

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Hortaliças  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

**Mudanças Climáticas Globais e a  
Produção de Hortaliças**

Ítalo Moraes Rocha Guedes  
**Editor Técnico**

Brasília, DF  
2009

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Hortaliças  
BR 060, Rodovia Brasília-Anápolis, Km 09  
Caixa Postal 218, 70359-970, Brasília, DF  
Fone: (61) 3385-9009  
Fax: (61) 3556-5744  
sac@cnpnph.embrapa.br  
www.cnpnph.embrapa.br

Comitê de Publicações da Embrapa Hortaliças  
Presidente: Warley Marcos Nascimento  
Editora-Técnica: Mirtes Freitas Lima  
Membros: Jadir Borges Pinheiro, Miguel Michereff Filho, Milza Moreira Lana,  
Ronessa Bartolomeu de Souza

Normalização bibliográfica  
Rosane Mendes Parmagnani

1ª edição  
1ª impressão (2009): 500 exemplares

Todos os direitos reservados.  
A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em  
parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Embrapa Hortaliças**

Guedes, Ítalo Moraes Rocha

Mudanças climáticas globais e a produção de hortaliças / Ítalo  
Moraes Rocha Guedes, editor técnico. – Brasília : Embrapa Hortaliças,  
2009.

132 p.

ISBN 978-85-86413-17-9

1. Hortaliça – Produção – Clima. I. Título.

CDD 635.0469  
©Embrapa, 2009

### Comissão Organizadora do Evento:

Carla Timm  
Celso Luiz Moretti  
Jairo Vidal Vieira  
Warley Marcos Nascimento  
*Coordenador:*  
Ítalo Moraes Rocha Guedes

### Realização:

Embrapa Hortaliças

**Patrocinadora do Workshop “Efeitos das Mudanças  
Climáticas na Produção de Hortaliças”,  
realizado em 20 de novembro de 2009:**

Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal – FAPDF

impact of anthropogenic land cover change on the Florida peninsula sea breezes and warm season sensible weather. *Monthly Weather Review*, Boston, v. 132, p. 28-52, 2004.

MARTINEZ, C. J.; BAIGORRIA, G. A.; JONES, J. W. Use of indices of climate variability to predict corn yields in the Southeast USA. *International Journal of Climatology*, Chichester, 2008.

MEEHL G. A.; STOCKER, T. F.(Coord.). Global climate projections. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). *Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 747-845.

PIELKE R, A.; WALKO, R. L.; STEYAERT, L.; VIDALE, P. L.; LISTON, G. E.; LYONS, W. A. The influence of anthropogenic landscape changes on weather in south Florida. *Monthly Weather Review*, Boston, v. 127, p. 1663-1673, 1999.

PRASAD, P. V. V.; BOOTE, K. J.; ALLEN JUNIOR, L. H.; THOMAS, J. M. G. Supra-optimal temperatures are detrimental to peanut (*Arachis hypogaea* L) reproductive processes and yield at ambient and elevated carbon dioxide. *Global Change Biology*, Oxford, v. 9, p. 1775-1787, 2003.

**Agroclimate:** a service of the southeast climate consortium: agroclimate provides important. Disponível em: <[http://agroclimate.org/climate\\_change/](http://agroclimate.org/climate_change/)>.

THOMAS, J. M. G.; BOOTE, K. J.; ALLEN JUNIOR, L. H.; GALLO-MEAGHER, M.; DAVIS, J. M. Elevated temperature and carbon dioxide effects on soybean seed composition and transcript abundance. *Crop Science*, Madison, v. 43, p. 1548-1557, 2003.

WIGLEY, T. M. L. The climate change commitment. *Science*, London, v. 307, p. 1766-1769, 2003.

WINSBERG, B.; ZIERDEN, D.; O'BRIEN, J. *Florida weather*. University Press of Florida, 2003. 192 p.

## Medidas para mitigar os efeitos das mudanças climáticas na produção de hortaliças

Adonai Gimenez Calbo<sup>1</sup>, Sílvia Calbo Aroca<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Instrumentação Agropecuária, <sup>2</sup> Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo

### Introdução

O efeito esperado das atuais concentrações de gases de efeito estufa é um gradual aumento na temperatura da superfície da Terra de cerca de 2°C acima da linha de base pré-industrial, durante os próximos anos. Este aumento de temperatura deverá ocorrer mesmo no improvável evento de que as queimadas de florestas e toda a queima de combustíveis fósseis cessassem imediatamente. Assim, climas com temperaturas elevadas deverão prevalecer por longo tempo dado que a vida média do CO<sub>2</sub> na atmosfera atual é estimada em mais de mil anos.

A horticultura é influenciada de maneira muito desigual por este aquecimento nas diferentes regiões ao redor do globo. Assim, em cada região haverá necessidade de procedimentos de aclimação específicos, que poderão envolver a introdução de novas espécies e variedades, que possam atender aos consumidores. Adicionalmente, mesmo nas áreas que serão menos afetadas, ainda assim é provável que se tenha de conviver com temperaturas noturnas mais elevadas e com reduções da produtividade vegetal induzidas pelo maior poder evaporativo do ar e pelo aumento de poluentes troposféricos.

No repositório de tecnologias e estratégias para manter a produtividade hortícola, o melhoramento vegetal e a escolha de novas espécies e cultivares parecem ser as soluções mais diretas e gerais, porém é importante considerar as alternativas de aproveitamento e de melhoria dos microclimas. Na abordagem de microclima há boas ferramentas hortícolas fundamentadas no balanço entre a energia de ondas curtas absorvida, e a irradiação líquida de ondas longas (calor), enquanto, ao mesmo tempo, se trabalham estratégias para favorecer a perda de condução, convecção e evaporação/condensação nas planta e na infra-estrutura de produção e de pós-colheita. Neste sentido,

as principais alternativas fitotécnicas de modulação da temperatura são os tratamentos que aumentam o albedo, ou refletividade, aqueles que elevam a emissividade de calor das superfícies, os que aumentam a convecção de calor, os que elevam a taxa de evaporação e aqueles que influem nas dimensões e na geometria dos objetos.

A modulação da temperatura no microclima deverá se tornar ainda mais importante no futuro para a produção, a manutenção do conforto térmico, a melhoria da economia energética, a manutenção da qualidade e para extensão da vida pós-colheita de frutas e hortaliças. Outros aspectos relativos à redução do consumo de combustíveis fósseis, aplicação de formas alternativas de energia e o aumento na sua eficiência de uso são tratados de maneira indicativa, apontando que são estas as questões essenciais que estão arrastando a humanidade rumo a um pesadelo provocado por mudanças climáticas do qual é difícil escapar.

### Balço de energia

A temperatura de um organismo precisa ser aproximadamente constante ao longo do tempo, já que não pode viver com uma temperatura que cresce indefinidamente e nem com uma que decresce abaixo de certo valor mínimo. A temperatura de um organismo se ajusta de acordo com as condições do ambiente até que a energia que entra seja igual à energia que sai. Tal idéia pode se expressa por:

$$M + Q_a = R + C + \lambda E + G + X \quad [\text{eq. 1}]$$

onde  $M$  é a taxa em que a energia metabólica é produzida,  $Q_a$  é a quantidade de energia radiante absorvida pela superfície do organismo,  $R$  é a radiação de ondas longas emitida pela superfície do organismo,  $C$  é a energia transferida por convecção,  $\lambda E$  é a energia trocada por evaporação de água ou condensação de umidade,  $G$  é a energia trocada por condução (contato direto do organismo com o meio) e  $X$  é a energia colocada ou retirada de armazenamento dentro do organismo.

Pode-se aproximar uma folha de uma planta no ar por uma área plana de pequena espessura que absorve e irradia radiação eletromagnética e que possui uma resistência específica ao transporte de vapor de água. O balanço de energia para folhas pode ser escrito de maneira mais simples do que o balanço de energia geral para organismos, pelo fato do metabolismo em plantas consumir pouca energia tornando-o desprezível no cálculo da

temperatura da folha. A energia trocada por condução numa folha ligada ao pecíolo também pode ser desprezada. Adicionalmente, para situações envolvendo um estado estacionário o termo  $X$  de armazenamento de energia também pode ser tomado como nulo.

A expressão do balanço de energia para folhas seria, portanto, resumido a:

$$Q_a = R + C + \lambda E \quad [\text{eq. 2}]$$

Nesta equação os termos são:

**Radiação (R):** A irradiação numa superfície qualquer que é dada por:

$$R = \epsilon \sigma [T_s + 273]^4 \quad [\text{eq. 3}]$$

Onde  $\sigma$  é constante de radiação de Stefan-Boltzmann [ $\sigma = 5,673 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ ],  $T_s$  é a temperatura em graus centígrados, e  $\epsilon$  é a emissividade da superfície. A emissividade de uma folha é próxima de 1, ou para ser mais exato é geralmente, 0,96 podendo atingir valores tão baixos quanto 0,92.

