



**II ENCONTRO LATINO-AMERICANO
DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

**V ENCONTRO NACIONAL
DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**

Editor: Fernando Oscar Ruttkay Pereira
Co-editores: Marcondes Araújo Lima,
Marcos Barros de Souza e
Luiz Ângelo Bulla

Fortaleza, CE - Novembro de 1999.



ANÁLISE SOBRE A POTENCIALIDADE DO USO DE JANELAS ELÉTROCROMICAS, OBTIDAS A PARTIR DE FILMES DE Nb_2O_5 E WO_3 , PARA CONTROLE ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

E.P. Sichieri¹; R.M. Caram¹; A. Pawlicka² e C. Avellaneda²

1. Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

Departamento de Arquitetura e Urbanismo

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, Cxp. 359 CEP. 13560-250 São Carlos, SP, Brasil.

e-mail: sichieri@sc.usp.br

2. Universidade de São Paulo

Instituto de Química de São Carlos

Departamento de Físico-Química

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465, CxP. 780, CEP 13560-970 São Carlos, SP, Brasil.

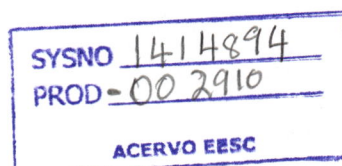
e-mail: agnieszka@iqsc.sc.usp.br

RESUMO São analisadas as potencialidades de vidros eletrocrômicos para proteção solar na arquitetura através de técnica espectrofotométrica. Os vidros obtidos no IQSC-USP com filmes de Nb_2O_5 e WO_3 pelo processo sol-gel e, depositados pela técnica "dip-coating", mostraram ser bastante promissores para este fim, sendo que o vidro eletrocrômico obtido pela deposição do filme de WO_3 apresentou melhores características óticas.

ABSTRACT The potential applications of the electrochromic glasses as solar protective device in architecture is evaluated by spectrophotometric technique. The Nb_2O_5 and WO_3 glasses were processed via dip-coating sol-gel, at IQSC-USP, and the results were very promising. The WO_3 type was performed the better optic characteristics.

1 Introdução

O consumo de energia das edificações tem sido uma das questões mais importantes dos últimos anos. Estima-se que no Brasil, cerca de 42% da energia elétrica total do país é consumida pelas edificações, segundo dados do Ministério das Minas e Energia de 1994. O projeto arquitetônico influencia imensamente estes índices, conforme as



necessidades de iluminação e instalação de sistemas de refrigeração e de aquecimento.

Um bom projeto arquitetônico deve conjugar e mesmo priorizar as variáveis ambientais relacionadas ao conforto térmico e lumínico, considerando o ganho ou perda de calor que se tem através de uma fachada transparente e também, o aproveitamento da iluminação natural. Ou seja, as fachadas envidraçadas usualmente constituem a componente frágil da edificação, em termos de ganho e de perda de calor e da entrada ou não de iluminação natural.

Os materiais disponíveis hoje no mercado para fechamentos transparentes (vidros planos, vidros refletivos e policarbonatos) , apresentam características de transmissão do espectro solar dependentes de seu processo de fabricação e de sua coloração.

No entanto, estas características são definitivas, uma vez que estes materiais não permitem ao usuário interferir na entrada ou não de calor e da iluminação natural. Os envidraçados disponíveis hoje que normalmente oferecem proteção solar, acabam por apresentar, na maioria dos casos, também baixa transmissão à luz visível.

Janelas inteligentes, desenvolvidas a partir de vidros eletrocromicos darão aos usuários esta possibilidade de interferência uma vez que o vidro eletrocromico apresenta características distintas de transmissão frente ao espectro solar, quando polarizado ou despolarizado.

Desta maneira, pode-se minimizar o consumo de energia de uma edificação, racionalizando o uso de sistemas de ar condicionado e de iluminação artificial uma vez que ao longo do dia, o usuário irá definir quando irá permitir ou não a passagem, através da janela, do espectro solar.

