

UNIVERSIDADE SAGRADO CORAÇÃO

ANDRIA JACIELY BRAZ

**UM ENSAIO SOBRE A VERSATILIDADE DO VIDRO E
SUAS MODERNAS APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS**

BAURU
2013

ANDRIA JACIELY BRAZ

**UM ENSAIO SOBRE A VERSATILIDADE DO VIDRO E
SUAS MODERNAS APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Química, sob a orientação do Prof. Me. Dorival Roberto Rodrigues.

BAURU
2013

Braz, Andria Jaciely

C8274e

Um ensaio sobre a versatilidade do vidro e suas modernas aplicações tecnológicas / Andria Jaciely Braz -- 2013.

71f.: il.

Orientador: Prof. Me. Dorival Roberto Rodrigues.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Universidade do Sagrado Coração – Bauru – SP.

1. Vidro. 2. Vidros Convencionais. 3. Vidros Modernos. 4. Propriedades. 5. Aplicações. I. Rodrigues, Dorival Roberto. II. Título.

ANDRIA JACIELY BRAZ

**UM ENSAIO SOBRE A VERSATILIDADE DO VIDRO E SUAS
MODERNAS APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas da Universidade do Sagrado Coração como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Química sob orientação do Prof. Me. Dorival Roberto Rodrigues.

Banca Examinadora

Prof. Me. Dorival Roberto Rodrigues
Universidade do Sagrado Coração

Profa. Dra. Beatriz Antoniassi Tavares
Universidade do Sagrado Coração

Profa. Dra. Márcia Rodrigues de Moraes Chaves
Universidade do Sagrado Coração

Bauru, 18 de junho de 2013.

Dedico este trabalho àqueles que, incondicionalmente, sempre fizeram o possível e o impossível para que eu chegasse até aqui e conquistasse tudo que conquistei até o presente momento. Aos meus pais, todo o meu amor, respeito, carinho e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

Aos meus familiares, em especial à minha mãe Vera, meu pai Luis, meu irmão Jonas e meu namorado Rafael pelo incentivo e paciência.

Agradeço ao meu orientador, o Prof. Me. Dorival Roberto Rodrigues, o acolhimento, a orientação, a atenção, o apoio e a amizade.

Agradeço às Profa. Dra. Beatriz Antoniassi Tavares e Profa. Dra. Márcia Rodrigues de Moraes Chaves a disposição de avaliar meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Agradeço a Profa. Dra. Ana Paula Cerino Coutinho, a atenção, a amizade e o apoio nas aulas de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC).

Agradeço aos demais professores do curso de Química da Universidade do Sagrado Coração os ensinamentos e experiências compartilhadas.

Aos meus ex-colegas de trabalho da Loja Peraçoli Moda Masculina, agradeço a “força” e companheirismo.

Agradeço a todos os colegas de classe, especialmente a Jéssika, Elton, Reyson e ao Jeisson a amizade e companheirismo nestes quatro anos de curso.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar uma pesquisa bibliográfica tendo o vidro como objeto de estudo, situando este material em seu caminho pela história da humanidade. Além desta contextualização histórica, são apresentadas as definições, classificações, propriedades e aplicações deste material, principalmente em tecnologias cada vez mais presentes em nosso cotidiano. Tendo uma versatilidade muito grande, o vidro oferece sempre a possibilidade de ser utilizado nos mais diferentes contextos. Muito desta situação vem do fato de que os vidros são conhecidos há bastante tempo, embora seja um material que, na linguagem científica, é difícil de ser definido. O vidro apresenta um caráter não-cristalino em que as partículas deste sólido amorfo não apresentam uma ordem periódica definida em sua estrutura. Se houver alguma ordenação, será apenas pontual. Além dos vidros convencionais foram apresentados outros tipos, considerados modernos neste trabalho: Vidros oftálmicos, Vidros ópticos especiais destinados a proteção nuclear, Fibras de vidro, Fibras ópticas, Vitrocerâmicas, Vidros porosos, Vidros calcogenetos, Janelas inteligentes ou eletrocromáticas; cada um com suas respectivas propriedades, aplicações e interesses de aproveitamento no nosso cotidiano.

Palavras-chave: Vidro. Vidros convencionais. Vidros modernos. Propriedades. Aplicações.

ABSTRACT

This work had as objective to perform a literature search having the glass as study object, placing this material on its way through the history of humanity. In addition to this historical context, definitions, classifications, properties and applications of this material are presented, mainly in the increasingly present technology of our daily life. Having a great versatility, the glass always offers the possibility to be used in many different contexts. Much of this comes from the fact that glasses are known for quite some time, although it is a material considered, in scientific language, difficult to define. The glass has a non-crystalline character, in which the particles of this amorphous solid does not present a periodic sequence defined in its structure. If there is any sort, it will be only occasional. In addition to the conventional glasses, other types considered modern glasses were presented face to this work: ophthalmic glasses, special optical glasses designed to nuclear protection, glass fibers, optical fibers, glass ceramics, porous glasses, chalcogenide glasses, smart windows or electrochromic windows, each one with its properties, applications and interests for utilization in our everyday.

Keywords: Glass. Conventional glasses. Modern glasses. Properties. Applications.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação bidimensional (a) do arranjo cristalino simétrico (b) rede do vidro com ausência de simetria e periodicidade.....	16
Figura 2 - Unidade básica da rede de sílica.....	17
Figura 3 - Estrutura do vidro soda-cal.....	18
Figura 4 - Estrutura do vidro alumino-silicato.....	20
Figura 5 - Funções relativas dos óxidos no vidro.....	23
Figura 6 - Reação: Equação do ataque do ácido fluorídrico no vidro.....	25
Figura 7 - Micrografia de vitrocerâmica do sistema $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$	28
Figura 8 - Quadro de aplicações de vitrocerâmicas.....	29
Figura 9 - Ilustração da estrutura de uma fibra óptica.....	31
Figura 10 - Novo museu da lâmpada - São Paulo: ilustração fibra óptica.....	33
Figura 11 - Quadro das vantagens e desvantagens da fibra óptica.....	35
Figura 12 - Fibras ópticas – aplicações, funcionamento e propriedades.....	36
Figura 13 - Quadro das características da fibra de vidro.....	38
Figura 14 - Quadro dos tipos de fibra de vidro para reforço.....	39
Figura 15 - Roving.....	40
Figura 16 - Manta de fibra de vidro.....	40
Figura 17 - Fibra de vidro picada.....	41
Figura 18 - Tecido de fibra de vidro.....	41
Figura 19 - Quadro de aplicações das fibras de vidro.....	42
Figura 20 - Reação do processo fotográfico irreversível.....	43
Figura 21 - Reação do processo fotocromático reversível.....	43
Figura 22 - Divulgação das lentes fotocromáticas.....	44
Figura 23 - Vidros calcogenetos.....	45
Figura 24 - Quadro de aplicações dos vidros calcogenetos.....	47

Figura 25 - Óculos usado em situações onde há emissão de radiação.	48
Figura 26 - Reação de hidrólise de um alcóxido.	49
Figura 27 - Reação do processo de condensação.	50
Figura 28 - Esquema do processo sol-gel.	51
Figura 29 - Gel incorporado com césio por mistura direta.	51
Figura 30 - Edifício com janelas inteligentes.	53
Figura 31 - Reação geral do processo eletrocromico.	53
Figura 32 - Quadro de dados eletrocromicos dos vidros usados nas janelas inteligentes.	54
Figura 33 - Janelas eletrocromicas inteligentes, quando é desligada.	56
Figura 34 - Janelas eletrocromicas inteligentes.	57
Figura 35 - Paredes de vidro para dividir ambientes em residências.	57
Figura 36 - Projetos de segurança.	57
Figura 37 - Estrutura de um vidro poroso.	58
Figura 38 - Representação esquemática da estrutura porosa do PVG.	59
Figura 39 - Quadro de aplicações de vidros porosos.	60
Figura 40 - Substâncias confinadas nos espaços vazios dos vidros porosos.	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	DEFINIÇÃO	14
4	TIPOS DE VIDROS	17
4.1	VIDROS SODA-CAL	17
4.2	VIDROS SILICATOS AO CHUMBO	18
4.3	VIDROS TIPO BORO-SILICATO	19
4.4	VIDROS TIPO ALUMINO-SILICATO	19
5	OUTROS TIPOS DE VIDROS	21
5.1	VIDRO LAMINADO	21
5.2	VIDRO A PROVA DE BALA	21
5.3	VIDRO TEMPERADO	22
6	PROPRIEDADES BÁSICAS DO VIDRO	23
6.1	VISCOSIDADE	24
6.2	RESISTÊNCIA MECÂNICA	24
6.3	DURABILIDADE	24
6.4	PROPRIEDADES TÉRMICAS	25
6.5	DEVITRIFICAÇÃO	25
6.6	CORES	25
6.7	PROPRIEDADES ÓTICAS	26
7	VIDROS MODERNOS	27
7.1	VITROCERÂMICAS	28
7.2	FIBRAS ÓPTICAS	31
7.3	FIBRAS DE VIDRO	36
7.4	VIDROS OFTÁLMICOS	42
7.5	VIDROS CALCOGENETOS	45
7.6	VIDROS ÓPTICOS ESPECIAIS DESTINADOS A PROTEÇÃO NUCLEAR	47
7.7	JANELAS INTELIGENTES OU ELETROCRÔMICAS	52
7.8	VIDROS POROSOS	58
8	CONCLUSÃO	62
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos tempos o vidro tem despertado grande interesse nos pesquisadores em função do desenvolvimento de novas propriedades para estes materiais. Vidros com características com condução de eletricidade, termo e foto sensibilidade, sensibilidade ao toque e tantas outras têm feito parte dos equipamentos da vida cotidiana e dos esforços de pesquisa nas áreas de química e engenharia química.

Os materiais vítreos têm uma versatilidade muito grande: seja qual for a nossa necessidade, quase sempre temos a possibilidade de vir a utilizá-los nos mais diferentes contextos.

Muito desta situação vem do fato de que os vidros são materiais conhecidos há bastante tempo. “Alguns historiadores afirmam que a sua descoberta remota a 3000 a.C. e os primeiros objetos de vidro foram encontrados nas necrópoles egípcias.” (MARTINS; PINTO, 2004, p.1).

Sendo uma das descobertas mais surpreendentes do homem e tendo uma origem tão remota e vários mistérios durante sua história, o início de sua fabricação é, geralmente, incerto. “A evolução da indústria do vidro é marcada por fatos que, embora analisados sob os conhecimentos de hoje pareçam simples, são na verdade repletos de criatividade e inventividade.” (AKERMAN, 2000, p. 5).

“Os vidros nem sempre foram fabricados pelo homem. Os chamados vidros naturais podem ser formados quando alguns tipos de rochas são fundidos a elevadas temperaturas e, em seguida, solidificadas rapidamente.” (ALVEZ; GIMENEZ; MAZALI, 2001, p.13). Isso permitiu aos humanos na Idade da Pedra confeccionar ferramentas de corte para uso doméstico e para sua defesa.

As características destes vidros naturais, como a beleza, a dureza e resistência, fizeram com que alcançassem alto valor ao longo da história. Os antigos egípcios, por exemplo, consideravam este material como precioso, usando-o em adornos nas tumbas e engastando-o nas máscaras mortuárias de ouro dos antigos Faraós.

Plínio, o Velho, grande naturalista romano, nascido no ano 23 de nossa era, em sua enciclopédia *Naturalis historia* atribuiu aos fenícios a obtenção dos vidros. Segundo seus relatos, ao desembarcarem na costa da Síria há cerca de 7000 anos

a.C., os fenícios improvisaram fogões usando blocos de salitre sobre a areia. Observaram que, passado algum tempo de fogo vivo, escorria uma substância líquida e brilhante que se solidificava rapidamente. Admite-se que os fenícios dedicaram muito tempo à reprodução daquele fenômeno, chegando à obtenção de materiais utilizáveis. (ALVEZ; GIMENEZ; MAZALI, 2001).

Shelby (2005), em seu livro *Introduction to glass science and technology (Introdução à ciência e tecnologia do vidro)*, oferece-nos um cenário sugerindo que a combinação de sal marinho (NaCl), e talvez ossos ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$), presentes nos pedaços de madeira utilizados para fazer fogo sobre a areia (SiO_2), na beira da água salgada do mar, reduziria suficientemente o seu ponto de fusão, de tal modo que vidro bruto, de baixa qualidade, poderia ser formado. Posteriormente, a arte vidreira teria sido difundida através do Egito e Mesopotâmia, sendo desenvolvida e consolidada em todos os continentes.

E o vidro segue seu caminho através da civilização. A ação do homem, agora, faz-se sentir. O casamento entre cerâmica e vidro data já do Egito antigo, dado que, quando as cerâmicas eram queimadas, a presença acidental de areias ricas em cálcio e ferro, combinadas com carbonato de sódio, poderia ter sido o resultado das coberturas vitrificadas, observadas nas peças daquela época. São também do Egito antigo a arte de fazer vidros e a adição de compostos de cobre e cobalto para originar as tonalidades azuladas.

Um desenvolvimento fundamental na arte de fazer objetos de vidro deu-se por volta do ano 200 a.C., quando artesãos sírios da região da Babilônia e Sidon desenvolveram a técnica de sopragem: um tubo de ferro de aproximadamente 100 a 150 cm de comprimento, com uma abertura de 1 cm de diâmetro, permitia ao vidreiro introduzi-lo no forno contendo a massa de vidro fundida, e retirar uma certa quantidade que, soprada pela extremidade contrária, dava origem a uma peça oca. Data desta época, também, a utilização de moldes de madeira para a produção de peças de vidro padronizadas. Os primeiros vidros incolores, entretanto, só foram obtidos por volta de 100 d.C., em Alexandria, graças à introdução de óxido de manganês nas composições e de melhoramentos importantes nos fornos, como a produção de altas temperaturas e o controle da atmosfera de combustão, os quais tiveram marcada influência sobre a qualidade dos vidros e permitiram uma fusão mais eficiente dos materiais constituintes. (ALVEZ; GIMENEZ; MAZALI, 2001).

Desde o princípio, os vidros fabricados tiveram um caráter utilitário, permitindo a construção de ânforas, vasos e utensílios para decoração. Entretanto, a idade do luxo do vidro foi o período do Império Romano. A qualidade e o refinamento da arte de trabalhar com vidro permitiam criar jóias e imitações perfeitas de pedras preciosas.

O período de ouro desta técnica deu-se no século XV. Catedrais, igrejas, palácios, átrios e residências tinham janelas decoradas com vitrais. “Alguns historiadores consideram que a expansão e difusão dos vitrais tenha sido consequência direta das altas janelas utilizadas na arquitetura das catedrais góticas.” (ALVEZ; GIMENEZ; MAZALI, 2001, p.14).

Ao nos confrontarmos com a história dos vidros, fica clara a importância dos povos que habitavam o Mediterrâneo e o Adriático. Neste particular, Veneza teve papel fundamental, sobretudo na Idade Média, por contar com um grande número de vidreiros, fortemente influenciados pela arte islâmica. Os vidros de Murano são famosos até os dias de hoje. Na Renascença, mais especificamente no século XVII, houve um declínio da arte de fazer vidro atribuído, em parte, ao aparecimento das técnicas de corte. Muitos dos artesãos venezianos da época expatriaram-se para a Alemanha, radicando-se nas florestas da Bavária e da Bohemia. Tais artesãos passaram a produzir um vidro de cor esverdeada que, depois de polido, recebia o nome de vidro florestal ou vidro da floresta, do alemão *Waldglas*. (ALVEZ; GIMENEZ; MAZALI, 2001).

Contudo, em Florença com a publicação da *L'Arte Vetraria*, de Antonio Neri primeira obra científica e tecnológica do vidro em 1612, sendo este, o primeiro de uma série de volumes editados pelo professor progressista Michael Cable ilustrando a compreender a fabricação de vidro a partir do século 17 ao início do 19, onde não obstante este livro conter informações úteis, afirmou que ele não passava de um “livro de receitas”, onde as bases do entendimento da ciência do vidro só poderiam surgir se acompanhadas de um melhor entendimento da química e da física. Desenvolvimentos da química eram necessários para permitir a análise tanto dos vidros quanto das matérias-primas, e ainda o entendimento das diferenças entre os elementos, tais como o sódio e potássio ou cálcio e magnésio. Desenvolvimentos da física, por outro lado, eram necessários para o entendimento do que era o calor, na época, considerado por alguns como uma forma de elemento químico. A esta altura,

tanto o fundido resultante como a solidificação e a formação dos vidros não eram bem entendidos. (ALVEZ; GIMENEZ; MAZALI, 2001).

Os séculos XVIII, XIX e XX marcaram importantes desenvolvimentos tanto na fabricação quanto na aplicação dos vidros, os quais, por que não dizer, experimentaram a sua popularização como material de produção intensiva. Entretanto seria difícil e demandaria muito espaço a descrição destes avanços, portanto não fazem parte do escopo desse trabalho.