**Convecção (C):** A taxa de calor transferido por convecção entre a folha e o ar é proporcional à diferença de temperatura entre a superfície da folha e o fluido.

$$C = h_c [T_s - T_a] \quad [\text{eq. 4}]$$

Onde  $T_s$  é a temperatura na superfície da folha e  $T_a$  é a temperatura do ar e  $h_c$  é o coeficiente de convecção. O coeficiente de convecção ( $h_c$ ) é uma função complexa da velocidade de vento e característica da superfície pela qual o vento flui. A taxa de fluxo de calor por convecção é proporcional à velocidade do vento ( $V$ ) e inversamente proporcional às dimensões ( $D$ ) da folha. Portanto, podemos escrever:

$$h_c = k_1 (V^n / D^m) \quad [\text{eq. 5}]$$

Onde  $k_1$  é uma constante de proporcionalidade para o transporte de calor por convecção. A taxa na qual uma folha, considerada plana, troca calor com o ar é proporcional à raiz quadrada da velocidade do ar ( $V$ ), proporcional à diferença de temperatura entre a folha e o ar ( $T_s - T_a$ ) e é inversamente proporcional à raiz quadrada da espessura da folha ( $D$ ) na direção do fluxo de ar.

$$C = k_1 (V^{1/2} / D^{1/2}) [T_s - T_a] \quad [\text{eq. 6}]$$

**Evaporação ( $\lambda E$ ):** A perda de energia por evaporação ou transpiração resulta na perda de energia, de aproximadamente  $2,430 \times 10^6 \text{ J/ kg}$  a 30 graus Celsius, que corresponde ao calor latente de vaporização da água, uma quantidade que depende da temperatura na qual a água evapora. A taxa na qual a planta perde água por transpiração é proporcional à diferença entre a pressão de vapor da água dentro da planta e a do ar logo acima dela. A pressão de vapor de água da planta é função da temperatura no sítio de vaporização bem como da concentração de solutos e da tensão da água. Já, a pressão de vapor de água no ar é função da temperatura do ar e de sua umidade relativa ( $b$ ). Por simplicidade a pressão de vapor na folha será escrita como função somente de sua temperatura. Portanto, a taxa de calor transferido por transpiração é função da temperatura da folha, temperatura do ar e da umidade relativa. O calor necessário para converter água líquida em vapor, o calor latente de vaporização,  $\lambda(T_f)$ , é função da temperatura na superfície da folha. Este valor deve ser multiplicado pela quantidade de água que é perdida por unidade de área e tempo ( $E(T_f, T_a, b, r^{-1})$ ). Onde  $r$  indica a resistência imposta à taxa de vaporização de água pela superfície da planta.

$$\lambda E = \lambda(T_f)E(T_f, T_a, h, r^{-1}) \quad [\text{eq. 7}]$$

O termo multiplicando o calor latente de vaporização depende da resistência interna da folha ( $r_i$ ) ao fluxo de vapor de água. Há também uma resistência sobre a superfície da folha  $r_a$  que depende da espessura de ar estagnado sobre ela. Seja  $d_f(T_f)$  a densidade de saturação de vapor de água nos volumes intercelulares da folha como função de sua temperatura. Seja  $d_a(T_a)$  a densidade de saturação do vapor de água no ar como função da temperatura. Portanto, se a umidade relativa do ar for  $b$ , a densidade de vapor de água do ar será  $b d_a(T_a)$ .

A taxa com que o vapor de água escapa da folha é dada, por:

$$E = \frac{d_f(T_f) - b d_a(T_a)}{r_i + r_a} \quad [\text{eq. 8}]$$

Onde  $E$  é expresso em [ $\text{kg}/(\text{m}^2 \text{ s})$ ], que é a quantidade de água perdida por unidade de área e tempo.

Considerando-se estes termos  $R$ ,  $C$  e  $\lambda E$  (eq. 3, 6, 7 e 8) o balanço total de energia na folha segundo Gates (1980) pode ser representada na forma:

$$Q_a = \epsilon \sigma (T_f + 273)^4 + \frac{k_1 V^{1/2}}{D^{1/2}} (T_f - T_a) + \lambda(T_f) \frac{d_f(T_f) - b d_a(T_a)}{r_i + r_a} \quad [\text{eq. 9}]$$

Esta equação (9) é um balanço sumarizado que representa como a temperatura da folha aumenta em função da quantidade de energia radiante absorvida ( $Q_a$ ). Na equação 9 além dos parâmetros já especificados,  $\epsilon$ ,  $k_1$ ,  $r_i$  e  $r_a$  também é importante a absorvidade ( $a_d$ ) da folha para a luz de ondas curtas (300 a 2500nm), parâmetro que representa a fração da energia solar incidente que é absorvida. Adicionalmente, há também um termo de absorvidade de ondas longas ( $a_l$ ), ou calor, que atinge a folha, em geral, proveniente da irradiação de calor pelo solo e pela atmosfera. A quantidade de energia radiante ( $Q_a$ ) absorvida pela folha a cada instante é dada por esta absorção de radiação de ondas curtas e de radiação de ondas longas. É também importante mencionar o albedo de banda larga (300 a 2500nm) ou refletividade que é numericamente igual a 1 menos a absorvidade para radiação de ondas curtas.

O balanço de energia da equação 9 além de servir para determinar a temperatura das folhas também pode ser utilizado como uma forma simplificada para estimar a temperatura de coberturas, pavimentos e outras superfícies. Como simplificação ainda maior, aplicável particularmente para coberturas e pavimentos é comum utilizar-se a denominação superfície fria quando o albedo é elevado  $\eta > 0,5$  e a emissividade também é elevada  $\epsilon > 0,9$ . No caso oposto se tem as superfícies quentes, como o são o asfalto negro e as superfícies metálicas ainda que polidas (Tabela 1). Estas superfícies quentes e frias são relevantes na propriedade agrícola, por que influenciam o conforto térmico e contribuem para determinar a temperatura das plantas no campo, em cultivo protegido e durante os procedimentos de pós-colheita.

Outro aspecto importante relativo à noção de albedo de banda larga, e não apenas o albedo para luz visível, é que apenas cerca de 40% da radiação solar que atinge o solo, com o sol no zênite é visível, complementam 3% de radiação ultravioleta (<300 nm) e cerca de 57% de radiação infravermelha (>700 nm), um tipo de radiação para o qual as plantas usualmente possuem elevada refletância (PEREIRA et al., 2002).

### Gases de efeito estufa e o aquecimento global

O balanço de energia da atmosfera na Terra certamente é muito mais complexo e envolve muito mais componentes que o balanço de energia que determina a temperatura de uma folha. Ainda assim este balanço de energia também envolve primariamente a absorção de radiação de ondas curtas

**Tabela 1:** Emissividade térmica e albedo de alguns materiais

Material	Albedo	Emissividade	Aquecimento (°C)	Observações
Asfalto de ruas e estradas	0,1 a 0,2	0,95	>30	Valores maiores são obtidos em estradas antigas, calcamento com suspensão aquosa de cimento aumenta substancialmente o albedo e causa redução da temperatura e da liberação de gases orgânicos tóxicos (VOCs).
Telhas	0,1 a 0,5	0,9	>20	Valores maiores de albedo e menores de temperatura são obtidos em telhas de cerâmica nova e clara.
Pintura branca	0,5 a 0,90	0,9	<3	Superfície fria cujo albedo depende dos pigmentos e da base. Tintas a base de PVA tem maior albedo, menor aquecimento, porém menor durabilidade do que as tintas a base de acrílico.
Pintura preta	0,2 a 0,15	0,9 a 0,97	>30	Superfícies quentes cujo albedo depende do pigmento, da base (e.g. PVA) e do estado de conservação.
Chapa ondulada	0,1 a 0,16	0,13 a 0,28	>50	Superfície quente, cujas propriedades dependem muito do estado de conservação.
Concreto	0,3 a 0,6	0,71 a 0,90	>10	Em geral são superfícies frias cujo albedo tende a diminuir ao longo do tempo.
Concreto com cimento portland branco	0,7 a 0,8	0,9	>3	Superfície fria que pode ser efetivamente utilizada para reduzir a temperatura de microclimas de controle.
Manta térmica de alumínio nova	0,7 a 0,9	0,06	>30	Dever ser usada como barreira a passagem de calor entre superfícies que assegurem limpeza e ausência de incidência de radiação solar direta. Não usar exposta ao sol.

\* Entre as 13 e 14 horas de dias claros.

\*\* Não se encontrou produtos com "infrared reflective pigmentation technology" no mercado brasileiro.

provenientes do Sol que é seguido de diversos tipos de transporte de energia, por irradiação, condução e convecção na atmosfera, no solo e nos oceanos, que fazem com que a entrada de energia no sistema em intervalos de tempo suficientes sejam equivalentes à quantidade de energia irradiada por e através da atmosfera para o espaço.

Se o planeta Terra não tivesse atmosfera a temperatura dependeria apenas da quantidade de ondas curtas absorvidas e a temperatura média da Terra poderia ser determinada por aplicação da equação 3, levando-se em consideração que o albedo da Terra é aproximadamente 0,3 e que a constante solar, radiação recebida do Sol no topo da atmosfera, é  $\sim 1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ . Calculada desta forma a temperatura média na superfície da Terra seria de gélidos  $-18,3^\circ \text{ C}$ , em comparação com os atuais  $14,4^\circ \text{ C}$ , uma temperatura muito mais confortável para os organismos vivos. Esta diferença de  $32,7^\circ \text{ C}$  corresponde ao efeito "manta ou cobertor térmico" provido pelos gases de efeito estufa na atmosfera.

Exceto por uma pequena quantidade de gás argônio (0,9%) os demais gases que compõem a atmosfera foram formados e tem seu volume controlado

por uma complexa mescla de atividades biológicas, a principal componente, e de atividades geológicas. Assim graças à vida na Terra desfrutamos hoje de uma atmosfera com pressão de  $760 \text{ mm}$  de Hg ao nível do mar. Mais de 99% desta pressão atmosférica é gerada pela ação de gases quase transparentes às radiações de ondas curtas do Sol e também quase transparentes ao calor. Estes gases dominantes são o argônio, já mencionado, com 0,9%, o  $\text{N}_2$  com 78,1% e o  $\text{O}_2$  com 20,9% do conteúdo seco do volume da atmosfera. Destes gases "transparentes" o argônio é um gás nobre e inerte, o  $\text{N}_2$  é um reservatório não tóxico e  $\text{O}_2$  é um subproduto da ação conjugada da fotossíntese e do aprisionamento geológico de matéria orgânica que gera uma molécula de  $\text{O}_2$  a cada duas moléculas de carboidrato aprisionadas. A concentração destes e de outros gases na atmosfera são estreitamente regulados por sofisticados sistemas da biogeoquímica (LOVELOCK, 2000, 2006).

Para o balanço de energia que determina a temperatura na Terra os gases presentes em menor quantidade é que são responsáveis pelo efeito estufa, enquanto que os gases mais abundantes são importantes geradores de pressão. Tirando-se a água cuja pressão de vapor e formação de gotículas nas nuvens é função da temperatura os demais gases de efeito estufa importantes estão listados na tabela 2, e suas concentrações não são medidas em porcentagem, já que são pouco abundantes, e sim em partes por milhão ou partes por bilhão, em termos do volume total na pressão em que se faz a medição.

