbreaks: an acolian ensemble. *Boundary-Layer Meteorol.*, **54**: 129-146, 1991.
- MC ARTHUR, A. J. Forestry and shelter for livestock. *For. Ecol. Manag.*, **45**: 93-107, 1991.

- MIGONGO-BAKE, E. **Agroforestry and animal production**. Nairobi, ICRAF. 1992. 29p.
- MONTEITH, J. L.; ONG, C. K.; CORLETT, J. E. Microclimatic interactions in agroforestry systems. **For. Ecol. Manag.**, 45: 31-44, 1991.
- MOSS, J. R. J. Measuring light interception and the efficiency of light utilization by the coconut palm (*Cocos nucifera*). **Expl. Agric.**, 28: 273-285, 1992.
- MUETZELFELDT, R. I.; SINCLAIR, F. L. Ecological modelling of agroforestry systems. **Agrofor. Abstr.**, 6: 207-247, 1993.
- NAIR, P. K. R. **Intensive multiple cropping with coconuts in India**. Principles. Programmes. Prospects. Verlag Paul Parey, Berlin. 1979. 147p.
- NEPSTAD, D. C.; UHL, C. Seedling in mature forest and old fields in eastern Amazonia: light, temperature, water and nutrients. **J. Appl. Ecol.**, 1990.
- NEPSTAD, D. C.; UHL, C.; SERRÃO, E. A. S. Recuperation of a degraded amazonian landscape: forest recovery and agricultural restoration. **Ambio**, 20: 248-255, 1991.
- NEPSTAD, D. C.; CARVALHO, C. R. de; DAVIDSON, E. A.; JIPP, P. H.; LEFEBVRE, P. A.; NEGREIROS, G. H.; SILVA, E. D. da; STONE, T. A.; TRUMBORE, S. E.; VIEIRA, S. The deep-soil link between water and carbon cycles of Amazonian Forests and pasture. **Nature**, 1994 (in press).
- NOBEL, P. S. Wind as an ecological factor. In: LANGE, O. L.; OSMOND, C. B.; ZIEGLER, H. **Physiological plant ecology**. I. Responses to the physical environment, Encyclopaedia of plant physiology. v.12A, Berlin, Springer-Verlag, 1981. p. 474-500.
- NYGREN, P.; JIMÉNEZ, J. M. Radiation regime and nitrogen supply in modelled alley cropping systems of *Erythrina poeppigiana* with sequential maize-bean cultivation. **Agrofor. Syst.**, 21: 271-285, 1993.
- OLDEMAN, R. A. A. The design of ecologically sound agroforests. In: REFSNYDER, W. S.; DARNHOFER, T. O. **Meteorology and Agroforestry**. ICRAF, Nairobi, 1989. p. 173-207.
- ONG, C. K.; RAO, M. R.; MATHUVA, M. Trees and crops: competition for resources above and below the ground. **Agrofor. Today**, 4: 4-5, 1992.
- ONG, C. K.; CORLETT, J. E.; SINGH, R. P.; BLACK, C. R. Above and below ground interactions in agroforestry systems. **For. Ecol. Manag.**, 45: 45-57, 1991.

- PALMER, J. W.; SNELGAR, W. P.; MANSON, P. J. Shade cast by shelterbelts around kiwifruit orchards: validation of a computer model. *Agric. For. Meteorol.*, **66**: 21-30, 1993.
- PEARCY, R. W.; EHLERINGER, J.; MOONEY, H. A.; RUNDEL, P. W. **Plant physiological ecology**: field methods and instrumentation. London, Chapman and Hall, 19989. 457p.
- PELTIER, R.; EYOG-MATIG, O. Les essais d'agroforesterie au Nord-Cameroun, *Rev. Bois Fôrets Trop.*, **217**: 3-31, 1988.
- PICKETT, S. T. A. Differential adaptation of tropical species to canopy gaps and its hole in community dynamics. *Trop. Ecol.*, **24**: 68-84, 1983.
- POPMA, J; BONGERS, F.; MARTÍNEZ-RAMOS, M.; VENEKLAAS, E. Pioneer species distribution in treefall gaps in Neotropical rain forest: a gap definition and its consequences. *J. Trop. Ecol.*, **4**: 77-88, 1988.