Atualmente as pesquisas estão concentradas nos vidros à base de óxidos utilizando processos tradicionais de fusão. Nos últimos 20 anos foram desenvolvidos novos processos de fabricação de vidros, como o processo sol-gel (totalmente químico em que não se usa a fusão) e os processos baseados na deposição química de vapor. No que diz respeito às outras famílias de vidros que não os óxidos, têm sido objeto de estudo os vidros haletos, calcogenetos e calcohaletos. (ALVEZ; GIMENEZ; MAZALI, 2001).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Um ensaio sobre a versatilidade do vidro e suas modernas aplicações tecnológicas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Apresentar um breve histórico sobre a utilização do vidro nas aplicações tecnológicas através dos tempos.

Descrever as principais características físico-químicas do vidro, associando tais características à estrutura interna microscópica destes materiais.

Apresentar e discutir a classificação dos diferentes tipos de vidro em função de suas estruturas internas e processos de fabricação.

Discutir algumas aplicações atuais dos materiais vítreos modernos e suas propriedades.

3 DEFINIÇÃO

Toda matéria é um insumo em potencial, sendo estes definidos como “substâncias (ou mistura de substâncias) que possuem propriedades que as tornam úteis em produtos, dispositivos, estruturas e máquinas.” (INTERRANTE; HAMPDEN-SMITH, 1998 apud ZARBIN, 2007, p.1469).

Os materiais são classificados em cinco diferentes categorias, de acordo com algumas de suas estruturas ou propriedades mais características: metais, polímeros, cerâmicas, semicondutores e compósitos. (ASKELAND; FULAY; WRIGHT, 2011). Dentro deste universo classificatório, o vidro é considerado uma cerâmica não cristalina, materiais que podem ser descritos como:

Compostos fundamentalmente inorgânicos, como óxidos, sulfetos, nitretos, carbeto, silicatos, carbonatos. São geralmente isolantes térmicos e elétricos, apresentam altas resistências térmica e química, alta dureza, mas são materiais quebradiços. Os vidros fazem parte deste grupo de materiais. As cerâmicas são utilizadas como materiais refratários, em embalagens e janelas de vidros, fibras óticas e outras. (ZARBIN, 2007, p. 1470).

A palavra “vidro” pode ter significados variados. Se no cotidiano esse termo pode ser empregado para definir um material frágil e transparente, na linguagem científica ele é muito difícil de ser definido.

Do ponto de vista básico, os primeiros estudos sobre vidros foram realizados por Michael Faraday, em 1830, tendo como definição ser “mais aparentados a uma solução de diferentes substâncias do que um composto em si”. (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001, p. 16). Na tentativa de explicar a estrutura dos vidros, Lebedev propôs, em 1921, a Hipótese do Cristalito, a qual considerava os vidros como “um fundido comum constituído de cristais altamente dispersos”. Tal hipótese levava em conta a inter-relação entre as propriedades e a estrutura interna dos vidros. Após o advento da difração de raios X esta hipótese do cristalito ficou apenas como uma curiosidade histórica. Esta técnica analítica mostrou uma realidade bem mais complexa.

Na maioria das obras que tratam destes materiais existem duas definições: uma operacional e outra estrutural. “A primeira trata o vidro como ‘[...] um sólido obtido pelo resfriamento de um líquido sem cristalização’ e a segunda que ‘o vidro é um sólido não-cristalino’”. (ZARZYCKI, 1982 apud ARAUJO, 1997, p. 326).

Uma das definições mais completas encontradas na literatura é a proposta pelo comitê do U. S. National Research Council:

O vidro é, por difração de raios X, um material amorfo que exibe uma temperatura de transição vítrea. Esta é definida como o fenômeno pelo qual uma fase amorfa sólida exibe, devido à mudança de temperatura, uma variação repentina na derivada das propriedades termodinâmicas, tais como calor específico e coeficiente de expansão, em relação as suas respectivas fases cristalina e líquida. (WONG; ANGELL, 1976 apud NOVATSKI, 2009, p.19).

Entretanto, em muitas definições modernas de vidro identificamos o uso frequente das expressões sólido não-cristalino, sólido amorfo ou material vítreo.

Das palavras gregas para 'sem forma', sólido amorfo, é aquele cujas partículas não se sucedem numa estrutura regular, não possuem faces cristalinas e formas bem-definidas. (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005). Muitos sólidos amorfos são misturas de moléculas que não se encaixam muito bem, enquanto, a maioria dos outros são compostos de moléculas grandes e complicadas.

Ao se atribuir um caráter não-cristalino a um vidro está se afirmando que as partículas deste sólido amorfo não apresentam uma ordem periódica definida em longas distâncias, ou seja, se houver, serão apenas alguns ordenamentos pontuais. O conceito de ordem em curta distância pressupõe a existência de uma unidade formadora bem definida, porém, que se repete de maneira aleatória. (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001). Entretanto as forças intermoleculares variam em intensidade por toda a amostra. Assim, os sólidos amorfos não se fundem a temperaturas específicas. Em vez disso, eles se tornam macios durante uma faixa de temperatura à proporção que as forças intermoleculares de várias intensidades são rompidas. (BROWN; LEMAY; BURSTEN, 2005). Na Figura 1, a seguir, é representado de forma bidimensional um arranjo cristalino e um não-cristalino:

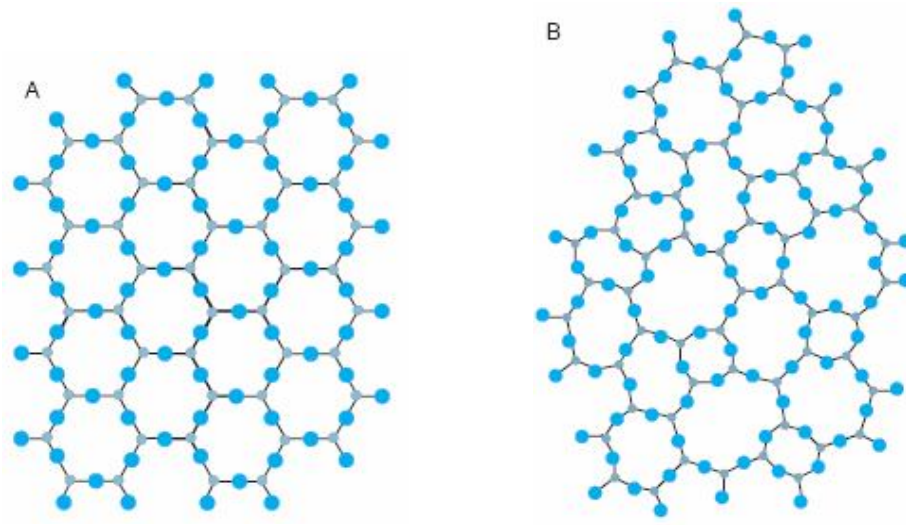


Figura 1 - Representação bidimensional (a) do arranjo cristalino simétrico (b) rede do vidro com ausência de simetria e periodicidade.
Fonte: Aranha (2011, p.16).

Considerando-se a sua estrutura microscópica, o vidro se assemelha mais aos líquidos do que aos sólidos cristalinos, já que nos primeiros, assim como no vidro, não há uma ordenação regular das partículas formadoras. Entretanto, os materiais vítreos apresentam um conjunto de propriedades que não os define totalmente nem como líquidos, nem como sólidos cristalinos. Também não apresentam, à pressão constante, a temperatura característica e definida de transformação de estado sólido-líquido, como ocorre nos materiais cristalinos. Por outro lado, ao apresentar rigidez e uma certa elasticidade, se assemelha ao sólido cristalino. Em adição, devido a sua natureza amorfa, o vidro não fratura em direções preferenciais. Entretanto, ele pode fluir sob a ação de uma elevada tensão de cisalhamento, como ocorre nos metais. (NAVARRO, 2003 apud SILVA, 2008).

4 TIPOS DE VIDROS

Vários tipos de vidro podem ser produzidos com aspectos distintos, existindo diversas formulações de vidros em função da aplicação, processo de produção e disponibilidade de matérias-primas. Dentre estes, sendo a mais comum a família do vidro silicatos obtidos por fusão e resfriamento, sendo classificados em quatro grupos principais: vidro silicato tipo soda-cal, vidro silicato ao chumbo, vidro tipo boro-silicato e vidro tipo alumino-silicato. (SILVA, 2008).

Vidros silicatos não são compostos por moléculas discretas, mas por redes conectadas tridimensionalmente. A unidade básica da rede de sílica é o tetraedro silício-oxigênio, no qual um átomo de silício está ligado a quatro átomos de oxigênio maiores. Os átomos de oxigênio se dispõem espacialmente, formando um tetraedro, conforme representado na Figura 2:

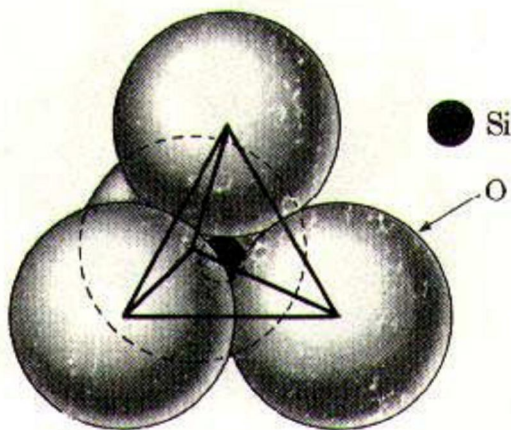


Figura 2 - Unidade básica da rede de sílica.
Fonte: Akerman (2000, p.13).

Akerman (2000) descreve estes diferentes tipos de vidro-silicato:

4.1 VIDROS SODA-CAL

Compreendem, de longe, a família de vidros mais antiga e largamente utilizada. Vidros sodo-cálcicos foram usados pelos antigos egípcios, enquanto hoje em dia constituem a maior parte das garrafas, frascos, potes, janelas, bulbos e tubos de lâmpadas.

As composições da maioria dos vidros sodo-cálcicos estão dentro de uma faixa estreita de variações. Eles contêm, normalmente, entre 8 e 12 por cento em peso de óxido de cálcio e de 12 a 17 por cento de óxido alcalino (principalmente óxido de sódio). Muito cálcio faz com que o vidro tenha tendência a devitrificar (cristalizar) durante o processo de produção. Muito pouco cálcio ou alto teor em alcalinos resulta um vidro com baixa durabilidade química. Usualmente, para incrementar este parâmetro, uma pequena quantidade de alumina (0,6 a 2,5%) é incluída na formulação. Na Figura 3 é ilustrada a forma estrutural do vidro soda-cal:

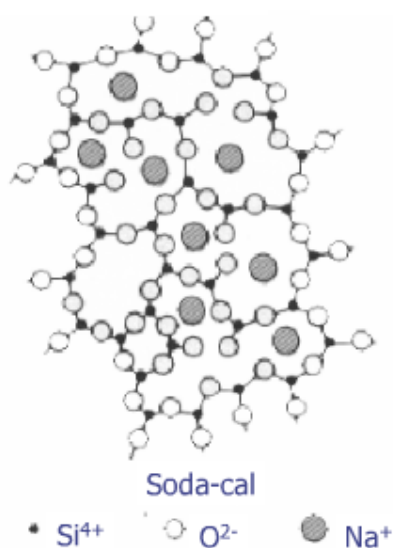


Figura 3 - Estrutura do vidro soda-cal.
Fonte: Smith (1996 apud HOTZA, c2011, p.19).

4.2 VIDROS SILICATOS AO CHUMBO

Vidros alcalinos ao chumbo permitem uma longa faixa de trabalho em relação à temperatura, pois sofrem pequena alteração de viscosidade quando variamos esta condição. Desta maneira, têm sido usados por séculos para produção de artigos finos de mesa e peças de arte. Sendo um material mais nobre, é aplicado em copos e taças finas conhecido como cristal, termo ambíguo, pois, o vidro não é um material cristalino.

O chumbo também confere ao vidro maior índice de refração, incrementando seu brilho o que também permite seu uso em instrumentos óticos.

Devido ao fato de que o óxido de chumbo permite um bom fluxo de corrente e não diminui a resistividade elétrica, como fazem os óxidos alcalinos, vidros ao chumbo são usados largamente na indústria eletro-eletrônica. O funil de tubo de televisão era um exemplo de aplicação comercial destes materiais devido a essas características elétricas, assim como da propriedade de absorção dos raios X por estes vidros.

4.3 VIDROS TIPO BORO-SILICATO

O óxido de boro, por si só, forma um vidro com resfriamento a partir de temperaturas acima do seu ponto de fusão a 460°C. Entretanto, ao invés da rede tridimensional da sílica vítrea, o óxido de boro vítreo é composto de uma rede de triângulos boro-oxigênio. Em vidros silicatos com baixo teor de alcalinos a altas temperaturas, o boro mantém sua coordenação trigonal plana, que diminui a coesão tridimensional da estrutura de vidros ao silicato. Devido a isso, este é frequentemente usado como fluxante em substituição aos óxidos alcalinos. Já que íons formadores de rede aumentam muito menos o coeficiente de expansão térmica do que íons modificadores de rede, o óxido de boro é frequentemente utilizado como agente fluxante em vidros comerciais, nos quais se deseja resistência ao choque térmico.

Os vidros borossilicatos apresentam alta resistência ao choque térmico, devido à menor quantidade de óxidos modificadores, e por isso são empregados em produtos de mesa que podem ser levados ao forno. É o caso do Pyrex® e do Marinex®. Também muito resistentes ao ataque químico e por isso são utilizados em vários equipamentos de laboratório.

4.4 VIDROS TIPO ALUMINO-SILICATO

Quando se adiciona alumina (óxido de alumínio) em uma formulação de vidro silicato alcalino, o vidro se torna mais viscoso em temperaturas elevadas. Em vidros ao silicato, a alumina é um formador de rede (embora sozinha não forme vidro em condições normais) e assume uma coordenação tetraédrica similar à sílica. Sendo o alumínio trivalente, em contraste com o silício que é tetra-valente, a coordenação

tetraédrica da alumina diminui o número de oxigênios não-pontantes, o que aumenta a coesão da estrutura do vidro. Como consequência, vidros alumino-silicatos comerciais podem ser aquecidos a temperaturas superiores sem deformação, comparativamente a vidros sodo-cálcicos ou à maioria dos boro silicatos.

Vidros alumino-silicatos são utilizados em tubos de combustão, fibras de reforço, vidros com alta resistência química e materiais vitro-cerâmicos. Na Figura 4 é representada a forma estrutural do vidro alumino-silicato:

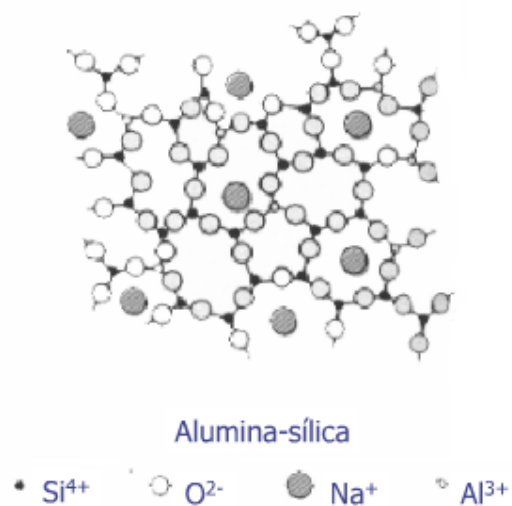


Figura 4 - Estrutura do vidro alumino-silicato.
Fonte: Smith (1996 apud HOTZA, c2011, p.19).

5 OUTROS TIPOS DE VIDROS

Quando falamos de vidros e suas aplicações, merecem destaque especial os vidros de segurança, as vitrocerâmicas e as fibras ópticas, materiais relativamente novos, desenvolvidos nos últimos 30 anos. Dentre os vidros de segurança, salientamos o vidro laminado, o vidro a prova de bala e o vidro temperado. O desenvolvimento de outros materiais similares e o estudo de suas aplicabilidades constituem, nos dias atuais, campos empolgantes da pesquisa científica, de onde surgem materiais com propriedades de intenso uso tecnológico. A seguir, são descritos estes tipos mais modernos de vidros, suas propriedades e aplicações.

5.1 VIDRO LAMINADO

É constituído por camadas alternadas de vidro plano e uma película de material polimérico, um plástico denominado Polivinil Butiral (PVB), interligadas sob calor e pressão, atendendo às exigências mais especiais de segurança, controle sonoro, controle de calor e de radiação ultravioleta. (MARTINS; PINTO, 2004). É usado normalmente em situações nas quais a quebra do vidro não pode dar origem a riscos de ferimentos graves. Este tipo de vidro, quando atingido por um objeto, mantém no lugar os pedaços (cacos) evitando assim que os mesmos sejam projetados em todas as direções. Tais tipos de vidro são, por exemplo, usados na fabricação de pára-brisas de automóveis. (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001).