Na tabela 2, verifica-se que os gases de efeito estufa mais importantes são o  $\text{CO}_2$ , o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o ozônio ( $\text{O}_3$ ). O aumento global de temperatura devido ao nível de gases de efeito estufa de 2005, após se atingir o estado estacionário, corresponderia a um aquecimento global de  $2,36^\circ \text{ C}$  em relação ao período pré-industrial (FOSTER et al., 2007). Na atmosfera a água, desempenha também um importante papel de efeito estufa, no entanto a sua distribuição é bem menos homogênea, variando de cerca de 4% em volume em ar úmido sobre regiões equatoriais a praticamente zero, nas regiões polares e acima da troposfera. O papel da água no aquecimento global entra, por conseguinte, como um efeito de sensibilidade, tempo de resposta e amplificação, que é apreendido nos sofisticados modelos climatológicos de previsão da temperatura em função do aumento da concentração dos gases de efeito estufa.

Outro aspecto muito importante dos gases de efeito estufa é a sua vida média na atmosfera, este é um aspecto cuja descoberta envolveu tremendas dificuldades associadas ao desconhecimento dos efetivos padrões

**Tabela 2:** Forçantes radioativas e efeitos térmicos causados pelas variações de concentração dos principais gases de efeito estufa na atmosfera terrestre entre a era pré-industrial e o ano de 2005.

Componente	Concentração pré-industrial	Concentração 2005	Forçante (watts/m <sup>2</sup> )	ΔT** (°C)
CO <sub>2</sub>	278 ppmv	379 ppmv	1,66	1,328
CH <sub>4</sub>	0,715 ppmv	1,774 ppmv	0,48	0,384
O <sub>3</sub>	***	varia com altitude e longitude	0,32	0,256
N <sub>2</sub> O	0,270 ppmv	0,319 ppmv	0,16	0,128
CFC(11, 12 e 113)	40 pptv	868 pptv	0,18	0,144
Outros	-	-	0,17	0,136
Total	-	-	2,63	2,36

\* Dados baseados no relatório do IPCC (FOSTER et al., 2007)

\*\* o efeito térmico foi estimado multiplicando-se cada forçante pela sensibilidade de aproximadamente 0,8K/(W/m<sup>2</sup>).

\*\*\* A contribuição do vapor de água 36-72% do efeito estufa e do ozônio 3-7%, além dos efeitos ainda mais variáveis das partículas condensadas de água das nuvens não foram incluídas nesta tabela.

de circulação dos oceanos e as suas interações com os diferentes sistemas biológicos e com a atmosfera. Das estimativas da vida média dos principais gases de efeito estufa na tabela 3 verifica-se que estes períodos tendem a ser muito longos, na ordem de dezenas, centenas ou até de milhares de anos. Assim, para o CO<sub>2</sub>, o principal gás de efeito estufa, estima-se que sua vida média seja de mais de 1000 anos. Dados deste tipo significam que teremos de conviver com temperaturas 2° C acima das do período pré-industrial, por vários séculos, de acordo com as medições correntes destes gases compiladas pelo IPCC (FOSTER et al., 2007).

Outros gases de efeito estufa como o metano (CH<sub>4</sub>) e o ozônio (O<sub>3</sub>) possuem uma vida média muito mais curta que o CO<sub>2</sub> na atmosfera. Esta vida mais curta destes dois gases, que também desempenham papéis biológicos importantes, está associada a um controle cibernético com menor tempo de resposta (anos e meses, respectivamente). O ozônio, por exemplo, filtra a maior parte da radiação ultravioleta e protege os organismos dos efeitos nocivos desta componente da radiação solar. O efeito estufa deste gás ocorre principalmente na estratosfera, onde a absorção de radiação determina a elevada temperatura nesta camada da atmosfera. A maior temperatura e consequentemente a menor densidade dos gases na estratosfera possui uma grande importância para circulação das massas de ar troposféricas, funciona

**Tabela 3.** Vida média e aspectos hortícolas relevantes de alguns gases de efeito estufa.

Componente	Fórmula	Vida	Condicionantes	Modulação
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	>1000 anos	Temperaturas, intemperismo, correntes marinhas e sua acidez.	Biológica somada à queima de combustíveis fósseis.
Metano	CH <sub>4</sub>	12 anos	Produzido em ambientes anaeróbicos, é um gás 23 vezes mais efetivo que o CO <sub>2</sub> para absorver calor. A evolução de metano é um controle para o aumento da concentração atmosférica do O <sub>2</sub> .	O aquecimento global poderá vaporizar reservas de metano sob a Sibéria e o Alasca.
Ozônio	O <sub>3</sub>	≈1 mês	Gás importante para manter a temperatura da estratosfera e para filtrar a luz ultravioleta. Na troposfera é produzido em maiores quantidades em cidades que consomem grandes quantidades de combustíveis fósseis. A concentração varia com a altitude e a degradação é mais rápida em ambientes úmidos.	Na troposfera a produção de ozônio aumenta com o efeito ilha de calor e na estratosfera a degradação do ozônio é acelerada pelos CFCs e outros compostos.
Óxido nítrico	N <sub>2</sub> O	114 anos		
CFC		>45 anos	Depende do composto em particular.	Produtos de "sprays" e de gases para refrigeração

como um teto para a altura das principais nuvens. Assim, o papel do ozônio é muito importante no estabelecimento do clima, como tem demonstrado a freqüente preocupação dos climatologistas com o aumento no "buraco" na camada de ozônio.

Na lista da tabela 3 os únicos gases de efeito estufa produzidos industrialmente são os CFCs, que podem ter vida média de centenas de anos e uma ação prejudicial na estratosfera onde catalisam a degradação do O<sub>3</sub>. Atualmente, a produção de CFCs está, aparentemente, bem controlada de acordo com regulamentos internacionais vigentes.

### Temperaturas, microclimas e fisiologia vegetal

As mudanças climáticas estão ocorrendo como uma sucessão não homogênea de eventos diferenciados sobre a superfície da Terra. Em latitudes elevadas os aumentos de temperatura tem sido maiores, tipicamente na faixa de 1 a 4° C que já vem sendo causa de novas demandas por espécies e cultivares adaptados (FOSTER, 2007). Na maioria das regiões tropicais, por outro lado, os efeitos sobre a temperatura têm sido menores, porém consideráveis alterações nos padrões de distribuição de chuva e de evapotranspiração potencial tem sido observados na Austrália, Ásia, África e até no Brasil. O enfraquecimento das monções vem ocorrendo através da

Ásia e da África e está tornando as chuvas mais escassas e irregulares, a ponto de que as alterações de clima sejam apontadas como causa importante de recentes eventos de fome e desnutrição em vastas regiões como o Sahel, uma faixa com mais de 800 km de largura localizada abaixo do deserto do Saara (HENSON, 2008).

Um efeito adicional das mudanças climáticas tem sido a redução da temperatura diurna e o aumento das temperaturas noturnas causadas pelo aumento da prevalência de nuvens cirriformes, principalmente em regiões com elevado tráfego aéreo. Estas nuvens cirriformes denominadas de "contrails" representam uma sementeira de nuvens induzida pelo tráfego de aviões a jato a cerca de 1.0000 m de altitude. Este problema de noites quentes é adicionalmente agravado próximo a centros urbanos afetados pelo efeito de ilha de calor causados por pisos e pavimentos escurecidos e agravados pelos numerosos prédios altos, que além de reter massas quantidades de calor, ainda prejudicam a remoção do calor local pela ação dos ventos.

Entre as mudanças climáticas que deverão ter fortes efeitos crescentes nas próximas décadas estão: variações de temperatura ao longo das estações do ano; alterações regionais no padrão multianual de variações climáticas; redução na diferença entre as temperaturas diurnas e noturnas, caso a tendência para o aumento do uso de transporte aéreo não seja revertida; variações nos padrões de advecção global, regional e local; aumento no teor médio de umidade absoluta do ar; aumento do poder evaporativo médio do ar; chuvas mais intensas e menos frequentes, aumento na concentração de CO<sub>2</sub> e gases de efeito estufa; grande aumento dos níveis de ozônio troposférico, um gás que causa de 90% dos prejuízos da poluição sobre os vegetais (NARSTO, 2009), porque é extremamente tóxico para plantas e o homem. O ozônio causa prejuízos para as plantas em concentrações um pouco maior do que o nível médio deste gás na troposfera que é da ordem de 40ppbv (VORNE et al., 2002).

Ao se pensar em mudanças climáticas para horticultura é interessante estressar que cada planta responde basicamente ao microclima de sua imediata vizinhança o qual é fisiologicamente integrado em ciclos diários e estacionais ao longo do ano. Assim, um vale e uma cordilheira, mesmo quando fazem parte do mesmo clima representativo, ainda assim, tendem a constituir-se em micro climas distintos (GATES, 1980), de modo que em um deles a espécie produz bem e no outro é prejudicada, por exemplo, devido a temperaturas excessivas que podem induzir o florescimento precoce no verão, por exemplo, em alface (RADIN et al., 2004; SILVA et al., 1999).

As mudanças climáticas correntes apresentam diversos efeitos, não apenas sobre variáveis atmosféricas, mas também sobre as plantas. Isto ocorre porque a temperatura é um fator de energia vibracional fundamental, que de acordo com a equação de Arrhenius governa a taxa de todos os processos bioquímicos. Assim, a velocidade das reações bioquímicas é importante para o ajuste do crescimento das plantas e mais ainda sobre processos específicos relacionados com sua reprodução. Plantas anuais e perenes integram os efeitos de fotoperíodo e as flutuações estacionais da temperatura e utilizam estes sinais acumulados para a definição do momento do florescimento, do momento do pagamento dos frutos, do momento do amadurecimento e para antecipar a necessidade do repouso vegetativo que será necessário em estações secas ou durante invernos rigorosos (WENT, 1953). Adicionalmente, as temperaturas do dia e da noite tendem a ser um fator qualitativo para muitas espécies, como a batata e o tomateiro, que são plantas originadas de áreas continentais nas quais há substanciais diferenças entre a temperatura diurna e a temperatura noturna.

A fixação do CO<sub>2</sub> em carboidratos na fotossíntese é acelerada pela temperatura de uma maneira diferente do que é acelerada a conversão de carboidratos em CO<sub>2</sub> e água pela respiração. Estas diferentes respostas do metabolismo fotossintético e do metabolismo respiratório em função da temperatura somam-se a outras adaptações específicas para modular as respostas de cada planta ao ambiente prevalecente na região. Uma curva de adaptação de cada espécie à temperatura, tipicamente pode ser ilustrada como um gráfico em forma de sino tendo a temperatura na abscissa e a produtividade ou outra variável dependente na ordenada. Este tipo de curva é diferente para cada espécie e variedade de fruta ou hortaliça e é dependente das adaptações acumuladas durante a seleção natural e também durante os trabalhos de melhoramento vegetal, que são feitos para plantas de maior interesse econômico.

