



ESTUDO DA TRANSMISSÃO DA RADIAÇÃO ATRAVÉS DE POLICARBONATOS LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO O CONFORTO TÉRMICO NA EDIFICAÇÃO

Paula S. Sardeiro (1); Rosana M. Caram (2)

(1) Departamento de Engenharia de Civil – Universidade Estadual de Maringá, Brasil – e-mail:
[sarreiro@sc.usp.br](mailto:sardeiro@sc.usp.br)

(2) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, Brasil – e-mail: racaram@sc.usp.br

RESUMO

O trabalho trata-se da análise da transmissão da radiação solar através de policarbonatos em chapas compactas e alveolares empregados em fachadas e aberturas zenitais de edificações. São estudados os policarbonatos em chapas compactas e alveolares nas tonalidades: incolor, translúcido, cinza, verde, azul e bronze. O estudo utiliza a técnica da espectrofotometria para a análise da transmissão espectral dos materiais. Os resultados mostram que os policarbonatos alveolares apresentam transmissões inferiores ao policarbonato em chapa compacta, e que o policarbonato alveolar translúcido deve ser criteriosamente especificado em função da elevada transmissão na região do infravermelho. Os resultados fornecem subsídios e indicativos para o emprego apropriado de policarbonatos nas edificações visando o conforto térmico na edificação, além de complementar informações técnicas pouco disponíveis no mercado.

Palavras-chave: Polycarbonate; transmissão espectral, conforto térmico.

ABSTRACT

This paper analyzes the radiation transmission through polycarbonates in alveolar and compact plates used in building facades and zenithal openings. The polycarbonate shades studied were colorless, translucent, gray, green, blue and bronze. The spectrophotometry technique was applied to analyze the spectral transmission of the materials. The results demonstrated that the alveolar polycarbonates present lower transmissions than the compact plate polycarbonates; and that the translucent alveolar polycarbonate must be accurately specified according to the high transmission in the infrared region. Thus, there are significant basis and indicative factors leading to the usage of polycarbonates in buildings aiming at the thermal comfort. At last, the results also complemented the scarce technical information available in the marked.

Keywords: Polycarbonate; spectral transmission; thermal comfort.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Radiação solar

A radiação solar ou radiação eletromagnética é a radiação emitida pelo Sol com comprimentos de onda que alcançam à superfície da Terra, que variam de 290nm a 2500nm, denominada radiação de onda curta. Devido aos vapores de água e aos dióxidos de carbono (CO_2), parte da radiação, na região do infravermelho, é absorvida, e a camada de ozônio barra praticamente toda a radiação ultravioleta, resultando em pouca radiação abaixo de 300nm que consegue alcançar à superfície da Terra. De acordo com Cheremisinoff e Regino (1974), apud Caram *et al.*(1996), essas proporções são de 1 a 5% ultravioleta; 41 a 45% de visível; e 52 a 60% de infravermelho.

A radiação solar compreende um espectro constituído pelo ultravioleta (290 a 380nm), visível (380 a 780nm) e infravermelho (780 a 2500nm). Cada um desses intervalos de onda, quando incidem sobre uma superfície transparente ou translúcida, são absorvidos, refletidos e transmitidos em porcentagens distintas.

1.1.1 Radiação ultravioleta

A região do espectro denominada de ultravioleta possui comprimento de onda de 100 a 400nm, porém os comprimentos de ondas que alcançam à superfície da Terra situam-se entre 290 a 380nm. Os valores de 100 a 290nm não conseguem chegar a essa superfície, porque são absorvidos pela camada de ozônio existente na atmosfera. A região do ultravioleta é dividida em três partes:

- ultravioleta A (UVA), de 400 a 315nm;
- ultravioleta B (UVB), de 315 a 280nm;
- ultravioleta C (UVC), de 280 a 100nm.

Analisando o comportamento ótico das superfícies transparentes e/ou translúcidas, pode-se selecioná-las de acordo com a necessidade do local. Quando não se deseja a presença da radiação ultravioleta no ambiente interno de uma edificação, recomenda-se o uso do vidro laminado, do policarbonato, ou a utilização de películas específicas, que podem ser colocadas em vidros comuns, mas não se recomenda a aplicação em policarbonatos, devido à incompatibilidade dos coeficientes de dilatação. Estes materiais citados barram o ultravioleta de maneira eficaz.