5.2 VIDRO A PROVA DE BALA

No caso do vidro à prova de bala, tem-se também um vidro laminado, porém mais espesso, constituído de camadas alternadas de vidro separadas por material polimérico. Alguns destes vidros podem absorver a energia de projéteis de grosso calibre, mesmo quando disparados a curta distância. Tal tipo de material tem sido utilizado em portas de bancos, na blindagem de automóveis e lojas e para fins militares. (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001).

5.3 VIDRO TEMPERADO

Diferentemente dos exemplos anteriores, trata-se de uma peça única. Tem sua resistência aumentada pela têmpera, um processo que consiste em aquecer o material até uma temperatura crítica (700°C, estado plástico) e depois resfriá-lo rapidamente. Este processo produz um sistema de tensões que aumenta a resistência e permite que, ao se romper em qualquer ponto, toda a chapa se quebre em pequenos fragmentos sem arestas cortantes e lascas pontiagudas, menos susceptíveis de causar ferimentos. Portas de box para banheiros e portas de segurança são exemplos de sua utilização. (MARTINS; PINTO, 2004).

6 PROPRIEDADES BÁSICAS DO VIDRO

O vidro é um dos materiais mais conhecidos e estudados pela humanidade. A lista de vantagens que ele apresenta é enorme, o que o torna um material de inúmeras aplicações. Podendo ser moldado facilmente, este material possui elevada resistência a ataques químicos, assim como é um excelente isolante térmico. Apesar de ser transparente, pode facilmente ser colorido. Uma das suas maiores vantagens é a sua composição: sílica, soda e lima, matérias-primas estas fáceis de encontrar na natureza. (STORCK, 1998 apud SILVA, 1999).

A sua maior desvantagem é o seu peso, pois se constitui num material com uma densidade relativamente elevada. A acrescentar a esta desvantagem, os processos de enformação impõem a utilização de temperaturas muito elevadas, o que aumenta a dificuldade de controlar os processos automáticos. (SILVA, 1999).

As propriedades dos vidros, assim como de todos os outros materiais, dependem de suas características estruturais. A estrutura por sua vez, está condicionada principalmente pela composição química, e em menor escala também pela história térmica, que se refere ao tempo que o vidro teve para dissipação do calor, o que determina o seu grau de relaxação estrutural afetando suas características finais. (AKERMAN, 2000).

A Figura 5 mostra, de maneira qualitativa, como variam as propriedades dos vidros em relação ao aumento de um de seus óxidos constituintes:

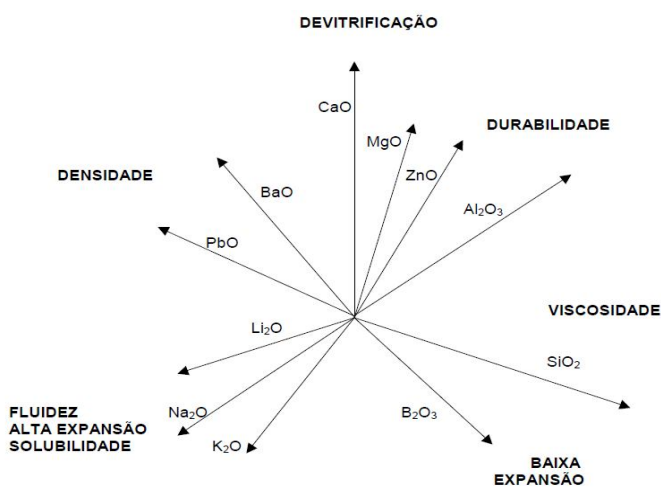


Figura 5 - Funções relativas dos óxidos no vidro.
Fonte: Akerman (2000, p.23.).

6.1 VISCOSIDADE

A viscosidade de um vidro é uma de suas mais importantes propriedades sob o ponto de vista da tecnologia empregada na elaboração e conformação deste material. Ela determina as condições de fusão, temperaturas de trabalho e recozimento, comportamento na afinagem (remoção de bolhas do banho), temperatura máxima de utilização e taxa de devitrificação, que consiste na redução da resistência química da matriz amorfa. A viscosidade varia enormemente com a composição e temperatura. (AKERMAN, 2000).

6.2 RESISTÊNCIA MECÂNICA

Relacionando a elasticidade, “o vidro é um material perfeitamente elástico: nunca apresenta deformação permanente.” (MARTINS; PINTO, 2004, p.13). Também é considerado um material frágil, porém não fraco. Ele tem grande resistência à ruptura, podendo mesmo ser utilizado em pisos, é duro e rígido, porém não tenaz não sendo apropriado para aplicações sujeitas a impactos. (AKERMAN, 2000).

6.3 DURABILIDADE

Uma das propriedades tecnologicamente mais importantes dos vidros é a alta durabilidade química de certas composições. Vidros milenares são conhecidos sem apresentarem sinais de deterioração. Seu uso como recipientes de reagentes químicos e produtos farmacêuticos, em vidraria de laboratórios e tubulações de indústrias químicas está diretamente relacionado a essa característica. Seu emprego para a imobilização de resíduos radioativos, provenientes das usinas nucleares, é devido basicamente a sua alta durabilidade química por longos períodos.

“Os vidros são muito resistentes a soluções ácidas e levemente básicas ($\text{pH} < 9$), porém são atacáveis por soluções alcalinas. A única exceção é o ácido fluorídrico (HF).” (AKERMAN, 2000, p.31). A Figura 6, a seguir, mostra a reação entre este ácido e o silicato, componente principal dos materiais vítreos:

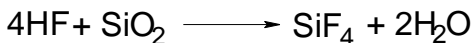


Figura 6 - Reação: Equação do ataque do ácido fluorídrico no vidro.
Fonte: Tang et al. (2004, p.2479).

6.4 PROPRIEDADES TÉRMICAS

A condutividade térmica define a quantidade de calor que será transferida por unidade de volume de material sujeito a uma diferença unitária de temperaturas entre faces. O tempo em que se verifica algum processo de transferência de calor é proporcional tanto à condutividade do material, como ao gradiente de temperaturas e à área a partir da qual se faz a transferência de calor. A condutividade do vidro aumenta com a temperatura e é dependente apenas da composição química do vidro, sendo esta propriedade, difícil de determinar experimentalmente. (BABCOCK, 1977 apud SILVA, 1999).

6.5 DEVITRIFICAÇÃO

De acordo com Zanotto (1986) por volta de 1930, um pesquisador francês por esquecimento deixou algumas garrafas de vidro em um forno, quando realizava determinado estudo sobre os vidros, e no dia seguinte descobriu que estas garrafas estavam opacas. O que ocorreu com essas garrafas, foi um processo de cristalização descontrolada. A partir das impurezas que se encontravam na superfície do vidro, nasceram ou se nuclearam cristais que cresceram em direção ao interior das garrafas, tornando-as opacas. Esse processo é chamado de devitrificação ou cristalização, sendo um tratamento térmico apropriado a altas temperaturas, podendo ocorrer tanto espontaneamente como induzido.

“De forma geral, a devitrificação resulta em uma redução da resistência química da matriz amorfa.” (PINAKIDOU et al., 2005 apud SILVA, 2008, p.24).

6.6 CORES

Uma das propriedades mais interessante do vidro é a facilidade com que lhe é atribuída uma cor. Os vidros podem se apresentar desde os mais puros incolores até os com as nuances e matizes mais exóticas de cores. Podem também variar de uma leve tonalidade até a total opacidade. A cor do vidro pode conter uma função estética e utilitária, já que é o único material que possibilita a visualização do produto que ele contém, ao mesmo tempo em que o protege contra radiações que o deteriorariam. (MARTINS; PINTO, 2004).

6.7 PROPRIEDADES ÓTICAS

O vidro por não apresentar estrutura cristalina, mas sim randômica, aleatório, em todas as direções, tem a característica de ser isotrópico, isto é, suas propriedades independem da posição na qual são analisadas. Portanto quando uma massa de vidro é homogênea e não sujeita a tensões, ela é opticamente isotrópica.

Quando um feixe de luz incide sobre uma superfície vítrea parte da luz é refletida e o restante passa para dentro do vidro, onde, devido à alta densidade do meio material, é desviado ou refratado. Parte da energia luminosa é perdida por absorção pelo vidro. Com a saída do feixe pela superfície oposta, o fenômeno de reflexão e refração se repete. A transmitância do vidro é a relação entre a intensidade do feixe emergente e a intensidade do feixe incidente. (AKERMAN, 2000).

7 VIDROS MODERNOS

Até há pouco tempo, quando se imaginava um cenário futurístico, as superfícies metálicas se destacavam como protagonistas. Roupas prateadas e carros voadores dominavam a paisagem onde robôs dotados de braços e pernas e outras parafernálias tecnológicas serviam os humanos. Esse futuro imaginado nas décadas passadas está cada vez mais longe de acontecer: o futuro inclui muito mais o vidro que qualquer outro material.

No vídeo “*A Day made of glass*”, desenvolvido pela empresa norte-americana Corning, é mostrado que as grandes inovações estão ocorrendo na tecnologia da informação e das telecomunicações e, acompanhando tudo isso, a tecnologia ligada ao vidro. (O FUTURO..., c2008-2012).

O vidro é um material essencial deste novo mundo. "Este é um mundo visual - que consiste na transparência ser uma obrigação", explica o CEO (*Chief Executive Officer*) da Corning Wendell Weeks. Mas isso é apenas o começo. Este mundo exige materiais que sejam flexíveis, duráveis, estáveis sob as mais difíceis condições ambientais e que tenham uma estética elegante. (CORNING..., c1994-2013).

No coração dos tipos e das propriedades novas e aperfeiçoadas dos vidros, estão a pesquisa e o desenvolvimento. Esta seção ilustra alguns dos novos produtos de vidro que daí resultaram:

- Vitrocerâmicas
- Fibras ópticas
- Fibras de vidro
- Vidros oftálmicos
- Vidros calcogenetos
- Vidros ópticos especiais destinados a proteção nuclear
- Janelas inteligentes ou eletrocromicas
- Vidros porosos

7.1 VITROCERÂMICAS

As vitrocerâmicas têm grande importância científica e tecnológica no nosso cotidiano, devido a vários aspectos, uma vez que os processos de preparação estão diretamente relacionados aos estudos de devitrificação de vidros, oferecendo a possibilidade de se ter um vidro com composição química uniforme e moldada na forma desejada. (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2008).

A primeira patente sobre vitrocerâmica é de 1956, existindo diversas formulações de diferentes tipos deste material. Decorrente de suas vantagens, dezenas de empresas e laboratórios vêm estudando e investindo em novas composições e formas de produção. (ZANOTTO, 1986 apud CADIOLI; BAITELO, 2009).

Vidros cerâmicos são sólidos policristalinos que contêm uma fase vítrea, preparados a partir da fusão e arrefecimento de um vidro precursor, sendo posteriormente sujeitos a uma cristalização controlada, visando à obtenção de materiais com propriedades especiais e bem definidas: propriedades mecânicas, térmicas, elétricas, químicas e ópticas em relação ao vidro iniciador. (SANTOS et al., 2009).

De acordo com Zanotto (1986) existem vitrocerâmicas com tamanho de grãos que variam geralmente entre 10 e 100 nm, como mostrado na Figura 7:

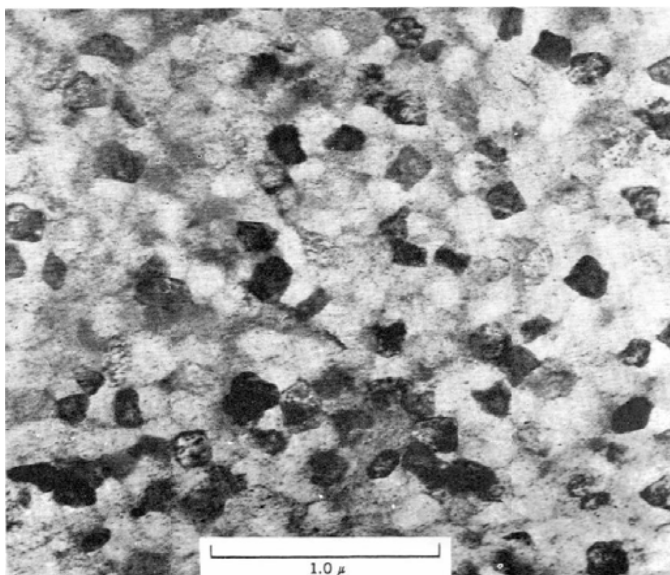


Figura 7 - Micrografia de vitrocerâmica do sistema $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$.
Fonte: Mcmillan ([194-?]) apud ROLLET, 2002, p. 21).

A contemporaneidade de fases vítreas e cerâmicas num mesmo material origina um conjunto muito grande de aplicações, exemplos: substratos para espelho de grandes telescópios; produção de peças trabalhadas por corrosão de altíssima precisão, que levam à fabricação de placas perfuradas para monitores; utensílios de cozinha, como objetos que podem ser retirados de um freezer e colocados diretamente sobre uma chapa de aquecimento ou forno. (SANTOS et al., 2009; ALVES, [200-?]). Outras aplicações são apontadas na Figura 8:

APLICAÇÕES DE VITROCERÂMICAS
1. Aplicações em sensores
2. Vitrocerâmicas aplicadas à odontologia e ortopedia (prótese)
3. Meio Ambiente – vitrocerâmicas de escórias siderúrgicas
4. Utensílios com revestimento antiaderentes
5. Vitrocerâmicas sintetizadas para pavimentação
6. Vitrocerâmicas ópticas
7. Vitrocerâmicas com coeficiente de expansão térmica zero
8. Vitrocerâmicas para aplicações em micromecânica
9. Vitrocerâmicas para aplicação em fotônica e microeletrônica
10. Materiais biocerâmicos multicomponentes
11. Aplicações em arquitetura e construção civil

Figura 8 - Quadro de aplicações de vitrocerâmicas.
Fonte: Alves, [200-?].

A fase vítrea dá características e propriedades ao corpo cerâmico, agindo como ligante das fases cristalinas sólidas, da mesma forma como o cimento une as pedras no concreto. Confere resistência mecânica à peça quando em temperatura ambiente e aumenta a tendência à deformação quando o produto é exposto a altas temperaturas, pois a fase vítrea se torna fluida abaixo de 1000°C. (SOUZA; SANTOS; GON, 2007).

Outro conhecimento importante refere-se ao mecanismo de nucleação e cristalização para um dado vidro para prever sua estabilidade em aplicações práticas. O controle da microestrutura, característico desse processo, é uma poderosa ferramenta de engenharia de materiais, que permite a obtenção de

produtos com excelentes propriedades. Além disso, os vidros suportam grandes quantidades de elementos diferentes em solução. (FERREIRA; ZANOTTO; SCUDELLER, 2002).

O conceito de cristalização controlada do vidro designa a precipitação de uma fase cristalina a partir da fase vítrea (que pode ser equiparada a uma matriz, tomando como analogia um material compósito), na forma de pequenos cristais, onde o número de cristais, a sua taxa de crescimento e o seu tamanho final são controlados mediante tratamento térmico adequado. (STRNAD, 1986 apud SANTOS et al., 2009).

Para que ocorra cristalização num vidro, de modo a obter-se um vidro cerâmico, são necessários basicamente por dois fatores: numa primeira fase, uma quantidade significativa de núcleos (taxa de nucleação e, num segundo momento, o adequado crescimento de cristal. (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2008).

Um núcleo é a forma mais incipiente de um cristal. Nesta fase já existe um ordenamento atômico, mas não existe uma direção preferencial de crescimento dos planos atômicos. A nucleação ocorre porque os átomos estão constantemente em vibração e em movimento como resultado da energia térmica existente no sistema. (SANTOS et al., 2009, p. 12).

A nucleação pode ocorrer de duas formas distintas: homogênea, núcleos se originam a partir dos próprios constituintes do vidro, ocorrendo arbitrariamente por todo o sistema sem preferência por sítios para a formação dos núcleos (SILVA, 2008; ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2008); e heterogênea, a nucleação ocorre com maior probabilidade em superfícies pré-existentes, ou junto de agentes nucleantes ou impurezas. (SANTOS et al., 2009).

A nucleação é seguida por um ou mais tratamentos térmicos sob altas temperaturas para promover a cristalização numa fase primária resultando em uma fase nucleadora heterogênea, o que induz a precipitação e o crescimento da microestrutura desejada. (BERTAN, 2006).

O processo do crescimento, em que normalmente, os átomos se unem a superfície de um núcleo cristalino, participando de sua estrutura e contribuindo para o aumento do seu volume, pode ser desenvolvido até um cristal atingir a fronteira de seus vizinhos, obtendo-se um material altamente cristalino envolvido em uma fase residual do vidro. Porém, algumas vitrocerâmicas são projetadas para possuir uma

microestrutura uniforme, sem que as superfícies vítreas se toquem permanecendo contidos numa matriz vítrea contínua. (SILVA, 2008).

