

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

LUIS HENRIQUE OLIVEIRA CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO COM A UTILIZAÇÃO DE VIDROS
INCOLOR, FUMÊ E CINZA REFLETIVO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2017

LUIS HENRIQUE OLIVEIRA CARVALHO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO COM A UTILIZAÇÃO DE VIDROS
INCOLOR, FUMÊ E CINZA REFLETIVO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof. Dr.Sc. José Resende Góes

Co-Orientador: Prof. M.Sc. Paulo César Lima
Santos

ARACAJU

2017

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU**

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO COM A UTILIZAÇÃO DE VIDROS
INCOLOR, FUMÊ E CINZA REFLETIVO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

LUIS HENRIQUE OLIVEIRA CARVALHO

Esta monografia foi apresentada às 10 horas do dia 25 de Janeiro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr.Sc. José Resende Góes (IFS – Campus Aracaju)
Orientador

Prof. M.Sc. Paulo César Lima Santos (IFS – Campus Aracaju)
Avaliador

Prof. M.Sc. Marcílio Fabiano Goivinho da Silva (IFS – Campus Aracaju)
Avaliador

Dedico este trabalho aos meus pais, meus
exemplos de vida; a minha irmã, minha
conselheira e apoiadora; meus avós, pelo
incentivo constante e inúmeras bênçãos
concedidas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, por toda proteção me guiando e me dando força e sabedoria.

Agradeço aos meus pais Wellington e Fátima por todos os ensinamentos, dedicação, amor incondicional, carinho e por todo o apoio ofertado durante essa jornada acadêmica.

Aos meus avós Luiz e Antônia pelas orações, orientações e todo carinho que sempre tiveram comigo.

Aos meus tios e em especial a tio Damião que desde os tempos de cursinho pré-vestibular me ajudou, incentivou e sempre esteve presente em todos os momentos, fossem eles bons ou ruins.

A minha irmã Isabella pelo apoio e por dividir parte dessa trajetória me apoiando sempre.

A minha noiva Juliana pelo amor, carinho, dedicação e apoio dado durante todos estes anos, pelos sorrisos e caminhos trilhados juntos.

Aos meus amigos que direta ou indiretamente, estiveram ao meu lado.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe e ao colegiado do curso de Engenharia Civil pelo acolhimento, ensinamentos e aprendizado adquiridos nos últimos anos.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. José Resende Góes, pela dedicação ao me orientar, abdicando muitas vezes de seu tempo para cobrar, corrigir ou ainda parabenizar pelo andamento do trabalho. Obrigado pelos “puxões de orelha” que surtiram efeito ao fim do trabalho.

Enfim, agradeço a todos que me apoiaram durante o processo de realização do meu trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

CARVALHO, LUIS HENRIQUE OLIVEIRA. **Avaliação do desempenho térmico com a utilização de vidros incolor, fumê e cinza refletivo na construção civil.** 49. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

O vidro na construção civil pode ser caracterizado de duas formas, quanto a sua transparência e opacidade. Atualmente, o alto índice de utilização desse material na construção civil provoca alguns problemas relacionados ao desempenho térmico do ambiente. A escolha do tipo de vidro a ser utilizado em um edifício é um fator importante para assegurar que a edificação seja termicamente confortável. Este trabalho teve por objetivo avaliar o comportamento de vidros transparente, colorido e refletivo com relação ao conforto térmico, que são bastante utilizados na construção civil. Para tanto, foram construídas células testes para cada tipo de vidro estudado e feito medições das temperaturas internas e externas de cada célula, posicionadas em área aberta (campo de futebol) do Campus Aracaju do Instituto Federal de Sergipe. Após medições feitas em três turnos diferentes, constatou-se que o vidro incolor apresentou maior temperatura interna da célula teste obtendo resultados desfavoráveis, enquanto que o vidro cinza refletivo foi considerado confortável termicamente, obtendo os melhores resultados em relação ao desempenho térmico. Os resultados demonstram a importância da análise adequada do tipo de vidro a ser utilizado em edificações procurando-se sempre obter a racionalização do consumo de energia elétrica, provocando menor impacto ambiental.

Palavras-chave: Vidros. Desempenho Térmico. Construção Civil.

ABSTRACT

CARVALHO, LUIS HENRIQUE OLIVEIRA. Thermal Performance evaluation with the use of colorless, smokeless and reflective gray in construction. 49.

Monograph (Bachelor of Civil Engineering) - Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe - Campus Aracaju. 2017.

The glass in the building industry can be characterized in two ways as to its transparency and opacity. Nowadays, the high index of use of this material in civil construction causes some problems related to the thermal performance of the environment. The choose of the type of glass to be used in a building is an important factor to ensure that the building is thermally comfortable. The objective of this work was to evaluate the behavior of transparent, colored and reflective glasses in relation to thermal comfort, which are widely used in civil construction. For that, test cells were constructed for each type of glass studied and measurements of the internal and external temperatures of each cell were taken, positioned in an open area (soccer field) of Campus Aracaju of the Federal Institute of Sergipe. After the measurements made in three different shifts, it was found that the colorless glass had higher internal temperature of the test cell obtaining unfavorable results, while the reflective gray glass was considered thermally comfortable, obtaining the best results in relation to the thermal performance. The results demonstrate the importance of the proper analysis of the type of glass to be used in buildings, always seeking to rationalize the consumption of electric energy, provoking less environmental impact.

Keywords: Glass. Thermal Performance. Construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Composição do vidro <i>float</i>	15
Figura 2.2 - Vidro U-glass	17
Figura 2.3 - Vidro <i>float</i> colorido	18
Figura 2.4 - Vidros impressos	19
Figura 2.5 - Vidro refletivo aplicado em fachada	20
Figura 2.6 - Transmissão do infravermelho para o vidro refletivo metalizado a vácuo prata médio	22
Figura 2.7 - Transmissão do visível para o vidro refletivo metalizado a vácuo azul intenso médio	22
Figura 2.8 - Vidro aramado	24
Figura 2.9 - Vidro temperado empregado em portas	25
Figura 2.10 - Camadas do vidro laminado verde	26
Figura 2.11 - Colocação do PVB para a fabricação do vidro laminado	27
Figura 2.12 - Espectro solar	30
Figura 2.13 - O vidro frente à radiação solar	31
Figura 3.1 - Caixas com cada tipo de vidro	36
Figura 3.2 - Termômetros utilizados nos ensaios	37
Figura 3.3 - Medição interna da temperatura das caixas	37
Gráfico 3.1 - Medições turno da manhã (8:00h às 9:00h)	39
Gráfico 3.2 - Medições ao meio dia (12:00h às 13:00h)	40
Gráfico 3.3 - Medições turno da tarde (15:30h às 16:30h)	42
Tabela 3.1 – Temperaturas horários 8:00 às 9:00 horas	39
Tabela 3.2 - Temperaturas horários 12:00 às 13:00 horas	40
Tabela 3.3 - Temperaturas horários 15:30 às 16:30 horas	41
Tabela 3.4 – composição de custos	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	11
1.2 OBJETIVO	13
1.3 METODOLOGIA	13
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2 VIDROS - ORIGEM, COMPOSIÇÃO E EMPREGO	15
2.1 TIPOS DE VIDROS EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	16
2.1.1 Produtos de vítreos de base	17
2.1.1.1 Vidro plano (float)	17
2.1.1.2 Vidro impresso ou fantasia	18
2.1.1.3 Vidro refletivo	19
2.1.1.4 Vidro insulado	23
2.1.2 Vidros de segurança	23
2.1.2.1 Vidro aramado	23
2.1.2.2 Vidro temperado	24
2.1.2.3 Vidro laminado	25
2.2 SUPERFÍCIES TRANSPARENTES E CONFORTO TÉRMICOS	27
2.2.1 Conforto ambiental	27
2.2.2 Radiação solar	28
2.2.3 Características óticas dos elementos transparentes	29
2.2.4 Comportamento espectrofotométricos	30
2.2.5 Parâmetros relacionado ao desempenho térmico	32
2.2.5.1 Fator solar	32
2.2.5.2 Ganho de calor solar	33
2.2.5.3 Coeficiente de admissão de calor	33

2.2.6 Eficiência Energética	34
3 ESTUDO DE CASO	35
3.1 MATERIAIS AVALIADOS	35
3.2 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS	35
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
3.3.1 RESULTADOS OBTIDOS	38
4 CONCLUSÕES	45
5 TRABALHOS FUTUROS	46
REFERENCIAS	47

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O vidro teve sua descoberta realizada pelos fenícios em 3.000 a.C. através da queima accidental de areia, difundindo essa descoberta rapidamente, visto que eram grandes navegantes. Primeiramente eram utilizados para fabricação de pequenos vasos, jarras, copos, dentre outros ornamentos. Em seguida passou a exercer importante função na fabricação de espelhos e vitrais (GIOVANNI, 1992).

De acordo com Richards (2006), a essência do vidro encontrava-se em sua transferência e cor, porém era necessário ser produzido de maneira chapada, no entanto não haviam tecnologias suficientes para que se mantivesse firme, visto que o material era muito frágil. Diante disso a sua resistência e aparência foi melhorada através de desenvolvimentos químicos. Os bizantinos criaram técnicas para colorir vidros, já os venezianos foram grandes fabricantes de espelhos ao aplicar uma pequena camada de mercúrio na face posterior do vidro. A transparência do vidro ocorreu após a migração gradual da produção desse material do Mediterrâneo para França e Alemanha.

O vidro tornou-se um dos principais elementos utilizados na construção civil, as edificações passaram gradativamente a ter a presença desse elemento em suas fachadas e áreas internas. No entanto o uso constante dos vidros em fachadas vem ocasionando alguns problemas com relação ao conforto térmico das edificações. Devido a perda da interação entre as edificações e o clima, o uso de equipamentos mecânicos tem sido bastante utilizado para resfriar ou aquecer ambientes de edificações, proporcionando aumentos da energia consumida.

De acordo com Castro (2006), o desempenho térmico de uma edificação depende de alguns fatores de projeto, por exemplo: materiais utilizados, implantação, orientação e componentes construtivos, dentre outros. Para garantir o conforto térmico, o projetista deve levar em consideração o clima local, fazendo com que a edificação atue como mecanismo de controle das variáveis desse clima.

A qualidade de vida, a produtividade e a satisfação dos usuários de uma edificação, são diretamente influenciadas pelo conforto térmico do ambiente. A radiação solar associa-se diretamente ao conforto térmico das edificações (HARKNESS, 1978). E de acordo com Rivero (1986), quando se fala de ganho e

perda de calor, as janelas e fachadas formam uma parte bastante frágil de uma edificação.