As janelas eletrocromicas são sistemas constituídos de camadas de filmes finos que mudam sua coloração conforme a aplicação de potencial elétrico (Figura 1). Os filmes finos, que têm espessura de algumas centenas de nanômetros (10^{-9} m), podem ser feitos de polímeros ou cerâmicas inorgânicas coloridas ou transparentes, dependendo das futuras aplicações. Logo, estas janelas são celas eletroquímicas, compostas de eletrodos e eletrólito. Elas são feitas na forma de "sandwich" onde sobre o vidro recoberto com uma camada condutora de ITO ($\text{SnO}_2\text{-In}_2\text{O}_3$) são depositados eletrodos através de método "dip-coating" (imersão vertical) na forma de filmes-camadas. O tratamento térmico desses filmes provoca a obtenção de seus óxidos adequados. Dependendo do material de partida, eles podem se transformar em camadas eletrocromicas ou camadas de reservatórios de íons. Os eletrólitos utilizados podem ser líquidos ou sólidos. No entanto, testes preliminares realizados em laboratórios científicos para pesquisas tecnológicas e, em particular, no Instituto de Química de São Carlos - USP, indicam que janelas montadas com eletrólitos na forma de géis, que endurecem após um tratamento térmico, demonstram ser muito promissores. Este processo de obtenção de filmes é chamado de SOL-GEL.

O Processo SOL-GEL demonstra ser bastante vantajoso para a deposição e preparação de filmes finos por causa da baixa temperatura de processamento, sua facilidade e baixo custo das instalações necessárias.

A deposição de filmes finos preparados através do método SOL-GEL através da técnica "dip-coating", citada acima, oferece a facilidade de deposição sobre vários

tamanhos (até $1,0 \text{ m}^2$) de diversas superfícies com possibilidade de se obter as espessuras desejadas (de alguns Angstroms - 10^{-10} m - até micrômetros - 10^{-6} m).

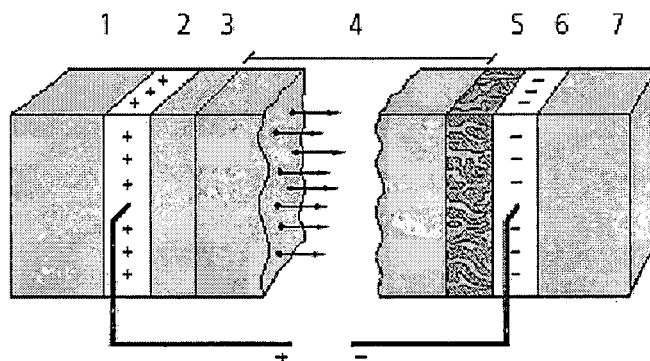


Figura 1 – Esquema de Janela Eletrocrômica: 1 e 7 Vidro; 2 e 6 Condutor transparente (ITO); 3 Reservatório de íons; 4 Eletrólito; 5 Filme eletrocrômico.

Os óxidos dos metais tais como Ti, Ce, W, V, Ta, Nb, etc., são utilizados como reservatório de íons ou filmes eletrocrômicos.

O fenômeno de mudança de coloração está ligado à inserção de íons de Li^+ ou H^+ que vêm do reservatório de íons, através do eletrólito, para a camada de filme eletrocrômico, geralmente compostos pelos óxidos citados acima e, principalmente, por óxidos de tungstênio, nióbio ou vanádio.

Os dados sobre transmitância nas regiões do ultravioleta, do visível e do infravermelho para os diversos óxidos que compõem os filmes eletrocrômicos indicarão a possibilidade de aplicação de janelas assim obtidas, na arquitetura.

É objetivo deste trabalho avaliar a transmitância do espectro solar através dos vidros eletrocrômicos obtidos através da deposição de óxido de nióbio (Nb_2O_5) e de óxido de tungstênio (WO_3) sobre camada ITO, pelo método SOL-GEL sonocatalítico e avaliar seus potenciais para aplicação na arquitetura.

2 Materiais e Métodos

As espectroscopias estudadas dos vidros eletrocrômicos são referentes ao comportamento dos filmes de Nb_2O_5 e WO_3 obtidos via sol-gel e, depositados pela técnica "dip-coating" sobre substratos de vidros recobertos com ITO (Asahi-Glass, $14\Omega \text{ cm}^{-1}$). Os resultados obtidos referem-se, portanto, apenas a parte 5, 6 e 7 da Figura 1.

As análises óticas foram realizadas em espectrofotômetro marca Hitachi modelo 3501. As amostras foram ensaiadas com incidência perpendicular dentro do intervalo concernente ao espectro solar, de 300 a 2200 nanômetros. Foram ensaiadas sob condições transparentes e coloridas de azul devido à inserção de íons de Li^+ .

A inserção de íons foi realizada usando um analisador Solartron 1286 e célula eletrolítica convencional de três eletrodos. O contra eletrodo é uma folha de platina de

1 cm² e o eletrodo de quasi-referência , uma vara de prata. O eletrólito utilizado foi uma solução 0.1M de LiClO₄ dissolvido em polipropileno carbonato (PC).

