Capítulo 14 - Cultivo Protegido

Max José de Araujo Faria Junior
Rerison Catarino da Hora

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

FARIA JUNIOR, M.J.A., and HORA, R.C. Cultivo Protegido. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and GOTO, R., comps. *Hortaliças-fruto* [online]. Maringá: EDUEM, 2018, pp. 451-487. ISBN: 978-65-86383-01-0. <https://doi.org/10.7476/9786586383010.0016>.

All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Cultivo Protegido

Max José de Araujo Faria Junior e Rerison Catarino da Hora

1 Introdução

A preocupação com a proteção física de cultivos contra as adversidades climáticas é antiga e data do período do império romano. Durante o governo de Tibério César (14-37 a.C.), eram utilizadas pequenas estruturas móveis no cultivo de pepino, que eram abrigadas sob coberturas feitas com lâminas de mica e alabastro, quando as condições climáticas se tornavam inadequadas (WITTWER; CASTILLA, 1995; CASTILLA, 2005), prática cultural que desapareceu com o fim do império romano.

A partir de então, novos registros de estruturas de proteção são reportados ao século XVI, em diferentes regiões da Itália (Roma, Pádua, Pisa e Bologna) e na Holanda (SEMEDO, 1988; NELSON, 1998). Entre os séculos XVI e XVIII, surgiram os precursores dos abrigos para cultivo protegido, na Inglaterra, na França, no Japão e na China, em forma de estruturas rudimentares de madeira ou de bambu, cobertas com painéis reticulados de vidro ou de papel azeitado (WITTWER; CASTILLA, 1995; CASTILLA, 2005).

Os primeiros relatos de casas de vegetação com coberturas de vidro, em duas águas, com finalidade comercial, são do século XIX, atividade essa cuja expansão foi lenta até a primeira Guerra Mundial, no início do século XX, conforme Semedo (1988). Após a Segunda Guerra Mundial, houve grande expansão na área coberta com estufas de vidro, especialmente na Holanda (cerca de 5.000 ha).

Todavia foram as primeiras experiências com filmes plásticos na construção de estruturas para proteção de plantas, em meados da década de 50, nos EUA e em alguns países da Europa, que se constituíram no marco divisor para um período subsequente de grande crescimento no cultivo protegido de plantas por, praticamente, todos os continentes. Assim, nas décadas de 60 e 70, ocorreu incrível expansão da área ocupada por abrigos para cultivo protegido cobertos com materiais plásticos, em países como Japão, China, Espanha, Itália, França, Turquia, Grécia, Israel, entre outros (WITTWER, 1993; WITTWER; CASTILLA, 1995). Ilustra bem essa expansão o que ocorreu na Espanha, na região da Almeria: a área com abrigos cresceu de 0,05 ha, em 1963, para 13.200 ha, em 1985 (BRETONES CASTILHO, 1991).

No Brasil, as primeiras iniciativas no cultivo protegido, com finalidade comercial, datam do final da década de 70. Assim, Kumagaia (1991) relata que, em 1978, a extinta Cooperativa Agrícola de Cotia (CAC) implementaram uma área experimental no cinturão verde de São Paulo, com a finalidade de produzir pepinos em ambiente protegido, com superfície coberta de 100 m², o que prosperou, 10 anos mais tarde, para uma área de 561.800 m², em diferentes regiões produtoras.

Em 1984, teve destaque o Projeto São Tomé, conduzido nos estados da região Sul, sob patrocínio da Petroquímica Triunfo e com participação da Emater, cuja finalidade era divulgar o uso dos filmes plásticos na agricultura, inclusive, na construção de abrigos para cultivo protegido (SGANZERLA, 1990).

Ainda em meados da década de 80, no Estado de São Paulo, iniciaram-se, pioneiramente, as primeiras pesquisas com o cultivo protegido na Unesp, no Campus de Jaboticabal, que culminaram com a realização do 1.º Simpósio Nacional sobre Plasticultura, realizado em Jaboticabal (SP), em 1989, evento científico precursor de inúmeros outros, igualmente importantes, que debateram o tema, em diferentes regiões do país.

Os programas de divulgação das técnicas de produção em ambiente protegido, bem como aqueles de formação de agricultores e extensionistas, intensificaram-se, merecendo referência, pelo seu alcance, no Estado de São Paulo, o ‘Programa São Paulo Vai a Campo’, patrocinado pelo Banespa/Baneser (já extintos) e o ‘Programa de Plasticultura para o Estado de São Paulo’, coordenado pela Associação dos Engenheiros Agrônomos do Estado de São Paulo (AEASP), e no Estado do Paraná, como descrito por Hamerschmidt (1996/97), o ‘Programa de Subsídio à Plasticultura’, conduzido pela Secretaria de Estado e de Abastecimento, todos desenvolvidos na década de 90.

Desse modo, no mesmo período, o cultivo protegido experimentou grande entusiasmo e crescimento como atividade comercial, porém, de forma inconsistente, resultando em inúmeras histórias de fracasso e elevado índice de abandono da atividade, cujas razões estão bem discutidas por Martins (1996), Goto (1997), Della Vechia e Koch (1999) e Goto et al. (2007), dentre as quais se destacam, além da crise econômica vivida pelo país, a falta de preparo dos empreendedores, a falta de orientação e de coordenação da pesquisa e a falta de articulação entre pesquisa e extensão.

Entretanto, nos últimos 10 anos, a maior estabilidade econômica, a maior experiência e profissionalização dos agricultores, a maior maturidade das pesquisas (importante ressaltar as inúmeras universidades e instituições de pesquisa, estaduais e federais, engajadas com o desenvolvimento de técnicas adequadas de cultivo em ambiente protegido) e o melhor entendimento, pelo produtor, das exigências e dinâmica do mercado, dentre outros motivos, têm permitido que a atividade se mantenha firme e, possivelmente, tenha experimentado algum crescimento, em que pese a falta de levantamentos estatísticos confiáveis no país.

A expectativa, assim, é a de acompanhamento do crescimento mundial, cuja área coberta por estruturas para cultivo protegido, para produção de hortaliças, plantas ornamentais e frutas, estava estimada, em 2000, em 628 mil hectares, conforme Castilla (2005).

2 Planejamento e construção de abrigos para cultivo protegido

A razão de qualquer empreendimento, inclusive a produção agrícola em ambiente protegido, é a obtenção de retorno financeiro, ou seja, lucro.

Por outro lado, o cultivo protegido de *plantas* demanda grande inversão de capital e, portanto, algumas reflexões sobre o perfil do empreendedor, bem como sobre o estabelecimento do negócio, devem ser feitas antes de se iniciar a atividade.

Possíveis motivações para adesão à produção hortícola altamente especializada do cultivo protegido podem ser a oportunidade de atuação de forma diferenciada, em termos de oferta de produtos, a qualidade superior, ou, ainda, a atuação em nichos específicos de mercado. Porém é necessário estar preparado para iniciar o próprio negócio e, nesse caso, alguns requisitos importantes, enumerados por Kessler Junior (2006), são capacidade de planejamento, capacidade de gerenciamento, dedicação ao sucesso do empreendimento (disponibilidade de tempo e persistência), conhecimento e experiência no ramo, habilidade em lidar com pessoas (funcionários, fornecedores e clientes), flexibilidade para mudanças (adaptação às novas exigências de mercado ou inovações) e disponibilidade de recursos financeiros para iniciar e operar o empreendimento.

Além de um perfil empreendedor adequado, é imperativo que se conheça o mercado em que se pretende atuar. Algumas questões a considerar, de acordo com Thomas e Thomas (1999) e Kessler Junior (2006), são as seguintes: Qual o tamanho do mercado (quantas pessoas moram ou compram

no mercado em que se pretende atuar)? Quanta competição terá que ser enfrentada? Há muitos produtores, já estabelecidos, cultivando e vendendo os mesmos produtos que se pretende produzir? Há a possibilidade de venda para atacadistas (grandes distribuidores) ou grandes redes de venda no varejo? Há a possibilidade de venda direta a pequenos varejistas? Os pequenos varejistas são em número suficiente? Que vantagens poderão ser oferecidas, tais como produtos de melhor qualidade, um portfólio mais amplo de produtos ou serviços diferenciados, que possam encorajar os pequenos varejistas a mudarem de fornecedor? É possível fazer a venda direta ao consumidor, atuando como varejista?

Assim, o tipo de mercado que se pretende atender é determinante do esquema de produção (STEVENS et al., 1994; KESSLER JUNIOR, 2006):

- na comercialização para grandes distribuidores e grandes redes de venda no varejo, o número de clientes é limitado e pode ser exigido, através de contratos específicos, certo grau de especialização da produção, que deve ser em larga escala, com fornecimento diário ou sazonal (no caso de produtos que têm demanda aquecida em épocas determinadas do ano);
- se a venda se destinar a pequenos varejistas, o fornecimento deve ser diário, embora a produção possa ser em menor escala, todavia deve-se estar apto a trabalhar com um grande número de clientes individuais, o que, normalmente, requer produtos e serviços de alta qualidade, um leque maior de opções de oferta de produtos, além de *marketing* mais agressivo;
- na opção por comercialização direta aos consumidores finais, as vendas são pulverizadas entre inúmeros clientes, com necessidade de uma grande gama na oferta de produtos, bem como do estabelecimento de um local adequado para a venda, evitando-se o trânsito excessivo de pessoas na área de produção, o que implica dividir recursos e atenção entre instalações com finalidades distintas (produção e comercialização).

É preciso estar atento, também, aos aspectos legais envolvidos (ambientais, tributários, trabalhistas, de constituição e funcionamento do negócio etc.), bem como pensar sobre a forma jurídica a ser adotada para o empreendimento (registro de empresário ou constituição de sociedade), questões essas que não dispensam a ajuda de advogados e de contadores.

Por fim, entendido o perfil do empreendedor como adequado, avaliado o potencial de mercado (presente e futuro) como interessante e respondidas as questões legais, com a decisão de se seguir adiante na atividade, a etapa seguinte constitui-se na elaboração de um plano de negócios, com base em informações técnicas consistentes e previsões financeiras e contábeis realistas. Não se trata de tarefa simples e uma boa orientação é que se busque, nesta fase, a ajuda de técnicos da assistência técnica rural, de universidades, de instituições de pesquisa e do Sebrae.

2.1 A escolha do local

A escolha do local para construção dos abrigos para o cultivo protegido, dentro do mercado em que se pretende atuar, deve ser realizada com cuidado, a fim de que não se comprometa o adequado funcionamento do empreendimento, pois, depois de implementado o negócio e construídas as estruturas de proteção, as mudanças são difíceis e dispendiosas.

Alguns dos fatores a serem considerados são:

- **solo:** como desejável para atividade agrícola, deve apresentar boa profundidade e drenagem, ser livre (ou com baixa infestação) de nematoides, patógenos e plantas invasoras e, preferencialmente, eutrófico e rico em matéria orgânica. Dada a dificuldade (ou impossibilidade) de se encontrar área com solo que reúna todos os atributos citados, as deficiências observadas podem ser corrigidas, porém sem deixar de se considerar que, quanto mais distante do ideal, maiores os custos de correção. Problemas com o solo do local são minimizados, ou podem ser desconsiderados, quando a opção for a adoção de técnicas de cultivo sem solo ou de hidroponia;