Os sistemas de envidraçamento das edificações são responsáveis pela iluminação e ventilação, tendo influência direta no consumo de energia e no conforto térmico. No verão há excesso de calor através dos envidraçamentos, e no inverno ocorre a perda de calor, dessa forma o estudo do vidro a ser empregado nas edificações é de extrema importância para que se tenha um equilíbrio da iluminação e conforto térmico adequado (CARMODY *et al.*, 2000).

Segundo Assis (2002), cada tipo de vidro tem um comportamento específico em relação a radiação solar, e o efeito térmico das superfícies dos vidros depende de suas propriedades. A maior parte da radiação solar é transmitida diretamente para o interior, outra parte fica retida na superfície do vidro, proporcionando um aumento da temperatura e consequente aumento também da temperatura interna.

Superfícies transparente possuem um alto índice de transmissão luminosa e de radiação solar, isso gera um alto índice de calor em regiões de grande insolação como é o caso do Brasil. Esse efeito pode ser mudado através da implantação de vidros que possuam melhores propriedades refletivas e desempenho térmico. É preciso haver um balanceamento entre a taxa de iluminação e a radiação solar, para assegurar condições adequadas tanto visualmente quanto de conforto térmico (RIVERO, 1986). Para Givoni (1976), o aquecimento excessivo devido á superfícies transparentes é consequência do efeito térmico conhecido como efeito estufa.

Segundo Michelato (2007), a escolha do tipo de vidro é um fator importante para assegurar que as condições de conforto térmico e visual serão atendidas com o maior equilíbrio possível. Nesse sentido, devem-se levar em consideração as propriedades do vidro verificando qual deles atende melhor às necessidades do empreendimento. Outro fator a ser levado em conta é a quantidade de superfícies envidraçadas e a localização das mesmas em relação à incidência de radiação solar, pois isso influenciará diretamente no conforto térmico e luminoso da edificação.

Os vidros refletivos surgem com o objetivo de minimizar o problema do conforto térmico. Estes vidros, são considerados de controle solar, atualmente bastante empregados em fachadas envidraçadas. No entanto o uso deste vidro sem um estudo prévio pode acarretar em problemas, tanto de conforto térmico quanto luminoso, que podem não ser atingidos. As fachadas envidraçadas em alguns casos

atingem praticamente 100% da área, isso leva a um ganho extra de radiação solar (ROMERO; GONÇALVES; DILONARDO, 1999).

Nesse contexto estudos dessa envergadura podem fornecer subsídios para a compreensão do comportamento dos três tipos de vidros utilizados na coleta de dados, através da medição das temperaturas interna e externa (ambiente) *in loco*, afim de avaliar o desempenho térmico dos mesmos.

1.2 OBJETIVO

Geral

Estudar o comportamento da utilização de vidros transparente, colorido e refletivo em fachadas considerando-se a radiação solar e conforto térmico em edificações da cidade de Aracaju SE.

Específicos

- Identificar os principais tipos de vidros utilizados na construção civil e suas respectivas caracterizações;
- Estudar o comportamento dos vidros com relação ao conforto térmico ambiental devido a radiação solar;
- Analisar o desempenho térmico dos vidros incolor, fumê e cinza refletivo, considerando-se a radiação solar em turnos diferentes, através de medições da temperatura em células testes.

1.3 METODOLOGIA

Através de pesquisas bibliográficas em sites, livros, revistas técnicas, etc. foram obtidas informações sobre os principais tipos de vidros empregados na construção civil e a análise dos mesmos com relação ao conforto térmico devido a radiação solar.

Em seguida foi realizado o estudo de caso utilizando células testes padrões que foram expostas ao mesmo tempo em turnos específicos e medidos as suas temperaturas internas e externas para cada tipo de vidro, para aferir as suas eficiências térmica.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está dividido em cinco capítulos.

Após a apresentação desse capítulo, o capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, fazendo um levantamento bibliográfico da origem do vidro, dos tipos de vidros e do uso do mesmo na construção civil destacando suas características. Além disso também é abordado a influência da radiação solar em superfícies envidraçadas.

O capítulo 3 demonstra a metodologia e os vidros estudados na pesquisa, descrevendo os métodos que foram utilizados e a maneira como foram aplicados.

No capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões.

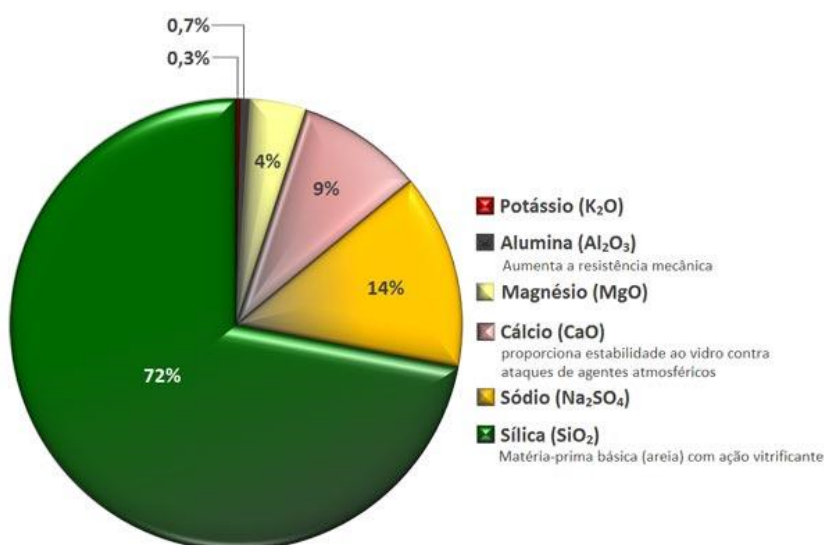
No capítulo 5 é mostrada a conclusão da pesquisa. Por último são apresentadas propostas de futuros trabalhos.

2 VIDROS - ORIGEM, COMPOSIÇÃO E EMPREGO

Conforme Van Vlack (1984), o vidro é considerado um material homogêneo, inorgânico e amorfo, que é obtido após o resfriamento de uma massa em fusão. Ainda de acordo com o mesmo, o vidro é um composto resultante da solidificação progressiva, sem traços de misturas homogêneas em fusão, e de cristalização. O vidro é um elemento bastante utilizado na construção civil, tanto nos dias atuais quanto no passado. Antigamente a sua principal função era a transparência, sinônimo de luz. Os componentes básicos utilizados na produção do vidro são: um fundente (soda ou potassa), em forma de carbonato ou sulfato, um vitrificante (sílica), na forma de areia, e um estabilizante (a cal), em forma de carbonatos.

Os elementos que fazem parte da composição do vidro *float* também conhecido como vidro comum (vidro plano e transparente), são os seguintes (Figura 2.1):

Figura 2.1 - Composição do vidro *float*



Fonte: Blindex (2016)

No começo do século XX, acontece uma redução dos elementos estruturais, sendo possível a utilização do vidro como elemento de vedação em superfícies cada vez maiores, chegando até as fachadas transparentes. O emprego do vidro nas fachadas trazia integração visual dos espaços externo e interno através da transparência do material. Técnicas de controle ambiental são esquecidas, sendo

substituídas por incorporações de outras técnicas de calefação e climatização (MARAGNO, 2001).

De acordo com Carmody *et al.* (2000), os vãos envidraçados oferecem iluminação e integração dos ambientes. No entanto, são responsáveis pelo ganho de temperatura, no verão, assim como pela perda de temperatura, no inverno. Atualmente tecnologias e melhorias são criadas para aprimorar a eficiência térmica das janelas, portas e painéis de vidros.

Uma grande variedade de vidros está presente no mercado, dentre eles é possível encontrar vidros para diversas aplicações. Existem vidros de diferentes espessuras, cores e tamanhos, podendo o mesmo resultar em produtos compostos como, por exemplo, os laminados. Os vidros presentes no mercado podem ser divididos em: vidro plano ou comum; vidro impresso ou fantasia; refletivo e insulado. E os vidros de segurança: vidro aramado; temperado; laminado, entre outros.

A seguir demonstra-se o conceito e descrição dos principais vidros comumente utilizados na construção civil.

2.1 TIPOS DE VIDRO EMPREGADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O material vidro é empregado na construção civil de diversas formas: em portas, janelas, na forma de blocos, chapas curvas, como elemento decorativo (espelhos, vidros impressos) e divisórias. O vidro apresenta uma vasta variedade de tipos: comuns ou de qualidade superior, incolor ou coloridos, com desenhos (serigrafias) ou padrões de superfície, termo refletores ou espelhados.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e a Normalização do Mercosul 293 (ABNT NBR NM 293:2004), que trata especificamente da terminologia de vidros planos e dos componentes acessórios a sua aplicação, (2004) classifica os vidros da seguinte forma:

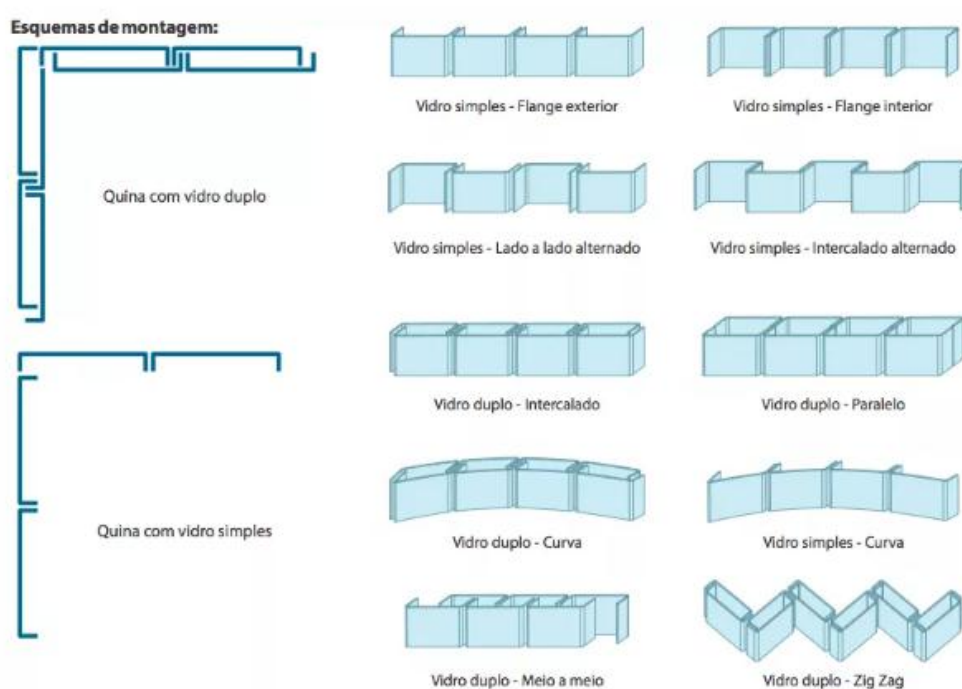
- a) Tipo: recosido, de segurança temperado, de segurança laminado, termo absorvente, termo refletor e composto;
- b) Transparência: transparente, translucido e opaco;
- c) Coloração: incolor e colorido;
- d) Acabamento de superfície: liso, float, impresso, fosco, espelhado, gravado e esmaltado;

e) Coloração: caixilhos, autoportante e mista.