A cada polarização e despolarização, as análises espectrofotométricas foram realizadas retirando-se as amostras da célula eletrolítica, para se evitar a sobreposição dos espectros da solução e do material da própria célula.

3 Resultados

Os resultados das medidas de transmissão espectrofotométricas estão apresentados nas Figuras 2 e 3 e, na Tabela I. A coloração apresentada quando os vidros estão ativados (polarizados) é azul escura. Dependendo do óxido formador do filme, outras colorações podem ser obtidas, entre elas o cinza, uma das cores de maior demanda. Juntamente com a modificação das cores, haverá uma modificação no espectro de transmissão, característica do óxido formador. Estes espectros devem ser analisados nas regiões do ultravioleta, visível e infravermelho, a fim de serem fornecidos subsídios para suas aplicações na arquitetura.

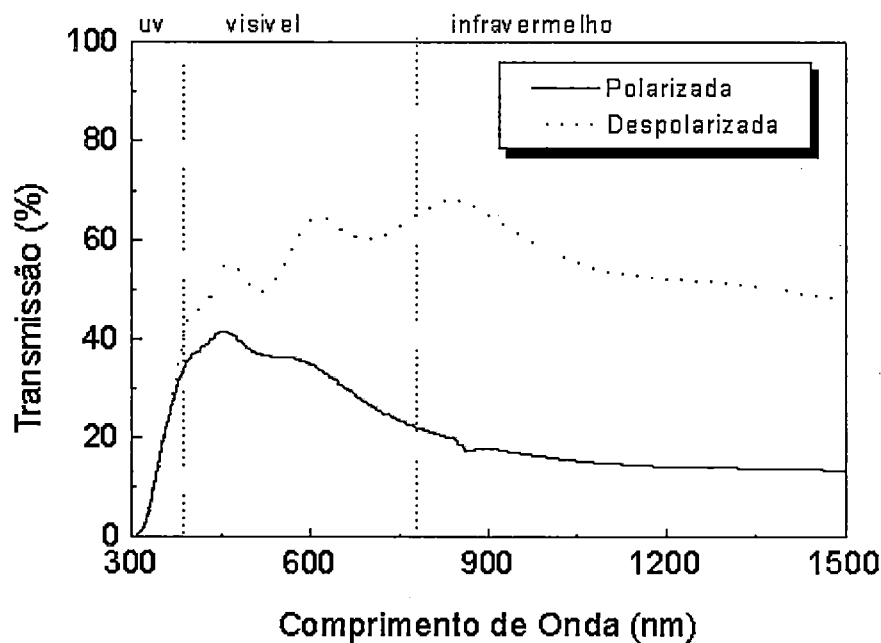


Figura 2: Curvas de transmissão espectral do vidro eletrocromico com filme de WO₃, nas condições polarizada e despolarizada.

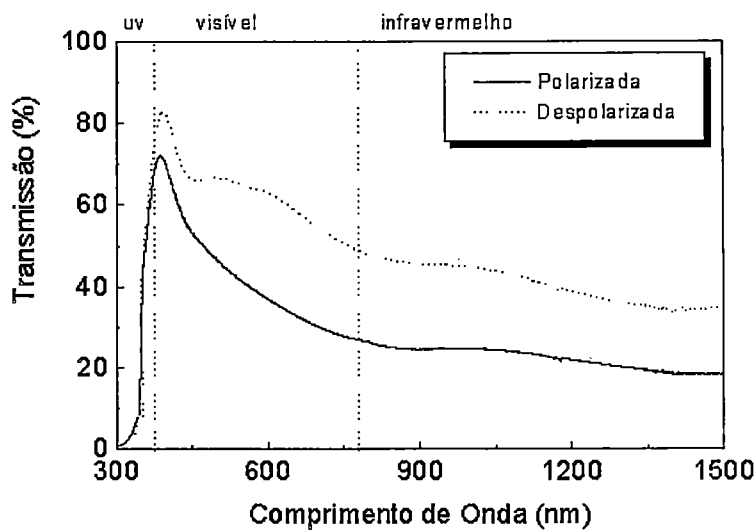


Figura 3: Curvas de transmissão espectral do vidro eletrocromico com filme de Nb₂O₅, nas condições polarizada e despolarizada.