- **água:** é essencial à produção de plantas e, no estabelecimento do cultivo protegido, os aspectos quantitativos e qualitativos são igualmente importantes. A necessidade de água irá variar com a cultura, o clima local e o tipo de estrutura adotada, mas, como recomendação geral, a fonte de água, que pode ser superficial ou subterrânea (poço), deve fornecer entre 5,5 e 14 L dia⁻¹, por m² de área coberta, conforme Hanan (1998), embora possam ser encontradas indicações de até 20 L d⁻¹ m⁻² (NELSON, 1998), somente para consumo pela cultura, não contabilizados os volumes utilizados para aplicação de defensivos, limpeza, resfriamento evaporativo dos abrigos (se houver), entre outros usos. A análise da água, também, é um procedimento importante, uma vez que teores elevados de sais dissolvidos podem restringir o seu uso para agricultura. Assim, o ideal é que a água apresente condutividade elétrica (CE) menor que 0,7 dS m⁻¹ (em torno de 450 mg L⁻¹ de sais dissolvidos), não sendo possível sua utilização quando a CE for maior que 3,0 dS m⁻¹ (teor de sais dissolvidos maior que 2.000 mg L⁻¹), enquanto os valores intermediários de CE indicam que fonte de água deve ser usada com cuidado, por apresentar grau de restrição ligeiro a moderado (AYERS; WESTCOT, 1987). Para produção de mudas, Nelson (1998) recomenda que a CE da água não ultrapasse 0,75 dS m⁻¹ e indica, como limite máximo tolerável para culturas em geral, que estejam em pleno desenvolvimento, o valor de 1,5 dS m⁻¹. Os teores de bicarbonato não devem exceder 100 mg L⁻¹ (KESSLER JUNIOR, 2006), devendo-se evitar a água dura (teores de carbonato de cálcio acima de 150 mg L⁻¹), principalmente, quando se pretende adotar sistemas de cultivo sem solo (NELSON, 1998). A utilização de água dura, pode prejudicar o funcionamento de equipamentos de irrigação e de resfriamento evaporativo (notadamente quando são utilizados nebulizadores), pela formação de depósitos. Recomendam-se, pelo menos, duas análises da água por ano, sendo uma na estação chuvosa e outra na estação seca. Ainda, a água deve apresentar pouco, ou nenhum, material em suspensão e deve ser adequada, do ponto de vista sanitário, uma vez que pode ocorrer a presença de microrganismos patogênicos às plantas e, mesmo, aos consumidores;
- **topografia:** o ideal é que a declividade natural seja inferior a 2%, a fim de que os serviços de terraplenagem não sejam dispendiosos. Além disto, conforme Hanan (1998), declividades elevadas diminuem a eficiência da mão de obra, dificultam a movimentação dos produtos, causam problemas como a distribuição desuniforme da água de irrigação e gradientes indesejáveis de temperatura no interior dos abrigos. Para que a drenagem na área seja adequada, recomendam-se declividades entre 0,5% e 1%. Ainda, devem ser evitadas áreas sombreadas por outras construções ou vegetação já existentes e áreas localizadas nas partes mais baixas do terreno, sujeitas às enxurradas e ao acúmulo de água de chuva;
- **disponibilidade de mão de obra:** o cultivo protegido de plantas demanda o uso relativamente intensivo de mão de obra. Dalrymple (1973), citado por Hanan (1998), estima a necessidade de 0,35 a 0,96 homens-dia por 1.000 m² de área coberta, dependendo da cultura conduzida. Além disso, Kessler Junior (2006) recomenda que o tempo máximo de deslocamento dos trabalhadores não ultrapasse 20 minutos, o que sugere a proximidade de centros urbanos.
- **facilidade de acesso:** a proximidade de estradas e rodovias em boas condições de uso durante o ano todo, que possibilitem o tráfego de veículos pesados, é importante para que se mantenha o fluxo de mercadorias (produção e insumos) sem interrupções (HARDOIM, 1996). Se a produção se destinar à venda no varejo, é recomendável que as instalações estejam à vista, a partir da via principal, de modo a facilitar o acesso dos consumidores. Segundo Kessler Junior (2006), frequentemente, as compras são feitas por impulso e, por isso, se os produtos não estiverem à vista ou o acesso aos mesmos for dificultado, os consumidores serão desencorajados da compra.
- **condições de serviços:** a demanda de energia elétrica será função do nível tecnológico que se deseja implementar para produção de plantas em ambiente protegido, do tipo de cultura e do clima local. Assim, a energia elétrica será necessária, no mínimo, para iluminação, para acionamento de sistemas de irrigação e de equipamentos de limpeza e, naqueles casos

de projetos mais elaborados, para o funcionamento de mecanismos de condicionamento do ambiente (ventiladores, sistemas de resfriamento evaporativo adiabático, sistemas automáticos de abertura e fechamento de janelas, sistemas automáticos de sombreamento) e de sistemas de cultivo sem solo. É desejável que se tenha disponibilidade de fonte trifásica de energia elétrica; mas esta não é, na maioria dos casos, a realidade de áreas rurais, que contam, somente, com a distribuição monofásica, boa parte dessa no sistema MRT (Monofásico com Retorno por Terra), que apresenta limitações de carga. Recomendável que se possa contar, ainda, com serviços de telefonia e, se possível, de correios, facilitando a comunicação com clientes e fornecedores.

- **tamanho e forma da propriedade:** a área deve ser suficiente para acomodar as estruturas para cultivo protegido e demais instalações acessórias, como depósitos para insumos, áreas para armazenagem de produtos, área para carga e descarga, acomodação de pessoal (escritório, cozinha, banheiros), além de estacionamentos e carregadores. Ainda, na escolha do local, deve-se prever a possibilidade de ampliação da superfície coberta pelos abrigos para cultivo protegido, como resultado da expansão do empreendimento. Propriedades com formato muito irregular podem dificultar a distribuição das construções, complicando o estabelecimento de um *lay-out* satisfatório do ponto de vista da eficiência da mão de obra e do fluxo de produtos e de insumos.

2.2 O abrigo para cultivo protegido

O principal propósito para as estruturas de cultivo protegido é o estabelecimento de um ambiente interno favorável ao desenvolvimento das plantas, independentemente das condições ambientais externas.

Inicialmente concebidos para elevar a temperatura do ar, através do ‘efeito estufa’, com o intuito de permitir o cultivo de plantas em regiões ou em períodos de baixas temperaturas, atualmente, os abrigos para cultivo protegido estão difundidos por todas as regiões, cumprindo as mais diversas funções, como a de proteção contra fortes e constantes ventos (efeito quebra-vento), proteção contra radiação excessiva (efeito guarda-sol), proteção contra as chuvas intensas e frequentes (efeito guarda-chuva), em regiões tropicais e subtropicais e, mesmo, proteção contra condições de baixa umidade relativa (efeito oásis), em regiões áridas.

Para que a estrutura de proteção possa cumprir sua finalidade de forma eficiente, o projeto deve considerar a espécie que se deseja cultivar e suas demandas específicas, bem como as condições climáticas locais, optando pelo material de cobertura e tipo de estrutura adequados.

2.3 Caracterização do material de cobertura

Conforme Giacomelli e Roberts (1993), os materiais para cobertura de abrigos para cultivo protegido podem ser de três tipos: vidro, painéis plásticos rígidos e filmes plásticos.

2.3.1 Vidro

O vidro foi o primeiro material de cobertura empregado na cobertura de abrigos com produção comercial. Não sofre processo de envelhecimento, mantendo suas características ópticas e mecânicas indefinidamente, e não é inflamável, porém apresenta pequena resistência a impacto e elevado peso por unidade de superfície (10 kg m^{-2} , para lâminas com 4 mm de espessura), exigindo estruturas de suporte mais resistentes, além de não se adaptar a qualquer formato de cobertura e apresentar alto custo. Possui elevada transparência (85%-95%) às radiações de

onda curta e é totalmente opaco às radiações de ondas longas (ou térmicas), constituindo-se, opticamente, no material de referência para obtenção do efeito estufa (DUNCAN; WALKER, 1975; GIACOMELLI; ROBERTS, 1993; BRIASSOULIS et al., 1997a; BRIASSOULIS et al., 1997b; HANAN, 1998). No Brasil, o vidro não é utilizado na construção de abrigos para cultivo protegido cuja finalidade seja a produção comercial.

2.3.2 Painéis plásticos rígidos

O advento dos plásticos determinou profundas mudanças na construção dos abrigos, por reduzir sensivelmente seu custo, permitindo ampla difusão das técnicas de cultivo protegido, inclusive para os países em desenvolvimento.

Dentre os painéis rígidos, os mais comuns são o polimetacrilato de metila (PMMA) ou acrílico, o policarbonato (PC), o policloreto de vinila (PVC) e o poliéster reforçado com fibra de vidro (FRP). Podem ser encontrados na forma de painéis corrugados ou de chapas estruturadas de parede dupla (placas alveolares), como destacado na Figura 1.

Figura 1 - Painel corrugado (a) e painel estruturado de parede dupla (b), utilizados em coberturas e em fechamentos laterais de abrigos para cultivo protegido.

Fonte: Giacomelli e Roberts (1993) e Geoola, Kashti e Peiper (1998).

De modo geral, as placas rígidas são opacas ao ultravioleta, apresentam elevada transparência (80% a 90%) à radiação solar de ondas curtas (380-3000 nm), quando novas, e baixa transparência (<3%) às radiações de ondas longas (>3.000 nm). Ainda, apresentam boa resistência a impacto, baixo peso por unidade de superfície (1,5 a 5 kg m⁻²), inflamabilidade variável com o material, resistência à abrasão menor que a do vidro (são arranhados mais facilmente) e têm duração entre 10 e 20 anos (GIACOMELLI; ROBERTS, 1993; SERRANO CERMEÑO, 1994; BRIASSOULIS et al., 1997a; BRIASSOULIS et al., 1997b; HANAN, 1998; PAPADAKIS et al., 2000; CASTILLA, 2005). As propriedades ópticas, principalmente a transparência às radiações de ondas curtas, deterioram com o envelhecimento do material, são de elevado custo e, praticamente, não são usadas no Brasil.

2.3.3 Filmes Plásticos

Os filmes plásticos correspondem, nos últimos 35-40 anos, ao material mais largamente empregado na cobertura de abrigos para cultivo protegido, em todo o mundo. Os mais utilizados são o policloreto de vinila (PVC), o polietileno de baixa densidade (PEBD) e o poli (etileno-co-acetato de vinila) ou copolímero de EVA.

2.3.3.1 Policloreto de Vinila (PVC)

Os filmes de PVC, embora muito utilizados no Japão, representam uma pequena fração dos filmes plásticos empregados em cobertura de abrigos para cultivo protegido, no Brasil e no mundo. Com densidade de 1.300 kg m^{-3} a 1.400 kg m^{-3} (BRIASSOULIS et al., 1997b), apresentam transmissividade (relação entre a radiação incidente e a transmitida, em determinada faixa de comprimento de ondas) em torno de 90%, para radiação fotossinteticamente ativa (RFA, 400-700 nm), e de 10% a 15%, para as radiações de ondas longas (PAPADAKIS et al., 2000; CASTILLA, 2005), quando novos. Têm menor susceptibilidade à oxidação, maior resistência ao impacto e maior resistência à abrasão que o PEBD, porém escurecem com o envelhecimento, além de atraírem (ação eletrostática de superfície) e de reterem (ação adesiva dos plastificantes usados na fabricação do filme) poeira da atmosfera, reduzindo sua transparência (ROBLEDO DE PEDRO; MARTIN VICENTE, 1988; ALPI; TOGNONI, 1991; GIACOMELLI; ROBERTS, 1993; SERRANO CERMEÑO, 1994; BRIASSOULIS et al., 1997b; PAPADAKIS et al., 2000). Os fatores que limitam a expansão no uso dos filmes de PVC são seu custo mais elevado, em comparação com o PEBD, e o fato de que sua queima produz dioxina, bastante danosa ao ambiente e à saúde (PAPADAKIS et al., 2000).

2.3.3.2 Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)

De maneira geral, no mundo, a maior parcela da área coberta com material plástico, destinada ao cultivo protegido, utiliza filmes de PEBD, devido às suas boas propriedades mecânicas e ópticas, bem como ao seu preço extremamente competitivo (BRIASSOULIS et al., 1997a; DILARA; BRIASSOULIS, 2000).

Trata-se, também, do material mais utilizado no Brasil e, por sua importância, será discutido, a seguir, de forma mais detalhada.

Os filmes novos de PEBD têm de 85% a 90% de transparência à radiação solar de ondas curtas e valores semelhantes de transmissividade para a RFA, porém, distintamente de outros materiais, são, também, muito transparentes às radiações térmicas (ou de ondas longas), com valores de transmissividade que se situam entre 60% e 80% (DUNCAN; WALKER, 1975; GODBEY; BOND; ZORNING, 1979; ALPI; TOGNONI, 1991; PAPADAKIS et al., 2000; CASTILLA, 2005). Outra característica óptica do material é a sua capacidade de dispersão dos raios solares, que resulta em desejável incremento na parcela de radiação difusa, no interior dos abrigos (GIACOMELLI; ROBERTS, 1993; FARIAS et al., 1993b).

Com densidade entre 920 kg m^{-3} e 950 kg m^{-3} , os filmes de PEBD apresentam resistência ao impacto variando entre 2 N e 5 N, boa flexibilidade, resistência à tração relativamente baixa (valores de referência, na literatura, variando entre 4 e 25 MPa) e boa resistência ao rasgamento, variando de 5 N a 20 N (início) e de 187 N mm^{-1} a 228 N mm^{-1} (propagação), como compilado por Briassoulis et al. (1997b). Ainda, apresentam boa resistência ao ataque químico em temperatura ambiente, não sendo solúveis à maioria dos solventes orgânicos. A elevação da temperatura torna o PEBD susceptível ao ataque de hidrocarbonetos aromáticos, alifáticos e clorados.

A durabilidade dos filmes de PEBD é relativamente baixa e, normalmente, não ultrapassa o horizonte de três anos de uso. Terminada sua vida útil, passa a ser tratado como resíduo e, via de regra, é disposto de forma inadequada, muitas vezes queimado ou enterrado, o que pode resultar em problemas ambientais.

O curto tempo de vida útil deve-se à deterioração do material por diferentes mecanismos. Os mais importantes, para filmes de PEBD usados como cobertura de abrigos para cultivo protegido, são discutidos por Dilara e Briassoulis (2000) e Briassoulis et al. (2004):

- **degradação térmica:** a dissociação térmica (ou despolimerização devido à temperatura) é insignificante em condições de campo, mesmo quando há contato do filme com elementos

estruturais metálicos do abrigo, em que a temperatura pode alcançar os 70°C – 80 °C. O maior efeito de altas temperaturas está relacionado ao incremento da velocidade de várias reações de oxidação, indiretamente contribuindo para a degradação do filme de PEBD.