2.1.1 Produtos Vítreos de Base

São utilizados na construção civil os produtos vítreos de base e os vidros de segurança. Os produtos vítreos de base compreendem vidros que são utilizados da forma como são fabricados, não havendo necessidade de uma elaboração posterior. De acordo com a NBR NM 293 (2004), os produtos vítreos de base são subdivididos em vidro *float*, o vidro impresso ou “fantasia”, o vidro *U-glass* (vidro com formato U) (Figura 2.2), o vidro refletivo e o vidro insulado.

Figura 2.2 - Vidro *U-glass*



Fonte: ALL ABOUT THAT GLASS (2015)

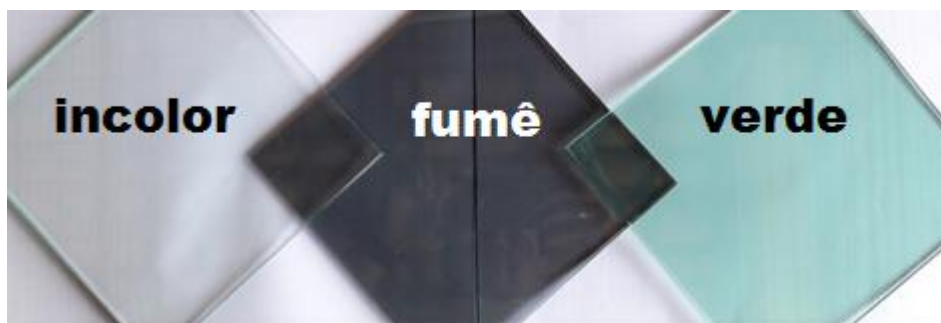
2.1.1.1 Vidro *float*

O vidro *float* se caracteriza por conter faces paralelas e planas com ótimo acabamento, não exibindo irregularidades em suas superfícies. Oferece um alto índice de transparência, sem necessidade de nenhum tratamento especial. É também conhecido como vidro comum ou vidro liso.

Os vidros coloridos (Figura 2.3) são obtidos através da incorporação de

aditivos minerais e as cores são o bronze, o cinza, o verde e o azul. Os vidros coloridos têm como função auxiliar na redução da transmitância solar.

Figura 2.3 - Vidro *float* colorido



Fonte: O autor (2016)

Os vidros *float* por serem bastante frágeis e fragmentarem em pedaços cortantes, são mais indicados para pequenas janelas em locais poucos sujeitos a acidentes. As espessuras deste vidro variam entre 2 e 19 mm. Os vidros temperados, laminados e refletivos são produzidos a partir do vidro *float*.

Na maioria das aplicações, os vidros *float* precisam receber acabamento de bordas, evitando desta forma ferimentos e aumentando sua resistência, para que trincas sejam evitadas. Um destes tratamentos é a lapidação dos vidros.

2.1.1.2 Vidro impresso ou “fantasia”

O vidro impresso ou “fantasia” é um vidro plano translúcido, incolor ou colorido que recebe uma textura em forma ou não de desenhos. Tem larga aplicação na construção civil, eletrodomésticos, moveis e decoração. Existe uma variedade de vidros fantasia que possuem diferentes texturas e cores, por exemplo boreal, mini boreal, pontilhado, canelado, mosaico, tijolinho, martelado e ártico (Figura 2.4). As espessuras variam entre 2 e 10mm (SANTA MARINA, 1993).

Os vidros impressos coloridos também podem ser obtidos através da adição de óxidos metálicos dissolvidos na mistura. Uma propriedade desse vidro é que os desenhos em suas faces difundem a luz e os raios solares, como mostra a (Figura 2.4). Por serem translúcidos, os vidros impressos são utilizados como barreira visual (SANTA MARINA, 1993).

Figura 2.4 - Vidros impressos



Fonte: Ambrozewicz (2012)

2.1.1.3 Vidro refletivo

Os vidros refletivos foram desenvolvidos com o objetivo de proporcionarem maior conforto e economia ao usuário, controlando a entrada de calor no ambiente. São conhecidos também como vidros termo refletivos ou termo refletores.

A partir do vidro *float* incolor ou colorido são produzidos os vidros refletivos, os mesmos são caracterizados por conter uma de suas faces metalizadas. A camada oxida é responsável por acentuar o grau de reflexão em uma das faces do vidro, fazendo com que a visão do lado mais iluminado em direção ao menos iluminado seja diretamente proporcional à quantidade de luz incidente. Sendo assim, durante o dia, a visão externa para a interna é menor, e da parte interna para a externa é maior, acontecendo o chamado “efeito espelho”, como mostra a Figura 2.5.

O vidro refletivo pode ser incorporado ao laminado, lapidado, temperado, ou ser utilizado em sistemas de envidraçamentos isolantes através de vidros duplos ou triplos. É recomendável que os vidros refletivos sejam utilizados de forma laminada, com a face metalizada voltada para dentro dos vidros, caso contrário a camada metalizada fica desprotegida.

Figura 2.5 - Vidro refletivo aplicado em fachada



Fonte: O autor (2016)

Existem dois processos de produção dos vidros refletivos, sendo um por pirólise e outro por metalização a vácuo, melhor explicado adiante. De acordo com Assis (1998), até 1996 havia no Brasil somente os vidros refletivos pirolíticos, vidros chamados comumente de espelhados, esses vidros são utilizados para controle da radiação solar. A partir desse período, adentraram no país os vidros de alta performance, ou metalizados a vácuo.

De acordo com Castro (2006), os dois processos de fabricação do vidro metalizados são:

a) Processo pirolítico – Esse processo consiste na deposição de óxidos metálicos diretamente sobre o vidro em alta temperatura durante a linha de produção. A deposição da camada refletiva durante a fabricação do vidro *float* garante homogeneidade e durabilidade da camada refletida.

Os vidros refletivos pirolíticos têm grande resistência ao desgaste e equilíbrio da camada oxida, podendo esta ser utilizado com a face metalizada voltada para o exterior. Neste método, a atuação do vidro como filtro solar é menor.

O vidro refletivo pirolítico pode ser temperado, curvado, laminado ou utilizado na forma monolítica, devido à resistência a abrasão.

Outro vidro de proteção solar é o *refletctafloat*, esse por sua vez também é fruto do processo pirolítico e apresenta boa resistência à abrasão e grande versatilidade na sua aplicação.

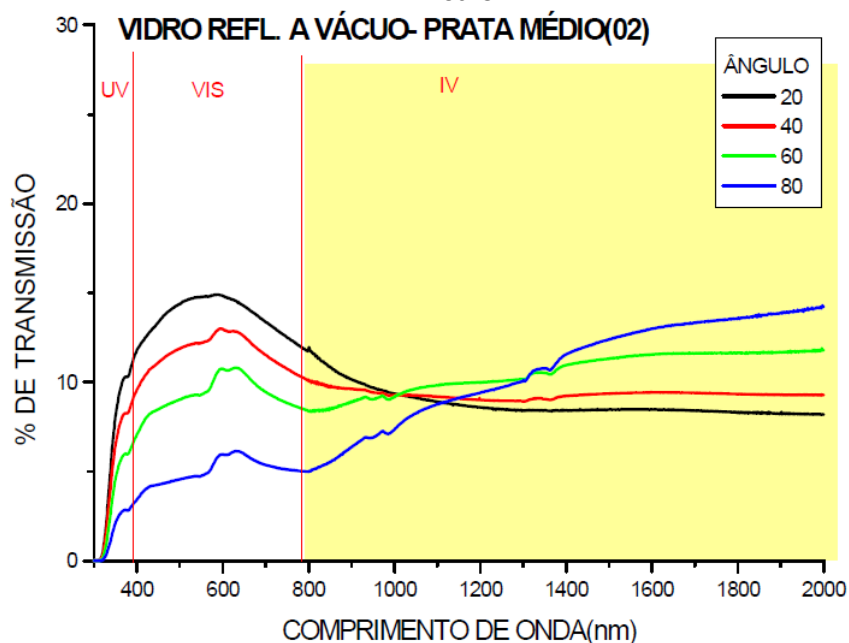
b) Processo por metalização a vácuo – Já o método por metalização a vácuo, na produção do vidro ocorre a pulverização catódica de íons metálicos sobre a face em uma câmara de vácuo, em temperatura ambiente através da metodologia denominado *Sputtering Coating*. Estes vidros proporcionam melhor controle solar, no entanto com camada refletiva menos resistente ao desgaste.

De acordo com Arnaud (1997), os vidros refletivos metalizados a vácuo têm alta reflexão do infravermelho longo, excelente transmissão da luz visível e baixa transmissão de infravermelho próximo. Esta última propriedade representa uma ótima qualidade para o clima brasileiro. Neste processo de vidros refletivos metalizados a vácuo são adquiridos diferentes níveis de transparência e cores em reflexão. Existem as seguintes cores no mercado: são prata, bronze, azul, cinza, verde e dourado.

Os vidros refletivos metalizados a vácuo e pirolíticos exibem melhor desempenho térmico quando comparado aos vidros comuns, uma vez que possuem uma menor porcentagem de transmissão do calor, como mostra a Figura 2.6, e a taxa de transmissão do infravermelho próximo, radiação que compõe fonte de calor, varia entre 5 e 15% para os diversos ângulos de incidência. Uma transmissão pequena comparada à do vidro comum incolor, cuja taxa varia de 20% a 80% (MICHELATO, 2007).

Os vidros refletivos além de controlarem o calor, também controlam a entrada de luz nos ambientes. De forma geral, é necessário que exista incidência de luz natural o bastante para garantir iluminação confortável no ambiente interno, no entanto sem excessos. Se a quantidade de luz direta transmitida for diminuída, existirá escurecimento do ambiente interno com efeitos negativos para a visão, acontecendo também o aumento do uso da iluminação artificial.