1.1.2 Radiação visível

O espectro visível está compreendido de 380 a 780nm e corresponde à luz visível, a única determinante no grau de iluminação natural de um ambiente. A luz visível carrega energia suficiente para estimular reações químicas nos olhos, permitindo o funcionamento do sistema da visão. Este comprimento de onda segue a seqüência: violeta, azul, verde, amarelo, laranja e vermelho, mas o sistema visual humano possui maior eficácia no comprimento de onda que corresponde às cores, verde e amarelo.

Quando se parte para a especificação de uma superfície transparente e/ou translúcida em uma edificação localizada numa região de clima tropical, a maior preocupação é em termos de se obter um nível de luminosidade satisfatório para execução das atividades e um baixo ganho térmico, buscando sempre, um material transparente que permita a passagem da radiação na região do visível e barre o infravermelho.

1.1.3 Radiação infravermelha

O infravermelho, invisível ao sistema da visão, mas percebido na forma de calor, é dividido em três faixas: infravermelhos de ondas curtas ou infravermelho próximo, com comprimento de onda entre 780 a 1400nm; infravermelhos de ondas médias de 1400 a 3000nm e, por fim, o infravermelho de ondas longas, que são radiações resultantes de corpos aquecidos, cujos comprimentos de onda são maiores que 5000nm.

No que diz respeito à estética, também é interessante ressaltar que, quando se comparam materiais transparentes incolores ou com mesma coloração, é observado que se podem obter desempenhos

completamente diferentes, tratando-se da transmissão da radiação solar. Caram (1998) cita como exemplo, o comportamento ótico dos materiais: vidro laminado, policarbonato em chapa compacta e o vidro comum, todos incolores (Gráfico 1) e na coloração verde (Gráfico 2). Neste último gráfico pode-se observar a significante diferença entre o comportamento do vidro verde com os demais na região do infravermelho, região responsável exclusivamente pelo ganho de calor na edificação.

“Os dados sobre a transmissão solar dos policarbonatos, vidros planos e vidros laminados oferecem a possibilidade de compará-los uns com os outros. Na verdade, estes materiais vêm competindo no mercado, e é preciso especificá-los com consciência. As vantagens e desvantagens devem ser consideradas em cada projeto individualmente.” (CARAM, 1998)

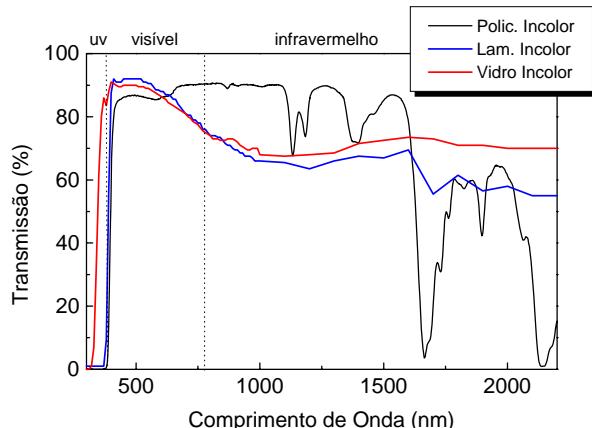


Gráfico 1 - Curvas de transmissão espectral do policarbonato, vidro e laminado, todos incolores (dados de CARAM, 1998)

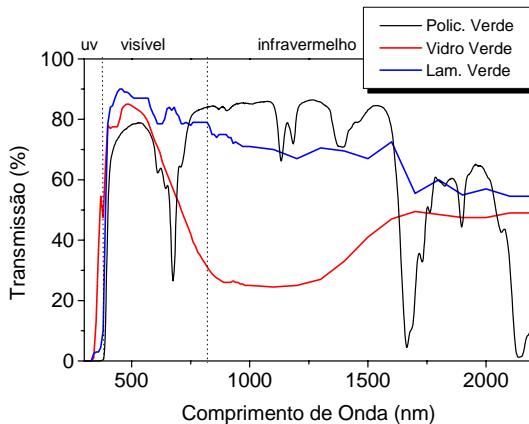


Gráfico 2 - Curvas de transmissão espectral do policarbonato, vidro e laminado, todos na cloração verde (dados de CARAM, 1998)