- **fotodegradação:** a radiação ultravioleta (UV), entre 290 nm e 400 nm, é absorvida pelo filme plástico, determinando a quebra de ligações químicas e a despolimerização, causando a fotodegradação. Os radicais livres, assim produzidos, reagem com o oxigênio atmosférico, prosseguindo o processo de deterioração, chamado, então, de foto-oxidação. Enquanto a fotodegradação afeta todo o filme de PEBD, a foto-oxidação ocorre somente próxima à superfície, uma vez que o processo oxidativo é limitado pela difusão do oxigênio para o interior do filme plástico. Na verdade, o PEBD puro é inerte à foto-oxidação, mas a presença de impurezas ou de resíduos de catalisadores, com grupos cromofóricos, introduzidos durante a fabricação, dão fotossensibilidade aos filmes e iniciam o processo de foto-oxidação pela formação de radicais livres. Devido à presença dessas impurezas, a maior sensibilidade dos filmes de PEBD ocorre para radiação UV de 300-310 nm e 340 nm.
- **degradação mecânica:** estresses impostos por cargas excessivas sobre o filme de PEBD, decorrentes de projetos inadequados (geometria e tipo de estrutura adotados, forma e tensão de fixação do filme plástico) e da própria ação do vento, podem determinar tensões de tração e de rasgamento que resultem em degradação do material por meio da quebra de ligações (raro), do deslizamento das cadeias ou da mudança de conformação das cadeias poliméricas. Concorrem ainda para degradação direta, resultado da ação do vento, o desgaste do filme pela fricção com elementos estruturais e a abrasão decorrente da ação de partículas suspensas no ar sobre a superfície do filme. Também o granizo, através do impacto das pedras de gelo, pode puncionar o filme. Como efeito indireto dos estresses mecânicos, há a aceleração do processo de fotodegradação.
- **degradação química:** a poluição do ar, o uso de defensivos agrícolas e a umidade excessiva podem reduzir a vida útil do filme plástico devido a reações que promovem mudanças na estrutura química dos aditivos utilizados na fabricação do filme, determinando a redução na sua atividade. Poluentes como hidrocarbonetos aromáticos, óxidos de nitrogênio (NO, NO₂) e de enxofre (SO₂) podem ser absorvidos pelo filme e gerar grupos cromofóricos que, pela absorção de radiação UV, aceleram o processo de foto-oxidação. Também o uso de pesticidas contendo enxofre e halogênios (principalmente, cloro) aceleram sensivelmente o processo de fotodegradação do plástico, pela inibição da atividade de aditivos estabilizadores de radiação UV. Ainda, elevada umidade relativa do ar, com condensação na superfície do filme, e chuva em excesso podem determinar a remoção gradual de aditivos solúveis em água, utilizados na formulação do filme de PEBD, e, consequentemente, reduzir a resistência à oxidação, aumentando a velocidade de degradação.

Os processos de degradação podem ocorrer simultaneamente e interagir, mas não há dúvida de que a fotodegradação assume a maior importância, dado que, pela finalidade de sua aplicação, os filmes plásticos de PEBD, usados como cobertura de abrigos para cultivo protegido, sofrem grande exposição à radiação solar. A fim de prolongar a vida útil dos filmes submetidos a essa condição de aplicação, são utilizados aditivos estabilizadores de radiação UV, que, modernamente, dividem-se em duas categorias: os absorvedores de radiação UV e os captadores de radicais livres, conhecidos por HALS.

Os absorvedores UV competem com os cromóforos na absorção de radiação ultravioleta, reduzindo a formação de radicais livres, e a energia absorvida é dissipada na forma de radiação térmica. Esta classe de estabilizadores parece atuar melhor em filmes com espessura maior que 100 µm (DILARA; BRIASSOULIS, 2000; MUNARO, 2000; BRIASSOULIS et al., 2004). Os principais absorvedores de UV utilizados são a benzofenona e o benzotriazol (Figura 2), que devem ser introduzidos em concentrações elevadas, para que sejam eficientes em retardar a degradação do plástico pela foto-oxidação.

Figura 2 - Estrutura típica da benzofenona e do benzotriazol, que atuam como aditivos estabilizadores de radiação UV (absorvedores UV).

Fonte: SpecialChem® (2008).

Diferentemente dos absorvedores de UV, as aminas estericamente bloqueadas ou HALS (*hindered amine light stabilizers*) não absorvem a radiação UV. Seu modo de ação consiste na captura de radicais livres formados na foto-oxidação, que é, então, inibida ou retardada (DILARA; BRIASSOULIS, 2000; BRIASSOULIS et al., 2004)

Esses estabilizadores UV, derivados da piperidina, são incolores e pouco interferem na transparência do filme plástico, para aqueles comprimentos de onda que interessam ao desenvolvimento das plantas. Apresentam como vantagem o fato de que, mesmo em baixas concentrações, podem apresentar bons resultados, independentemente da espessura do filme. Ainda, as HALS não são consumidas durante a estabilização, mas são regeneradas em um processo cíclico (Figura 3), o que aumenta muito a sua eficiência (SPECIALCHEM®, 2008).

Figura 3 - Mecanismo simplificado de estabilização pelas HALS.

Fonte: SpecialChem® (2008).

As tecnologias mais recentes de produção de filmes multicamadas (normalmente, três camadas), através do processo de coextrusão, permitem que as camadas individuais possam apresentar composições específicas, conforme a necessidade, concorrendo para maior durabilidade do material (GIACOMELLI; ROBERTS, 1993; BRIASSOULIS et al., 2004).

Com o intuito de aprimorar a qualidade do material e/ou atender condições particulares de cultivo, uma série de aditivos pode ser incorporada ao filme, durante o processo de fabricação, conferindo-lhe características especiais, como discutido por Papadakis et al. (2000), Briassoulis et al. (2004) e Castilla (2005):

- **aditivos bloqueadores de radiação infravermelho de ondas longas:** tem a função de alterar o balanço térmico dos abrigos, melhorando a conservação de energia dos mesmos;
- **aditivos difusores de luz:** conferem ao material de cobertura maior capacidade de dispersão da radiação solar, evitando a formação de sombras sólidas no interior dos abrigos e permitindo melhor distribuição da luz para a cultura;
- **aditivos fotosselativos:** atribuem ao filme características de filtro, propiciando que alguns comprimentos de onda sejam bloqueados e outros não, com possibilidade de alterações no balanço vermelho/vermelho-distante e, mesmo, de incremento artificial na disponibilidade de radiação na região do azul e do vermelho, pela absorção de radiação UV e re-emissão fluorescente de luz. Afeta indiretamente a produtividade dos cultivos pela redução no ataque de pragas e de doenças;

- **aditivo antigotejo:** visa prevenir a formação de gotas na superfície inferior do filme plástico, decorrentes de condensação de vapor d'água. Promove a redução da diferença de tensão superficial entre as gotas de água e a lâmina plástica, cujo resultado é a formação de um filme de água que não prejudica a transmissão da luz e, também, evita a queda de gotas sobre as plantas, reduzindo o risco de doenças fúngicas.

É de se esperar que o aprimoramento tecnológico dos agrofilmes de PEBD conduza ao incremento de produtividade dos cultivos protegidos e ao aumento da vida útil do material, resultando em melhor relação custo/benefício para o produtor, sem desconsiderar a redução nas demandas ambientais que podem ser alcançadas pelo menor número de substituições do material de cobertura dos abrigos.

2.3.3.3 Poli(etileno-co-acetato de vinila) ou copolímero de EVA

É obtido pela introdução, durante a polimerização do etileno, de um segundo monômero (acetato de vinila) de natureza polar e maior peso molecular, que provoca a destruição de parte da regularidade das cadeias (ROBLEDO DE PEDRO; MARTIN VICENTE, 1988).

Com baixa percentagem de acetato de vinila, as propriedades do copolímero de EVA são semelhantes às do PEBD (MARINHO, 2005) e, nos filmes agrícolas, este conteúdo varia de 4% a 18% (SERRANO CERMEÑO, 1994; DILARA; BRIASSOULIS, 2000), embora os valores mais usuais se situem entre 12% e 14% (CASTILLA, 2005).

Em termos ópticos, os copolímeros de EVA têm transparência em torno de 90% à radiação RFA, e entre 18% e 27%, às radiações de ondas longas (GIACOMELLI; ROBERTS, 1993; PAPADAKIS et al., 2000; CASTILLA, 2005). Ainda, são mais resistentes às radiações ultravioleta que o PEBD (DILARA; BRIASSOULIS, 2000; MARINHO, 2005).

Com o incremento no conteúdo de acetato de vinila no copolímero, são aumentadas a densidade, a permeabilidade, a solubilidade e a flexibilidade a baixas temperaturas, e diminuídas a rigidez e a dureza superficial (ROBLEDO DE PEDRO; MARTIN VICENTE, 1988).

Os copolímeros de EVA têm resistência à tração semelhante à do PEBD, porém apresentam como desvantagem uma maior fluência (*creep*), não se recomendando seu uso em regiões ventosas (BRIASSOULIS et al., 1997b; CASTILLA, 2005). Também apresentam aderência em sua superfície e tendem a atrair poeira, diminuindo a transparência à radiação solar (DILARA; BRIASSOULIS, 2000; PAPADAKIS et al., 2000).

Filmes agrícolas de elevada qualidade podem ser obtidos com a fabricação, por coextrusão, de lâminas com três camadas (tricapa), em que o copolímero de EVA é introduzido entre duas camadas de PEBD, minimizando os problemas de fluência e de aderência de poeira, inerentes do copolímero, e incrementando as qualidades ópticas do produto final, pela obtenção de filmes de maior opacidade às radiações térmicas, bem como sua durabilidade, devido ao aumento da resistência aos raios UV (DILARA; BRIASSOULIS, 2000; CASTILLA, 2005).

2.4 Caracterização das estruturas

Os abrigos para cultivo protegido podem apresentar diferentes formas arquitetônicas e ampla gama de materiais na construção das estruturas. A adoção de um ou outro projeto dependerá da cultura que se pretende cultivar, do clima local e do nível tecnológico a ser adotado.

2.4.1 Arquitetura dos abrigos

Os modelos encontrados no Brasil são apresentados a seguir:

- **modelo capela:** bastante utilizado pelos agricultores, apresenta teto plano e simétrico, em duas águas. Pode ser construído em pavilhão único (Figura 4a) ou geminado (Figura 4b). O teto deve ser construído com inclinação entre 20° e 30°, de modo a permitir o escoamento da água de chuva e adequada transmissividade da radiação solar;
- **modelo assimétrico:** tem teto plano e assimétrico, também em duas águas (Figura 4c). O plano (ou água) com menor inclinação deve estar voltado para o norte, para melhor condição de luminosidade no interior do abrigo. É indicada para regiões com latitudes elevadas, como o sul do país;
- **modelo arco:** apresenta teto semicircular ou semielíptico, com paredes verticais. Pode ser construído em pavilhão único (Figura 4d) ou geminado (Figura 4e). Bastante utilizado em todo o mundo; corresponde à geometria de cobertura que favorece a transmissão da radiação solar e o escoamento de água da chuva. Permite melhor acomodação e fixação do filme plástico;
- **modelo plano:** também conhecido por modelo Londrina, em alusão ao município onde foi bastante difundido, consiste em uma variação do modelo *parral*, utilizado na região de Almeria, na Espanha. Apresenta o teto (quase) plano, e a estrutura de suporte do filme plástico é constituída por uma malha de arame (Figura 4f). Não é adequado para regiões com alta pluviosidade;
- **modelo ‘dente de serra’:** de teto plano ou curvo, com vertentes desencontradas, tem abertura ao longo da cumeeira que funciona como ventilação zenital. Assim, a ventilação natural (ou passiva) tem sua eficiência aumentada pela simultaneidade da ação dos ventos e do efeito chaminé. Podem ser de pavilhão único (Figura 4g) ou geminados (Figuras 4h, 4i e 4j).

Figura 4 - Esquemas de abrigos para cultivo protegido, modelo capela, em pavilhão único (a) e geminado (b); modelo assimétrico de teto plano em duas águas (c); modelo arco em pavilhão único (d) e geminado (e), modelo ‘dente de serra’ em pavilhão único, modelo plano (f), (g) e geminado (h, i, j).

Fonte: Adaptado de Zabeltitz (1990), Serrano Cermeño (1994), Elsner et al. (2000b) e FAO (2002).

2.4.2 Material usado na construção da estrutura dos abrigos

2.4.2.1 Estruturas de madeira

As estruturas de madeira constituem-se, normalmente, nas primeiras a serem adotadas por quem se inicia no cultivo protegido, dada a facilidade de aquisição do material e seu custo bastante competitivo com o de outros materiais.

A madeira apresenta como vantagens uma baixa condutividade térmica, baixo coeficiente de dilatação (desejável quando se trabalha com vidro ou placas rígidas de plástico, como material de cobertura), alta resistência em relação ao seu baixo peso e facilidade de manuseio na construção (CALIL JUNIOR; DIAS, 1997; HANAN, 1998; ELSNER et al., 2000b; DE BELIE et al., 2000).

Todavia é material higroscópico que sofre alterações dimensionais e modificações de suas propriedades mecânicas devido a variações em sua umidade. Ainda, está sujeito à deterioração biológica por ação de fungos e de insetos (ELSNER et al., 2000b; DE BELIE et al., 2000). Além disso, comparativamente às estruturas metálicas, as peças de madeira precisam de seções maiores para resistir aos mesmos esforços, o que determina estruturas com maior nível de sombreamento para os cultivos.