### Evapotranspiração, irrigação e o aquecimento global

O aquecimento global não tem causado aumento da evapotranspiração de acordo com leituras de tanque classe A (HENSON, 2008). Segundo Wild et al. (2007) isto vem ocorrendo porque a evapotranspiração depende mais da radiação solar incidente do que da temperatura média na superfície da Terra. Sabe-se também que a quantidade de água para saturar um volume de ar aumenta ~ 6% por grau Celsius de acordo com a equação de Tetens

(PEREIRA et al., 2002) e que, conseqüentemente, um aumento de temperatura de 2° C, presumidamente, aumenta em mais de 12% a quantidade de vapor de água contido na atmosfera terrestre. Estes dois efeitos compostos conduzem à preocupante constatação de que a constante de tempo para repor a água na atmosfera vem aumentando e em decorrência as previsões de mudanças climáticas atuais sugerem chuvas mais intensas e menos frequentes, o que é desfavorável para a produção agrícola em muitas regiões.

Evidentemente, mesmo com mudanças climáticas, ainda assim, poderá se continuar cultivando a grande variedade de hortaliças e frutas disponíveis, algumas das quais listadas na tabela 4, com certos ajustes regionais de acordo com as condições de ambiente requeridas para cada uma. Uma dificuldade adicional, contudo, é que os produtores, de certa forma, são demandados a produzir as espécies e cultivares, atualmente, mais consumidas e para isto, precisam buscar locais e tecnologias que possibilitem a produção, por exemplo, de alface e couve-flor ainda que as temperaturas locais sejam de certa forma inadequadas. Apesar desta tendência, para o cenário de rápidas mudanças climáticas, possivelmente deva-se dar mais ênfase às pesquisas com hortaliças e frutas tropicais e em particular àquelas que suportem melhor o déficit hídrico ainda que, possivelmente, por uma questão de produtividade vegetal não devam ser plantas xerófilas, como a cactácea pitaya-do-cerrado, conforme argumentação Prisco, (1986) sobre os problemas do aproveitamento comercial de plantas xerófilas.

**Tabela 4.** Hortaliças que requerem condições amenas de temperatura (temperadas) e outras que requerem temperaturas mais elevadas (tropicais) e suas diferentes tolerância/resistência a déficits hídricos.

Temperadas			Tropicais		
Baixa	Intermediária	Elevada	Baixa	Intermediária	Elevada
agrião	aspargo	alho	taioba	abóbora	batata-doce
alface	brócolis	beterraba		berinjela	mandioca
chicória	cenoura	cebolinha		feijão-de-vagem	pitaya-do-cerrado (cactácea)
	couve	cebola		jiló	
	pimentão	ervilha		melão	
	repolho	hortelã		melancia	
	tomate	sálvia		milho-verde	
				moranga	
				pepino	
				quiabo	

Diferentemente do clima global, no mesoclima e microclima efeitos de albedo, como aqueles que ocorrem nas ilhas de calor, causam substancial aumento do poder evaporativo do ar, que podem ser estimados com a equação Tétens (PEREIRA et al., 2002), e que dentre outras conseqüências importantes provocam o esgotamento mais rápido da água do solo. Para propriedades agrícolas localizadas em áreas urbanas, enquanto não são tomadas ações executivas para reduzir o efeito ilha de calor, resta ao agricultor utilizar tecnologias locais de melhoria do microclima. Adicionalmente, é preciso também utilizar bons sistemas de irrigação e de manejo de irrigação, que conjuguem os efeitos aditivos destas tecnologias para que a melhoria no microclima seja acompanhada de aumento na produtividade e na eficiência do uso da água.

Quanto aos procedimentos de manejo de irrigação alguns que tem sido utilizados com muito sucesso são o tensiômetro, o Irrigas e o tanque classe A (MAROUELLI et al., 1996; MAROUELLI; CALBO, 2009). Dentre os sistemas de irrigação em geral os mais eficientes são os que envolvem a aplicação localizada da água como ocorre com diversos dos sistemas de gotejamento atualmente disponíveis. No sentido de reduzir a temperatura local também merecem atenção as possibilidades de aumento de albedo o que pode ser obtido, por exemplo, fazendo-se uso do gotejamento subsuperficial, que além de reduzir a competição de plantas invasoras, ainda causa economia de água mediante a redução da temperatura local, por seu efeito de aumentar o albedo do solo (LEITÃO; OLIVEIRA, 2000). Quando o gotejamento é aplicado superficialmente a redução da temperatura causada pela evaporação da água é em parte balanceada pelo aumento da absorção de radiação solar na superfície escurecida pela umidade, que apresenta menor albedo.

Da argumentação contida nos parágrafos anteriores, segundo a qual a pressão de vapor aumenta em cerca de 6%/° C, e imaginando que em um dado dia a umidade média nas horas mais quentes é de 40%, então se pode calcular que a economia de água de irrigação é da ordem de 10%/° C. Quando a umidade relativa é maior a economia de água obtida pela redução de cada grau de temperatura é ainda maior, por exemplo, da ordem de 15%/° C quando a umidade relativa do ar que entra no microclima é de 60%. Evidentemente, este efeito se dá porque a temperatura das superfícies das folhas e do solo é menor na condição microclimática considerada. Veja-se que este é um efeito hortícola localizado que pode ser facilmente obtido alterando-se um pouco o albedo e a emissividade das superfícies com pintura e escolha adequada de materiais, de modo a influenciar o balanço de energia de áreas específicas de campo ou de cultivo protegido.

Os aspectos micrometeorológicos considerados nesta seção referem-se à economia de água em pequenas áreas e não válidos para áreas maiores, para as quais se deve utilizar métodos que sejam válidos em áreas homogêneas maiores, onde o balanço hídrico, um balanço de energia, pode ser obtido pelo método de Penman-Monteith (MAROUELLI et al., 1996; PEREIRA et al., 2002), uma formulação para ambientes nos quais o perfil de vento, o perfil do gradiente vertical de temperatura e o perfil do gradiente vertical de umidade são considerados homogêneos sobre a cultura.

Na tabela 5 procura-se resumir os efeitos potenciais, grosseiramente estimados, que algumas das tecnologias consideradas nesta seção teriam sobre o consumo de água de irrigação. Evidentemente, o assunto é por demais detalhado e seria pouco útil, neste momento, compilar dados particulares mais exatos da economia de água que se obteria, por exemplo, utilizando uma hortaliça xerófila, ou quanto poderiam ser diminuídos o consumo de água e a temperatura diurna com o uso de tratamentos adequados com tipos específicos de coberturas (“mulching”).

Mesmo nesta discussão sobre mudanças climáticas é importante uma palavra sobre a definição do momento da paralisação da irrigação, em dias antes da colheita. Com esta prática se melhora a capacidade de conservação das folhas, melhora-se a qualidade dos frutos em termos de teor de açúcares, teor de matéria seca e sanidade, ao mesmo tempo em que se economiza água. Assim, por exemplo, para a alface este intervalo deve ser de pelo menos um

dia antes em solos de textura grossa, dois dias para solos de textura média e 4 dias antes em solos de textura fina.

### Agricultura orgânica

Segundo Rockström et al., (2009) a humanidade já ultrapassou os limiares que começam a por em risco nossa vida confortável sobre a Terra. O primeiro limiar superado foi o de CO<sub>2</sub> na atmosfera, já que estamos com cerca de 387 ppmv, quando o limiar para causar um aumento de 2° C na temperatura da Terra sobre o nível pré-industrial seria de 350 ppmv. O segundo fator é mais difícil de interpretar, que consiste no perigo de termos ultrapassado em mais de dez vezes o limiar da taxa de extinção de espécies que está atualmente acima de 100 por milhão por ano, enquanto na era pré-industrial isto era da ordem de 1 por milhão por ano. Terceiro, também, superamos o limiar seguro quanto ao consumo de nitrogênio, pois estamos consumindo mais de 120 milhões de toneladas por ano, enquanto que o nível seguro para evitar efeitos como o observado no aumento da turbidez dos lagos e oceanos e para manter os níveis de óxido nítrico em níveis aceitáveis seria de 35 milhões de toneladas por ano. Sobre o nitrogênio é importante mencionar que a forma mais estável é o nitrato, que é muito reativo e tóxico. Assim, o N<sub>2</sub> é um grande reservatório de nitrogênio, um gás inerte importante na manutenção da pressão atmosférica e que é produzido graças a um grande dispêndio de energia realizado por microrganismos de ambiente anaeróbio.

Além das transgressões de limiares mencionadas, também estamos mal na questão do fósforo, cujo limiar é de aproximadamente 11 milhões de toneladas por ano e já estamos consumindo ao redor de 8,5 a 9,5 milhões de toneladas por ano. No caso do fósforo temos os agravantes de que suas reservas mais ricas estão estimadas para apenas mais 100 anos, além disso, os níveis excessivos de P nos oceanos causam diminuição da camada aeróbica (ROCKSTRÖM et al., 2009).

Para uso de água doce o limiar está estimado em 4000 km<sup>3</sup>/ano e o consumo atual está em 2600 km<sup>3</sup>/ano, porém já há problemas de insuficiência de água para agricultura e outras aplicações em todos os continentes. A humanidade também está bem próxima do limiar de uso da Terra, visto que atualmente 11,7% dos continentes já são utilizados, enquanto que o limiar de transgressão é estimado em ~ 15%.

Assim, é evidente que a agricultura agora mais do que antes é importante causa de mudanças climáticas tendo-se em vista o balanço médio negativo

Tabela 5. Alternativas para reduzir o consumo de água por unidade de área.