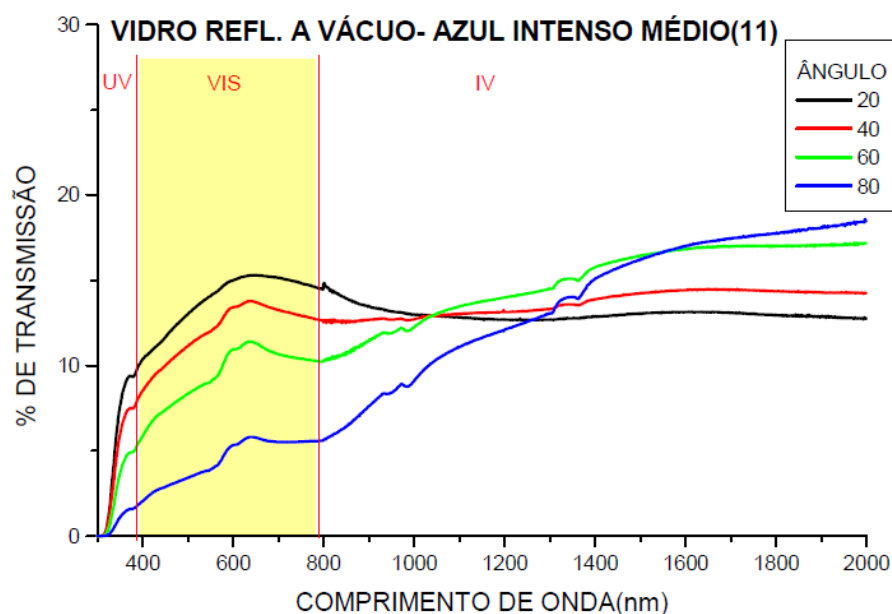
Figura 2.6 - Transmissão do infravermelho para o vidro refletivo metalizado a vácuo prata médio



Fonte: Santos (2002)

No que se diz respeito à luminosidade, boa parte dos vidros refletivos apresenta pouca transmissão luminosa, impedindo a passagem da luz natural. Dessa forma, eles causam escurecimento dos ambientes internos às fachadas, fazendo com que o uso da luz artificial seja necessário, além de refletirem a radiação direta para o entorno do edifício.

Figura 2.7- Transmissão do visível para o vidro refletivo metalizado a vácuo azul intenso médio



Fonte: Santos (2002)

A Figura 2.7 demonstra uma baixa transmissão do infravermelho para o tipo de vidro azul intenso médio. No entanto, essa redução de transmissão do infravermelho é seguida pela baixa transmissão da luz visível que varia entre 2 e 15%.

Sendo assim, nota-se que o bloqueio de calor destes vidros também implica no bloqueio da luz visível, mostrando que algumas das funções dos vidros são antagônicas entre si.

2.1.1.4 Vidro insulado

Os vidros insulados são conhecidos também como vidros duplos que possuem entre eles uma camada interna de ar desidratado ou gás. Esse arranjo dos vidros proporciona maior conforto térmico e acústico, podendo melhorar mais com a utilização de gases especiais entre os vidros.

O envidraçamento duplo pode ser realizado com diversos tipos de vidros, com diferentes propriedades, aproveitando as características de cada um. Também pode haver persianas internas que abrem e fecham através de um sistema magnético. Os vidros duplos são bastante empregados em coberturas e divisórias.

2.1.2 Vidros de Segurança

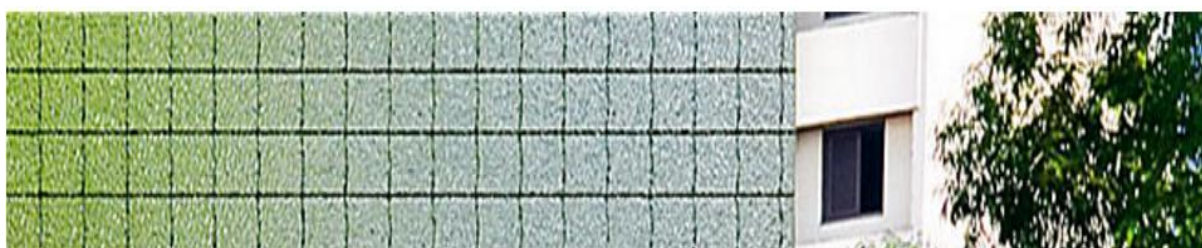
Esse tipo de vidro foi desenvolvido a princípio para ser empregado nos automóveis da década de 20, com a finalidade de reduzir os acidentes por choques, deformações ou incêndios. Atualmente estes vidros são empregados em terraços, coberturas, em locais escorregadios, vitrines, caixas de escadas e em lugares públicos. Os padrões de segurança são geralmente determinados pelo número de partículas produzidas despedaçando o vidro num simples golpe, de modo padrão, e contando o número de cacos numa área de 100 mm² (BAUER, 2011).

2.1.2.1 Vidro aramado

Este é um vidro impresso translúcido incolor que possui em seu interior uma

grelha metálica antioxidante de malha quadrada que não permite que corpos o transpassem (Figura 2.8). Ele resiste a corrosão e ao fogo, e não produz estilhaços. Ocorrendo a quebra, o vidro fica aderido à rede metálica e em caso de incêndio, o vidro aramado atrapalha a passagem das chamas, retardando as mesmas por até 62 minutos (SANTA MARINA, 1993).

Figura 2.8 - Vidro aramado



Fonte: UBV

Este vidro é bastante utilizado em caixas de escadas, coberturas, fechamentos de claraboias, sacadas e peitoris, devido à segurança que o mesmo oferece. É produzido na espessura de 6mm.

2.1.2.2 Vidro temperado

Os vidros temperados são produzidos a partir do vidro comum, sendo assim possuem todas as suas características, no entanto com resistência cinco vezes maior que a do vidro comum (Figura 2.9).

O vidro temperado, considerado de segurança, passa por um tratamento térmico (têmpera). A fabricação do vidro temperado consiste no aquecimento da matéria prima (cristal ou vidro impresso) a uma temperatura de 650/700°C (estado plástico) e logo em seguida acontece o resfriamento brusco do vidro, através de jatos de ar que provocam um choque térmico. Neste processo, devido o vidro ser um mau condutor térmico, o resfriamento faz com que suas extremidades esfriem mais rápido e endureçam primeiro, ficando a parte central do vidro mais mole. A finalidade da têmpera é estabelecer tensões elevadas de compressão nas áreas superficiais do vidro, e correspondentes altas tensões no centro do mesmo (SAINT-GOBAIN GLASS, 2000).

Figura 2.9 - Vidro temperado empregado em portas



Fonte: O autor (2016)

O tratamento de têmpera majora consideravelmente a resistência mecânica dos vidros, sem que ocorra alteração nas propriedades espectrofotométricas do produto de base (SAINT-GOBAIN GLASS, 2000). Em caso de quebra, o vidro se estilhaça em pequenos fragmentos.

As tensões provocadas no processo de endurecimento do vidro (pós tempera) torna impossível o trabalho com o mesmo após este processo ser finalizado. Devido a isso, na prática normal, todo vidro temperado deve ser cortado e processado de acordo com o vão onde ele será instalado. São achados nas cores: verde, fumê, bronze e incolor, refletivos e nas espessuras a partir de 3,15mm (SAINT-GOBAIN GLASS, 2000).

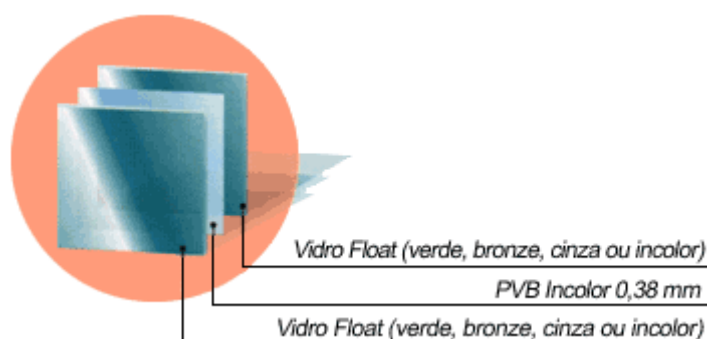
2.1.2.3 Vidro laminado

De acordo com Assis (2002) vidros laminados são vidros de segurança formados pela união de duas ou mais chapas de vidro com uma ou mais camada de Polivinil Butiral (PVB), resina muito resistente e flexível, ou outra resina plástica aprovada (Figura 2.10). Com espessura mínima de 6mm, são fabricados em diversas cores. O vidro laminado atende às exigências de segurança, de controle

acústico e térmico (da radiação ultravioleta).

Conforme Assis (2002) o processo de laminação do vidro pode ser feito de duas formas. A primeira é a laminação com resina, onde os vidros são ligados por uma fita adesiva de dupla face. Uma determinada quantidade de resina líquida, correspondente ao volume dado de ar. No instante em que o ar é deslocado, a borda aberta é selada e o produto laminado é armazenado horizontalmente para que a resina cure para compor a camada intercalada rígida.

Figura 2.10 - Camadas do vidro laminado verde



Fonte: Cebrace (2006)

O segundo tipo de laminação consiste no uso da película plástica intercalada PVB, como mostra a (Figura 2.11). Este material foi selecionado por oferecer grande resistência e elasticidade e boa aderência ao vidro (COMPAGNO, 1996). O polivinil butiral adere ao vidro por meio do tratamento térmico sob pressão, compondo um anteparo no qual os fragmentos continuam aderidos mesmo quando ocorre a quebra. Além disso, esta película plástica inibe até 99,6% dos raios ultravioletas, os principais responsáveis pelo desbotamento dos objetos. Existe uma grande variedade na composição dos vidros laminados, de acordo com a necessidade do projeto. Para sua composição, podem ser empregados vidros incolores, coloridos e refletivos, e também podem ser utilizados diferentes cores do filme de butiral (ASSIS, 2002).

Figura 2.11 - Colocação do PVB para a fabricação do vidro laminado



Fonte: Teixeira (2001)

Os vidros laminados são empregados com intuito de prevenir quedas de lascas de vidros, bem como penetração de objetos. Os vidros laminados constituem uma eficiente barreira mecânica em vitrines, parapeitos, piscinas e claraboias. Além disso, eles são mais eficientes que os vidros monolíticos, na redução de ruídos.

A seguir será retratadas questões de conforto ambiental, destacando as características óticas dos vidros e seu comportamento espectrofotométrico.

2.2 SUPERFÍCIES TRANSPARENTES E CONFORTO TÉRMICO

O tipo de superfície do vidro tem uma influência direta no conforto térmico do ambiente.

2.2.1 O Conforto Ambiental

O homem, devido a sua grande capacidade de adaptação tem conseguido fixar-se em diferentes locais. Mesmo suportando diferentes tipos de clima, ele apenas se sente termicamente confortável em estreitos limites de condições ambientais (RORIZ, 2001).

O projeto arquitetônico influencia diretamente no consumo de energia e no conforto ambiental de uma edificação, já que intervém nos fluxos de ar e na quantidade de luz e calor solar recebidos pelo edifício.