Resultados satisfatórios, no que tange à durabilidade da estrutura, podem ser obtidos, segundo Calil Junior e Dias (1997) e De Belie et al. (2000), com:

- **escolha da madeira:** a escolha deve recair, quando possível, sobre espécie cuja madeira seja, naturalmente, mais durável;
- **projetos adequados:** o projeto deve atentar para detalhes que possam manter a madeira seca, ou protegida da umidade, evitando-se, por exemplo, seu contato direto com o solo;
- **preservação química da madeira:** os quatro produtos mais utilizados são o creosoto, o pentaclorofenol, o CCA (Cromo-Cobre-Arsênio) e o CCB (Cromo-Cobre-Boro), e os principais métodos de preservação são pincelamento, aspersão, pulverização, imersão, banho quente-frio, substituição de seiva e autoclave (pressão).

No Brasil, embora os projetos de estruturas de madeira devam ser realizados por profissionais habilitados, segundo normas técnicas (ABNT, 1997), a esmagadora maioria dos abrigos para cultivo protegido são construídos de forma empírica, com base em experiências práticas, resultando, via de regra, em estruturas superdimensionadas, com impacto negativo nos custos de construção.

2.4.2.2 Estruturas metálicas

As estruturas metálicas podem assumir as mais variadas conformações, conferindo, ao projetista, grande liberdade arquitetônica na solução de demandas relativas ao clima local e à operação das instalações. Devido à sua elevada resistência mecânica, as estruturas metálicas necessitam de seções muito pequenas para resistir aos esforços a que estão submetidas durante a construção e a operação de abrigos para cultivo protegido. Assim, torna-se possível a construção de abrigos com um nível bastante baixo de sombreamento da cultura por elementos estruturais.

Por outro lado, essas estruturas são excelentes condutoras de calor e se aquecem até temperaturas elevadas, em condições de campo, podendo causar danos aos materiais plásticos, nas regiões de contato entre ambos, o que pode ser solucionado com o uso de materiais de proteção que impeçam o contato plástico-metal.

Ainda, os materiais metálicos estão sujeitos à deterioração por processos de corrosão (ou oxidação), que podem ser acentuados, em condições adversas como as verificadas no cultivo protegido, devido à elevada umidade do ambiente, à presença de sais (fertilizantes) e de agentes

químicos contendo cloro e enxofre (defensivos agrícolas). Os metais possuem diferentes níveis de resistência à corrosão.

O alumínio é bastante resistente à oxidação por que forma, rapidamente, sobre sua superfície, um filme oxidado incolor, muito aderente e não poroso, que impede o contato do metal com o oxigênio e interrompe o processo corrosivo, o que é conhecido por apassivação. Todavia, em contato com soluções ácidas ($\text{pH} < 4$), soluções alcalinas ($\text{pH} > 8$) ou eletrólitos que contenham íons de cloro (condições facilmente encontradas no ambiente agrícola), o alumínio tem seu filme natural de proteção destruído e o processo de corrosão prossegue (DE BELIE et al., 2000).

Além de sua maior resistência à oxidação, as estruturas de alumínio apresentam baixo peso e adequada resistência mecânica aos esforços de interesse na construção de abrigos para cultivo protegido, contudo têm custo bastante elevado. Cuidados especiais devem ser observados quando se utilizam peças de aço em contato com peças de alumínio, a fim de se evitar a corrosão galvânica das primeiras (HANAN, 1998).

O aço é o material mais utilizado na construção de estruturas para cultivo protegido. Disponível em barras com seções com diferentes perfis ou na forma de tubos, embora de custo relativamente baixo, quando comparado ao alumínio, e de excelente resistência mecânica, é pouco resistente à corrosão. Em função disto, é desejável que se utilize aço galvanizado na construção dos abrigos; entretanto, se o material não tiver qualquer tratamento anticorrosivo, recomenda-se que seja pintado.

Para que a pintura seja efetiva na proteção contra a deterioração da estrutura metálica, deve apresentar, no mínimo, uma primeira camada, chamada pintura de fundo, realizada com tetraóxido de chumbo (zarcão) ou outro anticorrosivo, e outra camada de acabamento, com o uso de tintas apropriadas para chapas metálicas, como aquelas à base de alumínio. De qualquer maneira, a preferência deve recair, sempre que possível, na utilização do aço galvanizado, que tem vida útil muito superior àquele simplesmente pintado.

Embora existam vários exemplos de sucesso na construção artesanal de abrigos simples de estrutura metálica, o mais comum, e recomendado, é o fornecimento por empresas especializadas, com escala industrial, pois, além de trabalhar com projetos elaborados dentro de normas técnicas e de utilizar material devidamente tratado, as mesmas respondem, também, pelo transporte do material e montagem dos abrigos.

2.4.2.3 Estruturas de concreto

Apesar de suas boas características mecânicas, as estruturas de concreto são muito pouco utilizadas na construção de abrigos para cultivo protegido. As peças estruturais são demasiado pesadas e as seções mínimas recomendadas são suficientes para sombrear, de modo indesejável, os cultivos.

Essas estruturas, quando utilizadas no ambiente agrícola, bastante agressivo ao concreto em termos químicos, devem ser confeccionadas com cuidados especiais:

- escolha correta do tipo de cimento e de agregado, a fim de que se possa conferir maior resistência a íons agressivos (Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{+2} , NH_4^+) e à presença de ácidos;
- correta definição do traço e da relação água-cimento, bem como do grau de adensamento, com finalidade de se obterem peças pouco porosas;
- dimensionamento da armadura com seções maiores como prevenção à redução da seção pela corrosão;
- dependendo do local e da condição de aplicação da peça, a realização de tratamento de superfície (DE BELIE et al., 2000).

2.4.2.4 Combinação de materiais

A combinação de materiais é bastante comum, principalmente nas construções artesanais. Assim podem ser encontrados abrigos para cultivo protegido (normalmente o modelo arco) com cobertura de estrutura metálica apoiada sobre postes de madeira ou de concreto (pouco comum), ou ainda malha de arames de aço esticados, também sobre postes de madeira ou concreto, como no modelo plano (tipo Londrina).

A escolha das combinações adequadas pode reduzir os custos de construção dos abrigos, pela substituição de materiais de maior custo por outros mais baratos, bem como pela diminuição dos custos de mão de obra e de transporte, sem que isso implique o aumento dos custos de manutenção ou corresponda, necessariamente, à redução da vida útil da construção.

2.5 Cargas atuantes na estrutura dos abrigos

As estruturas dos abrigos para cultivo protegido devem maximizar a transmissão da radiação solar, para que as plantas possam se desenvolver adequadamente, mas, também, devem estar aptas a suportar, de forma segura, os diferentes carregamentos a que estão submetidas.

O colapso da estrutura pode significar prejuízos de grande monta, alguns diretos, relacionados à perda do abrigo e, eventualmente, do cultivo, e outros indiretos, advindos da paralisação na operação da estrutura, para seu reparo ou substituição, período no qual se deixa de produzir.

Com base no que é apresentado por Hanan (1998), Elsner et al. (2000a) e Mantallana Gonzalez e Montero Camacho (2001), mas considerando-se as condições e realidades brasileiras, as cargas podem ser classificadas em:

- **permanentes:** correspondem ao peso próprio da estrutura e do material de cobertura. Podem ser incluídas as cargas de equipamentos fixos, apoiados na estrutura, tais como sistemas de ventilação ou de resfriamento, sistemas de sombreamento, sistemas de irrigação, entre outros. Os filmes plásticos usados na cobertura de abrigos representam cargas muito pequenas (da ordem de 100 g m^{-2} , para filmes de $100 \mu\text{m}$ de espessura), quando comparados a outros materiais, como o vidro, ou à própria estrutura;
- **variáveis:** são cargas de ação eventual, e as mais importantes correspondem à ação do vento sobre as paredes do abrigo (teto e paredes laterais) e ao peso das plantas, quando o sistema de tutoramento é apoiado na estrutura. Outras cargas variáveis são decorrentes do peso da água de chuva acumulada na cobertura (deve ser evitado e só ocorre por falha de projeto ou de construção, com fixação inadequada do filme plástico) e de cargas de serviço, que surgem durante a construção ou a manutenção do abrigo, e referem-se ao peso de homens trabalhando e de seus equipamentos.

A simultaneidade de ocorrência das cargas deve ser considerada em sua pior combinação e o dimensionamento da estrutura deve levar em conta as propriedades mecânicas dos materiais utilizados, segundo as normas técnicas em vigor.

As cargas devem ser transmitidas com segurança ao solo através de blocos de fundação, que, também, devem responder pela ancoragem da estrutura.

2.6 Dimensões

Para uma mesma superfície coberta, quanto maior a altura de pé-direito do abrigo, maior seu volume. Abrigos com maior volume exibem menores flutuações no microclima interno,

respondendo mais lentamente às mudanças externas de clima. Por outro lado, abrigos mais altos estão mais sujeitos à ação dos ventos e, portanto, demandam estruturas mais estáveis (ELSNER et al. 2000a).

Em regiões de clima quente, projetos que contemplem abrigos com maior altura de pé-direito proporcionam melhores condições de temperatura interna e de ventilação. Assim, a recomendação é que a altura de pé-direito não seja inferior a 2,5 m, nos abrigos de construção artesanal, e a 3,0 m, naqueles de fabricação industrial.

As dimensões de abrigos tipo capela, construídos em madeira, variam de 5 m a 10 m de largura por 20 m a 50 m de comprimento, para pavilhões isolados. Para abrigos geminados, a área total coberta é determinada pelas necessidades do produtor, porém os pavilhões têm em torno de 7 m de largura, cada.

Nos modelos capela de fabricação industrial, a largura de pavilhões isolados varia de 5 m a 8 m, dependendo do fabricante, e o comprimento é obtido pela adição, conforme a necessidade, de módulos de 3 m a 5 m. Nos abrigos geminados, a largura total é múltipla da largura individual e é função do número de pavilhões, enquanto o comprimento é função do número de módulos.

Para os modelos arco, de construção artesanal, a largura varia de 5 m a 7 m, e não há limitações para o comprimento, que normalmente não excede os 50-60 m. Para aqueles de fabricação industrial, o padrão de medidas é semelhante aos dos modelos capela.

3 O microclima no ambiente protegido

O microclima no abrigo para cultivo protegido difere sensivelmente das condições climáticas externas, embora as variações do primeiro sejam bastante dependentes das variações destas últimas.

Podem ser observadas modificações quantitativas e qualitativas da radiação, bem como alterações na temperatura e na umidade do ar, em função de uma série de fatores relacionados com o projeto e o manejo dos abrigos e, também, com a espécie cultivada.

Ainda, o microclima que se forma no interior do abrigo não é uniforme, variando do centro para as extremidades e do solo para o teto.

3.1 Conceituando o ‘efeito estufa’

O Sol, considerado como corpo negro cuja temperatura de superfície está em torno de 6.000 K, emite radiação com espectro entre $0,2 \mu\text{m}$ e $2,5 \mu\text{m}$, conhecida por radiação solar ou de ondas curtas, com máxima emissão, segundo a Lei de Wien, por volta de $0,5 \mu\text{m}$.

A radiação solar, ao incidir sobre a cobertura transparente dos abrigos para cultivo protegido, tem uma parcela refletida e outra transmitida (nas formas direta e difusa) para o interior, enquanto uma fração muito pequena é absorvida pela cobertura (Figura 5).

No interior do abrigo, as superfícies protegidas (plantas, solo, estrutura, equipamentos) refletem de volta parte da radiação solar que atravessou a cobertura e o restante é absorvido, determinando seu aquecimento, à exceção das plantas, que mantêm sua temperatura próxima (normalmente abaixo) da temperatura do ar, por perderem grande parte do excesso de energia através da transpiração (PAPADAKIS et al., 2000).

As superfícies aquecidas no interior do abrigo emitem energia na forma de radiação de ondas longas, entre $2,5\ \mu\text{m}$ e $25\ \mu\text{m}$ (infravermelho térmico), a qual é, parcialmente, interceptada pela cobertura, em percentual que depende da transparência do material a esta faixa do espectro eletromagnético. Esse processo impede que parcela da radiação de ondas longas emitida pelas superfícies protegidas seja dissipada para o espaço e, dessa maneira, parte da energia recebida pelo abrigo é armazenada.

Figura 5 - Esquema do ‘efeito estufa’ propriamente dito (efeito radioativo), em que a cobertura transmite a radiação solar e intercepta as radiações térmicas emitidas pelas superfícies protegidas.

Fonte: Os autores.

O aquecimento do ar, por sua vez, ocorre através de trocas de calor por convecção, após seu contato com superfícies aquecidas pela absorção de radiação solar, tais como o solo, a cobertura, a estrutura e os equipamentos. A quantidade de calor recebida depende do gradiente térmico, do coeficiente de convecção e da taxa de renovação do ar. Dado que, no ambiente protegido, o ar se encontra relativamente confinado, com restrições para troca de energia e massa com o ar externo, o aquecimento interno do abrigo é bastante sensível durante o dia (PAPADAKIS et al., 2000; CASTILLA, 2005).

O ‘efeito estufa’, modernamente, refere-se, então, à combinação dos efeitos dos processos radioativo e convectivo.