Basicamente, um vidro cerâmico é, inicialmente, preparado como um vidro normal, ou seja, através de um arrefecimento rápido de um fundido, tipicamente de óxidos inorgânicos com uma composição formadora de vidro, até uma temperatura inferior à das zonas de nucleação e crescimento, para que se evite cristalização não controlada. (SANTOS et al.,2009).

7.2 FIBRAS ÓPTICAS

“Os primeiros experimentos utilizando fibra óptica ocorreram em 1930 na Alemanha, mas as pesquisas sobre suas propriedades e características se iniciaram por volta de 1950”. (BASTOS et al., 2004, p. 6).

As fibras ópticas, por sua vez, são filamentos finos e flexíveis de vidro, com diâmetros da ordem de alguns centésimos de milímetros e que podem “conduzir”, “guiar” a luz. Tal propriedade se verifica pelo fato de que o “núcleo” da fibra é constituído por um vidro com elevado índice de refração (esta grandeza está relacionada com a velocidade de propagação da luz em um determinado meio) e, a “casca” é formada por um vidro de baixo índice de refração (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001), conforme ilustra a Figura 9:

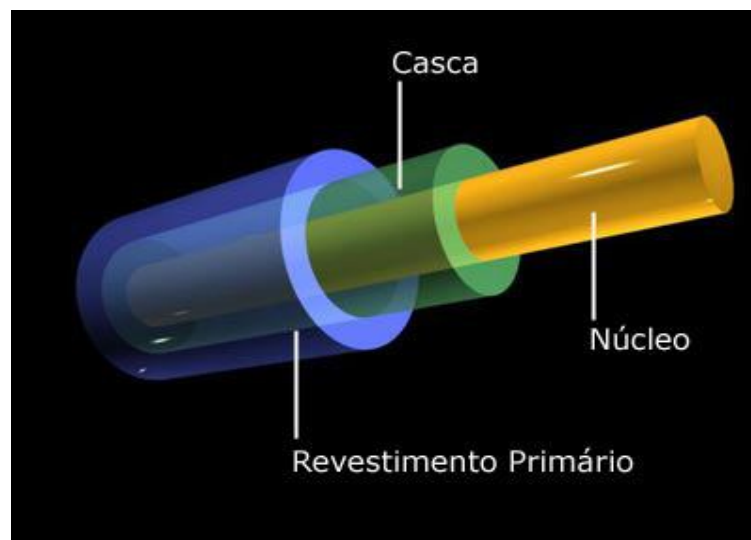


Figura 9 - Ilustração da estrutura de uma fibra óptica.
Fonte: Junior (2011).

Embora os vidros ópticos venham sendo estudados e utilizados com ênfase em aplicações tecnológicas há mais de um século, eles despertam ainda hoje um grande interesse tanto do ponto de vista científico quanto das suas aplicações. Essa família de vidros apresenta como característica principal sua homogeneidade e seletividade em função do comprimento de onda da luz. Tem-se um tipo diferente de vidro para cada aplicação desejada, ou seja, um índice de refração específico, um determinado coeficiente de absorção óptica, um comportamento térmico específico, dentre outros exemplos. (ASTRATH, 2006).

O vidro de óculos e o vidro de espelhos comuns não se incluem nesta categoria. O vidro óptico deve preencher certos requisitos rígidos: (1) Sua composição deve assegurar as propriedades óticas desejadas. (2) A mistura da partícula de vidro deve produzi-lo com viscosidade suficientemente baixa. (3) O vidro não deve desvitrificar-se, mesmo sujeito a um demorado recozimento. (4) O produto deve ser tão incolor quanto possível, sem o uso de agente descorante. (5) O vidro deve ser livre de bolhas e de estrias; (6) As propriedades no esmerilhamento e no polimento devem ser vantajosas. (7) Deve ser capaz de resistir à ação da atmosfera e de manter íntegra a sua superfície depois de longa utilização sob quaisquer condições climáticas. Na fusão de vidro ótico, usam-se cadinhos de platina reutilizáveis, com o que a corrosão ou a contaminação são nulas, obtendo-se às vezes até 90% de vidro ótico de primeira categoria. (SHREVE, 1997, p.175).

O desenvolvimento de fibras ópticas causou um impacto absolutamente sem precedentes na sociedade moderna. A aplicação das fibras ópticas dá-se nos mais diferentes campos: telecomunicações (redes de transmissão de dados, Internet); medicina de diagnóstico (endoscopia); microscopia e iluminação de precisão; detecção remota e sensoriamento; estudo de fissuras em componentes estruturais (asas de avião), dentre outras. Muitas destas aplicações vêm se constituindo naquilo que hoje denominamos fotônica, ou seja, a possibilidade de se realizar com os fótons (pacotes de luz) tudo aquilo que é feito com elétrons (eletrônica) e a sua expansão para novos conhecimentos e aplicações. Dentro destas perspectivas, têm tido lugar de relevo novas funcionalidades dos vidros, tais como os vidros fluorescentes de alto rendimento. Estes vidros podem emitir luz vermelha, amarela ou azul, dependendo dos componentes utilizados na sua fabricação e do comprimento de onda da luz utilizada na sua irradiação. (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001). Um exemplo, desse vidro, está demonstrado na Figura 10, a seguir:



Figura 10 - Novo museu da lâmpada - São Paulo: ilustração fibra óptica.
Fonte: Helm (2012).

Dentre as novas possibilidades de uso de sistemas laser-fibras ópticas, destacam-se as aplicações em medicina (tratamento de câncer, tomografia, diagnóstico de lesões cerebrais, cirurgia, análises clínicas), em análise química (sensores à fibra óptica para controle de fármacos e alimentos) e em meio ambiente (sensoriamento e análise de emissões industriais), dentre outras. (ALVES; GIMENEZ; MAZALI, 2001).

Originalmente, os vidros ópticos eram fundidos em potes refratários por prolongados períodos, sendo constantemente agitados por um bastão refratário. Após um demorado recozimento, o vidro era quebrado em vários pedaços. Os melhores fragmentos eram então reaquecidos e prensados nas formas desejadas. (ASTRATH, 2006). Atualmente utiliza-se para manufatura de vidros ópticos pequenos fornos-tanque de platina, que possibilitam a produção contínua e em larga escala do vidro óptico. O processo de origem consiste na fusão da partida num forno com a forma de um T, mediante eletrodos imersos na massa de vidro líquido. Depois de refinado e agitado, o vidro está pronto para dar o produto de qualidade ótica ou oftálmica. Este processo permite a produção de grandes quantidades de vidros

ópticos, tornando assim o produto final mais barato e de superior qualidade. (SHREVE, 1997).

Os materiais básicos usados na fabricação de fibras ópticas são sílicas puras ou dopadas, vidro composto e plástico. As fibras ópticas fabricadas de sílica pura ou dopada são as que apresentam as melhores características de transmissão e são as usadas em sistemas de telecomunicação, decorrente de um processo de fabricação complexo e caro. Entretanto as fabricadas de vidro composto e plástico não possuem boas propriedades de transmissão (alta atenuação e baixa faixa de banda passante), deixando o processo mais simples e barato em relação às fibras de sílica, empregadas apenas em sistemas de telecomunicação de baixa capacidade, pequenas distâncias e sistemas de iluminação. (BASTOS et al., 2004).

Assim como em todo produto existem pontos positivos e negativos, e situações benéficas para o uso deste ou daquele determinado produto ou serviço, a fibra óptica não foge dessa realidade.

Suas características especiais implicam consideráveis vantagens em relação aos suportes físicos de transmissão convencionais, tais como o par metálico, o cabo coaxial e considerando o suporte de rádio, frequência em microondas, à transmissão oferece condições bastante vantajosas. Sendo assim, poucas são as desvantagens no uso de fibras ópticas podendo ser, em geral, consideradas transitórias, pois resultam principalmente da relativa imaturidade da tecnologia associada. (BASTOS et al., 2004).

Algumas das vantagens e desvantagens dessa tecnologia são apresentadas na Figura 11, a seguir:

VANTAGENS	DESVANTAGENS
1. Dimensões Reduzidas.	1. Custo elevado.
2. Capacidade para transportar grandes quantidades de informação.	2. Fragilidade.
3. Imunidade às interferências eletromagnéticas.	3. Dificuldade de conexões das fibras óticas.
4. Matéria-prima muito abundante.	4. Falta de padronização dos componentes ópticos.
5. Segurança no sinal.	

Figura 11 - Quadro das vantagens e desvantagens da fibra óptica.

Fonte: Elaborado pela autora.

Já na Figura 12, a seguir, são mostradas as diferentes aplicações, funcionamento e propriedades da fibra óptica relacionando com o nosso cotidiano:

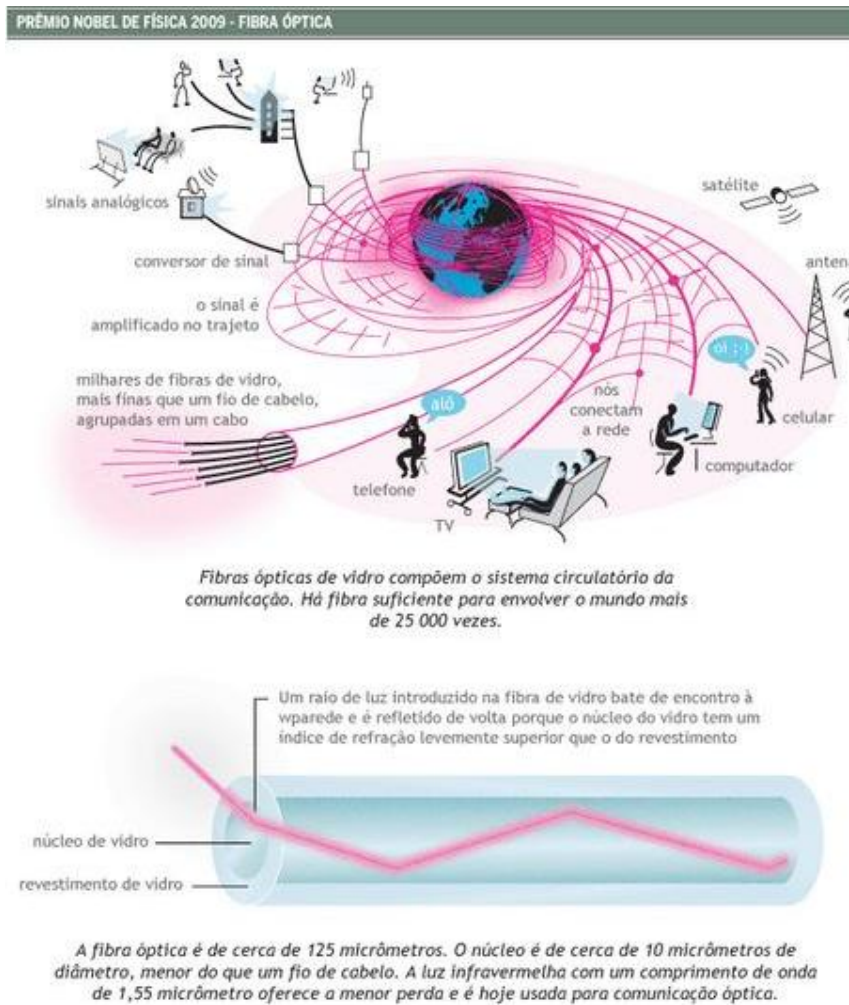


Figura 12 - Fibras ópticas – aplicações, funcionamento e propriedades.
Fonte: Junior (2011).

7.3 FIBRAS DE VIDRO

Embora não seja um produto novo, a fibra de vidro é um dos materiais usados nas mais modernas tecnologias, como por exemplo, na confecção de polímeros e materiais altamente resistentes. Deve sua utilidade à extrema finura com que é feita. Pode ser fiada, ou acamada, e constituir isolamentos, fitas, filtros de ar e uma grande variedade de outros produtos, como tubulações, com ligantes plásticos. (SHREVE, 1997). Destacam-se como isolantes térmicos e acústicos e são produzidas a partir de vidros de baixa alcalinidade.

As fibras de vidro constituem um dos principais materiais de reforço para matrizes poliméricas devido a seu baixo custo. São imunes aos ataques biológicos,

possuem boa resistência química e possibilidade de aumento de resistência mecânica através da manipulação dos seus constituintes. As fibras de vidro não são inflamáveis e têm boas propriedades elétricas. Estes materiais são empregados desde a indústria automobilística, aeronáutica, naval, de embalagens até a indústria civil. A eficiência de reforço das fibras descontínuas é menor do que as fibras contínuas. Entretanto, os compósitos reforçados com fibras descontínuas estão se tornando cada vez mais importantes no mercado devido à facilidade de moldagem. As fibras de vidro são silicatos com conteúdo de agentes modificadores que são usados visando redução das temperaturas necessárias para se atingir viscosidades altas o suficiente para se produzir fibras, tendo também em sua composição química, agentes silanos que as compatibilizam com diversas matrizes termoplásticas. (SANTOS, 2006).

A fibra de vidro ou “*Fiberglass*” é constituída por substâncias minerais, solidificadas a partir de uma mistura de quartzo, carbonato de cálcio e carbonato de sódio. Mediante a passagem do vidro em fusão por pequeníssimos orifícios, as fibras de vidro costumam ser moldadas em forma de feixes. (MATHEUS, 2002).

A produção das fibras de vidro envolve fusão dos reagentes (fonte de borato-Borax, sílica volatilizada, caulim, dolomita, soda em pó) que, em geral, estão na forma de óxidos e carbonatos. Esta fusão ocorre em temperaturas entre 1200 e 1400°C. Após a fusão, é realizado o puxamento através de feiras de platina (orifícios com pequeno diâmetro) e posterior enrolamento dos filamentos e/ou corte (fibras) dependendo da aplicação do mercado. Normalmente, as fibras são recobertas por emulsões e agentes silanos que as protegem da abrasão e/ou de outras fontes de defeitos superficiais que podem ocorrer durante a fabricação. A escolha do agente silano dependerá da matriz com a qual a superfície da fibra interagirá. O recobrimento, juntamente com o material que constitui a matriz, promove a formação de uma barreira efetiva entre o ambiente e o agente de reforço. Além disso, facilita o manuseio, o processamento das fibras de reforço e promove adesão interfacial, conferindo resistência, rigidez e durabilidade ao compósito final. Normalmente este recobrimento é feito com agentes de acoplamento, como por exemplo, os agentes silanos. (SANTOS, 2006).

As fibras de vidro se dividem em categorias: As fibras de vidro curtas do tipo E (*E-glass - electrical grade glass*), obtidas a partir de uma mistura de óxidos de Si,

Al, B, Ca e Mg (borossilicato de alumina e cálcio), são normalmente usadas como reforços para termoplásticos devido ao seu baixo custo, comparados com a aramida e o carbono (WAMBUA; IVENS; VERPOEST, 2003) e resultam na melhoria das propriedades dos materiais como a resistência ao impacto e rigidez. (LARENA et al, 1992 apud OTA, 2004). A fibra do tipo S (S-glass - strength) ou tipo R na Europa, é baseada no sistema $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$, esta fibra tem uma alta resistência em relação a fibras do tipo E. (MATTHEWS; RAWLINGS, 1994). As fibras do tipo S também possuem boas propriedades a altas temperaturas. Outras fibras têm sido desenvolvidas como as do tipo C ou C-glass (chemical glass), do tipo E-CR ou E-CR-glass (chemical resistance) e do tipo AR ou AR-glass (alkali resistance glass – resistência alcalina).

Suas principais características e formas encontradas no mercado estão apresentadas na Figura 13:

FIBRA DE VIDRO	CARACTERÍSTICA
E glass	Alta resistência e alto módulo de elasticidade; Boa condutividade elétrica.
C glass	Alta resistência a corrosão; Baixa propriedade de resistência.
S glass	Alto módulo de elasticidade; Resistência a altas temperaturas.

Figura 13 - Quadro das características da fibra de vidro.
Fonte: Hull (1995 apud FIORELLI, 2002, p.8).

A Figura 14 descreve algumas fibras de vidro e suas características:

FIBRA DE VIDRO	CARACTERÍSTICAS
Fios Têxteis	Formado por duas ou mais fibras simples de vidro, torcidos em sentidos inversos para formarem um único fio, bobinados em um suporte cônico.
Mantas de Fios Contínuos	Fabricadas com fios contínuos de vidro, dispostos de forma aleatória em múltiplas camadas e unidos por um ligante. São compatíveis com resinas poliéster, estervinílica, epóxi.
Mantas de Fios Picados	Fabricadas com fios picados de vidro, unidos por um ligante solúvel em estireno, que lhe confere uma excelente compatibilidade com resinas poliéster e epóxi.
Roving	Produzido a partir de fios de vidro indicados para aplicação por projeção simultânea.
Roving Direto	Produzido a partir de fios de vidro destinados a fabricação de produtos nos processos de moldagem por enrolamento.
Tecido Unidirecional (TRB)	Produzido a partir de mechas contínuas de fios de vidro com agentes de acoplamento compatíveis com resinas poliéster e epóxi. É utilizado na moldagem de peças em plástico reforçado e recomendado para laminação manual.