Alternativa	Economia	Limitações técnicas
Aspersão/turno de rega	0%	Superadas
Aspersão/tanque classe A	30%	Superadas
Aspersão/tensiometria	40%	Superadas em grande parte
Gotejamento/turno de rega	50%	Superadas
Gotejamento/tanque classe A	65%	Superadas
Gotejamento/ tensiometria	70%	Superadas em grande parte
Aumento de 10% no albedo	20%	Requer áreas passíveis de tratamento
Aumento de 10% no albedo e aumento de 5% na emissividade	28%	Aumentar 5% na emissividade somente é possível em aplicações específicas.
Cultivo protegido/aspersão/tensiometria	70%	Cultivo protegido envolve passivo ambiental
Cultivo protegido/aspersão/aumento 10% no albedo	80%	Cultivo protegido envolve passivo ambiental
Cultivo protegido/aspersão/aumento 10% no albedo/aumento de 5% na emissividade	83%	Cultivo protegido envolve passivo ambiental e mesmo em casas de vegetação com estrutura metálica é difícil aumentar a emissividade em mais de 5%.
Hortaliças xerófilas à campo	90%	Plantas com baixa produtividade e baixa capacidade de competir com plantas invasoras
“Mulching”	10 a 50%	Particularmente, no “mulching” feito com plástico há um problema de passivo ambiental.

que tem sobre a quantidade de carbono fixado na biosfera, principalmente por causa da derrubada de florestas para plantio. A importância da agricultura também não deve ofuscar o fato de que ela tem causado problemas devido ao manejo inadequado. Um dos efeitos importantes desta incúria tem sido a poluição das águas subterrâneas, rios, lagos e principalmente de oceanos. Nos lagos e oceanos em particular os efeitos de mal uso de N e P tem causado aumento de turbidez e de formas reativas do nitrogênio. Não é difícil imaginar a agricultura sem afetar tanto os ciclos do N e do P na biosfera, no entanto, para isto há de haver grande melhoria no manejo de água e fertilizantes, principalmente em setores como a horticultura e a agropecuária intensiva.

Tendo a humanidade já ultrapassado alguns dos limites seguros preconizados por Rockström et al., (2009) e lembrando que na Terra operam vários sistemas cibernéticos cujas respostas são em geral abruptas e violentas, então mais importante do que nunca são o emprego dos princípios conservacionistas, que até os dias de hoje tem sido mais efetivamente aplicados pelos vários adeptos de formas de agricultura orgânica.

### Efeito ilha de calor

Antes da metade do século XIX, muito antes das mudanças climáticas globais serem consideradas, o aquecimento das cidades denominado efeito ilha de calor já era um fenômeno percebido e que ao descrevê-lo para a cidade de Londres, Howard em 1833, já postulou as prováveis causas do problema. Howard foi um químico notável pela forma cuidadosa com que observava o tempo, característica que possibilitou a ele idealizar a atual nomenclatura das nuvens e também sugerir as causas para o efeito ilha de calor (GARTLAND, 2008). Este aquecimento nas ilhas de calor é em geral causado por pavimentos e coberturas escuras, remoção da vegetação e prédios que estão insuficientemente espaçados, que bloqueiam a circulação de ar e tem elevada capacidade de retenção de calor.

Nas ilhas de calor é comum a ocorrência de grandes variações diárias na produção de ozônio e peroxi acetil nitrato (PAN) dois poluentes cuja produção depende da combustão de combustíveis fósseis, da radiação solar e cuja produção aumenta com um elevado  $Q_{10}$  em função da temperatura. Consequentemente, a síntese destes poluentes é bastante acelerada sobre as superfícies quentes das ruas e coberturas cuja temperatura pode diariamente superar 60° C (CERMAK et al., 1995). Elevadas concentrações de ozônio atmosférico potencialmente causa redução da taxa de fotossíntese, do

crescimento e da acumulação da biomassa. Dado a possuir uma vida média da ordem de horas até meses, dependendo das condições prevaletentes, o ozônio pode ser problema mesmo em áreas distantes das ilhas de calor. A integral dos níveis de ozônio acima de um valor limiar, 40 nL L<sup>-1</sup> na Europa, tem sido utilizado nos estudos para acessar o efeito, em geral escondido, deste gás sobre a produtividade e a qualidade de produtos como a alface, a batata, a ervilha, o feijão e o milho (MARTINS; RODRIGUES, 2001; VORNE et al., 2002). Enquanto a concentração de CO<sub>2</sub> vem presentemente aumentando a uma taxa de 0.4% ao ano a concentração troposférica do ozônio vem crescendo muito mais rapidamente a cerca de 1% por ano. Sabe-se que os níveis troposféricos atuais de ozônio mesmo em regiões distantes das áreas urbanas vêm causando perdas “escondidas” de produtividade e qualidade das principais culturas (FELZER et al., 2007).

Um dos importantes problemas do efeito ilha de calor é o aumento local da convecção, que associado ao aumento da temperatura causam substancial aumento da evapotranspiração e por consequência o esgotamento mais rápido da água do solo. Evidentemente este problema pode ser superado, se houver água disponível com adequada irrigação e aplicada com apropriado uso de manejo de irrigação. Há, porém, outros aspectos adicionais, da ilha de calor, um dos quais é o aumento da probabilidade da formação de nuvens de convecção, *Cumulos congestus* e *Cumulos nimbos*, que causam chuvas mais pesadas nestas regiões (BORNSTEIN; LIN, 2000), o que é uma das sabidas causas da severidade de enchentes. Enchentes que também são causa recorrente de perdas nas áreas agrícolas próximas de corpos de água.

Em tese, ilha de calor é um problema que pode ser resolvido administrativamente com o uso de soluções com ou sem o envolvimento direto de água. Duas soluções que envolvem o uso de água diretamente são o aumento da cobertura vegetal e o aumento da fração de área com pisos e pavimentos permeáveis a água. Nestas opções os benefícios são a melhor interceptação e infiltração da água das chuvas nos aquíferos de um lado e um efeito benéfico de mitigação do aquecimento urbano pela dissipação do calor latente da água que é evaporada diretamente dos pisos e através da transpiração de plantas. Uma alternativa mais exótica e menos frequente defensável são as coberturas verdes e as paredes vivas (TRÉPANIER et al., 2009), pela complexidade e pelos elevados custos de instalação e manutenção. Outros dois fatores para diminuir a temperatura são os pisos e as coberturas frias, isto é pisos e coberturas com elevado albedo de banda larga (300 nm a 2500 nm) e elevada emissividade. Se este problema for resolvido nos

próximos anos não só aumentará o conforto nas cidades como também haverá importante aumento da produtividade agrícola pelos positivos sobre a redução da temperatura, da poluição e aumento da eficiência do uso da água pelas plantas.

### Economia de energia e pós-colheita

O problema das mudanças climáticas decorre principalmente do consumo excessivo de combustíveis fósseis e da queima de florestas tropicais que podem conter mais de 300ton de carbono por hectare (LOBELL, 2006; HENSON, 2008; NOW, 2009). Em outras palavras, este problema é decorrente da necessidade humana de obter recursos alimentares e energéticos para viver com conforto em uma sociedade cada vez mais tecnológica e mais dependente de energia. A preservação do sistema biogeológico que nos mantém agora é muito mais de que uma questão de respeito e de ética (CLARK, 2008; LOVELOCK, 2006). Temos um enorme desafio de manter nossa sociedade altamente dependente de energia dentro de um cenário em que os modelos físicos suportem a noção de que precisaremos reduzir o consumo de derivados de petróleo em mais de 80%, visto que já extrapolamos os limites seguros e que seremos castigados por um clima progressivamente quente e inóspito. Para isto, será muito importante mudarmos completamente a matrix energética inclusive no campo. Uma revisão das alternativas mais efetivas que deverão ser utilizadas nos próximos anos pode ser vista em Monbiot (2006).

Na produção agrícola, as etapas que envolvem mais uso de recursos financeiros e energéticos e perdas ocorrem a partir da colheita no beneficiamento, transporte, armazenamento, a comercialização e principalmente no armazenamento e preparo doméstico. Estima-se, por exemplo, que para produzir uma caloria de alimento gasta-se 1,6 cal no campo, 2,2 cal no transporte e processamento, 1,3 cal de embalagem refrigeração e manuseio e mais de 2,3 cal para armazenamento e preparo doméstico dos alimentos (HEINBERG; BOMFORD, 2009). Neste cenário, evidentemente, há muitos segmentos nos quais é mais fácil reduzir perdas e economizar energia, enquanto se melhora o conforto dos trabalhadores e se aumenta a conservação das frutas e hortaliças. Uma lista com indicações de algumas destas ações neste sentido é apresentada na tabela (5), que não contempla alternativas para redução de perdas e para a economia de energia no ambiente doméstico, o que mereceria uma abordagem específica.

**Tabela 6.** Alternativas para economizar energia, melhorar o conforto e diminuir perdas.

Alternativa	Implementação	Efeito	Custo	Dificuldade
Coberturas brancas	Telhas, lages de cor branca ou pintadas	Redução da temperatura diurna	Pequeno	Pequena, pode ser implementado a qualquer tempo.
Mantas térmicas	Tecido de baixa emissividade térmica revestido com alumínio impregnado por fibras que lhe confere resistência mecânica.	Aplicado sob coberturas, e entre paredes diminui a condução de calor. Economiza energia.	Médio	Não pode pegar sujeira e deve ser instalada de modo a não possibilitar transporte de calor por condução.
Isolamento térmico convencional	Câmaras frias e salas climatizadas.	Utilizado para economizar energia em prédios, armazéns e refrigeradores.	Médio	Os isolantes térmicos mais baratos pegam fogo com facilidade.
Exaustores eólicos	Instalados sobre a cobertura, protege da chuva e dirige o movimento de ar para fora de acordo com a velocidade do vento.	Aumentar a ventilação interna. Pode causar pequena melhoria de conforto térmico de ambientes não refrigerados sem utilizar energia elétrica.	Diminuto	Requer construção com suficientes aberturas laterais.
Resfriadores evaporativos	Aplicados em coberturas e nas laterais, de casas-de-vegetação.	Reduz a temperatura e aumenta a umidade relativa.	Médio	Funciona melhor sob baixa umidade relativa do ar.
Lâmpadas de led	Âmbientes internos.	Reduz consumo de eletricidade.	Diminuto	Ainda é um produto novo.
Cultivo mínimo	Viável em muitas culturas.	Reduz o consumo de combustíveis, favorece a estrutura do solo e a economia de água e fertilizantes.	Diminuto	Depende da cultura.
Energia solar	Painéis de células fotovoltaicas, secadores simples e híbridos e aquecedores de água.	Fonte alternativa de energia.	Variável com a aplicação.	Pode ser simples ou envolver sofisticação tecnológica.
Reaproveitamento de resíduos	Variável.	Compostos para solo, energia térmica para aquecimento e eletricidade.	Variável com a aplicação	Variável com a aplicação.
Coleta de água da chuva	Doméstica ou para cultivo protegido.	Suplementação para regiões com suprimento insuficiente de água.	Elevado	Variável com a aplicação.
Agricultura orgânica	Específica para cada fruta ou hortaliça.	Melhoria no uso e reciclagem de insumos, fertilizantes e da energia contida nos resíduos.	Pode ser alto quando se pleiteia certificação dos produtos.	Envolve sofisticação tecnológica para ser bem sucedido.