- PURI, S.; SINGH, S.; KHARA, A. Effect of windbreak on the yield of cotton crop in semiarid regions of Haryana. *Agrofor. Syst.*, **18**: 183-95. 1992.
- RAO, M. R. **Hedgerow intercropping and rotational agroforestry system**. In: ICRAF/DSO Training Course, ICRAF, Nairobi, 1992. 16p.
- REIFSNYDER, W. E. Control of solar radiation in agroforestry practice. In: REIFSNYDER, W. E. & DARNHOFER, T. O. **Meteorology and agroforestry**. ICRAF, Nairobi, 1989. p. 141-56.
- REIFSNYDER, W. S.; DARNHOFER, T. O. **Meteorology and Agroforestry**. ICRAF, Nairobi. 1989. 546p.
- RILEY, J. & SMYTH, S. A study of alley-cropping data from Northern Brazil. I. Distributional properties. *Agrofor. Syst.*, **22**: 241-258, 1993.
- ROBERTS, J. M.; CABRAL, O. M. R. ABRACOS: a comparison of climate, soil moisture and physiological properties of forests and pastures in the Amazon basin. *Commonw. For. Rev.*, **72**: 310-315, 1993.
- ROBERTS, J.; CABRAL, O. M. R.; AGUIAR, L. F. de Stomatal and boundary-layer conductances in an amazonian terra firme rain forest. *J. Appl. Ecol.*, **27**: 336-53, 1990.
- ROSENBERG, N. J; BLAD, B. L.; VERMA, S. B. **Microclimate, the biological environment**. John Wiley & Sons, New York, 1983, 356p.

- RUSSELL, G.; JARVIS, P. G.; MONTEITH, J. L. Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: RUSSELL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P. G. **Plant canopies: their growth, form and function**. Cambridge Univ. Press, New York, 1989. p. 22-39.
- SÁ, T. D. de A.; HÖLSCHER, D.; CARVALHO, C. J. R. de; GIAMBELLUCA, T. W.; BASTOS, T. X. **Micrometeorological and ecophysiological evaluation of secondary vegetation- a step to improve agroforestry systems in the Brazilian Eastern Amazon**. Apresentado na INTERNATIONAL MEETING ECOPHYSIOLOGY OF TROPICAL INTERCROPPING, Guadalupe, 1993. 14p.
- SÁ, T. D. de A.; MATTOS, M.M.; BASTOS, T. X.; BRIENZA JÚNIOR, S.; PACHECO, N. A. Microclimate manipulation in traditional land use systems in the Brazilian eastern Amazon: present state and potential needs. In: INTERNATIONAL MEETING ECOPHYSIOLOGY OF TROPICAL INTERCROPPING, Guadalupe, 1993. **Proceedings...** 1994. (no prelo).
- SALATI, E. Possible climatological impacts. In: T. E. DOWNING, S. B. HECHT, H. A. PEARSON; C. GARCIA-DOWNING (eds.), **Development or destruction: the conversion of tropical forest to pasture in Latin America**. Oxford, Westview Press. p. 173-189. 1992.
- SANCHEZ, G.; KASS, D.; BOREL, R.; BONNEMANN, A.; BEER, J. Shade trees in plantation culture. In: MOORE, E. **Agroforestry land-use systems**. NFTA/IITA, Waimando. p.75-83, 1990.
- SELLERS, P. J.; NOBRE, C. A.; FITZJARRALD, D. J.; TRY, P. D.; LUCID, D. T. **A preliminary science plan for a large-scale biosphere-atmosphere field experiment in the Amazon basin**: Report from an International Workshop sponsored by WCRP and IGP held at NASA/GSFC. Greenbelt, Maryland, June, 1992. Washington, D.C.: IGPO/ISLSCP, 1993.
- SEQUEIRA, W.; GHOLZ, H. L. Canopy structure, light penetration and tree growth in a slash pine (*Pinus elliottii*) silvo-pastoral system at different stand configurations in Florida. *For. Chronic.*, 67: 263-7, 1991
- SERRÃO, E. A. S.; HOMMA, A. K. O. Country profile: Brazil. In: NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics. **Sustainable agriculture and environment in the humid tropics**. Washington, National Academy Press. p. 265-351, 1993.