Figura 14 - Quadro dos tipos de fibra de vidro para reforço.
 Fonte: Catálogo Saint-Gobain Vetrotex (2000 apud FIORELLI, 2002, p.9).

“O vidro para tecidos deve ter pureza igual aos melhores tipos de vidros óticos e, quando fundido, deve estar isento de quaisquer núcleos ou bolhas, que tenderiam a provocar a quebra da continuidade da fibra.” (SHREVE, 1997, p.551).

Cobrindo um amplo contexto de aplicações, as fibras de vidro, com diâmetros que vão de 0,1 a 0,001mm, merecem atenção especial. Estes materiais vítreos podem ser usados como fibras de vidro isolantes, utilizadas em construção, visando ao isolamento térmico e acústico; fibras de têxteis, tais como a “seda de vidro”, tecido obtido pela mistura das fibras com politetrafluoroetileno, resistente ao calor, a produtos químicos agressivos, e apresentando, ainda elevada resistência mecânica e elétrica, sendo também não inflamáveis; fibras de vidro para reforço de plásticos. Não pode deixar de ser mencionados os vidros reforçados com fibras de vidro, ou seja, compósitos vidro-vidro, de resistência mecânica próxima à do aço, com a vantagem de apresentar peso consideravelmente menor. Trata-se de compósitos de alta estabilidade térmica frente ao stress térmico, o que os habilita para utilização na indústria aeronáutica. (ALVES, [200-?], p.4).

As Figuras 15, 16, 17 e 18 ilustram os produtos comerciais de fibra de vidro e suas utilidades são descritas juntamente:

Na Figura 15, o roving pode ser usado na fabricação de: piscinas, banheiras, telhas, caixas d’água, tubulações, tanques, perfis estruturais.



Figura 15 - Roving.
Fonte: Spray..., 2007.

A Figura 16 mostra a manta de fibra de vidro que pode ser utilizada na fabricação de: embarcações, peças, automobilísticas, perfis, entre outros.



Figura 16 - Manta de fibra de vidro.
Fonte: Mantas..., c2010-2013.

A Figura 17 corresponde a uma fibra de vidro picada que pode ser utilizada na fabricação de: termoplásticos e termofixos reforçados em geral.



Figura 17 - Fibra de vidro picada.
Fonte: Fibra..., c1999-2013.

Na Figura 18, o tecido de fibra de vidro é utilizado para fabricação de: embarcações, tanques, peças automobilísticas, perfis e outros.



Figura 18 - Tecido de fibra de vidro.
Fonte: Tecido..., c2013.

Na Figura 19, a seguir, são apresentadas as diversas aplicações das fibras de vidro dentro dos mais diferentes contextos:

APLICAÇÕES DAS FIBRAS DE VIDRO
1. Fibras de vidro no reforço e na recuperação de vigas de madeira
2. Tecidos de plásticos reforçados
3. Tubulações, tanques ou equipamentos em processos de corrosivos
4. Material de reforço utilizado juntamente com resinas
5. Compósitos para indústria aeronáutica
6. Meios filtrantes/filtros tipo manta
7. Material para reforço de cimentos e produção de chapas cimentícias reforçadas
8. Granulados termoplásticos reforçados
9. Compósitos ou plásticos reforçados
10. Fabricação de cascas de barcos, aeronaves, carrocerias e carenagens
11. Pré-moldados de gesso
12. Membranas de fibra de vidro de alta eficiência
13. Isolamento térmico e tubulações
14. Fabricação de compósitos para aplicação em indústria automotiva em geral

Figura 19 - Quadro de aplicações das fibras de vidro.
 Fonte: Alves ([200-?], p.5).

7.4 VIDROS OFTÁLMICOS

Os vidros oftálmicos são materiais produzidos sob rigoroso controle de qualidade, objetivando pureza, homogeneidade, estabilidade e maior transparência que um vidro comum. (DIAS, 2005).

Embora ainda existam produtores que fabricam e comercializam lentes em mineral (vidro) pelo seu baixo custo, o vidro é um material considerado em desuso nesta aplicação em virtude de problemas de segurança, pelo seu peso e pelas suas limitações estéticas. Há muitas pesquisas com objetivos relacionados ao estudo da quantificação e valorização dos resíduos das lentes oftálmicas fabricadas apenas com materiais orgânicos, em substituição ao vidro. (RUIVINHO, 2010).

As resinas de policarbonato são amplamente utilizadas comercialmente para a produção de lentes oftálmicas. As resinas di-carbonato di-alila do etileno glicol, DADC, conhecidas por nomes comerciais de CR-39 e *Nouryset*, são as mais utilizadas na produção de lentes oftálmicas em molde, pois apresentam vantagens em relação ao vidro e aos plásticos acrílicos quanto ao peso específico e propriedades ópticas. (BROGNA; RAVAGNANI, 2002, p.265).

Um desenvolvimento interessante relacionado ao uso de vidros oftálmicos foram as lentes produzidas com vidros fotocromáticos, cujas cores variam com a intensidade da luz e se adaptam às diferentes situações de iluminação. (ALVES, [200-?]).

Estas propriedades fotocromáticas são inteiramente reversíveis e não estão sujeitas à fadiga. Na verdade, amostras de vidro fotocromático foram expostas a milhares de ciclos sem quaisquer deteriorações no desempenho. A explicação científica deste processo fotocromático é a fabricação de um vidro com partículas submicroscópicas de halogenetos de prata, que, quando expostas à luz, reagem de forma diferente à dos halogenetos de prata fotográficos. Estas partículas têm cerca de 50 Å de diâmetro e uma concentração de 10^{15} partículas por centímetro cúbico e estão imersas no vidro quimicamente inerte, rígido e impermeável, que impede a difusão dos “centros de cor” fotolíticos e o crescimento de partículas de prata, grandes e estáveis, ou impede a reação química de decomposição irreversível do halogeneto de prata, que ocorre no processo fotográfico comum, com a formação de partículas de prata, grandes e opacas. (SHREVE, 1997, p. 174).

Os dois processos citados acima em Shreve, 1997, p. 174 podem ser esquematizados conforme as Figuras 20 e 21:

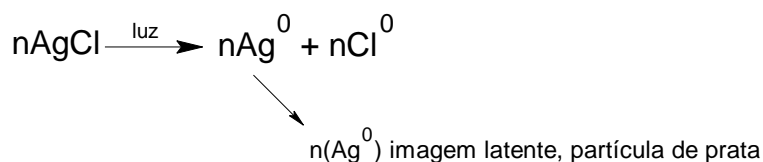


Figura 20 - Reação do processo fotográfico irreversível.
Fonte: Sherve (1997, p. 174).

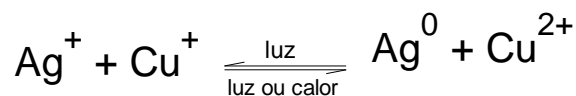
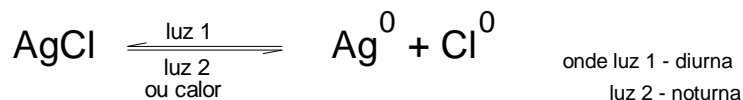


Figura 21 - Reação do processo fotocromático reversível.
Fonte: Sherve (1997, p. 174).

A reação fotolítica primária é a da libertação de um elétron do Cl^- , que é capturado por um íon Ag^+ , formando-se $\text{Ag}^0 + \text{Cl}^0$. A aplicação destes vidros fotocromáticos é conveniente, por certo, em quebra-luzes, janelas e instrumentos, automóveis e em processos onde se deseja o controle dinâmico da luz solar. (SHREVE, 1997, p. 174).

A Figura 22 é um exemplo das lentes fotocromáticas, mostrando seu funcionamento em relação ao clareamento e escurecimento da lente, podendo ser utilizadas em vários momentos do dia:



Figura 22 - Divulgação das lentes fotocromáticas.
Fonte: Paulo (2007, p.38).

Quando nos referimos às lentes de qualquer desenho como, por exemplo, as de visão simples, as bifocais ou as progressivas, estamos tratando de materiais fotocromáticos. Essas lentes estão disponíveis em cristal e em resina. As lentes fotocromáticas de cristal são também conhecidas como fotocromáticas e as de resina, como fotossensíveis. (OLIVEIRA; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2001).

O vidro fotossensível constituído essencialmente por um silicato de lítio modificado por óxido de potássio e óxido de alumínio, com traços de compostos de cério e de prata, funcionam como componentes fotossensíveis. Sob a ação de luz ultravioleta, formam-se núcleos de prata sensibilizada pelo cério, em torno dos quais se estrutura uma imagem de metassilicato de lítio, que é revelada por tratamento térmico a cerca de 600°C. O metassilicato de lítio solúvel em ácido pode ser removido pelo ácido fluorídrico a 10%. Se a exposição à luz for feita através de um negativo (obtido fotograficamente de um desenho), o resultado final será uma reprodução em vidro muito exata e com os mínimos detalhes. Por exemplo, podem ser feitas, a baixo custo e com uma exatidão, chapas de circuitos elétricos em vidro. O processo foi denominado gravação química do vidro. (SHREVE, 1997, p.174).

As lentes de cristal, devido ao fato do material fotocromático estar distribuído em toda a sua espessura, podem apresentar diferenças na intensidade de coloração

quando ativadas, sendo mais intensa nas áreas mais espessas (no centro, no caso das lentes positivas e nas bordas, no caso das negativas) e menos intensa nas áreas mais finas. Nas lentes de resina, a intensidade da coloração é uniforme, porque a camada fotocromica possui a mesma espessura em toda a sua superfície. No caso, o material fotocromico é convertido em corante orgânico, que absorve luz, ocorrendo a mudança de cor. (OLIVEIRA; OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2001).

7.5 VIDROS CALCOGENETOS

Do ponto de vista de novas famílias de vidros, ou seja, quando saímos dos vidros borossilicatos, aluminatos de fosfatos, certamente o destaque fica para os vidros calcogenetos, que têm sido pesquisados desde os anos 1950 e alcançados progressos consideráveis até o presente momento. Calcogenetos são compostos cujos ânions pertencem ao grupo VI da Tabela Periódica. Eles são materiais inorgânicos que sempre contêm um ou mais elementos calcógenos (S, Se ou Te, mas não O), juntamente com um ou mais elementos tais como Ge, Si, P, As, Sb, Bi, Sn, Pb, B, Al, Ga, In, Te, Ag, lantanídeos e Na. Em sistemas amorfos o termo calcogeneto é comumente usado para distinguir vidros sulfetos, selenetos e teluritos de vidros óxidos. (SILVA, 2002).

Vidros que incluem tais elementos estão sendo intensivamente estudados, dada à grande potencialidade de aplicações por terem a propriedade de interagir tanto com fótons quanto com elétrons, Figura 23:

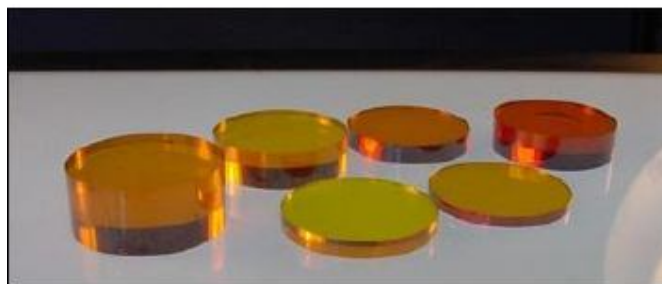


Figura 23 - Vidros calcogenetos.
Fonte: Alves ([200-?], p.10).

Uma das mais importantes características dos vidros calcogenetos é sua faixa de transmissão, que se estende a comprimentos de onda além das faixas dos vidros de sílica e outros. A combinação de propriedades passivas e ativas torna essa família de vidros única no campo dos materiais ópticos e eletrônicos. Uma derivação importante das composições envolvendo os elementos S, Se, Te é a dos vidros dopados com *quantum-dot*, da família II (Cd, Pb), obtidos no interior das matrizes vítreas, durante o processo de fusão/resfriamento, seguido de tratamento térmicos especiais. (ALVES, [200-?], p.10).

Um exemplo, dos vidros calcogenetos que surgiram como ótimos candidatos para várias aplicações são os vidros calcogenetos do tipo GLS/GLSO que apresentam diversas vantagens em relação a outros hospedeiros de terras-raras, que são difíceis de separá-los dos diversos minerais que os contém.

Os íons terras raras correspondem aos elementos lantanídeos que apresentam números atômicos entre 57 e 71. Na tabela periódica estes elementos estão compreendidos entre o Lantânio (La) e o Lutécio (Lu), juntamente com os elementos escândio (Sc) e o ítrio (Y). (SILVA, 2010, p.9).

O sistema vítreo Sulfeto de Gálio e Lantânio (GLS) foi descoberto em 1974 por Lozac'h e colaboradores. Nesse tipo de matriz, a solubilidade dos íons TR é extremamente alta devido à presença do lantânio; sua região de transparência vai de 0,5 a 10 mm que é extremamente alta comparada a dos vidros silicatos comuns; as seções de choque de emissão dos níveis dos íons TR são elevadas devido ao alto índice de refração (2,4 para GLS e 2,2 para GLSO), que combinado com a baixa energia de fônon ($\sim 425 \text{ cm}^{-1}$), fornece-nos transições lasers em quase todo espectro infravermelho, além do uso de níveis de energia que são não-radiativos em vidros óxidos (a presença do oxigênio causa maior assimetria na matriz hospedeira). Para o sistema GLSO, a presença do óxido de lantânio leva a uma maior estabilidade térmica. De fato, a ação laser tem sido observada em amostra vítrea volumétrica e em fibra de GLS dopadas com neodímio. Essas bases são também matrizes para amplificadores ópticos para telecomunicações em 1,3 μm , porque matrizes amorfas normalmente não exibem não-linearidades ópticas de segunda ordem devido a sua estrutura centrossimétrica. Além de todas as aplicações já citadas, os vidros calcogenetos do tipo GLS e GLSO também têm sido usados como matrizes para sensores ópticos de temperatura, dispositivos acústico-óptico e aplicações laser no infravermelho médio. (SILVA, 2002).

Na Figura 24 são apresentadas algumas das aplicações, já existentes ou em potencial, dos vidros calcogenetos:

APLICAÇÕES DOS VIDROS CALCOGENETOS
1. Fibras ópticas especiais
2. Filmes finos para aplicações em fotônica
3. Sistemas integrados à base de chaveamento “totalmente óptico”
4. Armazenagem de dados através de mudança de fase
5. Sensores químicos para monitoramento e controle ambientais
6. Óptica não-linear
7. Filmes para guias de ondas ópticos, moduladores e dispositivos de chaveamento
8. Aplicações em astronomia
9. Chaveamento óptico ultra-rápido
10. Sistemas com efeito de fotoenegrecimento (<i>photo darkening</i>)
11. Sistemas holográficos
12. Sistemas para <i>air-bags</i> automotivos
13. Materiais compósitos para aplicações aeroespaciais
14. Dispositivos a fibra para detecção de poluentes
15. Eletrólitos para baterias de estado sólido
16. Memórias

Figura 24 - Quadro de aplicações dos vidros calcogenetos.
Fonte: Alves ([200-?], p.11).

7.6 VIDROS ÓPTICOS ESPECIAIS DESTINADOS A PROTEÇÃO NUCLEAR

Os vidros ópticos especiais destinados a bloquear a radiação são desenvolvidos especificamente para atuarem em tecnologia nuclear, sendo utilizados especialmente como janelas para as chamadas *hot cells* – câmaras de manutenção de material radioativo. A grande maioria desses vidros contém chumbo em sua composição e muda de coloração quando irradiada com radiações beta ou gama. Para evitar tais mudanças de coloração, geralmente se utiliza óxido de cério IV (CeO_2) em suas composições. (ALVES, [200-?]). A Figura 25 mostra um EPI

(equipamento de proteção individual) confeccionado por vidro óptico especial para proteção contra radiação.



Figura 25 - Óculos usado em situações onde há emissão de radiação.
Fonte: Alves ([200-?], p.3).

Os rejeitos oriundos da geração de energia nucleolétrica são bastante diversos quanto à forma, toxicidade, atividade, composição química, entre outros, sendo, em geral, classificados em relação à atividade como sendo de baixo, médio e alto nível. (COMISSÃO, 1985). Devido a essas características, não existe uma matriz única para a imobilização desses rejeitos. Tal matriz de incorporação do rejeito é a primeira barreira imposta aos radionuclídeos devendo, portanto, apresentar boas propriedades, principalmente às relativas à permeabilidade e resistências mecânica, térmica e química.