### “Mulching” e cultivo protegido

Uma forma evidentemente prática de influenciar o balanço de energia e de água no campo ou em ambiente protegido é mediante o uso de coberturas com diferentes propriedades, de albedo, de emissividade, de permeabilidade

e de capacidade de retenção de água Streck et al., (1994). Estas coberturas de uma maneira geral são denominadas de “mulching” e podem ter inúmeras aplicações.

Em campo é comum que hortaliças sejam cultivadas em canteiros com coberturas de solo opacas à luz solar com diferentes refletâncias (preto, branco, aluminizado) que visam, dentre outros aspectos, diminuir a competição com plantas invasoras, propiciar um microclima mais favorável ao desenvolvimento da cultura e evitar o contato direto das folhas com o solo. O “mulching” influi no balanço de energia e na transferência de água entre o solo e a atmosfera sendo, portanto, uma técnica importante pelos seus efeitos sobre o perfil da temperatura, da umidade e da radiação incidente na copa e sobre o perfil de temperatura e da disponibilidade de água para as raízes. Dentre os materiais, frequentemente, utilizados como “mulching” estão as coberturas com plástico preto e branco, e a cobertura morta ou palhada. Com uso de “mulching”, as mencionadas amplitudes térmicas no solo tendem a ser menores do que sob solo nu, enquanto que as temperaturas médias para as plantas podem ser em média maiores ou menores, dependendo das propriedades físicas da cobertura empregada.

Dentre as características físicas que determinam os efeitos do “mulching”, que também são importantes em cultivo protegido, as mais importantes são:

a) O albedo, refletância, ou simplesmente a cor. Para aumentar a temperatura próxima da planta são utilizadas, frequentemente, coberturas de baixo albedo, isto é superfícies de cores escuras, ou de baixa refletância, enquanto que para reduzir as temperaturas, cores claras de plástico opaco branco e de palhada são usadas.

b) Uma outra propriedade física muito importante do “mulching” é a condutividade térmica. Para reduzir a temperatura noturna das plantas, usa-se “mulching” de baixa condutividade térmica e baixo calor específico volumétrico, como é o caso de palhada, por exemplo. Observa-se, no entanto, que as palhadas por serem coberturas claras e de baixa densidade não devem ser utilizadas épocas/regiões sujeitas a geadas. “Mulching” também pode ser uma ferramenta adicional para modular o microclima em cultivo protegido seja para diminuir as temperaturas diurnas seja para evitar os riscos de temperaturas muito baixas em noites claras e frias.

c) Opacidade ou translucência também é uma propriedade relevante. “Mulchings” transparentes e translúcidos tendem a serem menos úteis do que os opacos, porque a translucência facilita a entrada de luz e o desenvolvimento

de plantas invasoras. Apesar disto, no entanto, filmes transparentes são utilizados em tratamentos preliminares, para a desinfestação de solos por solarização, graças ao eficiente aquecimento do solo que propicia. Filmes translúcidos, brancos e pouco espessos, por outro lado, podem ser utilizados diretamente sobre as folhas, presos com o peso de solo colocado sobre o filme, nas entrelinhas, para reduzir problemas de “queima” das folhas em regiões/épocas sujeitas a geadas.

d) Uma propriedade física menos valorizada em “mulching” e mais valiosa em cultivo protegido é a emissividade térmica, que para a maioria das coberturas agrícolas tem valor ao redor de 0,95. Os metais diferentemente, apresentam baixa emissividade térmica (Tabela 1) e por esta razão, ainda que apresentem elevado albedo para a luz visível proveniente do sol, formam superfícies quentes porque apresentam pequena emissividade de calor. Assim, por exemplo, o alumínio com emissividade da ordem de 0,06 é uma superfície quente, da mesma forma são denominadas superfícies quentes as coberturas em ferro, latão e zinco. As superfícies metálicas quando expostas ao sol atingem temperaturas muito maiores do que superfícies negras equivalentes. Do ponto de vista prático superfícies metálicas quentes, podem ser utilizadas quando o intuito é aumentar a temperatura em climas frios. Em regiões em que o interesse é diminuir as temperaturas, por outro lado, deve-se tomar o cuidado de pintar estas superfícies metálicas com tintas de cores claras que refletem bem a radiação solar de ondas curtas e ao mesmo tempo emitem o calor ao invés de retê-lo. A questão de emissividade de superfícies metálicas é particularmente importante no caso de cultivo protegido, que pode ter áreas significantes de suporte e de bancadas feitas de materiais metálicos como lata e alumínio.

Para o cultivo protegido de hortaliças em particular, este tem sido realizado em casas-de-vegetação cobertas de plástico ou de vidro e em telados com desenhos variados para atender aos vários tipos de exploração agrícola e, principalmente, de acordo com condições climáticas de exposição à radiação, ventos, temperatura, umidade e chuvas prevalentes na região. Evidentemente, as variáveis anteriormente consideradas para “mulching” são aplicáveis para o balanço de energia em cultivo protegido com as apropriadas adaptações às diferentes formas de condução e convecção de calor no interior destas estruturas.

O ambiente de cultivo protegido é sempre bastante modificado com relação a campo aberto na mesma área não apenas em termos temperatura e exposição à chuva. No ambiente protegido é comum que as velocidades

de vento sejam muito diminutas, a umidade relativa seja elevada e radiação fotossinteticamente ativa seja menor. Assim, as plantas em ambiente protegido tendem a apresentar alterações morfológicas, como folhas mais finas e com menor teor de matéria seca (RADIN et al., 2004; SEGOVIA et al., 1997), o que pode representar, por exemplo, uma menor capacidade de armazenamento de produtos como a alface.

Nas regiões Sul e Sudeste, durante o inverno podem ser usadas estruturas que concentram calor, como os modelos “fechados”, tipo “estufa”, que tem menor provisão de áreas de ventilação. Possivelmente, haverá necessidade de adaptações para acomodar mudanças climáticas principalmente em ilhas de calor. Em áreas tropicais, com períodos de chuva concentrados, como nas regiões Norte e Centro-Oeste têm sido construídas estruturas com cobertura de material plástico para servir como um ‘guarda-chuva’ nos quais amplas aberturas para a circulação de ar nas laterais, por advecção e no topo por convecção são importantes para facilitar a remoção do calor nas plantas que é gerado pela absorção de radiação solar. Deste modo mantém-se a temperatura dentro de valores mais adequados. Como este é o maior problema do cultivo protegido no Brasil, com o aquecimento global mais cuidados precisarão ser tomados neste sentido. Soluções que poderão reduzir substancialmente a temperatura no interior de ambientes protegidos são muito similares ao já considerados para “mulching” e envolvem pintura e/ou uso de materiais de baixo albedo e elevada emissividade para aumentar o albedo, a emissividade e o aproveitamento da luz (o principal insumo de produção) nestes ambientes. Assim, podem ser consideradas como alternativas adicionais de redução da temperatura interna durante o dia, e praticamente sem efeitos durante a noite, a pintura de branco de corredores bancadas e a pintura de todas as superfícies metálicas internas ou externas destas estruturas com tinta branca ou palha de elevado albedo de banda larga.

### Soluções locais e regionais

Para o agricultor, soluções de mitigação de mudanças climáticas que possibilitem manter produtividade econômica e melhoria do conforto no trabalho é fundamental. Ao menos parcialmente, este objetivo pode ser alcançado mediante algumas aplicações fundamentadas na física do balanço de energia que determina a temperatura dos objetos, sejam eles, corpos inanimados, plantas, animais, ou estruturas relativamente complexas como casas-de-vegetação, casas-de-embalagem, veículos, armazéns ou uma área cultivada.

Para o homem rural a aplicação de noções de balanço de energia é fundamental para que trabalhe em ambiente com condições mínimas de bem estar necessárias para que o agronegócio seja realizado sem restrições ambientais. Assim, para o homem rural as seguintes alternativas de conforto e produtividade fundamentadas em aplicações do balanço de energia devem ser aplicadas:

a) Uso de chapéu e roupas leves, de cor clara (branco ou cor pastel), que cubram adequadamente a pele, especialmente do rosto, pescoço e costas, protegendo-a da ação dos raios ultravioleta e diminuindo o aquecimento corporal e o suor induzido pela exposição direta à radiação solar;

b) Utilizar veículos com cobertura clara, para melhorar o conforto térmico nas cabines. Caso o fabricante disponha, deve-se dar preferência às pinturas que façam uso da “*infrared reflective pigmentation*”. Estas pinturas especiais com alta refletância no infravermelho melhoram substancialmente o conforto em comparação com tintas de mesma cor convencionais. Nos implementos com ar condicionado, estas coberturas claras também são importantes porque reduzem o consumo de energia na refrigeração;

c) As construções, pavimentos e coberturas devem aproveitar a exposição ao Sol e à ventilação natural. Nesta abordagem estressa-se a importância do uso de coberturas claras e de pavimentos e pisos claros e sempre que possível permeável à água da chuva, que possam ser incluídos na definição de pisos, pavimentos e tintas frias (EPA, 2009). Coberturas escuras, especialmente se envelhecidas devem ser recobertas com pinturas apropriadas disponíveis no mercado, de preferência de cor branca. Pisos asfálticos podem ser clareados com o uso de caldeamento com cimento, o que aumenta a durabilidade, reduz o aquecimento e evita a evolução de compostos orgânicos tóxicos (VOCs);

d) Os trabalhadores devem ser “heat hunters” e para fazer isto precisam ter à a mão um termômetro infravermelho, instrumento de baixo custo que é fundamental para se localizar as superfícies “quentes”, que precisarão de ajustes para melhoria do conforto térmico no trabalho e para buscar soluções de produtividade agrícola no campo. A temperatura deve ser periodicamente lida em toda a propriedade sem deixar de lado as pessoas. No ambiente deve-se ler a temperatura dos pavimentos, dos pisos, das paredes, das coberturas, dos veículos e das plantas nas diferentes exposições. Para as pessoas as temperaturas devem ser medidas sobre os chapéus, roupas e sapatos durante vários tipos de atividades realizadas ao Sol nas horas mais quentes do dia;