3.2 Alterações na disponibilidade de radiação no interior dos abrigos

A radiação solar é fundamental para o crescimento das plantas, por ser necessária para a fotossíntese, processo básico da produção vegetal, e por se constituir no principal fator que afeta a transpiração. Grosseiramente, o incremento de 1% na disponibilidade de radiação resulta em um aumento de 1% na produtividade das culturas, embora essa regra seja verdadeira somente quando os níveis de saturação nos cloroplastos não tenham sido alcançados, as concentrações de CO_2 não sejam limitantes e a temperatura do ar seja adequada (PAPADAKIS et al., 2000).

Assim, o nível de radiação no interior dos abrigos é determinante da produção, e pequenas alterações na transmissividade podem ter efeito significativo no desenvolvimento das plantas.

O material de cobertura ideal deveria permitir 100% de transmissividade à radiação solar, particularmente à radiação fotossinteticamente ativa (0,4 μm e 0,7 μm), aquela efetivamente utilizada pelas plantas durante o processo de fotossíntese e responsável pela conversão de energia radiante em energia química; entretanto tal material não existe (HANAN, 1998).

O fluxo de radiação que atravessa a cobertura depende de diversos fatores:

- **hora do dia, dia do ano e latitude do local:** são fatores relacionados à posição relativa do Sol, que indicam o ângulo de incidência dos raios em determinada localidade e que, juntamente com a geometria e a orientação da cobertura, têm relação estreita com a disponibilidade de radiação no interior dos abrigos (KOZAI, 1977; KOZAI; KIMURA, 1977; GIACOMELLI; ROBERTS, 1993; HANAN, 1998; CASTILLA, 2005);
- **geometria da cobertura:** quanto menor o ângulo de incidência (aquele formado entre a perpendicular à cobertura e o raio solar), maior a transmissividade e menor a parcela de radiação refletida (Figura 6). Os projetos de abrigos para cultivo protegido devem prever formatos de cobertura que permitam ângulos favoráveis de incidência naqueles períodos do ano em que a disponibilidade de radiação é, naturalmente, menor (KOZAI, 1977; KURATA, 1990; SILVA, 1997; HANAN, 1998; SORIANO et al., 2004; CASTILLA, 2005);
- **orientação do abrigo:** entendida como a direção da linha da cumeeira, também está relacionada com o ângulo de incidência dos raios solares, interferindo na disponibilidade e na uniformidade de distribuição da radiação no interior dos abrigos. Em locais de maior latitude, principalmente no outono-inverno, a orientação leste-oeste permite maior transmissividade da radiação, porém a orientação norte-sul determina melhor distribuição da mesma, notadamente, para abrigos geminados (KOZAI, 1977; KOZAI; KIMURA, 1977; SKOV, 1989; KURATA, 1990; ASSIS; ESCOBEDO, 1998; PAPADAKIS et al., 1998; PIETERS; DELTOUR, 1999; CASTILLA, 2005), como ilustrado nas Figuras 7a e 7b. Para pavilhões isolados, a orientação leste-oeste é a melhor opção (ASSIS, 2004);
- **propriedades do material de cobertura:** os materiais comumente empregados na cobertura (vidro, plásticos rígidos estruturados, filmes plásticos de diversas natureza, telas plásticas) apresentam, como já discutido, distintas transmitâncias aos diferentes comprimentos de onda do espectro (DUNCAN; WALKER, 1975; GODBEY; BOND; ZORNING, 1979; NIJSKENS et al., 1985; BUREK; NORTON; PROBERT, 1989; BLISKA JR.; HONÓRIO, 1994; POLLET; PIETERS, 1999a; KITTAS; BAILLE; GIAGLARAS, 1999; COHEN; FUCHS, 1999; FARIA JUNIOR, 2001). A transmissividade pode ser alterada pela presença de poeira ou condensação de água nas superfícies interna e externa da cobertura e, no que se refere aos materiais plásticos, as propriedades ópticas podem se deteriorar com o tempo de uso, em função, basicamente, de processos de fotodegradação (POLLET; PIETERS, 1999b; POLLET; PIETERS, 2000; DILARA; BRIASSOULIS, 2000; PAPADAKIS et al., 2000; BRIASSOULIS et al., 2004; CASTILLA, 2005);
- **condições meteorológicas locais:** a predominância de radiação solar difusa (céu nublado) ou direta (céu limpo) interfere na transmissividade da cobertura, que, de maneira geral, é incrementada quando externamente predomina a radiação difusa. Nesse caso, não há influência significativa do formato da cobertura, uma vez que a radiação dispersa procede de todas as direções da abóbada celeste (GIACOMELLI; ROBERTS, 1993; RICIERI; ESCOBEDO, 1996; FARIA JUNIOR, 1997; HANAN, 1998; CASTILLA, 2005).

Figura 6 - Influência da inclinação da cobertura sobre o ângulo de incidência dos raios solares. Neste exemplo, para o mesmo dia do ano (inverno) e local (hemisfério sul), a cobertura com menor inclinação recebe os raios solares com maior ângulo de incidência, o que resulta em menor transmissividade.

Fonte: Os autores.

Para as condições brasileiras, de modo geral, ocorre uma redução de 5% a 35% na disponibilidade de radiação no interior dos abrigos, em comparação ao campo aberto, dependendo da região, do tipo de material da cobertura e do ângulo de elevação do Sol (MARTINS et al., 1999). Uma vez que as atenuações na radiação incidente podem ser relevantes, principalmente, no inverno, em altas latitudes, a sua disponibilidade no interior do ambiente protegido deve garantir, no mínimo, o limite trófico de $8,4 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ (ou $200 \text{ Kcal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e, assim, a produção de assimilados necessários para manter a cultura (CASTILLA, 1997; ANDRIOLO, 2000; FAO, 2002).

Figura 7 - Deslocamentos (A-B) e (C-D) da sombra da calha, ao longo do dia, em abrigo com orientação norte-sul (A) e em abrigo com orientação leste-oeste (B).

Fonte: Adaptado de Castilla (2005).

Além das modificações quantitativas da radiação solar no interior do abrigo, ocorrem, também, modificações qualitativas importantes, tanto na proporção de radiação difusa como na distribuição do espectro.

No interior dos abrigos para cultivo protegido, a parcela de radiação difusa é maior que externamente, mas essa capacidade de dispersão dos raios solares varia conforme o material utilizado na cobertura. O incremento na radiação difusa é desejável, já que, por ser multidirecional, atinge o dossel das plantas de maneira mais eficiente. Atualmente, é possível encontrar, no mercado, filmes plásticos fabricados com aditivos específicos, com elevada capacidade de dispersão da radiação solar (FARIAS et al., 1993b; RICIERI; ESCOBEDO, 1996; HANAN, 1998; CASTILLA, 2005).

O espectro de radiação que alcança as plantas também pode ser modificado pelo material de cobertura. Essas alterações qualitativas na radiação transmitida para o interior do abrigo para cultivo protegido têm efeito morfogenético e podem resultar em mudanças na arquitetura e na forma das plantas (KITTA; BAILLE, 1998; REISSER JUNIOR et al., 2003).

Paralelamente ao conceito de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), vários fisiologistas têm definido o conceito de 'radiação morfogenicamente ativa' (RMA), relacionada aos efeitos dos comprimentos de onda na faixa do azul e, principalmente, do vermelho (660 nm) e do vermelho-distante (730 nm), que atuam sobre o equilíbrio entre as formas ativas e inativas dos fitocromos, com reflexo na morfologia das plantas (KITTA; BAILLE; GIAGLARAS, 1999).

O modo mais fácil, e mais frequente, de caracterizar as respostas do fitocromo é através do cálculo da razão entre as densidades de fluxo de fótons na banda vermelho (G_{660}) e do vermelho-distante (G_{730}), conhecido por razão vermelho/vermelho-distante (ζ) ou, também, por índice morfogenético, definido por:

$$\zeta = \frac{\int_{655}^{665} E(\lambda) \cdot d(\lambda)}{\int_{725}^{735} E(\lambda) \cdot d(\lambda)} = \frac{G_{660}}{G_{730}}$$

em que $E(\lambda)$ corresponde à densidade de fluxo de fótons no comprimento de onda λ , conforme Kittas, Baille e Giaglaras (1999).

Incremento na razão ζ favorece a ramificação lateral e reduz a elongação do caule (ou haste), ao passo que o aumento no valor de ζ reduz a área foliar e a ramificação, incrementando a elongação do caule (ou haste), determinando a dominância apical (PAPADAKIS et al., 2000).

Trabalhos de Kittas e Baille (1998) e Kittas, Baille e Giaglaras (1999) demonstraram que os materiais de cobertura convencionais (não seletivos), entre eles o PEBD, não modificam significativamente a razão ζ no interior dos abrigos, em comparação ao ambiente externo. Todavia o uso de materiais especiais, como os filmes fluorescentes (coloridos), modifica sensivelmente a relação entre as bandas do vermelho e do vermelho-distante, o que pode se constituir em mais uma ferramenta no manejo das culturas.

3.3 Alterações na temperatura do ar no interior dos abrigos

A temperatura interna é resultado do balanço energético dos abrigos, sendo, portanto, bastante dependente da radiação incidente, das condições externas de movimentação do ar e da inércia da cobertura (KITTA et al., 1987; FARIA JUNIOR, 2001).

A radiação solar constitui a principal (quando não, a única) fonte de energia para os abrigos. Durante o dia, a cobertura, a estrutura e, principalmente, a superfície do solo absorvem parte da radiação incidente (ondas curtas) e sua temperatura aumenta. O ar, em contato com essas superfícies, absorve calor a uma taxa que depende das diferenças de temperatura, dos coeficientes de transferência de calor e dos níveis de ventilação, resultando na elevação de sua temperatura (ALPI; TOGNONI, 1991; SERRANO CERMEÑO, 1994; HANAN, 1998; PAPADAKIS et al., 2000).

Favorece ainda o maior aquecimento do ar, nas áreas sob proteção, o maior confinamento do mesmo, que dificulta os intercâmbios convectivos com o ambiente externo (PAPADAKIS et al., 2000; CASTILLA, 2005). Logo, dentro dos abrigos para cultivo protegido, podem ser alcançadas graduações, para as temperaturas máximas do ar, bastante superiores àquelas de área aberta

(HERTER; REISSER JR., 1987; FARIAS et al., 1993a; FARIA JUNIOR, 1994; FARIA JUNIOR, 1997; BURIOL et al., 2004; SOUSA et al., 2005; entre outros).

Todavia, no período noturno, as temperaturas internas se aproximam das externas, com valores de temperatura mínima ligeiramente superiores ou similares às encontradas fora do abrigo, em área aberta (FARIA JUNIOR et al., 1993; FARIA JUNIOR, 1997; BURIOL et al., 2004; SOUSA et al., 2005; entre outros). A velocidade com que as temperaturas internas se aproximarão das externas depende do material de cobertura, do volume de ar do abrigo e das condições externas de clima. Em estruturas de proteção com material de cobertura muito transparente às radiações térmicas, como os filmes de PEBD, em dias de céu claro e pouco vento, pode ocorrer até mesmo inversão térmica, em que as menores temperaturas são encontradas no interior do abrigo (CASTILLA, 2005).

A distribuição horizontal das temperaturas no interior dos abrigos não é uniforme, decrescendo do centro para as extremidades (CASTILLA, 2005), porém não de forma tão sensível quando se trata de pavilhões isolados (FARIA JUNIOR, 1994).

O perfil vertical de temperatura tem valores crescentes do solo para o teto (HERTER; REISSER JUNIOR, 1987; FARIA JUNIOR, 1994; ALPI; TOGNONI, 1991), resultado dos processos convectivos, ao que se deve estar atento, no projeto dos abrigos, no que se refere à altura de pé-direito e à posição das aberturas de ventilação.

3.4 Alterações na umidade do ar no interior dos abrigos

A umidade relativa do ar no interior dos abrigos para cultivo protegido depende da temperatura, da taxa de renovação e do aporte de vapor d'água procedente da transpiração das plantas e do solo.

Durante o dia, a umidade relativa do ar diminui com o incremento na temperatura, mesmo que a umidade absoluta aumente com a transpiração das plantas. À noite, a mesma se eleva com a queda de temperatura do ar, podendo alcançar a saturação, com condensação do vapor d'água sobre as superfícies do abrigo, principalmente, na cobertura (CASTILLA, 2005).

Em pavilhões isolados, os valores de umidade relativa não diferem daqueles observados externamente (MARTINS, 1992; FARIA JUNIOR, 1997; FARIA JUNIOR, 2001; SOUSA et al., 2005), porém, sob extensas áreas cobertas, podem ser encontradas amplitudes de variação da umidade relativa do ar distintas daquelas do ambiente externo.

O déficit de saturação de vapor d'água aumenta com a elevação da temperatura, resultando em maior demanda evaporativa do ar, nos horários mais quentes do dia. No interior dos abrigos, pode atingir níveis indesejáveis, reduzindo a condutância estomática, com consequências negativas sobre a fotossíntese e a transpiração (ALPI; TOGNONI, 1991; FARIA JUNIOR, 2001). Valores considerados adequados para o déficit de saturação, em ambiente protegido, situam-se entre 0,2 kPa e 1,0 kPa, embora sejam comuns valores entre 0 e 3,5 kPa (ALPI; TOGNONI, 1991).