Entre as técnicas de acondicionamento de rejeitos radioativos de alto nível, a técnica de vitrificação é a mais empregada. Esta técnica está sendo considerada também para rejeitos de baixa e média atividades devido à sua capacidade de incorporar um maior volume. (BICKFORD; SCHUMACHER, 1994).

No processo sol-gel, partindo-se originalmente de precursores moleculares (alcóxidos e sais metálicos), uma rede de óxido pode ser obtida *via* reações de polimerização inorgânica. Estas reações ocorrem em solução, e o termo “sol-gel” é utilizado para descrever a síntese de óxidos inorgânicos por métodos de *via* úmida. (TIBONI, 2007).

A tecnologia sol-gel é considerada promissora para obtenção de vidros para a incorporação de elementos radioativos. Este fato deve-se, principalmente, à ausência de poeira durante as etapas de processamento, à menor temperatura de trabalho, à obtenção de vidros mais homogêneos. Além disso, com esse processo, é possível controlar as propriedades finais do vidro, atuando nas etapas intermediárias do processamento onde se pode, por exemplo, alterar a morfologia, o tamanho e a distribuição dos poros presentes na matriz. (SANTOS; VASCONCELOS, [200-?], p.1).

Através da hidrólise e condensação de um alcóxido, dependendo do modo como as reações químicas são catalisadas, pode-se obter estruturas diferentes, ou seja, com catálise em meio ácido tem-se uma estrutura linear aberta e com catálise em meio básico pode ser obtida uma estrutura ramificada bem fechada. Também, pode-se influenciar a estrutura dos materiais atuando diretamente nas seguintes variáveis de processo: relação molar entre água e precursor, natureza e concentração do catalisador, tipo de solvente e sequência de mistura de reagentes. (MACKENZIE, 1986 apud SANTOS; VASCONCELOS, [200-?]).

A química do processo sol-gel é baseada nas reações de hidrólise e condensação de precursores moleculares. Os precursores mais versáteis e utilizados neste tipo de síntese são os alcóxidos metálicos, $M(OR)_n$ (R = metil, etil, propil, isopropil, butil, terc-butil, etc.). A alta eletrofilicidade do grupo alcóxido (-OR) faz com que o átomo metálico seja susceptível a ataques nucleofílicos. A etapa de hidrólise de um alcóxido gera um hidróxido metálico, M-OH, mostrada na Figura 26: (TIBONI, 2007).

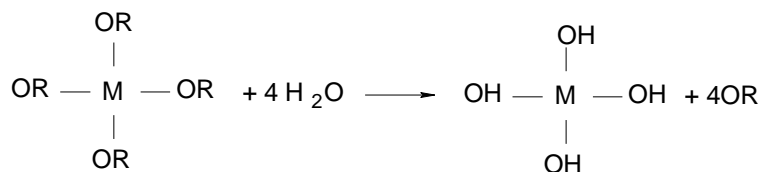


Figura 26 - Reação de hidrólise de um alcóxido.
Fonte: Tiboni (2007, p.22).

Esta reação é oriunda de uma adição nucleofílica de grupos OH da água ao átomo do metal. A segunda etapa do processo sol-gel consiste na condensação das espécies MOH, levando à formação de ligações -M-O-M-, como é mostrado na Figura 27:

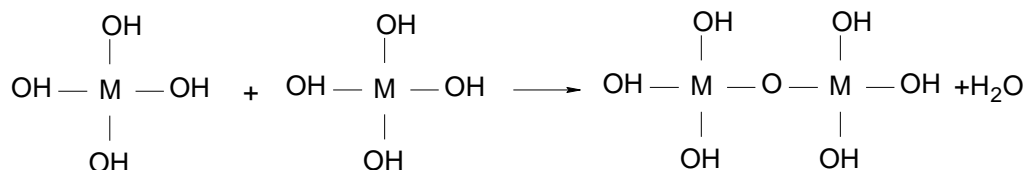


Figura 27 - Reação do processo de condensação.
Fonte: Tiboni (2007, p.22).

Quando existe um número suficiente de ligações M-O-M em uma determinada região, após as reações de hidrólise e condensação das espécies hidratadas, ocorre a formação, por efeito cooperativo, de partículas coloidais ou de cadeias poliméricas. (HIRATSUKA; SANTILLI; PULCINELLI, 1995). Esta fase é conhecida com o nome de sol. O tamanho das partículas do sol dependerá, entre outros fatores, do pH e da razão H₂O/alcóxido presente no meio. (HENCH; WEST, 1990).

As reações de hidrólise e condensação descritas anteriormente foram exaustivamente estudadas no caso de obtenção de sílica como produto final, partindo-se do tetraetilortossilicato (TEOS) como alcóxido precursor. O produto final obtido tem suas características intimamente relacionadas com o tipo de catálise utilizada, sendo ácida ou básica. (NASSAR; MESSADDEQ; RIBEIRO, 2002).

Decorrente a todas as reações anteriores, na Figura 28, a seguir, será visto a representação esquemática das possibilidades de processamento e de obtenção de materiais através do processo sol-gel:

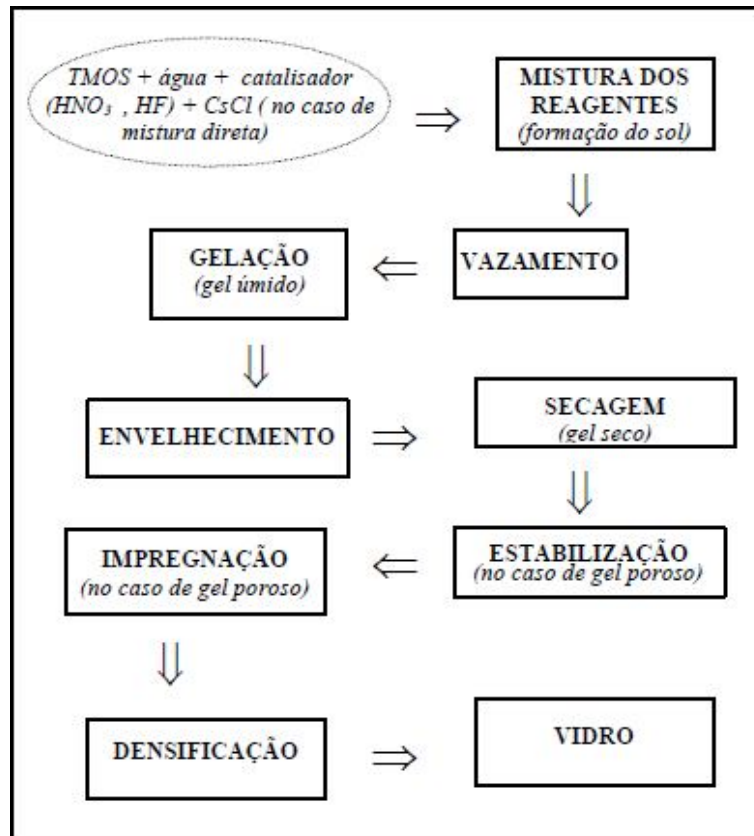


Figura 28 - Esquema do processo sol-gel.
Fonte: Santos; Vasconcelos ([200-?], p. 2).

Os géis de sílica foram obtidos através do processo sol-gel, via hidrólise e condensação do tetrametilortossilicato (TMOS), a baixa temperatura e à pressão atmosférica, utilizando-se os ácidos nítrico e fluorídrico como catalisadores. Foram obtidos géis porosos para testes de impregnação com cloreto de célio (elemento de incorporação) e géis incorporados com célio através da mistura direta do CsCl na solução de vazamento. As principais etapas no caso de mistura direta são: vazamento, gelificação, envelhecimento, secagem e densificação e, no caso de impregnação, além dessas etapas, têm-se as de estabilização e impregnação. (SANTOS; VASCONCELOS, [200-?], p 2).

A Figura 29 mostra um gel incorporado com célio por mistura direta para obtenção do vidro, ilustrando o esquema citado acima:

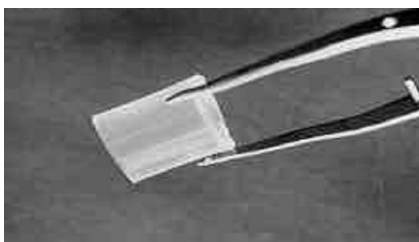


Figura 29 - Gel incorporado com célio por mistura direta.
Fonte: Santos; Vasconcelos ([200-?], p. 3).

O vidro, à base de chumbo, também tem sido bastante usado em pesquisa, sobretudo na detecção e determinação da energia de partículas subatômicas de alta velocidade: elétrons, pósitrons, raios cósmicos, entre outros. Muitos deles são também utilizados em dosímetros para radiação. (PFAENDER, 1996 apud ALVES, [200-?]).

7.7 JANELAS INTELIGENTES OU ELETROCRÔMICAS

O interesse por pesquisas relacionadas ao aproveitamento da energia solar tem se intensificado nos últimos anos. Hoje é notório o desenvolvimento de tecnologias para a utilização desta energia, assim como a maximização da eficiência em seus processos de aproveitamento. Há também a possibilidade de aliviar os impactos ambientais e interesses por outros mercados especializados tais como o automobilístico, aeroespacial, militar, de diversão, entre outros, os quais parecem muito promissores em curto prazo, podendo haver grande movimentação financeira. (OLIVEIRA; TORRESI; TORRESI, 2000).

Os principais aspectos funcionais para aplicação na indústria arquitetônica e automotiva são a redução de luz e controle de temperatura para conforto térmico e visual. Além disso, também podem ser usadas como *display*, entretanto a luz externa é requerida, pois esses sistemas não são emissores de luz. Os dispositivos eletrocromicos vêm sendo comercializados, há cerca de 10 anos, com outras aplicações propostas como uso em dispositivos reflexivos ou transmissivos para informações ópticas, óculos escuros, redutores de luminosidade para escritórios e janelas inteligentes para carros e edifícios. (MORTIMER; BANGE; GAMBKE, 1990 apud MACHADO, 2001). Na Figura 30, a seguir, está um exemplo de um edifício que usa as janelas inteligentes:

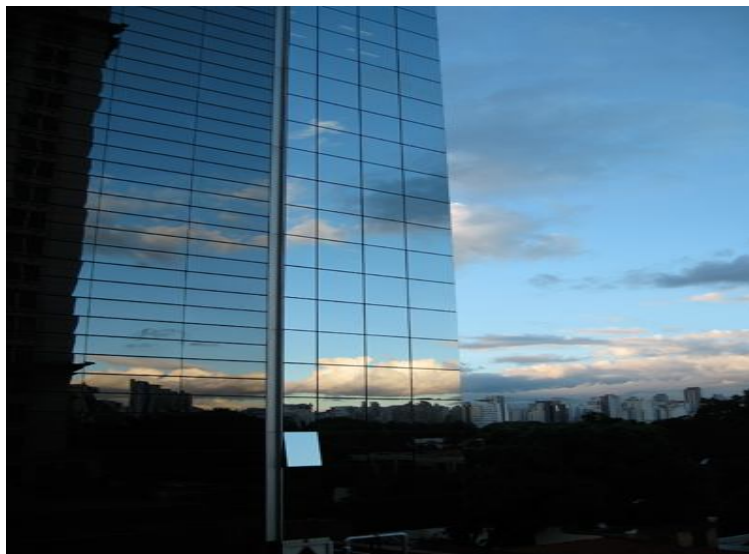
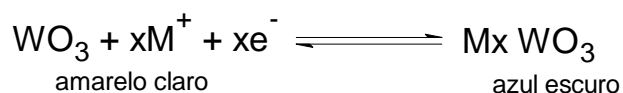


Figura 30 - Edifício com janelas inteligentes.
Fonte: Janela..., 2013.

As janelas inteligentes ou eletrocromicas usam a eletricidade para mudar de cor. São constituídas, por exemplo, de uma placa de vidro, na qual foi depositado um filme fino de óxido de tungstênio (WO_3) que atua como uma bateria. O óxido de tungstênio quando uma carga elétrica é aplicada fica claro, quando a carga é removida, escuro. Assim, a aplicação de voltagem determina se a janela será clara ou escura. Um aspecto interessante que torna a janela “inteligente” é que a mesma conta com uma espécie de “memória”. Assim, uma pequena variação de voltagem já é suficiente para que este passe de um estado para o outro. As transições têm lugar entre 10 segundos e alguns minutos, dependendo do tipo de janela. (ALVES, [200-?]).

Conforme a Figura 31, o processo eletrocromico é a inserção reversível, quando estes são submetidos a uma mudança eletroquímica, ou seja, um campo elétrico, de íons do tipo M^+ , dentro da rede do WO_3 :



Onde $0 < x < 0,25$ e M^+ pode ser, tipicamente, H^+ , Li^+ ou Na^+ .

Figura 31 - Reação geral do processo eletrocromico.
Fonte: Córdoba de Torresi et al.(1991 apud OLIVEIRA; TORRESI; TORRESI, 2000, p.82).

O óxido de tungstênio tem uma estrutura constituída pelo compartilhamento dos vértices do octaedro WO_6 onde o espaço livre entre os mesmos é considerável e possibilita a existência de um grande número de sítios intersticiais, proporcionando o alojamento de íons. O número fracional de sítios que são ocupados na rede do WO_3 é indicado pelo índice x na fórmula geral M_xWO_3 . O processo é promovido por uma polarização catódica, que induz a inserção de íons e a injeção de elétrons (os íons inseridos expandem a rede de óxido enquanto a compensação de elétrons modifica sua estrutura eletrônica). (SCROSATI, 1993 apud OLIVEIRA; TORRESI; TORRESI, 2000, p.82).

Este material acaba com a mesmice das janelas de vidro, passando de quase transparente para azul-escuro. As colorações obtidas com os vidros eletrocromicos, quando ativados, podem ser azul, verde, amarelo, vermelho e cinza conforme são regulados para permitir vários níveis de visibilidade. (CARAM; SICHIERI; PAWLICKA, 2004). A Figura 32 resume dados eletrocromicos dos vidros usados nas janelas inteligentes:

Classificação	Material Eletrocromico	Cores de Transição	Eficiência Eletrocromica ¹ (cm^2C^{-1})
Coloração Catódica	WO_3	Transparente/ Azul escuro	115 (633 nm)
	MoO_3	Transparente/ azul escuro	5 (633 nm)
	Nb_2O_5	Transparente/ Azul claro	90 (633 nm)
	TiO_2	Transparente/ Azul claro	8 (646 nm)
Coloração Anódica	NiO	Transparente/ marrom escuro	50 (350-500 nm)
	IrO_2	Transparente/ preto	15-18 (633 nm)
	IRTOF ²	Transparente/ preto	20 (633 nm)
Coloração Anódica e Catódica	V_2O_5	Cinza/ Amarelo	80 (514 nm)
	CoO_x	Vermelho/ Azul	30 (633 nm)
	Rh_2O_3	Amarelo/ Verde	20 (546 nm)

Figura 32 - Quadro de dados eletrocromicos dos vidros usados nas janelas inteligentes.
Fonte: Oliveira; Torresi e Torresi (2000, p.83).

Os mais importantes exemplos de materiais eletrocromicos são: óxidos de metais de transição, azul da Prússia, “viológenos” (compostos a base de 4,4'-dipiridina), ftalocianinas, fulerenos, corantes e polímeros semicondutores. (GUEDES, 2010).

Os dispositivos eletrocromicos residem no fato de apresentarem um grande número de vantagens bastante específicas tais como: alto contraste óptico com contínua variação de transmitância e independência em relação ao ângulo de visão, memória óptica, estabilidade aos raios ultravioleta, além de ampla operação nas mais variadas faixas de temperatura. Estas características favoráveis podem, finalmente, superar as já conhecidas deficiências de janelas ou visores de cristais líquidos, colocando os dispositivos eletrocromicos em uma posição destacada na produção de painéis de grande ângulo visual. (OLIVEIRA; TORRESI; TORRESI, 2000).