1.2 Propriedades óticas

No momento em que a radiação solar atinge uma superfície transparente ou translúcida, parte é transmitida diretamente para o interior, parte é absorvida por esta superfície e parte é refletida para o exterior. A interação da reflexão, transmissão e absorção para todos os materiais é dado pela relação:

$$\text{Radiação incidente (100\%)} = \text{transmissão} + \text{reflexão} + \text{absorção}$$

1.2.1 Transmissão

A transmissão espectral depende da composição química do material, de sua cor, da absorção ótica dentro do material, do ângulo de incidência, e Bamford (1984) complementa: e também das características superficiais onde está incidindo a radiação.

O material transparente tem transmissão seletiva, ou seja, sua transmissão depende do comprimento de onda da radiação incidente (RIVERO, 1985). Apesar de ser um material transparente, para os comprimentos de onda superiores a 5000nm, ele possui um comportamento semelhante aos materiais opacos. A proporção de energia transmitida diretamente por um material transparente reduz à medida que o ângulo de incidência da radiação supere 45° com a normal; ao se aproximar de 60° com a normal, essa transmissão diminui consideravelmente, pois, a partir daí, começa a ser significativa a proporção de radiação refletida. (SANTOS, 2002). E Santos (2002) ainda complementa que uma redução na transmissão da radiação, significa, a maioria das vezes, que essa radiação é absorvida pelo material transparente, decorrendo um aumento de temperatura do material.

1.2.2 Reflexão

A reflexão depende basicamente do ângulo de incidência e do índice de refração do material. Normalmente, os vidros comumente empregados na construção civil têm índice de refração igual a 1,5 ($n=1,5$). À medida que aumenta o ângulo de incidência em relação à normal, aumenta a reflexão da radiação. E Santos (2002) salienta que “*o aumento da reflexão acarreta uma diminuição progressiva da transmissão na mesma proporção. A absorção mantém-se quase inalterada, devido ao maior trajeto dentro do material ser compensado pela diminuição de intensidade da radiação que entra no material, causado pelo aumento no valor da primeira reflexão*”.

1.2.3 Absorção

Uma parte da radiação, ao incidir em uma superfície transparente, é absorvida pelo material e consequentemente transformada em calor. Independente do comprimento da onda absorvida, toda a energia, uma vez absorvida, transforma-se em calor. A absorção varia em função da espessura do material e de seu coeficiente de absorção.

1.3 Polycarbonato

O polycarbonato, de acordo com Chaves (1998) e John (1994), pode ser definido como polímeros termoplásticos de cadeia heterogênea linear, originários da condensação do bisfenol A e do ácido carbônico.

O polycarbonato só teve início no mercado em 1959. Nessa época, opticamente, o desempenho da forma transparente do novo material não se apresentava tão bem como, por exemplo, o acrílico, mas possuía duas vantagens exclusivas que facilitaram sua aceitação no mercado: temperatura de distorção pelo calor de 150°C e desempenho de alto impacto. Porém sua grande desvantagem era com relação ao custo, pois seu valor era quase duas vezes o valor do acrílico.

Em virtude da grande utilização de polycarbonatos nas edificações percebeu-se a necessidade de estudo do comportamento desse material frente à radiação solar, no tocante ao conforto térmico. Estudos relativos a polycarbonatos iniciaram com Caram (1998), Labaki *et al.* (1999) e Santos (2002), todos esses, com chapas de polycarbonatos compactas, neste artigo é divulgado dados de polycarbonatos em chapas alveolares, ampliando o estudo do comportamento ótico de polycarbonatos empregados na construção civil.

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar a transmissão da radiação na região do ultravioleta, visível e infravermelho através de polycarbonatos empregados na construção civil.