- SHUTTLEWORTH, W. J.; NOBRE, C. A. Wise forest management and climate change. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 7, São Paulo, 1992, **Anais...**, v.1, São Paulo, 1992. p. 287-92.

- SHUTTLEWORTH, W. J.; GASH, J.; ROBERTS, J. M.; NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B.; RIBEIRO, M. de N. G. Post-deforestation Amazon climate: Anglo-Brazilian research to improve prediction. *J. Hydrol.*, 129: 71-85. 1991.
- SHUTTLEWORTH, W. J.; GASH, J.; H. C.; LLOYD, C. R.; MOORE, A. J.; ROBERTS, J. M.; MARQUES FILHO, A. de O.; FISCH, G.; SILVA FILHO, V. de P.; RIBEIRO, M. de N. G.; MOLION, L. C. B.; S†, L. D. de A.; NOBRE, C. A.; CABRAL, O. M. R.; PATEL, S. R.; MORAES, J. C. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 110: 1163-9, 1984.
- SILVA, L. P. da; HODNETT, M. G.; ROCHA, H. R.; SENNA, R. C. A comparison of dry season soil water depletion beneath central amazonian pasture and rainforest. *CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA*, 7, São Paulo. 1992, *Anais...*, v.1, São Paulo, 1992. p. 308-13.
- SINGH, R. P.; ONG, C. K.; SAHARAN, N. Above and below ground interactions in alley-cropping in semi-arid India. *Agrofor. Syst.*, 9: 259-74, 1989.
- SMITH, H. Light quality, photoperception, and plant strategy. *Ann. Plant Physiol.*, 33: 481-518.1982.
- SMITH, N. J. H. **Agroforestry trajectories among smallholders in the Brazilian Amazon: innovation and resiliency in pioneer and old settled areas.** 1994. 30p. (Apresentado na "Annual Meeting of the Association of American Geographers, San Francisco, CA, 30 de março de 1994).
- SMITH, N. J. H.; SERRÃO, E. A. S.; ALVIM, P. de T.; FALESI, I. C. **Amazonia: resiliency and dynamism of the land and its people.** Tokyo: United Nations University Press, 1994a. (no prelo)
- SMITH, N.; J. H.; SERRÃO, E. A. S.; FALESI, I. C.; ALVIM, P. de T. **Agroforestry developments and potential in the Brazilian Amazon.** Washington, World Bank, 1994b (no prelo).
- STIGTER, C. J. Traditional use of shade: a method of microclimate manipulation. *Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. B*, 34: 203-10, 1984 a.
- STIGTER, C. J. Mulching as a traditional method of climate management. *Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. B*, 35: 147-54, 1984 b.
- STIGTER, C. J. Microclimate management and manipulation in agroforestry. In: WIERSUM, K. L. (Ed.) **Viewpoints in agroforestry.** 1988. 21p.

- STIGTER, C. J. **Micrometeorology and its applications: approaches and modelling.** In: WORKSHOP ON THE APPLICABILITY OF ENVIRONMENTAL PHYSICS AND METEOROLOGY IN AFRICA. Nairobi, ISAPAM, 1991. 17p.
- STIGTER, C. J. Management and manipulation of microclimate. In: GRIFFITHS, J. F. (ed.), **Handbook of agricultural meteorology**, Oxford, Oxford University Press, 1993.
- STIGTER, C. J. Research on microclimate management and manipulation in multiple cropping: its contribution to agricultural production meteorology in tropical climates. In: NATIONAL SEMINAR ON AGRICULTURAL PRODUCTION AND PROTECTION METEOROLOGY, Centre of Advanced Studies in Agricultural Meteorology (CASAM), Mahatma Phule Agricultural University (MPAU), Rahuri and Pune, India. 1992. 10p.
- STIGTER, C. J.; BALDY, C. M. Manipulation of the microclimate by intercropping: making the best of services rendered. In: INTERNATIONAL MEETING ECOPHYSIOLOGY OF TROPICAL INTERCROPPING, Guadalupe, 1993. **Proceedings...** (no prelo).