Para a mitigação dos efeitos do aquecimento global em hortaliças e outras plantas a abordagem pode diferir um pouco do que foi apresentado no parágrafo anterior. Neste caso, o importante é ter em mente que as plantas somente conseguem aproveitar a radiação solar para fazer fotossíntese líquida e produzir adequadamente com elevado índice de colheita, dentro de estreitas e adequadas condições de temperatura diurna e noturna, para as quais foram selecionadas. Assim, para que as hortaliças façam bom uso da água e de outros insumos agrícolas é importante utilizar variedades adaptadas e reduzir exposição das plantas a estresses considerando-se as recomendações:

#### 1- Sobre adaptação varietal:

a) Em micro climas quentes, como aqueles de ilhas de calor, pode ser importante dar-se preferência ao cultivo de variedades de hortaliças mais tolerantes ao calor, especialmente no verão, enquanto que para o cultivo de variedades de hortaliças de inverno deve-se dar preferência aos microclimas mais amenos, e longe de áreas urbanas de ilha de calor;

b) Genótipos de frutas e hortaliças com folhas estreitas e curtas devem ser preferidos para suportar ambientes com alta incidência de radiação solar em locais com temperaturas elevadas. É interessante enfatizar que esta mesma característica também auxilia para evitar o resfriamento radioativo excessivo que ocorre em noites frias claras e propícias à ocorrência de geadas. A razão física deste tipo de melhoramento é que quanto menores e mais estreitas são as folhas melhor elas trocam calor com o ar por convecção, de acordo com as equações 5 e 6. Adicionalmente, a seleção de plantas com folhas menores pode ter o efeito benéfico adicional de melhorar a distribuição da luz fotossinteticamente ativa na copa, o que pode causar aumento de produtividade. Um potencial efeito negativo seria uma tendência para maiores taxas de transpiração (eq. 8);

c) O emprego de genótipos com folhas e outras estruturas aéreas com maior albedo de banda larga. Se medidas de albedo de banda larga não puderem ser feitas no processo de melhoramento, que ao menos sejam selecionadas as plantas mais claras e reflexivas. Na maioria das espécies com folhas não horizontais o aumento da reflexão da luz visível nas folhas é compensado mediante uma melhor penetração da radiação fotossinteticamente ativa no dossel. Em plantas que saturam com baixos níveis de radiação a seleção de genótipos com maior refletividade pode melhorar a distribuição da luz na copa, reduzir a temperatura, reduzir a ocorrência de foto oxidação, melhorar a eficiência do uso da água e aumentar a produtividade. Por analogia, é

interessante citar que a aplicação de partículas de caulinita aumentou a refletividade de macieira causando redução da temperatura da copa (2 a 3° C), o que melhorou a eficiência do uso da água e aumentou a produtividade das plantas no Chile e nos Estados Unidos (GLENN et al., 2001). Uma aparente limitação para o melhoramento vegetal voltado para se obter plantas com maior albedo de banda larga é a falta de uso de câmaras hiperespectrais e de micro albedômetros de banda larga e de leitura instantânea necessárias nas medições deste comportamento espectroscópico em folhas e em plantas individuais;

d) Seleção de genótipos menos sensíveis aos elevados níveis de O<sub>3</sub> prevaletentes em regiões de ilhas de calor. Convém ressaltar que a realização do melhoramento vegetal em áreas próximas a centros urbanos, que são ilhas de calor e geradoras deste poluente, pode estar auxiliando no sentido de diminuir a relevância deste poluente que prejudica a produtividade vegetal;

e) Prioridade para o melhoramento vegetal voltado ao desenvolvimento de cultivares de ciclo longo, que demandem menores concentrações de fertilizantes e que possuam melhor eficiência no uso da água. Adicionalmente, as plantas de ciclo mais longo, com maior duração de área folhar, sabidamente tendem a formar partes comestíveis com maior teor de matéria seca, o que para algumas hortaliças significa produto mais robusto, mais fácil de transportar por ser menos sensível a danos mecânicos e à desidratação pós-colheita.

#### 2- Sobre ajustes fitotécnicos a campo

Reduzir a exposição das plantas a temperaturas excessivas no campo que pode ser viável, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento. Algumas destas alternativas de mitigação de temperaturas excessivas já vêm sendo utilizadas, e precisarão ser mais desenvolvidas e aplicadas tendo-se em vista o cenário de aquecimento global. Algumas das aplicações de ajustes fitotécnicos para diminuir a temperatura que se pode utilizar a campo são:

a) Uso de "mulching" de plástico branco opaco, que diminui a temperatura do solo e do ar ao redor das plantas e auxilia no controle de plantas invasoras e melhora o uso da luz no dossel;

b) Uso de palha com elevado albedo, que possui efeitos similares ao plástico branco, porém é menos eficiente pelo menor albedo. Como efeitos adicionais, a palha proporciona estabilização da temperatura do solo e ao mesmo tempo favorece a infiltração da água e a sua absorção pelas raízes;

c) Utilizar pavimentos de cor clara em todos os acessos e substratos claros nas entrelinhas. Estes caminhos são uma fração apreciável da área da

maioria das propriedades agrícolas e por esta razão podem ser utilizados para obter significativa redução da temperatura e por conseguinte, também uma significativa melhora no aproveitamento da água e da radiação solar;

- d) Manter matas nativas e arborização nas cercanias das áreas cultivadas;
- e) Utilizar métodos de adubação fundamentados no uso de fontes de baixa solubilidade e/ou a baixa concentração, que possibilite o uso adequado e sem os correntes problemas de severa poluição dos aquíferos, incluindo os oceanos;
- f) Desenvolvimento de sistemas de irrigação mais duráveis, que possibilitem maior economia de água e que possibilitem um melhor uso de águas contaminadas com impurezas orgânicas e nutrientes minerais;
- g) Desenvolvimento de novos métodos de manejo de microclima/irrigação que possibilitem maior economia de água em relação aos sistemas de manejo de irrigação atualmente disponíveis.

### 3- Sobre ajustes fitotécnicos em cultivo protegido

Preferencialmente, o piso, as bancadas e as faces internas e externas dos suportes e todas as superfícies metálicas devem ser pintadas de branco para reduzir os picos diários de temperatura máxima. Os objetivos destes tratamentos são aumentar a refletividade, para diminuir a temperatura e melhorar o aproveitamento da luz pelas plantas e aumentar a emissividade de calor, no caso das superfícies metálicas, que por sua baixa emissividade tendem a aquecer muito mais que os demais materiais. A alternativa, de pintar externamente a casa-de-vegetação com tinta branca não opaca reduz a temperatura, porém causa substancial prejuízo a produtividade vegetal porque reduz a disponibilidade de radiação solar fotossinteticamente ativa. Estes cuidados podem e devem ser utilizados juntamente com sistemas convencionais de redução da temperatura em cultivo protegido como, por exemplo: aqueles que fazem uso de aberturas (lanternins) para promover convecção interna do ar, importante em regiões úmidas e com pouca advecção; e aqueles sistemas com evaporadores e convecção valiosos em regiões mais secas.

### 4- Sobre cuidados fitotécnicos em pós-colheita

Após a colheita a temperatura das frutas e hortaliça precisa ser reduzida para que as qualidades organolépticas sejam conservadas durante o transporte, o armazenamento e a comercialização. Assim, mesmo quando há tecnologia e viabilidade econômica para se usar pré-resfriamento e refrigeração, ainda

assim, os aspectos de balanço de energia abordados são importantes. Mais importante ainda se tornam estes cuidados caso o uso de refrigeração não possa ser aplicado imediatamente após a colheita. Assim, alguns pontos-chaves de mitigação do aquecimento global ou do efeito de ilha de calor em pós-colheita são:

- a) colocar o produto na sombra imediatamente após a colheita;
- b) Usar de pisos e pavimento frios, isto é de cor branca ou clara e com elevada emissividade de calor nas áreas de circulação e de manuseio;
- c) Nas casas-de-embalagem os pavimentos, paredes e pisos devem ser de cor clara por questões de higiene e de aproveitamento da iluminação natural;
- d) telhados de casas-embalagem, armazéns e de pontos de venda de frutas e hortaliças devem ser pintados com cores claras, preferencialmente com tintas que façam uso da tecnologia "*infrared reflective pigmentation*" para diminuir a temperatura interna durante o dia;
- e) Arborização apropriada perto das edificações mencionadas também tende a ser uma alternativa valiosa para diminuir a temperatura e aumentar a umidade relativa, dois fatores importantes para o manuseio bem sucedido de frutas, hortaliças e de plantas ornamentais;
- f) transportar os produtos em veículos refrigerados, ou ao menos de cor clara, por exemplo, mediante o uso de lonas de cor branca, de preferência tingidas com tinta com "*infrared reflective pigmentation*".

### Percepção, tendências e engajamento

Com a descoberta e a percepção cada vez mais nítida de que as mudanças climáticas chegaram, começou nos últimos anos o desenvolvimento de uma nova consciência, uma nova ética de consumo na qual a busca de alimento e conforto ocorre com substancial aumento de reciclagem, de aproveitamento mais adequado da energia, da água e dos fertilizantes. Tudo, tendo-se em vista uma sociedade que causa menos deteriorações no meio ambiente e nos mecanismos de inclusão social.

A inteligência, as pressões legais, sociais, financeiras e de qualidade de vida conspiram agora para que as pessoas morem próximo do trabalho e para que reduzam o uso combustível por pessoa. As fontes de energia alternativas e independentes da Rede Nacional (grid) são mais e mais alavancadas por subsídios e por uma forte redução dos custos fabricação, causado pelo avanços tecnológicos. Para citar um exemplo, as células fotovoltaicas vêm tendo a sua

produção aumentada em mais de 50% por ano, enquanto os preços diminuem. Para o agricultor de regiões distantes esta energia fora do "grid" é auspiciosa e vem se somar à insuficiente disponibilidade de sistemas tradicionais de aproveitamento de recursos energéticos como o aríete hidráulico, o secamento solar puro ou híbrido e alguns sistemas de cogeração de eletricidade, trabalho e calor. Os aprimoramentos tecnológicos e o barateamento destas fontes de energia favorecem a uma melhoria na qualidade de vida dos agricultores, dentre outras razões por facilitar a comunicação, e por facilitar muitas tarefas como a secagem, o controle das condições de armazenamento, o controle da irrigação e o manejo mais eficiente dos implementos agrícolas.