3 METODOLOGIA

Realizaram-se medições em espectrofotômetro com polycarbonatos em chapas alveolares seguindo as recomendações de Sardeiro (2007) e em chapas compactas, as recomendações de Caram (1998), com o intuito de verificar a porcentagem de radiação na região do ultravioleta, visível e infravermelho, que é transmitida pelos mesmos.

As medidas de transmissão de radiação pelos policarbonatos foram efetuadas por meio do espectrofotômetro modelo CARY 5G, marca Varian, disponível no Instituto de Química da USP, Campus de São Carlos, em São Paulo. O equipamento registra automaticamente a porcentagem de energia transmitida pela amostra que é obtida pela relação entre a intensidade de luz que passou pela amostra (I_a) e a intensidade de luz no feixe de referência (I_0), como mostra a eq.1.

$$T (\%) = I_a / I_0 \times 100 \quad (\text{eq.1})$$

O ensaio iniciava-se da seguinte maneira: o espectrofotômetro era ajustado para 100% de transmissão, para efeito de calibração, e era determinada uma linha de base, com o objetivo de excluir das medidas qualquer erro possível proveniente do conjunto do equipamento. Em seguida, o equipamento era aberto para a colocação da amostra e, dependendo da posição da amostra, era necessária ou não a fixação com fita adesiva. Fechava-se o equipamento e iniciava-se a varredura, iniciando em 2000nm e encerrando em 300nm. Na medida em que ocorria essa varredura, eram registrados na tela do aparelho, os valores obtidos em um gráfico, relacionando comprimento de onda (abscissa) com porcentagem de transmissão (ordenada), e, simultaneamente, era gerada uma tabela de dados. Para a realização dos gráficos a partir desta tabela, utilizou-se o programa computacional ORIGIN 5.0.

3.1 Amostragem

As amostras de policarbonato já foram enviadas, pela empresa que cedeu o material, cortadas em formato retangular, com dimensões de 14 X 7cm.

Os policarbonatos analisados são da marca Lexan Thermoclear, da empresa americana GE, sendo distribuidora no Brasil a Day Brasil. Os policarbonatos selecionados foram:

- Lexan Thermoclear Verde (espessura de 10mm);
- Alveolar Solar Ice (espessura de 6mm), é um policarbonato translúcido;
- Lexan Thermoclear Azul (espessura de 4mm);
- Lexan Thermoclear incolor (espessura de 4mm);
- Lexan Thermoclear Fumê Claro ou Bronze (espessura de 4mm);
- Lexan Thermoclear Cinza (espessura de 6mm), é um fumê mais escuro.

3.2 Parâmetros de medições

Os parâmetros adotados para a realização das medições foram subsidiados pelas pesquisas de Caram (1998) e Santos (2002). Foram realizadas pequenas alterações e acréscimos, em virtude de se obter resultados que conviessem ao objetivo da pesquisa.

- intervalo do espectro: 2000 a 300nm;
- número de medidas por comprimento de onda: 1;
- troca do detector: 780nm, passando de infravermelho para visível e ultravioleta;
- utilização da lâmpada de tungstênio para todo o espectro;
- número de medidas dentro do espectro: 1701 medidas (de 1 em 1nm);
- amostras ensaiadas a 0° com a normal (feixe perpendicular à amostra).

4 RESULTADOS

4.1 Policarbonatos em chapas compactas

Na região ultravioleta do espectro todos apresentam opacidade completa, questão essencial quando se tratam de especificação de superfícies transparentes em museus, acervos, ateliês, bibliotecas e vitrines

de forma geral. Não há diferença, portanto, se o projetista opta por um policarbonato incolor ou de qualquer uma das cores (Gráfico 3) oferecidas quando se deseja evitar a penetração do ultravioleta no ambiente. (Tabela 1)

Os policarbonatos apresentam transparência à luz visível de 28 a 84%, sendo que, excluindo o de cor cinza que é o mais opaco, todos os outros possuem boa transmissão à luz.

Para a região do infravermelho, quando se considera a transmissão no intervalo de 780nm a 2200nm, os percentuais variam de 46 a 67%, e quando se considera até 1500nm, os percentuais variam de 56 a 85%. (Tabela 1). De qualquer forma estes percentuais mostram elevada transparência ao infravermelho, principalmente quando se considera o intervalo até 1500nm, que é o mais relevante em termos da energia que chega à superfície da Terra.