4 Condicionamento térmico do ambiente protegido

Em regiões tropicais, um dos problemas mais relevantes diz respeito às altas temperaturas registradas no interior de abrigos destinados ao cultivo protegido de plantas. A maior preocupação com o condicionamento térmico refere-se à adoção de mecanismos eficientes de refrigeração que reduzam a temperatura interna.

Dentre esses mecanismos, encontram-se a ventilação natural (ou estática) e a ventilação forçada (ou mecânica), as quais podem, na melhor hipótese, reduzir a temperatura interna aos valores encontrados externamente. Assim, a redução da temperatura do ar através da ventilação pode ser

suficiente para se obterem níveis térmicos adequados às culturas, desde que a temperatura externa não seja, também, excessiva. Se houver a necessidade de reduções maiores de temperatura, então, deverão ser adotados mecanismos de resfriamento evaporativo.

O uso de telas de sombreamento também pode constituir-se em ferramenta para redução da temperatura dos abrigos, por meio da diminuição no aporte de radiação, mas devem ser utilizadas com critério, pois nem sempre são eficazes e podem resultar em prejuízo na produção pela redução excessiva na disponibilidade de radiação para as plantas.

4.1 Ventilação Natural

A ventilação natural é o método de condicionamento térmico mais empregado e aquele com menor custo. Ocorre em razão das diferenças de pressão causadas por ação do vento (efeito do vento) ou por diferenças de temperatura entre o ambiente interno e externo (efeito térmico). Sua eficiência, quantificada pela taxa de renovação do ar, é bastante dependente das características das aberturas de ventilação (localização, superfície e presença de obstruções, como malhas de proteção e defletores) e dos obstáculos internos (equipamentos, espécie cultivada e disposição das linhas de cultivo).

O efeito térmico, ou efeito ‘chaminé’, é resultado de movimentos convectivos do ar e surge devido à existência de um gradiente térmico no interior do abrigo (BAETA; SOUZA, 1997; HANAN, 1998).

A eficiência da ventilação por efeito térmico depende das diferenças de temperatura entre o ambiente interno e externo e da diferença de altura entre as aberturas de entrada e de saída, ou seja, além de aberturas laterais, são necessárias aberturas zenitais (Figura 8), que serão tanto mais eficientes quanto mais alto for o abrigo (CASTILLA, 2005).

Porém, quando a velocidade do vento supera 2 m.s^{-1} , o principal efeito passa a ser aquele resultante da ação dos ventos, desde que a superfície e a localização das aberturas para ventilação sejam adequadas (HANAN, 1998; CASTILLA, 2005).

Assim, nas paredes expostas ao vento, formam-se regiões de sobrepressão, e nas paredes opostas, formam-se regiões de subpressão, ao passo que, no teto, a distribuição de pressão dependerá de sua geometria. A colocação de aberturas em paredes sujeitas à sobre pressão, funcionando como entrada, e em paredes com subpressão, funcionando como saída, permite a movimentação de ar pelo abrigo. A ventilação será tanto mais intensa quanto maior o gradiente de pressão entre uma abertura e outra.

A taxa de renovação do ar é proporcional à velocidade do vento, para valores superiores a 2 m.s^{-1} , mas depende, também, das dimensões do abrigo e de sua orientação em relação ao vento.

Figura 8 - Esquema de ventilação natural por efeito térmico (efeito ‘chaminé’), que ocorre através de processos convectivos, com o ar fresco entrando por aberturas laterais e o ar aquecido (menos denso) saindo por aberturas zenitais.

Fonte: Os autores.

O projeto e a operação dos abrigos, no que se refere às aberturas para ventilação, devem favorecer a ação combinada dos processos térmico e por ação dos ventos, de modo que se obtenha um efeito somatório. Desse modo, janelas zenitais devem ser abertas sempre a sotavento, na

ocorrência de ventos fortes, pois, assim, funcionarão como saída para o ar (zona de baixa pressão), não se contrapondo ao efeito chaminé (Figura 9).

Figura 9 - Ventilação natural em que ocorre ação combinada (somatória) entre os efeitos térmico e por ação dos ventos.

Fonte: Adaptado de Castilla (2005).

O sistema de ventilação natural deve ser dimensionado para condições climáticas extremas, definidas pela máxima incidência de radiação solar (meio-dia local) e velocidade zero do vento. Para abrigos com aberturas laterais e no teto, Kittas, Boulard e Papadakis (1997) propuseram uma estimativa da área de aberturas de ventilação, como segue:

$$\frac{A_T}{A_{SC}} = \left(\frac{B_0}{B_0 + 1} \right) \cdot (\eta \cdot R_s) \cdot \left(\frac{2}{C_d} \right) \cdot \left(\frac{g}{T_E} \right)^{-0,5} \cdot \rho^{-1} \cdot C_p^{-1} \cdot h^{-0,5} \cdot \Delta T^{-1,5}$$

em que:

A_T – área total das aberturas de ventilação (m²), que corresponde à soma das áreas de aberturas nas paredes laterais (A_{PL}) e de aberturas na cobertura (A_C). Assume-se que $A_{PL} = A_C$;

A_{SC} – superfície de solo coberta (m²);

B_0 – razão de Bowen (adimensional); assumido como 0,5 o valor característico de cultivos protegidos bem irrigados;

η – transmissividade da radiação solar (abrigo), adotado o valor médio de $\eta = 0,7$ (FARIA JUNIOR, 1997; FARIA JUNIOR, 2001);

R_s – radiação solar (W.m⁻²);

C_d – coeficiente de descarga (adimensional); conforme Kittas, Boulard e Papadakis (1997), $C_d = 0,75$;

g – constante gravitacional (9,81 m.s⁻²);

T_E – temperatura externa do ar (K);

ρ – densidade do ar (kg.m⁻³);

C_p – calor específico do ar (J.kg⁻¹.K⁻¹);

h – distância vertical (m) entre o centro da abertura na parede lateral e o centro da abertura na cobertura (abertura zenital);

ΔT – gradiente entre temperatura interna e externa do abrigo (K).

Substituindo-se, na equação acima, os valores de C_d , g , B_0 , η , bem como de ρ e C_p , para temperatura do ar (T_E) de 303 K (30 °C), encontra-se:

$$\frac{A_T}{A_{SC}} = 0,0030 \cdot R_s \cdot h^{-0,5} \cdot \Delta T^{-1,5}$$

Essa relação permite, segundo Kittas, Boulard e Papadakis (1997), uma estimativa preliminar da área mínima de abertura para ventilação, por unidade de superfície coberta, para um dado gradiente térmico (ΔT) entre os ambientes interno e externo, sob um regime de máxima incidência de radiação solar e sem vento. Na Figura 10, são mostradas as evoluções de A_T / A_{SC} , para diferentes níveis de radiação e valores de ΔT , com base na aplicação numérica da equação acima.

Figura 10 - Área de abertura para ventilação por unidade de superfície coberta, em função da diferença de temperatura do ar interno e externo (ΔT), para diferentes valores de radiação incidente e velocidade do vento igual a zero, em abrigos com aberturas para ventilação nas paredes laterais e no teto com igual área.

Fonte: Adaptado de Kittas, Boulard e Papadakis (1997).

As estimativas apresentadas na Figura 10 foram calculadas com distância vertical unitária ($h=1$) entre o centro das aberturas das paredes laterais e aquele das aberturas no teto. Para $h \neq 1$, os valores obtidos na referida figura devem ser corrigidos pelos fatores de correção apresentados na Tabela 1. Ainda, foi assumido que a área de aberturas laterais para a ventilação (A_{PL}) é igual a área de aberturas para ventilação do teto (A_C), o que é considerado como equilíbrio ótimo para uma dada área total de ventilação (A_T) e, naqueles casos em que $A_{PL} / A_C \neq 1$, os valores obtidos devem ser corrigidos pelos fatores de correção apresentados na Quadro 2.

Como exemplo, para uma irradiância de 750 $W m^{-2}$ e um gradiente térmico de 4 K (ou seja, temperatura máxima interna de 34 °C), o índice de ventilação, determinado através da Figura 10, estaria em torno de 0,3 ou 30%, para $h=1$ m. Entretanto, se a distância vertical entre as aberturas de ventilação for de 2 m, o índice de ventilação necessário, para o mesmo gradiente térmico, conforme correção da Tabela 1, será $0,3 \times 0,71 = 0,21$ m^2 de abertura de ventilação por m^2 de superfície de piso coberto, ou 21%.

Tabela 1 - Fatores de correção para distintos valores de distância vertical (h), entre o centro das aberturas de ventilação laterais e o centro das aberturas de ventilação na cobertura

h (m)	Fator de correção
1,0	1,00
1,5	0,82
2,0	0,71
2,5	0,63
3,0	0,58

Fonte: Kittas, Boulard e Papadakis (1997).

Tabela 2 - Fatores de correção para distintos valores da relação entre a área de aberturas laterais para ventilação (A_{PL}) e área de aberturas para ventilação do teto (A_C)

A_{PL} / A_C ou A_C / A_{PL}	Fator de correção
1,0	1,00
1,5	1,60
2,0	1,18
2,5	1,33
3,0	1,49

Fonte: Kittas, Boulard e Papadakis (1997).

Recomendam-se índices de ventilação (relação entre a superfície das aberturas e a superfície coberta de solo) entre 15% e 25%, porém a posição e o formato das janelas de ventilação influenciam significativamente a taxa de renovação do ar (HANAN, 1998; ELSNER et al., 2000b; CASTILLA, 2005).

4.2 Ventilação forçada ou mecânica

É utilizada sempre que os meios naturais não proporcionarem a adequada renovação do ar. Normalmente, são empregados ventiladores axiais (Figura 11), de baixa pressão e alta vazão, para injetar ou extrair o ar (CASTILLA, 2005).

Figura 11 - Ventilador axial utilizado em abrigos para cultivo protegido e mecanismo de proteção do exaustor, com aletas móveis (abertura e fechamento automáticos) para evitar a entrada de insetos.

Fonte: Os autores.

As seguintes recomendações devem ser observadas (MANTALLA GONZALEZ; MONTERO CAMACHO, 2001; CASTILLA, 2005):

- a vazão dos ventiladores deve ser calculada para atender de 20 a 30 renovações do ar por hora, no outono e na primavera, e de 40 a 80 renovações do ar por hora, no verão, com pressão estática de 0,03 kPa;

- a distância entre ventiladores, em uma mesma parede, não deve exceder 7,5 m, para assegurar a uniformidade do fluxo;
- a distância entre os ventiladores e as aberturas de ventilação não deve exceder 60 m e nem ser inferior a 30 m. Quando esta última condição não for atendida, a velocidade do ar deve ser corrigida por um fator (F_{vel}) dado por:

$$F_{VEL} = \frac{5,5}{\sqrt{D}}$$

em que D é a distância (m) entre as aberturas de ventilação e os ventiladores;

- se forem utilizados exaustores, esses devem ser instalados a sotavento dos ventos dominantes no verão, porém, se forem instalados a barlavento, devem ter um acréscimo de vazão de 10%;
- deve haver uma distância mínima entre os obstáculos e a saída do ventilador, equivalente a 1,5 vez o diâmetro do ventilador;
- a superfície das aberturas de ventilação deve corresponder, no mínimo, a 1,25 vez a área dos ventiladores;
- no cálculo da ventilação, deve ser considerada a altitude do local, visto que a densidade do ar decresce com a altitude, reduzindo a eficiência da ventilação. Como fator de correção, emprega-se o quociente entre a pressão barométrica ao nível do mar (101,3 kPa) e a pressão barométrica do local;
- a circulação do ar deve ser horizontal, com ventiladores insuflando ou extraindo ao ar, com velocidades que não excedam 1,0 m s⁻¹.

Quando o sistema de ventilação insufla ar para o interior do abrigo, a pressão interna se eleva em relação à externa, e o ar interno é movimentado para fora (Figura 12a). Quando há exaustão, a pressão interna é menor que a externa, e o ar é sugado para dentro do abrigo (Figura 12b). O primeiro é chamado de sistema de ventilação de pressão positiva e o último, de sistema de ventilação de pressão negativa (BAETA; SOUZA, 1997).

Figura 12 - Ventilação por pressão positiva (A), com ventilador insuflando ar para o interior do abrigo, e por pressão negativa (B), em que o ar é sugado.

Fonte: Embrapa (2003).

4.3 Resfriamento evaporativo adiabático

Mesmo quando bem ventilados, a temperatura interna dos abrigos, no máximo, se reduz àquela registrada externamente. Se as condições térmicas, fora do abrigo, também forem limitantes ao adequado desenvolvimento das plantas, então será necessária a adoção de sistemas de resfriamento evaporativo.

O princípio desses sistemas é a troca adiabática de calor e massa, em que o ar a ser resfriado, com menor pressão de vapor que uma superfície umedecida ou de água livre, cede calor sensível para o processo de evaporação, resfriando-se, e ganha calor latente, com o vapor d'água adicionado, portanto, com entalpia constante. O sistema será mais eficiente, quanto menor for a umidade do ar.

Os principais métodos de resfriamento são a nebulização e o uso de painel evaporativo associado à ventilação.