De acordo com Harkness (1978), em se tratando de conforto ambiental, as superfícies transparentes da fachada precisam permitir a passagem da luz, proteger do calor e do frio, além de estar atrelada a um elemento estético. Devido a isso, a

quantidade dessas superfícies envidraçadas ou a localização das mesmas são determinantes no controle luminoso, térmico e acústico de um edifício.

Por meio da análise da evolução tecnológica das janelas, percebe-se uma maior procura por áreas de vidro cada vez maiores (MASCARÓ, 1991). Pode-se notar claramente essa questão na arquitetura do começo do século XX, onde os edifícios de vidro tornaram-se protótipos de centros administrativos, sem levar em consideração questões sociais, tecnológicas ou econômicas, chegando a uma homogeneização.

Segundo Mascaró (1980), após um estudo realizado em edifícios torres de vidro sem proteção adequada e climatizados artificialmente apresentou que estes prédios chegam a consumir, em média, durante sua vida útil, 23 vezes mais energia que a utilizada em sua construção.

Conforme Olgyay (1998), a pele de um edifício opera como filtro entre as condições internas e externas controlando assim a entrada da luz, do calor, do ar, do frio, dos ruídos e dos cheiros. Desta forma os materiais que constituem a pele das edificações têm um papel determinante na utilização e no controle dos raios solares.

Conforme Roriz (2001) a radiação transmitida pelo vidro para o interior do ambiente é absorvida e/ou refletida pelos objetos existentes. Essa energia aquece os objetos e é reemitida ao ambiente na forma de infravermelho longo. Esse processo acaba provocando o “efeito estufa”, já que o vidro não barra a entrada da radiação solar de onda curta, mas não deixa sair as radiações de onda longa emitidas pelas superfícies internas, provocando o aquecimento do ambiente.

2.2.2 A Radiação Solar

É um tipo de energia que é transmitida no espaço a alta velocidade, sem necessidade de meio material para se propagar. Ela compõe a principal fonte de energia para o planeta. A radiação solar é transmitida sob a forma de radiação eletromagnética e os principais parâmetros relacionados a mesma são: a frequência, o comprimento de onda e a velocidade de propagação.

De acordo com Givoni (1976), a radiação é seletivamente absorvida na atmosfera, conforme o seu comprimento de onda. O Sol emite radiação de elevada temperatura, de onda curta, que depois de atravessar o vácuo e ser filtrada pela

atmosfera, chega a superfície terrestre, que então passa a emitir radiação de baixa temperatura, de ondas longas.

De acordo com Santos (2002) o principal fator na definição do clima é a radiação solar, é também um dos mais importantes na definição de um projeto arquitetônico, já que influencia na posição das fachadas, no tamanho dos vãos de aberturas e nos tipos de vidro a serem empregados. Segundo Assis (1998), a radiação solar, quando bem aproveitada, pode trazer muitos benefícios, como também pode ser indesejável em determinadas condições.

O comprimento dos espectros de onda que atingem a superfície terrestre variam entre 290 a 2500 nm (DUFFIE; BECKMAN, 1980), com a seguinte composição aproximada: 1% a 5% de ultravioleta (UV); 41% a 45% de luz visível (LV); 52% a 60% de infravermelho próximo (IV).

Cada um desses três componentes da radiação citados a cima, correspondem a uma gama de comprimentos de onda. A depender das condições atmosféricas, nebulosidade e presença de vapor d'água, estas proporções variam. A Figura 2.12 expõe a composição do espectro solar:

Em relação ao aproveitamento de energia solar, pode-se levar em consideração somente as radiações cujos comprimentos de ondas variam entre 290 e 1800 nm, pois comprimentos de ondas maiores que esse valor atingem a superfície terrestre em quantidades muito pequenas, porque são absorvidos pelos vapores de água e dióxidos de carbono presentes na atmosfera. Com relação a ondas com comprimentos inferiores a 290 nm, estes são absorvidos pela camada de ozônio (ASSIS, 2002).

Para comprimentos de onda entre 380 nm e 780 nm, a vista humana é sensível à radiação eletromagnética. Segundo Mascaró (1991) a radiação eletromagnética não provoca somente efeitos visuais sobre as pessoas, sendo que diferentes partes do espectro solar afetam o organismo humano.

2.2.3 Características Óticas Dos Elementos Transparentes

De acordo com Barrows (1960) a radiação solar ao incidir sobre uma superfície pode ser absorvida, refletida ou refratada de acordo com a propriedade da substância que forma a superfície.

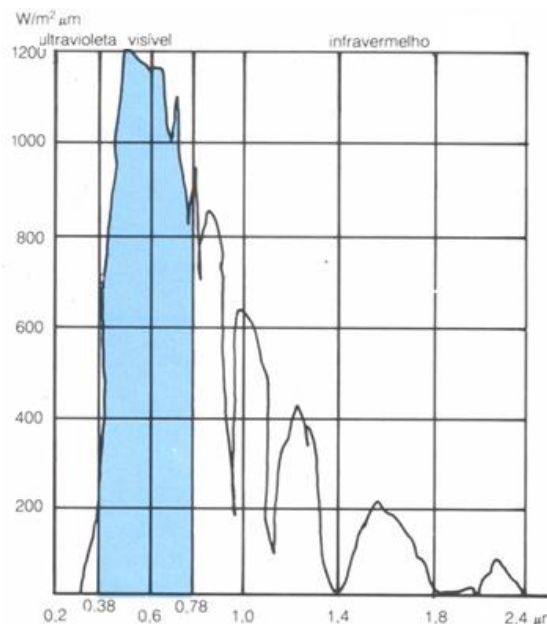
Ao se projetar uma luz sobre uma superfície transparente, ocorrem

basicamente os seguintes fenômenos (Figura 2.4 (a), (b), (c) e (d)):

- a) Reflexão nas interfaces entre os meios;
- b) Refração devido à diferença de velocidade de propagação de um meio para o outro (n^1 para n^2);
- c) Absorção de uma parte da radiação pelo material, reduzindo sua intensidade;
- d) Transmissão da radiação para o meio além do material, após reflexões e absorções.

Estes fenômenos podem ser vistos na Figura 2.12:

Figura 2.12 Espectro solar



Fonte: Santa Marina (1993)

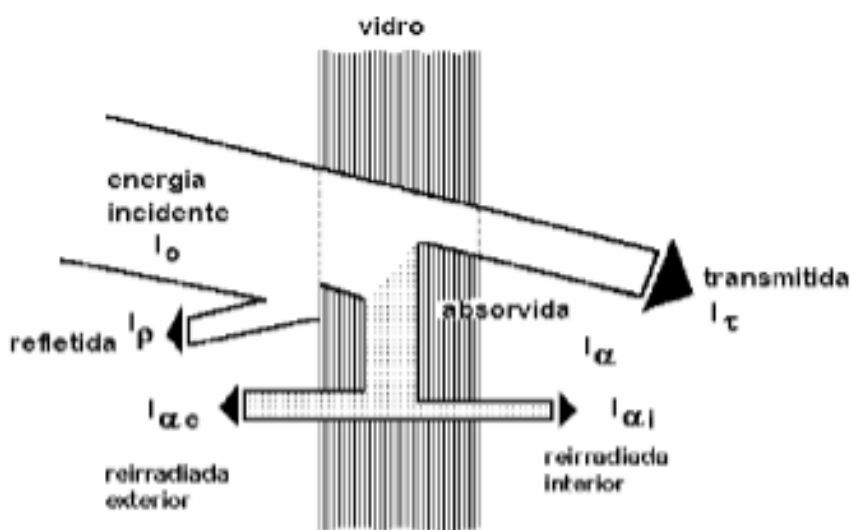
2.2.4 Comportamento Espectrofotométrico

A radiação que incide numa superfície transparente, uma parte é absorvida na espessura, sendo em seguida dissipada por convecção, outra parte é refletida, não sofrendo o efeito térmico no material; e a terceira é transmitida. Segundo Sholze (1980) a quantidade em que isso acontece depende das propriedades do vidro utilizado e do ângulo de incidência da radiação. As propriedades espectrofotométricas de transmissão, reflexão e absorção fazem com que os vidros atuem de forma seletiva com relação à radiação solar incidente. O comportamento foto energético do vidro é definido através da combinação entre as quantidades de

radiação transmitida, refletida e absorvida (Figura 2.13).

A parcela absorvida é transformada em calor, e é proporcional à absorptância (A). A parte refletida é determinada pela refletância (R). A entrada da radiação de determinados comprimentos de ondas é caracterizada pela sua transmitância (T) (RORIZ, 2001).

Figura 2.13 - O vidro frente à radiação solar



Fonte: Croiset (1972)

A equação 2.1 mostra que a soma das parcelas transmitida (I_T), refletida (I_R) e absorvida (I_A) são equivalentes ao total de radiação incidente (I_o) sobre a superfície de determinado elemento transparente.

$$I_o = I_T + I_R + I_A \quad (2.1)$$

onde:

I_o é a radiação incidente;

I_T é a radiação transmitida;

I_R é a radiação refletida;

I_A é a radiação absorvida.

E que:

$$1 = T + R + A \quad (2.2)$$

onde:

T é a transmitância;

R é a refletância;

A é a absorptância.

Os vidros atuam de forma seletiva à radiação solar incidente devido às suas características espectrofotométricas de transmissão, reflexão e absorção. No entanto são transparentes praticamente a todo espectro solar que chega à superfície terrestre. Os óxidos que são colocados na composição do vidro são responsáveis pela absorção seletiva da radiação solar. Conforme Santos (2002), estes óxidos podem alterar a transmissão na região do visível, gerando a cor do material, e também podem evitar a transmissão direta pelo vidro do ultravioleta e do infravermelho através da absorção dessas radiações.

De acordo com Assis (2002), outros fatores como a espessura, o índice de refração do vidro e o ângulo de incidência intervêm também na reflexão, transmissão e absorção do vidro. Sendo assim, pode-se descrever que cada tipo de vidro tem diferentes transmissões para cada uma das faixas do espectro solar. Um vidro considerado ideal em termos de eficiência energética seria aquele que tivesse uma alta transmissão da radiação visível e baixa transmissão do ultravioleta e infravermelho.

2.2.5 Parâmetros Relacionados Ao Desempenho Térmico

Os parâmetros fundamentais que devem ser levados em consideração em envidraçamentos transparentes em relação ao desempenho térmico são o Fator Solar, o Ganho de Calor Solar e o Coeficiente de Admissão de Calor.