Uma característica comum deste tipo de material, diferentemente dos cristais-líquidos usados em visores é que, uma vez que estes materiais se tornam coloridos, a voltagem aplicada pode ser desligada e a cor conservada, tornando o dispositivo eletrocromico mais eficiente em energia. Essas mudanças de coloração, através da polarização e dependendo do filme eletrocromico utilizado, filtrará de maneira seletiva a radiação solar, podendo atenuar o ingresso de raios infravermelhos na edificação, por exemplo, no inverno. Se for necessário ou adequado o ingresso da radiação infravermelha no inverno, a janela deve permanecer no estado despolarizado e, portanto, incolor e transparente. (POLONI, 2011). A Figura 33, a seguir, ilustra a propriedade de memória óptica das janelas eletrocromicas:

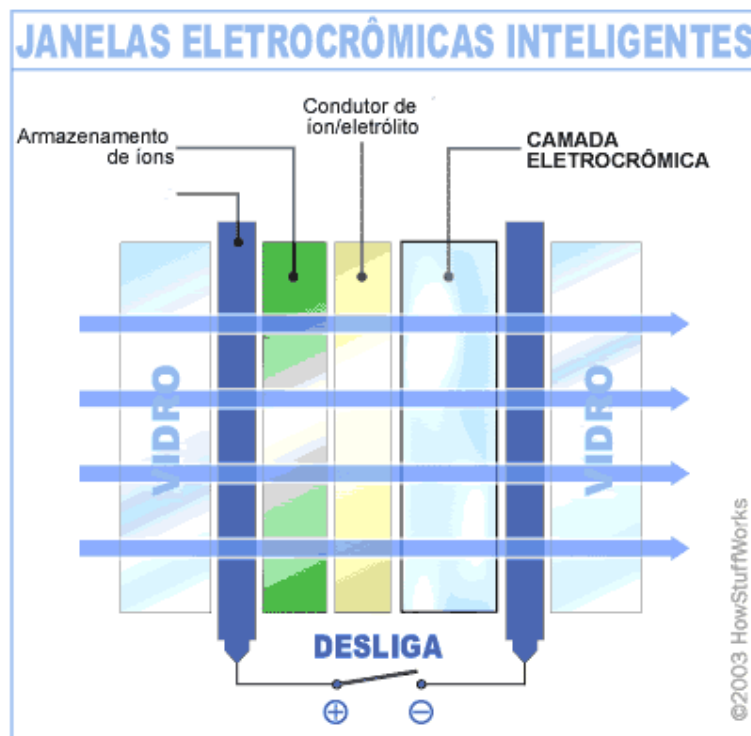


Figura 33 – Janelas eletocrômicas inteligentes, quando é desligada.
Fonte: Poloni (2011).

A Figura 34, a seguir, mostra uma janela eletocrômica cujo comportamento da mudança de cor depende do estado de carga, ou seja, para colorir ou descolorir a janela requer apenas a carga ou descarga do filme eletocrômico. O dispositivo contém dois pares redox diferentes, em que, pelo menos um, é eletocrômico e preferencialmente sólido. Um condutor iônico transparente se faz necessário para o transporte de cargas e para gerar o campo elétrico, completando o dispositivo. (DONNADIEU, 1989 apud OLIVEIRA; TORRESI; TORRESI, 2000).

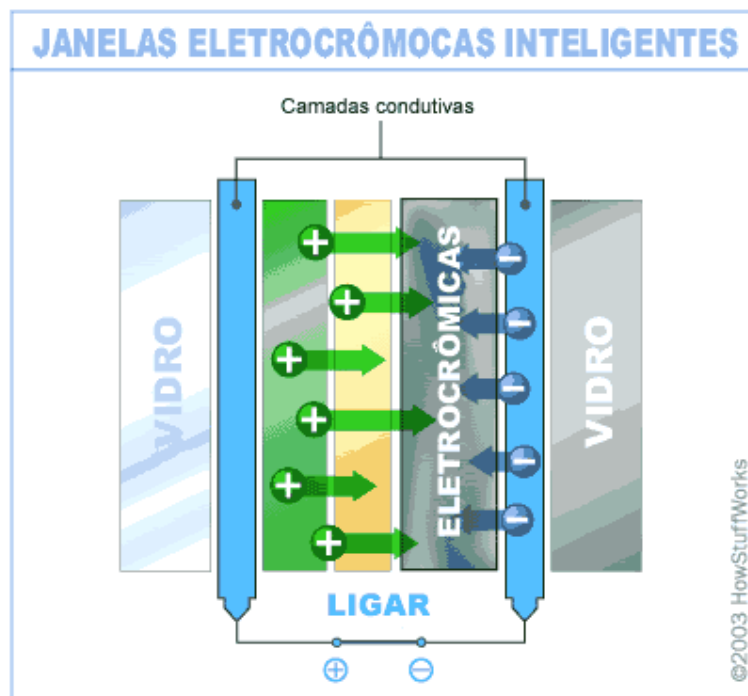


Figura 34 - Janelas eletrocromáticas inteligentes.
Fonte: Poloni (2011).

As Figuras 35 e 36 ilustram a utilização deste tipo de material nas janelas:



Figura 35 - Paredes de vidro para dividir ambientes em residências.
Fonte: Aplicações..., c2013.



Figura 36 - Projetos de segurança.
Fonte: Aplicações..., c2013.

7.8 VIDROS POROSOS

Foram recentemente desenvolvidos, através de processos de sinterização ou lixiviação, muito bem controlados, vidros contendo poros abertos e membranas capilares. Tais materiais, semelhantes a “esponjas de vidro” (Figura 37), dada sua elevada durabilidade química (resistência a agentes químicos agressivos) e mecânica (resistência à quebra), têm sido cogitados para estocar e transportar fluidos tóxicos, com segurança. Espera-se ainda que, no caso das membranas, estas venham a ser largamente utilizadas em instalações de dessalinização da água do mar ou em aplicações médicas, dentre elas no tratamento e purificação de sangue e no caso dos rins artificiais. (ALVES, [200-?]).

A rigor, qualquer sólido apresenta um grau de porosidade, detectável ou não, resultante da presença de cavidades, canais ou interstícios. A porosidade de um material exerce influência sobre suas propriedades físicas, tais como: densidade, condutividade térmica e resistência mecânica. Como consequência, o controle da estrutura porosa é de grande importância industrial, por exemplo, no design de catalisadores, adsorventes industriais, membranas e cerâmicas. (GIMENEZ; FERREIRA; ALVES, [200-?], p. 112).

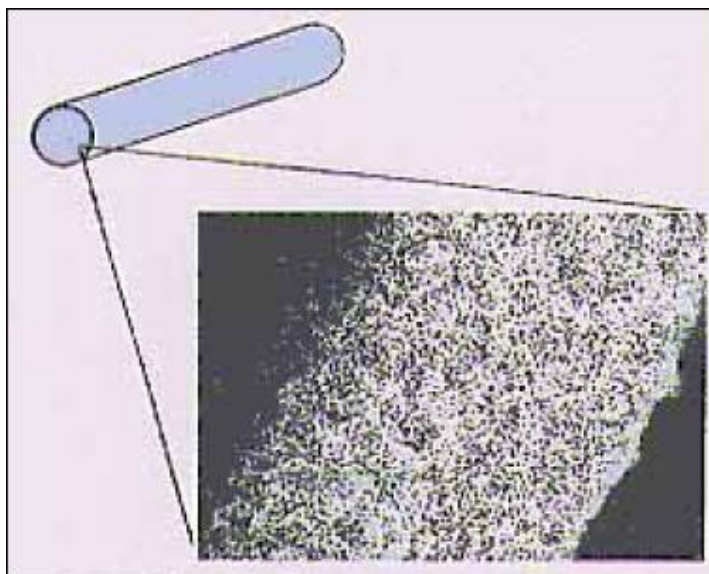


Figura 37 - Estrutura de um vidro poroso.
Fonte: Alves ([200-?], p.9).

Um vidro poroso que apresenta características bastante interessantes é Vidro poroso *Vycor* (*Porous Vycor Glass – PVG*). Trata-se de um material produzido pela *Corning Glass* de composição de aproximadamente 96,3% SiO_2 , 2,9% de B_2O_3 ,

0,4% de Al_2O_3 , 0,2% de Na_2O e 0,2% de K_2O (CORNING, 1979), formado através da fusão de seus óxidos a altas temperaturas, seguido de resfriamento rápido do fundido, tratamento térmico próximo da T_g (temperatura de transição vítrea), seguido de uma lixiviação da fase cristalina (rica em B_2O_3 – atua como ácido de Lewis), que dará origem à estrutura porosa do material. (TIBONI, 2007).

Uma representação esquemática da estrutura porosa do PVG está ilustrada na Figura 38:

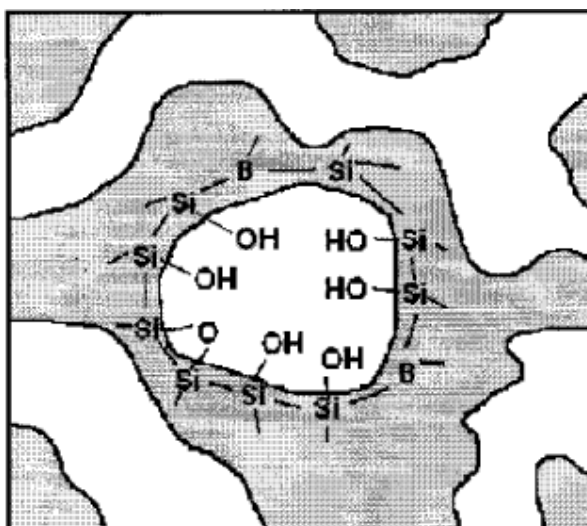


Figura 38 – Representação esquemática da estrutura porosa do PVG.
Fonte: Maia et al (2000, p.210).

O Grupo de Química de Materiais da UFPR têm trabalhado com a incorporação e reação química de diversos materiais em vidros porosos Vycor, como polímeros condutores, carbono amorfo, nanotubos de carbono, compostos organometálicos, óxidos de metais de transição, compostos metalorgânico, entre outros. A estrutura porosa do PVG se mantém inalterada, mesmo quando o material é aquecido a temperaturas até 1000°C . Nesta faixa ocorre eliminação de H_2O , devido a condensações entre grupos silanóis vizinhos. (TIBONI, 2007, p.19).

Este vidro apresenta em sua estrutura uma rede aleatória de poros tridimensionais nanométricos, interconectados entre si. O volume dos poros representa 28% do volume total do material, o que lhe confere altos valores de área superficial ($150\text{-}200 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$). Entretanto, umas das propriedades mais interessantes do PVG são os baixíssimos valores de diâmetros dos poros, na faixa de 10 a 200 \AA . (ZARBIN, 1997).

Dentre outras características, o PVG apresenta alta estabilidade térmica, alta resistência a choques térmicos, altas transmitâncias da luz visível, alta estabilidade

em soluções ácidas mesmo a quente (exceto HF e H₃PO₄), alta resistência a hidróxidos, propriedades mecânicas superiores aos vidros convencionais e grande resistência a ataques químicos. (CORNING, 1979 apud TIBONI, 2007).

Em geral, os vidros são normalmente isolantes elétricos, entretanto, vidros porosos têm sido impregnados com metais para a formação de fibras que são supercondutores de eletricidade. (AKERMAN, 2000).

Na Figura 39 são apresentadas outras aplicações, características de vidros porosos.

APLICAÇÕES DE VIDROS POROSOS
1. Separação de gases e líquidos, filtros
2. Microfluídica
3. Sensores, detectores
4. Biomateriais porosos para aplicação em crescimento de ossos
5. Barreiras para difusão de fluidos
6. Carregadores para dispositivos biomédicos
7. Cargas inovadoras para odontologia
8. Bioseparação
9. Suportes para recobrimento usando sol-gel
10. Suportes para síntese
11. Sistemas de separação para proteômica
12. Purificação de anticorpos monoclonais e pequenas entidades
13. Produção de emulsões
14. Veículos para terapia gênica
15. Aplicações em oftalmologia
16. Imobilização de enzimas
17. Síntese de DNA

Figura 39 - Quadro de aplicações de vidros porosos.
Fonte: Alves ([200-?], p.9).

Durante as últimas décadas, diversos tipos de diferentes substâncias têm sido confinados nos espaços vazios de vidros porosos, conforme demonstrado na Figura 40. Há ainda a descrição do uso de vidros porosos em armazenamento de

substâncias voláteis (como fragrâncias gasosas), que permitem a emissão regulada destas mesmas substâncias. Entretanto, não existem relatos de utilização de materiais vítreos como armazenadores e liberadores de feromônios de insetos. (CHERNICHUK; VAINTRAUB, 1995 apud TIBONI, 2007).

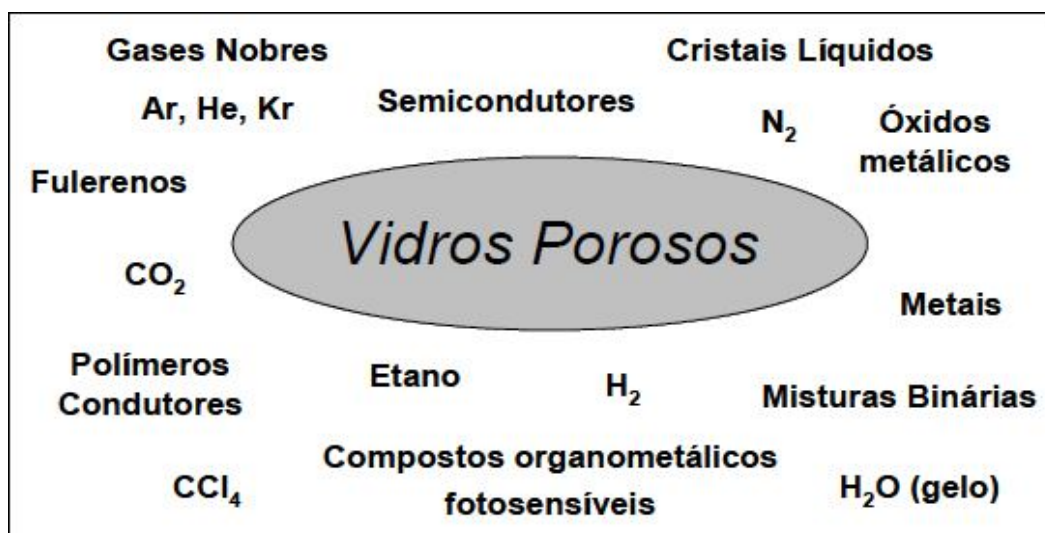


Figura 40 - Substâncias confinadas nos espaços vazios dos vidros porosos.
Fonte: Enke; Janowski e Schwieger (2003, p. 27).

8 CONCLUSÃO

Graças às investigações científicas das quais o vidro foi foco principal ocorridas nestas últimas décadas, este material passou a ter um status de “tecnologicamente avançado”, funcional e refinado. Os estudos de sua constituição química e de suas propriedades contribuíram de forma acentuada para melhorias em sua utilização. A diversidade dos vidros, suas funções e a sua vertente em crescimento de aplicações, proporciona hoje satisfação plena das exigências do conforto moderno.

Sabe-se que existe um grande número de vidros formados por compostos orgânicos e até metálicos, embora a grande maioria seja derivada de compostos inorgânicos, como os óxidos. Os métodos de obtenção de vidros também vão além do tradicional método de fusão e resfriamento, sendo possível obtê-los através de outros processos químicos.

A tecnologia desenvolvida e aplicada ao vidro permitiu que ele adquirisse novas vantagens em relação a outros materiais, podendo ser utilizados em diversos contextos. Seu peso foi sensivelmente reduzido, ao mesmo tempo em que se tornou mais resistente. Alguns vidros podem ser utilizados em temperaturas extremas, enquanto outros só têm utilidade porque se fundem a baixas temperaturas. Algumas peças conservam suas formas mesmo submetidas a mudanças extremas de temperatura como entre o fogo e o gelo, outras podem conduzir ou bloquear a luz. Os vidros podem ter diversos graus de resistência mecânica, ser densos ou leves, impermeáveis ou porosos. Em suas muitas finalidades, eles podem filtrar, conter, transmitir ou resistir às radiações eletromagnéticas pertencentes a quase todas as faixas do espectro.

Essas propriedades, citadas acima, são referentes aos materiais vítreos convencionais e modernos que foram tratados nesse trabalho, como: Vidros soda-cal, Vidros silicatos ao chumbo, Vidros tipo boro-silicato, Vidros tipo alumino-silicato, Vidro laminado, Vidro a prova de bala, Vidro temperado, Vidros oftálmicos, Vidros ópticos especiais destinados a proteção nuclear, Fibras de vidro, Fibras ópticas, Vitrocerâmicas, Vidros porosos, Vidros calcogenetos, Janelas inteligentes ou eletrocromáticas.

Sem medo de errar, podemos dizer que, hoje, seria praticamente impossível viver sem estes incríveis materiais produzidos pelo homem. O vidro tem sido, durante séculos, com suas diversas aplicações, uma incontestável marca do tempo e da civilização. Desta forma, os vidros não ficarão de fora do futuro, esteja próximo ou distante.

REFERÊNCIAS

ALVES, O. L.; GIMENEZ I. de F.; MAZALI, I. O. Vidros. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**. [S.l.], p. 13-24, maio 2001. Edição especial. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/02/vidros.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2013.

ALVES, O. L.; GIMENEZ I. de F.; MAZALI, I. O. Transformação de fase em vidros. **Vivência LQES**, Unicamp, p. 1-12, 2008. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/images/vivencia_lqes_meprotec_transformacao_vidro.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2013.

ALVES, O. L. Modernas aplicações de vidros. **LQES - Unicamp**, [200-?]. Disponível em: <lqes.iqm.unicamp.br/canal.../pontos_vista_divulgacao47-1_vidros.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2013.