4.3.1 Nebulização

Tem por finalidade criar uma fina névoa, para refrigerar o ambiente protegido, o que é obtido com bombeamento de alta pressão e uso de difusores (nebulizadores) apropriados (Figura 13).

O volume de água aplicado em dado intervalo de tempo tem sua superfície específica enormemente aumentada com a nebulização, acelerando a vaporização da água, pelo incremento nos processos de troca de calor e massa.

As gotas de água devem ser suficientemente pequenas para que não cheguem a molhar as plantas. Por isso, devem ser produzidas a certa altura, normalmente logo abaixo da cobertura, e devem apresentar tamanho bastante reduzido, de tal modo que caiam lentamente e evaporem antes de alcançarem as plantas, absorvendo calor e resfriando o abrigo.

Figura 13 - Névoa de minúsculas gotas formadas pelo bombeamento de alta pressão da água, através de nebulizador.

Fonte: Imagem da Val-Co®.

Para melhor eficiência, as gotas devem apresentar tamanho entre $0,5 \mu\text{m}$ e $50 \mu\text{m}$, visto que a velocidade de evaporação e a taxa de resfriamento diminuem com o aumento no tamanho da gota (MANTALLA GONZALEZ; MONTERO CAMACHO, 2001; CASTILLA, 2005).

Com a nebulização e a evaporação da névoa, são retirados do ar $2,45 \text{ kJ.g}^{-1}$ de água evaporada. O ar resfriado, mais denso, tende a descer, induzindo o movimento convectivo.

Nos sistemas de maior eficiência, a pressão de trabalho se situa entre 4 e 7 MPa e a vazão dos nebulizadores é de aproximadamente 7 L.h^{-1} , com um consumo de água de $2,5$ a $4,2 \text{ L.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, com 6 horas diárias de funcionamento e uma densidade de nebulizadores de $0,06$ a $0,1 \text{ m}^{-2}$ (CASTILLA, 2005).

O sistema deve contar com bomba hidráulica (normalmente de pistão) e tubulações de alta pressão, nebulizadores (de câmara de turbulência ou de agulha) e sistema de filtros, além dos sistemas de controle (Figura 14).

Bomba de pistão de alta pressão e filtro

Tutulação de alta pressão e conexões

Nebulizadores

Controlador

Figura 14 - Constituintes de um sistema de nebulização.

Fonte: Imagens da PerfectCool® e PrimeTech®.

A qualidade da água (teor de sais dissolvidos e de bicarbonato) interfere no funcionamento do sistema e pode reduzir sua eficiência, principalmente, pela formação de obstruções nos nebulizadores.

4.3.2 Sistemas com painel evaporativo

Neste sistema, o ar é forçado a atravessar um painel poroso umedecido, onde ocorrem as trocas de calor e massa, com seu resfriamento antes de sua condução para o interior do ambiente protegido (Figura 15).

Figura 15 - Esquema ilustrando a passagem do ar aquecido em painel poroso umedecido, onde é resfriado antes de sua condução ao interior do abrigo.

Fonte: Os autores.

Os painéis evaporativos, nos sistemas mais modernos, são construídos com celulose corrugada (Figura 16), mas podem ser encontrados painéis montados com argila expandida e, mesmo, com fibras de madeira.

A movimentação do ar pode ser realizada através de sistemas de ventilação por pressão positiva, nos quais o ar arrefecido por resfriadores evaporativos adiabáticos é insuflado para dentro do ambiente protegido (Figura 17a). Os resfriadores se constituem em conjuntos compactos que encerram, em uma estrutura metálica, ventilador, reservatório d'água, sistema de abastecimento e sistema de recirculação de água, e cujo invólucro é, parcialmente, constituído por material poroso (painéis de celulose corrugada), como indicado na Figura 18.

Já nos sistemas de ventilação por pressão negativa, os abrigos são estanques, com exaustores em uma das paredes e um painel evaporativo na parede oposta, o qual se constitui na única entrada para o ar (Figura 17b). A água é distribuída de maneira uniforme, na parte superior do painel, atravessando-o em fluxo cruzado com a corrente de ar. A água que não é evaporada é recolhida em uma calha na parte inferior do painel, retornando para um reservatório, de onde é novamente bombeada para a parte superior do mesmo (Figura 19).

Os ventiladores do tipo axial (Figura 11) devem ter uma capacidade de exaustão de $8,5$ a $9,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a $0,03 \text{ kPa}$ de pressão estática (HANAN, 1998). Os painéis devem ser montados, preferencialmente, a barlavento (MANTALLA GONZALEZ; MONTERO CAMACHO, 2001) e protegidos da incidência direta da radiação, a fim de maximizar sua eficiência (BAETA; SOUZA, 1997).

Figura 16 - Pannel de celulose corrugada utilizado em sistemas de resfriamento evaporativo.

Fonte: Os autores.

Figura 17 - Resfriamento evaporativo utilizando sistema de ventilação por pressão positiva (A) e por pressão negativa (B).

Fonte: Evans (2003).

Figura 18 - Resfriadores evaporativos adiabáticos utilizados em sistemas de ventilação por pressão positiva.

Fonte: Imagem da Munters®.

O ar resfriado, ao passar pelo painel umedecido, aquece-se durante seu trajeto até a entrada dos exaustores e, por isso, o comprimento máximo admitido para os abrigos é 60 m. Para abrigos mais compridos, a recomendação é a instalação dos painéis nas duas extremidades mais distantes e a colocação dos exaustores no centro, nas paredes laterais (BUCKLIN et al., 2004).

Embora, teoricamente, o ar possa ser resfriado até a saturação, na prática, um bom sistema de resfriamento evaporativo tem 85% de eficiência, ou seja, a redução de temperatura corresponde a 85% daquela que ocorreria com o resfriamento até a saturação (HANAN, 1998; MANTALLA GONZALEZ; MONTERO CAMACHO, 2001; BUCKLIN et al., 2004; WORLEY, 2005).

Figura 19 - Sistema típico de circulação de água pelo painel evaporativo.

Fonte: Worley (2005).

A velocidade do ar que atravessa os painéis é um fator bastante importante e o ideal é que o fluxo ocorra em regime turbulento, diminuindo ou eliminando a camada limite, de modo que haja maior contato entre o ar e o filme de água, com incremento nas taxas de evaporação (BAËTA; SOUZA,

1997). As velocidades recomendadas para a corrente de ar que atravessa o painel evaporativo são de 1,25 e 1,75 m.s⁻¹, respectivamente, para painéis de celulose corrugada com 10 cm e 15 cm (4' e 6') de espessura (BAÊTA; SOUZA, 1997; MANTALLA GONZALEZ; MONTERO CAMACHO, 2001; WORLEY, 2005).

Nos painéis verticais, a água é aplicada na parte superior (Figuras 15 e 19) e, para que sejam corretamente umedecidos, são indicadas vazões mínimas de água, por unidade de comprimento. Quando o material do painel é celulose corrugada, as taxas indicadas são 6 e 10 L min⁻¹.m⁻¹, respectivamente, para espessuras de painel de 10 cm e 15 cm. Parte da água aplicada sobre os painéis não é evaporada, devendo ser recolhida para recirculação. O volume mínimo dos reservatórios, quando são usados painéis de celulose corrugada de 10 cm e 15 cm de espessura, são, pela ordem, 30 L e 40 L por m² de painel (BAÊTA; SOUZA, 1997; MANTALLA GONZALEZ; MONTERO CAMACHO, 2001; WORLEY, 2005).

Os parâmetros de projeto adotados para ventilação forçada, já tratados, são os mesmos considerados na elaboração de sistemas de resfriamento evaporativo.

Da mesma maneira que para os sistemas de nebulização, o controle é automatizado, e podem ser utilizados desde simples termostatos e umidostatos até sistemas mais sofisticados, totalmente computadorizados.

4.4 Sombreamento

A atenuação da radiação solar, como medida para reduzir a temperatura interna de abrigos para cultivo protegido, apresenta resultados bastante diversos e, em muitos casos, além de não se obter a queda de temperatura desejada, são observados prejuízos na produção dos cultivos pela redução excessiva no aporte de radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

Os sistemas de sombreamento, como colocado por Mantalla Gonzalez e Montero Camacho (2001), podem ser divididos em dois grupos:

- **estáticos:** são aqueles que, uma vez instalados, sombreiam o abrigo de maneira constante, sem possibilidade de gradação ou controle;
- **dinâmicos:** são aqueles que permitem o controle da radiação solar em função das necessidades climáticas do abrigo.

Entre as formas estáticas de sombreamento, encontra-se o branqueamento, que consiste na pintura da face inferior da cobertura plástica com tinta branca ou misturas com cal. Sua eficiência é dependente da homogeneidade na aplicação da pintura e da concentração de tinta ou cal empregadas na mistura.

Pinturas que usam misturas com maior concentração dos produtos responsáveis pelo branqueamento podem reduzir sensivelmente a transmitância da RFA e a disponibilidade de radiação solar pode ficar abaixo do limite trófico das culturas (MANTALLA GONZALEZ; MONTERO CAMACHO, 2001).

Também as malhas plásticas (polietileno, polipropileno, poliéster, entre outros materiais) podem ser usadas com o mesmo propósito. São encontradas no mercado com diferentes níveis de sombreamento e cores (Figura 20), de acordo com o fabricante.

Níveis de sombreamento

Malhas coloridas

Malhas aluminizadas

Figura 20 - Malhas plásticas encontradas no mercado.

Fonte: os autores.

Sua aplicação em sombreamento estático deve ser criteriosa. Mesmo que o uso das telas possa promover a redução da temperatura dos abrigos, a adoção de níveis excessivos de sombreamento pode ser prejudicial às culturas, principalmente em horários e épocas do ano com baixa disponibilidade natural de radiação (MILLS; SMITH; MARAIS, 1990; FARIA JUNIOR; SOUZA; HORA, 2000; SOUZA, 1999). A escolha do grau de sombreamento da malha deve ser feita de forma que, ao meio-dia local, as plantas, no interior do abrigo, recebam quantidade de radiação próxima de seu ponto de saturação luminosa (MANTALLA GONZALEZ; MONTERO CAMACHO, 2001).

As telas plásticas podem ser aplicadas tanto internamente, sobre os cultivos, como externamente ao abrigo (ROBLEDO DE PEDRO; MARTIN VICENTE, 1988; CASTILLA, 2005). O primeiro método não é recomendável, uma vez que as malhas absorvem energia, aumentam sua temperatura e dissipam o calor dentro do ambiente protegido, promovendo a elevação de temperatura do ar interno (ALPI; TOGNONI, 1991; MANTALLA GONZALEZ; MONTERO CAMACHO, 2001).

O sombreamento pode ser bastante efetivo na redução da temperatura de abrigos mal ventilados, porém apresenta pouco efeito sobre a temperatura interna do ar quando associado a outra fonte de resfriamento (MONTERO; ANTÓN, 1994; MANTALLA GONZALEZ; MONTERO CAMACHO, 2001).

As telas coloridas (Figura 20) têm aplicação mais indicada para manipulação do espectro de radiação que chega às plantas, com o intuito de se obterem respostas específicas dos cultivos, não se recomendando, por isso, seu uso, simplesmente, para a atenuação da radiação. Por sua vez, quando se visa à redução de temperatura, as telas aluminizadas (Figura 20), por apresentarem elevada reflexão dos raios solares, constituem-se em excelente material para o sombreamento (CASTILLA, 2005).

O uso de telas de sombreamento móveis (sombreamento dinâmico) elimina o inconveniente de sombreamento excessivo quando as condições externas já são de baixa intensidade de radiação, evitando, assim, a redução da fotossíntese (MANTALLA GONZALEZ; MONTERO CAMACHO, 2001) e prejuízos na produção. As telas podem ser recolhidas ou estendidas por diferentes aparatos mecânicos e seu acionamento pode ser manual ou automatizado.

5 Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estrutura de madeiras. Rio de Janeiro, 1997.
- ALPI, A.; TOGNONI, F. **Cultivo en invernadero**. 3. ed. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1991.
- ANDRIOLO, J. L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.18, supl., p. 26-33, 2000.
- ASSIS, S. V. Efeito da orientação da estufa de polietileno na radiação solar, em estações distintas do ano. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 219-226, 2004.
- _____; ESCOBEDO, J. F. Albedo da cultura do pepino (*Cucumis sativus*) em estufas de polietileno, nas orientações norte-sul e leste-oeste. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 13, n. 1, p. 11-17, 1998.
- AYERS, R. S., WESTCOT, D. W. **La calidad del agua en la agricultura**. Roma: FAO, 1987. (Estúdio FAO, n. 29 - riego y drenaje).
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em construções rurais: conforto animal**. Viçosa: UFV, 1997.
- BLISKA JR., A.; HONÓRIO, S. L. Características óticas de materiais de cobertura de viveiros e estufas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 1994, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 1994. p. 284.
- BRETONES CASTILLO, F. El invernadero tipo “Almeria”. In: CURSO internacional sobre agrotecnia del cultivo en invernaderos. Almeria: Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almeria (FIAPA), 1991. p. 1-21.
- BRIASSOULIS, D. et al. Degradation characterization of agricultural low-density polyethylene films. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 88, no. 2, p.131-143, 2004.
- _____. Mechanical properties of covering materials for greenhouses: part 1, general overview. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 67, no. 2, p. 81-96, 1997a.
- _____. Mechanical properties of covering materials for greenhouses: part 2, quality assessment. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 67, no. 3, p. 171-217, 1997b.
- BUCKLIN, R. A. et al. **Fan and pad greenhouse evaporative cooling** Gainesville: University of Florida (Cooperative Extension Service), 2004. (systems (Circular, 1135). Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/pdf/EA/EA06900.pdf>>. Acesso: 10 maio 2018.
- BUREK, S. A. M.; NORTON, B.; PROBERT, S. D. Transmission and forward scattering of insolation through plastic (transparent and semi-transparent) materials. **Solar Energy**, Elmsford, v. 42, no. 6, p. 457-475, 1989.
- BURIOL, G. A. et al. Ganho térmico devido a estufa plástica em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, no. 1, p. 43-49, 2004.
- CALIL JUNIOR, C., DIAS, A. A. Utilização da madeira em construções rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 71-77, 1997.