2.2.5.1 Fator solar

Esse parâmetro corresponde a razão entre a energia total que entra em um local através desse vidro e a energia solar incidente (Equação 2.3). Ele é determinado pela soma das parcelas de transmissão direta pelo vidro, mais a parcela da energia absorvida e reirradiada para o interior do ambiente. Dessa

forma, o Fator Solar é expresso pela seguinte expressão:

$$FS = T + N_i.A \quad (2.3)$$

sendo:

FS = Fator Solar;

T = transmitância;

N_i = fração da energia solar incidente absorvida e reirradiada para o interior;

A = absortância.

2.2.5.2 Ganho de calor solar

Como já acordado anteriormente, a radiação solar que incide em um fechamento transparente pode ser absorvida, refletida ou transmitida para o interior da edificação.

A parte da radiação transmitida para o interior influenciará diretamente nas condições de conforto de forma instantânea, constituindo a principal parte nos ganhos de calor (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

A densidade do fluxo de ganho de calor determina-se através da soma do Fator Solar e da transferência de calor devida à diferença de temperatura entre o ar exterior e o interior, mostrado na equação 2.4:

$$q = FS.(I_o) + U.(t_e - t_i) \quad (2.4)$$

onde:

q = densidade do fluxo de ganho de calor através do material transparente (W/m²);

FS = Fator Solar;

I_o = energia incidente (W/m²);

U = transmitância térmica total (W/m² °C);

(t_e – t_i) = diferença entre a temperatura do ar externo e interno (°C).

2.2.5.3 Coeficiente de admissão de calor

De acordo com Santos (2002) o Coeficiente de Admissão de Calor (CAC) foi criado visando substituir o Coeficiente de Sombreamento (CS), já que este propicia erros em seu uso. Isso se atribui primeiramente ao fato de uma ampliação no CS significar menor capacidade do elemento em atenuar o ganho de calor solar. Em segundo lugar, por ser utilizado de forma errada em alguns casos, indistintamente tanto para calor admitido como para iluminação natural.

2.2.6 Eficiência Energética

No Brasil, um país de clima tropical, é comum que ambientes de trabalho possuam condicionadores de ar, a fim de tornar aquele ambiente mais agradável quanto a sua temperatura ambiente. No entanto o consumo energético das edificações acaba sendo elevado.

Os vidro ensaiado nesse trabalho proporcionam diferentes temperaturas ao ambiente, sendo necessário diferentes quantidade de *British Thermal Unit* (BTU) para resfriar o ambiente suposto. BTU é o termo utilizado para unidade de calor na Inglaterra e nos Estados Unidos, por exemplo. No Brasil a unidade de calor é expressa em calorias.

A caloria por ser uma unidade muito pequena, não tem uso muito prático, sendo por isso empregado um múltiplo seu, a quilocaloria (Kcal). A quantidade de calorias necessária para elevar ou diminuir a temperatura de uma substância pode ser conhecida aplicando-se a seguinte relação:

$$Q = \Delta t . d . v . c \quad (2.5)$$

O calor específico consiste na quantidade de calor que é necessário fornecer à unidade de massa de uma substância para elevar a sua temperatura de um grau e expressa-se em calorias por grama e por grau. Para o caso da água, o calor específico foi convencionado ser de 1 cal/kg (INFOPÉDIA, 2003).

3 ESTUDO DE CASO

Neste tópico serão apresentados o estudo de caso e os materiais e equipamentos utilizados nos ensaios para pesquisa. O estudo foi realizado com o intuito de avaliar o desempenho térmico de três tipos de vidros. Para os ensaios foram confeccionados três caixas de madeira na qual os vidros foram instalados nas suas laterais, simulando um edifício. Após instaladas em uma área aberta, foram realizadas medições das temperaturas internas e externas das caixas em três turnos diferentes, cujos valores obtidos foram tabulados graficamente e devidamente analisados.

3.1 MATERIAIS AVALIADOS

Os vidros utilizados nos ensaios foram: o incolor, o fumê e o habitat cinza refletivo, todos com 4 mm de espessura. Todos os vidros usados neste ensaio foram fabricados pela companhia vidreira Companhia Brasileira de Cristal (CEBRACE). Esses três tipos de vidros foram escolhidos por apresentarem ganhos de calor diferentes de acordo com o fabricante: o vidro incolor apresenta menor ganho de calor e maior transmitância; o vidro fumê é considerado vidro colorido que apresenta maior absorção de calor e menor transmitância dos raios solares; e por último o refletivo, que apresenta uma absorção maior que os demais e uma transmitância de raios solares muito baixa, pois a maior parte da radiação é refletida proporcionando maior conforto térmico ao ambiente.

3.2 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

A metodologia empregada para realização dos ensaios baseia-se na análise de três tipos de vidros empregados em células teste, posicionadas no campus do Instituto Federal de Sergipe IFS Aracaju, com intuito de verificar as temperaturas que cada célula teste apresentou ao passar do tempo.

As três células teste (caixas de madeira) foram construídas com mesmas dimensões, sendo utilizado em cada uma um tipo de vidro. Para facilitar a construção e melhor aproveitamento dos materiais, as caixas foram construídas em madeira do tipo MDF (*Medium Density Fiberboard*), pregos e cola, nas seguintes

dimensões externas: altura 35cm x largura 35cm x comprimento 35cm. Nas suas laterais foram feitos recortes de 25x25cm onde foram colocados os vidros (Figura 3.1), e na parte superior a tampa removível para permitir a medição da temperatura interna na parte do fundo da caixa.

Os vidros foram fixados nas células testes fazendo com que não haja ventilação interna, tornando o interior um ambiente fechado para minimizar a influência do vento na temperatura interna.

Figura 3.1 - Caixas com cada tipo de vidro



Fonte: O autor (2016)

As medições da temperatura foram feitas utilizando-se dois termômetros. Externamente às células, foi colocado sobre o piso e à sombra o termômetro digital de controle de temperatura ambiente relógio utilizado como *household* termômetro digital KT903. Para medição da temperatura interna da célula foi utilizado o termômetro digital infravermelho st-600 *scan temp incoterm*, este proporciona medições de temperatura em superfícies numa escala: -60°C a $+500^{\circ}\text{C}$ e precisão de $\pm 2^{\circ}\text{C}$, cujo laser, logo após a abertura da tampa, era direcionado para o centro do fundo da célula devidamente marcado (Figuras 3.2 e 3.3). Testes realizados em alguns pontos internos e externos às células mostraram que não houve variação de temperatura utilizando-se os dois termômetros para as mesmas medições.

Figura 3.2 – Termômetros utilizados nos ensaios



Fonte: O autor (2016)

Figura 3.3 – Medição interna da temperatura das caixas



Fonte: O autor (2016)

No dia 05 de dezembro de 2016, com o tempo ensolarado normal para essa época do ano, as células foram posicionadas de maneira uniforme no campo de futebol do Campus Aracaju do Instituto Federal de Sergipe, por ser um local aberto e propenso a bastante radiação solar (Figura 3.3).

Foram realizados os ensaios em três turnos distintos, com coletas das temperaturas internas e externas para se avaliar o comportamento da temperatura com três ângulos de incidências solar diferentes sobre as células e externamente. Os turnos e horários das medições foram:

- Manhã: 8:00h às 9:00;
- Meio dia: 12:00h às 13:00h;
- Tarde: 15:30 às 16:30h.

É de extrema importância a variabilidade dos horários para obter informações sobre as diversas inclinações dos raios solares, como também com a sua intensidade, dessa forma os resultados não seriam completos sem essa gama de horários. Com isso tem-se um estudo bem amplo pois pode-se discutir o seu aquecimento sobre diversas condições de trabalho.

As medições foram feitas em intervalos de 5 em 5 minutos para permitir se obter um melhor acompanhamento da evolução da temperatura por célula durante a hora de medição. Portanto, em cada turno foram realizadas 13 medições da temperatura por célula, e 13 medições conjunta da temperatura externa, chegando-se a um total de 78 medições por turno.

No próximo Capítulo estão sendo apresentados todos os resultados obtidos acompanhados da devida análise e discussões.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a coleta dos dados, os valores coletados foram devidamente tabelados, e gerados os gráficos no *software* Excel, considerando-se a variação da temperatura em centígrados pelo tempo de medição em minutos.

3.3.1 RESULTADOS OBTIDOS

As Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 e respectivamente os Gráficos 3.1, 3.2 e 3.3 mostram os resultados obtidos nos três turnos de medições.

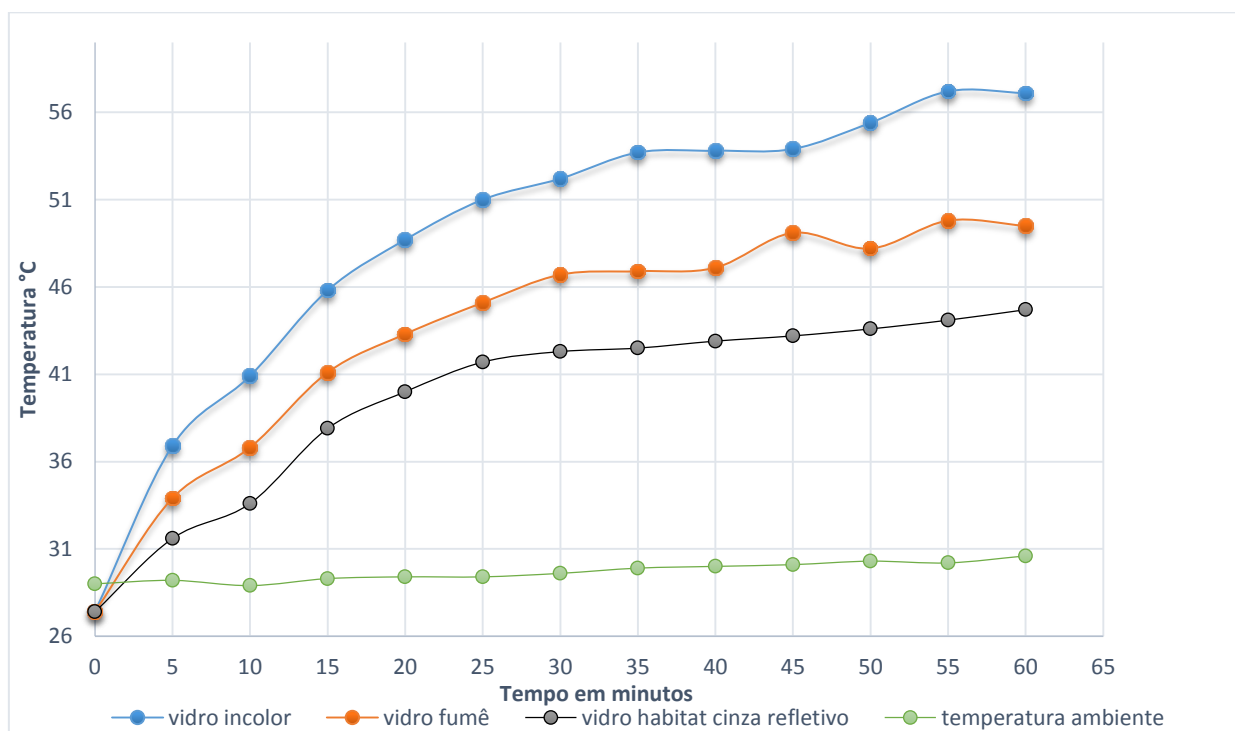
No primeiro turno as três caixas apresentam temperaturas bem definidas e crescente (Gráfico 3.1), a caixa que contém o vidro incolor está sujeita a maior transmissão dos raios solares e menor reflexão dos mesmos, levando essa a apresentar as maiores temperaturas interna ao final das medições. A caixa que contém o vidro fumê aparece em segundo lugar com relação a maior temperatura interna, esse por sua vez apresenta uma transmissão de raios solares menor que o vidro incolor, propiciando menor entrada de calor ao ambiente quando comparado com o vidro incolor. Por último aparece a caixa que contém o vidro habitat cinza refletivo, essa por sua vez apresenta a menor temperatura interna com decorrer do tempo, ficando clara a eficiência desse vidro em se tratando de conforto térmico.