Tabela 1 - Transmissão da radiação solar para os policarbonatos em chapas compactas

Amostra de policarbonato	Transmissão relativa ao intervalo característico (%)			Transmissão total da amostra (%)
	Ultravioleta	Visível	Infravermelho	
Incolor	0	84	85	67
Verde	0	67	81	63
Bronze	0	49	66	51
Cinza	0	28	56	41
Azul	0	69	84	64

Nota: Os valores da transmissão na região do infravermelho são referentes aos comprimentos de onda de 780 a 1550nm.

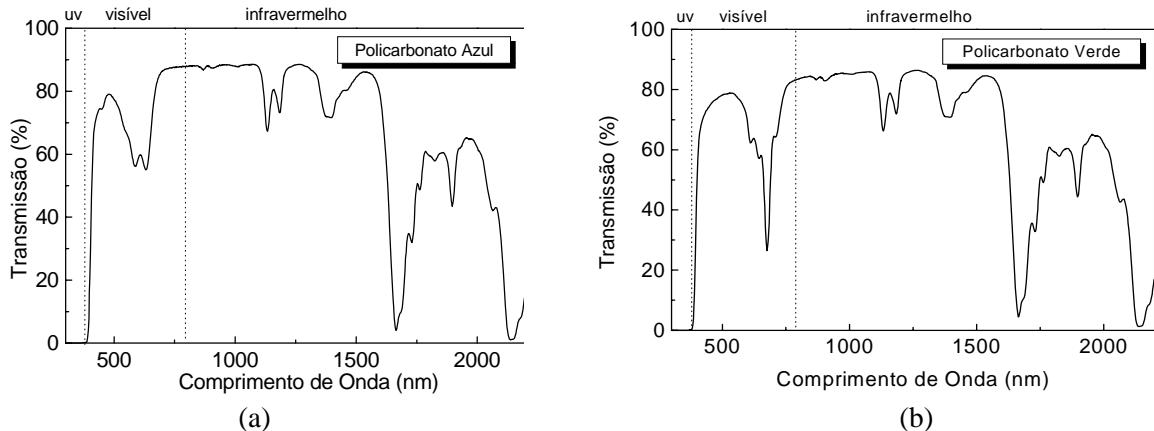


Gráfico 3 - Transmissão espectral para policarbonatos em chapas compactas nas cores azul (a) e verde (b), respectivamente. (dados de CARAM, 1998)

4.2 Policarbonatos em chapas alveolares

A transmissão espectral, nesse tipo de policarbonato, é inferior à do policarbonato de chapa compacta. Apenas no policarbonato alveolar incolor é que a transmissão atinge 65% na região do infravermelho; nos demais, como, por exemplo, o policarbonato alveolar translúcido, não alcança 6% de transmissão no visível, porém no infravermelho, este último atinge 35%.

A transmissão na região do visível só alcança 60% em apenas um tipo, o Polycarbonate Alveolar Incolor (Gráfico 4). A transmissão do visível nos policarbonatos alveolares é variável em função da cor, e o Polycarbonate Alveolar Translúcido permite a passagem do visível em porcentagens irrigórias de 5%. Portanto, o policarbonato alveolar translúcido deve ser criteriosamente e cuidadosamente especificado, por permitir maior transmissão na região do infravermelho e valores muito baixos na região do visível.

A grande vantagem do policarbonato em termos óticos, em chapa compacta e alveolar, é sua opacidade ao ultravioleta. E a grande desvantagem é a perda de transparência, a longo prazo, tornando-se um material translúcido. Normalmente a garantia do fabricante é de 5 a 7 anos, para a transparência original do material. Período curto quando comparado à vida útil da edificação.