Tabela I: Transmissão da radiação solar para os vidros eletrocromicos

Amostra	Transmissão relativa ao intervalo característico (%)			Transmissão Total da Amostra (%)
	Ultra-V	Visível	Infra-V	
Vidros Eletrocromicos				
Nb₂O₅ Polarizada	13	33	15	22
Nb₂O₅ Despolarizada	13	57	56	53
WO₃ Polarizada	13	42	22	30
WO₃ Despolarizada	13	64	42	51

A transmissão de ultravioleta para os eletrocromicos é considerada baixa, pois independente do vidro encontrar-se polarizado ou não, apresenta um valor de 13%.

A amostra com filme de Nb₂O₅ quando polarizada apresenta transmissão de 33%, e quando despolarizada apresenta 57% de transparência na região do visível. Para a região do infravermelho, entre 780 e 1500nm, a amostra quando polarizada apresenta transmissão de 15%, contra 56% na situação despolarizada.

A amostra com filme de Nb₂O₅ polarizada apresenta baixa transmissão total, sendo esta de 22% contra 53% apresentada na situação despolarizada.

Com filme de WO_3 , a amostra quando polarizada apresenta transmissão de 42% e, quando despolarizada, apresenta 64% de transparência na região do visível. Para a região do infravermelho, entre 780 e 1500nm, a amostra quando polarizada apresenta transmissão de 22%, contra 42% na situação despolarizada.

A amostra com filme de WO_3 polarizada apresenta baixa transmissão total, sendo esta de 30% contra 51% apresentada na situação despolarizada.

4 Discussão e Conclusões

Os vidros eletrocromicos visam compor as janelas inteligentes, encontrando-se em fase de pesquisa e desenvolvimento. Não estão, portanto ainda disponíveis para o usuário.

O comportamento dos vidros eletrocromicos, tanto com filme de Nb_2O_5 quanto com filme de WO_3 , quanto à transmissão total e por intervalo característico do espectro solar (Figuras 2 e 3), indica um bom desempenho se comparados a outros vidros indicados para proteção solar existentes no mercado. Observa-se a grande versatilidade óptica dos vidros eletrocromicos através das curvas de transmissão sob polarização e despolarização dos filmes de Nb_2O_5 e WO_3 , abrindo-se a possibilidade do usuário decidir sobre a intensidade de radiação direta que penetraria através da vidraça.

No entanto, ainda há limitação para produção de produtos, sendo necessário aprimoramentos para tal fim. Notou-se que o filme não adquire as propriedades ópticas originais após a polarização seguida de despolarização. Os filmes não devem reter íons de Li^+ em sua estrutura, permitindo o total desprendimento destes durante a despolarização. Isto ainda está sendo investigado e, portanto, estes filmes não apresentaram, após despolarização, as características ópticas originais da amostra limpa de íons.

Foi observado que, o filme eletrocromico de WO_3 retorna à transparência original mais facilmente. Este comportamento se mantém mesmo com maior número de ciclos de polarização/despolarização, indicando características óticas melhores e, uma "maior durabilidade" deste filme.

A comparação da transmitância do espectro solar através destes vidros eletrocromicos no estado polarizado, é mostrada na Figura 4.

A transparência ao ultravioleta ocorre em mesma proporção, independente dos vidros estarem polarizados ou não. Como o percentual de 13% é baixo, são considerados como vidros que atenuam, mas não eliminam a presença do ultravioleta no interior dos ambientes. O ultravioleta é responsável pelo desbotamento de móveis, tecidos e quadros.

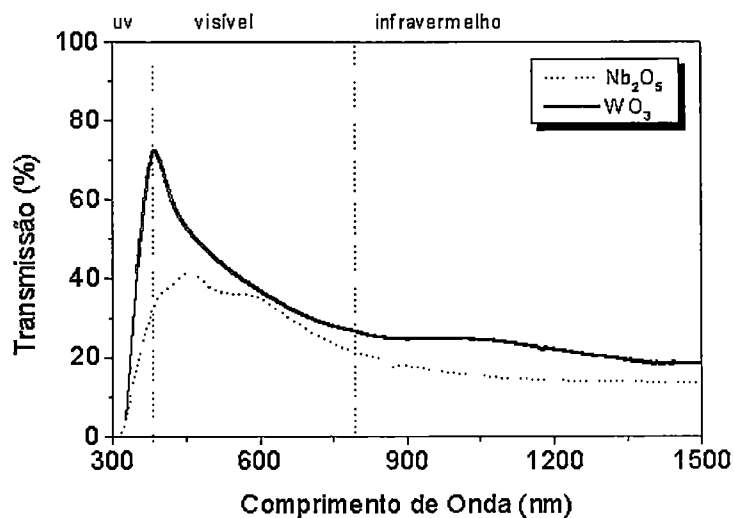


Figura 4: Comparação entre as curvas de transmissão espectral do vidro eletocrômico com filme de WO_3 e do vidro eletocrômico com filme de Nb_2O_5 no estado polarizado.