- SUBLER, S.; UHL, C. Japanese agroforestry in Amazonia: a case study in Tomé-Açu, Brazil. In: ANDERSON, A. B.(ed.) **Alternatives to deforestation: steps toward sustainable use of the Amazon rain forest.** New York, Columbia University Press, 1990. p. 152-166.
- SZOTT, L. T.; PALM, C. A.; SANCHEZ, P. A. Agroforestry in acid soils of the humid tropics. **Advan. Agron.**, **45**: 275-301, 1991.
- TAJUDDIN, I. Integration of animals in rubber plantations. **Agrofor. Syst.**, **1**, 1986.
- TEKLEHAIMANOT, Z.; JARVIS, P. G. Modelling of rainfall interception loss in agroforestry systems. **Agrofor. Syst.**, **14**: 65-80, 1991.
- TOLEDO, J. M.; TORRES, F. Potential of systems in the rain forest. In: MOORE, E. **Agroforestry land-use system.** NFTA/IITA. Waimando, 1991.p. 35-52.
- TOMAR, V. P. S.; NARAIN, P.; DADHWAL, K. S. Effect of perennial mulches on moisture conservation and soil-building properties through agroforestry. **Agrofor. Syst.**, **19**: 241-252, 1992.
- TORQUEBIAU, E. **Introduction to the concepts of agroforestry.** Nairobi, ICRAF, 1990. 60p.
- TORQUEBIAU, E. **Ecological evaluation of agroforestry.** ICRAF, Nairobi. 1991. 30p.

- TORQUEBIAU, E. Are tropical agroforestry home gardens sustainable? *Agric. Ecosyst. Environ.*: 1-19, 1992.
- UHL, C. R.; NEPSTAD, D.; BUSCHBACHER, R. J.; CLARK, K.; KAUFFMAN, B. & SUBER, S. Studies of ecosystem response to natural and anthropogenic disturbances provide guidelines for designing sustainable land-use systems in Amazonia. In: ANDERSON, A. B. **Alternatives to deforestation**. Steps toward sustainable use of the Amazon rain forest. New York, Columbia Univ., 1990, p.24-42.
- VANDERMEER, J. **The ecology of intercropping**. New York, Cambridge Univ., 1989. 237p.
- VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R. & SINOQUET, H. **Crop structure and light microclimat**: characterization and applications. Paris, INRA Edit., 1993. 518p.
- VEIGA, J. B. da; SERRÃO, E. A. S. Sistemas silvopastoris e produção animal nos trópicos úmidos: a experiência da Amazônia brasileira. In: SBZ. **Pastagens**, Piracicaba, 1990. p. 37-68.
- VERGARA, N. T. Agroforestry: a sustainable land use for fragile ecosystems in the humid tropics. In: GHOLZ, H. L. **Agroforestry: realities, possibilities and potentials**. Boston, Martinus Nijhoff, 1987. 7-19.
- WEIDELT, H-J. Agroforestry systems in the tropics- recent developments and results of research. *Appl. Geogr. Devel.*, 41: p. 39-50, 1993.
- WHITMORE, T. C. **An introduction to tropical rain forests**, Oxford, Clarendon Press, 226p., 1992.
- WOFSY, S.; HARRISS, R.; SKOLE, D. **Amazon ecology and atmospheric chemistry experiment (AMBIACE)** (draft), Piracicaba, SP, 1994, 17p.
- WOJTKOWSKI, P. A. Toward an understanding of tropical home gardens. *Agrofor. Syst.*, 24:215-222, 1993.
- WRIGHT, I. R.; GASH, J. H. C.; ROCHA, H. R. da; SHUTTLEWORTH, W. J.; NOBRE, C. A.; MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. G. P.; CARVALHO, P. R. A. Dry season micrometeorology of central Amazonian ranchland. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 118: 1083-99, 1992.
- YOUNG, A. The environmental basis of agroforestry. In: REIFSNYDER, W. E.; DARNHOFER, T. O. **Meteorology and agroforestry**. ICRAF, Nairobi, 1989. p. 29-48.