Tabela 3.1 - Temperaturas horários 8:00 às 9:00 horas

Duração	Temperatura interna das células teste			Temperatura Ambiente
	Incolor	Fumê	Cinza Refletivo	
0	27,4	27,4	27,4	29
5	36,9	33,9	31,6	29,2
10	40,9	36,8	33,6	28,9
15	45,8	41,1	37,9	29,3
20	48,7	43,3	40	29,4
25	51	45,1	41,7	29,4
30	52,2	46,7	42,3	29,6
35	53,7	46,9	42,5	29,9
40	53,8	47,1	42,9	30
45	53,9	49,1	43,2	30,1
50	55,4	48,2	43,6	30,3
55	57,2	49,8	44,1	30,2
60	57,1	49,5	44,7	30,6

Fonte: O autor (2016)

Gráfico 3.1 - Medições turno da manhã (8:00h às 9:00h)



Fonte: O autor (2016)

No segundo turno as temperaturas internas das três caixas são menores que as do primeiro turno, isso se dá devido a inclinação da radiação solar. Os raios solares que atingem as células testes nesse turno incidem com maior frequência sobre a cobertura das mesmas, essa por sua vez é de madeira e faz com que a transmissão de calor para interior das células testes seja menor e mais lenta.

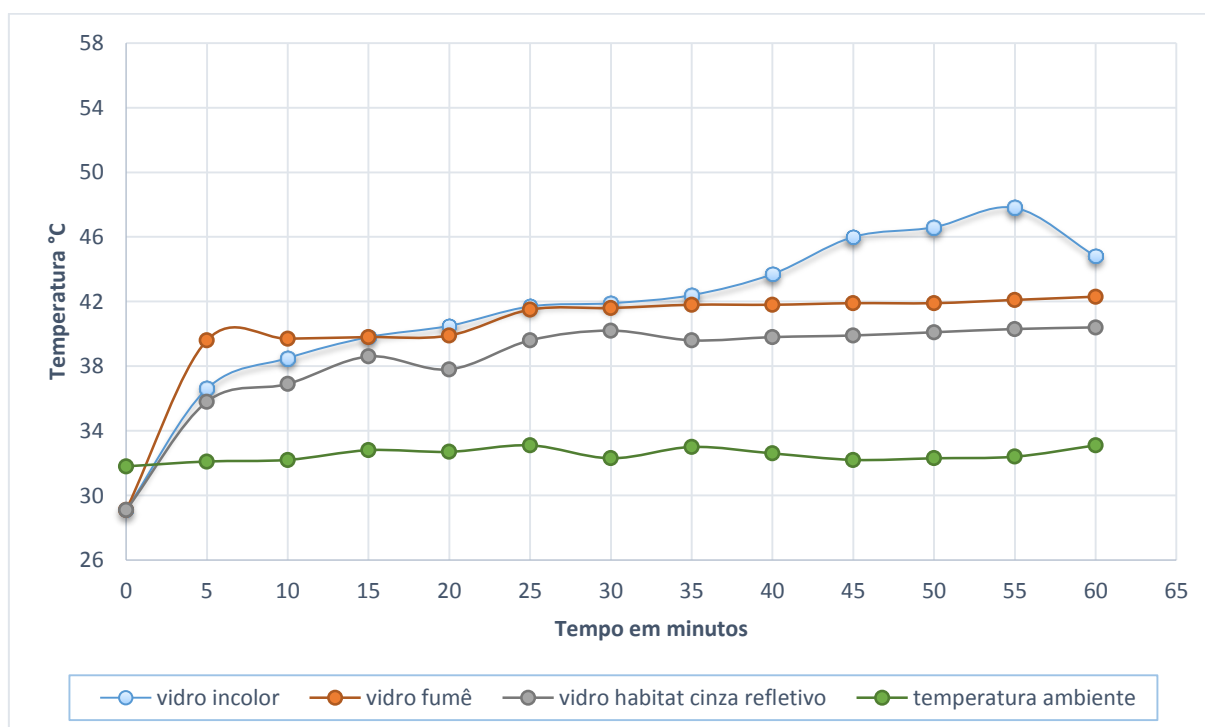
A célula teste que possui o vidro incolor apresenta novamente temperaturas internas maiores, a diferença entre a maior temperatura interna registrada com o vidro incolor e a temperatura ambiente externa foi de 14,7°. O vidro fumê apresenta o segundo maior pico de temperatura durante as medições, seguido do vidro habitat cinza refletivo como mostra o Gráfico 3.2.

Tabela 3.2 - Temperaturas horários 12:00 às 13:00 horas

Duração	Temperatura interna das células teste			Temperatura Ambiente
	Incolor	Fumê	Cinza Refletivo	
0	29,1	29,1	29,1	31,8
5	36,6	39,6	35,8	32,1
10	38,5	39,7	36,9	32,2
15	39,8	39,8	38,6	32,8
20	40,5	39,9	37,8	32,7
25	41,7	41,5	39,6	33,1
30	41,9	41,6	40,2	32,3
35	42,4	41,8	39,6	33
40	43,7	41,8	39,8	32,6
45	46	41,9	39,9	32,2
50	46,6	41,9	40,1	32,3
55	47,8	42,1	40,3	32,4
60	44,8	42,3	40,4	33,1

Fonte: O autor (2016)

Gráfico 3.2 - Medições ao meio dia (12:00h às 13:00h)



Fonte: O autor (2016)

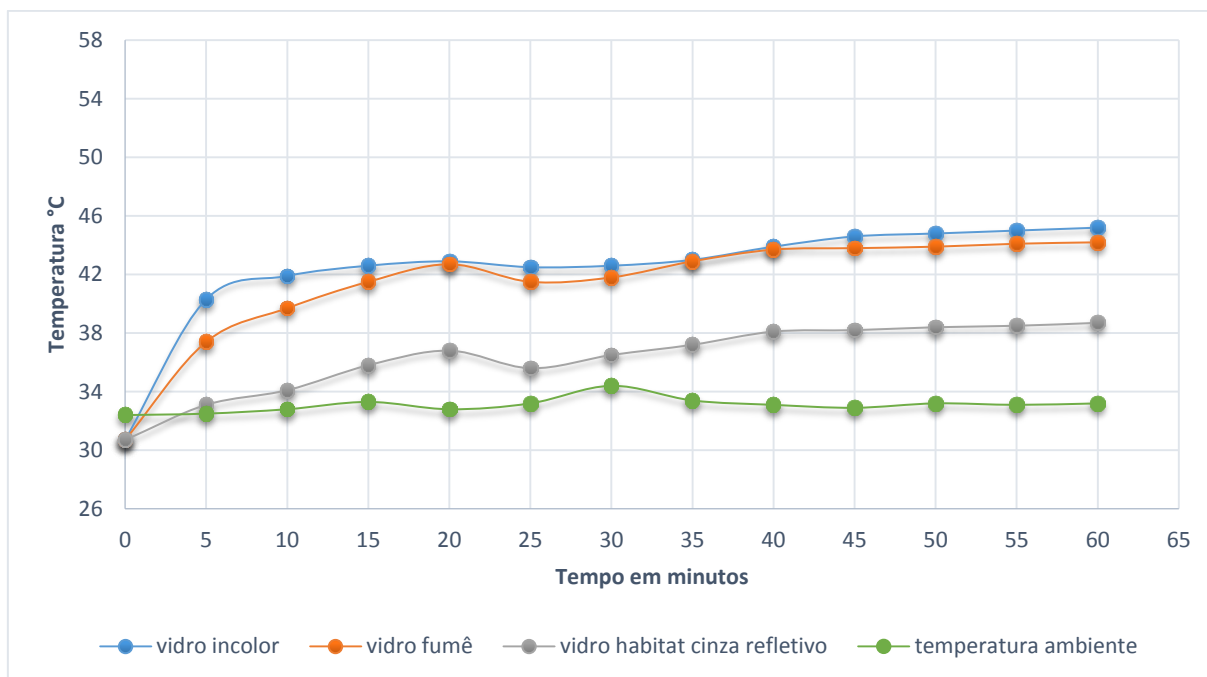
No terceiro turno percebe-se que a temperatura interna foi maior nas células testes que contém o vidro incolor, seguido do vidro fumê e do vidro habitat cinza refletivo. No entanto os picos das temperaturas internas das células testes que utilizaram o vidro incolor e fumê foram maiores que no segundo turno, podendo ser explicado principalmente devido a inclinação que a radiação solar incidiu nas faces da caixa. Pode-se afirmar também que essa radiação ficou próxima de ser radial ou perpendicular com as superfícies do vidro, desse modo não importando o tipo de vidro, ocorre refração máxima da radiação, promovendo um maior aquecimento no interior das células testes.

Através dos gráficos é possível notar que a caixa que contém o vidro incolor desenvolve maior temperatura interna ao passar do tempo, já a caixa que contém o vidro habitat cinza refletivo apresenta as menores temperaturas interna no mesmo intervalo de tempo das demais, nos três turnos estudados. Isso já era esperado, pois de acordo com a literatura o vidro incolor apresenta maior transmitâncias e menor absorbências dentre os vidro estudados, e o vidro habitat cinza refletivo possui menor transmitância e maior reflexão dos raios solares, tornando esse o melhor vidro dentre os três quando se trata de conforto térmico. Isso demonstra que as propriedades óticas do material vidro influência no ganho de temperatura e ambientes.