Para a região da luz visível, o vidro eletocrômico obtido pela deposição do filme de WO_3 apresenta melhor transmissão (42% contra 33% para o filme de Nb_2O_5). No entanto, os vidros eletocrômicos, obtidos pela deposição de ambos os óxidos, após polarização proporcionam os seguintes resultados quando expostos a intensa iluminação solar direta:

- Redução de ofuscamento visual gerado por excessiva luminosidade externa;
- Atenuação de luminosidade sem utilização de aparelhos de sombreamento como brises externos e cortinas;
- Redução da intensidade de luz solar direta com atenuação de reflexões luminosas nas superfícies de trabalho ou outras superfícies muito reflexivas, promovendo, portanto melhor conforto visual;
- Possibilita ao usuário a visibilidade externa com conforto visual;
- Permite o usufruto de luz natural (melhor para o filme de WO_3);
- Estética inovadora devido a variabilidade de cor da fachada
- Privacidade.

A análise da Figura 4 na região do infravermelho indica que, no caso de incidências solares diretas e altamente energéticas, o que coincide com alta luminosidade, é possível a barragem da transmissão direta de até 85% das radiações térmicas (infravermelho próximo) com o vidro eletocrômico obtido pela deposição de Nb_2O_5 e, de até 78% com o vidro obtido com WO_3 .

Estas radiações infravermelhas são indesejáveis em períodos climáticos quentes, sendo realmente necessário bloquear sua penetração direta no edifício. Este bloqueio pode ser conquistado, portanto, pela utilização de ambos os vidros eletocrômicos sem a utilização de aparelhos de sombreamento, que são bloqueadores visuais. À medida que o sol se desloca, diminuindo a penalização da área envidraçada com sua alta

atividade energética, permite-se o clareamento da vidraça para balanço luminoso sem ganhos excessivos de calor.

Em latitudes que sofrem invernos com queda de temperatura, a radiação infravermelha solar se torna extremamente importante para proporcionar o aquecimento interno. Sob este aspecto, o ganho térmico solar é necessário e permitido pela utilização destes vidros eletrocromicos.

A caracterização do filme para radiações infravermelhas longas são consideradas desnecessárias pois estas já são barradas pelo substrato de vidro.

A vantagem dos eletrocromicos, sobre os vidros para proteção solar disponíveis no mercado, é que pode variar suas características óticas, passando a ser transparentes quando solicitado ou quando as condições ambientais assim o exigirem. Os eletrocromicos podem ser despolarizados quando a radiação solar não estiver incidindo diretamente sobre eles, minimizando a utilização de iluminação artificial. A despolarização pode ser feita sob radiação direta quando se desejar que a incidência solar permita ganho de calor em dias frios.

Ambos os filmes desenvolvidos apresentam excelente potencial para o uso na arquitetura. No entanto, considerando a durabilidade e a reversibilidade do filme de WO₃ observadas em laboratório, este filme parece ser mais promissor para a confecção de janelas inteligentes.

5 Referências Bibliográficas

Caram, R.M.; Sichieri, E.P; Pawlicka, A.; Labaki, L.E. e Pinatti, A.(1998): Desempenho de películas finas de Nb₂O₅ - TiO₂ producidas por Sol-Gel, para aplicaciones de ventanas inteligentes, en la construcción civil, V Congresso Iberoamericano de Materiales (V IBEROMET). Rosário Argentina. Anais (no prelo).

Sichieri, E.P.; Pawlicka, A.; Caram; R.M.; Labaki, L.C. e Pinatti, A. (1998): Eficiência Energética das Janelas na Arquitetura: Estudo Comparativo entre os Vidros Refletivos e Eletrocromicos. Anais, São Paulo, NUTAU /98, CD-ROM.

Sichieri, E.P.; Pawlicka, A.; Caram, R.M.; Labaki, L.C. e Pinatti, A.(1998): Electrochromical Devices in Environment Comfort to Improve Energy Consumption in Architecture, 3rd Brazilian Symposium on Glasses and Related Materials, Bonito, MS.

Sichieri, E.P.; Caram, R.M and. Pawlicka, A. (1999) : Electrochromical glass obtained by deposition of thin Nb₂O₅ films and its performance in solar protection in architecture, Materiais 99, CD -ROM, Guimarães, Portugal.