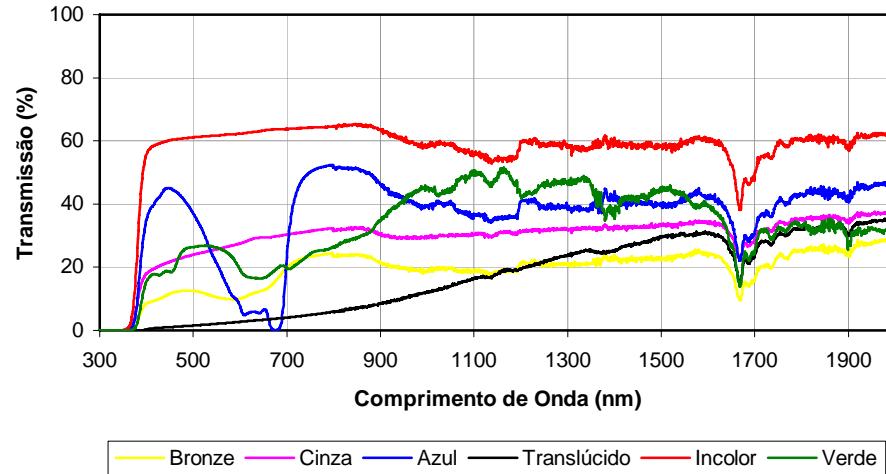


Gráfico 4 - Transmissão espectral para policarbonatos alveolares

4.3 Policarbonatos em chapas compactas “versus” policarbonatos em chapas alveolares

Nos policarbonatos alveolares coloridos, a transmissão espectral é baixa. Uma maior transparência é encontrada no policarbonato alveolar azul (Gráfico 5a), próximo de 52% no visível, e no policarbonato alveolar verde (Gráfico 5b) com 50% no infravermelho próximo; nos demais, a transmissão não alcança 30% em todo o espectro. Já no policarbonato azul em chapa compacta, a transmissão do visível é de 69%, e no verde, 67%, porém a maior transmissão, neste último, ocorre no infravermelho próximo, de 81%. Quando comparado o policarbonato verde ou azul em chapa compacta e alveolar, em termos de diminuir os ganhos térmicos na edificação, a melhor opção seria os policarbonatos alveolares. Contudo tem-se que levar em consideração também os vidros coloridos, por apresentarem, esteticamente, visualmente o mesmo resultado.

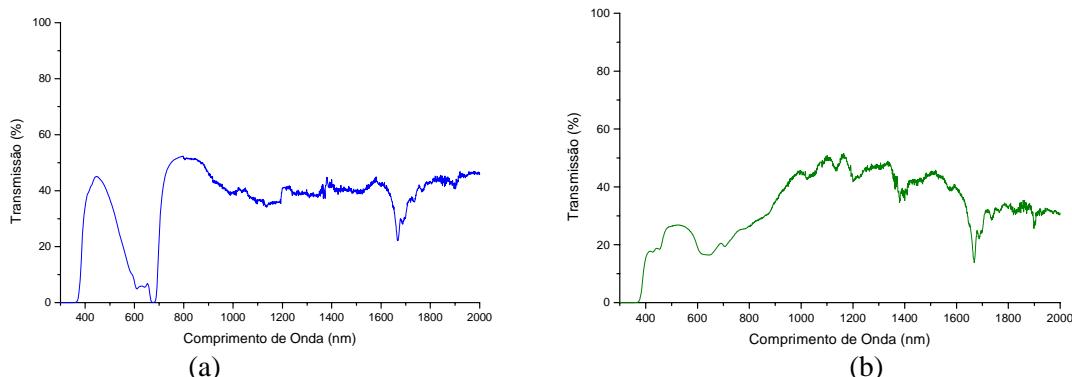


Gráfico 5 - Transmissão espectral para policarbonatos em chapas alveolares nas cores azul (a) e verde (b), respectivamente. (dados de SARDEIRO, 2007)

Quando é comparada a transmissão dos policarbonatos Bronze e Cinza em chapa compacta e alveolar, percebe-se a grande influência das duas lâminas de policarbonatos com a camada de ar interna. Enquanto o policarbonato Bronze em chapa compacta transmite 49%, no visível e 66% no

infravermelho, o policarbonato em chapa alveolar não alcança 38% em todo o espectro, resultando em uma redução significativa, principalmente em relação à transmissão do infravermelho.