Menos animador tem sido o aumento dos custos dos fertilizantes e defensivos em função do grande aumento do preço do barril de petróleo e do depauperamento reservas mundiais de fertilizantes fosfatados. Estes são outros indicativos de que há necessidade de substancial melhoria a eficiência no uso do N, S e P, tendo-se em vista que o consumo excessivo destes elementos está causando importantes prejuízos na biosfera e já se argumenta que estes nutrientes estão sendo utilizados em quantidades muito superiores aos limiares seguros, tendo-se em vista delicada natureza dos controles biogeofísico no planeta Terra (ROCKSTRÖM et al., 2009). Também não tem sido animadora a tendência de aumento populacional excessivo, que segundo Lovelock (2000, 2006) deveria ter sido mantido abaixo de 2 bilhões de pessoas. Segundo este autor uma questão mais importante do quantas pessoas podem viver no planeta é quantas pessoas podem viver com sustentabilidade e com uma qualidade mínima de vida. Atualmente estamos exaurindo os recursos do planeta a uma taxa três vezes maior do que seria sustentável de acordo com os processos biológicos e geoquímicos. Questões deste tipo vêm causando um aumento mundial dos preços dos alimentos, que é um grande ônus para os

**Tabela 7.** Condições limite para o planeta Terra, adaptado de Rockström et al., (2009).

Processo	Parâmetro	Limite "seguro"	Estado atual	Estado pré-industrial
Mudanças climáticas	CO <sub>2</sub>	350ppmv	387ppmv	280ppmv
Taxa de perda de biodiversidade	Número de espécies extintas por ano e por milhão de espécies	10	>100	0,1-1
Nitrogênio (N)	Removido da atmosfera pelo homem em milhões de toneladas por ano	35	121	0
Fósforo (P)	Quantidade de fósforo fluindo para os oceanos (milhões de toneladas por ano)	11	8,5-9,5	? 1
Uso de água	Consumo humano (km <sup>3</sup> por ano)	4000	2600	415
Alteração do uso do solo	Porcentagem da cobertura de solo na Terra convertida para cultivo	15	11,7	baixo

mais pobres. A questão da produção de alimentos, adicionalmente parece que vai ser agravada pelo aumento do uso das terras agricultáveis e da água doce disponível para a produção de energia, principalmente os biocombustíveis liquefeitos.

Há, portanto, necessidade de grandes soluções de administração global, para as quais os intelectuais precisarão contribuir para que seja estabelecida uma sociedade mais sustentável, capaz de utilizar melhor os fatores de produção a bem das pessoas e a bem de todo o sistema biogeológico em que vivemos.

Na produção de hortaliças também precisaremos nos manter engajados nestas tendências, procurando dar nossa efetiva contribuição. Enquanto isto, possivelmente, as áreas de cultivo hortícola continuarão a se distanciar dos centros urbanos no Brasil, por questões de custo das terras, roubos e o efeito ilha de calor, que vem sempre acompanhado da elevação das concentrações de ozônio, um gás tóxico que também causa grandes perdas de produtividade nas plantas (MARTINS; RODRIGUES, 2001). Tanto as ilhas de calor quanto a evolução excessiva de ozônio nas áreas urbanas poderão ser mitigados nos próximos anos mediante ações administrativas, já bem conhecidas que incluem o uso de maciço de coberturas claras, de pavimentos claros, de cobertura vegetal e pisos permeáveis nas cidades. Estas soluções simples que já vem sendo utilizadas em diversas cidades, principalmente nos EUA, tem sido bem sucedidas para reduzir as temperaturas médias e por consequência também a produção do ozônio cuja síntese é estimulada pela queima de combustíveis e cuja velocidade aumenta exponencialmente em função da temperatura na superfície dos pavimentos e das coberturas na área urbana.

Enquanto cresce a temperatura média na Terra, ao mesmo tempo tem-se a esperança de que deverão crescer também o número de alternativas tecnológicas para diminuir localmente, em microclima, a temperatura. Assim, novos procedimentos racionais deverão ser somados ao atual uso do cultivo mínimo e do cultivo na palha que têm beneficiado a agricultura e tem melhorado as condições climáticas não só no Brasil (SIX et al., 2004). Estes e outros métodos deverão colaborar para a fixação e ou retenção carbono fixado, enquanto, ao mesmo tempo se aumenta o rendimento dos cultivos mediante a manutenção de condições microclimáticas mais favoráveis da temperatura do ar, da temperatura do solo e do poder evaporativo do ar.

## Bibliografia

- BAKKER, J. C. Energy saving greenhouses. **Chronica Horticulturae**, The Hague, v. 49, p. 19-23, 2009.
- BORNSTEIN, R.; LIN, Q. Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 34, p. 507-516, 2000.
- CERMAK, J. E.; DAVENPORT, A. G.; PLATE, E. J.; VIEGAS, D. X. (Ed.). **Wind climate in cities**. Norwell: Kluwer Academic, 1995. 800 p.
- CLARK, D. **The rough guide to ethical living**. London: Penguin Books, 2006. 336 p.
- CO2 NOW. **CO2 home**. Disponível em: <<http://co2now.org>>. Acesso em: 08 Aug. 2009.
- FOSTER, P.; RAMAWAMY, V.; ARTAXO, P.; BERNTSEN, T.; BETTS, R.; FAHEY, D. W.; HAYWOOD, J.; LEAN, J.; LOWE, D. C.; MYHRE, G.; NGANGA, J.; PRINN, R.; RAGA, G.; SCHULZ, M.; VAN DORLAND, R. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (Ed.). **contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**, Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 247-345.
- GARTLAND, L. **Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas**. London: Earthscan, 2008. 176 p.
- GATES, D. M. **Biophysical ecology**. New York: Springer-Verlag, 1980. 611 p.
- GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J.; DRAKE, S. R.; UNRUH, T. R.; KNIGHT, A. L.; BAHERLE, P.; PRADO, E.; BAUGHER, T. A. Particle film application influences apple leaf physiology, fruit yield, and fruit quality. **Journal of The American Society for Horticultura Science**, Alexandria, v. 126, p. 175-181, 2001.
- HEINBERG, R.; BOMFORD, M. **The food and farming transition: toward a post-carbon food system**. Sebastopol: Post Carbon Institute, 2009. 39 p.
- HENSON, R. **The rough guide to climate change**. London: Penguin Books, 2008. 384 p.
- LEITÃO, M. M. V. B. R.; OLIVEIRA, G. M. Influência da irrigação sobre o albedo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 214-218, 2000.
- LOBELL, D. B.; BALA, G.; DUFFY, P. B. Biogeophysical impacts of cropland management changes on climate. **Geophysical Research Letters**, Washington, D.C., v. 33, n. 6, p. L06708, Mar. 2006.
- LOVELOCK, J. **Gaia: a new look at life on earth**. 3<sup>rd</sup>. ed. Oxford: University Press, [1979].
- LOVELOCK, J. **Gaia: cura para um planeta doente**. São Paulo: Cultrix, 2006. 192 p.
- MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. da; SILVA, W. L. C. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa-SPI, 1996. 72 p.
- MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G. **Manejo de irrigação em hortaliças com sistemas irrigas**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. 16 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 69).
- MARTINS, R. A.; RODRIGUES, G. S. Efeitos potenciais do ozônio troposférico sobre as plantas cultivadas e o biomonitoramento ambiental. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. (Ed.). **Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001. p. 143-165.
- NARSTO. **A new continental perspective on an old and vexing problem**. Disponível em: <[ftp://narsto.esd.ornl.gov/pub/Ozone\\_Assessment/Chapter1.pdf](ftp://narsto.esd.ornl.gov/pub/Ozone_Assessment/Chapter1.pdf)>. Acesso em: 13 Aug. 2009.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos aplicações e práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.
- RADIN, B.; REISSER JUNIOR, C.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 22, p. 178-181, 2004.
- ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J.; NYKVIST, B.; DE WIT, C. A.; HUGHES, T.; VAN DER LEEUW, S.; RODHE, H.; SÖRLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KARLBERG, L.; CORELL, R. W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN,

P.; FOLEY, J. A. A. safe operating space for humanity. **Nature**, London, v. 461, p. 472-475, 2009.

SEGOVIA, J. F. O.; ANDRIOLO, J. L.; BURIOL, G. A.; SCHNEIDER, F. M. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, p. 37-41, n. 1, jan./mar. 1997.

SILVA, E. C.; LEAL, N. R.; MALUF, W. R. Avaliação de cultivares de alface sob altas temperaturas em cultivo protegido em três épocas de plantio na região norte-fluminense. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 4, p. 491-499, 1999.

SIX, J.; OGLE, S. M.; BREIDT, F. J.; CONANT, R. T.; MOSIER, A. R.; PAUSTIAN, K. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, n. 2, p. 155-160, 2004.

STRECK, N. A.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Modificações físicas causadas pelo mulching. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 131-142, 1994.

TRÉPANIÉ, M.; BOIVIN, M.; LAMY, M.; DANSEREAU, B. Green roofs and living walls. **Chronica Horticulturae**, The Hague, v. 49, p. 5-7, 2009.

PRISCO, J. T. Possibilidades de exploração de lavouras xerófilas no semi-árido brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, p. 332-342, 1986.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Urban heat island mitigation**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/hiri/mitigation/index.htm>>. Acesso em: 09 Oct. 2009.

WENT, F. W. The effect of temperature on plant growth. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 4, n. 3, p. 347-362, 1953.

WILD, M.; OHMURA, A.; MAKOWSKI, K. Impact of global dimming and brightening on global warming. **Geophysical Research Letters**, Washington, D.C., v. 34, n. 4, p. L04702, 2007.

VORNE, V.; OJANPERÄ, K.; TEMMERMAN, L. de; BINDI, M.; HÖGY, P.; JONES, M. B.; LAWSON, T.; PERSSON, K. K. K. Effects of elevated carbon dioxide and ozone on potato tuber quality in the European multiple-site experiment 'CHIP-project'. **European Journal of Agronomy**, v. 17, n. 4, p. 369-381, nov. 2002.