APLICAÇÕES intelliglass. **Intelliglass**, c2013. Última tecnologia em vidros inteligentes, privativos. Disponível em: <http://www.intelliglass.com.br/br/aplicacoes_intelliglass.php>. Acesso em: 15 maio 2013.

ARANHA, C. P. **Estudo das propriedades microestruturais e ópticas dos vidros BaO-BaF₂-B₂O₃**. 2011. 67f. Dissertação (Mestre em Física) – Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2011. Disponível em: <http://www.tedebr.ufma.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=633>. Acesso em: 17 mar. 2013.

ARAUJO, E. B. Vidro: uma breve história, técnicas de caracterização e aplicações na tecnologia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S.l.], v. 19, n. 3, p. 325-329, set. 1997. Disponível em: <http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v19_325.pdf>. Acesso em: 19 fev. 2013.

ARKEMAN, M. **Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro**. Saint-Gobain: CEVET - centro técnico de elaboração do vidro, nov.2000. Disponível em: <http://www.dimensaodigital.com.br/ufpr/cf361/vidro_SaintGobain.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2013.

ASKELAND, D.R.; FULAY, P.P.; WRIGHT, W.J. **The science and engineering of materials**. 6. ed. [S.l.]: [s.n.], 2011.

ASTRATH, N. G. C. **Determinação e análise de propriedades térmicas e ópticas de sólidos não cristalinos em altas e baixas temperaturas**. 2006. 156f. Tese (Doutorado em Física) - Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2006. Disponível em: <www.pfi.uem.br/pfi/.../nelson_guilherme_castelli_astrath_2006.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2013.

BASTOS, A. et al. **Fibra óptica**. 2004. 80f. Monografia (Disciplina Princípios de Telecomunicações) - Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte, 2004. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/48901745/Fibras-Opticas>>. Acesso em: 6 maio 2013.

BERTAN, F. M. **Extrusão de material vitrocerâmico do sistema LZSA reforçado com partículas de $ZrSiO_4$** . 2006. 104f. Dissertação (Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006. Disponível em:<<http://tede.ufscar.br/teses/PCEM0131.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2013.

BICKFORD, D.F. & SCHUMACHER, R. **Vitrification of hazardous and radioactive wastes, WSRC-MS-94- 0569**, 1994. Disponível em: <<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/10103194-Nabbqy/webviewable/10103194.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2013.

BROGNA, F. M. S.; RAVAGNANI, S. P. Modelagem e simulação da polimerização termo e foto-iniciada de resinas di-carbonato di-alila do etileno glicol para a produção de lentes oftálmicas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 12, n. 4, p. 265-272, 2002. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/po/v12n4/a09v12n4.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2013.

BROWN, T.; LEMAY H. E. ; BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central**. 9. ed. São Paulo: Prentice-Hall, 2005.

CADIOLI, L. P.; BAITILO, L. G. Materiais Cerâmicos: Um estudo sobre vitrocerâmico. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, São Paulo, v. 4, n. 4, p. 147-161, 2009. Disponível em:<<http://sare.anhanguera.com/index.php/rcext/article/view/1282/952>>. Acesso em: 13 abr. 2013.

CARAM, R.; SICHIERI, E.; PAWLICKA, A. Vidros que mudam de cor. **Arcoweb**, 2004. Site de divulgação de conteúdos de revistas e notícias. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/tecnologia/vidros-eletrocromicos-vidros-que-05-01-2004.html>>. Acesso em: 15 maio 2013.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (Brasil). **Gerência de rejeitos radioativos em instalações radiativas**. Rio de Janeiro, RJ, 1985. (CNEN-NE-05). Disponível em: <<http://www.dracena.unesp.br/Home/ComissoesdeEtica/gerenciamento-de-resduos-radioativos-605-1985.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2013.

CORNING INCORPORATED, **Corning**, c1994-2013. Líder mundial em criar e fabricar vidros especiais e cerâmicas. Disponível em: <http://www.corning.com/news_center/features/a_day_made_of_glass.aspx>. Acesso em: 22 abr. 2013.

DIAS, A. **Introdução ao cálculo de lentes oftálmicas**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2005. (Série apontamentos). Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=tEcXICqCztoC&printsec=frontcover&hl=p-R&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=Os%20vidros%20oft%C3%A1lmicos%20s%C3%A3o%20materiais%20produzidos%20sob%20rigoroso%20controle%20de%20qualidade%2C%20objetivando%20pureza%2C%20homogeneidade%2C%20estabilidade%20e%20maior%20transpar%C3%A2ncia%20que%20um%20vidro%20comum&f=false>. Acesso em: 13 abr. 2013.

ENKE, D., JANOWSKI, F., SCHWIEGER, W. Porous glasses in the 21st century – a short review. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 60, n. 3 p. 19-30, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1387181103003299>>. Acesso em: 20 maio 2013.

FERREIRA, E. B.; ZANOTTO, E. D.; SCUDELLER, L. A. M. Nano vitrocerâmica de Escoria de Aciaria. **Química Nova**, [S.l.], v. 25, n. 5, p. 731-735, 2002. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/qn/v25n5/11400.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2013.

FIBRA de vidro picada vertentes para o processo de extrusão. **Alibaba.com**®, c1999-2013. Comércio global. Disponível em: <<http://portuguese.alibaba.com/product-gs/fiberglass-chopped-strands-for-extruding-process-384009791.html>>. Disponível em: 9 maio 2013.

FIORELLI, J. **Utilização de fibras de carbono e de fibras de vidro para reforço de vigas de madeira**. 2002. 168f. Dissertação (Mestre em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-12052003-144536/pt-br.php>>. Acesso em: 9 maio 2013.

GIMENEZ, I. de F.; FERREIRA, O. P.; ALVES, L. A. **Desenvolvimento de ecomateriais: materiais porosos para aplicação em green chemistry (química verde)**. LQES – Laboratório de Química do Estado Sólido, Campinas, p. 110 – 127, [200-?]. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/images/publicacoes_teses_livros_resumo_nanoecomateriais.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2013.

GUEDES, A. F. da S. **Desenvolvimento de dispositivos orgânicos eletrocromicos de transmissão**. 2010. 17f. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <http://tede.pucrs.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3131>. Acesso em: 10 maio 2013.

HELM, Joanna. Novo Museu da Lâmpada - São Paulo – SP. **ArchDaily**, 2012. Disponível em: <http://www.archdaily.com.br/43061>. Acesso em: 2 abr. 2013.

HENCH, L. L., WEST, J. K., The sol-gel process. **Chemistry Reviews**, v. 90, n. 1, p. 33-72, 1990. Disponível em: <<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/cr00099a003>>. Acesso em: 13 abr. 2013.

HIRATSUKA, R. S.; SANTILLI, C. S.; PULCINELLI, S. H. **O Processo Sol-gel: uma visão físico-química**. **Química Nova**, [S.l.], v. 18, n. 2, 1995. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/1995/vol18n2/v18_n2_08.pdf>. Acesso em: 15 maio 2013

HOTZA, D. **Vidros: Estrutura, Propriedades e Processamento**. Universidade Federal de Santa Catarina, c2011. 20 diapositivos. Disponível em: <<http://www.docstoc.com/docs/108617460/Vidros-Estrutura-Propriedades-e-Processamento>>. Acesso em: 28 maio 2013.

“JANELA inteligente” escurece para economizar energia. **Frigemar**, 2013. Empresa de climatização de ambientes e aquecimento de água. Disponível em: <<http://frigemar.wordpress.com/2013/01/16/janela-inteligente-escurece-para-economizar-energia/>>. Acesso em: 15 maio 2013.

JUNIOR, A. O que é fibra óptica e como funciona? **Oficinadanet**, 2011. Disponível em: <<http://www.oficinadanet.com.br/artigo/redes/o-que-e-fibra-otica-e-como-funciona>>. Acesso em: 6 maio 2013.

MACHADO, D. A. **Dispositivo eletrocromico flexível de grande área usando polímeros condutores**. 2001. 63f. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000238360>>. Acesso em: 10 maio 2013.

MAIA, D. J. et all. Síntese de polímeros condutores em matrizes sólidas hospedeiras. **QUÍMICA NOVA**, [S.l.], 23(2), p. 204 – 215, 2000. Disponível em: <http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_artigo_revisao_daltamir.pdf>. Acesso em: 20 maio 2013.

MANTAS de fibra de vidro. **All.biz**, c2010-2013. Site de venda. Disponível em: <<http://www.ua.all.biz/pt/mantas-de-fibra-de-vidro-g1208214>>. Acesso em: 9 maio 2013.

MARTINS, J. G.; PINTO, E. L. **O vidro - Materiais de construção I**. 1. ed. [S.l.]: [s.n.], 2004. (Série Materiais). Disponível em: <<http://xa.yimg.com/kq/groups/24054498/1296748103/name/Vidros+2.pdf>> .Acesso em: 15 jan. 2013.

MATHEUS, M. A. **Fiberglass: aprenda fibra de vidro**. [S.l.]: [s.n.], 2002. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=WAAPcc8VZjkC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 15 abr. 2013.

MATTHEWS, F. L.; RAWLINGS, R. D. **Composite Materials: Engineering And Science**. London: Chapman and Hall, 1994. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=0p4l5VRJmrsC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em 9 maio 2013.

NASSAR, E. J.; MESSADDEQ, Y.; RIBEIRO, J. L. Influência da catálise ácida e básica na preparação de sílica funcionalizada pelo método sol-gel. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 27-31, jan./fev., 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v25n1/10420.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2013.

NOVATSKI, A. **Vidro aluminossilicato de cálcio dopado com Ti3+ ou Ce3+ para geração de alta taxa de luminescência e de luz branca inteligente**. 2009. 163f. Tese (Doutorado em Física) - Departamento de Física da Universidade Estadual, Maringá, 2009. Disponível em: <http://www.pfi.uem.br/pfi/disserta_teses/teses_pdf/andressa_novatski_2009.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2013.

O FUTURO já incluiu o vidro: Vídeo “Um dia feito de Vidro” mostra as possibilidades que já estão à porta. Instalação e Tendências. 68. ed. **Revista Tecnologia e Vidro**, c2008-2012. Disponível em: <<http://www.vidros.inf.br/o-futuro-ja-incluiu-o-vidro>>. Acesso em: 17 mar. 2013.

OLIVEIRA, P. R. de; OLIVEIRA, A. C. de; OLIVEIRA, F. C. de. A radiação ultravioleta e as lentes fotocromicas. **Arq Bras Oftalmol**, São Paulo, v. 64, n. 2, p. 163-5, mar./abr., 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0004-27492001000200015&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em: 13 maio 2013.

OLIVEIRA, S. C. de; TORRESI, R. M.; TORRESI, S. I. C. de. Uma visão das tendências e perspectivas em eletrocromismo: a busca de novos materiais e desenhos mais simples. **QUÍMICA NOVA**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 79–87, jan./fev., 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n1/2147.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2013.

OTA, W. N.; **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional**. 2004. 106f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: <dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/.../WALDYR%20NAOKI%20...?...1>. Acesso em: 9 maio 2013.

PAULO, de M. Novidade no setor são as lentes fotocromáticas. **Inovação Uniemp**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 38-39, mar./abr., 2007. Disponível em: <<http://inovacao.scielo.br/pdf/inov/v3n2/a22v03n2.pdf>>. Acesso em: 15 maio 2013.

POLONI, T. Vidros mágicos. **Blogspot**, 2011. Blog que contem conteúdos de arquitetura, urbanismo, decoração e suas artes. Disponível em: <<http://arquitetura-tamiris.blogspot.com.br/2011/05/vidros-magicos.html>>. Acesso em: 15 maio 2013.

ROLLET, A. D. **Microstructure-Properties:II Crystallization of Glass**. 2002. 34 diapositivos. Disponível em: <<http://neon.memms.cmu.edu/rollet/27302/302.L4.glass.xtall.30Oct02.ppt>>. Acesso em: 28 maio 2013.

RUIVINHO, C. I. C. do C. **Valorização dos resíduos de lentes oftálmicas orgânicas**. 2010. 88f. Dissertação (Mestre em Engenharia do Ambiente) – Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Faro, 2010. Disponível em: <https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/1682/1/tese17_final_Jul2010.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2013.

SANTOS, A. M. do. **Estudo de compósitos híbridos polipropileno / fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia**. 2006. 90f. Dissertação (Mestre em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/handle/1884/10740>>. Acesso em: 13 abr. 2013.

SANTOS, A. M. M. dos; VASCONCELOS, W. L. **Desenvolvimento de matriz vítrea pelo processo sol-gel visando incorporação de rejeito nuclear**, Belo Horizonte-MG, [200-?]. Disponível em: <http://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/1997/ENAN/E05_220.PDF>. Acesso em: 13 abr. 2013.

SANTOS, R. et al. Vidros cerâmicos nanocristalinos transparentes. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, Lisboa, Portugal, v. 21, n. 1-2, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.gpeari.mctes.pt/pdf/ctm/v21n1-2/v21n1-2a03.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2013.

SHELBY, J. E. **Introduction to glass science and technology**. 2nd ed. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2005.

SHREVE, R. N.; BRINK, J. A. **A indústria de processos químicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 1997.

SILVA, A. C. da. **Vidros e vitrocerâmicos com alta concentração de metais obtidos a partir de resíduos industriais**. 2008. 177f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-25082009-181151/pt-br.php>>. Acesso em: 18 mar. 2013.

SILVA, C. J. da. **Efeito térmico e geração de luz visível em amostras vítreas excitadas por radiação no infravermelho**. 2002. 126f. Dissertação (Mestre em Ciências) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2002. Disponível em: <<http://www.ufal.edu.br/unidadeacademica/if/pt-br/posgraduacao/mestrado-doutorado-em-fisica/dissertacoes-e-teses/pdfs-das-dissertacoes-eteses/dissertacoes-mestrado/Dissertacao%20Carlos%20Jacinto.PDF>>. Acesso em: 21 maio 2013.

SILVA, C. M. de A. Costa e. **Simulação de processos de enformação de vidro e cálculo de tensões térmicas**. 1999. 150f. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1999.

Disponível em:

<repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/11774/2/Texto%20integral.pdf>. Acesso em: 28 mar.2013.

SILVA, L. M. O. da. **Vidros oxifluoretos dopados com íons terras raras para aplicações em fotônica**. 2010. 122f. Dissertação (Mestre em Ciências) –

Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010. Disponível em:<

http://www.ufal.edu.br/unidadeacademica/if/pt-br/pos-graduacao/mestrado-doutorado-em-fisica/dissertacoes-e-teses/pdfs-das-dissertacoes-e-teses/dissertacoes-mestrado/lidiane_msc.pdf>. Acesso em: 21 maio 2013.

SOUZA, M. R.; SANTOS, P. S. B. dos; GON, R. **Estudo de caso sobre materiais cerâmicos**. 2007. 37 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) - Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium de Araçatuba, 2007.

Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAApe8AA/estudo-caso-sobre-materiais-ceramicos>>. Acesso em: 2 abr. 2013.

SPRAY up roving. **Fibtex Co.,Ltd.**, 2007. Fornecedor profissional mundial de fibra de vidro. Disponível em: <

<http://fiberglass.name.153.tsjyw.net/newsinfo.asp?ArticleID=468>> . Acesso em: 9 maio 2013.

TANG, Y. et al. Detection of femtomolar concentrations of hf using an SiO₂ microcantilever. **Analytical Chemistry**, Ruston, Louisiana, v. 76, n. 9, p. 2478–2481, 2004. Disponível em:

<<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac035140g?journalCode=ancham>>. Acesso em: 27 maio 2013.

TECIDO: Fibra de Vidro 200 [01x0,65 M]. **Redelease®**, c2013. Site de venda.

Disponível em: <<http://www.redelease.com.br/lojavirtual/tecido-de-fibra-de-vidro-200-m-linear-1x0-65-m.html>>. Acesso em: 9 maio 2013.

TIBONI, A. **Utilização de vidros porosos como armazenadores e liberadores de feromônios de insetos visando controle de pragas na agricultura**. 2007. 133f.

Dissertação (Mestre em Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

Disponível em: <<http://www.quimica.ufpr.br/semioquimicos/teses/tesealinetiboni.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2013.

WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. **Natural fibres: Can they replace glass in fibre reinforced plastics?**. *Composites Science and Technology*, 63(9), p. 1259 – 1264, 2003. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353803000964>>. Acesso em: 13 abr. 2013.

ZANOTTO, E.D. Vitrocerâmica. In: I Encontro Nacional de Cerâmica Avançada, 1986, São Carlos. **Resumos...** São Carlos: Associação Brasileira de Cerâmica, 1986. p.101. Disponível em: <www.lamav.ufscar.br/artpdf/1enca.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2013.

ZARBIN, A. J. G. Química de (nano)materiais. **Química Nova**, [S.l.], v. 30, n. 6, p. 1469-1479, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v30n6/a16v30n6.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2013.