O policarbonato alveolar Cinza também apresenta essa diferença significativa de transmissão quando comparado com o policarbonato Cinza em chapa compacta. O primeiro transmite o valor máximo de 24% na região do visível e 28% no infravermelho, já o policarbonato Cinza em chapa compacta transmite 28% no visível e 56% no infravermelho. Portanto, em termos de um melhor desempenho térmico na edificação, a melhor especificação seriam as chapas alveolares, porém tendo cuidado com o nível de iluminância no ambiente interno, pois as chapas alveolares apresentam baixa transmissão para o infravermelho, mas também para o visível.

Diante dos resultados expostos, conclui-se que o policarbonato alveolar é indicado para locais em que não se deseja a transmissão do ultravioleta, pois sua transmissão é muito baixa, só começa a transmitir a partir de 360nm. Comparando ao policarbonato de chapa compacta, a chapa alveolar é mais indicada quando se deseja atenuar a transmissão do visível e infravermelho. É indicado para locais que exigem maior segurança, pois todos os tipos de policarbonato são cerca de 250 vezes mais resistente que o vidro.

Um obstáculo na escolha do policarbonato é com relação aos custos, que varia de acordo com a espessura e o tipo. O policarbonato em chapa compacta incolor de 4mm de espessura chega a ser 3 vezes mais caro do que em chapa alveolar.

5 CONCLUSÕES

Os policarbonatos alveolares transmitem menos que os policarbonatos em chapas compactas em todo o espectro analisado (ultravioleta, visível e infravermelho).

O policarbonato alveolar translúcido deve ser cuidadosamente e criteriosamente especificado, pois transmite o infravermelho em porcentagens bem mais elevadas que o visível.

A grande vantagem na utilização do policarbonato em chapa compacta e/ou alveolar é a questão da segurança, por ser 250 vezes mais resistente que o vidro; por permitir curvatura a frio; e atenuar de maneira significativa a transmissão na região do ultravioleta.

Para especificar uma superfície transparente no projeto deve ser analisado além da transmissão na região do visível e infravermelho, deve-se levar em consideração, de maneira associada, a dimensão e orientação da abertura, a relação WWR (relação da área envidraçada sobre a área total da fachada - Window Wall Ratio), e o fator solar da superfície transparente ou translúcida.

O policarbonato possui vida útil muito menor que a do vidro, não sendo vantajosa, na maioria dos casos, a substituição do vidro por este material.

6 REFERÊNCIAS

BAMFORD, C. R. Colour Generation and Control in Glass. Glass Science and technology, Amsterdam: Elsevier Science Publishers, n.2, 1984.

CARAM, R. M. Caracterização Ótica de Materiais Transparentes e sua Relação com o Conforto Ambiental em Edificações. 1998. 165f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

CARAM, R. M.; LABAKI, L. C.; SICHIERI, E. P. "Analysis of Spectral Transmission of Solar Radiation by Window Glasses" - in proceedings of the 7th International Conf. on Indoor Air Quality and Climate. Nagoya - Japan, July 1996.

CHAVES, A. L. Os polímeros utilizados na construção civil e seus subsídios. 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

JOHN, V. B. Introduction to engineering materials. Hong Kong: The macmillan press Ltd., 1994.

LABAKI, L. C.; CARAM, R. M.; SICHERI, E. P. Avaliação de policarbonatos como protetor solar em edificações (estudo comparativo com vidros planos comuns e laminados). In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 1997, Salvador. Anais. IV ENCAC/ I ELACAC, 1997.

RIVERO, R. Acondicionamento térmico natural: Arquitetura e clima. Porto Alegre: Luzzatto Editores/UFRGS, 1985.

SANTOS, J. C. P. Desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar. 2002. 363f. Tese (Doutorado), Escola Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SARDEIRO, P. S. Parâmetros para a escolha de superfícies translúcidas, visando o conforto térmico e visual na edificação. 2007. 202f. Tese (Doutorado), Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES, a Day Brasil e o Laboratório do Instituto de Química de São Carlos (Sr. Mauro Fernandes), da Universidade de São Paulo.