CASTILLA, N. Bioprodutividade de las hortalizas en cultivo protegido. In: FORO INTERNACIONAL DE CULTIVO PROTEGIDO, 1997, Botucatu. *Anais...* Botucatu: UNESP/FCA, 1997. p. 1-30.

_____. **Invernaderos de plástico: tecnología y manejo**. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 2005.

COHEN, S.; FUCHS, M. Measuring and predicting radiometric properties of reflective shade nets and thermal screens. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 73, no. 3, p. 245-255, 1999.

DE BELIE, N. et al. Durability of Building materials and components in the agricultural environment: part i, the agricultural environment and timber structures. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 75, no. 3, p. 225-241, 2000.

DELLA VECCHIA, P. T.; KOCH, P. S. História e perspectivas da produção de hortaliças em ambiente protegido no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 5-10, 1999.

DILARA, P. A.; BRIASSOULIS, D. Degradation and stabilization of low-density polyethylene films used as greenhouse covering materials. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 76, no. 4, p. 309-321, 2000.

DUNCAN, G. A.; WALKER, J. N. Selection of greenhouse covering materials. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 18, no. 4, p. 703-706, 1975.

ELSNER, B. et al. Review of structural and functional characteristics of greenhouses in european union countries: part I, design requirements. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 75, no. 1, p. 1-16, 2000a.

_____. Review of structural and functional characteristics of greenhouses in european union countries, part II: typical designs. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 75, no. 2, p. 111-126, 2000b.

EMBRAPA. **Produção de frangos de corte**. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2003.

EVANS, M. **Greenhouse management on-line**. Fayetteville: University of Arkansas, 2003.

FAO. **El cultivo protegido en clima mediterráneo**. Roma, 2002. Disponível em: <<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/005/s8630S/s8630S00.pdf>>. Acesso: 10 maio 2018

FARIA JUNIOR, M. J. A. **Avaliação de diferentes arquiteturas de estufas, coberturas do solo com filme plástico, em híbridos de pimentão (*Capsicum annum* L.)**. 1997. 102 f. Tese (Doutorado)-Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1997.

_____. **Avaliação de híbridos de pepino para cultivo protegido e do microclima formado por dois modelos de estufa**. Jaboticabal: 1994. 102 f. Dissertação (Mestrado)-Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

_____. **Contribuição ao estudo de abrigos para cultivo protegido: influência do material de cobertura sobre variáveis microclimáticas**. 2001. 104p. Tese (Livre-Docência)- Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2001.

_____; SOUZA, R. A. R.; HORA, R. C. Cultivo de alface em ambiente protegido, sob diferentes níveis de sombreamento, em duas épocas de plantio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 18, supl., p. 232-3, 2000.

_____. et al. Avaliação de cultivares de alface (*Lactuca sativa*) e de dois modelos de estufa com cobertura plástica, durante o verão, em Ilha Solteira-SP. **Cultura Agrônômica**, Ilha Solteira, v. 2, p. 119-28, 1993.

FARIAS, J. R. B. et al. Alterações na temperatura e umidade relativa do ar provocadas pelo uso de estufa plástica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 51-62, 1993a.

_____. Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 31-36, 1993b.

GEOOLA, F.; KASHTI, Y.; PEIPER, U. M. A model greenhouse for testing the role of condensation, dust and dirt on the solar radiation transmissivity of greenhouse cladding materials. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 71, no. 4, p. 339-346, 1998.

GIACOMELLI, G. A.; ROBERTS, W. J. Greenhouse covering systems. **Hort Technology**, Alexandria, v. 3, no. 1, p. 50-58, 1993.

GODBEY, L. C.; BOND, T. E.; ZORNING, H. F. Transmission of solar and long-wavelength energy by materials used as covers for solar collectors and greenhouses. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, no. 5, p. 1137-1144, 1979.

GOTO et al. Desafios e perspectivas da produção sustentável de hortaliças em ambientes protegidos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 25, n.1, 2007. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/13187114-Desafios-e-perspectivas-da-producao-sustentavel-de-hortalicas-em-ambientes-protegidos.html>>. Acesso em: 27 out. 2018.

_____. Plasticultura nos trópicos: uma avaliação técnico-econômica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v.15, supl., p. 163-165, 1997.

HAMERSCHIMIDT, I. Cultivo protegido de hortaliças no Paraná. **SOB Informa**, Campos dos Goytacazes, v. 15/16, n. 1, p. 21-22, 1996/1997.

HANAN, J. J. **Greenhouses**: advanced technology for protected horticulture. Boca Raton: CRC Press, 1998.

HARDOIM, P. C. Planejamento e benfeitorias rurais. In: ENCONTRO NAIONAL DE TÉCNICOS, PESQUISADORES E EDUCADORES DE CONSTRUÇÕES RURAIS, 2., 1996, Campinas. **Anais...** Campinas: SBEA /CATI/ ABCP, 1996. p. 19-36.

HERTER, F. G.; REISSER JR., C. Balanço térmico em estufas plásticas, em Pelotas, RS. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 5, n. 1, p. 60, 1987.

KESSLER JUNIOR, J. R. **Starting a greenhouse business (ANR-691)**. [S.l.]: Alabama Cooperative Extension System, 2006. 12p. Disponível em: <<http://www.aces.edu/pubs/docs/A/ANR-0691/ANR-0691.pdf>>.

KITTAS, C.; BAILLE, A. Determination of the spectral properties of several greenhouse cover materials and evaluation of specific parameters related to plant response. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 71, no. 2, p. 193-202, 1998.

_____; GIAGLARAS, P. Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouses. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 73, no. 4, p. 341-351, 1999.

_____; BOULARD, T.; PAPADAKIS, G. Natural ventilation of a greenhouse with ridge and side openings: sensitivity to temperature and wind effects. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 40, no. 2, p. 415-425, 1997.

KITTAS, C. et al. Paramètres significatifs du déterminisme de la température de l'air de la serre. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 40, no. 3, p. 265-277, 1987.

KOZAI, T. Direct solar light transmission into single-span greenhouses. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 18, p. 327-338, 1977.

_____; KIMURA, M. Direct solar light transmission into multi-span greenhouses. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 18, p. 339-349, 1977.

KUMAGAIA, P. Plasticultura na Cooperativa Agrícola de Cotia – Cooperativa Central. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE PLASTICULTURA, 1., 1991, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1991. p. 53-55.

KURATA, K. Role of reflection in light transmissivity of greenhouses. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 52, no. 3-4, p. 310-331, 1990.

MANTALLANA GONZALEZ, A.; MONTERO CAMACHO, J. I. **Invernaderos: diseño, construcción y climatización**. 2. ed. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 2001.

MARINHO, J. R. D. **Macromoléculas e polímeros**. Barueri: Manole, 2005.

MARTINS, G. **Uso de casa-de-vegetação com cobertura plástica na tomaticultura de verão**. Jaboticabal, 1992. 65 f. Dissertação (Mestrado)-Pós-graduação em Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1992.

MARTINS, S. R. et al. Caracterização climática e manejo de ambientes protegidos: a experiência brasileira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, no. 200/201, p. 15-23, 1999.

_____. Desafios da plasticultura brasileira: limites sócio-econômicos e tecnológicos frente às novas e crescentes demandas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 14, no. 2, p. 133-38, 1996.

MILLS, P. J. W.; SMITH, I. E.; MARAIS, G. A greenhouse design for a cool subtropical climate with mild winters based on microclimatic measurements of protected environments. **Acta Horticulturae**, Wageningen, no. 281, p. 83-94, 1990.

MONTERO, J. I.; ANTÓN, A. Greenhouse cooling during warm periods. **Acta Horticulturae**, Wageningen, no. 357, p. 49-61, 1994.

MUNARO, M. **Avaliação da degradação do polietileno, empregado em equipamentos para distribuição de energia elétrica, através da temperatura de oxidação medida por calorimetria diferencial de varredura (DSC)**. 2000. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia, Setor de Tecnologia)- Programa Interdisciplinar de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

NELSON, P. V. **Greenhouse operation and management**. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.

NIJSKENS, J. et al. Radiation transfer through covering materials, solar and thermal screens of greenhouses. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 35, no. 1-4, p. 229-242, 1985.

PAPADAKIS, G.; MANOLAKOS, D.; KYRYTSIS, S. Solar radiation transmissivity of a single-span greenhouse through measurements on scale models. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 71, no.4, p. 331-338, 1998.

_____. et al. Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 77, no. 1, p. 7-38, 2000.

PIETERS, J. G.; DELTOUR, J. M. Modelling solar energy input in greenhouses. **Solar Energy**, Elmsford, v. 67, no. 1-3, p. 119-130, 1999.

POLLET, I. V.; PIETERS J. G. Condensation and radiation transmittance of greenhouse cladding materials, part 1: Laboratory measuring unit and performance. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 74, no. 4, p. 369-377, 1999b.

_____. Condensation and radiation transmittance of greenhouse cladding materials, part 2: results for a complete condensation cycle. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v.75, no. 1, p. 65-72, 2000.

_____. Laboratory measurements of PAR transmittance of wet and dry greenhouse cladding materials. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 93, no. 2, p. 149-152, 1999a.

REISSER JUNIOR, C. et al. Alterações morfológicas do tomateiro em resposta à redução de radiação solar em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 7-14, 2003.

RICIERI, R. P.; ESCOBEDO, J. F. Radiação solar global e difusa em estufas túneis com cobertura de polietileno. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 15-37, 1996.

ROBLEDO DE PEDRO, F.; MARTIN VICENTE, L. **Aplicación de los plásticos en la agricultura**. 2. ed. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1988.

SEMEDO, C. M. B. **A intensificação da produção hortícola**. 3. ed. Mem Martins: European, 1988.

SERRANO CERMEÑO, Z. **Construcción de invernaderos**. Madri: Ediciones Mundi-Prensa, 1994.

SGANZERLA, E. **Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com plásticos**. 2. ed. Porto Alegre: Petroquímica Triunfo, 1990.

SILVA, M. L. O. **Avaliação de parâmetros ambientais em dois modelos de estufa, sem e com presença de cultura**. 1997. 61 f. Dissertação (Mestrado)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

SKOV, O. Light transmission in greenhouses. **Acta Horticulturae**, Wageningen, no. 245, p. 86-93, 1989.

SORIANO, T. et al. A study of direct solar radiation transmission in asymmetrical multi-span greenhouses using scale models and simulation models. **Byosystem Engineering**, Londres, v. 88, no. 2, p. 243-253, 2004.

SOUSA, J. W. et al. Alterações do saldo de radiação, temperatura e umidade relativa do ar em ambiente protegido com cobertura de polietileno difusor de luz. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 219-226, 2005.

SOUZA, R. A. R. **Cultivo do pepino em solo coberto com filmes de polietileno de diferentes cores, em ambiente protegido sob diferentes níveis de sombreamento adicional**. 1999. 34 f. Trabalho

(Graduação em Agronomia)- Faculdade de Engenharia, Câmpus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 1999.

SPECIALCHEM®. **Hindered amine stabilizers**. 2008. Disponível em: <<http://www.specialchem4adhesives.com/tc/UV-Light-Stabilizers/index.aspx?id=hal>>. Acesso em: 27 out. 2018.

STEVENS, A. B. et al. **Starting a greenhouse business**: a commercial growers guide (MF 1157). Manhattan: Kansas State University / Cooperative Extension Service, 1994.

THOMAS, P. A.; THOMAS, W. A. **Starting a greenhouse business**. Athens: University of Georgia / Cooperative Extension Service, 1999. (Bulletin, 1134).

WITTWER, S. H. World-wide use of plastics in horticultural production. **HortTechnology**, Alexandria, v. 3, no. 1, p. 6-19, 1993.

_____; CASTILLA, N. Protected cultivation of horticultural crops worldwide. **HortTechnology**, Alexandria, v. 5, no. 1, p. 6-23, 1995.

WORLEY, J. **Greenhouses**: heating, cooling and ventilation. Athens: University of Georgia Cooperative extension, 2005. (Bulletin, 792).) Disponível em: <<http://pubs.caes.uga.edu/caespubs/pubs/PDF/B792.pdf>>. Acesso: 15 fev. 2018.

ZABELTITZ, C. Von. Greenhouse construction in function of better climate control. **Acta Horticulturae**, Wageningen, no. 263, p. 357-374, 1990.