Tabela 3.3 - Temperaturas horários 15:00 às 16:00 horas

Duração	Temperatura interna das células teste			Temperatura Ambiente
	Incolor	Fumê	Cinza Refletivo	
0	30,7	30,7	30,7	32,4
5	40,3	37,4	33,1	32,5
10	41,9	39,7	34,1	32,8
15	42,6	41,5	35,8	33,3
20	42,9	42,7	36,8	32,8
25	42,5	41,5	35,6	33,2
30	42,6	41,8	36,5	34,4
35	43	42,9	37,2	33,4
40	43,9	43,7	38,1	33,1
45	44,6	43,8	38,2	32,9
50	44,8	43,9	38,4	33,2
55	45	44,1	38,5	33,1
60	45,2	44,2	38,7	33,2

Fonte: O autor (2016)

Gráfico 3.3 - Medições turno da tarde (15:30h às 16:30h)

Fonte: O autor (2016)

Com o objetivo de estudar a eficiência energética e considerando os resultados obtidos por tipos de vidros, é apresentado um estudo da quantidade de energia necessária para reduzir a temperatura medida no pico até a temperatura de 22°, temperatura no ambiente considerada ideal para o corpo humano, de acordo com a Associação Brasileira de Integração e Desenvolvimento Sustentável – ABIDES (2015), utilizando-se da Equação 3.1.

A NBR 16401:2008 estabelece parâmetros básicos e requisitos para instalações de ar-condicionado, podendo ser aplicada para laboratórios, salas limpas, entre outros). Os parâmetros estabelecidos pela NBR 16401 estão relacionados a quantidade de pessoas, de aparelhos eletroeletrônicos, entre outros. No entanto a fim de determinar a eficiência energética exata que cada vidro proporciona foi considerado apenas a quantidade de BTU necessária para resfriar uma sala de escritório sem a presença de pessoas e aparelhos.

Para realização do comparativo da quantidade de BTU levou-se em consideração uma sala de escritório de medidas 3x3x2,5 metros, respectivamente (largura x comprimento x altura). A substância considerada para o calor específico (c) foi o ar, que possui $c = 0,24$. A temperatura desejada foi de 22°C.

Para o vidro incolor: temperatura de pico = 57,2°

$$Q = \Delta t \cdot d \cdot v \cdot c \quad (3.1)$$

Onde,

Q = Quantidade de calor

Δt = diferença de temperatura

d = densidade

v = volume

c = calor específico

$$Q = (57,2 - 22) \cdot (1,2928 \times 3 \times 3 \times 2,5) \cdot 0,24 = 245,7354 \text{ kcal}$$

Como 1 kcal corresponde a 3,968 BTU, serão necessários 975,078 BTU, somado a 10800 BTU referente a área, quantidade de pessoas e quantidade equipamentos eletroeletrônicos, chega-se a um total de 11.775,078 BTU para baixar a temperatura 35,1°C. Como 1 BTU corresponde a $293,07 \times 10^{-6}$ kWh, o total de kWh equivalente a 975,0782 BTU é de 0,2858 kWh. Considerando-se que o valor atualizado de custo do kWh é de R\$ 0,86, o custo total para baixar a temperatura desse ambiente de 57,1°C para 22°C é de R\$ 43,25.

Para os demais tipos de vidros utilizou-se a mesma metodologia de cálculo para aquisição da quantidade de energia necessária para redução da temperatura interna da célula teste a 22°, e posteriormente a determinação do custo (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 - Composição de custos

Vidro	Consumo (kWh)			Custo (R\$)		
	Manhã	Meio dia	Tarde	Manhã	Meio dia	Tarde
Incolor	0,2858	0,1851	0,1883	43,25	28,02	28,51
Fumê	0,2257	0,1648	0,1802	34,16	24,94	27,28
Cinza refletivo	0,1843	0,14938	0,1356	27,89	22,61	20,52

Fonte: O autor (2017)

O estudo realizado para eficiência energética demonstra que o vidro habitat cinza refletivo apresenta melhores resultados com relação ao custo de energia

necessária para resfriar o ambiente proposto. No entanto, o custo do vidro não foi colocado em pauta sendo necessário um estudo da viabilidade de uso do mesmo. Outro fator que não foi levado em consideração nesse estudo foi a taxa de iluminação que cada tipo de vidro proporciona ao ambiente interno, este é um importante fator quando se trata de eficiência energética, pois quanto mais transparente for o vidro, maior será a taxa de transmissão luminosa solar, proporcionando economia e eficiência energética. Tendo isso em vista nota-se a tamanha importância na escolha do vidro a ser utilizado, pois quanto mais refletivo/opaco for o vidro menor será a transmissão de calor para o interior da célula teste, por outro lado menor será a quantidade de luz fornecida pelo meio ambiente.

4 CONCLUSÕES

Esse trabalho teve por objetivo, estudar o comportamento da utilização de vidros transparente, colorido e refletivo em fachadas considerando-se a radiação solar e conforto térmico em edificações da cidade de Aracaju - SE. Diante disso, pode-se inferir que o vidro habitat cinza refletivo apresentou menor temperatura interna durante as medições nos três turnos estudados, proporcionando maior conforto térmico, pois este vidro possui um alto índice de reflexão da radiação solar e baixo índice de transmissão da mesma. Os vidros transparentes proporcionam a entrada de uma maior parte da radiação solar, logo a célula teste que apresentou o pior resultado com relação ao conforto térmico foi a que utilizou o vidro incolor.

Nesse sentido, com relação a eficiência energética a célula teste que utilizou o vidro habitat cinza refletivo apresentou melhor custo de consumo de energia em kWh, seguida da célula teste que portava o vidro fumê e por último a que portava o vidro incolor.

Os ensaios de medições de temperatura interna das células testes e o comparativo de custos de energia necessárias para resfriamento das mesmas deixam clara a eficiência do vidro habitat cinza refletivo. No entanto outras variáveis devem ser levadas em consideração na escolha do vidro a ser utilizado, pois o custo do vidro não foi considerado e também a economia com ar condicionado acontece, mas esse vidro permite uma menor entrada da luz solar sendo necessário maior iluminação elétrica do ambiente, isso implicaria em maior consumo energético.

5 TRABALHOS FUTUROS

Diante do que foi abordado neste trabalho pode-se sugerir que sejam realizados estudos detalhados acerca do custo benefício de implantação dos diferentes tipos de vidros em uma edificação, fazendo uso daquele que atenda às necessidades estipuladas em projeto, seja com relação ao conforto térmico ou com intuito de maior aproveitamento da iluminação solar (natural).

REFERÊNCIAS

ALL ABOUT THAT GLASS. Disponível em: < <http://allaboutthatglass.com/tag/c-glass/> >. Acesso em: 16 dez. 2016.

A Guide to New Technologies and Energy Performance. W.W. Norton & Company, New York. London, 2000.

AMBROZEWICZ, P.H.L. **Materiais de Construção – Normas, Especificações, Aplicação e Ensaios de Laboratório.** 1 ed. Editora PINI, 2012.

ARNAUD, A. Industrial production of coated glass: future trends for expanding. **Journal of Non-Crystalline Solids**, Amsterdam, V.218, pag. 12-18, Sept. 1997.

ASSIS, R.M. Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações. 1998. 118f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

_____. Caracterização ótica de materiais transparentes e sua relação com o conforto ambiental em edificações. 2002. 118f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INTEGRAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Como reduzir o consumo do ar condicionado. 2015. Disponível em: < <http://abides.org.br/como-reduzir-o-consumo-do-ar-condicionado/> >. Acessado em: 04 de janeiro de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 293:** Terminologia de vidros planos e dos componentes acessórios a sua aplicação, 2004.

_____. **NBR 16401:** Instalações de ar condicionado-Sistemas centrais e unitários, 2008.

BARROWS. W.E. **Luz, fotometria y luminotecnica.** Buenos Aires: Hispano Americana, 1960.

BAUER, L.A.F. **Materiais de construção 2.** Ed. Livros técnicos científicos. Goiania: 2011.

BLINDEX. Disponível em: < <http://www.blindex.com.br/sobre-a-blindex/historia-do-vidro/o-que-e-vidro-float> >. Acesso em: 20 dez. 2016.

Calor específico in Artigos de apoio Infopédia [em linha]. Porto: Porto Editora, 2003-2017. Disponível em: <[https://www.infopedia.pt/\\$calor-especifico](https://www.infopedia.pt/$calor-especifico)> Acessado em: 08 jan. 2017.

CARMODY, J.; SELKOWITZ, S.; ARASTEH, D.; HESCHONG, L. **Residential Windows. A Guide to New Technologies and Energy Performance.** W.W. Norton & Company, New York. London, 2000.

CASTRO, A.P.A.S. **Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil: estudo em células-teste**. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

CEBRACE CRISTAL PLANO. Disponível em: <<http://www.cebrace.com.br>>. Acesso em: 10 dez. 2016.

GIOVANNI, Mariacher. **O vidro: os estilos na arte**. São Paulo, Martins Fontes, 1992.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. London: Applied Science, 1976.

HARKNESS, E.L. **Solar radiation control in buildings**. London: Applied Science, 1978.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

MARAGNO, G.V. **Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande – MS**. In: VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2001, São Pedro. Anais... São Pedro: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2001.

MASCARÓ, J.L. **Consumo de Energia e construção de edifícios**. São Paulo: SECOVI, 1980.

MICHELATO, R. **Avaliação do desempenho térmico de vidros refletivos: estudo de caso em células-teste**. Dissertação de mestrado. São Carlos, 2007.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

RICHARDS, Brent. **New glass architecture**. North America, Yale University Press, 2006.

RIVERO, R. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. 2.ed. Porto Alegre: D.C.Luzzatto, 1986.

ROMERO, M.A.; GONÇALVES, J.C.; DILONARDO, L.F.P. **A evolução da arquitetura e dos energéticos dos edifícios de escritórios nos últimos 30 anos na cidade de São Paulo**. IN: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5./ ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 1999.

RORIZ, M. **Higiene do trabalho: temperatura: apostila**. São Carlos: Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, 2001.

SAINT-GOBAIN GLASS. **Manual do vidro**. Milão: Rotolito Lombarda, 2000.

SANTA MARINA - Catálogo técnico. 2000.

_____. **O Vidro na arquitetura**. São Paulo: Projeto, 1993.

SANTOS, J.C.P. **Avaliação do desempenho térmico e visual de elementos transparentes frente à radiação solar**. 2002. Tese (Doutorado). Curso de PósGraduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SCHOLZE, H. **Le Verre: Nature, Structure et Propriétés**. Institut du Verre, Paris, 1980.

UBV VIDRO DESIGN. Disponível em: < <http://www.vidrosubv.com.br/produtos> >. Acesso em: 10 dez. 2016.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de Ciência e Tecnologia dos Materiais**. Tradução de Edson Monteiro. Rio de Janeiro: Campus, 1984.